

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



**Diseño para la evolución de la red de voz de control de tránsito aéreo
de la Fuerza Aérea utilizando tecnología Radio sobre IP**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE
LAS TELECOMUNICACIONES**

AUTOR

Rodolfo Enrique Pimentel Avilés

ASESOR

Juan Carlos Ortega Ulloa

Setiembre, 2019

DEDICATORIA

Para ti que nos haces mucha falta... Que cuando inicié esta Maestría me esperabas hasta que llegase a casa de clases... Ahora no me esperas más, ahora estás conmigo en mi mente y mi corazón... Te amo papá y espero el día perfecto, ese que cuando toque la puerta seas tú el que me reciba y hablemos del MUNI hasta ir a dormir... mientras tanto cuido de mamá, de Emily y busco que llevar tu apellido con honor.

RESUMEN

En entornos de control de tránsito aéreo (ATC por sus siglas en inglés), la búsqueda de mejoras que posibiliten incrementar la capacidad de gestión de sus comunicaciones resulta indispensable dada la necesidad de alcanzar un óptimo nivel de seguridad operacional de manera predictiva que responda a retos actuales y futuros. Ante ello, el presente trabajo de tesis propone un diseño para la evolución de la red de voz de ATC de la Fuerza Aérea, empleando tecnología de Radio sobre IP (RoIP); con la finalidad de incrementar la capacidad de gestión de comunicaciones en sus torres de control, lo que posibilitará el incremento de los niveles de seguridad que tan importante actividad demanda.

Creemos firmemente que el uso de tecnologías de Radio sobre IP resulta ser una posibilidad de mejora en un corto plazo del entorno ATC de la Fuerza Aérea, no solo porque incrementará sus capacidades actuales sino porque también la preparará para evoluciones futuras como respuesta a demandas de carácter normativo u operacionales. Esta afirmación es consecuencia de lo encontrado bajo la metodología planteada en el presente trabajo, específicamente en el Capítulo 1 donde se identifica el problema a abordar y se selecciona la mejor alternativa técnica.

Ya en el Capítulo 2 se describen aspectos teóricos referentes al trabajo, específicamente de carácter normativo y operativo para entender el funcionamiento de una red ATC, aspectos técnicos para conocer las potencialidades de la tecnología RoIP así como una recolección de experiencias anteriores que demuestren que el uso de RoIP incrementa aspectos que se buscan en ATC: La interoperabilidad y convergencia.

El Capítulo 3 propone la evaluación del equipamiento actual de la red de ATC dentro de la Fuerza Aérea, la definición de requerimientos que nos permitan alcanzar un estándar de operación respaldado por una organización especializada en la materia (EUROCAE) y la correspondiente indagación en el mercado de equipamiento que se adapte a nuestra realidad y nos proyecte a nuestra visión de estándar señalado.

Finalmente en el Capítulo 4, se plantea el dimensionamiento del esfuerzo en alcance, tiempo y costo; que nos da la perspectiva para entender la viabilidad y factibilidad de lo planteado en el presente trabajo.

INDICE GENERAL

RESUMEN	3
GLOSARIO DE TÉRMINOS.	11
CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN.	20
1.1. Identificación del Problema y Alternativas de Solución.	23
1.1.1.- Análisis de Involucrados	23
1.1.2.- Descripción del Entorno del ATC en la FAP	24
1.1.3.- Definición del Problema	29
1.1.4.- Árbol de Causas y Efectos	30
1.1.5.- Árbol de Fines y Medios	32
1.2.- Selección de la Estrategia Óptima	32
1.2.1.- Evolución y Actualidad de las Telecomunicaciones en Entornos ATC	32
1.2.2.- Identificación de Acciones	38
1.2.3.- Selección de la Alternativa de Solución	38
1.3.- Hipótesis	42
1.4.- Objetivos	43
1.4.1- Objetivo Principal	43
1.4.2.- Objetivos Específicos	43
1.5.- Metodología.	43
CAPÍTULO 2.- ASPECTOS TEÓRICOS.	44
2.1.- Definiciones Alrededor de Radio sobre IP.	44
2.1.1.- Configuraciones Típicas en Radio sobre IP.	45
2.1.2.- Aspectos Tecnológicos a Tener en Cuenta en Transmisiones RoIP.	47

2.1.3.- Beneficios de Radio sobre IP.	48
2.1.4.- Actualidad sobre Aplicabilidad de Equipos RoIP en distintos entornos.	49
2.1.5.- Soluciones Basadas en RoIP para Entornos de Control de Aeronaves	53
CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.	62
3.1. Evaluación de los Equipos de Comunicaciones Actualmente Utilizados en las Torres de Control de la FAP.	62
3.2. Dimensionamiento de Requerimientos que Debe Cumplir la Solución a Implementar Basándose en Especificación EUROCAE.	70
3.2.1.- Requerimientos de Performance.	72
3.2.2.- Requerimientos Técnicos.	73
3.2.3.- Requerimientos Funcionales.	74
3.3. Descripción de Potenciales Equipos a Utilizarse para Implementación de la Solución.	76
3.3.1.- Equipos DBL.	76
3.3.2.- Equipos BRIDCOMM SYSTEMS	77
3.3.3.- Equipos CUBIC	78
3.3.4.- Equipos OMNITRONICS	79
3.3.5.- Equipos ORION	80
3.3.6.- Equipos TC COMMUNICATION	81
3.4.- Evaluación de los Equipos Considerados para la Implementación de la Solución.	82
3.4.1.- Evaluación de los Requerimientos de Performance.	83
3.4.2.- Evaluación de los Requerimientos Técnicos.	83
3.4.3.- Evaluación de los Requerimientos Funcionales.	84
3.4.4.- Resultados Finales.	85

CAPÍTULO 4.- CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.	87
4.1. Concepción de la Solución a Implementar – Gestión del Alcance.	87
4.1.1.- Enunciado del Alcance	87
4.1.2.- Estructura de Descomposición del Trabajo – EDT	88
4.1.3.- Diagramas Esquemáticos de la Solución	89
4.1.4.- Elaboración de Diagramas Eléctricos de Conexión entre Equipos Legados y Gateways RoIP.	90
4.1.5.- Overview del Alcance Técnico de la Solución	96
4.1.6.- Configuración del Aplicativo de Operación	98
4.1.7.- Aspectos a Considerar en Networking	101
4.2.- Proceso de Migración hacia la Solución Planteada – Gestion del Tiempo	103
4.3.- Dimensionamiento Económico de la Solución Planteada – Gestión del Presupuesto y Análisis del Costo Efectividad	105
4.3.1.- Presentación del Dimensionamiento Económico	105
4.3.2.- Evaluación Social del Proyecto	107
CONCLUSIONES.	115
RECOMENDACIONES.	117
CONSIDERACIONES PARA MEJORAS A FUTURO.	119
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXO “A”	125
ANEXO “B”	131

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1	Esquema de Red de un Sistema de TránsitoAéreo Estándar	22
FIGURA N° 2	Diagrama de Comunicaciones Genérico de una Torre de Control	25
FIGURA N° 3	Árbol de Causas y Efectos del Problema Central Encontrado	30
FIGURA N° 4	Árbol de Fines y Medios del Problema Central Encontrado	32
FIGURA N° 5	Diagrama de Red ENAIRE Implementada en España	35
FIGURA N° 6	Árbol de Acciones	38
FIGURA N° 7	Diagrama de Resultados de la Evaluación de Alternativas	42
FIGURA N° 8	Esquema RoIP para Acceso Remoto a una Radio	45
FIGURA N° 9	Diagrama Tipo de un Entorno de RoIP con PBX y PSTN	46
FIGURA N° 10	Diagrama Tipo de Conexión Back-to-Back de RoIP	46
FIGURA N° 11	Esquema de un Radio Puente RoIP	47
FIGURA N° 12	Diagrama Tipo del CELLBOX	50
FIGURA N° 13	Presentación Modelos Gateways RoIP Marca BYLIGHT	51
FIGURA N° 14	Diagrama de Red de Aplicación de RoIP para Estado de Florida	52
FIGURA N° 15	Diagrama Esquemático de un Sist. De Área Amplia RSP-Z2/ACU-Z1	53
FIGURA N° 16	Diagrama de Red de Soluciones R&S para Control de Tránsito Aéreo	55
FIGURA N° 17	Configuración de Uso de Radios Tipo Torres Independientes	55
FIGURA N° 18	Diagrama de Red General de Soluciones R&S para Modo Radio Site	56
FIGURA N° 19	Diagrama de Red General de R&S para Centro de Operaciones	57
FIGURA N° 20	Listado de Protocolos en Soluciones Implementadas por R&S	58
FIGURA N° 21	Diagrama Esquemático de Despliegue con Gateway DF NUCLEO	59
FIGURA N° 22:	Esbozo de Diagrama Esquemático de Despliegue solución INDRA	61

FIGURA N° 23	Diagrama Eléctrico de DITEL FSG-60MPC	63
FIGURA N° 24	Diagrama Eléctrico de DITTEL FSG-71MPC	64
FIGURA N° 25	Diagrama Eléctrico de DITTEL FSG-70-PS	65
FIGURA N° 26	Diagrama Eléctrico de FUNKE FSG-70-2T	66
FIGURA N° 27	Diagrama Eléctrico de ICOM IC-A110	67
FIGURA N° 28	Diagrama Eléctrico de ICOM IC-A210	68
FIGURA N° 29	Vista General del PAE 5610	68
FIGURA N° 30	Vista de Puertos de Salida para Conexiones de DTR-100	69
FIGURA N° 31	Diagrama de Conexión del Cable de Adaptación OPC-2275	70
FIGURA N° 32	Diagrama de Vienna, Base de RED Recomendada por EUROCAE	71
FIGURA N° 33	Diagrama Tipo de una Red con Terminales Remotos de DBL	77
FIGURA N° 34	Diagrama Tipo de una Red con Terminales Remotos de BRIDCOM	78
FIGURA N° 35	Vista de Equipo de BASIC HIBRID Y V50 PLUS de CUBIC	79
FIGURA N° 36	Diagrama Tipo de una Red con Terminales OMNITRONICS	80
FIGURA N° 37	Vista de las Múltiples Opciones de Implementación con ORION	81
FIGURA N° 38	Diagrama Tipo de una Red Utilizando Dispositivos TC3846	82
FIGURA N° 39	Diagrama de Resultados de Evaluación de Opciones de Equipos	86
FIGURA N° 40	Descomposición del Trabajo EDT	88
FIGURA N° 41	Diagrama Esquemático de la Solución Propuesta	89
FIGURA N° 42	Diagrama Esquemático a Nivel Nacional de la Solución Propuesta	90
FIGURA N° 43	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos DITTEL FSG-60MPC	91
FIGURA N° 44	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos DITTEL FSG-71MPC	91
FIGURA N° 45	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos DITTEL 70 PS	92

FIGURA N° 46	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos DITTEL FSG-2T	92
FIGURA N° 47	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos IC-A10	93
FIGURA N° 48	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos IC-A210	93
FIGURA N° 49	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos OTE DTR-100	94
FIGURA N° 50	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos ICOM A120	94
FIGURA N° 51	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos Telefonía IP	95
FIGURA N° 52	Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos Telefonías FXO	95
FIGURA N° 53	Diagrama en Bloques de la Solución Planteada (en Región)	97
FIGURA N° 54	Vista de Pantalla de Cambio de IP – ORION	99
FIGURA N° 55	Vista del Aplicativo a Utilizarse – ORION	100
FIGURA N° 56	Vista de la Ventana de Configuración de los Canales de Voz – ORION	100
FIGURA N° 57	Diagrama de Red de la Solución Planteada (Dimensionada a Una Torre)	102
FIGURA N° 58	Muestra de Captura de Protocolos de una Comunicación RoIP	103
FIGURA N° 59	Pila de Protocolos de Comunicación RoIP	103
FIGURA N° 60	Cronograma de Tiempo de Implementación de la Solución Propuesta	104

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1 Tabla Comparativa en Costos	39
TABLA N° 2 Tabla Comparativa en Dependencia Tecnológica	40
TABLA N° 3 Tabla Comparativa en Confiabilidad	40
TABLA N° 4 Tabla Comparativa en Tiempo de Ejecución	41
TABLA N° 5 Tabla Comparativa Final	42
TABLA N° 6 Tabla de Evaluación de Requerimientos de Performance	83
TABLA N° 7 Tabla de Evaluación de Requerimientos Técnicos	83
TABLA N° 8 Tabla de Evaluación de Requerimientos Funcionales	84
TABLA N° 9 Tabla de Evaluación Ponderada – Criterio Conocimiento y Experiencia	85
TABLA N° 10 Tabla de Evaluación Ponderada – Criterio Costo	85
TABLA N° 11 Tabla de Evaluación Ponderada – Criterio Aplicativo	85
TABLA N° 12 Tabla de Evaluación Ponderada – Valoración Final	86
TABLA N° 13 Tabla de Costo Económico por Ambiente	106
TABLA N° 14 Tabla de Costo Económico Total a Nivel Nacional en Fuerza Aérea	106
TABLA N° 15 Tabla de Costos de la Situación sin Proyecto	107
TABLA N° 16 Tabla de Costos con Proyecto	108
TABLA N° 17 Tabla de Costos de Operación y Mantenimiento	110
TABLA N° 18 Análisis VAN	110
TABLA N° 19 Tabla de Coeficientes Sociales	111
TABLA N° 20 Tabla de Costos a Precios Sociales	112
TABLA N° 21 Tabla VACS del Proyecto	113
TABLA N° 22 Tabla de Índice de Efectividad Alcanzado	113

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **ACARS:**
AIRCRAFT COMMUNICATIONS ADDRESSING AND REPORTING SYSTEM.
- **ADS-B:**
AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE-BROADCAST – Tecnología de vigilancia en la que una aeronave determina vía satélite su posición y la emite periódicamente.
- **ADSL:**
ASYMMETRIC DIGITAL SUBSCRIBER LINE.
- **ADPCM:**
ADAPTIVE DIFFERENTIAL PULSE CODE MODULATION – Codificador de forma de onda regulado bajo el estándar G.726.
- **AM:**
AMPLITUD MODULADA.
- **AMHS:**
ATS MESSAGE HANDLING SYSTEM - Sistema de conmutación de mensajes para el Servicio Fijo Aeronáutico.
- **APCO P25:**
Proyecto 25 de la ASSOCIATION OF PUBLIC-SAFETY COMMUNICATIONS OFFICIALS-INTERNATIONAL - Estándar de radio digital que fue diseñado para seguridad pública.
- **ARINC 535-A:**
Estándar aeronáutico para las radios que cubre los requisitos para el audífono con micrófono de pluma integral; adecuado para uso piloto en instalaciones de radio o de abordó.
- **ARINC 538:**
Estándar aeronáutico para las radios que cubre los requisitos para el micrófono de mano y un micrófono de brazo en instalaciones de radio o de abordó.
- **ATC:**
AIR TRAFFIC CONTROL.
- **ATM:**
AIR TRAFFIC MANAGEMENT.

- **ATMCP:**
AIR TRAFFIC MANAGEMENT OPERATIONAL CONCEPTS.
- **ATS:**
AIR TRAFFIC SERVICE.
- **BGP4:**
Protocolo de enrutamiento BORDER GATEWAY PROTOCOL VERSION 4+.
- **CCA:**
CENTRO DE CONTROL DE AERONAVES.
- **CFMU:**
CENTRAL FLOW MANAGEMENT UNIT.
- **CNG:**
CONFORT NOISE GENERATION – Circuito que genera ruido de fondo para las comunicaciones de voz durante los períodos de silencio que ocurren.
- **CNS:**
COMUNICACIONES, NAVEGACIÓN Y VIGILANCIA.
- **COR:**
CARRIER OPERATED RELAY.
- **CORPAC:**
CORPORACIÓN PERUANA DE AEROPUERTOS Y AVIACIÓN COMERCIAL.
- **COS:**
CARRIER OPERATED SQUELCH.
- **CPDLC:**
CONTROLLER PILOT DATA LINK COMMUNICATION.
- **CWP:**
CONTROLLER WORKING POSITION.
- **DGAC:**
DIRECCION GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL.
- **DMR:**
DIGITAL MOBILE RADIO – Estándar del ETSI (EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE) codificado como ETSI TS 102 36. Utiliza el modo de acceso TDMA en las bandas 136-174 MHz y 350-520MHz.
- **EAD:**
EUROPEAN AERONAUTICAL INFORMATION DATABASE.

- **EHS:**
ENHANCED SURVEILLANCE – Vigilancia mejorada en Modo S.
- **ELS:**
ELEMENTARY SURVEILLANCE – Vigilancia elemental en Modo S.
- **ENAIRES:**
Proveedor de servicios de navegación aérea y de información aeronáutica en España, el cuarto en Europa por volumen de tráfico y uno de los más importantes a nivel mundial.
- **EUROCAE:**
EUROPEAN ORGANIZATION FOR CIVIL AVIATION EQUIPMENT.
- **EUROCONTROL:**
ORGANIZACIÓN EUROPEA PARA LA SEGURIDAD DE LA NAVEGACIÓN AÉREA.
- **FANS:**
COMITÉ DE SISTEMAS DE AERONAVEGACIÓN PARA EL FUTURO.
- **FIR:**
REGIÓN DE INFORMACIÓN DE VUELO.
- **FM:**
FRECUENCIA MODULADA.
- **FXO:**
FOREIGN EXCHANGE OFFICE – Interfaz de central externa; es el puerto que recibe la línea analógica. Es un enchufe del teléfono, aparato de fax o el enchufe de su centralita telefónica analógica.
- **FXS:**
FOREIGN EXCHANGE SUBSCRIBER – Interfaz de suscriptor externo es el puerto que efectivamente envía la línea analógica al suscriptor. En otras palabras, es el “enchufe de la pared”.
- **GLS:**
GPS LANDING SYSTEM.
- **GSM:**
GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS.
- **GUI:**
INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO.
- **G.168:**
Norma de la UIT-T para cancelación de eco.

- **G.711:**

Estándar de codificación digital de audio usado principalmente en telefonía. Proporciona un flujo de datos de 64 Kbit/s.
- **G.728:**

Estándar utilizado en VoIP que codifica una señal de audio de calidad tarificada; el G.728 proporciona la calidad del G.711 a un cuarto del índice de datos necesario.
- **G.729:**

Estándar de compresión de datos de audio para voz que comprime audio de voz en paquetes de 10 milisegundos. Se usa mayoritariamente en aplicaciones de Voz sobre IP por sus bajos requerimientos en ancho de banda.
- **HF:**

HIGH FREQUENCY – También conocido como SW o SHORTWAVE.
- **H.323:**

Protocolo de la ITU-T que define la forma de proveer sesiones de comunicación audiovisual sobre paquetes de red.
- **IDAS:**

Sistema propiedad de ICOM para radio móvil terrestre digital que utiliza una interfaz aérea común NXDN™. Cuenta con características útiles incluyendo llamada selectiva, mensajes de estado, radio, aturdimiento/desactivación/reactivación y reporte de posición GPS.
- **INMARSAT:**

Compañía que provee soluciones de Servicios Satelitales Móviles (SSM); cuenta con una constelación de 12 satélites geoestacionarios.
- **IMBE/AMBE:**

CODIFICACIÓN EXCITACIÓN MULTI BANDA MEJORADA / EXCITACIÓN MULTI BANDA AVANZADA.
- **IRIDIUM:**

Nombre de una constelación de 66 satélites de comunicaciones que giran alrededor de la Tierra en 6 órbitas bajas LEO.
- **JITTER:**

Variación en el tiempo en la llegada de los paquetes en una comunicación digital, originada principalmente por congestión de red, pérdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino.

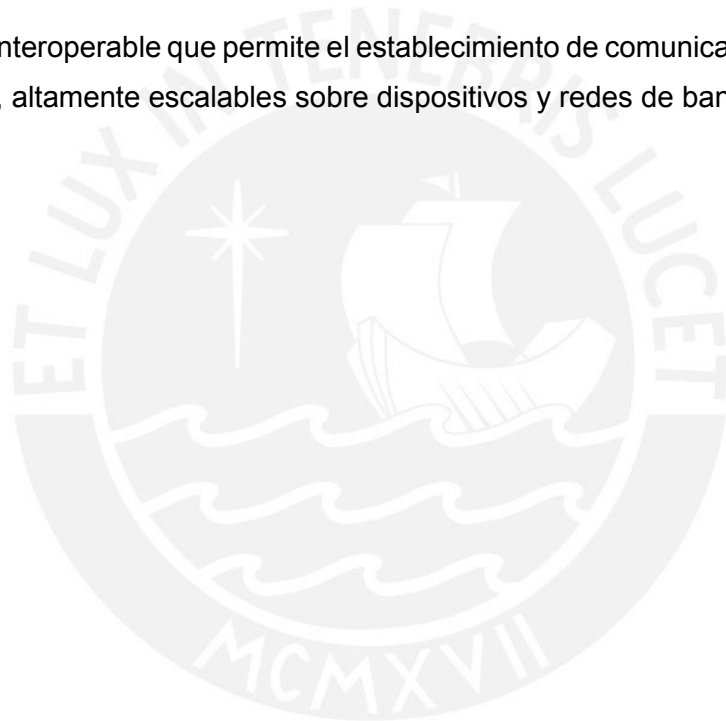
- **LINK2000:**
Programa que se creó inicialmente para liderar la definición, validación e implementación temprana de CPDLC.
- **LTE:**
LONG TERM EVOLUTION.
- **NEXEDGE:**
Sistema propiedad de ICOM para radio móvil terrestre digital que utiliza una interfaz aérea común NXDN™.
- **NXDN:**
Protocolo técnico abierto de interfaz de aire común (CAI) para comunicaciones móviles desarrollado conjuntamente por ICOM INCORPORATED Y KENWOOD CORPORATION. Fue implementado por ICOM bajo la versión IDAS y por KENWOOD como NEXEDGE.
- **MOTOTRBO:**
Protocolo de radio digital patentado por Motorola, enfocado principalmente para empresas o industrias. Es un protocolo TDMA digital que soporta dos conversaciones dentro de un canal de 12,5 kHz.
- **MPLS:**
MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING – Conmutación de etiquetas de protocolo múltiple.
- **MTC:**
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.
- **OACI:**
ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL.
- **OSPF:**
ENRUTAMIENTO ESTÁTICO Y OPEN SHORTEST PATH FIRST.
- **PBX:**
PRIVATE BRANCH EXCHANGE – Central Privada Automática conectada directamente a la red pública de telefonía por medio de líneas troncales para gestionar además de las llamadas internas, las entrantes y salientes.
- **PCM:**
PULSE CODE MODULATION – Modulación por Impulsos Codificados.
- **POE:**
POWER OVER ETHERNET.

- **POV:**
PROCEDIMIENTO OPERATIVO VIGENTE.
- **PTT:**
PUSH TO TALK – También llamada PPH, utilizado en líneas half-dúplex.
- **PRI:**
PRIMARY RATE INTERFACE – Destinado a usuarios con requisitos de capacidad de comunicación mayores como oficinas, empresas con PBX digital o red de área local.
- **PSTN:**
PUBLIC SWITCHED TELEPHONE NETWORK – Red telefónica pública de conmutación de circuitos tradicional optimizada para comunicaciones de voz en tiempo real.
- **QSIG:**
Protocolo de señalización (ISDN) normalizado para su uso en redes de voz o servicios integrados. Utilizado para el establecimiento y la liberación de las llamadas (servicios básicos) y para el control de un gran número de funciones (servicios complementarios).
- **RAP:**
REGULACIONES AERONAUTICAS PERUANAS.
- **RAT:**
TIEMPO DE ACTIVACIÓN DEL RECEPTOR.
- **REDAN:**
RED DE DATOS DE NAVEGACIÓN AÉREA de España.
- **RED PENS:**
PAN EUROPEAN NETWORK SERVICE.
- **RDSI:**
RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS – Red que procede por evolución de la Red Digital Integrada (RDI) y que facilita conexiones digitales extremo a extremo.
- **RIP:**
ROUTING INFORMATION PROTOCOL - Protocolo de Información de Encaminamiento utilizado por los routers con la finalidad de intercambiar información acerca de redes de Internet a las que se encuentra conectados.
- **RNP:**
REQUIRED NAVIGATION PERFORMANCE – Estándar de navegación aérea.
- **ROIP:**
RADIO OVER IP.

- **RTC:**
RED TELEFÓNICA CONMUTADA – Conjunto de medios de transmisión y conmutación en circuito físico necesarios para enlazar dos terminales.
- **RTCA:**
RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR AERONAUTICS – Organización Norteamericana que realiza recomendaciones para la comunicación, navegación y monitoreo de la gestión del tráfico aéreo.
- **RTCP:**
PROTOCOLO REAL TIME TRANSPORT PROTOCOL – Su función principal es proveer realimentación de la calidad de servicio provista por RTP.
- **RTP**
REAL TIME TRANSPORT PROTOCOL – Se utiliza junto con el protocolo de control RTCP. Mientras que RTP transporta los flujos de medios (por ejemplo, audio y vídeo), RTCP se usa para supervisar las estadísticas de transmisión y calidad de servicio (QoS).
- **SAR:**
SEARCH AND RESCUE – Operación llevada a cabo por un servicio de emergencia, civil o militar, para encontrar a alguien que se cree perdido, enfermo o herido en áreas remotas.
- **SATCOM:**
ABREVIACIÓN PARA COMUNICACIONES POR SATÉLITE.
- **SDP:**
SESSION DESCRIPTION PROTOCOL – Protocolo para describir los parámetros de inicialización de los flujos multimedia.
- **SDR:**
SOFTWARE DEFINED RADIO.
- **SINLE SKY:**
Nombre asignado a las políticas de cielos únicos en la Unión Europea.
- **SIP:**
SESSION INITIATION PROTOCOL - Desarrollado como estándar para la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como el video, voz, mensajería instantánea, juegos en línea y realidad virtual.

- **SNMP:**
SIMPLE NETWORK MANAGEMENT PROTOCOL – Protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.
- **SQUELCH:**
Función de los equipos de radio frecuencia que nos permite limitar los ruidos de fondo de la señal de radio, silenciándolos.
- **TAD:**
RETRASO MÁXIMO DE ACTIVACIÓN DEL TRANSMISOR.
- **TDMA:**
TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS.
- **TETRA:**
TERRESTRIAL TRUNKED RADIO – Va de 380-430 MHz y 806-871 MHz.
- **UAEAC:**
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE AERONÁUTICA CIVIL (COLOMBIA).
- **UDP:**
USER DATAGRAM PROTOCOL – Protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión (debido a la información con que consta su cabecera).
- **UHF:**
ULTRA HIGHT FREQUENCY.
- **UIT:**
UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES.
- **VAD:**
VOICE ACTIVITY DETECTION.
- **VCS/CWP:**
VOICE COMMUNICATION SYSTEM / CONTROLLER WORKING POSITION.
- **VDL:**
VHF DATA LINK.
- **VHF:**
VERY HIGHT FREQUENCY.
- **VOCODECS:**
CODECS DE VOZ.

- **VOIP:**
VOICE OVER IP.
- **VR:**
VOICE RECORDER.
- **WAN:**
WIDE AREA NETWORK.
- **WG67:**
Asociación conformada por proveedores de servicios de navegación aérea, ANSP e industria.
- **WAVE™:**
Plataforma interoperable que permite el establecimiento de comunicaciones PTT de clase empresarial, altamente escalables sobre dispositivos y redes de banda ancha.



1.- INTRODUCCIÓN.

Servicios de Tránsito Aéreo se denominan a todas aquellas comunicaciones que se utilizan para organizar y dirigir el tránsito del espacio aéreo en un determinado territorio; a través de ellos se brindan diferentes servicios que se pueden dividir [1] en:

- Servicios de control de Tránsito Aéreo – ATC (control de área, aproximación y aeródromo).
- Servicio de información al vuelo (información meteorológica, condiciones en tránsito).
- Servicio de alertas (aeronaves en emergencias, restricciones de vuelo en ciertos espacios aéreos.).

Específicamente el Servicio de control de tránsito aéreo (ATC) resulta ser complejo por realizarse en distintas etapas durante el vuelo, las cuales no siempre son de responsabilidad y ejecución en todos los aeropuertos existentes, así tenemos [2]:

- Primera etapa: Servicio de control de aeródromo desde la torre de control del aeropuerto de salida y comprende la gestión de los vuelos desde el arranque de las aeronaves. Aquí se controla el movimiento de estas en las calles de rodaje así como sus despegues. Cuando las aeronaves han despegado, los controladores de torre transfieren los vuelos a los controladores de segunda etapa.
- Segunda etapa: Servicio de control de aproximación que inicia una vez que se empieza a controlar su ascenso a través de las rutas de salida establecidas, hasta que se incorpore a la aerovía correspondiente a su ruta, la cual forma parte de la red de rutas que cubre todo el espacio aéreo y conecta los aeropuertos. Esta etapa del vuelo se gestiona desde la dependencia que presta el servicio de control de aproximación. Una vez en la aerovía, el controlador transfiere la aeronave a un controlador de tercera etapa.
- Tercera etapa: Servicio de control de ruta el cual se inicia una vez establecidos los vuelos en las aerovías y es donde se gestiona el control de las aeronaves durante la fase de crucero hasta que comience su descenso hacia el aeropuerto de destino. Ésta es la fase más larga del vuelo y dependiendo de la ruta seguida por la aeronave, se controla desde los diferentes centros de control de ruta por los que pasa la aeronave, transfiriéndose los vuelos entre ellos de acuerdo a los procedimientos establecidos a nivel nacional o internacional.
- Cuarta etapa: Servicio de control de aproximación que vigila el descenso de las aeronaves para aterrizar en el aeropuerto de destino, lo cual es gestionado por los

controladores de aproximación, dirigiendo la trayectoria de estos vuelos hacia el aeropuerto de destino. Además, en los aeropuertos con más tráfico aéreo, los controladores de aproximación organizan las secuencias de aterrizaje, acomodando las trayectorias y las velocidades de las aeronaves hasta que se encuentran en las cercanías de los aeropuertos y están listos para comenzar su maniobra de aterrizaje, momento en que se trasfiere el vuelo a los controladores de control de aeródromo.

- Quinta etapa: Servicio de control de aeródromo que se da inicio cuando las aeronaves están alineadas con las pistas de aterrizaje. Los controladores de torre autorizan el aterrizaje cuidando siempre de que la pista esté libre tanto de otros vuelos como de cualquier objeto que pudiese afectar esta maniobra. Una vez que la aeronave ha abandonado la pista de aterrizaje, se controla el tránsito de la misma, a través de las calles de rodaje hasta la plataforma de estacionamiento.

A nivel internacional, todas las comunicaciones que allí suceden están regidas por normas y recomendaciones delineadas por la Organización Internacional de Aviación Civil OACI; en Perú están regidas y reguladas por normas (elaboradas a partir de las recomendaciones OACI) que son emanadas por el MTC, a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil, denominadas RAP (Regulaciones Aeronáuticas Peruanas), específicamente los capítulos 139 “Certificación de Aeródromos”, 310 “Servicios de Telecomunicaciones Aeronáuticas”, 311 “Servicios de Tránsito Aéreo”, 315 “Servicio de Información Aeronáutica”. Además los servicios de tránsito aéreo de torres de control de la Fuerza Aérea se regulan bajo normas adicionales que se emanan en consecuencia de las anteriormente señaladas. En ese sentido las torres de control de la Fuerza Aérea, si bien forman parte del sistema nacional, adicionalmente guardan cierta independencia pues tienen otro alcance de responsabilidad paralela. En todos los casos cualquier norma (sea las emanadas por el MTC o la Fuerza Aérea) deben alinearse y no transgredir las disposiciones de carácter obligatorio que son dictadas por OACI.

Cabe precisar además que las torres de control de la Fuerza Aérea, dentro de los servicios de control de tránsito aéreo, solo realizan servicios **de control de aproximación y servicios de control de aeródromo**, mas no así servicios de control de ruta (tercera etapa) – los que son gestionados enteramente por CORPAC.

En esas normas (OACI, RAP y FAP), se establece que todos estos servicios se proveen estableciendo comunicaciones entre una torre de control con aeronaves y otras estaciones de coordinación, mediante sistemas que posibiliten las comunicaciones orales directas [3], lo que se puede materializar en una red de comunicación desplegada en una topología tipo estrella, pero empleando diversos medios de comunicación como equipos de telefonía analógica, telefonía IP y radios de dos vías en diversas bandas (aéreas y terrestres). Específicamente las torres de control de la FAP, tal como se aprecia en la figura N° 1, se encuentran bajo responsabilidad de un centro de control de área y centros de información de vuelo de alcance regional y nacional, los cuales deben coordinar con otras torres de control aledañas a su zona y con el sistema de control de CORPAC a fin de gestionar la información que posibilite un tránsito aéreo seguro en el área de su responsabilidad. Estos Centros deben brindar hasta las aeronaves mismas, servicios de información al vuelo y tratamiento en caso de emergencias, lo que actualmente lo realizan transmitiendo la información a la torre de control cercana y ésta a las aeronaves.

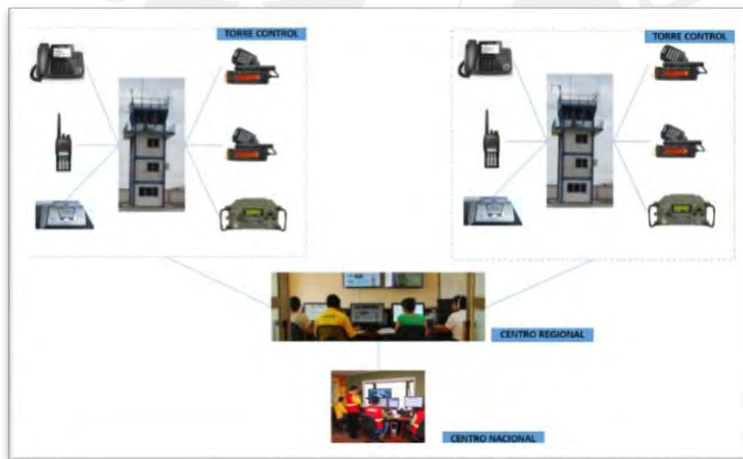


Figura 1: Esquema de Red de un Sistema de Tránsito Aéreo en la FAP.

En resumen, como puede apreciarse, en las torres de control de la FAP existe alta heterogeneidad de las comunicaciones pues todas ellas se deben implementar en una misma área, con muchos participantes y con diferentes medios de comunicación empleándose en un mismo lugar y en un mismo tiempo; incluso no existiendo la posibilidad de una comunicación directa (muchas veces necesaria) entre un centro regional o nacional con una aeronave en una zona de responsabilidad de una determinada torre.

Ante esta situación, plantear una evolución a esta red de voz que materializa el control de tránsito aéreo en la Fuerza Aérea debe abordar necesariamente la actual ausencia de convergencia e

interoperabilidad que presenta, con la finalidad de hacer eficaces las labores de control y coordinación sobre todo en periodos de alta densidad de tráfico.

1.1.- IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Para esta parte de la tesis, nos hemos apoyado en la metodología de marco lógico basándonos, específicamente en la etapa de identificación de problemas y alternativas de solución, en una guía práctica de un proyecto de tecnología [4], que posibilitará guiar adecuadamente nuestro análisis.

1.1.1.- ANÁLISIS DE INVOLUCRADOS.

Siendo necesario identificar a los involucrados, debemos considerar como directos a aquellos cuyas funciones y responsabilidades laborales están estrechamente ligadas a los servicios de tránsito aéreo que se brindan en las torres de control bajo responsabilidad de la Fuerza Aérea del Perú, siendo estos:

- Controladores de tránsito aéreo en las torres de control de la FAP.- Resultan ser los administradores del espacio aéreo de su responsabilidad; guiando y ofreciendo información a las aeronaves en los espacios aéreos controlados con la finalidad de proporcionar seguridad, orden y eficiencia al tráfico aéreo.
- Personal que cumple funciones de apoyo al sistema de control de tránsito aéreo en las torres de control de la FAP.- Resultan ser todo el personal que maneja y dirige equipos que brindan apoyo al sistema de control de tránsito aéreo. Entre ellos podemos mencionar a los encargados de los equipos contra incendio, de las ambulancias de emergencia, personal de seguridad de rampa y personal de manejo de unidades de apoyo al vuelo.
- Personal del sistema de control regional.- Aquellos que tienen responsabilidad y capacidad de decisión en torres de control agrupadas por un espacio geográfico más amplio (norte, centro, sur, oriente).
- Personal de tripulación aérea.- Todo el personal que se encuentra a bordo de una determinada aeronave dentro del área de responsabilidad de una torre de control (ya sea en tierra como en aire), incluyendo a la tripulación de vuelo.

Del mismo modo, al ser el control de tránsito aéreo un servicio que permite brindar seguridad territorial a nivel nacional, los involucrados indirectos resultan ser toda la población nacional de Perú que habita dicho territorio (31, 237, 385 habitantes según último censo nacional) [5].

1.1.2.- DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DEL ATC EN LA FAP.

Para identificar el problema existente en este ambiente de operaciones debemos entender en primer término las funciones que en ellas se realizan. Pueden existir diversos conceptos para definir los servicios de tránsito aéreo (ATS), pero el que mejor clarifica su alcance es el expresado por la Dirección General Aeronáutica Civil de Perú en su documento normativo RAP 311 CAP1 Pág. 7 [6], donde se indica que es una expresión genérica que se aplica, según el caso, a los servicios de información de vuelo, alerta y control de tránsito aéreo. Asimismo, de acuerdo a las Regulaciones Aeronáuticas Peruanas (RAP) [7], se indica que éstos constituyen servicios esenciales para la gestión, seguridad y eficiencia de los vuelos, cumpliendo con los siguientes objetivos:

- Prevenir colisiones entre aeronaves.
- Prevenir colisiones entre aeronaves en el área de maniobras con obstáculos que haya en dicha área.
- Acelerar y mantener ordenadamente el movimiento del tránsito aéreo.
- Asesorar y proporcionar información útil para la marcha segura y eficaz de los vuelos.
- Notificar a los organismos pertinentes respecto a las aeronaves que necesitan ayuda de búsqueda y salvamento prestando la mayor colaboración posible a dichos organismos según sea necesario.

Del mismo modo, en dicho documento técnico se especifica que los servicios de tránsito aéreo se pueden dividir en:

- a. El servicio de control de tránsito aéreo, para satisfacer los objetivos relacionados a la prevención de colisiones y manutención del orden del tránsito aéreo. Este servicio se divide en las tres partes:
 - Servicio de control de área: El suministro del servicio de control de tránsito aéreo para vuelos controlados, para cumplir los objetivos de prevención de colisiones entre aeronaves y acelerar y mantener ordenadamente el movimiento del tránsito aéreo.
 - Servicio de control de aproximación: El suministro del servicio de control de tránsito aéreo para aquellas partes de los vuelos controlados relacionadas con la llegada o salida, a fin de satisfacer los objetivos relacionados a la prevención de colisiones entre aeronaves y acelerar y mantener ordenadamente el movimiento de tránsito aéreo.

- Servicio de control de aeródromo: El suministro del servicio de control de tránsito aéreo para el tránsito de aeródromo, a fin de satisfacer los objetivos prevención de colisiones entre aeronaves y entre obstáculos, así como el acelerar y mantener ordenadamente el movimiento de tránsito aéreo.
- b. El servicio de información de vuelo, para satisfacer el objetivo de asesorar y proporcionar información útil para la marcha segura y eficaz de los vuelos.
 - c. El servicio de alerta, para satisfacer el objetivo de notificación a los organismos pertinentes respecto a las aeronaves que necesitan ayuda de búsqueda y salvamento prestando la mayor colaboración posible a dichos organismos según sea necesario.

En concordancia a ello, la Fuerza Aérea del Perú cuenta con torres de control que brindan servicios de tránsito aéreo y que de acuerdo a su ubicación geográfica y área de responsabilidad se pueden encontrar catalogados como servicios de control de aproximación, servicios de control de aeródromo, servicios de información de vuelo o servicios de alerta; entendiendo que en una misma infraestructura se pueden brindar uno o más de estos tipos de servicios, los cuales se ejecutan empleando diversos medios de comunicación.

Un ejemplo típico de esta implementación de comunicaciones heterogéneas para la administración de tránsito aéreo podemos encontrarlo en el siguiente gráfico N° 2:



Figura 2: Diagrama de Comunicaciones Genérico de una Torre de Control.

Dentro de este escenario podemos encontrar que para la materialización del servicio de tránsito aéreo de una torre de control de nivel control de aproximación (la torre de control de más alto nivel que podríamos encontrar dentro de la Fuerza Aérea), se debe establecer los siguientes tipos de comunicación, todas ellas independientes:

- Comunicaciones con aeronaves en vuelo denominadas “COMUNICACIONES DE CONTROL” (utilizando VHF en banda aérea).
- Comunicaciones con aeronaves en tierra denominadas “COMUNICACIONES EN SUPERFICIE” (utilizando VHF en banda aérea).
- Comunicaciones con torre de control CORPAC denominadas “COMUNICACIONES DE COORDINACIÓN CORPAC” (utilizando VHF en banda aérea).
- Comunicaciones con CORPAC y otros estamentos externos como estaciones de bomberos, policías, etc. denominadas “COORDINACIONES DIRECTAS” (utilizando telefonía fija).
- Comunicaciones con dependencias internas como estaciones meteorológicas “ANEXO COORDINACIÓN” (utilizando un anexo telefonía IP).
- Comunicaciones con personal de seguridad interna de base, denominadas “COMUNICACIONES DE SEGURIDAD” (utilizando VHF en banda terrestre).
- Comunicaciones con participantes de servicios al vuelo como carros contra incendio, ambulancia, tripulación de rescate, equipo de revisión de pista, denominadas “COMUNICACIONES DE COORDINACIÓN” (utilizando VHF en banda terrestre).

Adicionalmente existen otras dependencias que por sus labores inherentes deben contar con información en tiempo real sobre lo que está aconteciendo en el espacio aéreo de su responsabilidad, entre los cuales tenemos:

- Centro de búsqueda y rescate (SAR) a través de un equipo VHF banda aérea sólo en modo “escucha”, teléfono directo y anexo de coordinación.
- Centro de control de aeronaves (CCA) a través de un equipo VHF banda aérea sólo en modo “escucha” y anexo de coordinación.

Para lograr el desarrollo de estas comunicaciones, los tipos de comunicaciones anteriormente mencionados se asientan en tecnologías de telecomunicaciones entre las cuales se encuentran:

a. Telefonía Analógica.

La líneas analógicas son parte de las denominadas Redes de Telefonía Conmutada (RTC) y fueron creadas eminentemente para transmisión de voz, aunque con el desarrollo de la tecnología y la demanda también se transmitían datos, tal es el caso de los FAX y las conexiones ADSL. Su principio tecnológico se basa en la transmisión de una señal eléctrica creada a partir de ondas de sonido (voz) por un par de cables de cobre que limitaban a cada línea un número de identificación y un punto geográfico fijo.

b. Telefonía Digital.

Resultan ser líneas digitales por las cuales diversas comunicaciones pueden transmitirse (siempre en formato digital) a la vez. Este tipo de comunicaciones es asociado a lo que se denomina la Red Digital de Circuitos Integrados (RDSI), la cual se basa en un protocolo de comunicaciones digital y un codec G711, que proporciona múltiples servicios que va desde la transmisión de voz hasta los teleservicios. Mediante esta tecnología la voz y los datos viajan a la vez.

c. Telefonía IP.

Es una comunicación de voz por medio de un canal de transmisión, el cual es la red de datos, conectando un dispositivo IP a una central IP. En general se utiliza el protocolo estándar SIP o similar para el establecimiento de estas comunicaciones. En este tipo de tecnología ni el número de canales ni la fijación de un teléfono determinado a un punto geográfico son limitantes.

d. Radio de Dos Vías Analógica.

La comunicación de radio de dos vías (eminentemente transmisora de voz) fue una de las primeras aplicaciones de la radio. Durante la mayor parte de su historia, el radio de dos vías ha sido un medio análogo y utilizan ondas de Radio moduladas en AM (modulación en amplitud) o FM (modulación de frecuencia) para realizar la transmisión. Estas ondas producen transmisiones de voz claras, pero no pueden filtrar otros ruidos alrededor del remitente. Además son comunicaciones de índole abierta pues basta situarse en la frecuencia de operación y tener la modulación correcta para poder escucharlas.

En Perú, de acuerdo al Plan de Atribución de Frecuencias [8], las bandas de comunicaciones se encuentran reservadas para tales fines; en ese sentido, las bandas reservadas para comunicaciones de índole aeronáutica se dividen en lo siguiente:

- Servicio fijo aeronáutico: Se denomina así al Servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados, que se suministra primordialmente para la seguridad de la navegación aérea y para que sea regular, eficiente y económica la operación de los transportes aéreos. Las bandas asignadas son:
 - ✓ 21870 – 21924 KHz
 - ✓ 23200 – 23350 KHz
- Servicio móvil aeronáutico: Que es el servicio móvil entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave, o entre estaciones de aeronave, en el que también pueden participar las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros que operen en las frecuencias de socorro y de urgencia designadas. Las bandas son:
 - ✓ 4650 – 4700 KHz
 - ✓ 5450 – 5730 KHz
 - ✓ 6525 – 6685 KHz
- Servicio móvil aeronáutico: Así denominado al Servicio móvil aeronáutico reservado a las comunicaciones aeronáuticas relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos, principalmente en las rutas nacionales o internacionales de la aviación civil. Las bandas atribuidas son:
 - ✓ 8815 – 8965 KHz
 - ✓ 10005 – 10100 KHz
 - ✓ 13260 – 13360 KHz
 - ✓ 17900 – 17970 KHz
 - ✓ 21924 – 22000 KHz
 - ✓ 117.975 – 137.000 KHz (el más utilizado)
- Servicio móvil aeronáutico (OR)2: Servicio móvil aeronáutico destinado a asegurar las comunicaciones, incluyendo las relativas a la coordinación de los vuelos, principalmente fuera de las rutas nacionales e internacionales de la aviación civil. Las bandas son:
 - ✓ 4700 – 4750 KHz

- ✓ 6685 – 6765 KHz
- ✓ 8965 – 09040 KHz
- ✓ 11175 – 11400 KHz
- ✓ 13200 – 13260 KHz
- ✓ 15010 – 15100 KHz
- ✓ 17970 -18030 KHz

e. Radio de Dos Vías Digital.

Resulta ser una evolución de las radios de dos vías, con la cual se ha logrado una mejora en el desempeño y productividad. En la actualidad podemos encontrar diversos ejemplos de radio digital, normalmente incluyendo protocolos propietarios de fabricantes como son APCO Proyecto 25 (un estándar para la radio digital de seguridad pública de Nextel Iden), MOTOTRBO (de Motorola), NXDN (implementado por ICOM) y NEXEDGE (Kenwood IDAS).

Como ventajas de esta evolución podemos mencionar la mayor eficiencia del espectro pues por la capacidad de comprensión el ancho de canal requerido resulta ser menor que los convencionales 25 KHZ (además de poder utilizar la misma porción del espectro para transferir ciertos datos como ubicación por ejemplo), mejor calidad de voz (al eliminar el ruido de fondo), privacidad de la comunicación (al utilizar CODECS propietarios), facilidad en la convergencia, flexibilidad (por ejemplo mediante la técnica de acceso al medio TDMA se puede utilizar el mismo canal para la realización de múltiples llamadas).

1.1.3.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

En este entorno descrito, donde se puede percibir una alta heterogeneidad de comunicaciones que deben ser correctamente gestionadas para realizar eficientemente el control de tránsito aéreo, encontramos como problema central la **“limitada capacidad de gestión del tránsito aéreo en las torres de control de la Fuerza Aérea, en periodos de alta densidad de tráfico”**.

Sin embargo, dada la complejidad del sistema de control por voz de tránsito aéreo, es preciso hallar las causas que la originan, así como los efectos que causan. Para ello se plantea el desarrollo de un árbol de causas-efectos.

1.1.4.- ARBOL DE CAUSAS Y EFECTOS.

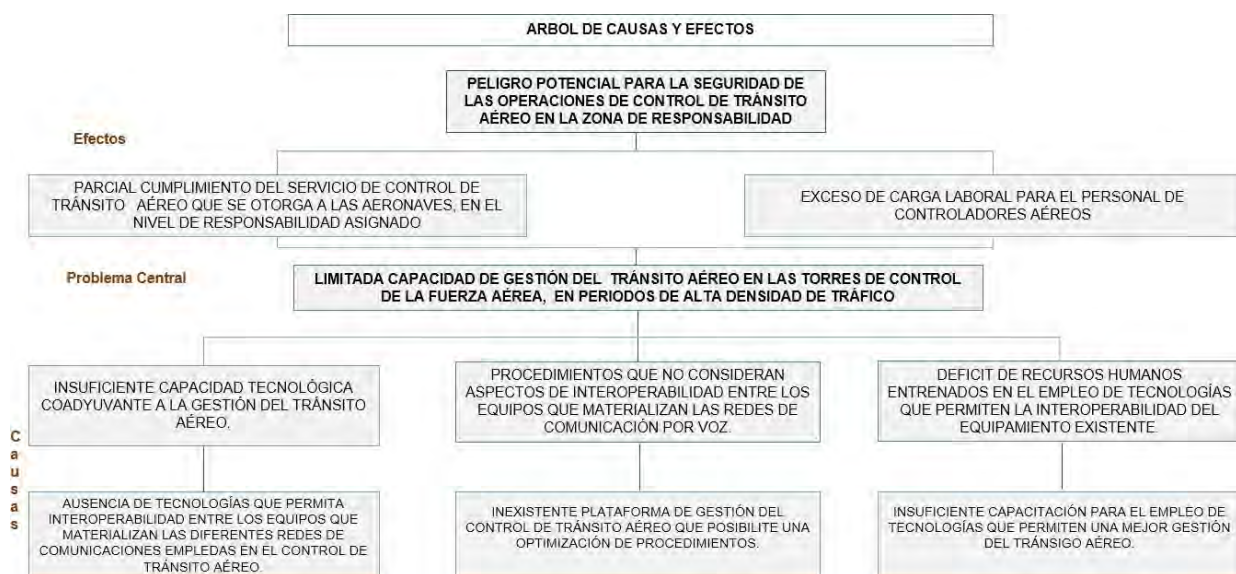


Figura 3: Árbol de Causas y Efectos del Problema Central Encontrado

El problema central encontrado produce los siguientes efectos dentro del servicio de control de tránsito aéreo de responsabilidad de la Fuerza Aérea:

- **Parcial cumplimiento del servicio de control de tránsito aéreo que se otorga a las aeronaves, en el nivel de responsabilidad asignado.-** Esto tiene un efecto negativo en el control que debe ejercerse en la zona de responsabilidad, sobre todo en periodos de alta densidad de tráfico. En ese sentido podríamos catalogar como periodo de alta densidad de tráfico a aquellos momentos en el cual el (los) operador (es) ATC deben atender más de una aeronave al mismo tiempo para brindar servicios de control de aeródromo en sus diferentes modalidades; lo cual si no es bien gestionado, podría ser un peligro potencial para la seguridad de las operaciones aéreas.
- **Exceso de carga laboral para el personal de control de tránsito aéreo.-** El tener que gestionar el control de tránsito aéreo en periodos de alta densidad, operando de manera simultánea diferentes equipos de comunicaciones; muchos de los cuales presentan una limitada capacidad operativa propia de su tecnología de origen y de su antigüedad, produce una alta carga laboral en el personal de controladores aéreos, lo que acrecienta un peligro potencial contra la seguridad de este ámbito. En las torres de control de la Fuerza Aérea, se podría considerar un exceso de carga laboral la atención continua en

ambos servicios de manera ininterrumpida por al menos una hora, lo que conlleva al aumento del potencial peligro de pérdida de control.

Por esa razón, un exceso de carga laboral en este entorno es contraproducente para la seguridad de las operaciones aéreas y ejemplos en la historia de la aviación hay muchos; tal es el caso del accidente del Lago de Constanza o también conocido como “Colisión aérea en Überlingen” del 1 de julio de 2002, el cual fue un accidente que tuvo lugar en entre Alemania y Suiza cuando dos aeronaves (2937 de Bashkirian Airlines y 611 de DHL) chocaron en pleno vuelo sobre la localidad alemana de Überlingen, causando la pérdida total de vidas humanas. Este accidente, de acuerdo con la investigación llevada por la agencia Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung de Alemania [9], se produjo por sobrecarga de trabajo del controlador aéreo, lo que le condujo a dar instrucciones contradictorias, produciendo confusión en la tripulación del vuelo de Bashkirian Airlines.

A su vez, este problema central es producido por las siguientes causas directas identificadas:

- **Insuficiente capacidad tecnológica coadyuvante a la gestión de tránsito aéreo.**- Esto dado que la mayoría de los equipos de comunicaciones que se emplean para materializar las diversas redes de comunicación que posibilitan el control de tránsito aéreo (entre participantes como las torres de control, aeronaves, centros de control regional, medios de seguridad, medios de ayuda al control en tierra, etc.) son elementos basados en tecnologías convencionales que se operan de forma independiente lo que conlleva a crear, como se indicó anteriormente, un ambiente heterogéneo y complejo para gestionar para los controladores de tránsito aéreo.
- **Procedimientos que no consideran aspectos de interoperabilidad entre los equipos que materializan las redes de comunicación por voz.**- Esto debido a que dentro de la organización de las funciones procedimentales del control de tránsito aéreo que están directamente relacionados a la seguridad operacional de tan importante labor, se encuentran establecidos procedimientos que debido a que se asientan en tecnología obsoleta, no consideran aspectos que posibiliten intercambiar información entre las diversas redes de comunicaciones que posibilitan el control de tránsito aéreo.

- **Déficit de recursos humanos entrenados en el empleo de tecnologías que permitan interoperabilidad del equipamiento existente.**- Debido a la recurrencia en el uso de estos equipamientos y la forma procedimental establecida, el personal directamente relacionado al control de tránsito aéreo carece de conocimientos para emplear tecnologías que permitan la interoperabilidad del equipamiento existente.

1.1.5.- ARBOL DE FINES Y MEDIOS.

Una vez establecidos las causas y efectos que giran en torno al problema central, es preciso reconocer los fines y medios que se posibilitarían, en caso de realicen las acciones pertinentes, eliminar el problema central encontrado.



Figura 4: Árbol de Fines y Medios del Problema Central Encontrado

1.2.- SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA ÓPTIMA.

1.2.1.- EVOLUCIÓN Y ACTUALIDAD DE LAS TELECOMUNICACIONES EN ENTORNOS ATC.

Dada la complejidad y el nivel de importancia que involucra abordar esta problemática, se hace necesario antes de empezar a detallar los medios y acciones requeridas, indagar la realidad y evolución del control de tránsito aéreo alrededor del mundo.

Hoy en día, las telecomunicaciones aeronáuticas de cualquier ámbito, son regidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), específicamente en las regulaciones

emanadas; el Anexo 10 “Utilización del Espectro de Radio Frecuencias Aeronáuticas”. Este regula específicamente los modos de comunicación en un entorno ATC y en ella se indica que estas comunicaciones forman parte de los servicios denominados “SERVICIOS CNS” (COMUNICACIONES, NAVEGACIÓN Y VIGILANCIA), dentro de ellos, las comunicaciones y su evolución se han dividido en:

a.- Servicios de Comunicaciones T-A (Tierra-Aire).

Actualmente empleadas para el intercambio de instrucciones y otras informaciones entre pilotos y controladores aéreos. Tradicionalmente se han utilizado las transmisiones de radio VHF en modulación AM pero existe también actualmente comunicaciones por datos denominadas CPDLC (CONTROLLER PILOT DATA LINK COMMUNICATION), las que se emplean principalmente en centros de control de ruta y dejando las comunicaciones de voz como respaldo y para administración y torre. Esta tendencia se puede apreciar a lo largo de los años pero son esfuerzos que hasta la fecha se han implementado principalmente en la gran industria aeronáutica comercial como respuesta a la creciente demanda de confiabilidad y eficacia de las comunicaciones en el entorno ATC. Esto data desde los años 80 donde el concepto CNS/ATM (Comunicaciones, Navegación y Vigilancia – Gestión del tráfico aéreo) se empezó a materializar con la implementación de un sistema digital de comunicaciones de datos al que se denominó ACARS (AIRCRAFT COMMUNICATIONS ADDRESSING AND REPORTING SYSTEM) que viene a ser un sistema que conectado a los equipos de comunicaciones de abordaje (VHF, HF o SATCOM) permite el envío y recepción de mensajes a través de una red automatizada de estaciones de tierra que está conectada a un sistema distribuidor centralizado que enruta los mensajes de forma automática entre el avión y el receptor de tierra, y viceversa [10].

Posteriormente la OACI decidió mejorar este sistema realizando el estándar FANS (FUTURE AIR NAVIGATION SYSTEM). En él se establecían por un lado, los principios para desarrollar una estrategia futura de gestión del tráfico aéreo por medio de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS, COMMUNICATIONS, NAVIGATION, SURVEILLANCE) utilizando las redes de satélites y la radio convencional y, por otro, los estándares necesarios para llevarlo a cabo [11]. De este estándar surgieron evoluciones tales como FANS-1 (de la Empresa BOEING) y FANS-A y FAN-B (de la Empresa AIRBUS), las cuales aportan otras funcionalidades a nivel operativo como por ejemplo el proporcionar vigilancia Modo S elemental (ELS, ELEMENTARY SURVEILLANCE) y mejorada (EHS, ENHANCED SURVEILLANCE), hacer más precisa la navegación aérea mediante el

estándar RNP (REQUIRED NAVIGATION PERFORMANCE), incorporar capacidades para MLS (MICROWAVE LANDING SYSTEM) y GLS (GPS LANDING SYSTEM), así como aplicaciones ATM de automatización tierra-aire.

Otras soluciones de comunicaciones son las presentadas por EUROCONTROL con LINK2000+ (para uso en áreas continentales europeas en un inicio y que utiliza un enlace digital en VHF) [12], cabe precisar que este lanzamiento estuvo acompañado de una estrategia comercial que consistía en realizar rebajas de las tasas de rutas a las compañías aéreas que lo instalasen. De ella se desprende la implementación en el ATC del concepto denominado ADS-B (AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE-BROADCAST), una técnica de vigilancia basada en la difusión por parte de las aeronaves de su identidad, posición y datos de vuelo (velocidad, rumbo, altitud, estimadas, etc.) sin necesidad de interrogación desde tierra como lo hacen los equipos transponder o también conocidos como radares secundarios.

b.- Comunicaciones T-T (Tierra-Tierra).

Hoy en día incluyen líneas telefónicas empleadas para las comunicaciones de voz y las redes de datos entre los diferentes centros y torres de control. Por lo que se refiere a las comunicaciones tierra-tierra. En el 2007 EUROCONTROL creó la red PENS de servicio pan-europeo (Pan EUROPEAN NETWORK SERVICE) [13] Con lo que se creó una red IP (INTERNET PROTOCOL) para que los servicios pan-europeos como EAD (EUROPEAN AERONAUTICAL INFORMATION DATABASE), CFMU (CENTRAL FLOW MANAGEMENT UNIT) y AMHS (ATS MESSAGE HANDLING SYSTEM) puedan enlazar e interoperar mejorando así el acceso y gestión de información en beneficio de la comunidad aeronáutica. Es en esa necesidad de integrar los servicios de comunicaciones aire – tierra con tierra – tierra que surgen las aplicaciones de tecnologías que posibiliten la convergencia, tales como la IP y la Radio sobre IP.

Como experiencia regional de evolución de redes de comunicaciones ATC, es importante mencionar a Colombia, que en el 2016 su Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil de Colombia (UAEAC), otorgó a la Empresa Rohde & Schwarz un contrato para modernizar el sistema de control de tránsito aéreo (ATC) de Colombia. Dentro de este proceso se les encargó no solo el suministro de radios, sino también la integración de los mismos dentro de su ambiente operacional, así como de los subsistemas suministrados por otras compañías. El contrato permitió [14] la modernización de un total de 106 sitios de radio, incluyendo todo tipo de torres

de control y centros de coordinación dentro de su infraestructura. Los equipos suministrados fueron los R&S Series4200, en sus versiones de radio, transceptor y receptor, los cuales tienen también la capacidad de transmisiones de datos en modos ACARS Y VDL, su diseño se asienta en tecnología de radio digital, RoIP y SDR (radio definida por software).

A nivel global un buen ejemplo de evolución de redes ATC es España donde la organización pública empresarial adscrita al Ministerio de Fomento, “ENAIRES” es el gestor de la navegación aérea, certificado para la prestación de servicios de control ATC; por esa razón es responsable de las redes de comunicación, navegación y vigilancia necesarias para que las aeronaves vuelen de forma segura. ENAIRES es el cuarto proveedor de navegación aérea en Europa por volumen de tráfico aéreo, con aproximadamente 2 millones de vuelos al año y gestiona, como se observa en la figura N° 4, alrededor de 2,2 millones de kilómetros cuadrados de espacio aéreo desde 5 centros de control aéreo (Barcelona, Canarias, Madrid, Baleares y Sevilla) y 21 torres de control.



Figura 5: Diagrama de Red ENAIRES Implementada en España

Para el cumplimiento de esta misión, ENAIRES se asienta en una red tecnológica integral [15] denominada REDAN (Red de Datos de Navegación Aérea), una red de comunicación que integra voz y datos para fines CNS / ATM y que brinda cobertura en todas las instalaciones de ENAIRES permitiendo la interconexión con otras redes aeronáuticas. Con ello todas las aeronaves que despegan, aterrizan o transitan por el ámbito de responsabilidad reciben servicios de comunicaciones, navegación y vigilancia a través de su red ATC.

ENAIRES ejecutó hasta el 2016 un proyecto destinado a adaptar REDAN comprendiendo dos actividades principales:

- Despliegue de una red basada en tecnología MPLS e implementación de una infraestructura de doble proveedor de servicios de telecomunicaciones para aumentar su disponibilidad.
- Integración de la comunicación de voz ATC en la red de nueva generación empleando VoIP y RoIP.

Con ello, algunas de las capacidades obtenidas por la Red REDAN en aspectos de transmisión recepción de datos se refiere a:

- Voz IP.
- Datos radar
- Mensajes aeronáuticos (Planes de vuelo, por ejemplo)
- Intercambios internacionales (los países fronterizos se intercambian los datos de sus radares para aumentar su cobertura)

Como estos y otros ejemplo, podemos apreciar que en el mundo de la aviación, se ha venido desarrollando en los últimos años, diversas mejoras para la optimización del control de tránsito aéreo, todas ellas recomendadas por la OACI como respuesta al grado de complejidad que se va alcanzando (por el incremento del tránsito aéreo) y la necesidad de optimizar la seguridad operacional del entorno. Estas recomendaciones son acogidas por las diversas autoridades aeronáuticas regionales y/o nacionales (como es el caso de la Dirección General de Aeronáutica Civil del Perú por ejemplo).

En lo que respecta a telecomunicaciones en un entorno ATC, estas recomendaciones y/o disposiciones se encuentran en el Anexo 10 del convenio sobre aviación civil internacional “normas y métodos recomendados internacionales”

Así tenemos [16], por ejemplo:

- La recomendación de implementación de un Enlace de datos en VHF (VDL), subred móvil constituyente de la red de telecomunicaciones aeronáuticas (ATN), que funciona en la banda de frecuencias VHF móviles aeronáuticas. Además, el VDL puede proporcionar funciones tales como la voz digitalizada. Esta recomendación no ha sido a la fecha generalizada en Perú dado el costo de implementación que implica (es necesario la implementación de equipamiento tanto en aeronaves como en torres de control).
- La recomendación de implementación de un sistema denominado CPDLC (CONTROLLER–PILOT DATA LINK COMMUNICATIONS), que es una especificación emanada por OACI en el anexo 10, séptima edición de julio del 2016, y constituye un

medio de comunicaciones entre el controlador y el piloto mediante enlace de datos para las comunicaciones ATC, la cual ha sido acogida por entidades reguladoras nacionales en otros países pero para aeronaves comerciales de gran envergadura de manera progresiva.

- Otra de las recomendaciones es la referente a la aplicación en los equipos de comunicaciones del servicio móvil aeronáutico de un espaciamiento y ancho de canal de 8,33 KHz, aunque esta misma recomendación reconoce que aún existen regiones en el mundo donde el uso para estos fines de 25 kHz, 50 KHz e incluso 100 KHz aún es apropiado.

Existen además proyectos propios de organizaciones regionales o nacionales, tal es el caso de la European Organization for Civil Aviation Equipment, abreviado EUROCAE, que es una organización que se ocupa de crear estándares para la electrónica, tanto en los aviones como para sistemas terrestres empleados para la localización y navegación aérea, además de desarrollar normas y documentos al respecto. EUROCAE es el equivalente en Europa a la RTCA norteamericana. La introducción de la tecnología IP en entornos de radios para ATC es justamente estandarizada por la EUROCAE para su diseño, implementación y uso en la Unión Europea a través de sus papers ED-136 – ED-139 [17].

De todas las recomendaciones emanadas por la OACI, las que se orientan a ser herramientas que solucionarían el problema actual encontrado de limitada capacidad de gestión del control de tránsito aéreo en las torres de control de la Fuerza Aérea en periodos de alta densidad de tráfico, podrían ser la “Implementación de un sistema CPDLC o VDL” y “la implementación de soluciones con tecnología Radio sobre IP en el sistema ATC”.

1.2.2.- IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES.

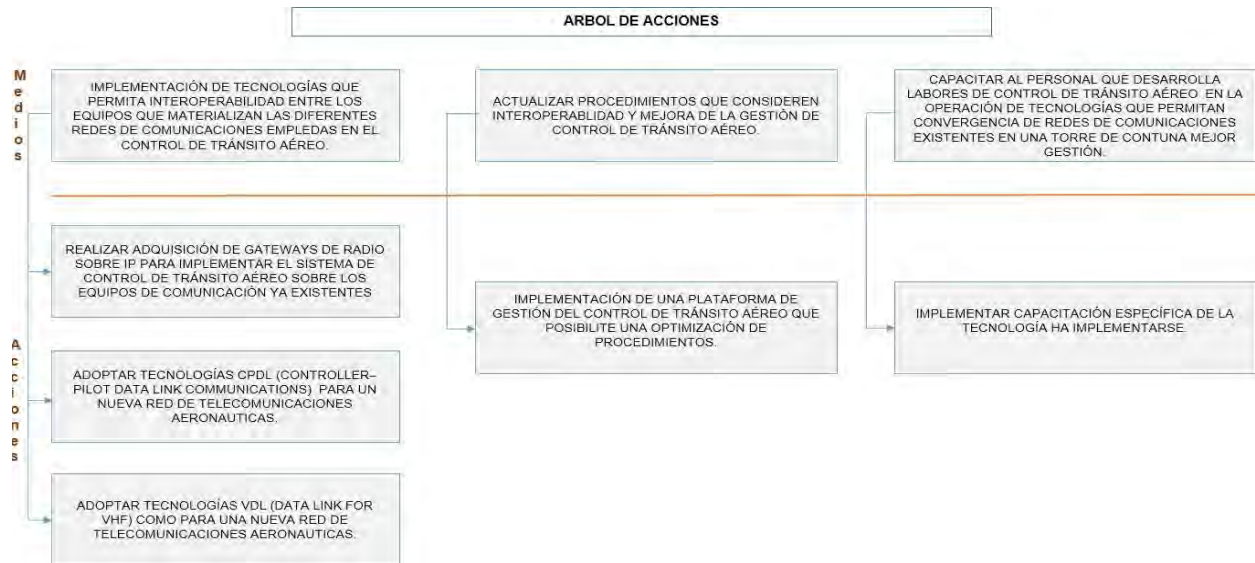


Figura 6: Árbol de Acciones

El árbol de acciones ha posibilitado identificar las distintas estrategias (basadas en el conocimiento del contexto mundial) para alcanzar el objetivo central, operacionalizando los medios que estuvieron en la parte inferior del árbol de objetivos debido a que ya no existen medios adicionales que los genere.

1.2.3.- SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.

Habiendo visto que la recomendación OACI adecuada a la realidad de la FAP para mejorar el actual problema de la limitada capacidad de gestión del control de tránsito aéreo en sus torres de control en periodos de alta densidad de tráfico resulta ser la implementación de soluciones tecnológicas; y habiendo reconocido en el mundo de la aeronáutica que dicha implementación se ha realizado desde diversas perspectivas, queda por definir cuáles de éstas resultaría adecuada para ser utilizada en el entorno de la Fuerza Aérea, que como se ha mencionado anteriormente, lleva a cabo actividades de control de aeródromo y control de aproximación.

Para ello se evaluarán las alternativas siguientes:

ALTERNATIVA 1.- Realizar la adquisición de GATEWAYS de radio sobre IP para implementar el sistema de control de tránsito aéreo sobre los equipos de comunicación existentes, lo que posibilitará la implementación de una plataforma de gestión que posibilite la optimización de los

procedimientos, con la adecuada capacitación de los directamente involucrados en esta importante misión.

ALTERNATIVA 2.- Realizar la adopción de tecnologías CPDL (CONTROLLER-PILOT DATA LINK) para implementar el sistema de control de tránsito aéreo sobre los equipos de comunicación existentes, lo que posibilitará la implementación de una plataforma de gestión que posibilite la optimización de los procedimientos, con la adecuada capacitación de los directamente involucrados en esta importante misión.

ALTERNATIVA 3.- Realizar la adquisición de VDL (VHF DATA LINK) para implementar el sistema de control de tránsito aéreo sobre los equipos de comunicación existentes, lo que posibilitará la implementación de una plataforma de gestión que posibilite la optimización de los procedimientos, con la adecuada capacitación de los directamente involucrados en esta importante misión.

Para dicha evaluación se han definido cuatro criterios (con igual ponderación entre ellos):

1) Viabilidad a corto plazo de la Implementación.

Contemplado desde el punto de vista de la probabilidad de llevarse a cabo la implementación de alguna de las alternativas de solución en los próximos meses. Tanto las alternativas 2 (Implementación CPDL) como la 3 (implementación VDL) requieren que las modificaciones a realizarse no sólo incluyan las torres de control objetivo del estudio, sino también las aeronaves que interactuarán con las mismas. De hecho la viabilidad de ambas soluciones, como se ha visto en los ejemplo de otros países, incluirían previamente de una norma emanada por la autoridad aeronáutica competente (DGAC) y con un alcance nacional y no sólo a nivel FAP. En contraposición, la implementación de la solución 1 (GATEWAYS RoIP) sólo se enfoca en modificaciones en las torres de control mismas y no requieren de normas adicionales, por lo que la viabilidad de la misma resulta ser más concreta. Este criterio es seleccionado dado que tratándose de seguridad operacional se requiere que esta sea abordada en el menor tiempo posible. A manera de resumen, las respuestas a estos criterios son definidos como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1: Tabla Comparativa en Costos

VALORACIÓN	RESULTADO	ALTERNATIVA
3	Más Viable.	ALTERNATIVA 1
2	Medianamente Viable.	
1	Menos Viable	ALTERNATIVA 2 ALTERNATIVA 3

2) Dependencia tecnológica ante terceros.

Referida al término de hacerse necesario una cierta tecnología indispensable para un propósito. La ausencia de dicha tecnología generaría severos problemas y colapsaría todo un sistema implementado. Para establecer el grado de dependencia tecnológica podemos emplear como KPI el número de implementaciones similares que actualmente en Perú se han realizado en cualquier ámbito. Al respecto tanto las alternativas 2 y 3 requieren, dada la envergadura de su alcance, requieren la adopción de una tecnología en gran dimensión cuya subsistencia eminentemente dependerá de proveedores extranjeros por no tener una experiencia previa. En ese sentido, como puede resumirse en la tabla 2, al realizar el diseño de la solución propia y empleada en otros ambientes operacionales (alternativa 1) se disminuiría notablemente esta dependencia. Las respuestas a estos criterios son definidos como:

Tabla 2: Tabla Comparativa en Dependencia Tecnológica

VALORACIÓN	RESULTADO	ALTERNATIVA
3	No dependiente.	ALTERNATIVA 1
2	Medianamente Independiente.	
1	Enteramente dependiente.	ALTERNATIVA 2 ALTERNATIVA 3

3) Confiabilidad de la solución.

Definida como la “capacidad de un equipo para desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado”. En ese sentido todas las alternativas de solución, al seguir un estándar previamente aprobado recomendado por OACI y encontrar en los diversos ejemplos alrededor del mundo que sus implementaciones han conllevado al objetivo ulterior de contribuir a la seguridad operacional aeronáutica. La respuesta a este criterio es definido en la siguiente tabla N° 3:

Tabla 3: Tabla Comparativa en Confiabilidad

VALORACION	RESULTADO	ALTERNATIVA
3	Confiable.	ALTERNATIVA 1 ALTERNATIVA 2 ALTERNATIVA 3
2	Medianamente confiable.	
1	No confiable.	

4) Tiempo de Ejecución.

Al ser una entidad del estado, los procesos de adquisición e implantación tendrán un tiempo de duración dependiente del grado de inversión que se tenga que realizar. Ello implica los tiempos que demanda la realización de los correspondientes estudios de mercado, aprobación de expedientes, procesos de licitación, celebraciones de contratos y tiempos de entrega. La alternativa N° 1 por el monto demandado es factible de ser realizable en menos tiempo por potenciar una capacidad ya establecida, lo que implica una reducción en los tiempos de ejecución en relación a las otras alternativas que adicionalmente requerirían trámites de la entidad aeronáutica competente (DGA) para hacerla viable. Un resumen de esta evaluación puede apreciarse en la tabla N° 4 donde se plasman estos criterios:

Tabla 4: Tabla Comparativa en Tiempo de Ejecución

VALORACIÓN	RESULTADO	ALTERNATIVA
3	Hasta Seis meses.	
2	Seis meses – Un año.	ALTERNATIVA 1
1	Más de un año.	ALTERNATIVA 2 ALTERNATIVA 3

Como resultado final la ALTERNATIVA 1 de “Realizar la adquisición de GATEWAYS de radio sobre IP para implementar el sistema de control de tránsito aéreo sobre los equipos de comunicación existentes, lo que posibilitará la implementación de una plataforma de gestión que posibilite la optimización de los procedimientos, con la adecuada capacitación de los directamente involucrados en esta importante misión”, resulta ser la mejor tal como también se muestra en el diagrama radial.

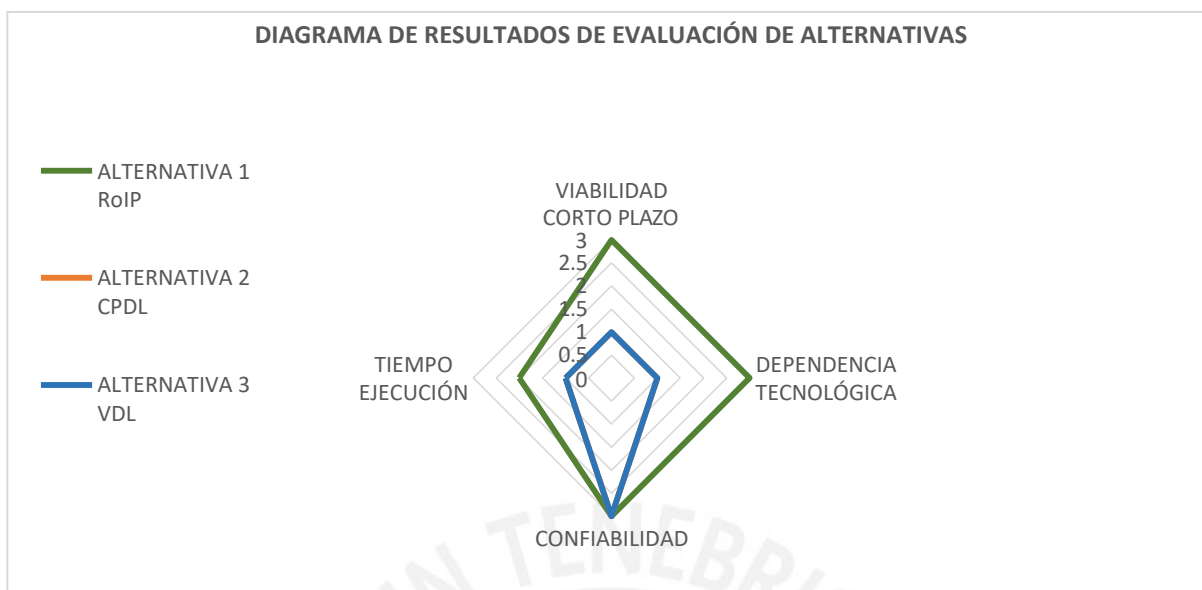


Figura 7: Diagrama de Resultados de la Evaluación de Alternativas

El gráfico anteriormente mostrado resulta de los siguientes resultados generales, mostrados en la tabla a continuación:

Tabla 5: Tabla Comparativa Final

ALTERNATIVA	PUNTAJE ALCANZADO
ALTERNATIVA 1	11
ALTERNATIVA 2	6
ALTERNATIVA 3	6

1.3.- HIPÓTESIS

Mediante el empleo de tecnologías de telecomunicaciones basadas en RoIP, se podrá solucionar el problema de la limitada capacidad de gestión del control de tránsito aéreo en las torres de control de la Fuerza Aérea a nivel nacional, en periodos de alta densidad de tráfico. Con esta implementación se podrá manejar las diferentes redes de comunicaciones por voz que se deben mantener activas para brindar un adecuado servicio ATC, en todos los niveles de su competencia como son los servicios de control de tránsito aéreo (control de aproximación y control de aeródromo), servicio de información al vuelo (información meteorológica, condiciones en tránsito) y servicio de alertas.

1.4.- OBJETIVOS.

1.4.1.- OBJETIVO PRINCIPAL:

- Mejorar las capacidades de la red de voz de control de tránsito aéreo de la Fuerza Aérea del Perú, con el fin de optimizar su funcionamiento y gestión.

1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Posibilitar la convergencia de las comunicaciones de voz de control de tránsito aéreo a nivel nacional, en centros y torres de control, empleando para ello tecnología de Radio sobre IP.
- Optimizar la actualmente limitada capacidad de grabación de las comunicaciones que acontecen en una torre de control, de acuerdo a las normas establecidas, a fin de centralizarlas y almacenarlas en un servidor común.

1.5.- METODOLOGÍA:

- Familiarización con el ambiente de control de tránsito aéreo y sus participantes, recogiendo de los actores directos (controladores de tránsito, pilotos y personal de soporte) sus apreciaciones que nos ayudarán a identificar correctamente la problemática suscitada en dicho ambiente. Esto bajo un método inductivo y en muestreo que nos permitirá, partiendo de la observación del desarrollo de diferentes torres de control, en diferentes etapas del día, determinar una problemática general.
- Definir la mejor opción tecnológica a utilizar para abordar la problemática planteada, basándose en indagación de información oficial y páginas indexadas y experiencia laboral.
- Diseñar la solución de manera integral, incluyendo el dimensionamiento económico respectivo, basándose en el análisis de data aprobada, tanto del equipamiento legado y de la red de datos también ya existente en los diversos ambientes

2.- ASPECTOS TEÓRICOS.

En el presente capítulo desarrollaremos los aspectos teóricos que nos ayuden a entender los conceptos de la tecnología de radio sobre IP orientando su implementación en la solución que posibilite mejorar la administración de las comunicaciones en el entorno ATC.

2.1.- DEFINICIONES ALREDEDOR DE RADIO SOBRE IP.

Radio sobre IP resulta ser la adaptación de VoIP para comunicaciones por radio [18] por lo que su principio de uso se asienta en la tecnología IP, permitiendo que una determinada comunicación viaje a través del aire (como lo es en una comunicación de radio convencional) y a través de una red local (como extensión de la misma comunicación).

Adicionalmente a las señales de audio que se transportan en un entorno RoIP ya establecido, se deben agregar señales de control que son típicas en una comunicación de radio, tales como el PTT y el COR. PTT o PUSH TO TALK es la señal que habilita el uso del medio de comunicación para el operador que va a iniciar la transmisión del mensaje (inhabilitando el uso del canal de comunicación para los otros terminales que forman parte de la red), mientras que COR (CARRIER OPERATED RELAY) es la habilitación de un terminal para recibir los mensajes que sean transmitido a la red a la que pertenece.

Bajo lo anteriormente expresado, podemos indicar que RoIP trabaja principalmente bajo los conceptos de VoIP, pero que agrega fundamentos con los que sería imposible incluir en un entorno de red el establecimiento de comunicaciones cuyo origen son las radios (PTT y COR); el incluir capacidades adicionales en este entorno tales como cambios de frecuencias, reprogramación de las características de radio (tono), monitoreo de alarmas (alta ROE, pérdida de alimentación) o funciones de control (activar canales de comunicaciones distintos entre un grupo de equipos por ejemplos) ya son opciones en equipos de radio preparados para realizar tales operaciones, los cuales cuentan con su funcionamiento principios basado en SDR (radio definido por software).

El incluir soluciones basadas en RoIP en una red de comunicación convencional, mejora el sistema en términos de interoperabilidad, causa principal de la ocurrencia del problema central planteado en el presente trabajo, dotando a la red de un mayor alcance y con una posibilidad de interoperar de manera automática con otras redes de comunicación de distinta procedencia, situación donde RoIP alcanza su mejor aplicabilidad pues es conectada (la red original) a otros

sistemas de comunicaciones diferentes a los radios, como por ejemplo telefonía de la pública conmutada (PSTN), redes celulares, IP, etc.

Cabe recalcar la diferencia entre radios con soluciones RoIP y la radio digital pues mientras la primera codifica la voz para hacerla viajar sobre una red, la última envía esta información pero por el espacio libre debido a los protocolos, modulación y técnicas de acceso propios de los estándares de radio digitales.

2.1.1.- CONFIGURACIONES TÍPICAS EN ROIP.

Las redes implementadas con RoIP, pueden ser configuradas bajo distintos enfoques, entre los cuales podemos aglomerarlas en tres configuraciones generales [19]:

- **Para acceso remoto a una radio.**

En esta el operador puede controlar y supervisar un transceptor remoto a través de una LAN o una WAN sin la necesidad de encontrarse presente, con ello se asegura que funciones como la transmisión y recepción de audio, el PTT y COR sean ejecutadas a distancia de manera confiable, independientemente de la red y factores de comprensión que se utilicen. Esta capacidad puede ser suministrada a modo de posibilitar el acceso compartido a un transceptor por diversos operadores desde ubicaciones remotas distintas.



Figura 8: Esquema RoIP para Acceso Remoto a una Radio

Fuente: <http://www.omnitronicsworld.com/>

Las aplicaciones más sofisticadas utilizan consolas compatibles con SIP, la cuales permiten a los operadores seleccionar varios canales a distancia para las comunicaciones. En el siguiente ejemplo de la figura, el radio conectado al equipo RoIP se convierte en una extensión del servidor SIP, se le da un número de teléfono que

permite que las llamadas se enruten entre ellas y la PBX o la PSTN. Los operadores que utilizan la red de radio son capaces de hacer llamadas PSTN.

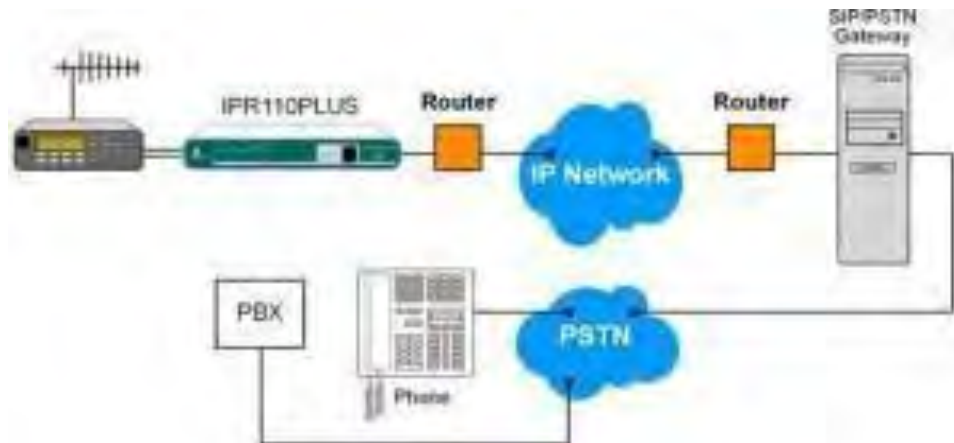


Figura 9: Diagrama Tipo de un Entono de RoIP con PBX y PSTN

Fuente: <http://www.omnitronicsworld.com/>

– **Interconexión de radios Punto-a-Punto.**

Esta configuración posibilita reemplazar líneas alquiladas o extender el enlace UHF, VHF o HF en la atmosfera. Dos radios se pueden conectar back-to-back sobre un enlace IP. Esto normalmente, como se muestra en el siguiente gráfico, se puede utilizar para interconectar dos sitios de repetidores en una red de área amplia. Las señales de PTT, COR y la voz se transportan a través del enlace en forma de mensajes de datos.



Figura 10: Diagrama Tipo de Conexión Back-to-Back de RoIP.

Fuente: <http://www.omnitronicsworld.com/>

– **Radio puente a través de IP**

En el modo radio puente, RoIP permite multidifusión utilizando diversos transceptores que son interconectados en una red LAN o WAN tal como se muestra en el esquema N° 11. Cada uno de estas radios está vinculada a una dirección de grupo de multidifusión común.

Cuando un transceptor recibe audio, los paquetes de voz se transmiten a la dirección de multidifusión. Cualquier otra unidad RoIP que está vinculada a la dirección aceptará los paquetes VoIP y volver a transmitir el audio a la frecuencia de radio respectivo.



Figura 11: Esquema de un Radio Puente RoIP.

Fuente: <http://www.omnitronicsworld.com>

Un despliegue de este tipo, puede admitir radios de múltiples bandas de frecuencia, haciendo que estos equipos sean interoperables, estableciendo canales de comunicación virtuales.

2.1.2- ASPECTOS TECNOLÓGICOS A TENER EN CUENTA EN TRANSMISIONES ROIP.

Uno de los factores fundamentales a tener en cuenta en la implementación de soluciones basadas en Radio sobre IP es el códec a utilizar. Así podemos encontrar la recomendación UIT-G.723.1 [20] códec de voz de doble velocidad para la transmisión en comunicaciones multimedia a 5,3 y 6,3 Kbit/seg, que resulta ser parte de la familia general de normas H.324, siempre teniendo en cuenta que a mayor velocidad de transmisión, el Q&S debe ser de mejor calidad.

Otros códec que podemos mencionar y que son utilizados en el desarrollo de tecnologías RoIP son IMBE/AMBE (excitación multibanda mejorada / excitación multibanda avanzada), que a decir de JHON FACELLA, en su Publicación "RoIP SUCCESS IS IN DETAILS" [21] indica que estos se han utilizado en seguridad pública, proporcionando suficiente fidelidad para reconocer ambos hablantes y emociones al comunicar. Al saber que existen diferentes versiones de este tipo de CODECS (cuyas velocidades van desde 2 a 9,6 Kbit/seg), es preciso indicar que este también es un códec licenciado, muy utilizado en sistemas de telefonía satelital IRIDIUM e INMARSAT, así como en el protocolo IDAS de ICOM y en el protocolo NEXEDGE de KENWOOD.

A través de estos CODECS, los Gateways funcionan como una interfaz entre las soluciones de adaptadores de RoIP diseñadas por múltiples fabricantes, tal es el caso de OMNITRONICS [22], quienes colocan como ejemplo sus equipos con una radio digital como un móvil Moto TURBO, un repetidor DMR o una base P25 o una combinación de estos. Los Digital Radio Gateways traducen voz y datos en el mismo protocolo digital, lo que significa que las diferentes radios y protocolos podrán conectarse a la red. Los usuarios ya no tendrían restricciones en su elección de protocolo, materializando la verdadera interoperabilidad que se busca en este tipo de entornos. Al respecto, es preciso señalar que estas radios digitales (MOTO TURBO, NEXEDGE, IDAS) se asientan sobre tecnologías como Elte de Huawei, Alcatel Lucent (ahora Nokia Networks) o Ericsson con sus soluciones híbridas Trunked Radio/LTE o HYTERA. Todo ello resulta de esfuerzos de la propia 3GPP que en sus revisiones 13 y 14 introdujeron una serie de mejoras en las características de seguridad pública, como las comunicaciones Push-to-Talk de misión crítica, las comunicaciones de dispositivo a dispositivo LTE, los servicios de proximidad y el Broadcast LTE o Push to Video

En este punto cabe acotar que en telecomunicaciones existe el concepto de comunicaciones de misiones críticas en el cual podría delimitarse a las comunicaciones ATC, pues según lo propuesto por Matthew Liotine [23], éstas son aquellas comunicaciones indispensables y necesarias para que se lleve a cabo una operación definida por una organización y que independientemente de la tecnología que lo materializará esta debe asegurar entonces aspectos tales como confiabilidad (sistema siempre disponible), disponibilidad (para alta demanda de ocupación de manera que todos los usuarios puedan comunicarse), redundancia (diferentes modos de operación en caso de fallas) y seguridad (resistente para soportar los ambientes hostiles). De hecho, empresas especializadas en otorgar soluciones de llave en mano como SITTI denominan las comunicaciones ATC como de “misiones críticas” [24]

2.1.3.- BENEFICIOS DE RADIO SOBRE IP (ROIP):

Los beneficios de las soluciones basadas en RoIP en distintos entornos son muchos, y se pueden testificar a lo largo del impacto que han tenido estas implementaciones alrededor del mundo y en distintos entornos.

Por ejemplo, de acuerdo a la Compañía OMNITRONICS [25], una de las empresas cuyo core de negocio es suministrar soluciones de comunicaciones vía radio, indica como principales beneficios:

- Que elimina el alto costo de las líneas telefónicas arrendadas a distancia.

- Que permite controlar las estaciones base de radio mediante el uso de una conexión estándar de red que muy probablemente ya se encontraba en el lugar.
- Que se posibilita que computadoras convencionales pueden ejecutar funciones de estaciones base de radio mediante aplicaciones de control de software, eliminando costos significativos.
- Se incrementa la confiabilidad y seguridad de un enlace de comunicaciones pues la infraestructura de red resulta ser más resistente que el espacio.
- Que los ajustes y configuraciones de los radios se pueden realizar a distancia, facilitando el mantenimiento y el ajuste de un sistema base.
- Que existe una mayor interoperabilidad en centros de comunicaciones que por sus características deben utilizar diferentes redes de comunicaciones para su operación.
- Que existe una mayor facilidad para extender las redes de comunicaciones en caso se requiera.

Asimismo, de manera particular podemos señalar beneficios adicionales tales como:

- Permite la posibilidad de que, en un teatro de alta diversificación de equipos de comunicaciones, el operador de las mismas cuente con herramientas de control que le aminoren la carga de trabajo.
- Nos permite sentar bases de una infraestructura de telecomunicaciones que puede ser escalable en el tiempo, sin necesidad de hacer grandes cambios en esta. Al respecto, específicamente en el campo del control de tránsito aéreo pueden formularse, por parte de la Dirección de Aeronáutica Civil, aspectos regulatorios mandatorios que ya se aplican en otras partes del mundo, y que requerirán migraciones tecnológicas ya consideradas en la implementación de tecnología de RoIP.

2.1.4.- ACTUALIDAD SOBRE APLICABILIDAD DE EQUIPOS ROIP EN DISTINTOS ENTORNOS.

a. RoIP para Atención de Desastres.

El uso de RoIP en diversos entornos de operación empresarial o gubernamental para redes de uso diario o de emergencia son muchos. THOMAS WITHINGTON, en su Publicación ¿CAN YOU HEAR ME? [26], resalta la importancia de la interoperabilidad que se consigue con el empleo de soluciones RoIP en diversas situaciones tales como la atención de desastres y operaciones militares. Específicamente señala que lo interesante

de estos sistemas es que permiten a los usuarios equipados con diferentes dispositivos de comunicación, hablar directamente entre ellos (celulares dispares, radios tácticas y radios de seguridad pública) utilizando una Pasarella hacia LTE (teniendo la opción de transmisión en PTT en 400 MHz). En su publicación toma como ejemplo la solución CELLBOX-R: equipo que además de su tamaño, capacidad de cambio de baterías sin interrumpir su funcionamiento y su resistencia, lo hacen ideal en soluciones extremas. Cabe resaltar que esta forma de uso del RoIP brinda una solución conocida como “celular agnóstico”. Su forma de empleo, implica el uso de una tarjeta SIM (Módulo de identificación del suscriptor) que se puede agregar al teléfono celular del usuario para permitir que se conecte de forma segura a este CELLBOX-R [27]. Asimismo es preciso resaltar que en esta solución se destacan como principales capacidades de operación:

- Posibilidad de realizar comunicaciones con múltiples radios (TETRA, P25, VHF RADIO).
- Posibilidad de Conexión con interfaces telefónicas (FXS, FXO, PRI).

En el siguiente gráfico se muestra como este equipo CELLBOX, cuyo principio de funcionamiento se asienta en RoIP, tiene la capacidad de interconexión con radio digital, radio analógica, telefonía satelital, telefonía móvil e IP.



Figura 11: Diagrama Tipo del CELLBOX.
Fuente: <http://cellobox.com/>

b. RoIP para Mejora de Redes de Comunicación Convencionales.

También podemos encontrar otros ejemplos de equipos cuyas soluciones se basan en RoIP en los que oferta la Empresa BYLIGHT; los cuales el 18 de octubre del 2017 [28], quienes anunciaron la línea de equipos bajo tecnología RoIP denominada TRICS

(Sistema de Intercomunicación RoIP Táctico). En la siguiente figura N° 13, se muestran Gateway RoIP de la línea TRICS en diferentes configuraciones (2, 4 u 8 conexiones de radio) así como una implementación tipo (en modo estrella) donde se pueden integrar desde equipos de radio hasta teléfonos IP, teléfonos analógicos y aplicativos de comunicaciones desde una PC). TRICS permite la integración y difusión del tráfico de radio (voz y datos) en redes IP pudiendo configurar hasta cuatro radios sobre el tráfico de voz sobre redes IP, permitiendo la interoperabilidad y convergencia; indican también que estas soluciones son utilizadas en las redes de radios tácticas utilizadas por el Departamento de Defensa de Reino Unido y socorristas; del mismo modo ofrece control de radio basado en la red, lo que permite a los operadores autorizados establecer parámetros de radio desde cualquier estación de trabajo conectada a IP mediante el software de control de radio TRICS.



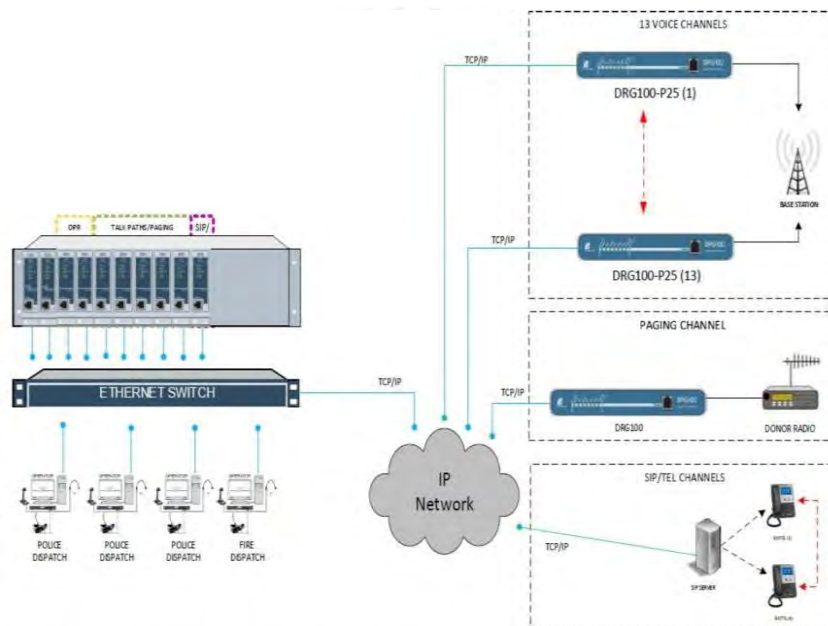
Figura 13: Presentación Modelos Gateways RoIP Marca BYLIGHT.

Fuente: www.bylight.com/products/tricsn

Asimismo, demostrando que las grandes empresas de telecomunicaciones están apostando por este tipo de soluciones, estos sistemas son totalmente compatibles con WAVE™ de MOTOROLA, lo que garantiza la fiabilidad y la velocidad en su capacidad de comunicación. Además, TRICS ofrece soluciones basadas en control de las radios, lo que permite a los autorizados operadores para establecer parámetros de radio desde cualquier IP adjunta estación de trabajo usando el TRICS radio software.

También OMNITRONICS, una empresa cuyo rubro de negocios son las implementaciones de soluciones de radios tanto analógicas como digitales; desplegó en Lake City Florida, una solución de gestión de radios y telefonía para sus departamentos

de policía y de bomberos [29] cuyo diagrama esquemático se encuentra en la siguiente figura, implementando su sistema de administración de radio digital DX-Altus, cubriendo hasta 32 posiciones de despacho y 56 canales de radio y empleando 13 Gateway analógicos IPR110 y digitales DRG100, los cuales proporcionan la interfaz entre los radios existentes y la red IP de la ciudad. Además esto se pudo integrar con el software CISCO 'CALL MANAGER', lo que permitió conectividad a la red a personas externas. Cabe señalar que IPR son la serie Gateway ROIP para los equipos y redes de radios bidireccionales analógicas mientras que las DRG son los Gateway digitales para equipos como un móvil MotoTRBO, un repetidor DMR, una base P25 o TETRA.



System Block Diagram City of Lake City

Figura 14: Diagrama de Red de Aplicación de RoIP para Estado de Florida.

Fuente: <https://omnitronicsworld.com/public-safety-agencies-in-florida-interconnect-with-the-dx-altus/>

Otra de las soluciones encontradas en el mercado es el ofertado por la Empresa JPS INTEROPERABILITY, los cuales en su último paper publicado [30] presenta soluciones basadas en RoIP, tales como el Gateway RSP-Z2 y el ACU-Z1; relays de radio remoto, incluso con interfaz a la PSTN. Además de ser un controlador de interfaces de radio remotas (para versiones mejoradas del mismo equipo). La particularidad de estas soluciones proviene que incluso puede realizar interfaces con SMARTPHONES. Además de manejar diferentes protocolos de VoIP tales como RIP o RTP; también utiliza VOCODERS diversos tales como GSM (13 kbps), ADPCM (16 kbps), ADPCM (24 kbps),

ADPCM (32 kbps), PCM (64 kbps). En el siguiente gráfico, se muestra una topología tipo implementada con los dispositivos anteriormente mencionados, lo que permite la implementación de canales puente y una red centralizada que posibilitan interoperabilidad.



Figura 15: Diagrama Esquemático de un Sistema de Área Amplia RSP-Z2 con ACU-Z1.

2.1.5.- SOLUCIONES BASADAS EN ROIP PARA ENTORNOS DE CONTROL DE AERONAVES.

a. Soluciones Basadas en Migraciones de Equipos Propuesta por la Compañía Rhode and Schwarz.

La Compañía R&S, firma con activa presencia en el mercado de equipos de comunicaciones ATC, participante en el congreso mundial de TM en Madrid-2018 y con experiencia confirmada en implementaciones de ATC (para entre otros la NATS, proveedor británico de servicios de navegación aérea), oferta soluciones que brindan interoperabilidad mediante las migraciones de los equipos de comunicaciones a utilizarse en el entorno ATC, definitivamente este método resulta costoso pues no posibilita una coexistencia operacional con los equipos convencionales; estos equipos incorporan el uso de tecnología IP, además de otras capacidades que principalmente son una respuesta a regulaciones aeronáuticas del espacio aéreo de la Unión Europea para entornos con alto tránsito de aeronaves. Adicionalmente se resalta la necesidad de aprovechar las redes de datos ya existentes donde se recibe información de diversa índole, como la carretera tecnológica ideal que puede ser aprovechada por las comunicaciones por voz.

El diseño de su equipamiento se basa en la norma ED-137 de EUROCAE que especifica el uso de IP para comunicaciones por voz en entornos ATC.

Estos equipos llevan como nombre de línea R&S VCS-4G [31] cuyas variaciones corresponderán a la necesidad del entorno donde se instalarán, pudiendo ser estos, tal como se aprecia en la siguiente gráfica, Centros de Control de Área, Sistemas de Respaldo, Torres de Control, torres de control pequeñas y radios remotas; los cuales tienen como capacidad el hacer interfaz con sistemas de comunicaciones tierra-aire, intercomunicaciones y servicios telefónicos; funcionan también con complementos de hardware y software tales como Unidades de Control Remotos basadas en IP (modelos R&S GB4000T), Unidad de Radio (R&S GB4000V) y el software de monitoreo y control R&S RCMS II. Todo pudiendo implementarse en un entorno de red.

Adicionalmente al aprovechamiento de la tecnología IP para la mejora de las comunicaciones en entornos ATC, estos equipos son implementados basados en tecnología SDR, lo que les posibilita ser radios multicanal, con lo cual cubren la necesidad de redundancia típica de los controles de tránsito aéreo, aunque también pueden ser configurados por software para un funcionamiento confiable como radios de un solo canal. Asimismo, por la necesidad anteriormente mencionada de estar concatenado a estándares europeos, estos modelos cuentan con funciones adicionales como la posibilidad de espaciado entre canales de 8.33 y 25 KHZ (recordemos que en Perú solo se utiliza el espaciado de 25 KHZ), además de modos de transmisión ACARS y VDL MODE DATA MODE (en VHF). Soporta también voz digital usando ITU-T G.703 PCM y detección automática de doble recepción en un mismo canal; todas estas capacidades otorgadas adicionalmente con el correspondiente aumento de su valor comercial.

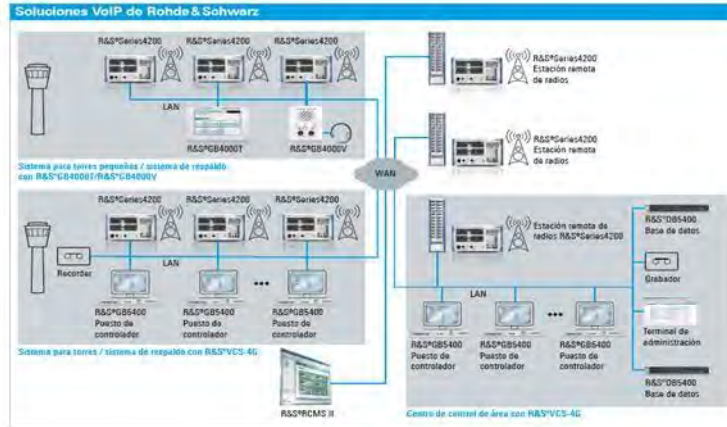


Figura 16: Diagrama de Red de Soluciones R&S para Control de Tránsito Aéreo. Fuente: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Series4200_bro_en_5213-5700-12_v0700.pdf

1) Modos de implementación.

a) Aplicación en Torres Independientes.

Según lo especificado en la figura N° 17, los transceptores de R&S de la serie 4200 pueden ser utilizados como equipos de comunicación directamente, vale decir con audífonos y micrófonos para el controlador conectados desde el equipo mismo.

En este entorno también puede ser utilizado bajo operación remota, esto es agregando una panel de audio R&S GB208 que se puede integrar en una consola de operador que incluso permite acceder a múltiples radios, específicamente hasta un máximo de ocho transceptores.

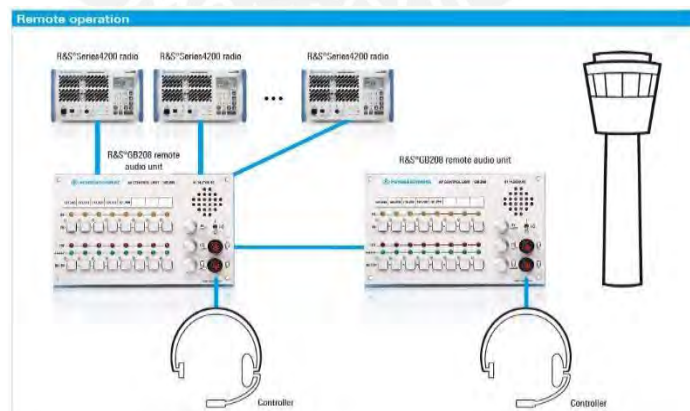


Figura 17: Configuración de Uso de Radios Tipo Torres Independientes. Fuente: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Series4200_bro_en_5213-5700-12_v0700.pdf

b) Aplicaciones como Radio-Site.

Otro entorno de uso de comunicaciones ATC es aquel donde por el alto tránsito presentado se requieren el establecimiento de muchos canales de comunicación; en este tipo de despliegue (conocido como RADIOSITE), los transmisores y los receptores a menudo se encuentran en diferentes sitios para evitar interferencias del uno con el otro. Para ello la Compañía propone los transmisores y receptores por separado R&S SU4200, R&S EU4200C y R&S ED4200C, así como el software de monitoreo R&S RCMS II.

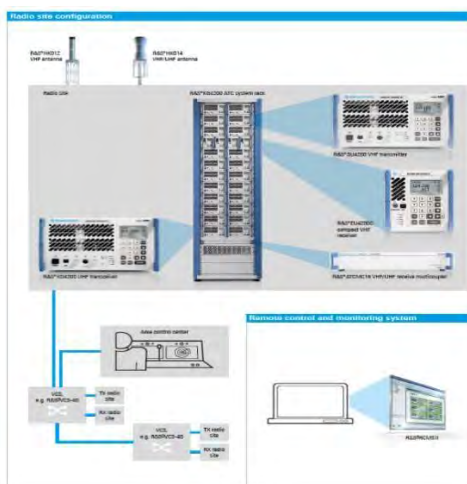


Figura 18: Diagrama de Red General de Soluciones R&S para Modo Radio Site. Fuente: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Series4200_bro_en_5213-5700-12_v0700.pdf

c) Comunicaciones de Datos entre la Aeronave y la Aerolínea el Centro de Operaciones de Vuelo.

Los equipos de R&S se indica que también pueden desplegarse hasta los Centros de Operaciones de Vuelo según la gráfica N° 19, realizando transferencia de datos desde las aeronaves mismas (para ello las aeronaves también deben migrar a equipos con capacidad DATA LINK, ya sea en modo ACARS o en el modo VDL2, al despachador aéreo, todo conectado a través de una LAN o WAN.

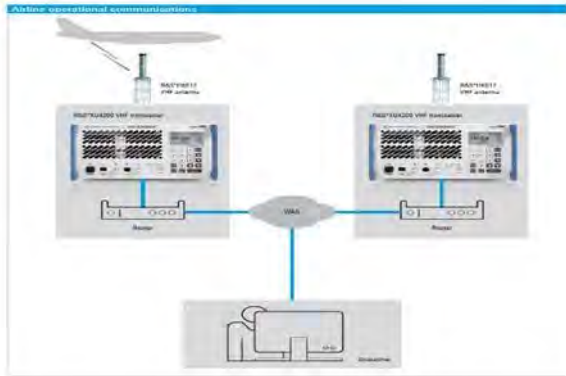


Figura 19: Diagrama de Red General de Soluciones R&S para Centro de Operaciones.

Fuente: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Series4200_bro_en_5213-5700-12_v0700.pdf

2) Situación en Europa de Soluciones de R&S.

Ya en Febrero del 2013, según R&S, esta Empresa se había posicionado en el mercado de equipos y comunicaciones ATC con 10,000 radios vendidos en 54 países, implementando los radios de la serie 4200 con tecnología IP [32].

Esta tendencia, a entender personal, principalmente fue dada por la necesidad de migrar de equipamiento debido a las nuevas imposiciones regulatorias de la organización aeronáutica europea, tales como la implementación del sistema CPDLC (CONTROLLER PILOT DATA LINK COMMUNICATION), y la conversión a radios con anchos de canal de 8.33 KHz (implementado en Alemania)

Pero adicionalmente, esta organización para equipos de aviación civil (EUROCAE), al avizorar la introducción de las tecnologías IP en el entorno ATC, creó el grupo de trabajo WG67 (conformado por proveedores de servicios de navegación aérea, ANSP e industria), con el fin de desarrollar algún estándar que regule su uso de IP en entornos de control de tránsito aéreo. De ella surgió el estándar ED 137 para la seguridad de la navegación aérea (EUROCONTROL) cuya base se asienta en el empleo de protocolo de inicio de sesión (SIP) y el protocolo de transporte en tiempo real (RTP).

Ello es fundamental para entender el principio de funcionamiento de los equipos R&S con fundamento en RoIP e IP, donde los protocolos anteriormente mencionados forman parte de su trama tal como se observa en la siguiente gráfica. De manera concisa, el VCS/CWP solicita a la radio una conexión, la cual es confirmada para

luego establecer una sesión bidireccional de RTP, con información adicional de señalización en el encabezado, incluyendo el PTT PUSH TO TALK, el SQ SIGNAL QUIET, el monitoreo KEEP-ALIVE. Esta pila de datos es enviada constantemente exista o no comunicación de voz.

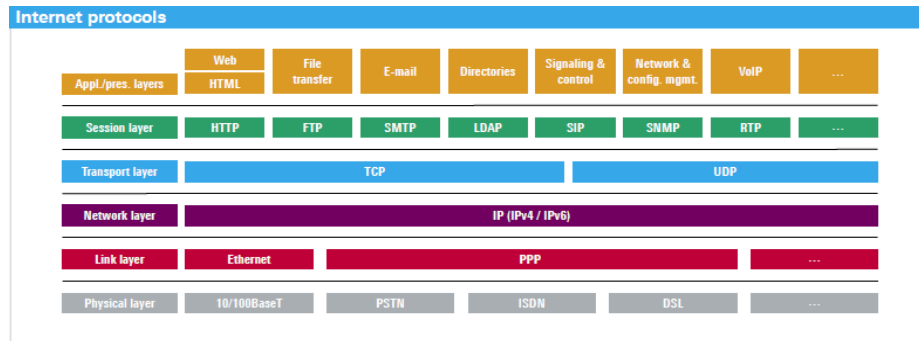


Figura 20: Listado de Protocolos en Soluciones Implementadas por R&S

Fuente: [https://cdn.rohde-](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Series4200_bro_en_5213-5700-12_v0700.pdf)

[schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Series4200_bro_en_5213-5700-12_v0700.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Series4200_bro_en_5213-5700-12_v0700.pdf)

b. Soluciones de Integración para Torres de Control como el Caso de DF NUCLEO.

La Compañía DF NUCLEO (Duro Felguera), ofrece a los sistemas de control de aeródromos sistemas de gestión de comunicaciones basados sobre RoIP; sus productos para el control de tráfico aéreo es el ULISES (G400 y G5000i) [33], los cuales resultan ser un puente entre los sistemas basados en Voz sobre IP (VoIP) y aquellos analógicos/digitales, equipos legados analógicos, de VoIP, de radio mismos y telefonía (tierra-aire, tierra-tierra), siendo su aplicación tanto para comunicaciones de voz, civiles como militares. Esta Empresa propone tal como se muestra en la gráfica siguiente, la interacción a través de una red de diversas infraestructuras que forman parte del control de tránsito aéreo, incluyendo nuevos conceptos de torres de control móviles.

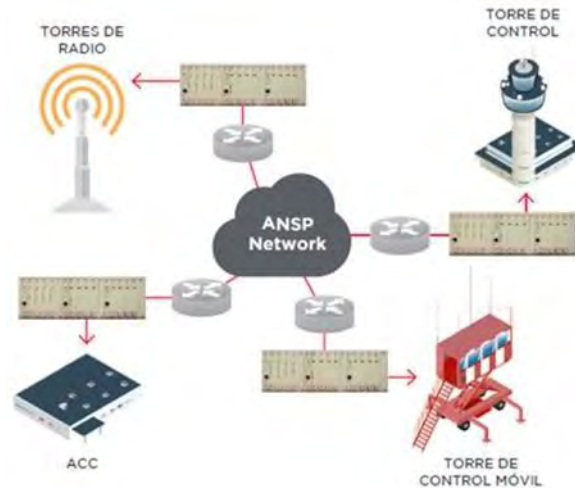


Figura 21: Diagrama Esquemático de Despliegue con Gateway DF NUCLEO

Fuente: <http://www.nucleocc.com/img/uploads/20170510173640.pdf>

La idea fuerza que predomina en su solución es la posibilidad de optimizar la amortización y el ciclo de vida del parque de equipos (radio y telefonía) ya instalados, en lugar de adquirir equipos que resultarían mucho más costosos tanto en implementación como en mantenimiento.

En líneas generales este equipo es un Gateway de conversión de los protocolos de los elementos de una red aeronáutica de datos y comunicaciones (radio, telefonía, etc.), permitiendo que todo ello migre a IP, siempre con el cumplimiento del estándar ED137 EUROCAE (Compañía es española) que incluye el códec de voz ITU-G711.

DF Núcleo ejecutó la implementación de pasarelas de comunicaciones de VoIP para la Red de Datos de Navegación Aérea (REDAN) de España (5 Centros de Control, 38 Torres de Control, Bases Aéreas del ejército del aire español y Centros de Comunicaciones de todo el país), así como en algunos países de África y América Central [34].

1) Aplicación en el Aeropuerto de Barajas – España:

El sistema Ulises V4000 se ha implementado por ejemplo en el aeropuerto de Madrid Barajas, el cual es administrado por la Compañía AENA Navegación Aérea y donde se ha instalado un Sistema de Comunicaciones por Voz en sus tres torres (norte, sur y este) que administra comunicaciones de voz entre pilotos y controladores del Centro de Control; así como comunicaciones de voz entre controladores de la misma

dependencia y de otras dependencias relacionadas con el Centro de Control, plasmado en:

- Comunicaciones Tierra / Aire, implementando la interfaz de audio y control (PTT, SQUELCH), a distintos equipos radio para diferentes bandas de frecuencia.
- Comunicaciones Tierra / Tierra, con llamada previa (Telefonía), habilitando el acceso a líneas y elementos de los siguientes tipos:
- Comunicaciones Tierra / Tierra sin llamada previa. O Línea Caliente (H/L).
- Comunicaciones Internas entre operadores, con o sin llamada previa.

Asimismo, como extensión de la solución instalada, esta Empresa realizó la implementación de soluciones IP entre los controladores de operaciones y al personal del Centro de Gestión Aeroportuaria (CGA). Para ello empleó su solución especial de mando, control y comunicaciones ARGOS con la cual realiza interfaz de radios PMR y las integra con el resto de sistemas aeroportuarios. Esta solución (basada en H323 y códec GSM que ocupan un flujo continuo de 24 Kbps), coloca en el puesto del operador una plataforma tipo PC, dotados de las necesarias interfaces de sonido y conexión a red, configurándose un puesto solo con casco (auricular y micrófono).

2) Aplicación en el Aeropuerto de Vitoria – España:

Otro aeropuerto donde DF Núcleo ha implementado soluciones de integración de comunicaciones en entornos de ATC es el aeropuerto de Vitoria, donde por requerimiento de la autoridad aeroportuaria, se requirió la implementación de dos soluciones (redundantes) con diferente tecnología, empleándose para ello la solución de suministrar como Sistema de Comunicaciones de Voz principal, el modelo de DF Núcleo ULISES V 4000 que integra el conjunto de las comunicaciones aeronáuticas de voz, desempeñando las funciones de nodo de comunicaciones entre distintos canales de información, retransmisión de la información, enrutamiento, conmutación y gestión y como sistema de respaldo el modelo ULISES V 5000 i con normativa de EUROCAE para VoIP ED137, gestionando de esta manera las comunicaciones de voz entre pilotos y controladores del Centro de Control, así como las comunicaciones de voz entre controladores de la misma dependencia y de otras dependencias relacionadas con el Centro de Control.

c. Soluciones ATC bajo RoIP de INDRA y SITTI.

INDRA, que es una empresa con presencia en Perú pues se ha encargado de realizar algunas modernizaciones a los sistemas ATC de CORPAC, presenta una solución integral basada en RoIP denominada GAREX 300 VCC (de hecho CORPAC cuenta con una solución anterior de GAREX – INDRA). Esta tiene como cualidades ser una solución íntegramente basada en IP, integrando radios, teléfonos y grabadores, además de brindar soluciones a alcance y requerimiento de los clientes.

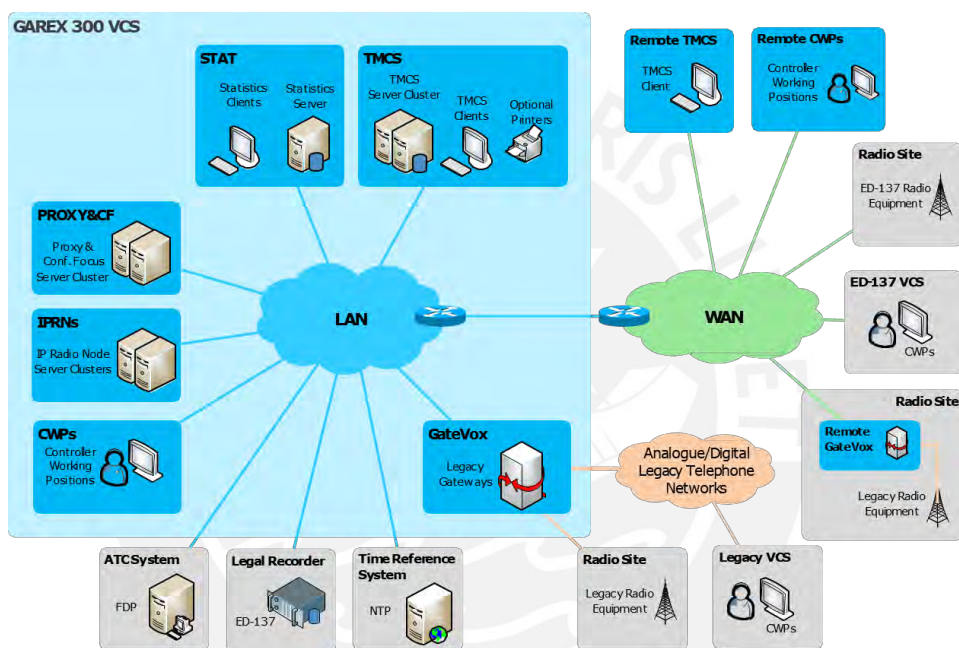


Figura 22: Esbozo de Diagrama Esquemático de Despliegue solución INDRA
Fuente: Exposición Comercial INDRA

Por su parte, la Empresa Italiana SITTI - <http://www.sitti.it> -, especialistas en el suministro de sistemas de comunicaciones críticas en llave en mano y que participa activamente en el Grupo de Trabajo EUROCAE WG67 en pruebas de Interoperabilidad de conexión en Europa bajo la coordinación del ETSI y forma parte del Grupo EUROCONTROL VOTE (grupo abocado a la Implementación y la transición del VoIP en el ATM), cuenta con el producto M800IP®, última versión del VCS de la familia MULTIFONO estándar ED-137 en comprensión G729 que brinda acceso simultáneo, desde cualquier Posición de Trabajo de Controlador CWP, a cada uno de los recursos del Sistema.

3.- ANÁLISIS TÉCNICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

3.1. EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS DE COMUNICACIONES ACTUALMENTE UTILIZADOS EN LAS TORRES DE CONTROL DE LA FAP.

Dentro del presente estudio, se ha visto por conveniente identificar la totalidad de equipos de comunicaciones que se emplean en las diversas torres de control de la Fuerza Aérea a nivel nacional. En ese sentido, tal y como lo mencionamos en los antecedentes, la heterogeneidad identificada en las torres de control, resulta ser también una característica común. Además de nombrarlos, para la posterior implementación se ha creído por conveniente extraer información de diagramas eléctricos de sus correspondientes manuales; así tenemos:

a.- Equipo VHF Banda Aérea DITTEL modelo FSG-60MPC [35].

Equipo de comunicación que trabaja en la banda entre 118-137.975 MHZ, vale decir abarca las frecuencias destinadas a comunicaciones aeronáuticas; además su espaciamiento entre canales es de 25 KHz para las frecuencias de comunicación; asimismo, puede programarse (físicamente), hasta cuatro frecuencias pre-seleccionadas. Es un equipo que por su antigüedad es utilizado como un medio alternativo de comunicaciones en las torres de control donde son instaladas. Del diagrama que se presenta es importante resaltar la existencia de los pines de micro (2 y 3), headphone (11), speaker (12) e intercom (13).

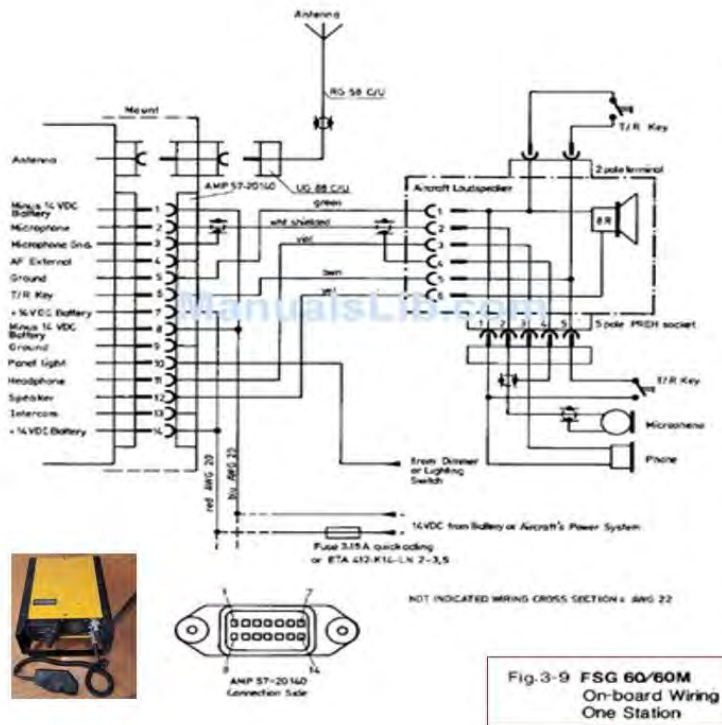
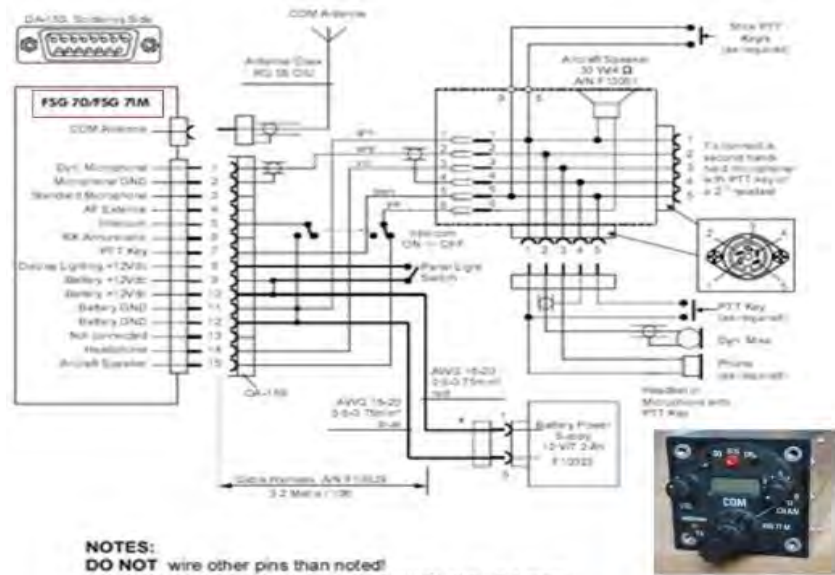


Figura 23: Diagrama Eléctrico de DITTEL FSG-60MPC

b.- Equipo VHF Banda Aérea DITTEL modelo FSG-71MPC [36].

Equipo que trabaja en la banda entre 118-136.975 MHz, vale decir abarca las frecuencias de comunicaciones aeronáuticas; además su espaciamiento entre canales es de 25 KHz para las frecuencias de comunicación; asimismo, puede programarse (físicamente), hasta diez frecuencias pre-seleccionadas. Es un equipo que por su antigüedad es utilizado como un medio alternativo de comunicaciones en las torres de control donde son instaladas. Del diagrama que se presenta es importante resaltar la existencia de los pines de micro (1, 2, 3), headphone (14), speaker (15) e intercom (5), PTT (7).



NOTES:
DO NOT wire other pins than noted!
 Unless otherwise noted, all wires #22 AWG (0.3 - 0.4 mm²)
 INTERCOM operation requires a microphone which provides audio OUT with the PTT key de-energized (not keyed).
 Built-in Automatic Circuit Breaker available when using Walter Dittel Battery Power Supply A/N F 10023.
 Length of pre-fabricated wire harness F10029: 3.2m / 10ft
 ----- and coax antenna cable are **not** included in wire harness F10029

Figura 24: Diagrama Eléctrico de DITTEL FSG-71MPC

c.- Equipo VHF Banda Aérea DITTEL modelo 70-PS [37].

Equipo que trabaja en la banda entre 118-136.975 MHz, vale decir abarca las frecuencias de comunicaciones aeronáuticas; además su espaciamiento entre canales es de 25 KHz para las frecuencias de comunicación. Es un equipo que por su antigüedad es utilizado como un medio alternativo de comunicaciones en las torres de control donde son instaladas. Del diagrama que se presenta es importante resaltar la existencia de los pines de micro (1, 2, 3), headphone (14), speaker (15), PTT (7) e intercom (5).

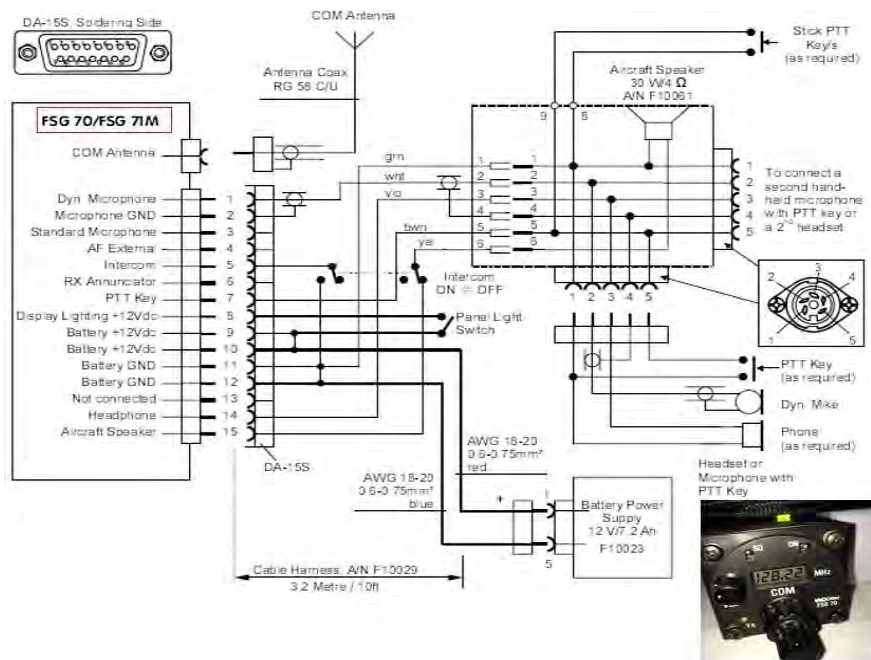


Figura 25: Diagrama Eléctrico de DITTEL FSG-70-PS

d.- Equipo VHF Banda Aérea FUNKE modelo FSG-70 2T [38].

Equipo que trabaja en la banda entre 118-136.975 MHz, vale decir abarca las frecuencias de comunicaciones aeronáuticas; además su espaciamento entre canales es de 25 KHz para las frecuencias de comunicación; asimismo, puede programarse hasta veinte frecuencias pre-seleccionadas y tiene ajuste de umbral de squelch. Es un equipo que es utilizado como medio principal de comunicaciones en las torres de control donde son instaladas. Del diagrama que se presenta es importante resaltar la existencia de los pines de micro (1, 2, 3), headphone (14), speaker (15), PTT (7) e intercom (5).

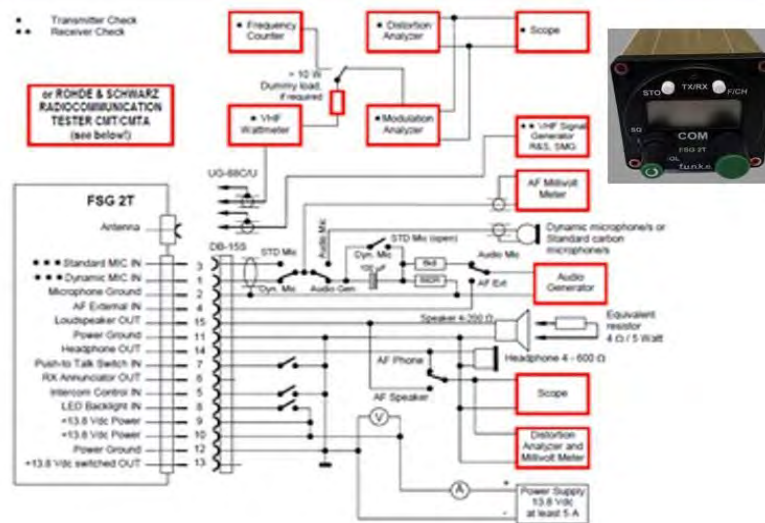


Figura 26: Diagrama Eléctrico de FUNKE FSG-70 2T

e.- Equipo VHF Banda Aérea ICOM modelo IC-A110 [39].

Equipo que trabaja en la banda entre 118-136.975 MHz, vale decir abarca las frecuencias de comunicaciones aeronáuticas; además su espaciamiento entre canales es de 25 KHz para las frecuencias de comunicación; asimismo, puede programarse (físicamente) hasta veinte frecuencias pre-seleccionadas. Es un equipo que suele ser utilizado como el medio principal de comunicaciones en las torres de control donde son instaladas. Se caracteriza por ser muy compacto a pesar del nivel de potencia que presenta (20 Watts). Para las consideraciones de interconexión, se planteará la extracción de las señales desde el conector del micrófono, por lo que es importante conocer el diagrama eléctrico, específicamente referida a dicha etapa, de donde se aprecian como puntos importantes del diagrama los pines 6 y 5 (micrófono), 4 (PTT), SP (SPEAKER), 3 (NO EN USO).

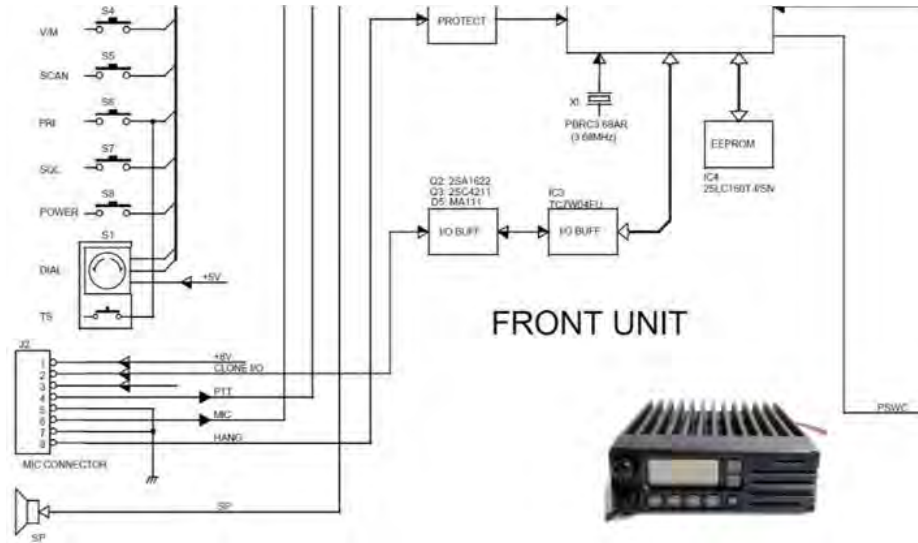


Figura 27: Diagrama Eléctrico de ICOM IC-A110

f.- Equipo VHF Banda Aérea ICOM modelo IC-A210 [40].

Equipo que trabaja en la banda entre 118-136.975 MHz, vale decir abarca las frecuencias de comunicaciones aeronáuticas; además su espaciamento entre canales es de 25 KHz para las frecuencias de comunicación; asimismo, pueden programarse (físicamente) hasta diez frecuencias pre-seleccionadas con la particularidad de poder asignarles un nombre a éstas; adicionalmente puede pre asignarse una frecuencia en STANDBY. Es un equipo que suele ser utilizado como medio principal de comunicaciones en las torres de control donde son instaladas. Del diagrama que se presenta es importante resaltar la existencia de los pines de micro (J, K), headphone (H, 7), auxiliary audio (C, D, E, 3, 4, 5), PTT (8, 9) e intercom (10).

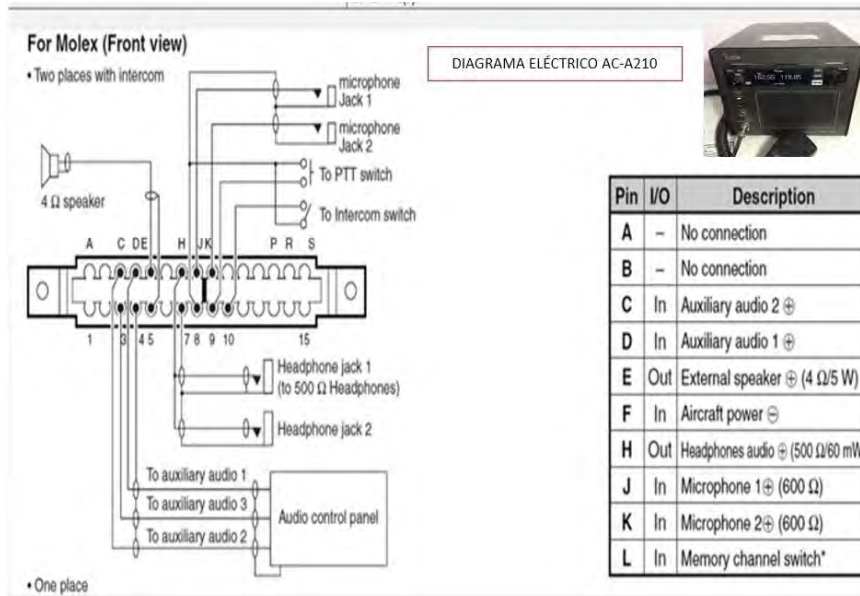


Figura 28: Diagrama Eléctrico de ICOM AC-A210

g.- Equipo VHF Banda Aérea PAE modelo 5610 [41].

Equipo que trabaja en la banda entre 117-138 MHz, vale decir abarca las frecuencias de comunicaciones aeronáuticas; además su espaciamiento entre canales es de 25 KHz para las frecuencias de comunicación. Es un equipo que por su antigüedad es utilizado como un medio alterno de comunicaciones en las torres de control donde son instaladas. Dicho equipo presenta muchas limitaciones desde operacionales como son la necesidad de trabajos internos para cambiar frecuencias y las limitaciones en potencia por degradación del mismo (en la figura siguiente puede apreciarse que no cuenta con selector de frecuencia), hasta las limitaciones técnicas por ausencia de data técnica. Ante ello se decidió no considerar al presente equipo para la implementación planteada en el presente trabajo.



Figura 29: Vista General del PAE 5610

h.- Equipo VHF Banda Aérea SELEX modelo OTE DTR-100 [42].

Equipo que trabaja en la banda entre 118-136.975 MHz, vale decir abarca las frecuencias de comunicaciones aeronáuticas; además su espaciamiento entre canales puede seleccionarse entre 25 KHz y 8.33 KHz para las frecuencias de comunicación; asimismo, puede programarse (físicamente), hasta diez frecuencias pre-seleccionadas. Es un equipo que es utilizado como un medio principal de comunicaciones en las torres de control donde son instaladas. Del diagrama que se presenta es importante resaltar la existencia de los pines de micro (1), headphone (8, 10, 11), PTT (3).

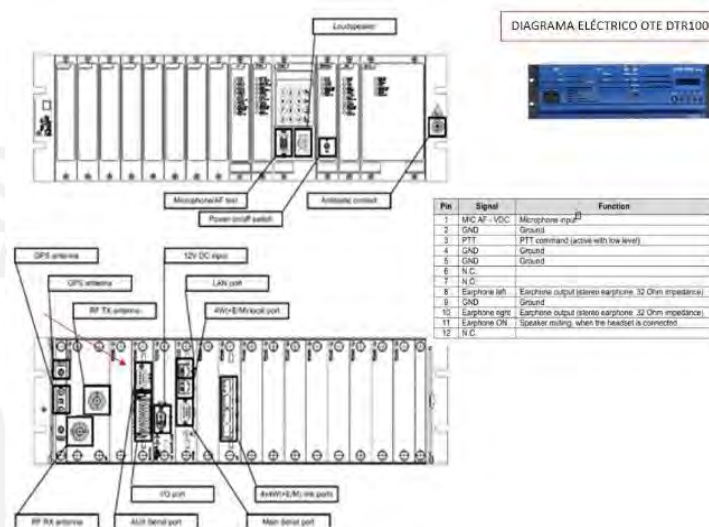


Figura 30: Vista de Puertos de Salida para Conexiones de DTR-100

i.- Equipo VHF Banda Aérea ICOM A120 [43].

Equipo que trabaja en la banda entre 118-136.975 MHz, vale decir abarca las frecuencias de comunicaciones aeronáuticas; además su espaciamiento entre canales es de 25 KHz para las frecuencias de comunicación; asimismo, puede programarse (físicamente), hasta diez frecuencias pre-seleccionadas con la particularidad de poder asignarles un nombre a éstas; adicionalmente puede pre asignarse una frecuencia en STANDBY. Es un equipo que suele ser utilizado como medio principal de comunicaciones en las torres de control donde son instaladas dada su potencia (36 Watts). Para nuestros intereses del presente estudio, y dado que este equipo ya contempla su uso en un entorno de RoIP, existe una conexión OPC-2275 que ya prepara las señales tanto de PTT, micrófono y recepción para

entornos IP, por lo que se utilizaría este cable, que se muestra en la siguiente figura (cabe precisar que este conector, posteriormente se va a acondicionar para el Gateway que vamos a utilizar).

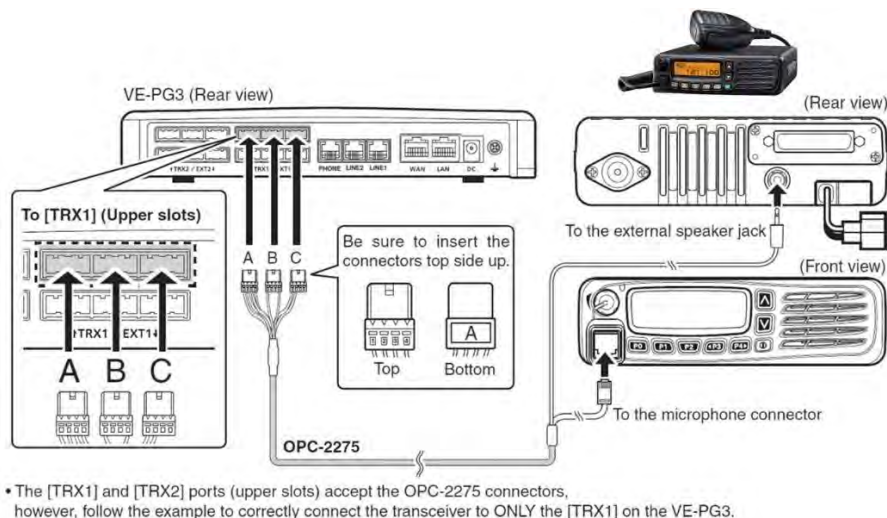


Figura 31: Diagrama de Conexión del Cable de Adaptación OPC-2275 Suministrado con ICOM A-120, “nótese que el extremo hacia el GATEWAY VE-PG3 será modificado posteriormente”.

3.2. DIMENSIONAMIENTO DE REQUERIMIENTOS QUE DEBE CUMPLIR LA SOLUCIÓN A IMPLEMENTAR BASÁNDOSE EN ESPECIFICACIÓN EUROCAE.

Para la selección del equipamiento a utilizar, así como para la diagramación de la topología a considerar, se ha visto por conveniente seguir como pauta las recomendaciones de una organización internacional especializada tal cual es EUROCAE (la organización europea para equipos de aviación civil), la cual reguló el uso de tecnologías IP (incluyendo RoIP) en entornos de Control de tránsito aéreo (ATC). Ante ello esta organización ha expresado en sus documentos técnicos las características que se deben normalizar en las implementaciones a realizarse en torres de control, sobre todo en aspectos de convergencia de voz / datos, calidad de Servicios (Q/S), seguridad y protección. Estos documentos son los que a continuación se detallan:

- ED-136 – VoIP ATM System Operational and Technical Requirements (2009)
- ED-137C (1, 2, 4, 5) – Interoperability Standards for VoIP ATM Components (2017 – 2018).
- ED-138 – Network Requirements and Performances for VoIP ATM Systems (2009).
- ED-139 – Qualification tests for VoIP ATM Components and Systems

De forma general, a través de todos ellos, EUROCAE pudo conseguir los siguientes resultados:

- Definió un sistema ATM e identificó sus componentes (Sistema de comunicación de voz/ VCS, estación de radio terrestre), de acuerdo a la inclusión de la tecnología IP dentro de esta estructura.
- Determinó posibles requisitos operacionales y técnicos ATM adicionales para nuevos Sistemas de voz ATM, también teniendo en cuenta las comunicaciones Aire – Tierra.
- Desarrolló una especificación técnica para un sistema VoIP (en especial RoIP) en un entorno ATM que incluya: Requisitos mínimos de rendimiento y seguridad, interoperabilidad, requisitos mínimos de rendimiento y pautas para las pruebas de calificación de los sistemas ATM VoIP a implementarse.

Para ello EUROCAE, definió un diagrama esquemático de una nueva red ATM asentada en evoluciones tecnológicas de telecomunicaciones, incluyendo RoIP. Este diagrama [44], es conocido como “DIAGRAMA DE VIENNA” (figura N° 30), el cual define sus componentes, sus correspondientes interfaces y se muestra a continuación:

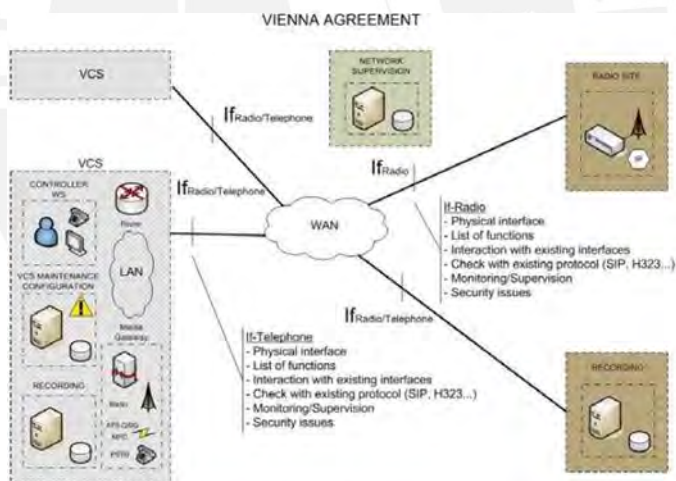


Figure 1: Vienna Agreement

Figura 32: Diagrama de Viena, Base de RED recomendada por EUROCAE

Fuente: Voice over Internet Protocol (VoIP) Air Traffic Management (ATM) System Operational and Technical Requirements, EUROCAE

En detalle, este diagrama define como componentes de los sistemas de la red ATM VoIP a los siguientes componentes VCS (VOICE COMMUNICATION SYSTEM), que realizan funciones de radio/teléfono y que incluyen:

- Posiciones de trabajo del controlador, asegurando HMI (interface hombre-máquina) incluyendo dispositivos de voz (micrófono y altoparlante).
- Posibles estaciones locales de mantenimiento y configuración de VCS.
- Posibles dispositivos locales de grabación.
- Posibles LAN para la interconexión local.
- Posibles pasarelas multimedia a sistemas heredados (ATS-QSIG, ATS-R2, ATS-No.5, PSTN, Líneas analógicas de radio).
- Componentes de estación de radio terrestre VoIP que realizan funciones de radio AM VHF y UHF.
- Componentes del sistema de supervisión VoIP que realizan funciones de supervisión y control.
- Componentes de grabación VoIP que realizan funciones de grabación.
- Componentes IP WAN que realizan servicios de interconexión entre dos o más diferentes componentes físicos.

De todos los documentos refrendados por EUROCAE, arriba mencionados, se han extraído los siguientes lineamientos que deberán ser considerados para el diseño de nuestra solución, los cuales se detallan a continuación:

3.2.1 REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE [45].

- La integridad de la señalización y la voz de cada mensaje individual transmitido o recibido deberá ser preservada en su totalidad por el sistema de radio.
- Se requiere la integridad de señalización de extremo a extremo (por ejemplo la realización del PUSH TO TALK PTT), esto deberá asegurarse, además de la conexión lógica durante toda la duración de cada transmisión y recepción.
- El retraso máximo de activación del transmisor (TAD por sus siglas en inglés) debe ser de 100 ms. (los 20 ms para el Tiempo de Activación del Transmisor TAT o los 50 ms del tiempo de activación del receptor RAT de los equipos de comunicación de banda aérea están incluidos en estos 100 ms).
- Al utilizar de manera cruzada dos equipos de comunicaciones, el máximo tiempo de inhibición del PTT será de 250ms.
- El retraso de la voz en una transmisión en tierra debe ser máximo de 130ms, incluyendo los 10 ms propios de los equipos legados, lo mismo para la recepción. UIT-T G.114.

- Para la señal de voz transmitida o recibida desde tierra al aire, el recorte tanto en el inicio como en el final de cada mensaje de voz transmitido, no debe superar los 64 ms.
- En servicios tierra-tierra la comunicación debe establecerse entre los controladores dentro de 2 segundos en el 99% de veces (desde que “A” inicia la llamada hasta que “B” recibe la alerta).
- El VCS y el equipo de radio deben operar con paquetes de 10, 20 y 30 ms. El tamaño del paquete debe definirse durante la negociación de la sesión SIP. El intervalo de paquetización predeterminado deberá tener una duración de 20 ms

3.2.2 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS [46]

- La interfaz del HEADSET (con micro incluido) debe ser compatible con ARINC 535^a mientras que la interfaz del micrófono de mano debe ser compatible con ARINC 538.
- Los protocolos básicos para la implementación son SIP (utilizado para iniciar el enlace entre el VCS y el equipo de radio) y RTP (para el transporte de paquetes de audio y señalización).
- La conexión se realizará en dos fases:

Fase 1:

La sesión SIP deberá iniciarse desde el lado VCS. El protocolo SIP debe ser utilizado para iniciar la conexión entre VCS y Radio y para definir / negociar los parámetros que se utilizarán durante la sesión a través de la Sesión Descripción Protocolo (SDP).

Fase 2:

RTP se utilizará para transportar audio, mientras que la extensión de encabezado RTP será utilizado para el transporte en tiempo real de la señal PTT del VCS a la Radio equipo y señales de calidad de llamada de A / C y BSS desde la Radio hacia el VCS. Además, el protocolo RTP deberá ser utilizado para controlar el enlace entre el VCS y la radio usando el mecanismo “Keep Alive”.

- La voz debe estar codificada según G.711 que es el básico algoritmo de compresión utilizado para la aplicación de transporte de voz en el mundo de la comunicación (por conservar la robustez) También si se requiere compresión ITU-T G.728 o el algoritmo CS-ACELP del UIT-T G.729.

- Como se especifica en la definición del protocolo RTP, los datos RTP deberían llevarse en un puerto UDP par y los paquetes RTCP correspondientes deberían llevarse en el siguiente puerto más alto impar.
- Los paquetes de voz serán privilegiados en la red, en una red privada.
- Prever redundancia (ningún punto de falla conduzca a la interrupción completa del sistema).
- En el diseño de la red, se debe contemplar para el enrutamiento protocolos Border Gateway Protocol Version 4+ (BGP4 +), enrutamiento estático o enrutamiento dinámico como el Open Shortest Path First (OSPF).
- Soportar Secure real-time transport protocol (SRTP) e IP Security (Ipsec).
- La red IP deberá distinguir entre diferentes clases de servicio (Q&S) y diferentes requisitos con respecto a la demora, la inestabilidad, la demanda de ancho de banda y la pérdida de paquetes.
- Las estadísticas de fallas se agregan para compilar las tendencias de falla a largo plazo. Por ejemplo, las métricas de disponibilidad, confiabilidad y mantenimiento se pueden compilar para evaluar la red cumplimiento del servicio con acuerdos de nivel de servicio.

3.2.3 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES [47]

- Los modos de operación de acceso al radio se activará con la operación de una tecla, botón, interruptor o ícono, será asociado con una frecuencia particular y deberá tener una indicación visual y de audio apropiada que indique la selección realizada. Debe considerar modo de uso en desactivado, recepción o transmisión.
- Dos o más (hasta un máximo de siete) controladores (no necesariamente colocados) pueden compartir el acceso a un transmisor común.
- Se debe establecer prioridades de acceso de transmisión como emergencia, prioridad o normal.
- Debe considerarse asegurar la no distorsión de la voz en recepciones simultáneas de frecuencias.
- En una posición de controlador, (CWP), los parámetros de visualización deben contemplar el modo de funcionamiento actual, la selección de radio principal o en espera y la indicación de llamada de avión (A / C) en la frecuencia entrante. Asimismo, el estado técnico de la frecuencia (fuera de servicio por ejemplo).

- Debe existir advertencia de desconexión por una medio visual o audible distintivo.
- Pueden contemplarse dos modos de frecuencia de acoplamiento cruzado: Cuando una aeronave transmita en la frecuencia 'F1' y se reciba en tierra, deberá ser retransmitida en la frecuencia 'F2'. Cuando el usuario transmite en cualquiera de las transmisiones de frecuencia 'F1' o 'F2' deberá ocurrir en ambas frecuencias al mismo tiempo.
- Preferencia PTT sobre acoplamiento cruzado. El PTT del controlador tomará prioridad sobre cualquier señal que esté siendo retransmitida actualmente (acoplamiento cruzado) la retransmisión se deshabilita durante la duración de la acción PTT del controlador.
- Notificación del estado del Tx/Rx pues cuando un usuario selecciona una frecuencia en una posición de trabajo de controlador CWP, en modo de recepción, el sistema DEBERÁ tener la capacidad de poner a disposición del usuario cierta información sobre el estado del Tx/Rx como confirmación de disponibilidad e identidad del receptor seleccionado. También se debe informar la posibilidad de rechazo.
- Debe existir la notificación de identidad de otros usuarios con acceso a la misma frecuencia, cuando cualquiera de esos usuarios ejecutan un PTT en esa frecuencia.
- En servicios tierra-tierra los servicios de comunicación del sistema deben proporcionar servicios dentro de una región de información de vuelo (FIR) entre todas las Unidades involucradas.
- En servicios tierra-tierra debe poder distinguirse entre una llamada instantánea y una llamada priorizada, siendo la primera una llamada que permite la transmisión de audio desde la parte llamante a la parte llamada sin que ésta tenga que realizar alguna acción de aceptación. La segunda clase (priorizada) es destinada cuando es necesario realizarla por un asunto de seguridad de aeronave y para habilitar, si es necesario, una interrupción de una llamada ordinaria.
- En cuanto a los servicio de grabación, estos deben contemplar lo siguiente:
 - Proporcionar un medio para grabar voz, que sea una representación fiel de las señales de audios presentadas.
 - La calidad del audio grabado no deberá mejorare ni degradarse.
 - Proporcionar medios para almacenar dos grabaciones de voz autónomas. Los files de grabación deberán contener información de la fecha y la hora con la voz grabada, para así identificarlos con precisión. Asimismo debe proveer información exacta de la fuente de información grabada.

3.3. DESCRIPCIÓN DE POTENCIALES EQUIPOS A UTILIZARSE PARA IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN.

Debido a que el alcance del estudio aspira ser un material de consulta detallado que viabilice una implementación concreta en el entorno ATC de la Fuerza Aérea, y a que la abundancia en el mercado de soluciones que ofertan GATEWAYS de Radio sobre IP como tecnología de soluciones transversales a varios entornos pero que no necesariamente podrían cumplir el estándar previamente determinado; se ha visto por conveniente realizar una indagación en el mercado para hallar equipos de diversos fabricantes que podrían ser utilizados para implementar la solución propuesta. En ese sentido, se presentan a continuación aquellos que por sus características y tecnologías se han considerado en el presente estudio y que para mayor detalle se podrá encontrar mayor información de los mismos en el Anexo "A":

3.3.1 EQUIPOS DBL.

La Empresa DBL, tal como se puede apreciar en su web [48] cuenta con soluciones de RoIP para entornos similares al que se pretende satisfacer con el presente estudio.

En ese sentido, se puede recoger como dispositivos útiles para la implementación de nuestra solución al VoIP el HT-922TN – adaptador de terminal analógico- que es una extensión telefónica a la red IP. Ofrece una interfaz de línea telefónica tradicional (PSTN) para un teléfono analógico, una extensión de línea PBX o una máquina de fax mientras que para las conexiones propiamente de las radios analógicas, los Gateway de interés resultan ser el 102 y 302M. El primero de ellos permite la interconexión de una estación fija de radios para la conversión de la señal de radio analógico a una señal de datos digital y posterior envío mediante una red IP; mientras que el dispositivo 302M hace la función de servidor dentro de la red.



Figura 33: Diagrama Tipo de una Red con Terminales Remotos de DBL

Fuente: RoIP-102 User Manual DBL Technology Limited

3.3.2 EQUIPOS BRIDCOMMSYSTEMS

La Compañía BRIDCOMMSYSTEMS, a través de la información extraída de su página web [49], presenta soluciones en hardware y software que puede ser utilizado para la implementación de nuestra solución en el entorno ATC.

Si bien es cierto, la mayoría de sus soluciones se enfocan en dar mayor capacidad a implementaciones de redes de comunicaciones digitales de dos vías (para equipos de la serie MOTOTRBO de Motorola principalmente); cuentan también con Gateway de RoIP denominados ARNS (AMATEUR RADIO NETWORKS SYSTEMS), disponibles para conexiones de Radio a IP de 1 hasta 3 radios. Además puede utilizar interfaz web para gestión del sistema y conexiones a implementar en nuestra red. Para efectos de control presenta software adicional como son TL-NET-PCSOFTWARE y una aplicativo de TALKMAP. Para fines de monitoreo es compatible con PC CLIENT SOFT de WINDOWS. La figura N° 32 mostrará una topología de red (siempre estrella) propuesta por la compañía para implementaciones en distintos entornos, utilizando estos dispositivos para el control de radios remotamente a través de una PC CLIENT con un aplicativo propietario.



Figura 34: Diagrama Tipo de una Red con Terminales Remotos de BRIDCOM.

Fuente: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0833/9095/files/Specsheet_MV_Series.pdf?13177209339509088170

3.3.3 EQUIPOS CUBIC.

La Empresa británica CUBIC VOCALITY, también presenta soluciones en base al uso de Radio sobre IP en escenarios similares al abordado por el presente estudio. Por lo visto en su web [50], podríamos encontrar hasta dos soluciones para nuestra problemática, con diversa complejidad, de acuerdo al siguiente detalle:

La primera solución posibilita que una serie de equipos de radio con PTT se conecten localmente a una red de conmutación de voz basada en SIP existente, que puede ser CISCO Call Manager, Juniper VoIP, Asterisc PBX, WAVE 5000 de Motorola u otra PBX VoIP comerciales basados en SIP a través de su dispositivo BASIC HIBRID, el cual permite transferencia no solo de videos sino también de datos. Esta unidad puede admitir la conectividad de muchos equipos de diferentes fabricantes (teléfonos, radios o PBX), incluidos CISCO, Avaya y Asterisk. Tiene conectividad de radio y telefonía analógica. Trabaja con un software de mejora y gestión basado en LINUX denominado VOCALITY GATEWAY SUITE entre cuyas capacidades es la creación dinámica de grupos de comunicaciones y cambio dinámico de portadores (por ejemplo de Red Privada a una Red pública o PSTN). La segunda posibilidad se asienta en la serie PRO de CUBICS que ofrece una mejor capacidad, compatibilidad y flexibilidad en chasis robusto. Son usualmente utilizados en comunicaciones centralizadas y ofrecen, entre otras cosas, redundancia de alimentación. De esta gamma, el modelo V50 PLUS es el diseño más compacto y permite de 4 a 16 puertos de voz analógicos FXS y FXO, 8 a 16 conexiones para radios analógicas, de 1 a 8 puertos ISDN BRI, soporta POE e incluye optimización de voz y aceleración de data.

En la gráfica posterior se aprecia el grado de convergencia que puede alcanzarse con estos dispositivos con tecnología RoIP e IP; posibilitando comunicaciones por ejemplo entre redes de radio que operan a distinta frecuencia, PSTN, telefonía móvil, teléfonos IP y servidores especializados.

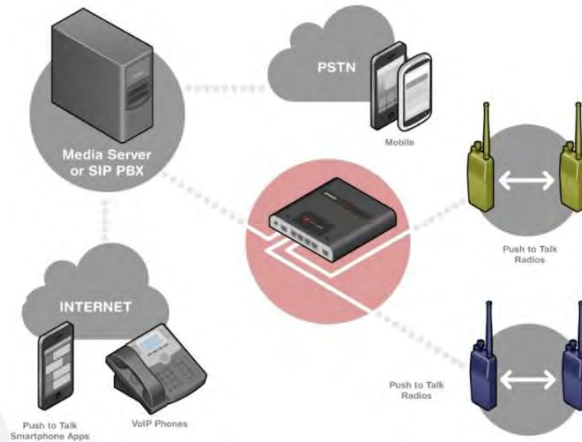


Figura 35: Vista de Equipo con Aplicabilidad de BASIC HIBRID y V50 PLUS de CUBIC.

Fuente: <https://www.vocality.com/radio-to-sip/>

3.3.4 SOLUCIÓN OMNITRONICS.

La Empresa OMNITRONICS, en su página web [51] muestra tres productos que nos pueden ayudar con la problemática y que en la siguiente figura se muestra la interacción de los mismos: El IPR100 (un solo canal de audio analógico a interfaz IP), IPR400 (cuatro canales analógicos a IP con capacidad de enlace cruzado) y el IPR110 Plus (Advanced VoIP y SIP Gateway) que permite a los clientes combinar RoIP con sistemas PBX de telefonía. En todos los casos tienen la capacidad de VoIP con unicast, multicast y conferencia IP; selección múltiple de codec y algoritmos de compresión, monitoreo del sitio I / O en el IPR400 usando SNMP, Interfaces con teléfono SIP y dispositivos compatibles con PBX.

Además una solución de OMNITRONICS incluye la implementación de un sistema de gestión y monitoreo denominado REDITALK que permite controlar funciones remotas y monitorear la integridad del sistema.

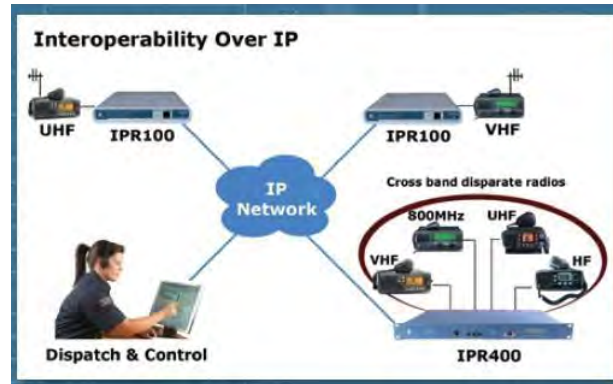


Figura 36: Diagrama Tipo de una Red con Terminales Remotos de OMNITRONICS; Específicamente los dispositivos IPR100 e IPR400.

Fuente: White Paper VoIP for Radio Networks, OMNITRONICS 2018

3.3.5 EQUIPOS ORION.

La Empresa ORION presenta sus soluciones de radio control system denominados RCS y hechos a requerimiento del usuario, los cuales interconectan múltiples radios analógicas de 4 cables a las consolas operadoras mediante el uso del transporte de Voz sobre IP (VoIP) / Radio sobre IP (RoIP) [52].

Estos pueden estar equipados (según nuestra necesidad), por cuatro interfaces de radio, una interfaz para telefonía (2 cables) y admitir hasta 4 consolas de operador. Cada consola de operador tiene comunicación de radio TX/RX independiente sin bloqueo. El sistema es capaz de transmitir y recibir audio simultáneamente en todas las redes de radio y también incluye dos redes locales de intercomunicación para la consola del operador a la comunicación de la consola del operador.

La Consola IP se compone de una PC con Windows, una aplicación GUI de Orion Systems y una caja de auriculares. La PC basada en Windows puede ser una computadora de escritorio, una computadora portátil, un instrumento con botón de presión o una tableta resistente utilizada en situaciones de comando móvil.

En la gráfica siguiente [53] se puede apreciar diferentes tipos de implementaciones que se pueden realizar con los dispositivos RoIP de ORION; así tenemos despliegues multicast, unicast o SIP para opciones de Extensores de Radio (TX/RX a distancias), PC Radio

Access (gestión de múltiples radios), repetidor de radio, extensor de tono remoto (con telefonía analógica) y conferencia multiprotocolo.

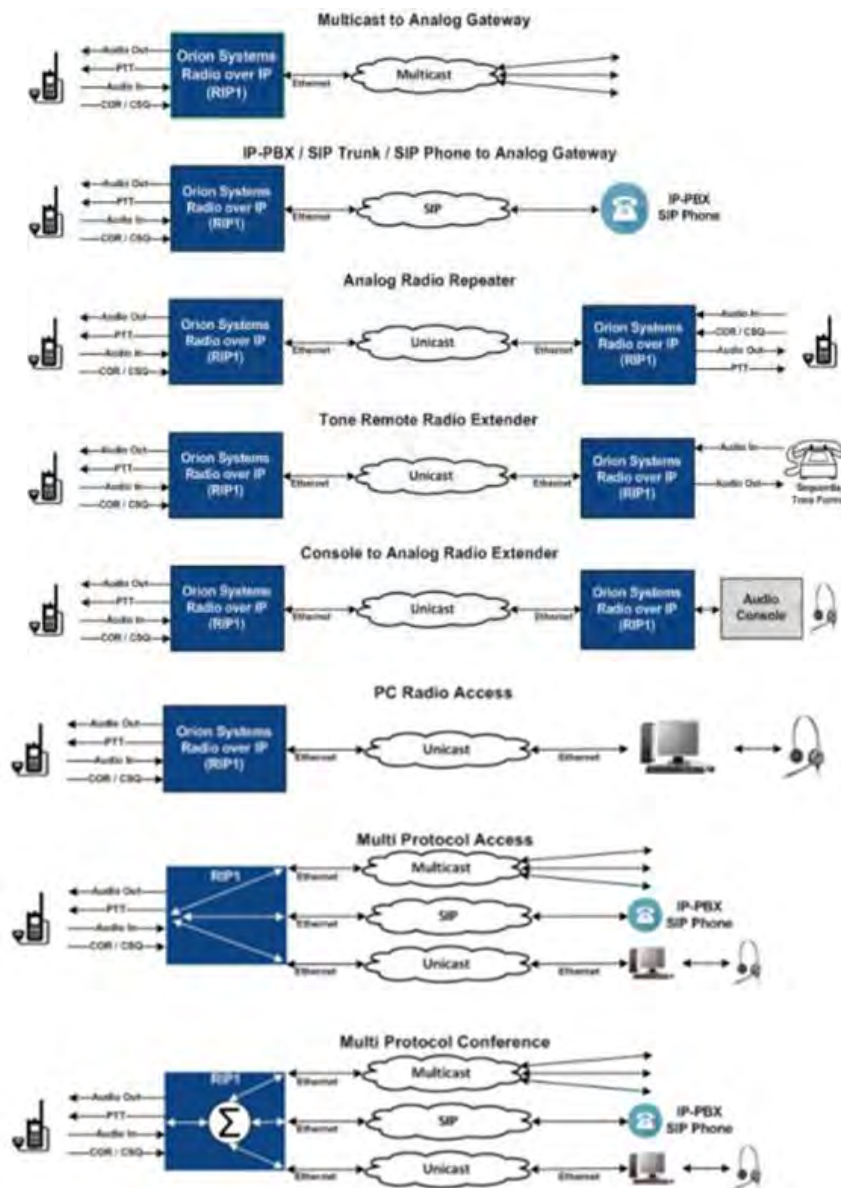


Figura 37: Vista de las Múltiples Opciones de Implementación con los Equipos ORION.

Fuente: <https://www.orionsystemsinc.net/radio-over-ip-roip-device/>

3.3.6 EQUIPOS TC COMMUNICATION

La Empresa TC COMMUNICATION en su página web [54], también oferta equipamiento basado en Radio sobre IP para implementar soluciones similares a nuestra problemática, pudiendo emplearse el TC3846-6 que ayuda a migrar las radios analógicas a una red IP,

con la particularidad de que debido a la trasmisión de la señal es de 64 kbps sin comprimir, el sonido será más claro en la nueva red. Admite las funcionalidades de PTT, COR, tonos de guarda y capacidad de transmisión local o remota.

Como ventaja señala que se basa en tecnología TDM sobre IP en lugar de SIP, lo que le permite una mejor calidad de voz traducida en parámetros como son una respuesta de frecuencia de audio lineal de 300Hz a 3000Hz, distorsión de cero volumen de -30dbm a +5dbm, amplificación de 1: 1 y voz sin comprimir, latencia de 1 mili segundo con una red IP bien administrada.

En la figura N° 38 mostrada a continuación se puede observar una ventaja operacional de este tipo de soluciones, tal cual es no solo la capacidad de extender el alcance de la red de radio implementada (que puede ser legada); sino también la posibilidad de distinguir por comparación, la más cercana estación que recepcionó la comunicación de una radio portátil de la red implementada.

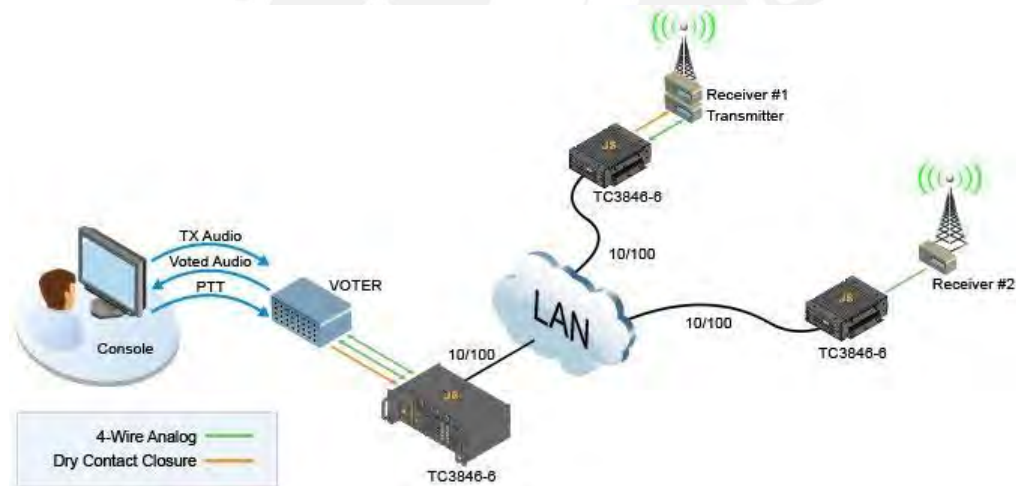


Figura 38: Diagrama Tipo de una Red Utilizando Dispositivos TC3846.

Fuente: <https://www.tccomm.com/JumboSwitch>

3.4. EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS CONSIDERADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN:

Una vez realizada la indagación de mercado de los diferentes equipos existentes que podrían ser utilizados para la implementación de nuestra solución; y haber establecido parámetros a contemplar para ellos de acuerdo a una norma estándar EUROCAE para la implementación de tecnología RoIP e IP en entornos de control de tránsito aéreo; se

procederá a realizar un análisis de comparación con el objeto de encontrar la mejor opción en el equipamiento a utilizar.

Cabe agregar que para la evaluación de los equipos, sólo se han contemplado las consideraciones inherentes al gateway RoIP, mientras que los aspectos relativos a la implementación, equipos legados y redes serán considerados en los cuadros como No Aplicables (NA).

3.4.1 EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE.

Tabla 6: Tabla de Evaluación de Requerimientos de Performance

CONSIDERACIÓN	DETALLE	TC3846-6 TC COMM	RCS4-IP ORION	IPR400/IPR100 OMNITRONICS	V50/BASIC HIBRID CUBIC	ARNS BRIDGE	HT922TN/ 102/302M DBL
Conservación de Integridad de Voz	Referido a no alteración del Mensaje	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Conservación de Integridad de Señalización	Referido a PTT y COR	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Retraso Máximo de Activación del Transmisor (TAD)	100 ms (incluyendo los 20 ms tiempo activación del transmisor (TAT) o los 50 ms tiempo activación del receptor (RAT)	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Tiempo Máximo de inhibición PTT	250 ms en caso de uso en modo cruzado	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Retraso de Transmisión de voz en tierra	130 ms, incluyendo los retrasos de equipos legados	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Retraso de Transmisión d voz desde aire	64 ms, incluyendo los retrasos de equipos legados	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Establecimiento de comunicación en Servicios tierra-tierra	Dentro de 2 segundos el 99% veces	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Tamaño de los paquetes VCS	10, 20 o 30 ms	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Intervalo entre Paquetización	20 ms	SI	SI	SI	SI	SI	SI

3.4.2 EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TECNICOS.

Tabla 7: Tabla de Evaluación de Requerimientos de Técnicos

CONSIDERACIÓN	DETALLE	TC3846-6 TC COMM	RCS4-IP ORION	IPR400/IPR100 OMNITRONICS	V50/BASIC HIBRID CUBIC	ARNS BRIDGE	HT922TN/ 102/302M DBL
Interfaz HEADSET (micro) compatible con ARINC 535A	600 OHM	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Interfaz micro de mano compatible con ARINC 538	600 OHM	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Protocolos de implementación SIP	Para inicio de enlace entre VCS y el equipo de radio	NO	SI	SI	SI	SI	SI

Protocolos de implementación RTP	Para transporte de paquetes de audio y señalización	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Codificación	G.711, G.728 o G.729	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Uso de puerto para RTP	Por puerto UDP PAR	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Clasificación de paquetes de voz	Privilegiados dentro de la red privada	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A

3.4.3 EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Tabla 8: Tabla de Evaluación de Requerimientos Funcionales

CONSIDERACIÓN	DETALLE	TC3846-6 TC COMM	RCS4-IP ORION	IPR400/IPR100 OMNITRONICS	V50/BASIC HIBRID CUBIC	ARNS BRIDGE	HT922TN/ 102/302M DBL
Modo de Activación	Tecla, botón, interruptor o ícono con indicación visual y auditiva	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Número de Controladores accedendo a la radio	Máximo 7	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Avisos al controlador referente al estado y uso de las radios	Modo de funcionamiento actual, selección de radio en principal o modo espera, indicación de frecuencia entrante y estado de la frecuencia, advertencia de desconexión, identidad	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Modos de transmisión especiales	Contemplar modos de acoplamiento cruzado y priorización de llamadas	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Prioridad de Modo de comunicación	Prioridad PTT	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Como el cumplimiento de los requerimientos funcionales, técnicos y de performance es determinante; por esta razón, al no cumplir con alguno de ellos, las opciones 1 (TC COM por no utilizar protocolo SIP sino uno propietario) y 5 (ARNS por no brindar Q&S que posibilite asegurar el establecimiento de comunicaciones dentro de un tiempo determinado el 99% de veces) serán dejadas de lado.

Dicho esto, se procederá a evaluar bajo ciertos criterios a las alternativas hasta ahora se han presentado, bajo los siguientes criterios:

- CONOCIMIENTO Y EXPERIENCIA EN USO DEL EQUIPAMIENTO DE LA FIRMA Y COMPROBADA PERFORMANCE (0.4) donde el KPI será el número de implementaciones (al menos uno) realizadas en la FAP con equipamiento de la misma marca comprobando de este modo su correcta performance.

Tabla 9: Tabla de Evaluación Ponderada – Criterio Conocimiento y Experiencia

VALORACIÓN	RESULTADO	ALTERNATIVA	PUNTAJE
100%	Si se ha utilizado en Perú	ORION	0.40
75%	Si se conoce de su aplicación en soluciones exitosas entornos complejos		
50%	Si no se conoce aplicación	OMNITRONIC HIBRID DBL	0.20

- COSTO DEL EQUIPAMIENTO (0.2)

Tabla 10: Tabla de Evaluación Ponderada – Criterio Costo

VALORACIÓN	RESULTADO	ALTERNATIVA	PUNTAJE
100%	HASTA \$6,000.00 x UND	HIBRID	0.10
75%	HASTA \$4,000.00 x UND	ORION OMNITRONIC	0.15
50%	HASTA \$2,000.00 x UND	DBL	0.20

- INCLUSIÓN DE APLICATIVO QUE CUMPLA CON LOS REQUERIMIENTOS COMO PARTE DE LA SOLUCIÓN (0.4)

Tabla 11: Tabla de Evaluación Ponderada – Criterio Aplicativo

VALORACIÓN	RESULTADO	ALTERNATIVA	PUNTAJE
100%	SOLUCIÓN COMPLETA	OMNITRONIC ORION HIBRID	0.40
75%	SOLUCION MEDIA		
50%	NO INCLUYE SOLUCIÓN	DBL	0.20

3.4.4 RESULTADOS FINALES (EN TABLA Y EN GRÁFICA).

Luego de realizar la correspondiente evaluación de las opciones encontradas en el mercado para implementar nuestra solución de RoIP en el entorno de Control de Tránsito Aéreo de la Fuerza Aérea; se ha podido constatar que la opción de la Empresa ORION LTD, a través de sus dispositivos RCS4-IP resulta ser la mejor (0.75) debido principalmente a su factibilidad de incluir los aplicativos de gestión y operación dentro de su solución (con un número determinado de licencias) y la experiencia que se cuenta en

el uso de dispositivos de dicha marca (en entornos aeronáuticos) y comprobada performance.

Tabla 12: Tabla de Evaluación Ponderada – Valoración Final

Nº	SOLUCIÓN	VALORACIÓN
1	DBL	0.60
2	HIBRID	0.70
3	OMNITRONIC	0.75
4	ORION	0.95

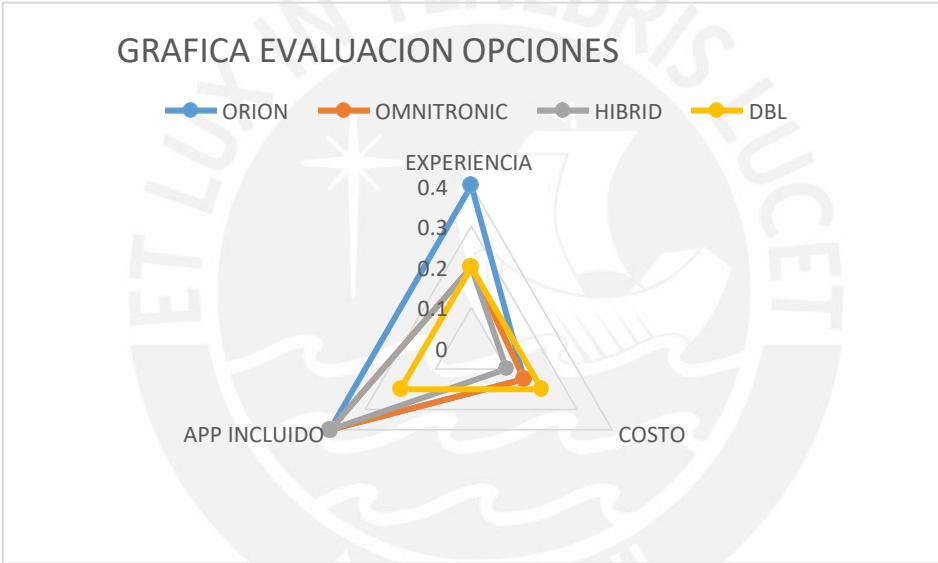


Figura 39: Diagrama de Resultados de Evaluación de Opciones de Equipos.

4.- CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.

4.1. CONCEPCIÓN DE LA SOLUCIÓN A IMPLEMENTAR – GESTIÓN DEL ALCANCE.

Una vez habiendo establecido los requerimientos técnicos, de performance y operacionales que la solución de RoIP a implementar en el sistema de control de tránsito aéreo que la Fuerza Aérea debe contemplar; y habiendo seleccionado la mejor opción dentro del mercado de equipos predominantemente en función de GATEWAYS RoIP e IP (RCS de ORION SYSTEMS), es necesario ahora establecer las consideraciones del diseño final que la solución a implementar debe considerar para lo cual se delinearán la línea base del mismo.

4.1.1.- ENUNCIADO DEL ALCANCE

Realizar un estudio técnico y económico que posibilite la posterior implementación de gateways RoIP bajo el estándar EUROCAE en trece (13) torres de control de aproximación y servicios de control de aeródromo, bajo responsabilidad de la Fuerza Aérea del Perú, en diversas partes del territorio nacional con la finalidad de incrementar la capacidad de gestión del control de tránsito aéreo en periodos de alta densidad de tráfico.

Como entregables se tendrán en el presente trabajo:

- Elaboración de diagramas esquemáticos de la solución.
- Elaboración de diagramas eléctricos de conexión entre gateways RoIP y las radios legadas.
- Diagramas y dimensionamiento de redes.
- Alcance técnico de la solución.
- Pasos procedimentales para configuración.
- Implementación.
- Entrenamiento en operación para usuarios.

Como supuestos validados en el estudio:

- La posición planteada en el presente trabajo resulta ser la de un equipo de trabajo que busca sustentar la viabilidad de un proyecto de impacto para solucionar un problema técnico operativo existente.
- El trabajo no incluirá el cambio de radios en las torres de control, por lo que son llamados equipos legados, los cuales se encuentran funcionando adecuadamente según el análisis realizado, de igual manera para los equipos de cómputo.

- La red de datos a emplear es existente y cuenta con la capacidad de soportar el tráfico de datos producto de esta evolución.
- En todos los lugares donde se realizará esta implementación, se cuenta con un cuarto de comunicaciones que alberga servidores que servirán como repositorios de las comunicaciones.
- No se considerará un análisis de propagación radioeléctrica en vista que el cambio de las radios de las torres de control no se encuentra contemplada en este trabajo.
- El personal responsable de la implementación y posterior entrenamiento será un equipo conformado por seis (06) personas.

4.1.2.- ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL TRABAJO – EDT

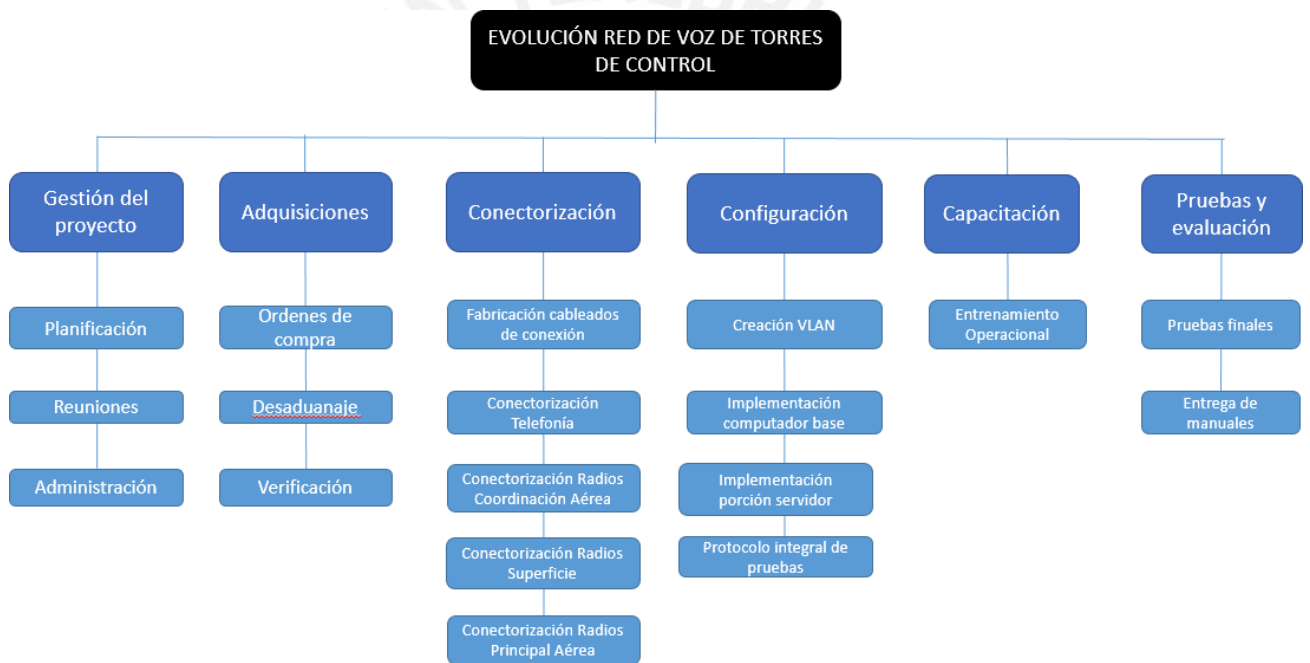


Figura 40: Descomposición del Trabajo EDT.

Para fines del presente trabajo, a continuación solo se considerarán aquellas actividades directamente relacionadas con la implementación técnica.

4.1.3.- DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LA SOLUCIÓN

A continuación se presenta el siguiente diagrama esquemático (figura 38) de nuestra implementación, la cual se ha diseñado en base al diagrama de Vienna propuesto por EUROCAE. Este diagrama resulta ser un bloque básico de implementación en una región tipo; la cual consta de tres (03) torres de control con la misma configuración de equipamiento (por ello se indica x3), un (01) centro de coordinación y un (01) data center regional, esto de acuerdo al siguiente detalle:

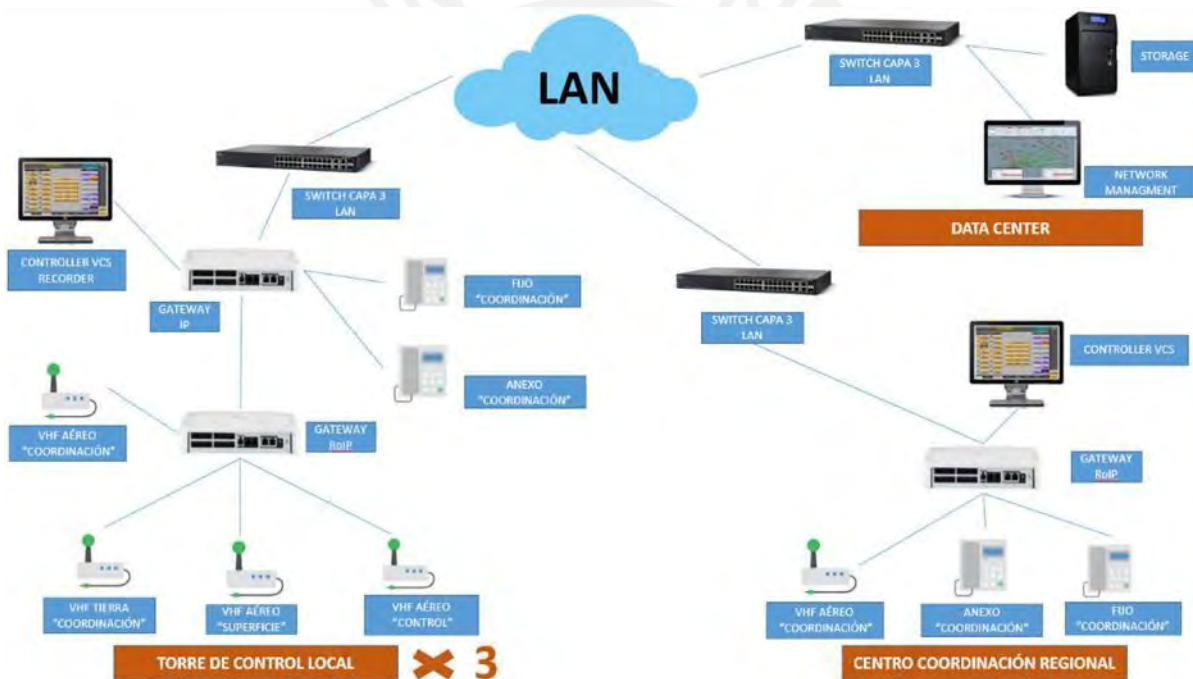


Figura 41: Diagrama Esquemático de la Solución Propuesta.

Como consecuencia del gráfico anterior, se desprende el siguiente diagrama que pretende mostrar la solución para la Fuerza Aérea con alcance nacional; en ese sentido este contemplará implementar tres (03) bloques básicos regionales (norte, centro y sur) tal como se mostró en la figura anterior; así como dos (02) bloques especiales (Iquitos y Pucallpa), los cuales no contarán con centro de coordinación ni data center por no estar implementados en dichos lugares a la fecha.



Figura 42: Diagrama Esquemático a Nivel Nacional de la Solución Propuesta.

Cabe precisar que en todos los casos, los equipos legados son los equipos de comunicaciones (radios banda aérea, radio banda terrestre, líneas FXO y anexo IP), así como los componentes de red (SWITCH CAPA3), los servidores de almacenamiento (incluyendo el aplicativo) y WORKSTATION de gestión.

4.1.4.- ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS ELÉCTRICOS DE CONEXIÓN ENTRE EQUIPOS LEGADOS Y GATEWAYS RoIP.

Para la realización de la interconexión entre los equipos de comunicación legados y los Gateway de RoIP considerados para utilizar en la solución a implementar, se demanda la elaboración de los correspondientes diagramas eléctricos, los cuales se detallan a continuación:

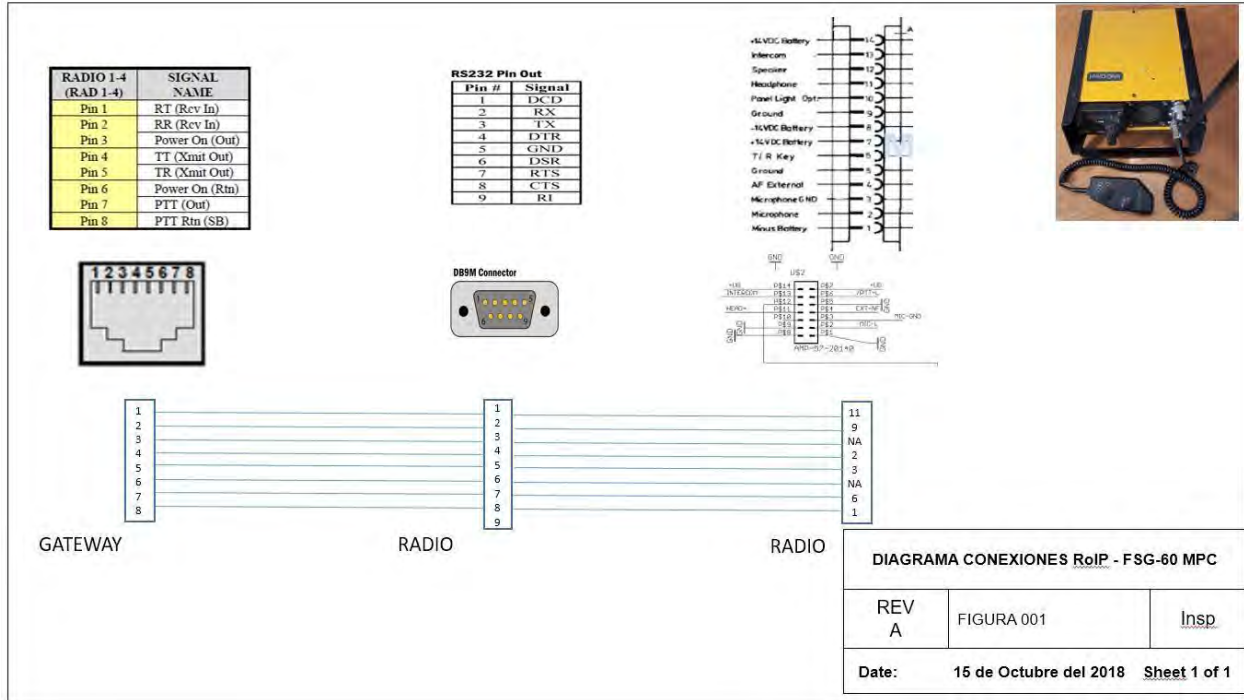


Figura 43: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos DITTEL FSG-60MPC

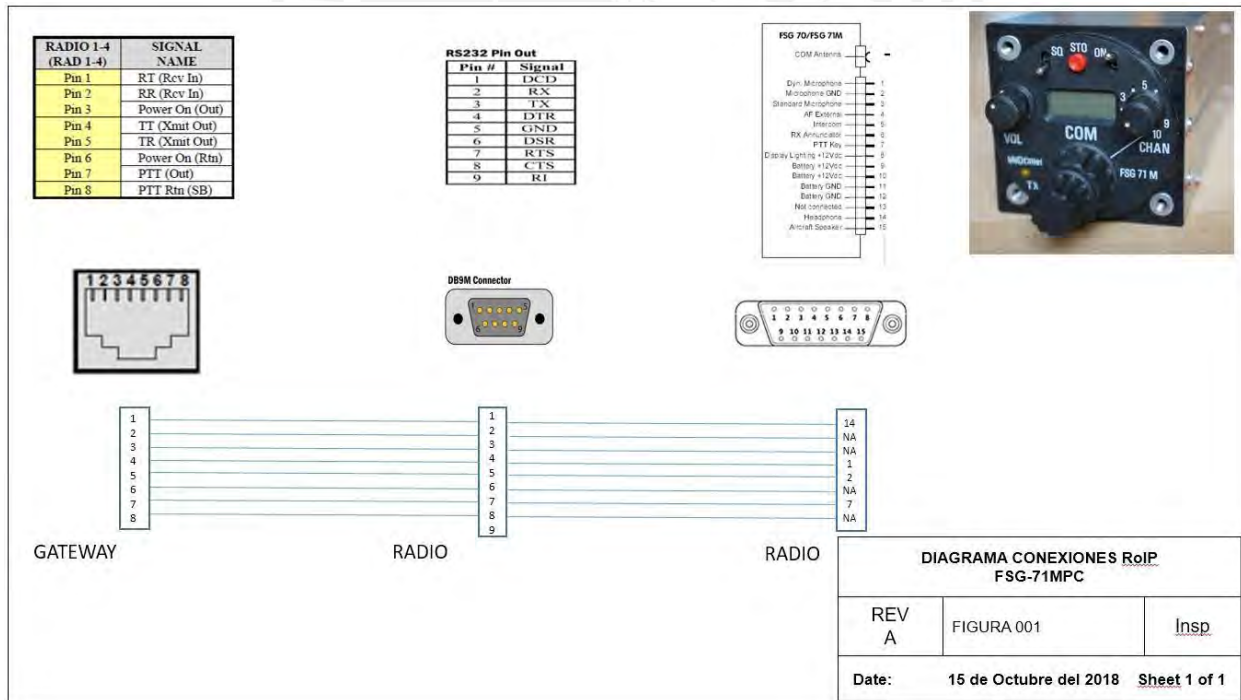


Figura 44: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos DITTEL FSG-71MPC

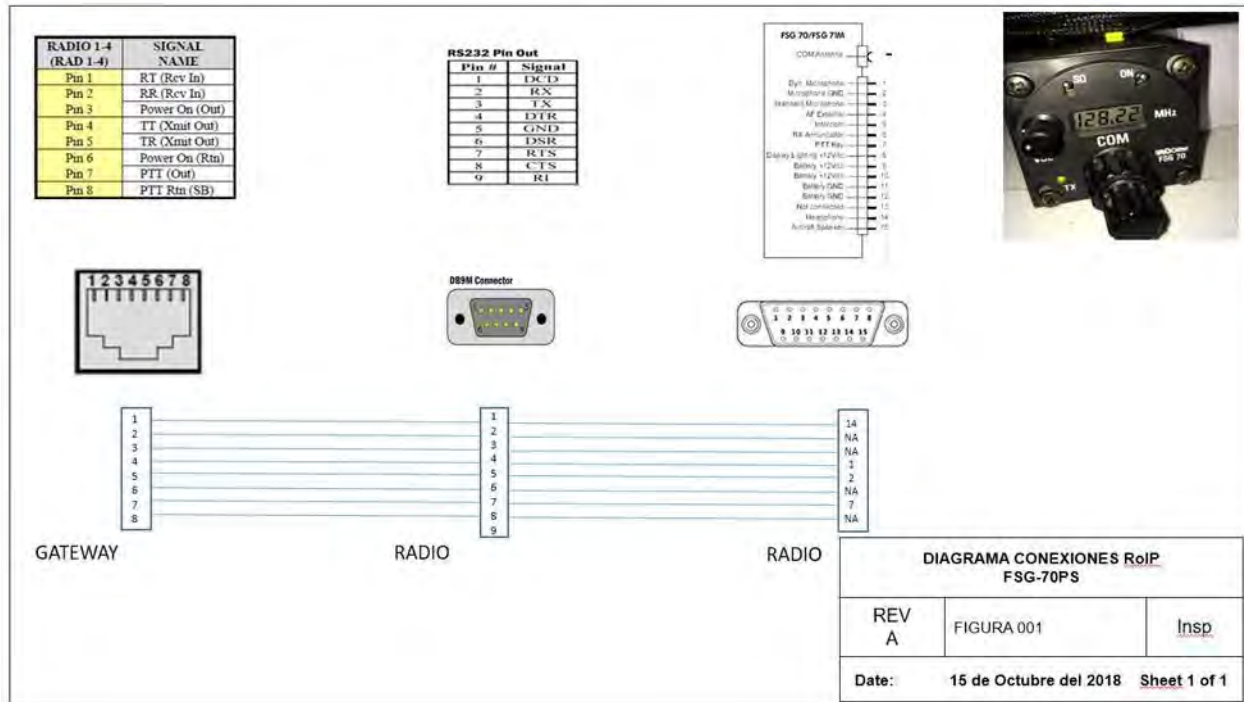


Figura 45: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos DITTEL 70PS

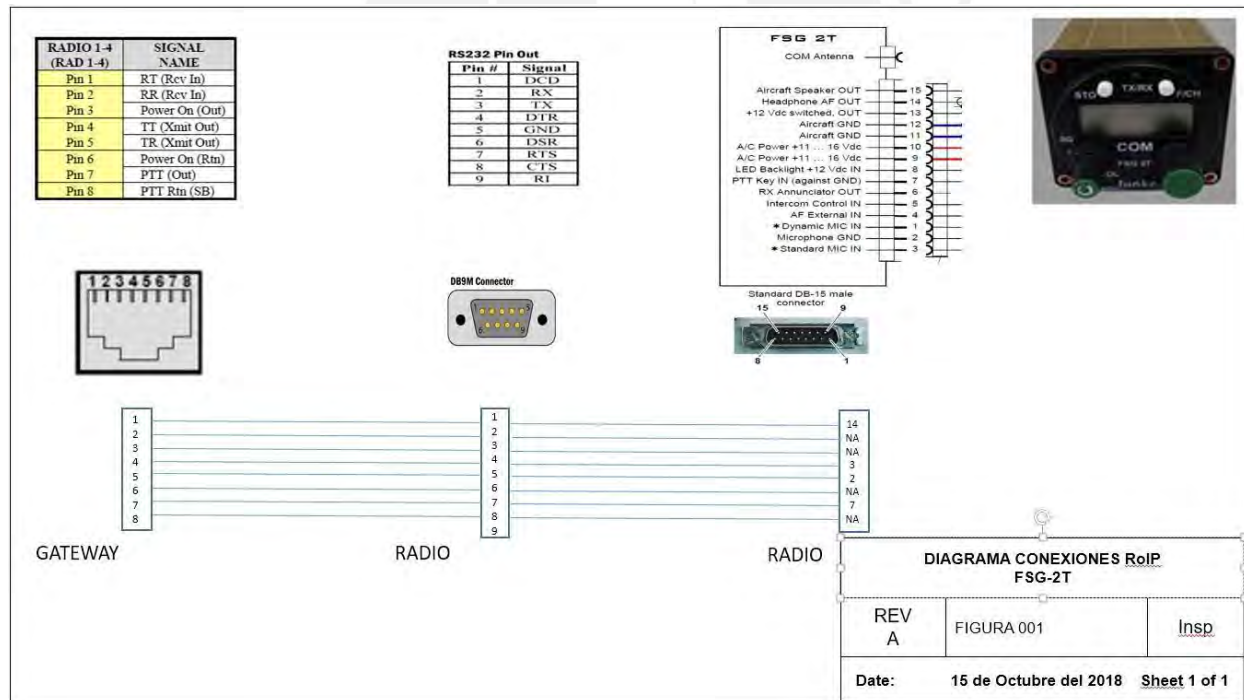


Figura 46: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos DITTEL FSG-2T

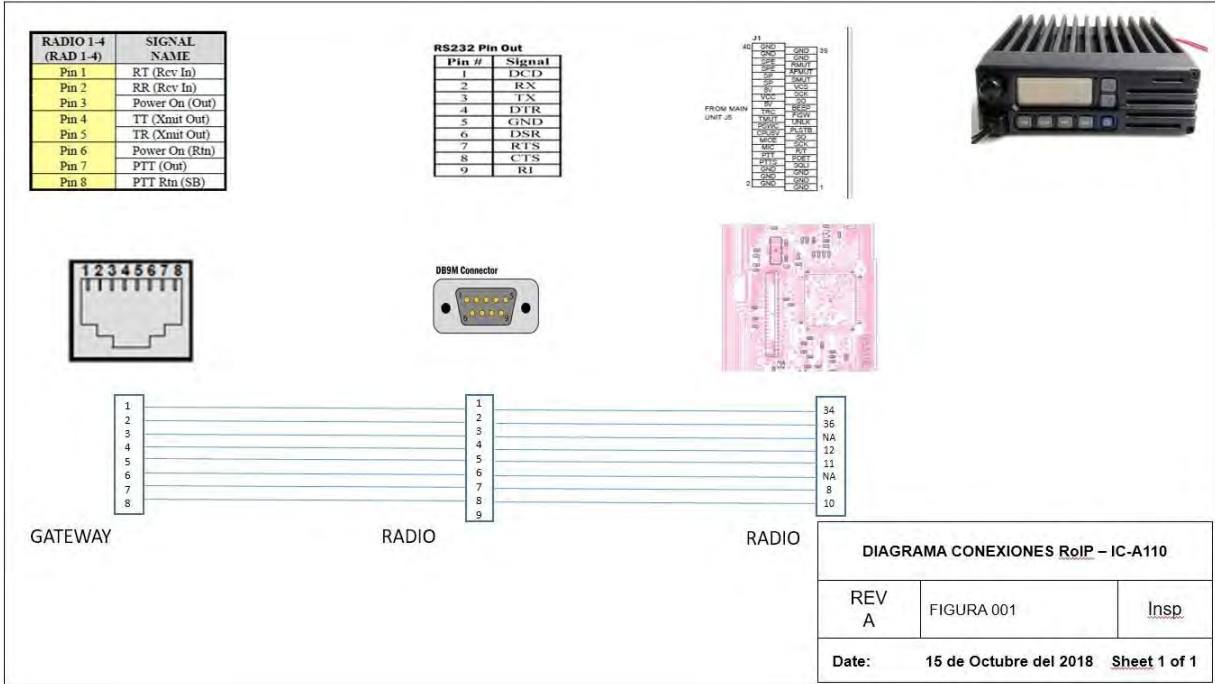


Figura 47: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos IC-A110

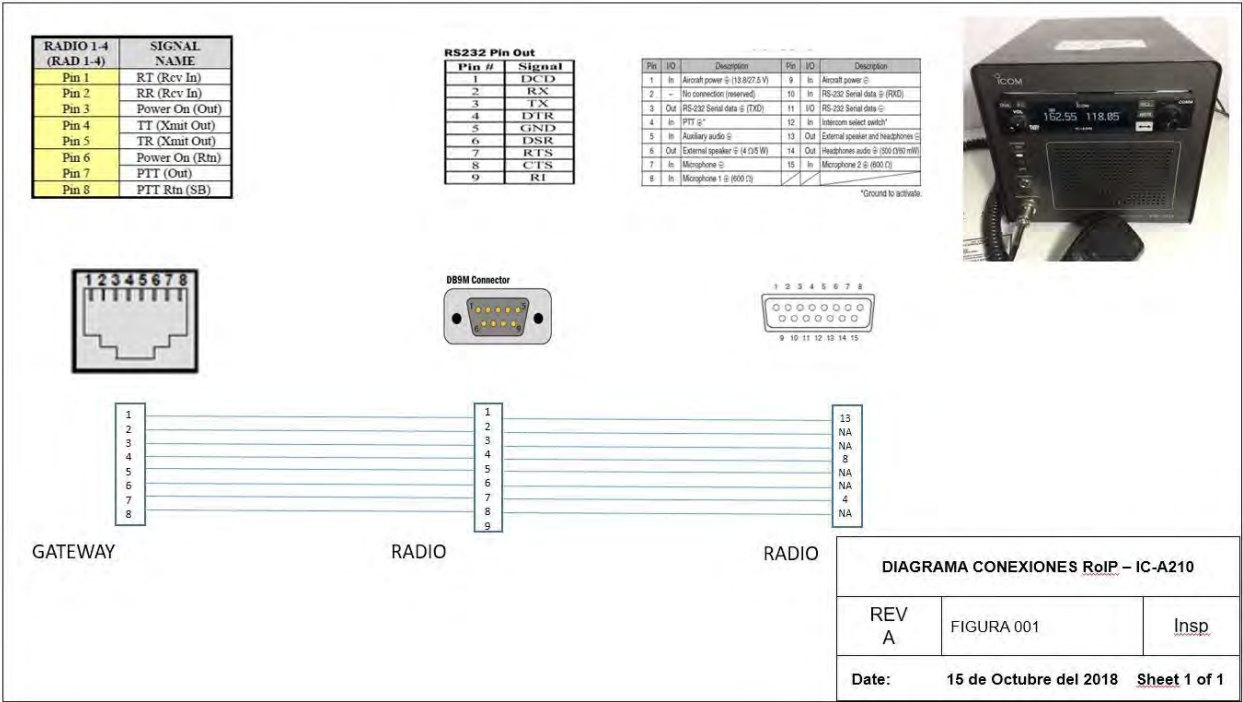


Figura 48: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos IC-A210

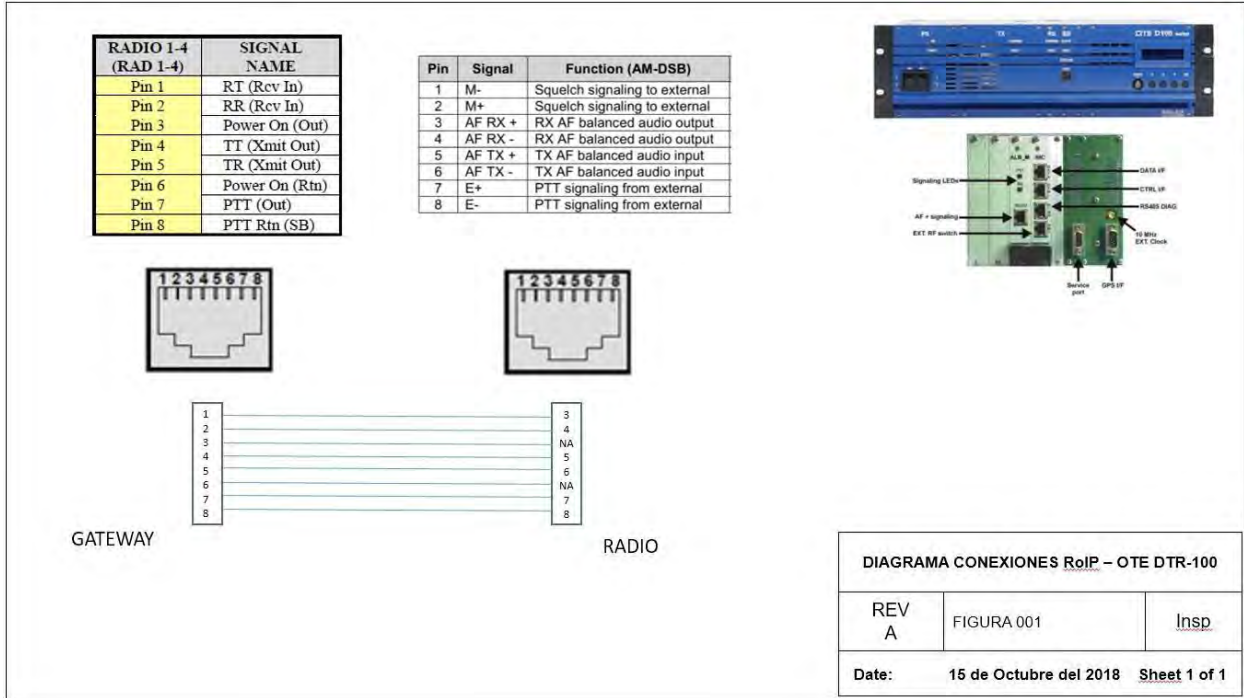


Figura 49: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos OTE DTR-100

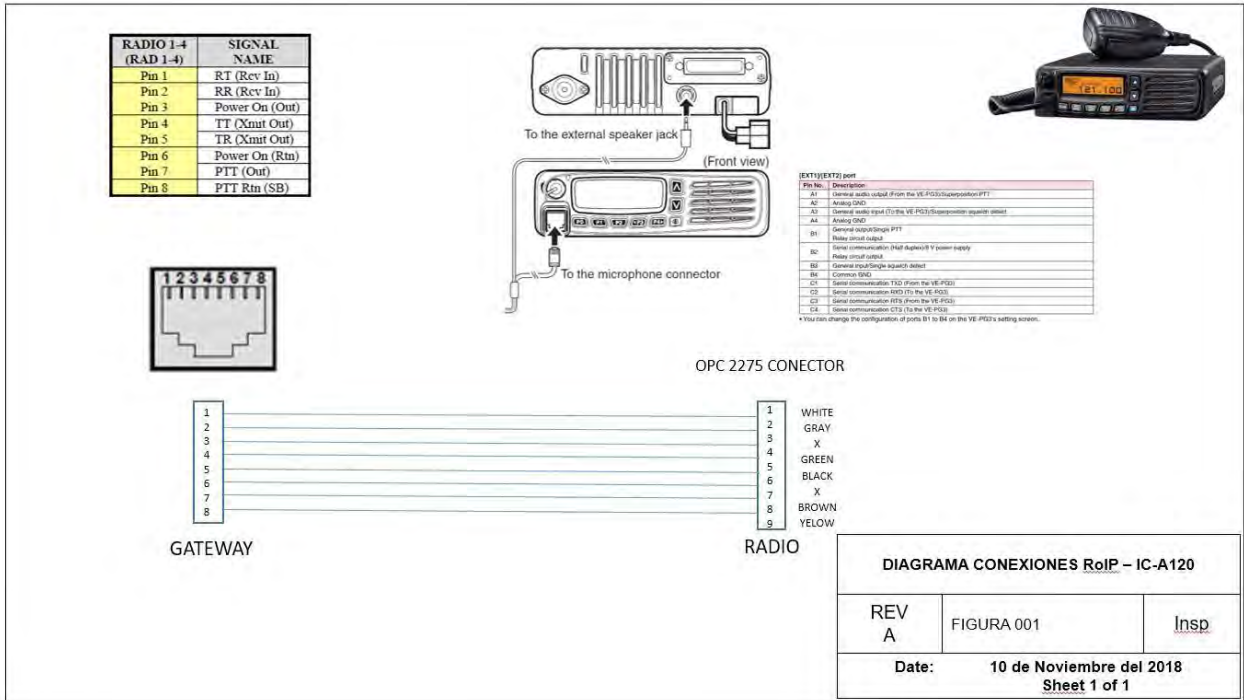


Figura 50: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos ICOM A120

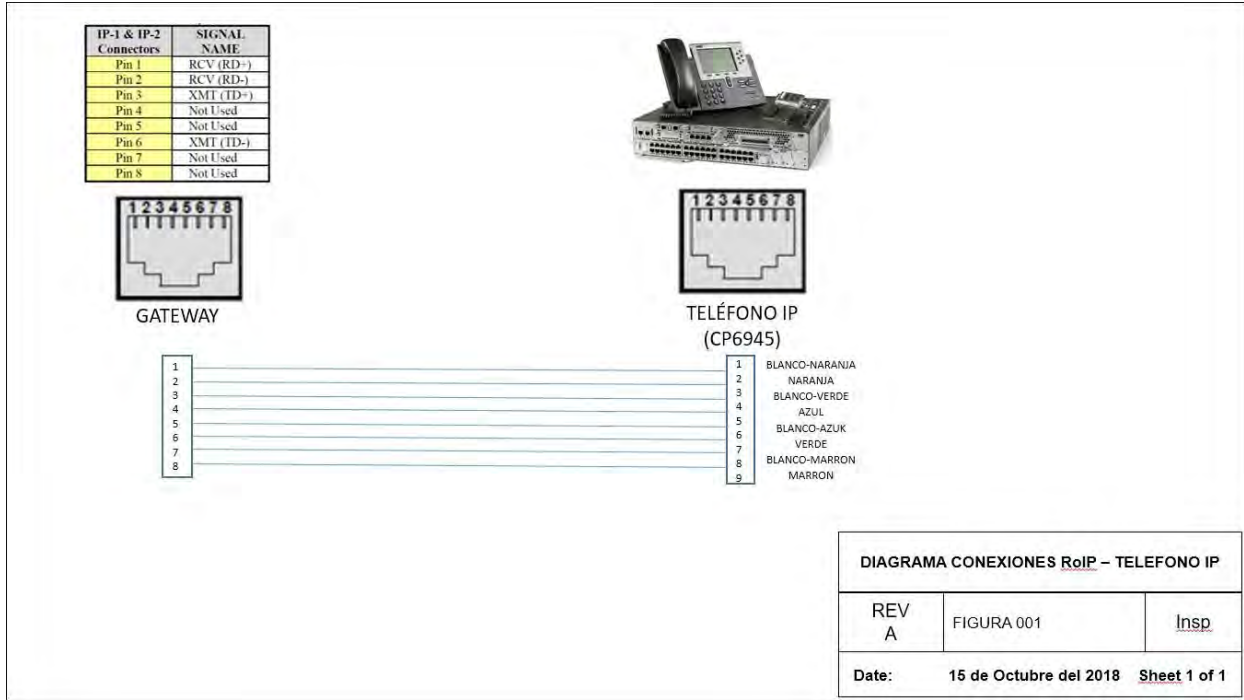


Figura 51: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos Telefonía IP

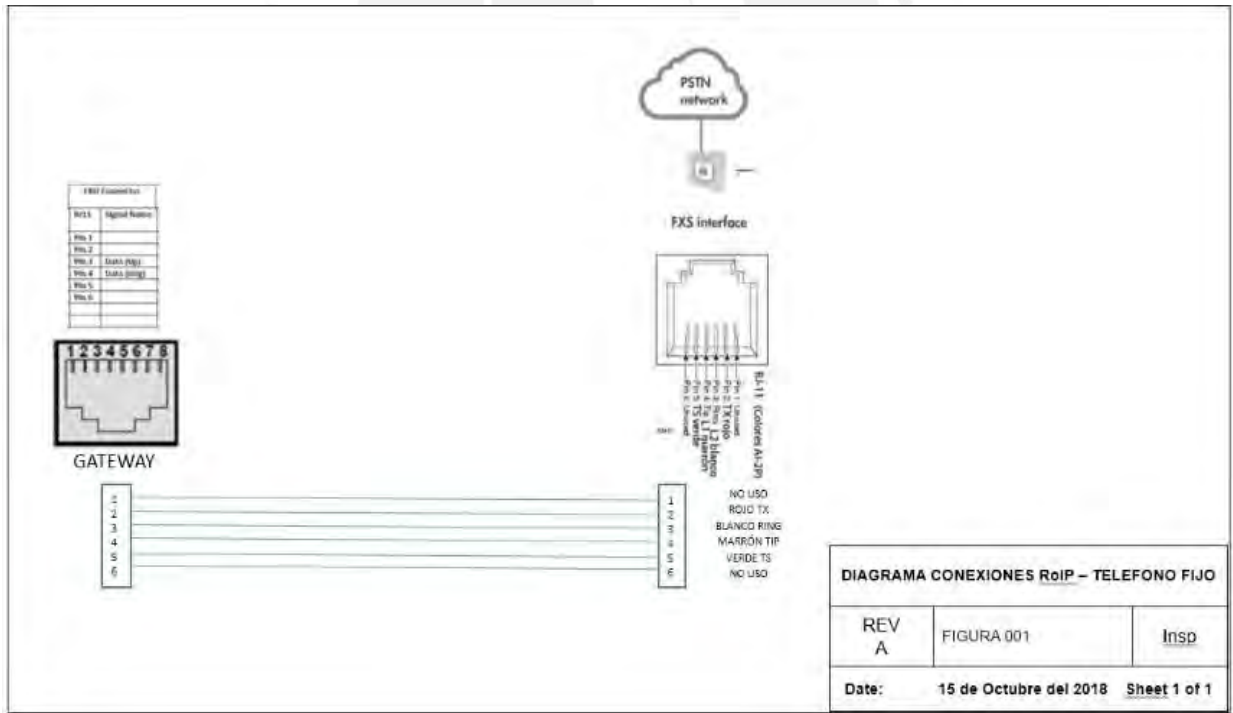


Figura 52: Diagrama Eléctrico de Conexión de Equipos Telefonía FXO

4.1.5.- OVERVIEW DEL ALCANCE TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN.

La solución planteada de Radio sobre IP aplicada al Control de Tránsito Aéreo en la Fuerza Aérea del Perú permitirá ejercer control en un ambiente de alta heterogeneidad de equipos; incluso haciendo que este control sea extensible a nivel regional entre las torres de control y Centros de Coordinación. La consola IP de Orion Systems seleccionada interconectará a los operadores de consola (controladores de tránsito aéreo) con otros operadores de consola a través de una red LAN utilizando Radio sobre protocolos IP (RoIP) y Voz sobre IP (VoIP).

En cuanto al equipamiento seleccionado, RCS4-IP –RADIO CONTROL SYSTEM-, tal como se pudo observar en la correspondiente evaluación, cumple con las normas seleccionadas que provienen del estándar EUROCAE, sobre todo en aspectos de latencia, protocolos y codecs utilizados. También incluye conectividad de hasta ocho estaciones de trabajo de operador RCS4-IP y una grabadora de voz digital VoIP (VR), interconectadas a través de la conexión LAN Gigabit Ethernet heredada. También cuenta con una PBX VoIP local y una instancia de Cisco Call Manager auto contenida, que proporciona registros de teléfonos SIP locales e interconexiones de troncales SIP a otros sitios organizados de manera idéntica a través de una VPN a través de Internet. El Administrador de llamadas de Cisco proporciona acceso a las capacidades de conferencia de audio y PSTN.

Lo que se espera, una vez implementada esta solución, es que se incremente la posibilidad de mantener el control de tránsito aéreo correspondiente, aminorando la carga laboral del personal de ATC; a través de la conmutación distribuida y control de área amplia, aumentando la redundancia y proporcionando máxima seguridad y fiabilidad.

La consola de operador ATC-IP (el aplicativo de operación), será el punto de control a través del cual los operadores seleccionan redes de voz, radios, y teléfonos para las comunicaciones requeridas aire-tierra o tierra-tierra que materialicen las funciones de ATC que se requieren, tales como servicios de control de aproximación y servicios de control de aeródromo. Este software (Denominado ONEIDA) proporciona la interfaz gráfica de usuario (GUI) para administrar los recursos del sistema, ejecutándose desde una estación de trabajo (computador) ya existente en las torres de control (utilizado actualmente para una solución de grabación de comunicaciones denominada ECOVOX). Desde ella se permitirá a los operadores hacer y recibir llamadas telefónicas y de radio, con las siguientes características:

- Interacción simultánea con múltiples operadores.
- Transmisión simultáneamente a múltiples radios con una sola pulsación del botón PTT.

- Responder múltiples llamadas telefónicas y realizar conferencias ad-hoc
- Posibilidad de realizar conferencias
- Utilizar identificador de llamadas tanto para consolas de operador como para teléfonos.
- Incluye controles de volumen, audio presente, monitor múltiple, silencio, comunicación cruzada, selecciones de llamada y volumen.
- Funciones telefónicas tales como identificador de llamadas, rellamada, transferencia, conferencia, mantener y no molestar.

El dispositivo Gateway seleccionado, RCS4-IP proporcionará comunicación de voz mediante el acoplamiento de radios a redes LAN. Cada interfaz de radio de 600 Ω par de audio y transmisión analógica balanceada, además contará con audífonos y micros acordes a las impedancias requeridas. A continuación se presenta en la siguiente figura un diagrama en bloques de la solución planteada a nivel regional, donde se muestran aquellos equipos que serán conectados a la intranet de la FAP ya existente.

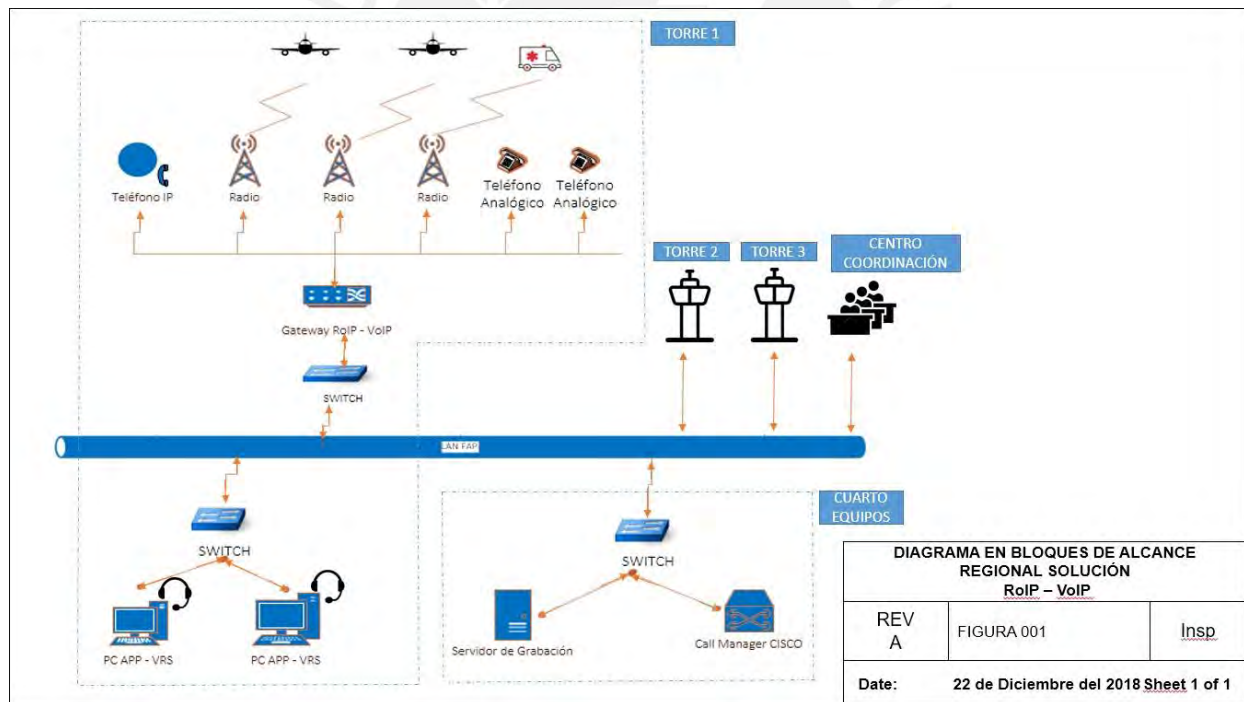


Figura 53: Diagrama en Bloque de la Solución Planteada (en Región)

Un requerimiento funcional incluyó la remisión de todas las transmisiones de audio recogidas por el Gateway a una grabadora de voz digital (VR) en el sitio a través de la red IP Ethernet LAN. Esta grabadora aceptará secuencias de audio utilizando el Protocolo de transporte en tiempo real (RTP). Cada flujo RTP, por ejemplo, desde un canal de radio o sesión SIP, se copiará al VR

utilizando un número de puerto UDP configurable y único. El VR utilizará el número de puerto UDP para diferenciar entre las secuencias en sus pistas de grabación. Por ejemplo, la interfaz digital de radio1 configurada para grabar usando el puerto UDP 2001 copiará los paquetes RTP internos del RCS4-IP a la dirección IP del VR etiquetado con el puerto UDP 2001. De manera similar, los dos flujos RTP que comprenden una llamada SIP en curso se copiarán al VR utilizando dos números de puerto diferentes, uno para el flujo de entrada (a SIP) y el otro para el flujo de salida. La interfaz RECORD proporciona acceso a todo el audio de recepción, transmisión continua y transmisión en PTT.

Un requerimiento funcional adicional era el integrar las comunicaciones de radio y teléfono en las torres de control en una capacidad de conferencia de voz unificada a través de la red IP Ethernet LAN. Esto puede materializarse a través del establecimiento de conexiones SIP con los puentes de conferencias para reuniones de Cisco Call Manger PBX locales heredados.

Para inicializar la interfaz con el Administrador de llamadas de Cisco, el RCS4-IP se registrará a través del mensaje REGISTRO SIP. El RCS4-IP se presentaría en el CALL MANAGER CISCO como un teléfono más.

Cuando un operador de RCS4-IP desee conectar una radio a un grupo de conversación, primero marcará el número de cuatro dígitos asociado con el grupo de conversación (utilizando el panel de contactos RCS4-IP). Cuando la extensión del grupo de conversación responde, verifica que el grupo esté funcionando al monitorear el audio brevemente, luego presiona uno de los cuatro botones PATCH (refiérase a la figura N° 52) disponibles en la consola RCS4-IP, seguida de uno de los circuitos de radio deseados. El operador debe seleccionar el panel de pantalla SIP para completar el proceso de conexión cruzada.

Cuando el operador visualiza este proceso, el panel de la pantalla SIP cambiará de color a azul, lo que indica que la llamada está en espera mientras está conectada a la radio.

El soporte de llamadas SIP entrantes hacia una RADIO (conexión cruzada según requerimiento operacional) se materializará al contestarse la llamada y luego determinando (el controlador) qué radio debe conectarse en la llamada (teclas PATCH).

4.1.6.- CONFIGURACIÓN DEL APLICATIVO DE OPERACIÓN.

La Compañía llama a la versión de Aplicativo “ONEIDA”, siendo los pasos los siguientes:

- Instalar el controlador del RCS4-IP (verificando la compatibilidad de 32 o 64 bit).
- Conectar el RCS4-IP.

- Instalar la Aplicación de Radio Control “ONEIDA”, no aparecerá luego de ello ningún ícono en el escritorio.
- Instale el archivo ORIONSYSTEMRCSETUP.
- Ingresar por WEB BROWSER a la página de configuración del RCS4-IP, utilizando la dirección 10.2.163.32 y la clave orion1.
- Cambiar los datos de red de acuerdo a la VLAN que se creará para la red ATC donde se utilizará el equipo; seleccionar SUBMIT y esperar el reseteo del RCS4-IP, lo cual concluirá cuando el LED verde de la cara frontal se encienda sólidamente.
- Abrir del computador la aplicación ONEIDA, ingresar a la ventana SETUP a través de la clave 000000.
- Ingresar a la ventana SYSTEM CONFIGURATION mostrada en el gráfico N° 51 e ingresar la IP ADDRESS del RCS4-IP ingresada anteriormente y escoger el número de estación que de acuerdo al ordenamiento será asignado al computador donde se está trabajando.



Figura 54: Vista de Pantalla de Cambio de IP – ORION

- Seleccionar la opción CONTROL de la ventana SOUND CONTROL con el fin de establecer, de acuerdo a comodidad los niveles de volumen de escucha, niveles de volumen de micrófono y side tone.

- Seleccionar la opción APPLY y aparecerá una ventana de RESTART. Aparecerá luego la ventana del aplicativo (figura N° 52), de la siguiente manera.



Figura 55: Vista del Aplicativo a Utilizarse - ORION

- Ingresar a la ventana SETUP e ir a la sub ventana KEY CONFIGURATION con el fin de asignarle nombres a los canales de comunicación de las RADIOS, de los INTERCOM y de los TELCOS. En la misma configurar los niveles de transmisión y recepción (aunque esto último debe realizarse también al final de la instalación completa para la puesta a punto del sistema).



Figura 56: Vista de la Ventana de Configuración de los Canales de Voz - ORION

SIGNIFICADO DE ACTIVIDAD PARA LOS CANALES DE RADIO E INTERCOM:

- Los colores blancos indican “inactividad”, esto es no existir posibilidad de transmitir (por radio o intercomunicador).
- Los colores rojos indican “transitividad”, esto es posibilidad de transmitir y recibir (por radio o intercomunicador).
- Los colores verdes indican “solo recepción”, no hay posibilidad de transmitir (por radio o intercomunicador).
- Sólo a través de la opción INTERCOM AND RADIO PTT se puede establecer comunicación cruzada entre los canales de INTERCOM y de RADIO seleccionados (en rojo). En todos los casos (INTERCOM PTT, RADIO PTT e INTERCOM AND RADIO PTT), una actividad de recepción o transmisión será indicada a través de la activación en color azul.

SIGNIFICADO DE ACTIVIDAD PARA LOS CANALES TELCO

- La coloración amarilla en alguno de los canales de TELCO indicarán una llamada telefónica entrante. Al presionar esa tecla, se podrá contestar la llamada.
- La coloración roja indica una condición de descolgado, ya sea una llamada contestada o una llamada iniciada.
- Para iniciar una llamada, se selecciona el teléfono a utilizar (presionando la tecla TELCO), y luego se marca el número utilizando las teclas de numeración o extendiendo la barra de número de agenda (previa visualización de la activación en coloración verde del DIAL PAD).
- También existe la posibilidad de llamar desde una lista de contactos (seleccionando la tecla “CONTACTS”)

4.1.7.- ASPECTOS A CONSIDERAR EN NETWORKING.

Tal como se mencionó en el párrafo correspondiente a la línea base del alcance, esta implementación utilizará no solo el equipamiento de radio legado de las torres de control, sino también empleará para su despliegue la red de datos que la Fuerza Aérea tiene desplegada en sus diversas Unidades a nivel nacional, y cuyas prestaciones posibilitan el subsecuente despliegue de INTRANET en topología tipo estrella cuyo centro se encuentra en Lima.

En ese sentido, se muestra a continuación el diagrama de red de una torre de control típica dentro de la Fuerza Aérea con la implementación propuesta, omitiendo por razones de seguridad la información complementaria correspondiente a la restante topología de la INTRANET FAP.

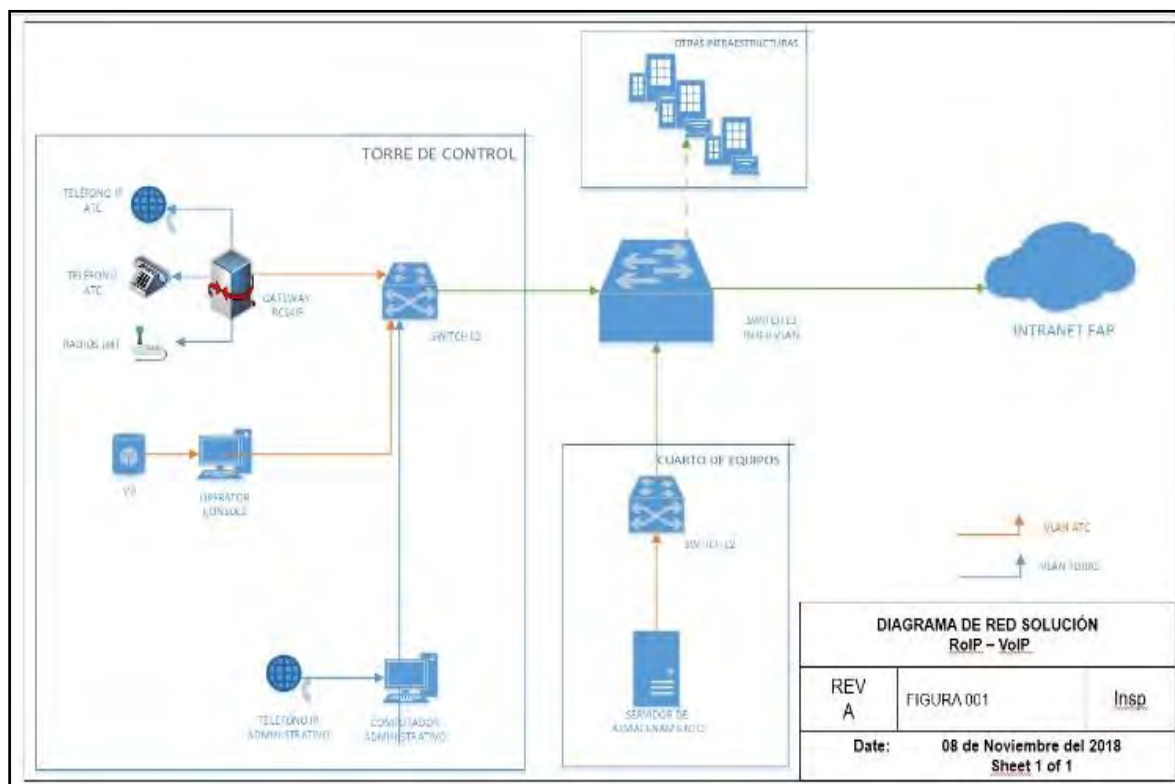


Figura 57: Diagrama de Red de la Solución Planteada (Dimensionada a Una Torre)

Al respecto, si bien como se puede apreciar en el diagrama superior, la topología legada no considera redundancia en el equipamiento, específicamente para la solución de Control de Tránsito Aéreo planteada, la redundancia radica en el uso de los equipos mismos, en su manera nativa, como la opción de redundancia que se requiere.

A continuación se muestra en la figura N° 55 una captura de protocolos realizado con el programa WIRESHARK de una comunicación tipo RoIP con un equipo ORION RSC-4IP. Producto de ello se desprende la figura siguiente (N° 56), donde se muestra la pila de protocolos que intervienen en este tipo de comunicaciones:

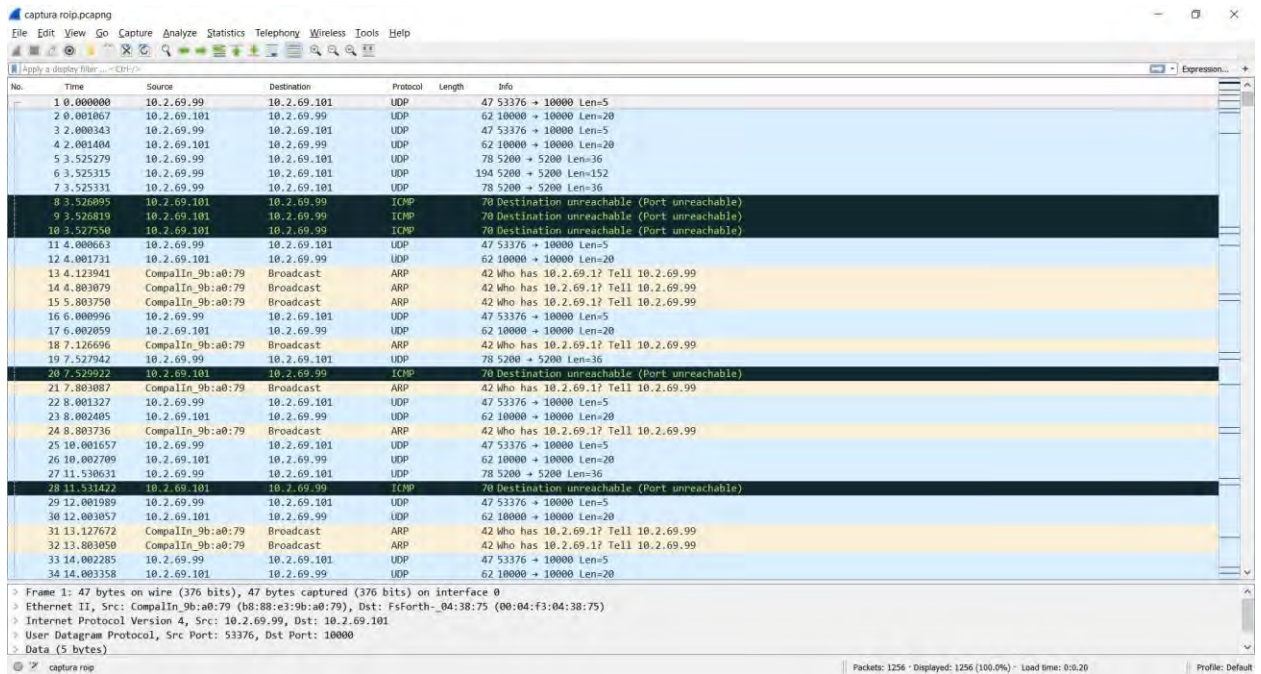


Figura 58: Muestra de Captura de Protocolos de una comunicación RoIP



Figura 59: Pila de Protocolos de Comunicación RoIP

4.2. PROCESO DE MIGRACIÓN HACIA LA SOLUCIÓN PLANTEADA – GESTIÓN DEL TIEMPO.

Se debe asegurar que el proceso de migración hacia la solución planteada resulte ser lo más rápida posible. De acuerdo a ello cabe precisar que la gestión de tiempo presentada a continuación es dimensionada en la parte eminentemente técnica, por lo que la estimación de tiempos no considera aquellos destinados al proceso de adquisición que toda entidad gubernamental en Perú debe seguir.

Adicionalmente, y considerando que las torres de control y centros de coordinación en la FAP son ambientes que deben funcionar de manera continua y confiable durante la ejecución de operaciones aéreas en su zona de responsabilidad, debe preverse que esta implementación se realice en periodos de ausencia de actividades aéreas; lo cual resulta ser más probable en horas de la noche (realizando además una coordinación estrecha con CORPAC a través de la emisión de NOTAMs). Por esta razón, para dimensionar la duración de cada actividad se ha estimado un PERT de 95% incidiendo un mayor valor (por 4) a la duración más probable de cada actividad en relación al peso asignado a los estimados optimistas (01) y pesimista (1). Ante ello, el cronograma de actividades se presenta de la siguiente manera:

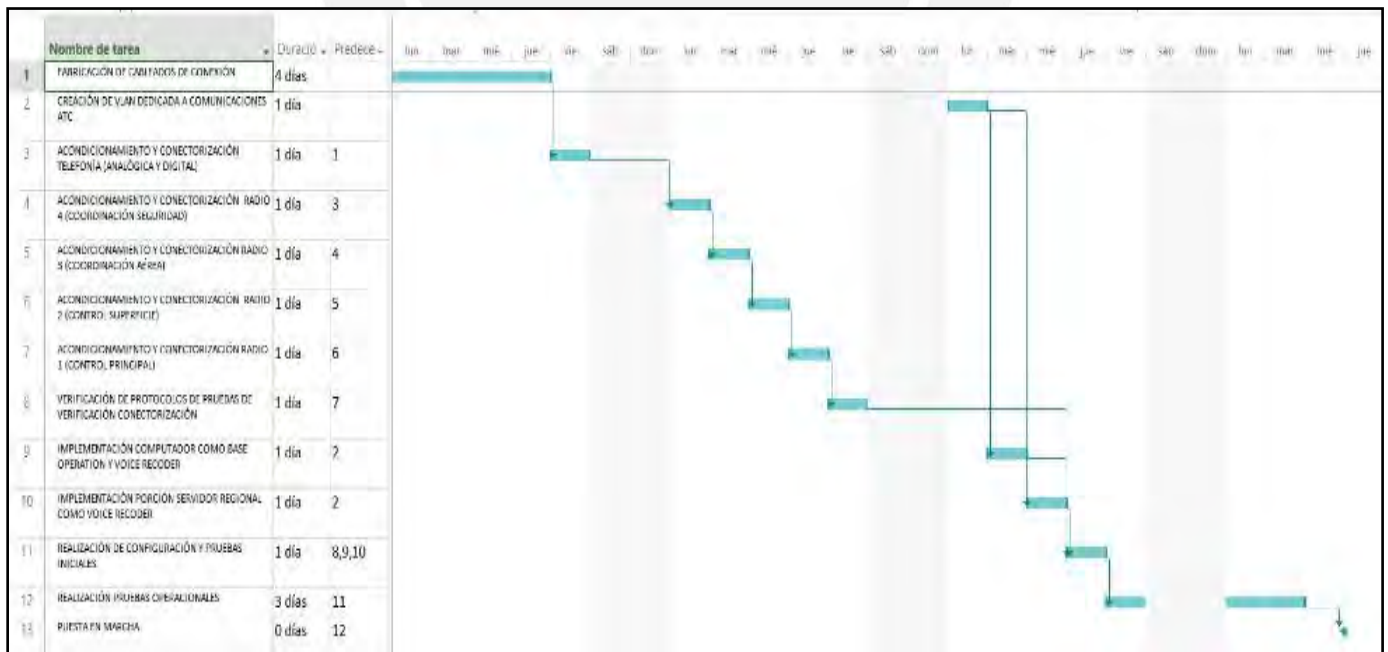


Figura 60: Cronograma de Tiempo de Implementación de la Solución Propuesta

En dicho cuadro puede resumirse que el planteamiento de migración (por torre de control) involucra trece (13) actividades a desarrollarse, mayoritariamente del tipo FINISH TO STAR e incluyendo en ellas el único HITO proyectado (puesta en marcha), las cuales tendrán una duración de diecisiete (17) días laborables de seis horas diarias (entre las 20:00 y las 02:00 horas), desarrolladas por tres (03) personas (haciendo un total de trescientos seis (306) horas hombre. Cabe precisar que este es el cronograma de trabajo tentativo para la implementación en la primera torre de control, debiendo ser este revisado para la implementación en torres posteriores y así optimizar los tiempos de implementación subsiguientes; aun así el promedio de implementación a nivel regional alcanzaría los cincuenta y un (51) días laborables. Asimismo, es preciso señalar que la actividad denominada realización de pruebas funcionales incluirá el entrenamiento de los operadores de ATC con el objetivo de familiarizarlos en el funcionamiento de la solución (operación del aplicativo, ubicación de los dispositivos implementados, familiarización con los headset y micros, entre otros).

4.3. DIMENSIONAMIENTO ECONÓMICO DE LA SOLUCIÓN PLANTEADA – GESTIÓN DEL PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE COSTO EFECTIVIDAD.

4.3.1.- PRESENTACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO ECONÓMICO.

Para el dimensionamiento económico de implementar la solución se ha considerado:

- Empleo de una cotización actualizada a abril del presente año y con una vigencia de seis (06) meses. Asimismo, cabe agregar que en esta línea base de costo sólo se están considerando los dispositivos activos a adquirir e incluye como INCOTERMS DAP CALLAO con la finalidad de no considerar costos logísticos como procesos adicionales.
- En relación al material misceláneo, estos costos se han estimado en referencia a la lista estándar que emplea la FAP para la adquisición de los mismos.
- Los costos de mano de obra de personal son considerados al costo diario de día (promedio de S/ 180.00 soles por día). En todos los casos el personal es nombrado.
- Asimismo cabe resaltar que no se consideran los costos del equipamiento legado tal es el caso de los dispositivos de red (SWTCHS), de radio, telefonía analógica, telefonía IP, computador e incluso el equipamiento de protección electrónica pues todo ello ya existe en los ambientes a implementar.

- Debido a que el presente proyecto no es aprobado, para efectos de dimensionamiento en la gestión del presupuesto se considerará una reserva de gestión de 10% y una reserva de actividades de 5%.
- El tipo de cambio de dólar es \$ 3.35 según estimado MINDEF para procesos a nivel gubernamental para el presente año.

En ese sentido, se mostrarán a continuación dos cuadros, de los cuales en el primero se muestra el costo que demandaría según cotización, la implementación de nuestra solución por ambiente (Torre de control o Centro de Coordinación), siendo un total de cuatro mil novecientos dólares (\$4,900.00) americanos, mientras que en el segundo cuadro se presenta el monto total de inversión a nivel nacional, cuyo total asciende a sesenta y tres mil setecientos dólares (\$63,700.00) americanos para los trece (13) ambientes que se plantea instalar a nivel nacional, esto sólo por equipamiento.

Tabla 13: Tabla de Costo Económico por Ambiente (Información Extraída de Cotización Presentada)

DIMENSIONAMIENTO ECONÓMICO POR AMBIENTE A IMPLEMENTARSE TORRE DE CONTROL				
N°	NÚMERO DE PARTE	NOMBRE	CANTIDAD	COSTO DÓLARES
1	OS42-0030-A1	RADIO CONTROL RCS4-IP (4 INTERFASES RADIO, 4 INTERFASES FXO, 4 INTERFASES SIP, 2 CIRCUITOS INTERCOM)	1	\$3,400.00
2	SWRCS8	LICENCIA DE SOFTWARE DE CONSOLA DE OPERADOR (2 LICENCIAS)	1	\$800.00
3	OS37-2903-A1	HEADSET BINAURAL	1	\$350.00
4	OS42-0091-A2	USB JACKBOX CON CONECTORES LEMO	1	\$200.00
5	OS42-0091-A3	PTT UNIT - MEDIUM GAIN	1	\$150.00
TOTAL POR AMBIENTE A IMPLEMENTARSE (TORRE DE CONTROL O CENTRO DE COORDINACIÓN)				\$4,900.00

Tabla 14: Tabla de Costo Económico Total a Nivel Nacional en la Fuerza Aérea
(Información extraída de cotización presentada)

DIMENSIONAMIENTO ECONÓMICO A NIVEL NACIONAL					
N°	NÚMERO DE PARTE	NOMBRE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO DÓLARES	COSTO TOTAL DÓLARES
1	OS42-0030-A1	RADIO CONTROL RCS4-IP (4 INTERFASES RADIO, 4 INTERFASES FXO, 4 INTERFASES SIP, 2 CIRCUITOS INTERCOM)	13	\$3,400.00	\$44,200.00
2	SWRCS8	LICENCIA DE SOFTWARE DE CONSOLA DE OPERADOR (2 LICENCIAS)	13	\$800.00	\$10,400.00
3	OS37-2903-A1	HEADSET BINAURAL	13	\$350.00	\$4,550.00
4	OS42-0091-A2	USB JACKBOX CON CONECTORES LEMO	13	\$200.00	\$2,600.00
5	OS42-0091-A3	PTT UNIT - MEDIUM GAIN	13	\$150.00	\$1,950.00
TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN A NIVEL NACIONAL					\$63,700.00

Con la finalidad de realizar la gestión del costo lo más real posible, se ha considerado adicionar los costos que demandan la adquisición de material misceláneo para conectorización, así como los gastos que implica el haber diario del personal encargado (06 en total) durante todo el tiempo que requiera la implementación (calculado en la gestión del tiempo), lo cual se muestra en la siguiente tabla, donde adicionalmente se incluye las reservas de actividad y de gestión.

Tabla 15: Costo Estimado para Implementación del Proyecto, Considerando Reserva de Actividades y de Gestión.

DIMENSIONAMIENTO ECONÓMICO PROYECTO A NIVEL NACIONAL						
N°	NOMBRE	TIPO	COSTO UNITARIO DÓLARES	CANTIDAD	COSTO TOTAL	COSTO INCLUYENDO RESERVA DE ACTIVIDAD (5%)
1	EQUIPOS Y SOFTWARE PARA CONECTORIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN	PAQUETE	\$4,900.00	13	\$63,700.00	\$66,885.00
2	MATERIAL MISCELANEO PARA CONECTORIZACIÓN	PAQUETE	\$1,200.00	13	\$15,600.00	\$16,380.00
3	GASTOS DE PERSONAL PARA CONECTORIZACIÓN, CONFIGURACIÓN ENTRENAMIENTO Y PRUEBAS (EQUIPO DE 6)	SERVICIO	\$322.34	153	\$49,317.71	\$51,783.60
TOTAL DÓLARES DE IMPLEMENTACIÓN A NIVEL NACIONAL						\$135,048.60
TOTAL DÓLARES DE IMPLEMENTACIÓN A NIVEL NACIONAL CON RESERVA DE CONTINGENCIA (10%)						\$148,553.46
TOTAL SOLES DE IMPLEMENTACIÓN A NIVEL NACIONAL CON RESERVA DE CONTINGENCIA (10%)						S/497,654.09

Asimismo, y de acuerdo a la información extraída de las cotizaciones anexadas al presente estudio, es preciso resaltar que el costo que demandaría la realización de esta implementación por parte de personal de la Compañía ascendería a doscientos sesenta mil dólares americanos (\$ 260,000.00), monto que como ya se ha mencionado anteriormente, no es considerado en el dimensionamiento económico a razón que esto será realizado por personal propio pero que podría tomarse como referencia en el potencial caso que se puedan brindar a otras empresas o instituciones implementaciones similares a las propuestas en el presente estudio.

4.3.2.- EVALUACIÓN SOCIAL DEL PROYECTO

Al encontrarse previsto que el proyecto se realice en una Institución perteneciente al Estado Peruano, se cree por conveniente que la justificación de la inversión a realizarse sea analizada bajo una parte de la metodología dictada por el sistema de programación multianual y gestión de inversiones INVIERTE.PE [55], principalmente en lo concerniente a la evaluación social, en el cual se considera les atribuirá a los costos de inversión coeficientes dictados por la política tributaria del país con el objetivo de hallar precios sociales (de bienes transables, de bienes no transables, valor social del tiempo, de combustibles, de mano de obra no calificada). Asimismo,

para efectos de la evaluación social no se considerará la reserva de actividad ni la reserva de la contingencia.

a.- Costos a precios de mercado – costos de la situación “Sin Proyecto”

Esta parte de la evaluación está referida al análisis de los costos de operación y mantenimiento que se asumen en la actualidad.

Al respecto, cabe señalar que puesto que en la actualidad la FAP no cuenta con la implementación planteada en el presente estudio que posibilite convergencia ni interoperabilidad de la red de ATC, los costos de operación y mantenimiento actualmente asumidos son iguales a S/. 0. De forma semejante se considera que en la situación sin proyecto, la proyección de costos de operación y mantenimiento es igual a S/. 0, tal como se aprecia en el cuadro adjunto.

Tabla 16: Tabla de Costos de la Situación sin Proyecto

COSTO DE LA SITUACIÓN SIN PROYECTO											
COSTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo de Operación	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Costo de Mantenimiento	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00

b.- Costos “Con Proyecto”

Para desarrollar el análisis de costos incrementales con la ejecución del proyecto, se ha considerado la inversión requerida; es decir los costos que demandan la adquisición de lo necesario para realizar la implementación del Proyecto, así como los costos de operación y mantenimiento implícitos en la ejecución del presente proyecto a lo largo de diez años de fecha estimada de vigencia (para ello el tipo de cambio se ha considerado S/3.35).

Es preciso señalar que la información disponible se sustenta en información primaria (cotización extendida proporcionada por la Compañía en referencia a la solución encontrada). Asimismo, para alinear nuestro análisis económico a lo regulado por la ley de INVIERTE PERÚ correspondiente a la reducción de brechas (en este caso la brecha de gestión del ATC), se ha visto por conveniente desarrollarla de la siguiente manera:

(06) Costos de Estudios

En el cuadro se detalla que para el desarrollo del expediente técnico no se incurriría en gastos dado que el estudio desarrollado sería la base del mismo. Asimismo, en caso se materializara este proyecto, el proceso de compra se realizaría mediante un comité de compra formado por personal de la Institución, lo que tampoco generaría gastos adicionales.

(07) Costos de Adquisición de Equipos

Cabe señalar que esta se ciñe a la propuesta económica extendida por el proveedor (en vista que el fabricante no acepta ceñirse a los requisitos de compra del estado referidas por ejemplo a la presentación de carta de crédito como forma de garantías), esta expresada en dólares americanos.

(08) Costos de Capacitación

Es preciso indicar que el costo de capacitación para implementación y operación de la solución será provista en primera mano al personal que realizará el trabajo, quienes a su vez proveerán dicha capacitación a los usuarios finales del mismo. En ambos casos esto no supone un costo adicional dado que está incluido tanto en el proceso de adquisición como en el de implementación.

(09) Costos de Adquisición de Miscelaneos

Se considera un monto promedio ascendente a \$/ 15,600.00 que demandaría la implementación de la solución en cada uno de los ambientes a desplegarse. En ese sentido aquí se considera entre otros cable UTP CAT 6, Conectores RJ45, Cable eléctrico, Cable tierra, conectores de acondicionamiento, entre otros. Al respecto es preciso indicar que como se dijo en el alcance, este proyecto se realizará sobre una red de datos ya implementada en cada uno de los lugares objetivo, por lo que el costo en este rubro resulta mínimo.

(10) Costos de Inspección y Supervisión

Dado que esta implementación se realiza en el país y por personal especialista propio de la institución, no se considera una inversión de dinero para las mencionadas acciones.

Ello se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 17: Tabla de Costos con Proyecto

TOTAL DE COSTOS DE INVERSIÓN A PRECIOS DE MERCADO						
a. CUADRO DE COSTOS DE ESTUDIOS						
N°	RUBRO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL DETALLE SOLES
1	EXPEDIENTE TÉCNICO	EXPEDIENTE TÉCNICO	ESTUDIO	1	S/0.00	S/0.00
2	ESTUDIO DEFINITIVO	EXPEDIENTE DE COMPRA	ESTUDIO	1	S/0.00	S/0.00
SUBTOTAL						S/0.00
b. CUADRO DE COSTOS DE ADQUISICIÓN						
N°	RUBRO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL DETALLE SOLES
1	GATEWAY	RCS-4IP	UNIDAD	13	\$3,400.00	S/148,070.00
2	LICENCIA Y SISTEMAS CONEXOS	LICENCIA	UNIDAD	13	\$800.00	S/34,840.00
		JACK BOX	UNIDAD	13	\$350.00	S/15,242.50
		HEADSET	UNIDAD	13	\$200.00	S/8,710.00
		PTT MEDIUM GAIN	UNIDAD	13	\$150.00	S/6,532.50
SUBTOTAL						S/213,395.00
c. CUADRO DE COSTOS CAPACITACIÓN						
N°	RUBRO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL DETALLE SOLES
1	ENTRENAMIENTO Y SOPORTE TÉCNICO	ASISTENCIA POR DOCE MESES	UNIDAD	1	\$0.00	S/0.00
SUBTOTAL						S/0.00
d. CUADRO DE COSTOS DE MISCELANEO PARA IMPLEMENTACIÓN						
N°	RUBRO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL DETALLE SOLES
1	ADQUISICIÓN DE MISCELANEO PARA IMPLEMENTACIÓN	MATERIAL MISCELANEO ESPECIALIZADO	LOT	1	S/15,600.00	S/52,260.00
SUBTOTAL						S/52,260.00
e. CUADRO DE COSTOS DE INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN DE OBRA						
NOTA: No se consideran costos de Inspección ni Supervisión dado que la implementación será realizada en las mismas instalaciones y por personal especialista de la misma Fuerza Aérea.						
TOTAL						S/. 265,655.00

A fin de estimar adecuadamente los recursos necesarios para la instalación, operación y mantenimiento una vez implementada esta solución, se presenta el detalle, en la siguiente tabla, de lo que ello implicaría, considerando además una migración de equipos de comunicaciones a mediano plazo, según detalle:

Tabla 18: Tabla de Costos de Operación y Mantenimiento

AÑO DE OPERACIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo por hora de Instalación, Operación y Mantenimiento	\$49,325.37	\$100.00	\$100.00	\$200.00	\$200.00	\$208,000.00	\$300.00	\$300.00	\$300.00	\$400.00	\$400.00
Tipo de Cambio	S/3.35	S/3.35	S/3.35	S/3.35	S/3.35	S/3.35	S/3.35	S/3.35	S/3.35	S/3.35	S/3.35
Total Costos de Instalación, operación y mantenimiento anuales	S/165,239.99	S/335.00	S/335.00	S/670.00	S/670.00	S/696,800.00	S/1,005.00	S/1,005.00	S/1,005.00	S/1,340.00	S/1,340.00
Los costos que se han estimado en operación y mantenimiento corresponden al uso de material misceláneo para mantener la estructura de networking y de radio, los cuales irán creciendo periódicamente a medida que la infraestructura alcance su tiempo estimado de vida. Del mismo modo para el año cinco (5) de operación se ha contemplado un estimado de monto para el cambio total de las radio de comunicaciones utilizadas en la red ATC a implementarse y algunos equipos de red que lo ameriten. Es preciso indicar que si bien es cierto la adquisición del año 5 puede ser considerado gastos de inversión, se están considerando como costos de mantenimiento dado que el objetivo central del estudio no resulta ser esa migración sino la alcanzada en el año 0											
Total Costos de Instalación, operación y mantenimiento anuales SOCIALES (0.847)	S /139,958.27	S /283.75	S /283.75	S /567.49	S /567.49	S /596,189.60	S /851.24	S /851.24	S /851.24	S /1,134.98	S /1,134.98

A continuación, se presenta el flujo de costos valorizado a precios de mercado para el caso de la solución, en el cual puede apreciarse que el VAN asciende a S/. 909, 800.80 soles, tomándose en cuenta una tasa social de descuento de 8%, la cual intenta determinar cuál es el costo alternativo para el país de los fondos (en cualquiera de sus formas) que el proyecto utiliza para la inversión.

Tabla 19: Análisis VAN

Detalle	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I. INVERSIÓN	265,655.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a. Estudios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b. Adquisición	213,395.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
c. Capacitación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d. Misceláneo	52,260.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
e. Supervisión e Inspección	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II. GASTOS DE O&M	165,239.99	335.00	335.00	670.00	670.00	696,800.00	1,005.00	1,005.00	1,005.00	1,340.00	1,340.00
a. Costos de Operación y Mantenimiento	165,239.99	335.00	335.00	670.00	670.00	696,800.00	1,005.00	1,005.00	1,005.00	1,340.00	1,340.00
Flujo Total	430,894.99	335.00	335.00	670.00	670.00	696,800.00	1,005.00	1,005.00	1,005.00	1,340.00	1,340.00
Flujo Sin Proyecto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujo Incremental	430,894.99	335.00	335.00	670.00	670.00	696,800.00	1,005.00	1,005.00	1,005.00	1,340.00	1,340.00
Flujo Actual VAN en SOLES	909,800.80										

c.- Evaluación social

Dado que el presente Proyecto traería consigo una variedad de beneficios, vinculados al fortalecimiento de la capacidad de Control de Tránsito Aéreo dentro de la Fuerza Aérea del Perú, permitiendo contribuir a la seguridad de las operaciones aéreas que allí se realizan, este tiene una cuota de beneficio social a través de la cual debe ser analizado; por ello el análisis económico del mismo debe ser enfocado desde una perspectiva social, vale decir, desde la conveniencia desde el punto de vista del país a la materialización o no del proyecto; para lo cual se valoran los costos a “precios sociales”, corrigiendo los precios obtenidos en el mercado (para adquisición, operación y mantenimiento) a nivel de precios sociales básicos.

(11) Factores de Corrección Utilizados para la valorización a Precios Sociales

Para esta evaluación social primeramente es necesario definir los rubros de inversión, tipos de factores y valores nominales de los factores de corrección utilizados para el presente trabajo lo cual como se mencionó anteriormente es basado en la Directiva General del

Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones. Adicionalmente para estimar los costos del dólar americano en los siguientes años se empleó la proyección oficial del marco macroeconómico multianual 2019-2022 del Ministerio de Economía y Finanzas [56].

Tabla 20: Tabla de Coeficientes Sociales / Fuente: Anexo 03, Directiva 002-2017-EF/63.01

a)	Mano de Obra Calificada	:	0.909
b)	Mano de Obra No Calificada	:	0.86
c)	Bienes y Servicios	:	0.847
d)	Divisas	:	1.02
e)	Combustibles	:	0.6
f)	Tasa social de Descuento (TSD)	:	8%

d.- Flujo a Costos Sociales.

La evaluación social del proyecto está sujeta a la evaluación de costos a precios sociales del proyecto, en el Cuadro adjunto se detallan los rubros de inversión a precios de mercado y el factor de corrección utilizado para valorizarlos a precios sociales.

Tabla 21: Tabla de Costos de Inversión a Precios Sociales

TOTAL DE COSTOS DE INVERSIÓN A PRECIOS SOCIALES								
a. CUADRO DE COSTOS DE ESTUDIOS								
Nº	RUBRO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL DETALLE SOLES	FACTOR	PRECIO SOCIAL
1	EXPEDIENTE TÉCNICO	EXPEDIENTE TÉCNICO	ESTUDIO	1	S/0.00	S/0.00	0.909	S/0.00
2	ESTUDIO DEFINITIVO	EXPEDIENTE DE COMPRA	ESTUDIO	1	S/0.00	S/0.00	0.909	S/0.00
SUBTOTAL						S/0.00		S/0.00
b. CUADRO DE COSTOS DE ADQUISICIÓN								
Nº	RUBRO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL DETALLE SOLES	FACTOR	PRECIO SOCIAL
1	GATEWAY	RCS-4IP	UNIDAD	13	\$3,400.00	S/148,070.00	0.847	S/125,415.29
2	LICENCIA Y SISTEMAS CONEXOS	LICENCIA	UNIDAD	13	\$800.00	S/34,840.00	0.847	S/29,509.48
		JACK BOX	UNIDAD	13	\$350.00	S/15,242.50	0.847	S/12,910.40
		HEADSET	UNIDAD	13	\$200.00	S/8,710.00	0.847	S/7,377.37
		PTT MEDIUM GAIN	UNIDAD	13	\$150.00	S/6,532.50	0.847	S/5,533.03
SUBTOTAL						S/213,395.00		S/180,745.57
c. CUADRO DE COSTOS CAPACITACIÓN								
Nº	RUBRO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL DETALLE SOLES	FACTOR	PRECIO SOCIAL
1	ENTRENAMIENTO Y SOPORTE TÉCNICO	ASISTENCIA POR DOCE MESES	UNIDAD	1	\$0.00	S/0.00	0.909	S/0.00
SUBTOTAL						S/0.00		S/0.00
d. CUADRO DE COSTOS DE MISCELANEO PARA IMPLEMENTACIÓN								
Nº	RUBRO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL DETALLE SOLES	FACTOR	PRECIO SOCIAL
1	ADQUISICIÓN DE MISCELANEO PARA IMPLEMENTACIÓN	MATERIAL MISCELANEO ESPECIALIZADO	LOT	1	S/15,600.00	S/52,260.00	0.847	S/44,264.22
SUBTOTAL						S/52,260.00		S/44,264.22
e. CUADRO DE COSTOS DE INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN DE OBRA								
NOTA: No se consideran costos de Inspección ni Supervisión dado que la implementación será realizada en las mismas instalaciones y por personal especialista de la misma Fuerza Aérea.								
TOTAL						S/. 265,655.00		S/. 225,009.79

En el Cuadro siguiente se detalla los flujos del proyecto a precios sociales del presente estudio y donde se aprecia que el VACS asciende a S/. 770,601.28 soles

Tabla 22: Tabla VACS del Proyecto

De ta lle	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I. INVERSIÓN	225,009.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a. Estudios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b. Adquisición	180,745.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
c. Capacitación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d. Misceláneo	44,264.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
e. Inspección y Supervisión	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
II. GASTOS DE O&M	139,958.27	283.75	283.75	567.49	567.49	590,189.60	851.24	851.24	851.24	1,134.98	1,134.98
a. Costos de Operación y Mantenimiento	139,958.27	283.75	283.75	567.49	567.49	590,189.60	851.24	851.24	851.24	1,134.98	1,134.98
Flujo Total	364,968.06	283.75	283.75	567.49	567.49	590,189.60	851.24	851.24	851.24	1,134.98	1,134.98
Flujo Sin Proyecto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Flujo Incremental	364,968.06	283.75	283.75	567.49	567.49	590,189.60	851.24	851.24	851.24	1,134.98	1,134.98
Flujo Actual de los Costos Sociales (VACS)	770,601.280926										

e.- Índice de Costo Efectividad.

Para el indicador de costo efectividad se tomará en cuenta el valor alcanzado en el estudio correspondiente al Valor Actual de Costos Sociales alcanzado y un indicador de eficacia que en este caso será el número de días al año que la materialización de este proyecto permitirá a la Fuerza Aérea contar con convergencia e interoperabilidad de las redes ATC a nivel nacional (estimándose ello los 365 días del año) – pudiendo elegirse también la población beneficiaria, la cantidad de vuelos atendidos, etc. Calculando ello (de acuerdo al primer criterio) se obtienen los siguientes valores:

Tabla 23: Tabla de Índice de Efectividad alcanzado

INDICE EFECTIVIDAD SOCIAL	SOLUCIÓN PLANTEADA
VACT (S/.)	770,601.28
DIAS CONTROL TRÁSITO AÉREO	365
I./E. (soles)	S/2,111.24

INDICE EFECTIVIDAD SOCIAL	ALTERNATIVA ÚNICA
VANS (S/.)	770,601.28
POBLACIÓN	31,237,385
I./E. (soles)	S/0.025

A través de ello se puede indicar que el índice de efectividad del proyecto supondrá que con dicho monto alcanzado (S/ 2,111.24) diariamente y que costará a cada involucrado directo e indirecto (S/ 0.025), la Fuerza Aérea alcanzará obtener una red de ATC con convergencia e interoperabilidad adecuada, considerando incluso una migración de equipos de comunicaciones a mediano plazo con el fin de optimizar su funcionamiento. Asimismo al ser un aspecto de seguridad operacional aéreo donde no debería escatimarse esfuerzos para alcanzarlo, al haber solo planteado una alternativa de solución y al no existir una línea de corte en el pliego de defensa que permita comparar el I/E encontrado, se puede asumir que este valor es correcto y viable para su implementación.

CONCLUSIONES.

- 1 Se puede concluir que debido a la diversidad de medios de comunicaciones y la ausencia de tecnologías que permitan interoperabilidad y convergencia entre ellos, actualmente las funciones de Control de Tránsito Aéreo (ATC) en la Fuerza Aérea del Perú presentan una limitada capacidad de gestión principalmente en periodos de alta densidad de tráfico. Esto se manifiesta por una latente posibilidad de no mantener el control total de la zona de operación y en la presencia de sobre carga laboral a la que los controladores de tránsito aéreo pueden ser susceptibles.
- 2 Se puede concluir que el uso de la RoIP e IP ha permitido en los diferentes ambientes donde se ha implementado alcanzar la convergencia e interoperabilidad a través de una mejor gestión de las redes de comunicaciones; sea cual fuere el teatro de operaciones, no siendo la excepción el ATC, por lo que se recomienda su implementación en dicho sistema de la Fuerza Aérea.
- 3 Se puede concluir que dentro de la Fuerza Aérea a nivel nacional, en la totalidad de los ambientes objetos del estudio, existe infraestructura de redes adecuadas para realizar la implementación de RoIP en la red de ATC; haciéndola factible y viable.
- 4 Se puede concluir que con el objeto de asegurar confiabilidad y seguridad, el diseño de nuestra solución se ha ceñido al estándar internacional de EUROCAE. Esto es en respuesta al complejo ambiente operacional de las redes ATC que involucra vidas humanas. En ese sentido, el ceñirse a ello en el diseño de nuestra solución resulta ser el sostenimiento principal que asegurará confiabilidad y calidad de servicio.
- 5 Se puede concluir que de acuerdo al planeamiento presentado en el presente estudio, es posible realizar la implementación de nuestra solución a nivel regional en cincuenta y un (51) días laborables por con un equipo de trabajo compuesto por seis (06) personas laborando en periodos de no funcionamiento de las torres de control o centros de coordinación; esto con el fin de no afectar el normal desarrollo de las actividades de ATC. Cabe precisar que durante el periodo de trabajo en cada ambiente, no se verán afectados en absoluto los equipos sujetos a modificaciones (legados), por lo que podrán utilizarse de manera normal de forma continuada.

- 6 Se puede concluir que de acuerdo al dimensionamiento económico con perfil social presentado, la solución planteada supondría un costo para el estado de S/ 2,111.24 soles diarios (incluyendo inversión, instalación, operación, mantenimiento y migración de equipos de radio) durante el tiempo de vigencia del proyecto (10 años); monto con el cual se lograría la evolución de la red de voz de las torres de control de responsabilidad de la FAP con la finalidad de eliminar el problema actual de la limitada capacidad de gestión del tránsito aéreo.
- 7 Se puede concluir que la solución planteada en el presente estudio tendrá vigencia en el tiempo, más allá de alguna migración tecnológica que pudiera decidir la Fuerza Aérea en lo concerniente a los radios que se emplean para el ATC. Esto debido a que el diseño consideró la adquisición de dispositivos Gateway que no sólo sumergen a la red IP los radios de dos vías actuales con tecnología analógica, sino también radios digitales que cuentan con la capacidad de transmisión de datos.
- 8 Se puede concluir que el grado de seguridad de las comunicaciones de ATC, una vez ingresada en forma de tramas a la INTRANET FAP, se encuentra contemplado dentro de nuestro diseño al no incluir la red ATC dentro de las políticas de INTERVLAN con que se administra la INTRANET FAP. En ese sentido esta LAN ATC tendrá un dominio de broadcast único que no será de conocimiento de las demás LAN que subsisten en la RED FAP.
- 9 Se puede concluir que la evolución planteada en el presente estudio para torres de control a nivel FAP, resulta ser la convergencia e interoperabilidad que se alcanzará en ellas, lo cual redundará en incrementar la posibilidad de mantener control en la zona de responsabilidad y en aminorar la carga laboral para el personal de controladores aéreos.
- 10 Se puede concluir finalmente que la solución mostrada en el presente estudio ha previsto aspectos técnicos relevantes como la consecuente evolución tecnológica, la seguridad y la redundancia; pero también aspectos adicionales importantes tal es el caso del ahorro previsto en la implementación y su vigencia temporal más allá de potenciales cambios tecnológicos de otros componentes que forman parte del sistema ATC; lo que nos permite presentar una solución a la problemática de las redes ATC de la Fuerza Aérea factible y viable.

RECOMENDACIONES

- 1 A partir de las conclusiones 1.-, se recomienda definir una línea de acción concreta que en la red ATC a nivel FAP, la cual posibilite a través de la interoperabilidad y la convergencia, posibilite la gestión adecuada de tan importante red de comunicación.
- 2 A partir de la conclusión 2.- y 3.-, se recomienda que esta línea de acción se encuentre definida por la inclusión en la red de ATC de la FAP de dispositivos con tecnología RoIP e IP, dada la comprobada capacidad de causar convergencia e interoperabilidad en entornos similares a los presentados en esta red. Adicionalmente por encontrarse dentro de estos ambientes infraestructura de red adecuada que haría más viable su implementación.
- 3 A partir de la conclusión 4.-, se recomienda que esta implementación se ciña a estándares ya existentes y con cierto tiempo de probada eficacia en otros países; particularmente el estándar EUROCAE resultaría ser el más confiable para asegurar confiabilidad y calidad de servicio dado que abarca aspectos operacionales y técnicos dentro de sus consideraciones.
- 4 A partir de las conclusiones 5.- y 6.-, se recomienda, dada esta posibilidad, el realizar la adquisición del equipamiento a emplearse en la implementación y realizar la misma con personas pertenecientes a la institución, lo que no solo permite ahorrar un monto considerable de dinero, sino también adaptar el periodo de implementación a las actividades propias del ATC de modo tal que éstas no se vean interrumpidas en su accionar diario.
- 5 A partir de las conclusiones 7.-, 8.-, se recomienda que aun siendo el caso existiera modificación a esta solución planteada, aun así debe contemplarse aspectos importantes durante la implementación, tales como vigencia de la solución (que sea adaptable a cualquier tipo de cambio que pueda existir en las radios de comunicación), seguridad de la misma (considerando la sensibilidad de la comunicación que va a desenvolverse por esta red).

- 6 A partir de la conclusión 9.- se recomienda emplear este estudio como base para la realización del diseño y posterior implementación de la mejora de la red de voz de control de tránsito aéreo de la Fuerza Aérea, dado que ha contemplado un análisis consiente de la realidad de la misma, así como aspectos de factibilidad para la implementación de una alternativa de solución ya probada en la gestión de redes con igual grado de complejidad y responsabilidad, enmarcándola en un estándar que asegure la calidad de servicio y seguridad que lo amerita, asegurando su factibilidad de implementación y continuidad de su operación.



CONSIDERACIONES PARA MEJORAS A FUTURO.

Si bien es cierto la presente implementación ha implicado mantener en funcionamiento equipos de comunicaciones utilizados en diversas funciones del Control de Tránsito Aéreo, dispositivos de almacenamiento y de cómputo utilizados anteriormente para otros fines y el uso de la red de datos desplegadas en dichos lugares; se proponen a continuación algunas consideraciones de mejoras a futuro, de acuerdo al siguiente detalle:

- En lo concerniente a las Radio legadas, se ha podido identificar que las radio PAE Modelo 5610, no sólo presentan limitaciones técnicas para la realización de interfaces hacia los Gateway de RoIP, sino que además presentan limitaciones operacionales que las hacen poco recomendables para su uso en los entornos de Control de Tránsito Aéreo actuales. Ante ello se recomienda, al corto plazo, el cambio de éstos por otros equipos de mejores performances.
- Si bien es cierto la línea base de alcance del presente trabajo contempló básicamente la adquisición de hardware y software que posibilite el ingreso de señales de radio convencionales a un entorno IP (la intranet FAP), debería asegurarse que este contemple convergencia a través de la implementación de dispositivos activo-activo. Esto no solo redundará positivamente en la subsistencia de la red ATC a implementar, sino también de las demás redes o VLAN que por ella subsisten.
- Se pudo constatar que dentro del funcionamiento de una base aérea (lugar donde se encuentran las torres de control que son los ambientes principales donde se implementaran la solución del presente estudio), existen otras redes de comunicaciones que emplean radios de dos vías donde podría emplearse, con la finalidad de optimizarlas, dispositivos que asientan su funcionamiento en la RoIP. Así tenemos principalmente las redes de seguridad de base, que incluso deben ser desplegadas y subsistir en periodos de emergencia.
- Tal como se pudo constatar en la evaluación de progresos del ATC en otros países donde empresas consideran la implementación de torres de control de emergencia en las cuales, dada su versatilidad y capacidad de interoperabilidad, sus

comunicaciones se asientan en tecnología de RoIP; y dada las condiciones de susceptibilidad y fragilidad del territorio peruano a diversas formas de desastres naturales; se hace altamente recomendable como una mejora a futuro el diseño e implementación de torres de control de emergencia en las bases de la Fuerza Aérea (las cuales implican la implementación de una estructura física y una red de comunicaciones). Esta red de ATC de emergencia podría implementarse sobre la actual estructura de comunicación satelital con que trabaja la Fuerza Aérea (por lo que cuyo costo sería hundido en una probable implementación), en caso se considere necesario extender la comunicación a centros de coordinación que en el momento de la emergencia lo requieran.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] MTC, «RAP 311 Segunda Edición Cap. A Pág. 12,» 19 setiembre 2018. [En línea]. Available: http://portal.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/normas/documentos/rap/2018/RAP_311/3.%20RAP%20311_Cap%20A-SE.pdf. [Último acceso: 26 diciembre 2018].
- [2] MTC, «RAP 311 Segunda Edición Cap. A Pág. 13,» 2018 setiembre 19. [En línea]. Available: http://portal.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/normas/documentos/rap/2018/RAP_311/3.%20RAP%20311_Cap%20A-SE.pdf. [Último acceso: 26 diciembre 2018].
- [3] MTC, «RAP 311 Segunda Edición Cap. F Pág. 3,» 19 setiembre 2018. [En línea]. Available: http://portal.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/normas/documentos/rap/2018/RAP_311/8.%20RAP%20311_Cap%20F%20SE.pdf. [Último acceso: 26 diciembre 2018].
- [4] P. d. C. d. M. Ministros, «Guía Metodológica para Elaborar el Marco Lógico de un Proyecto Tecnológico,» [En línea]. Available: https://innovateperu.gob.pe/fincyt/doc/DOCUMENTOS/Guia_Marco_Logico.pdf. [Último acceso: 10 agosto 2019].
- [5] INEI, «<https://www1.inei.gob.pe/prensa/noticias/inei-difunde-base-de-datos-de-los-censos-nacionales-2017-y-el-perfil-sociodemografico-del-peru-10935/>,» 07 setiembre 2018. [En línea]. [Último acceso: 09 setiembre 2019].
- [6] DGAC, «Marco Operacional para los Servicios de Tránsito Aéreo,» 19 setiembre 2018. [En línea]. Available: http://portal.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/normas/documentos/rap/2018/RAP_311/3.%20RAP%20311_Cap%20A-SE.pdf. [Último acceso: 26 diciembre 2018].
- [7] DGAC, «Marco Operacional para los Servicios de Control de Tránsito Aéreo,» 19 setiembre 2018. [En línea]. Available: http://portal.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/normas/documentos/rap/2018/RAP_311/3.%20RAP%20311_Cap%20A-SE.pdf. [Último acceso: 26 diciembre 2018].
- [8] MTC, «Plan Nacional de Atribución de Frecuencias,» 23 febrero 2018 según actualización R.M. 095-2018 - Documento original del 2008. [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/documentos/pnaf_act_feb08.pdf. [Último acceso: 27 diciembre 2018].
- [9] B. Fur, «Investigation Report,» mayo 2004. [En línea]. Available: https://www.bfu-web.de/EN/Publications/Investigation%20Report/2002/Report_02_AX001-1-2_Ueberlingen_Report.pdf?blob=publicationFile. [Último acceso: 26 diciembre 2018].
- [10] F. J. J. Hernandez, «Estudio sobre los Sistemas de Comunicación, Navegación, Vigilancia y Gestión del Tráfico Aéreo (CNS/ATM): Situación Actual y Evolución Futura,» octubre 2015. [En línea]. Available: http://oa.upm.es/38212/7/PFC_FRANCISCO_JAVIER_JIMENEZ_FERNANDEZ_2.pdf. [Último acceso: 27 diciembre 2018].
- [11] ARINC, «Future Air Navigation Systems (FANS) Controller to Pilot Data Link Communications (CPDLC) Automatic Dependent Surveillance (ADS) IMPLEMENTATION,» 8 diciembre 2010. [En línea]. Available: https://www.icao.int/SAM/Documents/2010/SURAUTOSEM/17%20Arinc_CPDLC%20ADSC.pdf. [Último acceso: 27 diciembre 2018].
- [12] DIALNET, «Enlaces de Datos en VHF (VDL) dentro del Contexto CNS/ATM para la Prestación de los Servicios de Tránsito Aéreo en Colombia,» 12 agosto 2012. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5682953>. [Último acceso: 28 diciembre 2018].
- [13] J. O. -. HISPAVIACIÓN, «Comunicaciones Aeronáuticas para el Futuro y Más Allá,» 14 febrero 2016. [En línea]. Available: <http://www.hispaviacion.es/comunicaciones-aeronauticas-para-el-futuro-y-mas-alla-2/>. [Último acceso: 27 diciembre 2018].
- [14] R. & Schwarz, «AeroCivil, Colombia's Air Traffic Control Organization, Deploys Rohde & Schwarz Radio Equipment,» 11 agosto 2011. [En línea]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/au/about/news-press/details/press-room/press-releases-detailpages/aerocivil-colombia-s-air-traffic-control-organization-deploys-rohde-schwarz-radio-equipment-press_releases_detailpage_229356-63137.html. [Último acceso: 26 diciembre 2018].

- [15] ENAIRE, «Comunicaciones,» 25 2017 enero. [En línea]. Available: <https://www.enaire.es/servicios/cns/comunicaciones>. [Último acceso: 26 diciembre 2018].
- [16] OACI, «Anexo 10 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional - Telecomunicaciones Aeronauticas Volumen V "Utilización del Espectro de Radiofrecuencias Aeronáuticas",» 14 noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-10-vol-v.pdf>. [Último acceso: 26 diciembre 2018].
- [17] EUROCAE, «Working Groups - WG-67 Voice on Internet Protocol for ATM,» 28 abril 2018. [En línea]. Available: <https://eurocae.net/about-us/working-groups/>. [Último acceso: 26 diciembre 2018].
- [18] OMNITRONICS, «WHITE PAPER VoIP for RADIO NETWORKS PAG 1,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.omnitronicsworld.com/download-understanding-roip-networks-white-paper/>. [Último acceso: 27 diciembre 2018].
- [19] OMNITRONICS, «WHITE PAPER VoIP for RADIO NETWORKS PAG. 5,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.omnitronicsworld.com/download-understanding-roip-networks-white-paper/>. [Último acceso: 28 diciembre 2018].
- [20] UIT-T, «Codec de Voz de Doble Velocidad para Transmisión de Comunicaciones Multimedia,» 20 agosto 2007. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.723.1-200605-l/es>. [Último acceso: 28 diciembre 2018].
- [21] J. Facella, «RoIP Success is in Details,» *Primedia Business Magazines and Media INC*, vol. 1, nº 1, p. 4, 2004.
- [22] OMNITRONICS, «Radio Over IP Benefits,» 17 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://omnitronicsworld.com/solutions/radio-over-ip-roip/>. [Último acceso: 28 diciembre 2018].
- [23] M. Liotine, «MISSION CRITICAL,» USA, ARTECH HOUSE, 2003, p. 9.
- [24] SITTI, *SITTI, La voz que te guía siempre*, Lima, 2019.
- [25] OMNITRONICS, «Radio over IP Benefits,» 17 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://omnitronicsworld.com/solutions/radio-over-ip-roip/>. [Último acceso: 28 diciembre 2018].
- [26] T. Withington, «Military Technologies Magazine,» 28 marzo 2018. [En línea]. Available: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=1&sid=5dd1a319-a1b2-476e-8b65-2b5eb53ef838%40sessionmgr4007&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbG12ZS5zY29wZT1zaXRI#AN=128757319&db=a9h>. [Último acceso: 28 diciembre 2018].
- [27] CELLBOX, «CELLBOX features,» 3 octubre 2016. [En línea]. Available: <http://cellobox.com/#!/features>. [Último acceso: 27 diciembre 2018].
- [28] BYLIGHT, «TRICS UNIFIED COMMUNICATION,» 6 febrero 2018. [En línea]. Available: <http://www.bylight.com/products/trics/>. [Último acceso: 28 diciembre 2018].
- [29] OMNITRONICS, «Public Safety Agencies in Florida Interconnect with the DX-ALTUS,» OMNITRONICS, 1 setiembre 2016. [En línea]. Available: <https://omnitronicsworld.com/public-safety-agencies-in-florida-interconnect-with-the-dx-altus/>. [Último acceso: 27 diciembre 2018].
- [30] J. INTEROPERABILITY, «Executive Outline,» 12 enero 2018. [En línea]. Available: <https://jps.sugarmapleinteractive.com/wp-content/uploads/2018/01/JPS-RSP-Z2-Executive-Outline-1-12-2018.pdf>. [Último acceso: 28 diciembre 2018].
- [31] R. A. SCHWARZ, «R&S SERIES 4200 VHF/UHF RADIO FAMILY FOR ATC COMMUNICATIONS,» 7 abril 2018. [En línea]. Available: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Serie4200_bro_en_5213-5700-12_v0700.pdf. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [32] R. A. SCHWARZ, «10000 ATC RADIOS IN 54 COUNTRIES,» 19 noviembre 2013. [En línea]. Available: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_news_from_rs/209/NEWS_209_english_Serie4200.pdf. [Último acceso: 29 diciembre 2018].

- [33] D. NUCLEO, «Soluciones de Comunicaciones,» 7 abril 2018. [En línea]. Available: https://www.nucleocc.com/productos/ulises_v5000i. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [34] D. NUCLEO, «Casos de Éxito,» 21 agosto 2018. [En línea]. Available: https://www.nucleocc.com/casos_de_exito. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [35] W. DITTEL, Installation and Operation Manual Pag. 3-3, Germany: Avionics, 1996.
- [36] W. DITTEL, Installation and Operation Manual Pag. 3.10, Germany: Avionics Division, 1998.
- [37] W. DITTEL, Instalation and Operation Manual Pag. 3-10, Germany: Avionics Division, 1998.
- [38] FUNKE, Installation and Operation Pag. 30, Germany, 2014.
- [39] ICOM, Service Manual IC-A110, EEUU: ICOM INC., 2000.
- [40] ICOM, Installation Guide IC-A210 Pag. 2, EEUU: ICOM INC., 2009.
- [41] P. COMM, Installation and Operation Manual, EEUU: PAE , 1980.
- [42] SELEX, «OTE DTR100 VHF TRANSCEIVER FOR ATC APPLICATIONS,» 2003. [En línea]. Available: <https://fccid.io/RM7DTR100REV2-1/User-Manual/Users-Manual-394309>. [Último acceso: 2018 diciembre 28].
- [43] ICOM, INSTRUCTION MANUAL CONNECTION CABLE OPC-2275, OSAKA-JAPAN: ICOM INC., 2012.
- [44] EUROCADE, «ED-136 Voice over Internet Protocol Air Traffic Managment (ATM) System. Operational and Technical Requirements,» EUROCADE, France, 2009.
- [45] EUROCADE, «ED-136 Voice over Internet Protocol Air Traffic Managment (ATM) System. Operational ad Technical Requirements - Pag. 18,» EUROCADE, France, 2009.
- [46] EUROCADE, «ED-136 Voice over Internet Protocol Air Traffic Managment (ATM) System. Operational and Technical Requirements. Pag.85,» EUROCADE, France, 2009.
- [47] EUROCADE, «ED-106 Voice over Internet Protocol Air Traffic Managment (ATM) System. Operational and Technical Requirements. Pag. 23,» EUROCADE, France, 2009.
- [48] DBL, «RoIP Cross-Network Gateway Products,» 18 setiembre 2018. [En línea]. Available: <https://dbltek.en.made-in-china.com/product-group/CehQitwKnAcl/RoIP-Cross-Network-Gateway-catalog-4.html>. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [49] B. SYSTEMS, «Repeater and Radio Linking / Products,» 13 febrero 2018. [En línea]. Available: https://www.bridgecomsystems.com/collections/repeater-linking?grid_list=list-view. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [50] C. VOCALITY, «Radio over IP Products,» CUBIC VOCALITY, 3 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.vocality.com/radio-relay/>. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [51] OMNITRONICS, «IP GATWAY for Analog Radios,» 8 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.omnitronicsworld.com/voip-connectivity/ip-Gateways-for-analog-radios/>. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [52] O. S. INC, «Radio Control System,» 8 marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.orionsystemsinc.net/radio-interfacesradio-over-ip-multiple-port/>. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [53] O. S. INC., «Radio over IP for Flexibility,» 8 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.orionsystemsinc.net/radio-over-ip-roip-device/>. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [54] T. COMMUNICATIONS, «Radio over IP,» 25 abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.tccomm.com/Solutions/Radio-over-IP>. [Último acceso: 29 diciembre 2018].

- [55] M. d. E. y. Finanzas, *Directiva N° 002-2017-EF para la Formulación y Evaluación en el Marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones.*, Lima-Perú, 2017.
- [56] M. d. E. y. Finanzas, «ANEXO 3 Parámetros de Evaluación Social,» 22 Abril 2017. [En línea]. Available: https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos-descarga/anexo3_directiva002_2017EF6301.pdf. [Último acceso: 29 diciembre 2018].
- [57] OMNITRONICS, «IP GATWAY for Analog Radios,» 8 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.omnitronicsworld.com/voip-connectivity/ip-gateways-for-analog-radios/>. [Último acceso: 29 diciembre 2018].



ANEXO "A"

Descripción de Potenciales Equipos a Utilizarse para implementación de la Solución.

Para el presente trabajo, donde se ha realizado la correspondiente indagación en el mercado de los equipos de diversos fabricantes que podrían ser utilizados para implementar la solución propuesta, se ha podido extraer parámetros e información importante de los mismos. El resultado de ello se muestra a continuación:

1 EQUIPOS DBL.

La Empresa DBL <https://dbltek.en.made-in-china.com/product-group/CehQitwKnAcl/RoIP-Cross-Network-Gateway-catalog-4.html> también cuenta con soluciones de RoIP para entornos similares al que se pretende satisfacer con el presente estudio.

En ese sentido, se puede recoger como dispositivos útiles para la implementación de nuestra solución al VoIP (FXS) HT-922TN - adaptador de terminal analógico- que es una extensión telefónica a la red IP. Ofrece una interfaz de línea telefónica tradicional (PSTN) para un teléfono analógico, una extensión de línea PBX o una máquina de fax. Su interfaz de puerto WAN permite el acceso a la red IP para ofrecer servicios de voz y fax. Es una manera muy simple de desplegar el servicio de VoIP por un ISP a bajo costo. Un puerto Ethernet adicional permite la conexión de banda ancha para la PC existente u otro dispositivo de red sin comprar equipos de red adicionales. Como funciones básicas encontramos:

- Soporte de protocolos ITU-H.323 V4 y IETF SIP V2.
- Soporte de funciones de transferencia, espera y guía telefónica.
- Soporta codificaciones T.38 G.711, G.729A/B y G.723.1.
- Soporta NAT transversal and funciones de ROUTER.
- PLC: Ocultamiento de pérdida de paquetes
- Ganancia de voz ajustable
- Cancelación de eco (con la norma UIT-T G.168 / 165)
- Identificación de llamadas

Para las conexiones propiamente de las radios analógicas, los GATEWAY de interés resultan ser el 102 y 302M.

El primero de ellos permite la interconexión de una estación fija de radios para la conversión de la señal de radio analógico a una señal de datos digital y posterior envió mediante una red IP. Consta con interfaces de conexión. Del mismo modo, el dispositivo 302M hace la función de servidor dentro de la red, incorpora tres interfaces de conexión PPT, cuenta con un módulo GSM

para telefonía celular y dos interfaces RJ- 11 para telefonía fija, maneja hasta doce dispositivos RoIP 102 dentro de la red.

En conjunto, ambos cuentan con las siguientes características técnicas:

- Soporta protocolos duales: IETF SIP V2.
- Suministro de servicio dinámico de DNS.
- Soporte G.711 A / μ ley, G.729A / B, G.723.1 CODECS
- Soporte NAT transversal y función de enrutador (caso 302M).
- Soporta VAD (VOICE ACTIVITY DETECTION) y CNG (CONFORT NOISE GENERATION).
- Soporta transmisión de voz IP a través de un servidor de grabación
- Buffer de jitter avanzado.
- Soporta firewall y transversal NAT.
- Sistema Operativo en LINUX

2 EQUIPOS BRIDCOMMSYSTEMS

La Compañía BRIDCOMMSYSTEMS, a través de la información extraída de su página WEB <https://www.bridgecommsystems.com/collections/repeater-linking>, presenta hardware y software que puede ser utilizado para la implementación de nuestra solución en el entorno ATC.

Si bien es cierto, la mayoría de sus soluciones se enfocan en dar mayor capacidad a implementaciones de redes de comunicaciones digitales de dos vías (para equipos de la serie MOTOTRBO de Motorola principalmente); cuentan con GATEWAYS de RoIP denominados ARNS (AMATEUR RADIO NETWORKS SYSTEMS), disponibles para conexiones de Radio a IP de 1 hasta 3 radios. Además puede utilizar interfaz WEB para gestión del sistema y conexiones a implementar en nuestra red. Para efectos de control presenta software adicional como son TL-NET-PCSOFTWARE y una aplicativo de TALKMAP. Para fines de monitoreo es compatible con PC CLIENT SOFT de WINDOWS.

Adicionalmente debe utilizar URI USB (interface de radio analógico), que es el dispositivo que se detecta previamente antes de la ejecución del programa de control.

También contempla otras series de GATEWAYS para la realización de enlaces cruzados (recordando que esto consiste en enviar la información proveniente de un transmisor hacia un receptor que está utilizando una frecuencia distinta). Proporciona con esto interoperabilidad entre una ranura de MOTOTRBO y prácticamente cualquier sistema de radio analógico.

El costo de cada GATEWAY ARNS es \$ 995.00

3 EQUIPOS EMPRESA CUBIC.

La Empresa británica CUBIC VOCALITY, también presenta soluciones en base al uso de Radio sobre IP en escenarios similares al abordado por el presente estudio <https://www.vocality.com/radio-relay/> . Por lo visto de acuerdo a los productos ofertados por esta compañía, podríamos encontrar hasta dos soluciones para nuestra problemática, con diversa complejidad, de acuerdo al siguiente detalle:

SOLUCIÓN 1:

Solución que posibilita que una serie de equipos de radio con PTT se conecten localmente a una red de conmutación de voz basada en SIP existente, que puede ser CISCO Call Manager, Juniper VoIP, Asterisc PBX, WAVE 5000 de Motorola u otra PBX VoIP comerciales basados en SIP. Esta red PTT puede interactuar con los teléfonos VoIP existentes, puede conectar las llamadas a teléfonos de escritorio (PSTN o VoIP), celulares y aplicaciones PTT especializadas para Android o iOS en un entorno libre y escalable. También presenta escalabilidad sobre una red WIFI o PSTN.

Poseen la capacidad de implementación de bandas cruzadas, conectando diferentes tipos de radio dentro de un mismo entorno de comunicación. También proporciona control remoto de radios, por ejemplo, para cambiar la frecuencia a distancia.

Los dispositivos aplicables a esta solución son VOCALITY RoIP, BASICS Radio Relay y BASICS HYBRID. A diferencia de una aplicación de GATEWAY convencional, las unidades de Vocality tienen una funcionalidad especial denominada PACE, la cual posibilita que las llamadas de radio se extiendan sobre IP con la máxima confiabilidad, pero con el mínimo de sobrecarga de ancho de banda. Además una combinación de supresión de silencio, agregación de paquetes, eliminación de vibraciones y compresión de voz eficiente pero clara brindan importantes ahorros de ancho de banda al operador de la red y, lo que es más importante, las llamadas son más claras y más confiables para el usuario.

De las tres opciones, BASIC, resulta ser la más versátil pues permite transferencia no solo de videos sino también de datos. Esta unidad puede admitir la conectividad de muchos equipos de diferentes fabricantes (teléfonos, radios o PBX), incluidos CISCO, Avaya y Asterisk. Tiene conectividad de radio y telefonía analógica. Esto lleva a un sistema unificado, independientemente de la marca o tecnología analógica. Además la optimización de voz (opcional) y la aceleración de datos que se incluyen son capaces de reducir el ancho de banda requerido hasta en un 60%.

Además utiliza codificación para el audio utilizando G.711, G.729 o G.723.1, adecuados en el uso del protocolo SIP.

Presenta compatibilidad con la transmisión RTP UNICAST que permite minimizar el retraso y evitar la pérdida de audio cuando los dispositivos comiencen a transmitir. De igual forma minimiza el uso del ancho de banda.

Trabaja con un software de mejora y gestión basado en LINUX denominado VOCALITY GATEWAY SUITE entre cuyas capacidades es la creación dinámica de grupos de comunicaciones y cambio dinámico de portadores (por ejemplo de Red Privada a una Red pública o PSTN).

SOLUCIÓN 2

Existe una serie PRO para grandes desempeños, ofreciendo una máxima capacidad, compatibilidad y flexibilidad en chasis robusto. Son usualmente utilizados en comunicaciones centralizadas y ofrecen, entre otras cosas, redundancia de alimentación.

De esta gamma, el modelo V50 PLUS es el diseño más compacto y permite de 4 a 16 puertos de voz analógicos FXS y FXO, 8 a 16 conexiones para radios analógicas, de 1 a 8 puertos ISDN BRI, soporta POE y aceleración de data.

4 SOLUCIÓN EMPRESA OMNITRONICS.

La Empresa OMNITRONICS <https://omnitronicsworld.com/radio-over-ip-roip-solutions/> se especializa en el suministro de equipos basados en Radio sobre IP que combinan la potencia y la flexibilidad del IP con los equipos y redes de radio analógica legados de los diferentes usuarios. Capacidades como la interoperabilidad, la escalabilidad, el bajo costo de propiedad y la facilidad de implementación resultan ser el core de sus soluciones.

En ello, la Empresa muestra tres productos que nos pueden ayudar con la problemática, el IPR100 (un solo canal de audio analógico a interfaz IP), IPR400 (cuatro canales analógicos a IP con capacidad de enlace cruzado) y el IPR110 Plus (Advanced VoIP y SIP Gateway) que permite a los clientes combinar RoIP con sistemas PBX de telefonía.

Todos estos dispositivos utilizan mensajes de datos para transportar esquemas de señalización. Tales como SELCAL, ANI, DTMF (5 tonos) y CTCSS superando el Problemas normalmente asociados con pérdidas por compresión; además de Detección de actividad de voz (VAD) y supresión de silencio.

Cada puerto de enlace con la radio analógica proporciona dos hilos de 600 ohmios, acoplado TX y RX. Además admiten cifrado DES o AES.

Entrega capacidad de VoIP con unicast, multicast y conferencia IP, Selección múltiple de codec y algoritmo de compresión, monitoreo del sitio I / O en el IPR400 usando SNMP, Interfaces con teléfono SIP y dispositivos compatibles con PBX

Adicionalmente, el IPR110 PLUS se utiliza para proporcionar cobertura de red de radio a los usuarios de teléfonos SIP y extender la cobertura telefónica a ubicaciones difíciles o difíciles a

las que se accede mejor a través de las comunicaciones inalámbricas. Cuanta con las siguientes características:

- Interconecta a las organizaciones PBX y usuarios de teléfonos SIP con una red de radio.
- Interfaces móviles y portátiles en el campo con una PBX y SIP.
- Proporciona un control de cambio de canal en serie y una interfaz VoIP para estaciones base remotas.

Además una solución de OMNITRONICS incluye la implementación de un sistema de gestión y monitoreo denominado REDITALK que permite controlar funciones remotas y monitorear la integridad del sistema.

5 EQUIPOS EMPRESA ORION

La Empresa ORION presenta sus soluciones de radio control system RCS, hechos a requerimiento del usuario, los cuales interconectan múltiples radios analógicas de 4 cables a las consolas operadoras mediante el uso del transporte de Voz sobre IP (VoIP) / Radio sobre IP (RoIP). Dentro de esta versatilidad, se pueden cumplir las siguientes funciones:

- MULTICAST a GATEWAY analógico.
- IP-PBX/SIP TRUNK/SIP PHONE a GATEWAY analógico.
- Repetidor de radio analógico.
- Tono extensor de radio remoto.
- Consola extensor de radio remoto.
- Acceso a radio vía PC.
- Acceso multiprotocolo.
- Conferencia multiprotocolo.

Está equipado además de las cuatro interfaces de radio, contiene una interfaz para telefonía (2 cables) y admite hasta 4 consolas de operador. Cada consola de operador tiene comunicación de radio TX/RX independiente sin bloqueo. El sistema es capaz de transmitir y recibir audio simultáneamente en todas las redes de radio y también incluye dos redes locales de intercomunicación para la consola del operador a la comunicación de la consola del operador. Cuando se combina con las consolas Orion IP o un Orion IP-VCS (VOICE COMMUNICATION SWITCH), el dispositivo RIP funciona como una puerta de enlace analógica a VoIP / RoI.

Cada interfaz de radio consta de un par de audio de transmisión y recepción analógica equilibrada de 600 Ω . El control de radio se puede lograr a través de interfaces opcionales RS232 o interfaces paralelas.

Una consola de operador controla el sistema RCS-4-IP utilizando una computadora y un mouse estándar o una computadora con pantalla táctil que podría ser el APPLETT DE ORION SYSTEMS,

donde se muestra todas las interfaces del sistema RCS-4-IP. Cada interfaz mostrada tiene las siguientes opciones de Hablar / Escuchar: transceptor, solo monitor o silenciado. Cada interfaz incluye control de volumen de circuito, audio presente e ID del circuito. El sistema RCS-4-IP permite que un operador inicie el parche Radio-a-Radio o Radio-a-Teléfono. Incluye salidas para parlantes y para grabaciones. Se pueden interconectar múltiples dispositivos RCS para controlar hasta 12 radios, 12 operadores y 3 teléfonos

La consola IP de Orion Systems interconecta a los operadores de consola con radios, teléfonos y otros operadores de consola a través de Ethernet utilizando los protocolos de voz sobre IP (VoIP) y radio sobre IP (RoIP).

La Consola IP se compone de una PC con Windows, una aplicación GUI de Orion Systems y una caja de auriculares. La PC basada en Windows puede ser una computadora de escritorio, una computadora portátil, un instrumento con botón de presión o una tableta resistente utilizada en situaciones de comando móvil. Los tipos de PC enumerados anteriormente están disponibles como entorno de oficina estándar o pueden configurarse con pantallas de alto brillo para lectura de luz solar, temperatura amplia para uso en exteriores y entorno resistente para proteger contra vibraciones

La gestión y configuración se realiza mediante un navegador web. Configuraciones como nivel de línea TX / RX. La activación / desactivación de AGC y la detección de nivel de VOX se configuran mediante una interfaz web estándar. Se debe proporcionar una contraseña de nombre de usuario para acceder a la unidad.

6 EQUIPOS EMPRESA TC COMMUNICATION

La Empresa TC COMMUNICATION (<https://www.tccomm.com/JumboSwitch>), también oferta equipamiento basado en Radio sobre IP para implementar soluciones similares a nuestra problemática.

En ese sentido, presentan El TC3846-6, que puede conectar el contacto analógico de 600 ohmios de los receptores de radio que se requieran. Este equipo, basado en Radio sobre IP, ayudará a migrar las radios analógicas a una red IP, con la particularidad de que debido a trasmisión de la señal es de 64 kbps sin comprimir, el sonido será más claro en la nueva red. Admite las funcionalidades de PTT, COR, tonos de guarda y capacidad de transmisión local o remota.

Contiene hasta 4 canales de conexiones para radio analógicas sobre IP, es compatible con puertos de enlace Ethernet LAN / WAN y MPLS

Como ventaja indicada señala que se basa en tecnología TDM sobre IP en lugar de SIP, lo que le permite una mejor calidad de voz traducida en parámetros como son una respuesta de frecuencia de audio lineal de 300Hz a 3000Hz, distorsión de cero volumen de -30dbm a + 5dbm, amplificación de 1: 1 y voz sin comprimir, latencia de 1 mili segundo con una red IP bien administrada.

Ante ello, indican que muchas soluciones de Radio sobre IP están basadas en SIP y VoIP pero pueden causar compresión de audio y tener dificultades para manejar la variación en la latencia.

Para un canal de audio claro y confiable, particularmente para comunicaciones críticas, la tecnología TDM sobre IP, señalan, es una mejor alternativa.

TDM sobre IP es una tecnología en la que emula el multiplexado por división de tiempo en una red con conmutación de paquetes. TDM sobre IP toma un flujo de bits en tiempo real y lo empaqueta. Cuando se combina con un esquema especial de recuperación de reloj llamado Adaptive Clock Recovery (ACR). Como resultado, los datos de voz analógicos transportados por TDM sobre IP son idénticos a los de una línea de cobre arrendado de 600 ohm convencional.

Las configuraciones son simples y flexibles, ofreciendo circuitos analógicos punto a punto o punto a multipunto. Estas configuraciones se realizan a través de interfaces WebUI o CLI, los cuales también permiten monitoreo de SLA ofreciendo indicadores de rendimiento de latencia. Otras características clave incluyen monitoreo y estadísticas de tráfico, servidor de tiempo de red (servidor NTP), actualización remota de firmware y monitoreo de consumo de energía y temperatura. Los diagnósticos incluyen indicadores LED y retorno de bucle local y remoto.

El rendimiento de retardo unidireccional del canal analógico es de 7 ms por defecto. Sin embargo, dependiendo de la radio de aplicación y del retraso del canal unidireccional se puede ajustar en un nivel de latencia entre 1msec a 45msec.

Adicionalmente se puede incorporar un comparador de señal SNV-12, el cual usa procesadores de señal digital para monitorear continuamente múltiples sitios de receptores remotos y seleccionar el receptor con la mejor calidad de señal. Una aplicación típica es un sistema en el que los teléfonos móviles y portátiles pueden escuchar un repetidor, pero debido a su menor potencia de transmisión, el repetidor no puede oírlos. Este minucioso proceso de votación garantiza que el mejor sitio sea votado incluso si la señal recibida es transmitida por un vehículo que se mueve actualmente detrás de edificios o entre sitios receptores de votación remota.

Se indica que TC3846-6 satisface las necesidades de RoIP para aplicaciones de servicios de emergencia. La funcionalidad 'analógica directa a IP' significa que los usuarios pueden conservar el equipo analógico existente, migrando señales analógicas de 2 y 4 hilos a redes IP / Ethernet sin la necesidad de convertir una línea digital como un paso intermedio.



ANEXO "B"
COTIZACIONES DE EQUIPOS

a.- Equipos ORION



7306 Penny Lane Katy Texas 77494
 Phone (832) 490-3562 Fax (832)645-7380
luis@skgetrading.com

Atención
 Señor: Rodolfo Pimentel
 Servicio de Electrónica
 Fuerza Aérea del Perú
 Presente. -

Katy, Texas 22 de Noviembre, 2018

REF: Carta Septiembre 13, 2018

La presente tiene como finalidad saludarlo cordialmente y presentarle nuestra cotización de acuerdo a su requerimiento final:

NRO	DESCRIPCION	PART #	QTY	UNIT	COND	UNIT	TOTAL
1	Radio Control System RCS4-IP 4W E&M Keying Interfaces = 4 Radio Interface FXO Interfaces = 4 FXO Interface SIP Interfaces = 4 SIP Trunk lines 2 Intercom circuits	DS42-0010-A1	13	E/A	NF	\$ 3800.0	\$ 44200.0
2	ORION Console Operator 3 radio software license	DS27-0850-A1	13	E/A	NF	\$ 800.0	\$ 10400.0
3	USB Jack box with 2 LEMO connectors	DS42-0991-A2	13	E/A	NF	\$ 350.0	\$ 4550.0
4	Headset, Binaural, Lightweight	DS27-2503-A1	13	E/A	NF	\$ 200.0	\$ 2600.0
5	Push to Talk (PTT) Unit - Medium Gain	DS27-2504-A3	13	E/A	NF	\$ 150.0	\$ 1950.0
TOTAL							\$ 63,700.0

La compra incluye:

- Manuales de instalación y operación en inglés.
- Asistencia online a modo de entrenamiento para instalación y operación en inglés.
- ***PAGO DE LICENCIA POR ÚNICA VEZ***

Las condiciones de esta cotización son:

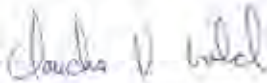
Forma de Entrega: DAP Callao
 Validez: 120 Días
 Garantía: 12 Meses partir recepción del cliente
 Forma de Pago: Transferencia de Banco
 Tiempo de Entrega: 30 Días
 Aceptamos la retención del 10% como garantía de fiel cumplimiento

Adicionalmente ofrecemos el servicio de implementación por personal de ORION SYSTEMS de acuerdo al requerimiento cursado bajo los siguientes términos:

NRO.	DESCRIPCIÓN	TOTAL
1	Servicio Implementación: - Dos técnicos ORION SYSTEMS - 30 días de trabajo - Servicio incluye materiales, equipos y herramientas. - Servicio (todo incluido (la empresa responsable de pasajes hacia LIMA, alojamiento y alimentación de sus técnicos). - Traslados al interior de Perú serán asumidos por Fuerza Aérea.	\$ 67200.0

Si tuviera alguna consulta, por favor no dude en comunicarse con nosotros vía email a luis@skgtrading.com o vía telefónica al (832) 375-9410.


Atentamente,




Claudia Gold
Director
SKG Trading Corporation



b.- Equipos HIBRID

 AVIONIC INDUSTRIES <i>For all your aviation needs</i>		Invoice # 4225 Date: Octubre 17 2018 Terms : Wire Transfer Special: DAP CALLAO Valid : 120 Dias Page # 1						
6206 Breezy Hollow Ln Katy TX 77450 Phone (281) 394-0090 Fax (281) 809-7053 sales@avionicindustries.com		Bill To: Fuerza Aerea Del Peru Servicio de Electronica Lima-Peru						
<p><u>Avionic Industries Corp Invoice 4225</u></p>								
ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	SHIPPED	R	COND	U/M	PRICE	TOTAL
1	HIBRID V50 PLUS ATC	Roip VolP Interfaace (4x4) SOFTWARE LICENSE	13	0	NF	EA	4800	62400
SUB TOTAL								\$ 62,400.00
TAX AMOUNT								\$ -
INVOICE TOTAL US\$								\$ 62,400.00
<small>EXPORT DECLARATION: COMMODITIES TECHNOLOGY OR SOFTWARE THAT'S EXPORTED FROM THE UNITED STATES MUST BE IN ACCORDANCE WITH EXPORT ADMINISTRATION REGULATION. DIVERSION CONTRARY TO U.S. LAW IS PROHIBITED. CURRENT U.S. LAW PROHIBITS EXPORT TO ANGOLA, BHUTAN, BOSNIA, CUBA, HERZEGOVINA, IRAN, IRAQ, KOSOVO, LIBYA, MONTENEGRO, NORTH KOREA, RWANDA, SERBIA, SOMALIA, SUDAN AND SYRIA. CERTIFICATE OF COMPLIANCE: WE CERTIFY THAT MATERIALS AND/OR PARTS FINISHED ON THIS ORDER HAVE BEEN MANUFACTURED IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE SPECIFICATIONS AT THE TIME OF MANUFACTURING.</small>								

c.- Equipos OMNITRONICS

 AVIONIC INDUSTRIES <i>For all your aviation needs</i>		Invoice # 4225 Date: Octubre 17 2018 Terms : Wire Transfer Special: DAP CALLAO Valid : 120 Dias Page # 1						
6206 Breezy Hollow Ln Katy TX 77450 Phone (281) 394-0090 Fax (281) 809-7053 sales@avionicindustries.com		Bill To: Fuerza Aerea Del Peru Servicio de Electronica Lima-Peru						
<p><u>Avionic Industries Corp Invoice 4225</u></p>								
ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	SHIPPED	BACKORDER	COND	U/M	PRICE	TOTAL
1	OMNITRONIC IPR400	Roip VolP Interfaace (4x4) SOFTWARE LICENSE	13	0	NF	EA	3400	44200
SUB TOTAL								\$ 44,200.00
TAX AMOUNT								\$ -
INVOICE TOTAL US\$								\$ 44,200.00
<small>EXPORT DECLARATION: COMMODITIES TECHNOLOGY OR SOFTWARE THAT'S EXPORTED FROM THE UNITED STATES MUST BE IN ACCORDANCE WITH EXPORT ADMINISTRATION REGULATION. DIVERSION CONTRARY TO U.S. LAW IS PROHIBITED. CURRENT U.S. LAW PROHIBITS EXPORT TO ANGOLA, BHUTAN, BOSNIA, CUBA, HERZEGOVINA, IRAN, IRAQ, KOSOVO, LIBYA, MONTENEGRO, NORTH KOREA, RWANDA, SERBIA, SOMALIA, SUDAN AND SYRIA. CERTIFICATE OF COMPLIANCE: WE CERTIFY THAT MATERIALS AND/OR PARTS FINISHED ON THIS ORDER HAVE BEEN MANUFACTURED IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE SPECIFICATIONS AT THE TIME OF MANUFACTURING.</small>								

d.- Equipos DBL

		2211 S. Kirkwood Rd. Suite 38 Houston, TX 77077 Phone: 512-650-2710 Fax: 512-650-2710 sales@williamsaerospace.net mhnl@williamsaerospace.net		QUOTATION QUOTE #: 3476 Date: 08/28/2018 # of Items: 1 Page: 1 Prepared by: M.B.			
To: FUERZA AEREA DEL PERU SERVICIO DE ELECTRONICA LIMA PERU		Ship To: FUERZA AEREA DEL PERU SERVICIO DE ELECTRONICA LIMA PERU		PROPUESTA ECONOMICA			
Quote date: 08/28/2018 Delivery: 50 Days		Ref #: 3476 Incoterms: DAP CALLAO		Terms: WIRE TRANSFER			
<i>The following is in response to your Request For Quote.</i>							
Item	Part Number / Description	CD	Qty	U/M	Waranty	Unit Price	Line Total
1.00	HT-922TN ANALOGIC FXD ADAPTER	NS	26	EA	12 MONTHS	\$ 300.00	\$ 7,800.00
2.00	RoIP 102 M RoIP INTERFACE	NS	39	EA	12 MONTHS	\$ 450.00	\$ 17,550.00
3.00	RoIP 302 M SERVER RoIP INTERFACE	NS	13	EA	12 MONTHS	\$ 800.00	\$ 10,400.00
						Item Total: \$	35,750.00
						Discount:	
Thank you and have a great day!						Sub Total: \$	35,750.00
						Misc Charge: \$	-
						Freight: \$	-
						Total: \$	35,750.00