



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO PARA LA  
INTEGRACIÓN DE SEÑALES DE LOS RADARES DE LA DIRECCIÓN GENERAL  
DE AVIACIÓN CIVIL PARA LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA.”

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo la obtención del Título de:

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

Presentada por:

**JUAN CARLOS ROMERO MEDIAVILLA**

Guayaquil – Ecuador

2016

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a DIOS por haberme permitido cumplir todas las metas que me he propuesto y a todas las personas que me han ayudado e incentivado durante este nuevo reto.

A mi Director de Tesis Ing. Cesar Yépez Flores M.Sc. por haberme guiado en la elaboración de este proyecto, a mis colegas de estudio, que me dieron sus consejos y apoyo durante la formación de la carrera.

A la Fuerza Aérea Ecuatoriana por haberme dado la oportunidad de continuar con mis estudios, al personal del Departamento TIC's del COAD y en especial a los señores oficiales del Proyecto Radares que colaboraron con la información para la elaboración de la investigación documental.

Al Ing. Ángel de la Iglesia (INDRA-España), por haberme orientado y compartido su experiencia y conocimientos.

Al Ing. Lenin Maldonado de la DGAC, por haber colaborado en la implementación del proyecto.

**Juan Carlos Romero Mediavilla**

## **DEDICATORIA**

A mi esposa María Augusta, mis hijos: Juan Martín e Isaac Alejandro pilares fundamentales de mi vida.

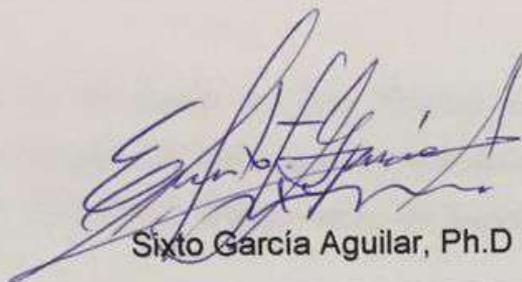
A mi padre Pedro Romero, mi madre Rosita Mediavilla, mis hermanos: Cristina, Byron, Pedro y Carina, gracias por sus consejos en cada paso que he dado.

A mis familiares, colegas y amigos que estuvieron pendientes durante el transcurso de esta etapa.

A todos gracias por su apoyo incondicional.

**Juan Carlos Romero Mediavilla**

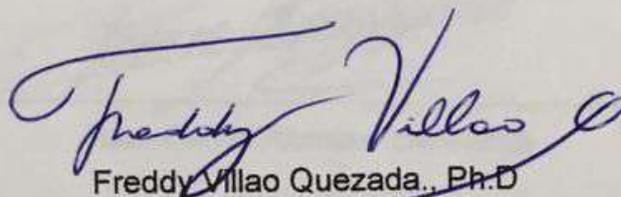
## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Sixto García Aguilar, Ph.D

---

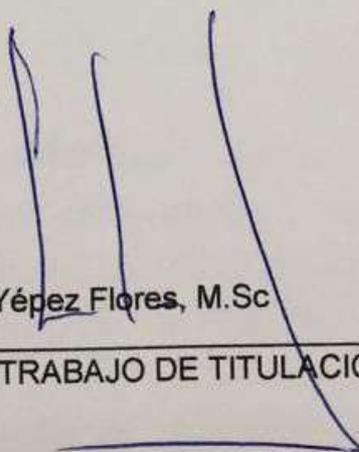
SUBDECANO DE LA FIEC



Freddy Villao Quezada., Ph.D

---

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA



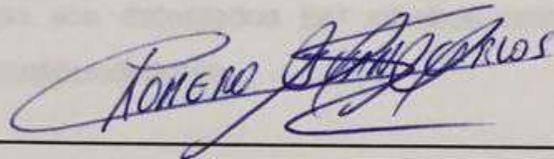
Cesar Yépez Flores, M.Sc

---

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Trabajo de Titulación me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL". (Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



Juan Carlos Romero Mediavilla

## RESUMEN

Debido a la topografía del Ecuador, existen zonas denominadas ciegas, en las cuales los radares de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), por el lugar de ubicación no tienen cobertura y los Controladores de Interceptación no tienen vigilancia en estas áreas. Para cubrir estas zonas se necesita complementar la información con las señales de los radares de la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), donde las aeronaves en vuelo son identificadas en tierra por un interrogador conocido como SSR (Secondary Surveillance Radar). Este Radar Secundario, es un sistema que permite la identificación y seguimiento de blancos específicos en el espacio, interrogaciones que son detectados por equipos embarcados en las aeronaves conocidos como transpondedores.

Estos transpondedores deben ser encendidos por las tripulaciones de las aeronaves para su identificación, pero cuando son vuelos ilícitos evitan ser localizados no los encienden, es en ese momento cuando la Fuerza Aérea requiere armonizar la información de detección de sus radares primarios, con los radares secundarios de la DGAC para determinar si es o no un vuelo ilegal.

A la fecha, la FAE no cuenta con la información de detección de los radares de la DGAC y para solventar esta necesidad se la canaliza a través de medio telefónico por voz, por parte del personal militar que se encuentran de enlace en los Centros de Control de Área (ACC) de la DGAC en Guayaquil, esta información es complementaria y de mucha importancia, y al no tenerla oportunamente hace tardía la reacción con los aviones de interceptación, ocasionando que se incrementen los vuelos ilegales en el territorio nacional.

El propósito de este sistema piloto es integrar las señales de los radares de Cuenca, Manta, Quito, Galápagos y Shell, de la DGAC, para que la cobertura se solape con las señales de los radares militares y poder cubrir las áreas ciegas, además presentar las aeronaves en vuelo que detecten los radares civiles en el Centro de

Mando y Control (CMC) del Comando de Operaciones Aéreas y Defensa (COAD) de la FAE, utilizando una plataforma de visualización gráfica, de esta manera desarrollar e implementar un Sistema de Integración propio, que no dependa de las empresas que se desenvuelven en al área de radares.

Los resultados muestran, que la implementación de este sistema, ofrece una disponibilidad de tener las señales de las aeronaves en vuelo que detectan los radares de la DGAC en el CMC-COAD de un 96%, y una optimización de los recursos del Estado con un ahorro del 75% de lo que costaría un sistema similar.

Por consiguiente, tener la información de las aeronaves que detectan los radares secundarios de la DGAC, permitirá filtrar de mejor manera los plots que detectan los radares militares y así dar la alarma oportuna para enfrentar las amenazas actuales que el país está viviendo y evitar que vuelos ilegales, pongan en riesgo a las operaciones aéreas civiles y militares, y de esta manera la Fuerza Aérea Ecuatoriana, garantice la defensa y soberanía del espacio aéreo nacional.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix
CAPÍTULO 1.....	1
1. Descripción del problema.....	1
1.1. Definición del Problema.....	1
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo General.....	7
1.3.2. Objetivos Específicos.....	7
1.4. Modelo propuesto para la solución del problema.....	7
1.5. Metodología.....	10
CAPÍTULO 2.....	12
2. Marco Teórico.....	12
2.1. Plan Nacional de Frecuencias.....	12
2.1.1. Descripción técnica de las bandas asignadas para la operación de los radares de tránsito aéreo y militares.....	14

2.1.2.	Descripción técnica de las bandas asignadas para el uso de tecnología WiMAX.....	15
2.2.	Tecnología WiMAX.....	17
2.2.1.	Características fundamentales WiMAX.....	18
2.2.2.	Topologías de una Red WiMAX.....	20
2.3.	Sistema Radar.....	20
2.3.1.	Generalidades de un Sistema Radar.....	21
2.3.2.	Clasificación de Radares.....	23
2.3.3.	Operación en Banda L y S.....	25
2.3.4.	Interfaces Radáricas.....	28
CAPÍTULO 3.....		31
3.	Estado del Arte.....	31
3.1.	Estudio de sistemas similares a nivel internacional.....	31
3.2.	Sistemas integrados de las señales radar a nivel nacional.....	33
3.2.1.	Sistema Integrado de la DGAC.....	34
3.2.2.	Sistema Integrado de la FAE.....	37
Capítulo 4.....		49
4.	Diseño e Implementación de la Solución.....	49
4.1.	Descripción técnica.....	49
4.1.1.	Estandarización de la estructura de datos para la transmisión de la información de vigilancia Asterix Cat. 48.....	49
4.1.2.	Configuración de los equipos del sistema WiMAX.....	55
4.1.3.	Configuración de los equipos activos.....	59
4.1.4.	Configuración y sincronización del visualizador gráfico de ficheros ASTERIX.....	61
4.2.	Operación del sistema de visualización gráfica.....	68
4.3.	Diseño de pruebas.....	73
CAPÍTULO 5.....		77
5.	Análisis de Resultados.....	77
5.1.	En Laboratorio.....	77
5.2.	De Campo.....	80

5.3. Análisis del número de tracks y radares simultáneos que se pueden  
visualizar..... 84

5.4. Resumen de escalabilidad del sistema..... 86

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 89

BIBLIOGRAFÍA..... 93

ANEXOS..... 96

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

### TERMINOS

#### Track

Es la representación en pantalla de un objeto que ha sido detectado de manera recurrente a lo largo de varios barridos de antena, permitiéndole al sistema estimar con bastante precisión las siguientes  $n$  ubicaciones del objeto en cuestión de manera que en el caso de no recibir durante una vuelta de antena la señal de ese objeto, el sistema sea capaz de continuar mostrando su posición estimada en pantalla hasta que el objeto sea detectado nuevamente. [17].

#### COTS

Productos que están disponibles comercialmente y se los puede comprar “tal cual” de manera local y son productos de fabricación estándar. [20]

### ACRÓNIMOS

AAA	Artillería Anti Aérea
ACC	Centro de Control de Área
ADSL	(Asymmetric Digital Subscriber Line)
AMHS	Aeronautical Message Handling System Sistema de Manejo de Mensajes Aeronáutico
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
ATC	Air Traffic Control

ATM	Architecture & Information Management Arquitectura y Gestión de la Información
COA	Centro de Operaciones Aéreas.
COAD	Comando de Operaciones Aéreas y Defensa
COTS	Comercial Off-The-Shelf
CMC	Centro de Mando y Control
DA	Defensa Aérea
DGAC	Dirección General de Aviación Civil
ESMA	Escuela Superior Militar de Aviación
FAE	Fuerza Aérea Ecuatoriana
FDD	Frequency Division Duplex Duplexación por División de Frecuencia
FRN	Field Reference Number.
FSPEC	Field Specification
GYE	Guayaquil
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
IFF	Identification Friend or Foe Identificación amigo o enemigo
ICD	Interface Control Document
IRS	Interface Requirements Specification
ISO	International Standards Organization Organización Internacional de Normalización
LPA	Lista Procesada de Amenazas
MAC	Control de Acceso al Medio
MN	Millas Nauticas

MCS	Modulation and Coding Scheme Sistema de Modulación y Codificación
MTI	Moving Target Identification Identificación de un Objetivo en Movimiento
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiple Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales
OSI	Open Systems Interconnection Interconexión de Sistemas Abiertos
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PNF	Plan Nacional de Frecuencias
QoS	Quality of Service Calidad de Servicio
RAP	Recognized Air Picture Imagen de Reconocimiento Aéreo
SSR	Secondary Surveillance Radar Radar Secundario
SICO	Sistema Integrado de Control Operacional
SGV	Sistema de Grabación de Voz
TDD	Time Division Duplex Duplexación por División de Tiempo
UAP	User Application Profile Perfil de Aplicación de Usuario
UE	Unión Europea
UIO	Quito

UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VCCS	Sistema de Control de Comunicaciones de Voz

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ruta internacional del narcotráfico en Ecuador.....	3
Figura 1. 2: Estructura del Modelo Propuesto.....	9
Figura 1. 3: Visualizador gráfico VisualAST.....	10
Figura 2. 1: Rangos de ondas y de frecuencias utilizadas por radares.....	14
Figura 2. 2: Funcionamiento básico de un radar.....	21
Figura 2. 3: Descripción del uso de la Ecuación Básica Radar.....	22
Figura 2. 4: Clasificación de los Radares.....	23
Figura 2. 5: Radar Primario.....	24
Figura 2. 6: Radar Secundario.....	24
Figura 2. 7: Atenuación atmosférica por efecto de la lluvia.....	26
Figura 3. 1: Radar 3D con primario y secundario.....	32
Figura 3. 2: Radiación tipo pincel (pencil beam).....	33
Figura 3. 3: Diseño tipo de un Centro de Control de Área.....	35
Figura 3. 4: Arquitectura tipo de un Centro de Control de Área.....	36
Figura 3. 5: AIRDEF Esquema de un Sistema de Vigilancia y Control del Espacio Aéreo.....	39
Figura 3. 6: Arquitectura tipo de un Sistema de CMC.....	48
Figura 4. 1: Estructura de un Bloque de Datos Asterix.....	53
Figura 4. 2: Estructura de campos de datos de longitud fija.....	55
Figura 4. 3: Área de cobertura WiMax en el Guayas.....	56

Figura 4. 4. Enlace entre Estación Base y Suscriptoras del WiMAX .....	56
Figura 4. 5: Enlace suscriptor CPE WiMAX .....	58
Figura 4. 6: Asignación de VLAN en WiMAX .....	59
Figura 4. 7: Configuración de la VLAN.....	60
Figura 4. 8: Configuración del puerto trunk. ....	61
Figura 4. 9: Barra de herramientas VisualAST.....	62
Figura 4. 10: Pantalla de inicio del visualizador grafico VisualAST. ....	62
Figura 4. 11: Función “Abrir Juego de Mapas” del VisualAST.....	63
Figura 4. 12: Selección de la plantilla para cargar el perfil de un mapa.....	63
Figura 4. 13: Función “Abrir Ubicaciones Radar” del VisualAST. ....	64
Figura 4. 14: Selección de la plantilla para cargar ubicación radares.....	65
Figura 4. 15: Selección de la Ubicación Emplazamiento Radar. ....	65
Figura 4. 16: Ubicación del perfil ecuatoriano respecto al radar de Manta. ....	66
Figura 4. 17: Ubicación del perfil ecuatoriano respecto al radar de Manta con aerovías.....	67
Figura 4. 18: Ubicación del perfil ecuatoriano respecto al radar de Shell. ....	67
Figura 4. 19: Función “Captura ASTERIX de LAN” del VisualAST. ....	68
Figura 4. 20: Información de Protocolos de la Red. ....	69
Figura 4. 21: Configuración para la captura de datos del radar de Cuenca.....	70
Figura 4. 22: Configuración para la captura de datos del radar de Manta. ....	71
Figura 4. 23: Configuración para la captura de datos del radar de Quito. ....	71
Figura 4. 24: Configuración para la captura de datos del radar de Galápagos.....	72
Figura 4. 25: Configuración para la captura de datos del radar de Shell. ....	72
Figura 4. 26: Captura de datos y presentación de tracks del radar de Cuenca. ....	73
Figura 4. 27: Captura de datos y presentación de tracks del radar de Manta.....	74

Figura 4. 28: Captura de datos y presentación de tracks del radar de Quito.....	74
Figura 4. 29: Captura de datos y presentación de tracks del radar de Galápagos. .	75
Figura 4. 30: Captura de datos y presentación de tracks del radar de Shell.....	75
Figura 4. 31: Captura de datos y presentación de tracks de las aeronaves en vuelo de manera individual y simultánea.....	76
Figura 5. 1: Presentación de las aeronaves en vuelo radar de Manta.....	78
Figura 5. 2: Presentación de las aeronaves en vuelo radar de Shell.....	79
Figura 5. 3: Presentación de las aeronaves en vuelo radar de Quito .....	79
Figura 5. 4: Presentación de las aeronaves en vuelo radar de Cuenca .....	80
Figura 5. 5: Diferencias entre el entorno VisualAST y consola ACC-DGAC.....	81
Figura 5. 6: Comparación del posicionamiento de una aeronave en vuelo con la señal del radar de Galápagos.....	81
Figura 5. 7: Seguimiento de una aeronave en vuelo con el radar de Shell.....	82
Figura 5. 8: Comparación del posicionamiento de una aeronave en vuelo con la señal del radar de Shell .....	82
Figura 5. 9: Consolas de Radares Militares .....	83
Figura 5. 10: Transmisión de datos, seleccionando todos los radares a la vez. ....	84
Figura 5. 11: Comparación de señales de los radares trabajando de forma simultánea.....	85
Figura 5. 12: Señales de los radares trabajando de forma individual y simultanea .	86
Figura 5. 13: Aeronaves en vuelo detectados radar Manta .....	87
Figura 5. 14: Presentación de la altura de las aeronaves en vuelo respecto al radar de Manta .....	87

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis de vuelos ilegales. ....	2
Tabla 2: Costos aproximados de un sistema de integración y presentación de señales radáricas.....	5
Tabla 3: Denominación de las Bandas de acuerdo a Organismos Internacionales.	15
Tabla 4: Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias. ....	16
Tabla 5: Modulation and Coding Schemes in WiMAX. ....	19
Tabla 6. Niveles de Campo Eléctrico del Sistema WiMAX.....	57
Tabla 7: Parámetros de Configuración del Canal.....	69

## INTRODUCCIÓN

Los Radares Secundarios son sistemas de radiodeterminación basados en la comparación entre señales de referencia y señales radioeléctricas retransmitidas desde una posición a determinar [5], donde las aeronaves en vuelo son identificadas en tierra por un interrogador (SSR), este sistema solicita información de la aeronave, como su identidad y altitud. Estas peticiones son detectadas por equipos embarcados en las aeronaves conocidos como transpondedores, mismos que envían la información para facilitar su identificación en el control de tráfico aéreo, esto se puede ver en el Anexo 1.

Con la finalidad de que las plataformas de control aéreo puedan integrarse entre los diferentes sistemas y permitan tener una interconexión remota, gran parte de los fabricantes están adoptando las recomendaciones de EUROCONTROL, ésta es una organización civil y militar integrada por 41 Estados europeos que tiene como objetivo el desarrollo de un sistema seguro, eficaz y coordinado del tráfico aéreo europeo, para la utilización de interfaces, protocolos y categorías de acuerdo a las normas ASTERIX [4].

ASTERIX se refiere a las capas de presentación y aplicación definidos por la Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI), es decir capas 6 y 7 respectivamente, donde pueden ser especificadas hasta 256 categorías de datos, siendo de nuestro interés la categoría 34 que es la nueva versión de la categoría 02 y sirve para decodificar los mensajes de servicio; y la categoría 48 que es la nueva versión de las categorías 01 y 16 y sirve para datos del radar primario y secundario [16].

La Fuerza Aérea Ecuatoriana, necesita contar con la información de los radares secundarios de la DGAC. En este contexto, los estudios están orientados en análisis teóricos y experimentales con el objetivo de implementar un Sistema Piloto para integrar las diferentes señales de los radares de la DGAC y transmitir la información a través de la tecnología WiMAX desde el Centro de Control de Área (ACC-

Guayaquil) hacia el Centro de Mando y Control (CMC-COAD) y presentar los tracks de las aeronaves en vuelo utilizando un visualizador de ficheros Asterix.

En la elaboración del Sistema Piloto se planteó en el capítulo 1, establecer los objetivos de la tesis, el modelo para la solución del problema y la metodología utilizada. En el capítulo 2 se detallan las definiciones de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), bandas y frecuencias asignadas, las topologías de red, así como definiciones teóricas de radares secundarios para tránsito aéreo y radares primarios de uso militar. En el capítulo 3 se detallan el Estado del Arte de sistemas similares a nivel internacional y nacional para uso civil y militar. En el capítulo 4 se describe la configuración, el diseño e implementación de la solución, junto con estudios científicos previos. Por último en el capítulo 5 se detallan los análisis de resultados en laboratorio y en campo del sistema implementado, para posteriormente las conclusiones y recomendaciones, así como los anexos.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1. Definición del Problema**

Debido a la topografía del Ecuador, existen zonas denominadas "ciegas" en las cuales los radares de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), por el lugar de ubicación no tienen cobertura y los controladores de tránsito aéreo no tienen vigilancia en estas áreas, para cubrir estas zonas se necesita complementar la información con las señales de los radares de la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), los cuales están ubicados en otros sectores y cubren algunas de las zonas ciegas.

Este inconveniente ha ocasionado que se incrementen los vuelos ilegales en el territorio nacional, de acuerdo al análisis realizado en los tres últimos años [1] y que se detallan en la Tabla 1.

DESCRIPCIÓN	FECHA	SECTOR	PROVINCIA	CONTENIDO
Una avioneta de matrícula mexicana se accidenta	13/05/2012	Pedernales	Manabí	\$1,3 millones de dólares
En un hangar privado una avioneta es capturada	05/06/2012	Santa Elena	Santa Elena	Posiblemente pretenderían cargar droga
Una avioneta es obligada a aterrizar	19/11/2012	Vía a Salinas	Santa Elena	Transportaba alcaloides
Una avioneta de placas mexicanas aterriza en una hacienda	28/01/2013	Cantón Valencia	Los Ríos	Transportaba alcaloides
Se encuentra una avioneta	07/06/2013	El Empalme	Guayas	500 kilos de droga , 2 granadas y 6 rockets tipo cohete
Una avioneta es retenida	15/01/2014	Ayangue	Santa Elena	500 paquetes de cocaína
Una avioneta es capturada	30/11/2014	La Clementina	Los Ríos	350 kilos de droga
Una aeronave fue incautada	18/12/2014	Balao	Guayas	350 paquetes de droga

**Tabla 1: Análisis de vuelos ilegales.**

Analizando la Tabla 1, tenemos que el porcentaje de vuelos ilícitos por provincia da como resultado que en Santa Elena con un 38% se desarrolló la mayor cantidad de eventos, seguido por Guayas y Los Ríos con un 25%, y. en Manabí a pesar de tener el porcentaje más bajo con el 12% es considerado como una ruta de ingreso y en general el perfil costanero como se puede visualizar en la Figura 1.1.

El propósito de este sistema piloto es contar con las señales de los radares de Galápagos, Manta, Cuenca, Quito y la Shell de la DGAC, para que se solapen

las señales con la de los radares militares y poder cubrir las áreas ciegas y presentar los tracks de las aeronaves en vuelo en el Centro de Mando y Control (CMC) del Comando de Operaciones Aéreas y Defensa (COAD) de la FAE, utilizando una plataforma de visualización gráfica Asterix.



**Figura 1.1: Ruta internacional del narcotráfico en Ecuador.**

**FUENTE:** ULCO- Policía Antinarcóticos. Gráfico: AP / EXTRA.

En estos momentos la FAE no cuenta con la información de detección de los radares secundarios de la DGAC, donde las aeronaves en vuelo son interrogadas permanentemente a través del interrogador, internacionalmente conocido como SSR (Secondary Surveillance Radar). Este Radar Secundario, es un sistema que permite la identificación y seguimiento de las aeronaves civiles, pero en el ámbito militar se lo conoce como Identificador Amigo-

Enemigo IFF (Identification Friend or Foe), en ambos casos, este dispositivo es encendido por las tripulaciones de las aeronaves, pero cuando son vuelos ilícitos evitan el ser identificados y no los encienden; es en ese momento cuando la FAE requiere completar la información de detección de sus radares primarios para determinar si es o no un vuelo ilegal.

Actualmente la información se canaliza a la FAE a través de medio telefónico por voz, por parte del personal militar de operadores de Defensa Aérea que se encuentran de enlace en los Centros de Control de Área (ACC) de la DGAC en Guayaquil (GYE) y Quito (UIO), esta información es complementaria y de mucha importancia y al no tenerla oportunamente hace tardía la reacción con los aviones de interceptación.

Es importante considerar también que las aeronaves ilegales pueden sobrevolar zonas no autorizadas o meterse a las rutas de los vuelos comerciales, generando riesgo para las operaciones aéreas normales que se desarrollan a diario y que pueden terminar en accidentes aéreos.

## **1.2. Justificación**

La FAE tiene la necesidad de cubrir las áreas ciegas, para esto es necesario contar con la cobertura e información que proporcionan los radares de tránsito aéreo de la DGAC, pero estos son de diferentes fabricantes: INDRA, THOMSON, ALENIA, cada uno con tecnología y plataformas diferentes, lo que implicaría que se necesitarían una consola por cada sistema radar, medios de transmisión de datos independientes y espacio físico para cada uno en el CMC-COAD.

Las empresas fabricantes de sistemas radáricos generan sus propios protocolos de transmisión, softwares de control y sistemas de integración de las señales radar, además las consolas contienen aplicativos que presentan los tracks de las aeronaves en vuelo e información con características propias de cada empresa.

En Octubre del 2008, la FAE realizó un estudio de mercado para la adquisición de un sistema de radares en los que se incluían Centros de Mando y Control y la integración de los radares de la DGAC, tomando como referencia esos precios [2].y aumentando un promedio del 3,09% anual de la tasa de inflación a enero del 2016, se obtendría el costo aproximado de un sistema que permita presentar las señales de radares secundarios con todos sus componentes. [3]

AÑO	CETC (China)	INDRA (España)	LR AVIONICS (Ucrania)	ELTA System IAI (ISRAEL)	NORTHROP GRUMMAN ( USA )	THALES- RAYTHEON (FRANCIA)
2008	\$ 900.000	\$ 1.250.000	\$ 1.150.000	\$ 1.100.000	\$ 1.120.000	\$ 1.350.000
2009	\$ 927.810	\$ 1.288.625	\$ 1.185.535	\$ 1.133.990	\$ 1.154.608	\$ 1.391.715
2010	\$ 956.479	\$ 1.328.444	\$ 1.222.168	\$ 1.169.030	\$ 1.190.285	\$ 1.434.719
2011	\$ 986.035	\$ 1.369.492	\$ 1.259.933	\$ 1.205.153	\$ 1.227.065	\$ 1.479.052
2012	\$ 1.016.503	\$ 1.411.810	\$ 1.298.865	\$ 1.242.393	\$ 1.264.982	\$ 1.524.755
2013	\$ 1.047.913	\$ 1.455.435	\$ 1.339.000	\$ 1.280.782	\$ 1.304.069	\$ 1.571.869
2014	\$ 1.080.293	\$ 1.500.408	\$ 1.380.375	\$ 1.320.359	\$ 1.344.365	\$ 1.620.440
2015	\$ 1.113.675	\$ 1.546.770	\$ 1.423.029	\$ 1.361.158	\$ 1.385.906	\$ 1.670.512
2016	\$ 1.148.087	\$ 1.594.565	\$ 1.467.000	\$ 1.403.218	\$ 1.428.731	\$ 1.722.131

**Tabla 2: Costos aproximados de un sistema de integración y presentación de señales radáricas**

La FAE adquirió un software y una consola para monitoreo y visualización de las señales de los radares de fabricación INDRA que están operando en la DGAC por un monto aproximado de 120.000,00 dólares incluido las licencias.

El propósito de este sistema piloto, es desarrollar e implementar un Sistema de Integración que no dependa de las empresas fabricantes y si tomamos como referencia el valor detallado considerando que son plataformas casi

similares, ya que se presenta la información básica pero que permite al operador identificar una aeronave y en razón que el costo de implementación que este sistema piloto costaría incluyendo: Integración de señales radar, transmisión de datos y presentación de tracks en una consola, es de aproximadamente 30.000,00 dólares, se ahorraría 90.000 dólares es decir el 75% de lo que valdría la adquisición de una sola consola con sus respectivas licencias.

Con este Sistema se pretende tomar las señales de los diferentes radares que posee la DGAC que llegan al cuarto de servidores del ACC-GYE, utilizando los protocolos Asterix Cat. 34 y 48 [4], los cuales son formatos de datos para el Control de Tráfico Aéreo (ATC) con el que trabajan los sistemas radáricos, para interconectarse a la red del ACC-GYE desde el CMC-COAD a través de un medio de transmisión WiMAX y poder visualizar las tracks en una consola que permita identificar las aeronaves en vuelo.

De esta manera se aprovecha la cobertura de los radares de la DGAC y se cubrirían las áreas ciegas, para que cuando los Operadores de Defensa Aérea pierdan las trazas de las aeronaves en las pantallas de los radares militares, puedan continuar el seguimiento con las trazas proporcionadas con los radares de la DGAC, llevando así el control continuo y el seguimiento de un vuelo.

Tener la información integrada de las señales radar de la DGAC y la de los radares militares de la FAE, permitiría dar la alarma oportuna para enfrentar las amenazas actuales que el país está viviendo y evitar que estos vuelos ilegales, pongan en riesgo a las operaciones aéreas civiles y militares y de esta manera la FAE garantice la defensa y soberanía del espacio aéreo nacional.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar e Implementar un Sistema Piloto para la integración de las diferentes señales de los radares de la DGAC y transmitir la información para presentar los tracks de las aeronaves en vuelo en el CMC-COAD.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Describir los Interface Control Document / Interface Requirements Specification (ICD/IRS) de los radares de la DGAC bajo el formato de Vigilancia Asterix Cat. 34 y 48.
- Determinar el esquema de configuración del sistema de transmisión WiMAX de las Fuerzas Armadas, para enviar los datos de las señales de los radares desde la DGAC-GYE hasta el CMC-COAD de la FAE.
- Presentar gráficamente los tracks de las aeronaves en vuelo, utilizando un software para visualización grafica de ficheros Asterix y tener información que permita la identificación y localización de una aeronave respecto al territorio ecuatoriano.

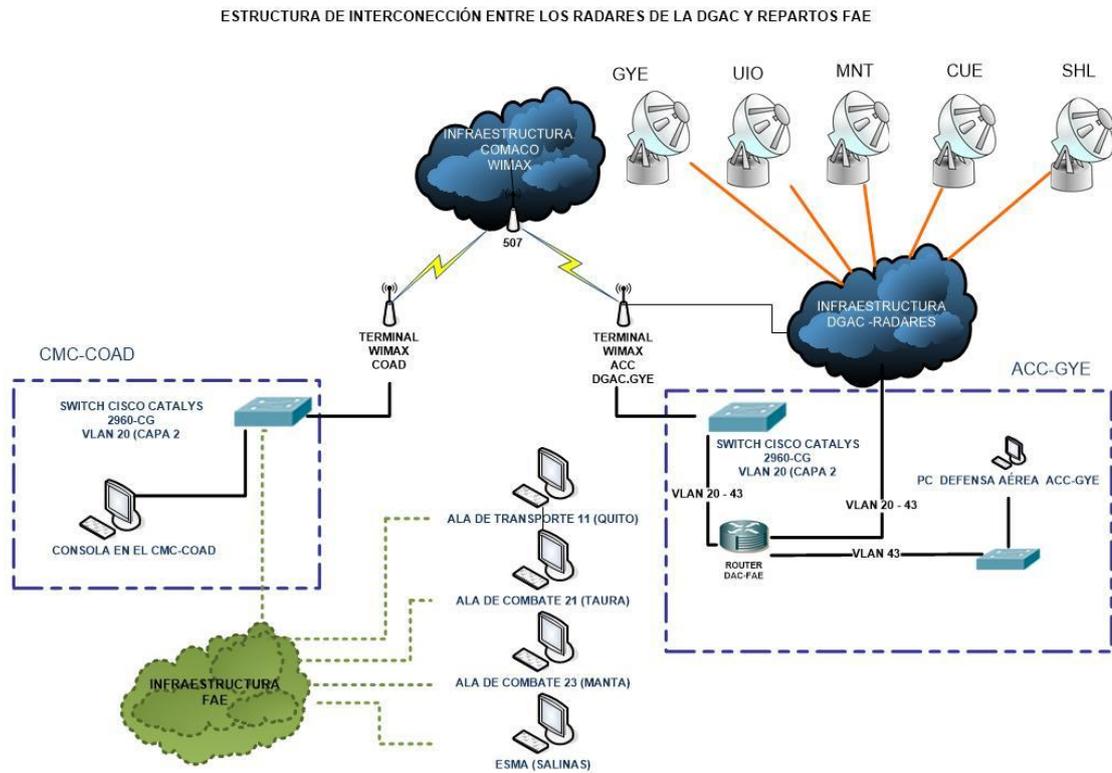
### **1.4. Modelo propuesto para la solución del problema**

El propósito de este sistema piloto, es desarrollar e implementar un sistema que permita visualizar las señales de los radares de la DGAC de manera

individual pero simultánea, y que no dependa de las empresas fabricantes de sistemas radáricos y así optimizar los recursos del Estado, ya que el presupuesto referencial que se estima costaría implementar este sistema piloto considerando: interconexión al enrutador (router) donde se encuentran las señales de los radares, transmisión de datos y presentación de tracks en una consola, es de aproximadamente 30.000,00 dólares, ahorrando más del 75% de lo que costaría la adquisición de una sola consola con cualquier empresa dedicada a este ámbito.

Con este sistema se pretende tomar las señales de los radares de Galápagos, Manta, Cuenca, Quito y la Shell de la DGAC de manera individual y que convergen en un router en el cuarto de servidores del ACC en Guayaquil, y a través del medio de transmisión WiMAX perteneciente a las Fuerzas Armadas, llegar hasta el Centro de Mando y Control de la FAE, para mediante direccionamientos de canales de transmisión, capturar los datos de cada radar en forma individual y presentar en una consola utilizando el software VisualAST.

Además se tiene como proyección la replicación de la solución en cuatro repartos más de la Fuerza Aérea, como son el ALA-11, ALA-21, ALA-23 y Escuela Superior Militar de Aviación (ESMA), utilizando la infraestructura propia de la institución, misma que ya posee el enlace con los repartos antes mencionados. La estructura de la solución se la puede visualizar en la Figura 1.2.

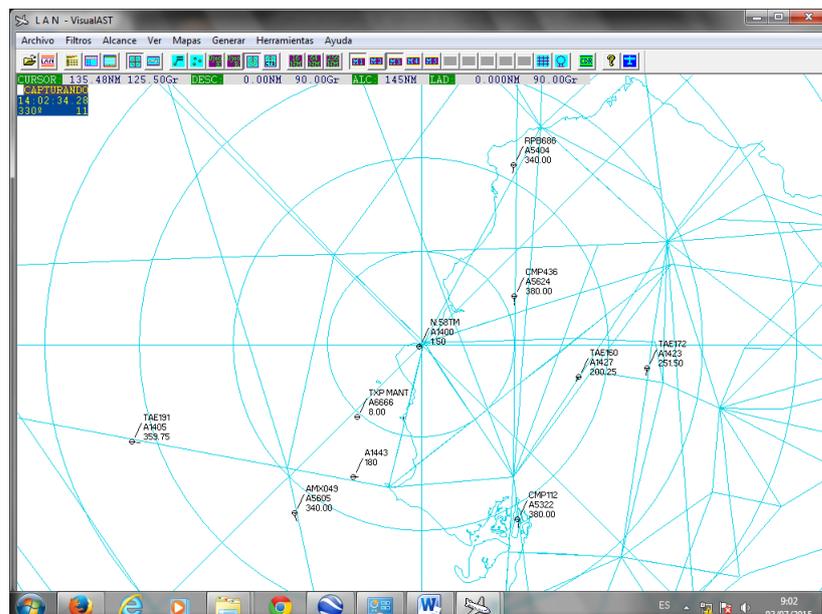


**Figura 1. 2: Estructura del Modelo Propuesto**

El modelo propuesto además pretende atender los requerimientos operativos como:

- Proporcionar los tracks de las aeronaves en vuelo con sus números de identificación.
- Tener información como: altura y rumbo respecto a las aerovías.
- Localizar a las aeronaves en vuelo y posicionarlos respecto al territorio nacional.
- Seleccionar las señales de los radares de: Cuenca, Manta, Quito, Galápagos y Shell, de forma independiente o en varias ventanas de forma simultánea.
- Colocar plantillas digitales de las aerovías y del perfil ecuatoriano a fin de visualizar si una aeronave lleva correctamente su rumbo.

También poder tener las imágenes de los tracks de las aeronaves en vuelo usando el visualizador gráfico de ficheros Asterix “VisualAST” que opera bajo plataforma Windows como se puede observar en la Figura 1.3.



**Figura 1. 3: Visualizador gráfico VisualAST.**

## 1.5. Metodología

En el Diseño e Implementación de este Sistema Piloto fue utilizado un enfoque Cuantitativo ya que se utilizaron características como: estadísticas, análisis causa-efecto y tiene procesos secuenciales, deductivos, probatorios, interpretación de gráficas y tablas, a fin de tener resultados de presentación, precisión y predicción.

En el transcurso y realización del presente sistema, se utilizó un enfoque metodológico, basado en técnicas cuantitativas donde se aplicaron protocolos de transmisión como instrumento, presentación de resultados utilizando un software de visualización gráfica para ficheros Asterix, proceso que tuvo un periodo de pruebas de campo.

Se deberá tener en cuenta el uso de las frecuencias en la Banda L y S, que son los rangos de uso de los radares y la frecuencia de operación del WiMAX, mismas deberán estar enmarcadas en el Plan Militar de Frecuencias designados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). También se aplicaran técnicas y metodologías de diseño y configuración de las redes y subredes que permitan la administración de trafico de información y transmitir los datos de las señales radar en los equipos de enrutamiento.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Plan Nacional de Frecuencias**

El espectro radioeléctrico constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas establecidas, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial.

Considerado por la Constitución de la República del Ecuador como un sector estratégico, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión del espectro electromagnético y es a través de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) que ejecuta una adecuada gestión del espectro radioeléctrico, asignación, concesión y autorización de uso de frecuencias [11].

El Plan Nacional de Frecuencias (PNF) del año 2012, establece la distribución del espectro radioeléctrico del país, así como los mecanismos para implementar nuevos servicios y tecnologías, acogiendo las recomendaciones propuestas en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones,

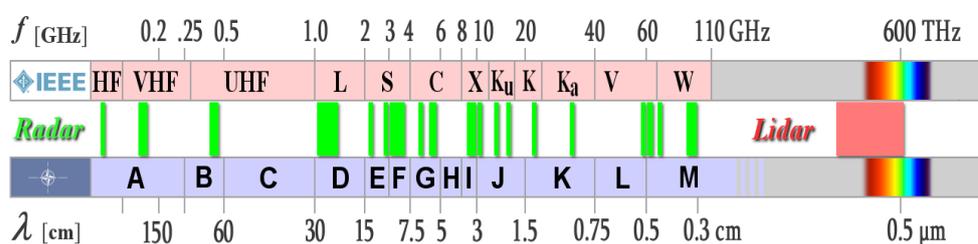
organizadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), que se desarrollan en Ginebra cada 4 años, siendo la próxima reunión en el año 2016.

En el PNF en su Capítulo I Términos y Definiciones, en el numeral 1.4 Estaciones y Sistemas radioeléctricos, detalla las siguientes definiciones [5]:

- Radar.- Sistema de radiodeterminación basado en la comparación entre señales de referencia y señales radioeléctricas reflejadas o retransmitidas desde la posición a determinar.
- Radar primario.- Sistema de radiodeterminación basado en la comparación entre señales de referencia y señales radioeléctricas reflejadas desde la posición a determinar.
- Radar secundario.- Sistema de radiodeterminación basado en la comparación entre señales de referencia y señales radioeléctricas retransmitidas desde la posición a determinar.
- Seguimiento espacial.- Determinación de la órbita, velocidad o posición instantánea de un objeto en el espacio por medio de la radiodeterminación, con exclusión del radar primario, con el propósito de seguir los desplazamientos del objeto.
- Radiodeterminación.-Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.

### 2.1.1. Descripción técnica de las bandas asignadas para la operación de los radares de tránsito aéreo y militares.

El espectro radioeléctrico ha sido dividido en subgrupos por rangos de frecuencias, esta extensa y completa gama tiene en cuenta las propiedades físicas de las ondas que lo componen y se la puede representar como se muestra en la Figura 2.1.



**Figura 2. 1: Rangos de ondas y de frecuencias utilizados por radares.**

**Fuente:** [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu)

Esta división de las frecuencias en los distintos rangos se los clasifica por bandas, siendo de nuestro interés los rangos de 1GHz a 2GHz y de 2GHz a 4GHz, que son los rangos en las que operan los radares de vigilancia y control, estas partes del espectro radio eléctrico tienen varias denominaciones por organismos internacionales como la UIT, la Unión Europea (UE), Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE), Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), [6] como se detalla en la Tabla 3:

ORGANISMO	BANDA	FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA
IEEE	L	1GHz a 2GHz	300 mm
	S	2GHz a 4GHz	150 mm
UIT	9	300 MHz a 3GHz	100 mm
	10	3GHz a 30GHz	100 mm
UE-OTAN-US ECM	D	1GHz a 2GHz	300 mm
	E	2GHz a 3GHz	150 mm
	F	3GHz a 4GHz	150 mm

**Tabla 3: Denominación de las Bandas de acuerdo a Organismos Internacionales.**

### 2.1.2. Descripción técnica de las bandas asignadas para el uso de tecnología WiMAX

De acuerdo al PNF las bandas 2.3 GHz, 2.5GHz, 3.3GHz y 3.5 GHz contienen las bandas de frecuencias atribuidas a los servicios de radiocomunicaciones, para nuestro caso la banda atribuida para uso reservado se encuentra entre 2,3 GHz. [5] [10].

REGIÓN 2	ECUADOR		
Banda MHz	Banda MHz	Rango MHz (resumen): (Sistema/Uso)	Nota EQA Servicio
2300 – 2450 FIJO MÓVIL 5.384A RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados 5.150 5.282 5.393 5.394 5.396	2300 – 2450 FIJO MÓVIL 5.384A RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados 5.150 5.282 5.396	2400 – 2450 EQA.90: (MDBA y Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	

**Tabla 4: Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias.**

**Fuente:** Plan Nacional de Frecuencias 2012

**MOVIL 5.384A:** Las bandas 1710-1885 MHz, 2300 - 2400 MHz y 2500-2690 MHz, o partes de esas bandas, se han identificado para su utilización por las administraciones que deseen introducir las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) de conformidad con la Resolución 223 (Rev.CMR-07). Dicha identificación no excluye su uso por ninguna aplicación de los servicios a los cuales están atribuidas y no implica prioridad alguna en el Reglamento de Radiocomunicaciones. (CMR-07). [5]

**Aficionados 5.282:** Las bandas...2400-2500 MHz... (Frecuencia central 2450 MHz) están designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM). Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones. Los equipos ICM que funcionen en estas bandas estarán sujetos a las disposiciones del número 15.13. [5]

**Aficionados 5.282:** El servicio de aficionados por satélite podrá explotarse en las bandas 435-438 MHz, 1260-1270 MHz, 2400-2450 MHz, 3400- 3410 MHz (en las Regiones 2 y 3 solamente), y 5650-5670 MHz, siempre que no cause interferencia perjudicial a otros servicios explotados de conformidad con el Cuadro (véase el número 5.43). Las administraciones que autoricen tal utilización se asegurarán de que toda interferencia perjudicial causada por emisiones de una estación del servicio de aficionados por satélite sea inmediatamente eliminada, en cumplimiento de lo dispuesto en el número 25.11. La utilización de las bandas 1260-1270 MHz y 5650-

5670 MHz por el servicio de aficionados por satélite se limitará al sentido Tierra-espacio. [5]

**Aficionados 5.396:** Las estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite en la banda 2 310- 2 360 MHz, explotadas de conformidad con el número 5.393, que puedan afectar a los servicios a los que esta banda está atribuida en otros países, se coordinarán y notificarán de conformidad con la Resolución 33 (Rev.CMR-97). Las estaciones del servicio complementario de radiodifusión terrenal estarán sujetas a coordinación bilateral con los países vecinos antes de su puesta en servicio. [5]

**EQA.90:** En las bandas 902 – 928 MHz, 2400 – 2483, 5 MHz, 5150 – 5350 Hz, 5470 –5725 MHz y 5725 – 5850 MHz, también operan sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha y enlaces auxiliares de radiodifusión sonora que utilizan técnicas de modulación digital de banda ancha sin protección contra interferencias perjudiciales. [5]

## 2.2. Tecnología WiMAX

WiMAX, siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access, es un estándar utilizada para la transmisión de datos que usa las ondas de radio en aplicaciones de última milla, en sistemas que utilizan bandas de 2GHz a 66GHz, y están divididos en 2 Grupos, la primera que va desde los 2GHz a 11GHz y la segunda entre 11GHz a 66GHz, encontrándose nuestra banda en los rangos del primer grupo

WiMAX es una tecnología de comunicaciones inalámbricas para áreas metropolitanas de acceso en banda ancha, que permite la conexión a una velocidad similar a la de ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), en

distancias entre 50 y 60 Km, definida por la familia de estándares IEEE 802.16 y es compatible con Wi-Fi estándar IEEE 802.11. [9]

Se enmarca en dos modelos de uso: el Fijo que cumple el estándar IEEE 802.16d y el móvil basado en el estándar IEEE 802.16e, ofreciendo acceso de última milla a redes de comunicaciones de banda ancha. Se está investigando un nuevo estándar, el 802.16m que pretende ofrecer velocidades teóricas cercanas a 1GB, compitiendo en el mercado con 4G pudiendo llevar hasta el doble de la cantidad de tráfico de red.

### **2.2.1. Características fundamentales WiMAX**

Las características de la tecnología WiMax se basan en la arquitectura de los estándares IEEE 802.16d-2004 y 802.16e-2005, estos son especificaciones que hacen referencia a que la capa de acceso al medio, que es capaz de soportar múltiples especificaciones de la capa física [9] [10].

Dentro de las principales características podemos citar [9] [10]:

- Capa física basada en Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM)
- Elevadas Tasas de Transferencia
- Ancho de Banda Variable
- Modulación y Codificación adaptativa
- Retransmisiones en la capa de enlace de datos
- Soporte de aplicaciones Duplexación por División de Tiempo (TDD) y Duplexación por División Frecuencia (FDD).
- Acceso múltiple por división ortogonal de frecuencias
- Asignación de recursos por usuario, Flexible y Dinámico.
- Soporte para sistemas avanzados de antenas.
- Soporte de Calidad de Servicio (QoS)
- Seguridad
- Soporte para la movilidad.

- Arquitectura basada en IP.

En la configuración inalámbrica de algunos dispositivos, el apartado de Data Rate, Velocidad de transmisión o Tasa de Transferencia aparecen varias opciones adicionales como MCS0, MCS1, etc. Las siglas MCS significan Modulation and Coding Scheme que podría traducirse como “Sistema de Modulación y Codificación”.

Para el estándar 802.11n define un total de 77 MCS, siendo cada una la combinación de una modulación determinada (por ejemplo: BPSK, QPSK, 64-QAM).

Table: Modulation and Coding Schemes

State	MCS	slot rate (kbit/s)	$\gamma_n$ (dB)
0	Bad Channel	0	–
1	QPSK 1/2 (2x rep.)	4.8	-0.06
2	QPSK 1/2	9.6	3.22
3	QPSK 3/4	14.4	5.64
4	16QAM 1/2	19.2	8.42
5	16QAM 3/4	28.8	11.91
6	64QAM 1/2	28.8	12.37
7	64QAM 2/3	38.4	15.25
8	64QAM 3/4	43.2	17.11

**Tabla 5: Modulation and Coding Schemes in WiMAX.**

**Fuente:** Estudio realizado por Giacomo Verticale and Luigi Musumeci Politécnico di Milano-Italy.

Para el estándar 802.16 y para nuestro caso, se define para Uplink un MCS de QPSK con una tasa de codificación o Coding Rate de 3/4,

una tasa de bits de 14.4 (Kbit/s) y para Downlink un MCS de 64-QAM con una tasa de codificación de 3/4, una tasa de bits de 43.2 (Kbit/s) de acuerdo a la Tabla 5, y una potencia aproximada de 17.11 dB. [18]

### 2.2.2. Topologías de una Red WiMAX

La capa de Control de Acceso al Medio (MAC) proporciona una interface entre las capas más altas de transporte y la capa física, permitiendo tener las siguientes topologías:

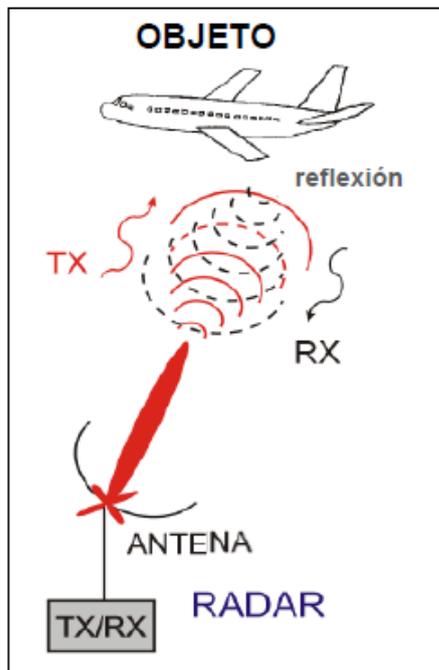
- Topología Punto a Punto.-Es un enlace dedicado que va desde una estación a otra.
- Topología Punto Multipunto.- Es un enlace que va desde una estación base a varias estaciones remotas.
- Topología Malla.- Se le conoce también como Red Mesh, donde cada terminal de usuario es capaz de establecer varios enlaces con usuarios adyacentes. [10]

### 2.3. Sistema RADAR

La implementación y operación de Sistemas Radáricos, es una actividad en la que algunas leyes de la física son de mucha importancia y que involucra varias disciplinas tecnológicas y de ingeniería como: mecánica, eléctrica, electrónica, redes, telecomunicaciones y procesamiento de señales, donde se utiliza las ondas electromagnéticas para identificar la distancia, altitud, dirección y velocidad de movimiento de objetos que se encuentren en el espacio aéreo.

El funcionamiento básico de un radar primario se lo describe en la Figura 2.2, y consiste en la emisión de una onda (Tx) al espacio (pulso continuo, señal modulada, impulso de corta duración), esta onda al alcanzar cualquier objeto o blanco, es reflejada o dispersada, creando un eco de la señal misma que

recorren el camino de vuelta y se detectan de nuevo por el radar (Rx), tras un procesado de señales, se obtiene información de las características del objeto [12].



**Figura 2. 2: Funcionamiento básico de un radar.**

**Fuente:** Fundamentos de un sistema radar INDRA

### 2.3.1. Generalidades de un Sistema Radar

En la actualidad los radares tres dimensiones (3D) son los más utilizados, ya que permiten medir varios parámetros de una aeronave en vuelo como: altura, distancia, dirección, velocidad y estos parámetros permiten localizar un objeto respecto a su posición geográfica.

Esta energía normalmente viaja a través del espacio en línea recta, aproximadamente a la velocidad de la luz, 300 000 Km/s o 162 000

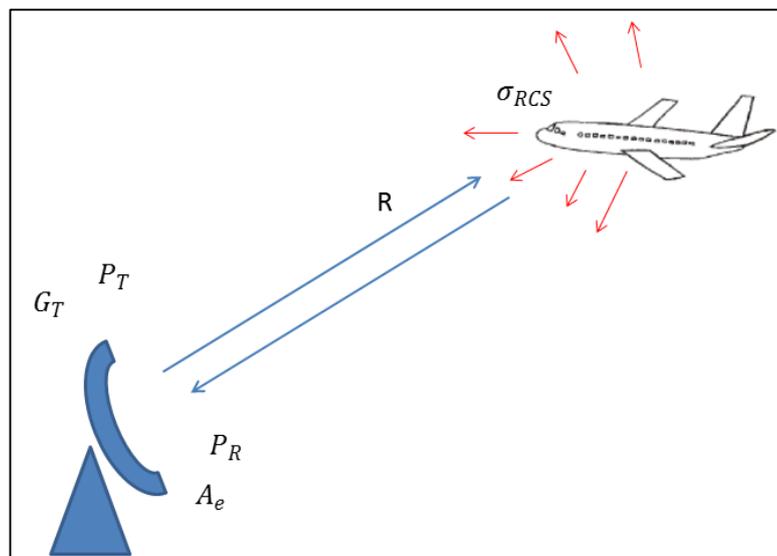
NM/s y con variaciones mínimas ocasionadas por fenómenos atmosféricos y condiciones meteorológicas, para el cálculo de la distancia utilizamos la siguiente ecuación:

$$R = c \cdot \frac{t}{2}$$

$c = \text{velocidad de la luz}$

$t = \text{tiempo}$

Las ondas electromagnéticas se reflejan sobre superficies conductoras; por lo tanto, si las ondas reflejadas retornan al punto de emisión de las ondas, se puede deducir que se encuentra un obstáculo en la trayectoria de propagación como se puede visualizar en la Figura 2.3, para cálculos se utiliza la Ecuación Básica Radar que permite determinar la potencia de pico recibida [14]:



**Figura 2. 3: Descripción del uso de la Ecuación Básica Radar.**

**Fuente:** Fundamentos de un sistema radar INDRA

$$P_R = \frac{P_T G_T}{(4\pi)R^2} \frac{\sigma_{RCS}}{(4\pi)R^2} A_e$$

$P_T =$  Potencia de pico transmitida

$G_T =$  Ganancia de la antena

$\sigma_{RCS} =$  Sección recta radar del blanco

$A_e =$  Área efectiva de la antena

### 2.3.2. Clasificación de Radares

Se pueden realizar múltiples clasificaciones como se puede resumir en la Figura 2.4, en el ámbito aeronáutico se consideran los radares por el tipo de blanco, siendo los radares primarios y secundarios, los que operan normalmente en las bandas de frecuencia S o L.



**Figura 2. 4: Clasificación de los Radares.**

**Radar Primario.-** Se utiliza para la vigilancia y control en ámbitos de seguridad y tránsito aéreo, utilizado mayormente en la parte militar, teniendo una detección de blancos sin necesidad de colaboración con el objetivo. [12]



**Figura 2. 5: Radar Primario.**

**Radar Secundario.-** Se utiliza para el control del tránsito aéreo, se lo conoce como también radar de interrogación (SSR), estableciéndose un canal entre el sistema y el transponder del blanco por el cual se envía información como: identificación, distancia, azimut, altura, emergencias, etc. Ver Anexo 1. [12]



**Figura 2. 6: Radar Secundario.**

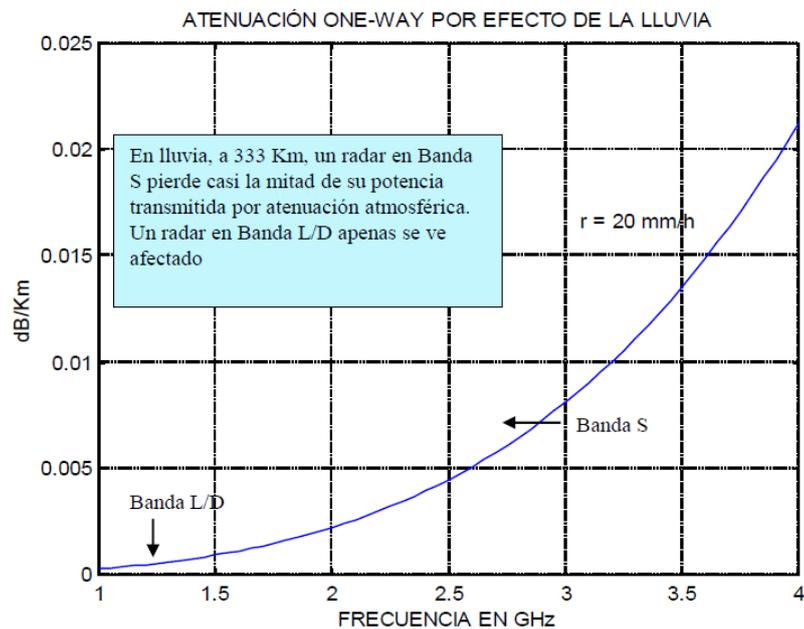
### 2.3.3. Operación en Banda L y S

**Banda L (1,0 a 2,0 GHz).**- Esta es la banda de frecuencias preferida para los radares de vigilancia aérea con base en tierra de largo alcance, como los radares de 200 NM. Es posible lograr un buen rendimiento en la Identificación de un Objetivo en Movimiento (MTI) a estas frecuencias y obtener alta potencia con antenas de estrecha anchura de haz. El ruido externo es bajo. Radares 3D militares se pueden encontrar en banda L, pero también se encuentran en la banda S. Banda L también es adecuado para grandes radares que deben detectar objetivos a larga distancia. [13]

**Banda S (2,0 a 4,0 GHz).**- Radares de vigilancia aérea pueden ser de largo alcance en la banda S, pero por lo general es más difícil de lograr que en las frecuencias más bajas. Para largas distancias se producen áreas ciegas y es más numerosos cuando la frecuencia aumenta, lo que hace menos capaz de MTI, también es una buena frecuencia para aplicaciones de vigilancia del espacio aéreo de mediano alcance, como el radar de vigilancia de aeropuerto (ASR) que se encuentra en las terminales aéreas.

Las anchuras de haz estrecho en esta frecuencia, pueden proporcionar una buena precisión y resolución angular y hacer más fácil la reducción de los efectos de interferencia hostil en radares de uso militares. Los radares 3D militares y radares de largo alcance también se encuentran en esta frecuencia debido a las anchuras de haz de elevación ya que pueden ser más estrechas en las frecuencias más bajas de esta banda. También se utiliza en vigilancia aérea los radares doppler, como en los equipos AWACS (Airborne Warning and Control System [13].

Para este proyecto analizaremos las características y propiedades de los radares de bandas S y L. Desde el punto de vista meteorológico, en la banda L se presenta un mejor comportamiento ante la atenuación atmosférica por efectos de la lluvia. El eco de la lluvia puede reducir significativamente el rango de cobertura de los radares, sin embargo, es la banda de frecuencia de los radares en donde se marca la diferencia, es por eso que se deben hacer estimaciones precisas de la intensidad de lluvia en el lugar de emplazamiento de un sistema de vigilancia, antes de determinar el requerimiento en la banda de operación del mismo. La empresa INDRA, fabricante de radares en las dos bandas de frecuencia, realizó un estudio donde determinó que un radar en la banda L se ve menos afectada por atenuaciones atmosféricas como se puede ver en la Figura 2.7. [8]



**Figura 2. 7: Atenuación atmosférica por efecto de la lluvia.**

**Fuente:** INDRA- Atenuación por efecto de lluvia en las bandas L y S.

Desde el punto de vista de interferencias con los sistemas de comunicaciones principalmente en telefonía móvil, los radares en banda S presentarán cada vez con los futuros sistemas, mayores problemas que los de banda L.

La ITU asigna las frecuencias a utilizar en las diferentes regiones para los diferentes servicios siendo la región 2 para América y parte del área del Pacífico. El plan de frecuencias que utilizan los radares en Banda L (1000 a 2000 MHz), no contemplan ninguna afectación en la parte de banda asignada a radiolocalización/radares que va por lo general en las frecuencias bajas de esta banda.

Las frecuencias de los sistemas GSM de telefonía móvil, que están en banda L son 1800 y 1900 MHz, están muy lejos de la banda asignada a radiolocalización.

La experiencia de la empresa INDRA quien realizó un estudio respecto a este tema en España, es que no se ha tenido ningún problema de interferencias de los radares que fabrica, entre ellos los de la familia LANZA que adquirió el Ecuador, con sistemas de comunicaciones ni de GPS. [7]

Sin embargo el solape en banda S con sistemas de comunicaciones es grave. En España, se ha recortado la banda S asignada a radares (que iba inicialmente de 2.7 a 3.8 GHz) para compartir su uso con sistemas de comunicaciones, ya que se ha asignado la sub-banda por encima de 3.4 GHz a los sistemas WiMax/Wireless en implantación progresiva, y hay sistemas de radioenlaces en bandas próximas (2.69 GHz y 3.6 GHz) lo que impone severos requisitos de espúreos a los radares en banda S para que no interfieran en las comunicaciones.

La experiencia de la Fuerza Aérea Española, que tiene radares en banda S, es que han tenido problemas con sistemas de radioenlaces en dicha banda que se encontraban en las proximidades de los radares. [7]

Si estos problemas de interferencia ocurrierán en el Ecuador tendrían prioridad el uso de los radares, ya que están considerados para uso de seguridad nacional.

#### **2.3.4. Interfaces Radáricas**

Hasta los años 80/90 del siglo pasado la mayoría de las interfaces de los radares con “el mundo exterior” eran propietarias de cada empresa dedicada a esta área, es decir cada fabricante definía sus interfaces y era propietaria de los protocolos utilizados. Recientemente se tiende a utilizar la recomendación de EUROCONTROL y se utilizan las categorías ASTERIX. Es un intento de homogeneización de mensajes que funciona muy bien para datos de blancos (de radar primario y radar secundario) pero sigue permitiendo mensajes específicos que dependen de cada tipo de radar y en especial para los mensajes de control, que en cada radar pueden ser muy diferentes. Aunque ésta es la tendencia todavía hay fabricantes que mantienen protocolos propietarios

**EUROCONTROL.-** Es el nombre abreviado de la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea. Esta organización se fundó en Bruselas (Bélgica) en diciembre de 1960, siendo sus promotores seis países: Alemania, Bélgica, Francia, Luxemburgo, Países Bajos y Reino Unido.

Actualmente es una organización civil y militar integrada por 41 Estados miembros que tiene como objetivo el desarrollo de un sistema seguro, eficaz y coordinado del tráfico aéreo europeo. Con su lema un “Cielo Único Europeo”, ayuda a superar la seguridad, capacidad y retos de rendimiento que enfrenta la aviación europea en el siglo XXI, con aproximadamente diez millones de vuelos al año, en estrecha colaboración con los proveedores de servicios de navegación aérea, usuarios del espacio aéreo civiles y militares.

Entre sus funciones tiene la Coordinación de Arquitectura y Gestión de la Información para entidades civiles y militares, facilitando la coordinación y la cooperación entre ellos, en la gestión del tráfico aéreo europeo. También ayuda a los Estados y las partes interesadas en la aplicación del “Cielo Único Europeo”. Otra función importante son las comunicaciones, navegación y vigilancia, creando la infraestructura de gestión del tráfico aéreo del futuro, recomienda las interfaces para enlaces entre sistemas para asegurar un intercambio fluido de información entre los usuarios del espacio aéreo y para proporcionar un armonizado e integrado marco común para el sistema de navegación aérea. [4]

**ASTERIX.-** Con sus siglas en inglés: All purpose STructured Eurocontrol suRveillance Information eXchange. Se trata de un formato de vigilancia de Arquitectura y Gestión de la Información (ATM) que son datos binarios de mensajería que permite la transmisión de información armonizada entre cualquier sistema de vigilancia y automatización. [4]

Además define la estructura de los datos que se intercambia a través de un medio de comunicación, a partir de la codificación de cada bit

de información, hasta la organización de los datos dentro de un bloque de datos, sin ninguna pérdida de información durante todo el proceso.

ASTERIX es una norma de EUROCONTROL, que se refiere a las capas de presentación y aplicación (capas 6 y 7) definidos por la Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) y el modelo de referencia de la Organización Internacional de Normalización (ISO) Standard 7498. [4]

La transmisión de ASTERIX codifica la información de vigilancia de los radares y puede hacer uso de cualquier medio de comunicación disponible, por ejemplo: red de área amplia (WAN), red de área local (LAN), sistema WiMAX, Protocolos de Internet (IP), redes microondas, redes satelitales, etc. como los pertenecientes a las capas inferiores.

También especifica los requisitos mínimos a nivel de aplicación, con el fin de facilitar el intercambio de datos entre aplicaciones heterogéneas.

La comunicación entre dos sistemas diferentes (incluso ubicados en diferentes sitios) se hace posible, basado en un núcleo de datos de vigilancia relacionados entre sí, transfiriéndose de la misma manera por la capa de presentación Asterix. [4]

## **CAPITULO 3**

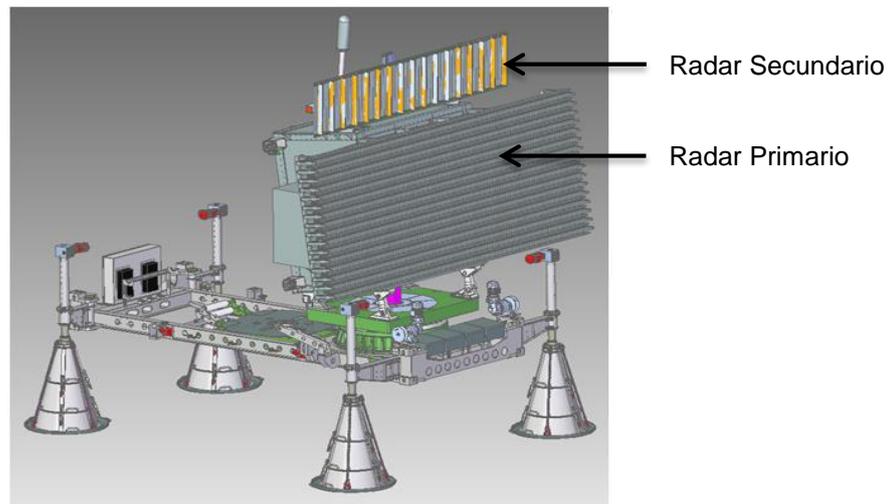
### **3. ESTADO DEL ARTE**

#### **3.1. Estudio de sistemas similares a nivel internacional**

A nivel internacional, los sistemas de integración tienden a la utilización de equipos digitales y en los sistemas radares a equipos de estado sólido. Gran parte de los fabricantes está adoptando las recomendaciones de EUROCONTROL para la utilización de interfaces y protocolos en las categorías ASTERIX, con la finalidad de que las plataformas de control permitan una integración de todos los sistemas a fin de tener una interconexión remota.

En los radares primarios pulsados de largo alcance, internacionalmente entre las empresas fabricantes como INDRA SYSTEMS S.A de España, consideran modos de operación para corto, mediano y largo alcance, logrando un promedio de 210 NM. Los sistemas son diseñados con tecnología de estado sólido y operan en bandas de frecuencias L o S, incorporando las últimas

tecnologías para contrarrestar interferencias naturales o artificiales y para conseguir una alta capacidad de detección de aeronaves.



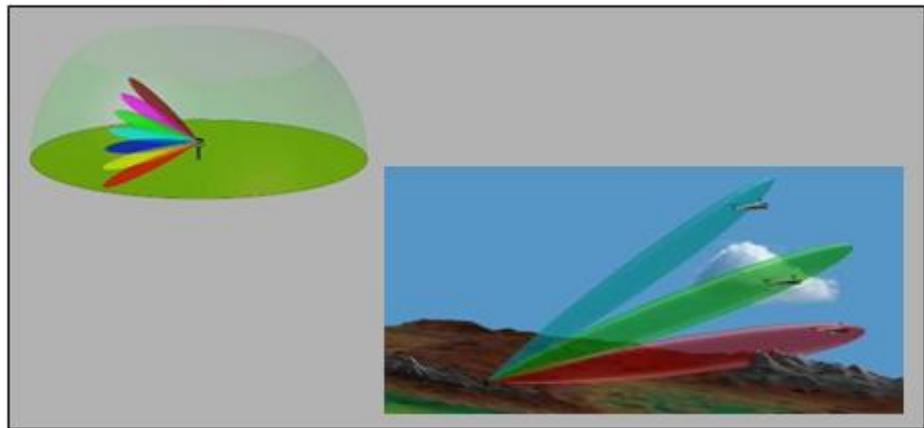
**Figura 3. 1: Radar 3D con primario y secundario.**

**Fuente:** Esquema de un radar LANZA-INDRA

Al tratarse de radares 3D proporcionan la altura de vuelo de las aeronaves dentro de su zona de cobertura, además del azimut, la velocidad y la distancia de dichos blancos respecto a la posición del radar. Este tipo de sistemas tienen como función principal el proporcionar vigilancia y control del espacio aéreo mediante la detección y seguimiento de aeronaves.

Los radares 3D, actualmente están diseñados para proporcionar una operación conjunta e integrada entre un radar primario y un radar secundario como se ve en la Figura 3.1, la combinación de ambos radares permite obtener simultáneamente prestaciones de vigilancia e identificación de aeronaves.

Los radares actualmente son capaces de adaptarse al entorno, siendo utilizado mayormente los radares de tipo pincel (pencil beam) como se puede observar en la Figura 3.2, este tipo de radar puede configurar la elevación nominal del modo de exploración, elevando o descendiendo todos los pinceles en los 360°.



**Figura 3. 2: Radiación tipo pincel (pencil beam).**

**Fuente:** INDRA

La arquitectura de los radares son basados en mayor parte por software, permitiendo una gran versatilidad en sus funciones y presentaciones. Con los mismos equipos hardware se puede operar de formas distintas, seleccionando diferentes modos de operación y de exploración, cada modo de exploración cuenta con un procesado distinto que permite adecuar y optimizar la detección en diferentes sectores haciendo frente a escenarios con diferentes niveles de clutter y de perturbadores.

### **3.2. Sistemas integrados de las señales radar a nivel nacional.**

Para que exista una integración a nivel nacional, las interfaces y protocolos de datos en las que deben operar los radares y sistemas es ASTERIX, lo que

permite la transferencia de datos radar, tanto a centros de control civiles como a los centros de mando y control militares. Su monitorización, control y operación, pueden ser llevados a cabo desde las consolas locales en la cabina de control de los lugares donde están emplazados los radares, o desde las consolas remotas, normalmente instaladas en los Centros de Mando y Control.

Para el diseño de sistemas de integración y sistemas radar se utilizan equipos de enrutamiento digitales y equipos de estado sólido, reduciendo el nivel de potencia de pico, la alimentación es de bajo voltaje y por otro lado, evita radiaciones ionizantes en el caso de las antenas radar.

El diseño de los componentes y su distribución en todos los sistemas, se realizan de forma que permita una degradación suave (arquitectura soft-fail) en caso de fallo de algunos elementos, siendo la tendencia la utilización en gran parte de elementos COTS tanto en sistemas integrados de la DGAC y de la FAE.

### **3.2.1. Sistema Integrado de la DGAC.**

El trabajo más importante de la Dirección de Navegación Aérea de la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), es sin duda el control del tránsito aéreo, vigilado desde el Sistema Integrado Radar, que está ubicado en las ciudades de Quito y Guayaquil. Con este sistema, se vigilan vuelos comerciales y civiles, en más del 95% del territorio ecuatoriano [15].

Por su lado, el Sistema Integrado Radar permite concentrar la señal de todos los sensores instalados a nivel nacional, brindando una visualización ágil y segura de los datos que se generan para la óptima gestión del tránsito aéreo civil ecuatoriano.

En la actualidad, el país cuenta con radares en las ciudades de Guayaquil, Manta, Cuenca, Shell, Latacunga, Catamayo, Quito y San Cristóbal y un sistema integrado donde confluyen todas las señales de los radares al ACC de Guayaquil como se puede observar en la Figura 3.3, con un diseño que permite controlar sectorizadamente las aeronaves que se encuentren en vuelo [15].



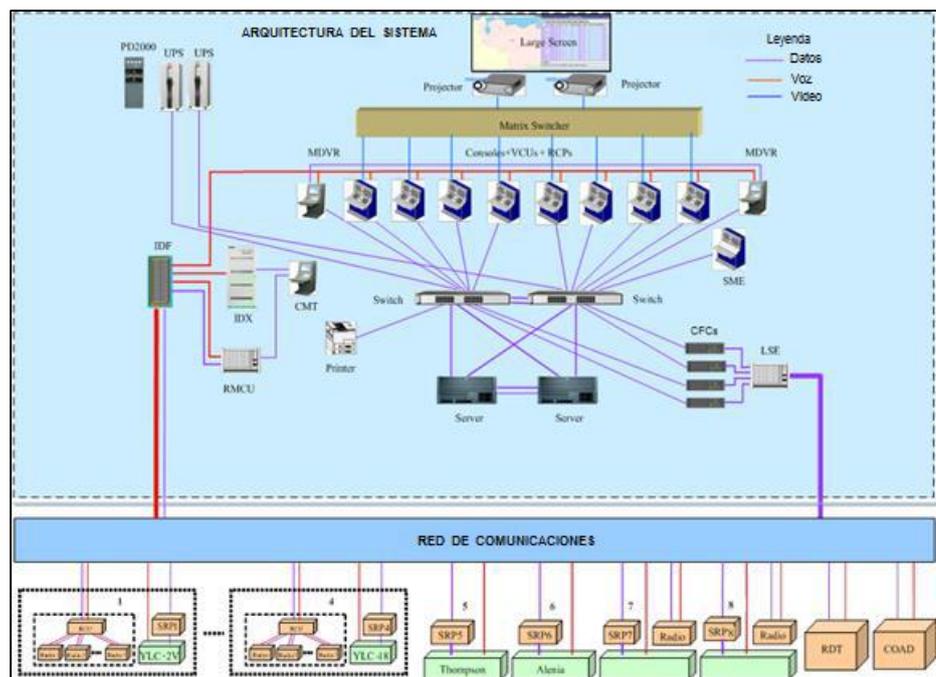
**Figura 3. 3: Diseño tipo de un Centro de Control de Área.**

Fuente: Indra

Estos sistemas cumplen la función de informar a los controladores de tránsito aéreo sobre la actividad que se genera y así poder proporcionar guías de trayectoria a las aeronaves y separarlas de otras.

Estas implementaciones en los servicios de navegación aérea forman parte del Plan de Modernización del Sistema Aeroportuario a nivel nacional, la arquitectura del sistema se la puede observar en la Figura 3.4, que incluye además mejoras y optimización de la infraestructura

aeroportuaria actual, beneficiando directamente a más de 4 millones de usuarios del transporte aéreo a nivel nacional de acuerdo a estadísticas presentadas por la DGAC. [15]



**Figura 3. 4: Arquitectura tipo de un Centro de Control de Área.**

Fuente: CETC.

El Sistema Integrado de Control Operacional (SICO), es una aplicación que se alimenta de una base de datos estáticos y dinámicos los cuales posibilitan la visualización de las novedades de los servicios y sistemas para la navegación aérea y aeroportuarios de la DGAC, para procesar y mostrar el estado del servicio de manera gráfica para una toma de decisiones en forma oportuna. [15]

Este sistema está dirigido para los funcionarios que cumplen roles gerenciales y de administración, permite hacer el seguimiento y consulta para que las autoridades de la DGAC tengan elementos de juicio válidos para toma de decisiones respecto a la situación

operativa de los servicios y sistemas para la navegación aérea y aeroportuarias ecuatorianas. [15].

### **3.2.2. Sistema Integrado de la FAE.**

Para noviembre del 2016, la Fuerza Aérea Ecuatoriana tendrá un Sistema Integrado, que contará con la información de los radares militares y los planes de vuelo de la DGAC, esta información se correlacionarán utilizando interfaces AMHS para la Identificación de Trazas de manera automática, subsanando el requerimiento de contar con la información de los radares de la DGAC de manera individual y paralela, más se mantiene la necesidad de proporcionar esta información al resto de repartos de la FAE.

De manera general, se explicará en que consiste el Sistema Integrado de Defensa Aérea, que en países basados en estándares OTAN lo conocen como AIRDEF, ésta es una plataforma totalmente integrada, que lleva a cabo la vigilancia y control del tráfico aéreo completo del país, y ejecuta las misiones militares de Defensa Aérea y Antiaérea.

El Sistema AIRDEF dispone de un completo sistema de autenticación y validación de usuarios, para garantizar la seguridad de la información y prevenir accesos no autorizados.

Las capacidades que debe tener un sistema Integrado de Vigilancia y Control son:

#### **a) Carácter General**

Se puede resumir las características en Capacidades Operativas, Capacidades de Apoyo e Interfaces, cada una se las detalla y se sintetiza como se puede observar en la Figura 3.5. [19]

**b) Vigilancia**

El sistema AIRDEF permite el enlace de datos y voz con radares militares y el enlace de datos con radares civiles. El enlace de datos con el radar militar permite, normalmente, la recepción de información de trazas aéreas y perturbaciones.

El enlace entre el AIRDEF y los sistemas de armas antiaéreas se hace vía voz. [19]

**c) Comunicaciones**

Las capacidades de comunicaciones del sistema AIRDEF para comunicarse con los elementos externos hacen uso de los medios:

- Comunicaciones tierra/tierra
- Comunicaciones tierra/aire

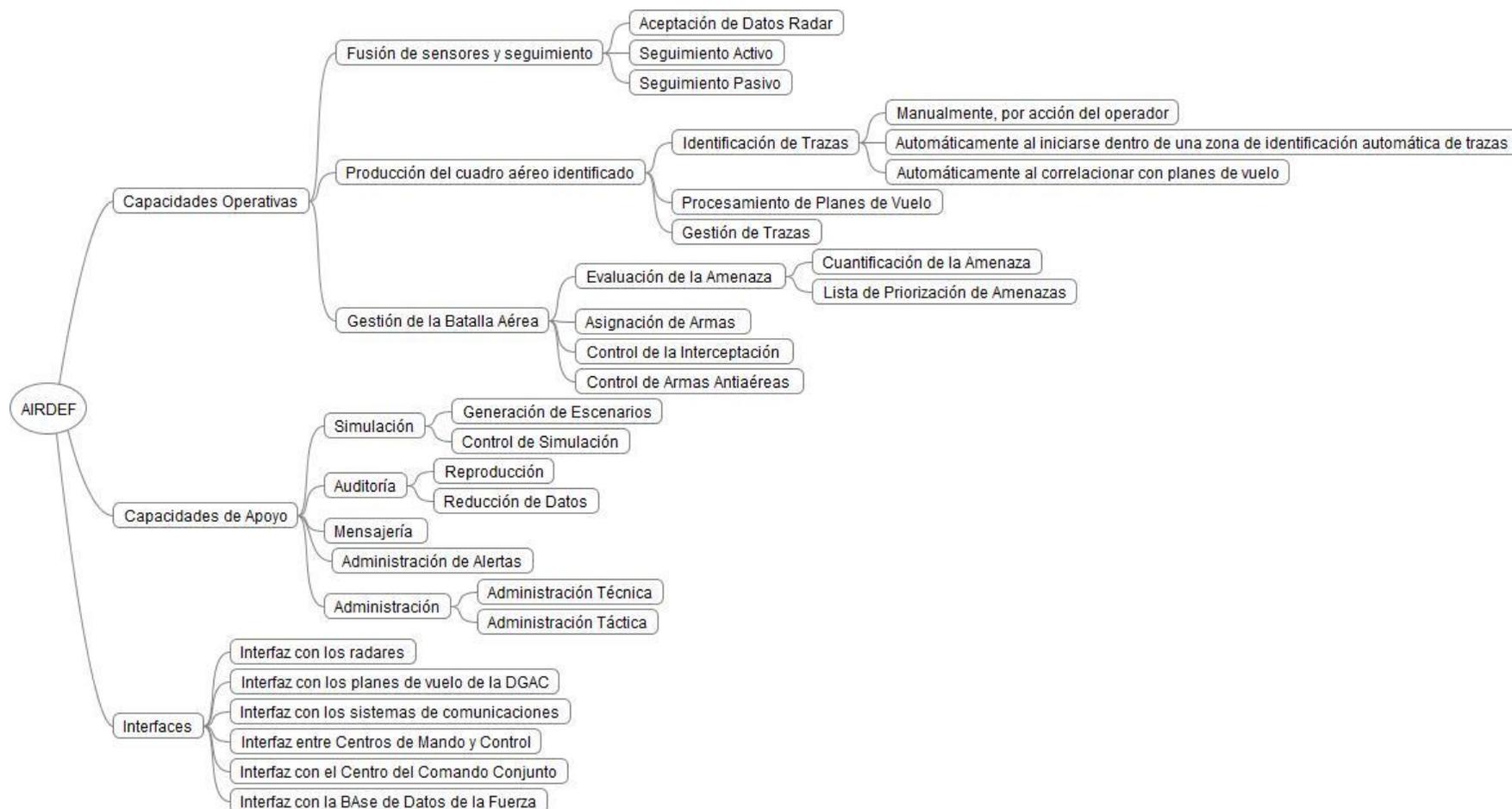


Figura 3. 5: AIRDEF Esquema de un Sistema de Vigilancia y Control del Espacio Aéreo.

## **CAPACIDAD OPERATIVA**

- **Función de Sensores y Seguimiento**

La función de Sensores y Seguimiento es responsable de la asociación, correlación, y la combinación de informes de blancos y de la información de los sensores simples y múltiples para identificar trazas y calcular su posición, intención e identidad. El proceso se caracteriza por el continuo análisis y refinamiento de los informes de Blancos radar para construir la imagen LASP (*Local Air and Surface Picture*) con especial atención en la detección de amenazas. Esta función se compone de las subfunciones:

- **Aceptación de Datos Radar**

La función recibe y procesa todos los mensajes que llegan de los sensores Radar. Controla que los mensajes estén bien formados aplicando las correcciones necesarias, clasificando la información (plots, trazas) y distribuyendo esa información al resto de funciones del Sistema.

Esta función procesa y correlaciona, de forma automática, la información de todos los radares tanto primarios como secundarios ya sean militares o civiles.

- **Seguimiento Activo**

La función recibe datos del radar primario y secundario como entrada, para actualizar con ellos trazas existentes o iniciar nuevas trazas. El proceso de correlación hará corresponder los datos radar que lleguen con trazas existentes en el sistema y los enviará a las consolas para su presentación. Al finalizar cada intervalo de correlación, todas las trazas a las que les haya hecho corresponder datos primarios o secundarios se

suavizarán y se predecirá su posición para el próximo intervalo de correlación.

- **Seguimiento Pasivo**

La función permite el seguimiento de las aeronaves que utilizan contramedidas electromagnéticas con intensidad suficiente para oscurecer los datos de radar necesarios para el seguimiento activo. Esta función estimará la posición de los blancos usando contramedidas electromagnéticas. [19]

- **Producción del Cuadro Aéreo Identificado**

La función de producción del cuadro aéreo identificado o Producción de la RAP (Recognized Air Picture) tiene como objetivo presentar la situación aérea integrada correspondiente a las aeronaves en tiempo real. El cuadro Aéreo Identificado se presenta en formato gráfico y tabular. Esta función se compone de las subfunciones:

- **Identificación de trazas**

Todas las trazas que componen la RAP tienen asignada una identidad. Esta función apoyará al operador en la identificación de aeronaves en su sector de responsabilidad de tres formas:

- Manualmente, por acción del operador.
- Automáticamente al iniciarse dentro de una zona de identificación automática de trazas.
- Automáticamente al correlacionar con planes de vuelo.

- **Procesamiento de planes de vuelo**

La función permite el tratamiento automático de los planes de vuelo de la DGAC dentro del área de responsabilidad.

Los planes de vuelo serán extrapolados en el sistema siguiendo su ruta programada al tiempo actual. El Sistema intentará correlacionar automáticamente cada plan de vuelo con una traza del Sistema en función de la distancia entre ambos y los parámetros del plan de vuelo y la traza. La correlación también se podrá hacer manualmente con intervención del Operador.

- **Gestión de trazas**

La función, fusiona la información de trazas proveniente de sistemas externos con las trazas producidas desde la función de seguimiento del propio sistema, generando una situación Aérea (RAP) única, teniendo en cuenta la siguiente información para realizar la fusión de trazas: posición, altitud, vector velocidad (velocidad y rumbo), calidad de la traza, códigos IFF. [19]

- **Gestión de la Batalla Aérea**

La función, apoya a controlar y supervisar el cuadro aéreo identificado y el estado de las misiones aéreas de combate y control de armas antiaéreas, así como comandar a los controladores de interceptación y controladores de armas antiaéreas. Esta función se compone de las subfunciones:

- **Evaluación de la Amenaza**

Analiza de forma automática y periódica qué trazas representan una amenaza para unos Puntos Críticos predefinidos considerados clave para la defensa. La función basa su análisis en el potencial influencia/impacto que puede tener la amenaza para esos Puntos Críticos, teniendo como propósito producir una Lista Priorizada de Amenazas (LPA)

dándole a cada amenaza un nivel de amenaza apropiado, conocido como Cuantificación de la Amenaza.

- **Asignación de Armas**

El propósito es la generación de asignaciones o recomendaciones de Armas, Artillería Anti Aérea (AAA), aviones Interceptores, etc., sobre las amenazas existentes cuando el modo de asignación de armas es Automático o Semiautomático, ayudando a los Operadores en la tarea de asignar/desasignar la mejor arma para neutralizar una amenaza.

- **Control de la interceptación**

La función tiene como objetivo compilar y mantener actualizada toda la información asociada a las Asignación de Misiones y también ayudar a los operadores en el control de las mismas.

- **Control de armas antiaéreas**

Ayuda al controlador de artillería antiaérea del sistema a decidir que arma antiaérea es la más adecuada para un tipo de amenaza asignada, teniendo en cuenta la zona a defender, las características y rendimiento de las armas antiaéreas y las características de las trazas hostiles. [19]

## **CAPACIDADES DE APOYO**

Las capacidades de apoyo engloban a todas aquellas funciones útiles para la puesta en marcha, controlar, mantener o apoyar operacionalmente al núcleo de las funcionalidades de Mando y Control. Las capacidades de apoyo se agrupan en las siguientes categorías:

- **Simulación**

Esta función proporciona un conjunto de capacidades y herramientas para la Generación de escenarios y control de simulación, emulando el comportamiento de los sistemas externos y enlaces de datos con los que el sistema intercambia información, ante un escenario simulado y se compone de las subfunciones:

- **Generación de escenarios**

Proporciona a los operadores la capacidad de definir los distintos elementos cuya detección se simulará (rutas simuladas) y también la forma en que la detección simulada se llevará a cabo mediante la modificación de determinados parámetros de contexto de detección de radar.

- **Control de Simulación**

Permite iniciar, supervisar y controlar una simulación generada automáticamente a partir de un escenario modelado con la función de Generación de Escenarios. Se podrán combinar en una misma simulación la situación táctica de los datos simulados con datos de la situación real. [19]

- **Auditoría**

La capacidad de auditoría tiene como objetivo dar apoyo en la explotación de las grabaciones operativas realizadas durante la operación del sistema con el fin de permitir un análisis posterior de los escenarios o con el fin de evaluar las acciones del operador en situaciones en las que es necesaria la identificación de responsabilidades. Se compone de las subfunciones:

- **Reproducción (playback)**

La función de reproducción reproduce situaciones pasadas a partir de grabaciones operativas obtenidas durante la operación del sistema como si fueran grabaciones de vídeo.

- **Reducción de Datos**

La función de reducción de datos soporta la generación de diferentes tipos de informes operativos como resultado de procesar las grabaciones de datos generados durante el funcionamiento del sistema. [19]

- **Mensajería**

La capacidad de mensajería permite la comunicación de mensajes de texto entre consolas de operador y con sistemas externos. Todos los mensajes enviados y recibidos serán almacenados automáticamente para su posterior consulta e impresión. [19]

- **Administración de Alertas**

Esta función gestiona las alertas del Sistema para advertir a los controladores de la detección de situaciones potenciales de peligro.

- **Administración**

La capacidad de administración que apoya en la puesta en marcha, mantenimiento y monitoreo del sistema, abarcando las siguientes funciones:

- **Administración Técnica**

Tiene la capacidad de monitorización y control permitiendo a los administradores del sistema controlar y evaluar el estado de funcionamiento del hardware y software del sistema en tiempo real, detectando y localizando potenciales fallos.

El sistema permite visualizar los eventos, informando de los errores producidos, así como la fecha en la que sucedió, con capacidad de envío a dispositivos móviles.

- **Administración Táctica**

Esta función facilita al usuario los medios disponibles para el combate. Debe estar disponible en todas las posiciones de operador y podrá ser empleada en los cálculos de asignación de armas, interceptación y control de armas antiaéreas.

Permitiendo el tratamiento (inserción, configuración, modificación, consulta y borrado) de las características y parámetros claves relativos a la Información de combate bajo configuración de usuario. [19]

## **INTERFACES**

- **Interfaz con los Radares**

La Interfaz con Radares se encarga de la integración y del procesamiento en los CMC de la información proveniente de radares 3D y de radares de la DGAC mediante el protocolo ASTERIX categorías 34 y 48 así como de los radares a futuros.

- **Interfaz con los planes de vuelo de la DGAC**

La Interfaz con Planes de Vuelo de la DGAC proporcionará los protocolos necesarios para recibir los planes de vuelo de la DGAC tanto desde la red AMHS. A través de esta interfaz se podrán enviar los planes de vuelo a otros centros de Mando y Control y sistemas externos vía TCP/IP en formato AFTN. [19]

- **Interfaz con el sistema de comunicaciones**

Las comunicaciones de voz se podrán integradas a través del Sistema de Control de Comunicaciones de Voz y el Sistema de Grabación de Voz. La integración del sistema AIRDEF con el Grabador, permite reproducir de forma sincronizada la información grabada de las conversaciones de los operadores y la consola de operador en un determinado momento o intervalo de tiempo. [19]

- **Interfaz entre Centros de Mando y Control**

La Interfaz entre Centros de Mando Y Control permitirá el intercambio de trazas entre CMC y centros externos mediante protocolos XTell basados en estándares OTAN. [19]

- **Interfaz con el Centro del Comando Conjunto**

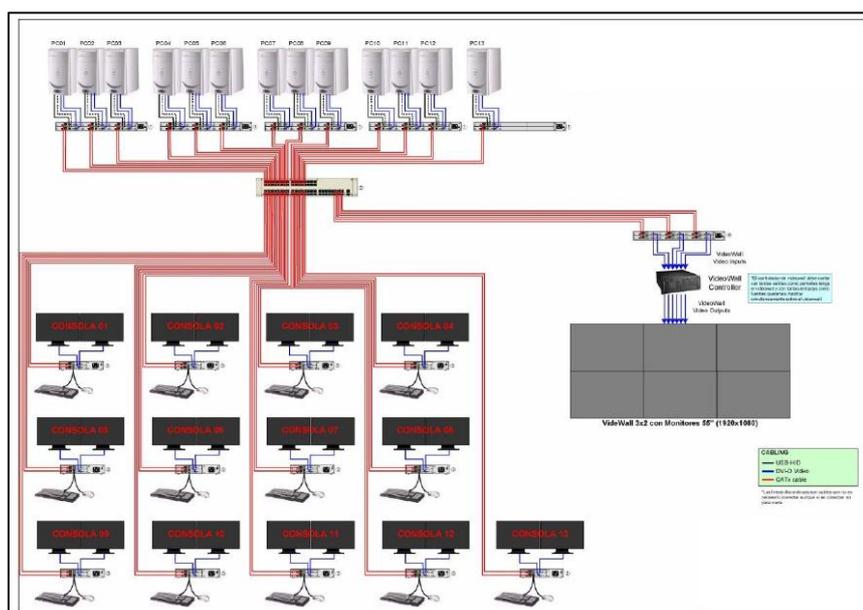
La Interfaz con el Centro del Comando Conjunto permite que los CMC envíen vía XTell, su cuadro aéreo identificado hacia los equipos instalados replicando la señal de los radares.

El terminal de operación de alta disponibilidad, instalado es la principal interface humano-máquina, permite realizar el control de la información y presenta el cuadro aéreo identificado sobre una pantalla gráfica y tabular en la salas de guerra.

- **Interfaz con la Base de Datos de la Fuerza**

La Interfaz con la Bases de datos de una Fuerza, se la realiza mediante servicios web sobre protocolo IP, permitiendo intercambiar información de la base de datos del Sistema AIRDEF, con otras bases de datos de los sistemas propios de cada Fuerza. [19]

Toda esta información detallada en los párrafos anteriores se congregan en las salas de control, donde se encuentra instalado un sistema de proyección que permite monitorizar sobre un Video Wall diferentes imágenes de distintas pantallas de la sala, para esto usualmente se utiliza un Matriz de conmutación de múltiples usuarios de video, un esquema tipo se lo puede visualizar en la Figura 3.6.



**Figura 3. 6: Arquitectura tipo de un Sistema de CMC.**

Fuente: INDRA

## **CAPITULO 4**

### **4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

#### **4.1. Descripción técnica**

##### **4.1.1. Estandarización de la estructura de datos para la transmisión de la información de vigilancia Asterix Cat. 48.**

El presente capítulo mostrará la importancia que tiene el Protocolo Asterix, debido a que facilita la integración de sistemas y el intercambio de datos radar entre diferentes regiones, lo que fortalece la seguridad del control de tráfico aéreo.

Se definirá: sus objetivos, organización de los datos Asterix, la estructura del mensaje, identificación de la fuente de datos, descripción de la categoría 34 que es la nueva versión de la Cat 002 y la categoría 48 que es la nueva categoría de las Cat 001 y Cat 016, la aplicación de Asterix a los radares de la DGAC; como es: el envío de datos radar; transmisión de información utilizando WireShark y captura de datos Asterix con el visualizador VisualAST.

Entre algunos objetivos del Protocolo podemos mencionar:

- Permitir implementar el fácil intercambio de datos de vigilancia dentro y entre países, lo que siempre ha sido el principal objetivo de las instituciones de Control de Tráfico Aéreo (ATC).
- Facilitar la integración de sistemas y el intercambio de datos Radar entre diferentes regiones ya que ASTERIX es uno de los códigos abiertos más utilizados a nivel mundial, fortaleciendo la seguridad del control de tráfico aéreo.
- Permitir una significativa transferencia de información entre dos entidades de aplicación, usando una representación estándar de los datos que se intercambian.
- Transmitir mensajes ASTERIX utilizando cualquier medio de comunicación disponible, por ejemplo: redes LAN (TCP/IP), Microondas, Satelital, WiMax, etc.

## **ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS ASTERIX**

En un estudio realizado (Ing. Morazán Bonilla Edgar, 2011, p.50 a p.56) sobre la estructura ASTERIX, permite especificar y resumir los conceptos básicos de la organización de los datos, mismos que se detallan y definen a continuación:

- **Categorías de Datos (Data Categories)**

Los datos a intercambiar sobre un medio de comunicación entre diferentes usuarios deben ser estandarizados y clasificados en categorías, facilitando la identificación de los datos, el envío de los datos y el establecimiento de una cierta jerarquía basado en su prioridad. [16]

Pueden ser definidas hasta 256 categorías de datos, de acuerdo con la siguiente clasificación y su utilización:

- Categorías de 000 a 127 para aplicaciones civiles y militares.
- Categorías de 128 a 240 reservadas para aplicaciones militares.
- Categorías de 241 a 255 para aplicaciones civiles y militares.

Categoría 001: Información de blancos radar desde una cabecera a un sistema de proceso de datos radar.

Categoría 002: Mensajes de Servicio Radar.

Categoría 034: Nueva versión de Cat 002, SSR Modo S.

Categoría 048: Nueva versión de Cat 001 y Cat 016, SSR Modo S. [16]

- **Item de Datos (Data Item)**

Es la unidad más pequeña de información de cada categoría, y se define un conjunto de Items de Datos que constituye el catálogo de Items de Datos, donde cada uno tiene una referencia única que lo identifica de forma inequívoca.

La referencia simbólica consta de ocho caracteres de la siguiente forma:

**Innn / AAA**, donde:

- **I**, indica que es un Item de Datos.
- **nnn**, es un número de tres dígitos decimales que indica la categoría de datos a la que pertenece.
- **AAA**, es un número de tres dígitos decimales que indica el número de Item de Datos.

Ejemplo: I048 / 010 Data Source Identifier [16]

- **Data Field (Campo de Dato)**

Es la implementación física de un Item de Datos para propósitos de comunicaciones, es decir cada Item de Datos es asignado a un slot llamado Data Field, tienen una longitud igual a un número entero de octetos y tiene asignado un único Field Reference Number (FRN). La correspondencia entre los Item de Datos y Data Fields se estandariza para cada aplicación por medio del User Application Profile. [16]

- **Perfil de Aplicación de Usuario (User Application Profile)**

Con sus siglas UAP, es el mecanismo por el cual se estandariza para cada aplicación la correspondencia entre los Item de Datos y los Data Fields haciendo uso de la estructura de los mensajes ASTERIX.

La UAP es una tabla de control vinculada al programa de empaquetado/desempaquetado de los sistemas de procesamiento de mensajes. En esencia define cuáles de los Item de Datos catalogados serán utilizados, su longitud, su asignación a los Data Fields y los requisitos específicos que deben ser normalizados para la transmisión exitosa e interpretación de los mensajes. [16]

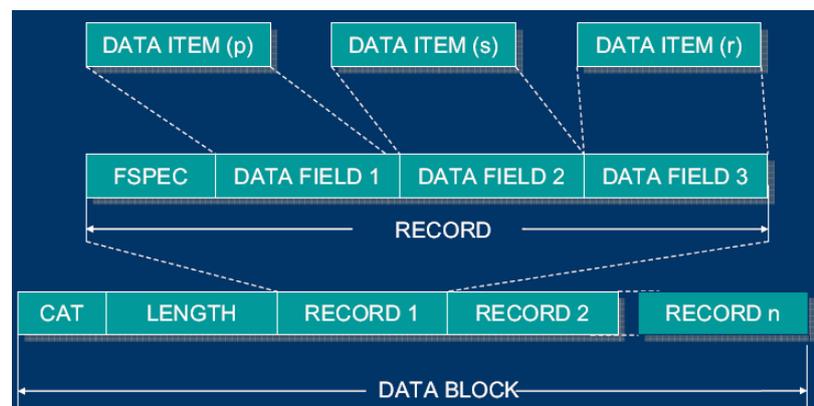
Eurocontrol estipula para las distintas categorías un estándar parametrizable, es decir, cada usuario define los campos que son obligatorios, los que son optativos o los no utilizables. [16]

## **ESTRUCTURA DEL MENSAJE**

- **Bloque de Dato (Data Block)**

Es una unidad de información que contiene uno o más registros, todos ellos con información de la misma categoría y está compuesto por:

- Un octeto de datos llamado Categoría (**CAT**), indicando a qué categoría pertenecen los datos transmitidos.
- Un campo de 2 octetos que indican el tamaño del bloque (**LEN**), incluyendo los campos de CAT y LEN.
- Uno o más registros que contienen los datos de la misma categoría.
- Cada registro es de longitud variable pero con límite de octetos definido. La longitud siempre será un múltiplo de un octeto. [16]



**Figura 4. 1: Estructura de un Bloque de Datos Asterix.**

**Fuente:** Ing. Morazán Bonilla Edgar, 2011, p.52

- **Registros (Registers)**

Es un conjunto ordenado de Data Field de la misma categoría, transmitidos dentro de un data block, el cual esta precedido por el

campo Field Specification (FSPEC), donde se indica los Ítems de datos presentes de acuerdo con el UAP.

Un registro está constituido por:

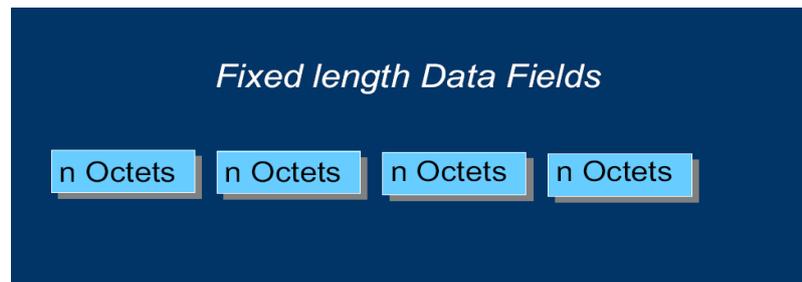
- Un campo de Field Specification (FSPEC) de longitud variable, que indica los Data Fields que están presentes en el registro y su orden.
- Un número variable de Data Fields, asociado con un Ítem de Datos, identificado por el Field Referencial Number (FRN).

[16]

El tamaño de los Data Fields puede ser fijo o variable dependiendo de los siguientes:

- Longitud fija campos de datos, incluyen un número fijo de octetos.
- Longitud extendida, por ser de longitud variable deberá contener una parte fundamental indicando su longitud seguida inmediatamente por un número de partes secundarias, cada una de longitud predeterminada. La presencia de los campos se indicará mediante el establecimiento de un bit (menos significativo 1) del último octeto, llamado indicador de extensión de campo.
- Longitud de los campos de datos explícitos, se iniciará con un solo indicador de longitud del octeto dando la longitud total del campo incluyendo el mismo.
- Campos de datos repetitivos, comprende un campo de un octeto de repetición para señalar la presencia de “n” Subcampos consecutivos, cada uno de la misma longitud predeterminada.
- Campos de datos compuestos, estará integrado por un subcampo primario, seguida de datos subcampos. El subcampo

primario determina la presencia o ausencia de los subcampos de datos posterior. Consta de una primera parte de un octeto extensible utilizando el mecanismo de extensión de campo. [16]



**Figura 4. 2: Estructura de campos de datos de longitud fija.**

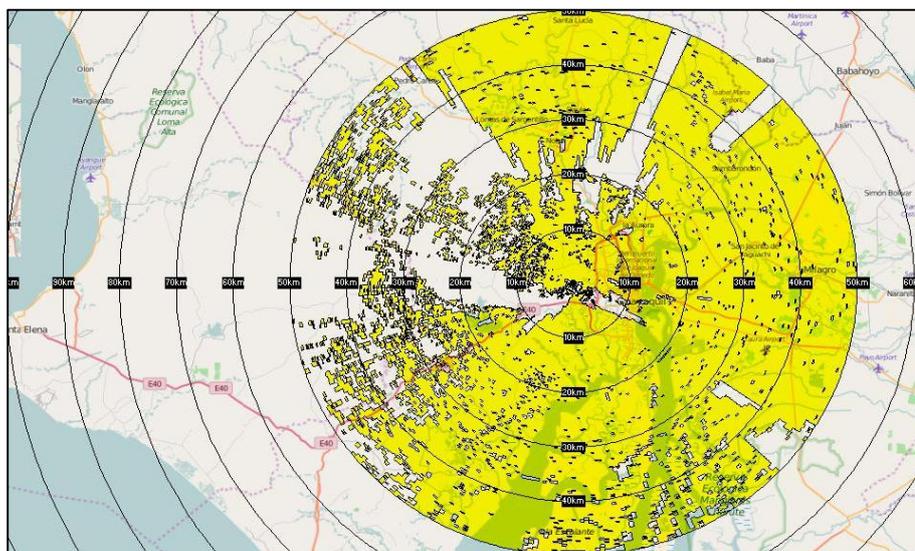
**Fuente:** Ing. Morazán Bonilla Edgar, 2011, p.53

#### **4.1.2. Configuración de los equipos del sistema WiMAX**

Para interconectar el ACC-DGAC y el CMC-COAD utilizaremos el sistema WiMax que dispone las Fuerza Armadas y que se encuentra operando en el sector de la provincia del Guayas.

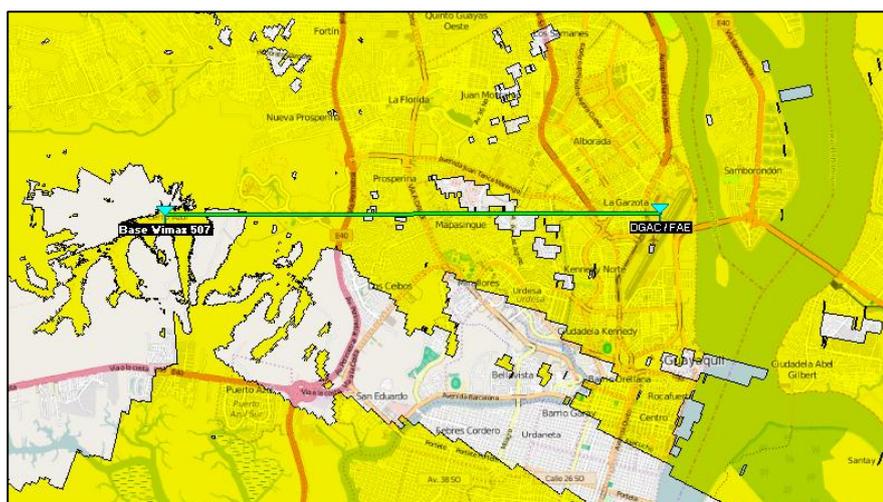
Para estas simulaciones, utilizaremos el software Radio Mobile, para tener una visión aproximada de la cobertura del sistema WiMAX y geoposicionar los puntos de enlace.

Considerando los parámetros de configuración y características de los equipos del Sistema WiMAX se tiene un alcance aproximado de 50 Km como se puede ver en la Figura 4.3.



**Figura 4. 3: Área de cobertura WiMax en el Guayas**

El enlace que se requiere, se encuentra en el área de cobertura del Sistema WiMAX, al geoposicionar la estación base como las estaciones suscriptoras se observa que se encuentran en el área de cobertura, a una distancia de aproximadamente 14 Km, ver Figura 4.4.



**Figura 4. 4. Enlace entre Estación Base y Suscriptoras del WiMAX**

Así mismo se toman los datos de Intensidad de Campo que resultan de la simulación, se tiene como resultado que la ubicación de las estaciones suscriptoras disponen de un buen nivel de Campo Eléctrico y no debería existir inconvenientes para enlazarnos con la estación base, según los valores que se detallan en la Tabla 6.

<b>AREA DE COBERTURAS</b>												
<b>NIVEL DE CAMPO ELÉCTRICO (dB<math>\mu</math>V/m)</b>												
<b>RADIALES</b> <b>DISTANCIA</b> <b>(Km)</b>	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
10	74,5	74,7	75,7	74,2	76,8	74,3	74,4	74,8	72,1	69,9	74,6	74,1
20	69,1	71,5	71,1	70,4	70,1	70,3	54,1	48,7	68,5	73,4	68,7	70,4
30	67,0	65,9	66,6	68,1	65,4	61,2	51,5	46,7	64,6	70,0	69,7	65,8
40	66,7	65,1	65,3	62,7	63,1	53,3	48,1	46,3	55,9	61,9	67,9	67,2
50	62,8	60,1	65,0	65,0	63,5	50,3	44,4	43,2	50,3	66,5	50,9	64,1

**Tabla 6: Niveles de Campo Eléctrico del Sistema WiMAX**

En el Software de Gestión del Sistema WiMAX, se configuran los parámetros como: el ancho de banda, la tasa de enlace ascendente (Uplink), la tasa de enlace descendente (Downlink), la potencia, la frecuencia, la distancia estimada entre la estación base y la antena de abonado en línea de vista, el estado de funcionamiento entre otros parámetros como se puede ver en la Figura 4.5, para que el transceptor de la estación base se comuniquen con las antenas de los abonados.

El enlace inalámbrico Punto a Multipunto es el método de comunicaciones que se utiliza en WiMax y es una tecnología dentro de las conocidas como de última milla.

SNA-GYE		SU.00 10 E7 1A BD D7 connected to AU 3 on CERRO507(10.68.23.249)	
MAC Address	00-10-E7-1A-BD-D7	Name	SNA-GYE
		ID	259
<b>General Parameters</b>			
Fault Status	No Faults	Permanence Status	Permanent
		Registration Status	Registered
<b>Software Details</b>			
Running From	Main	Main SW Version	Rel_4_7_0_151
		Shadow SW Version	Rel_4_0_2_66
<b>Air Interface Summary</b>			
Connected AU Slot ID	3	Rx Frequency (MHz)	23
Bandwidth (MHz)	3.5	Tx Power (dBm)	12
Operation Mode	Advanced SI	Estimated Distance (m)	10800
Uplink Current Rate	QPSK 3/4	Downlink Current Rate	QAM-64 3/4
Uplink SNR (dB)	21	Downlink SNR (dB)	33
Uplink RSSI (dBm)	-74.60	Downlink RSSI (dBm)	-57
Uplink CH-1 RSSI (dBm)	-110.0	Uplink CH-3 RSSI (dBm)	-110.0
Uplink CH-2 RSSI (dBm)	-75.4	Uplink CH-4 RSSI (dBm)	-110.0
<b>Hardware Information</b>			
Serial Number	70245712	No Of Gateways	0
CPE Type	CPE 2 PRO	Service Fault Status	No Faults
SU IDU Type	Basic	Boot Version	2.5.3.6
SU HW Revision	12	RF Card HW Revision	1
SU HW Configuration	0	Cumulative Power-on Time (min)	2604350

**Figura 4. 5: Enlace suscriptor CPE WiMAX**

Para este proyecto WiMAX no da ningún servicio, sino es el medio de enlace desde el CMC-COAD hasta el ACC-GYE, para el efecto configuramos una VLAN en este caso la número 20 como se puede ver en la Figura 4.6, logrando un túnel de enlace para coexistir con la red física del ACC GYE.

The screenshot shows a configuration page for a service named 'SNA-GYE'. The configuration includes fields for Service Name, Service Type (BMAX L2), Service Profile (SNA-GYE\_sp), SU Name (MAC Address), Subscriber, Hybrid VLAN Mode (On), VLAN Classification Mode (Off), Access VLAN (4,095), Admin Status (Enable), and Operational State (Up). Below these fields is a 'VLAN List' section with a table and 'Revert' and 'Delete' buttons.

ID	VLAN ID
1	43
2	20
3	30
4	

**Figura 4. 6: Asignación de VLAN en WiMAX**

Desde el punto de vista de interferencias con los sistemas de comunicaciones principalmente en telefonía móvil, los radares en banda S presentarán cada vez con los futuros sistemas, mayores problemas que los de banda L. La experiencia de la empresa INDRA quien realizó un estudio respecto a este tema en España, donde se ha recortado la banda S asignada a radares (que iban de 2.7 a 3.8 GHz) para compartir su uso con sistemas de comunicaciones, ya que se ha asignado la sub-banda por encima de 3.4 GHz a los sistemas WiMAX / Wireless en implantación progresiva, y hay sistemas de radioenlaces en bandas próximas (2.69 GHz y 3.6 GHz) lo que impone severos requisitos de espúreos a los radares en banda S para que no interfieran en las comunicaciones, experiencia que hay que tomar muy en cuenta.[12]

#### 4.1.3. Configuración de los equipos activos

Para este proyecto se consideró un router marca CISCO, Catalyst 2960CG y con el fin obtener información de la configuración utilizo la sentencia "*show run*". Al puerto 1 del router, está conectada la PC

donde está instalado el software Visual AST, esta PC posee una dirección IP de la red de la DGAC y a través de una VLAN en este caso la número 20, nos permite interconectarnos y ser parte de la red del ACC-Guayaquil, ver la Figura 4.7.

```

File Edit Setup Control Window Help
69666963 6174652D 31363633 39323036 3430301E 170D3933 30333031 30303031
33335A17 0d323030 31303130 30303030 305A3031 312F302D 06035504 03132649
4F332D53 656C662D 5369676E 65642D43 65727469 66696361 74652D31 36363339
32303634 3030819F 30000609 2A864886 770D0101 01050003 81800030 81890281
810084DA 2DEAAF11 4CEB8030 C35AD463 11E2858E A178E81D E8D36D4 8E789A0E
47A45159 82068C99 A40C3593 7DA26950 E63054F2 5E534C8E 49C7DC26 01AF7FE1
910D8864 9188E6BA 73DF654A AD59DC4C 8A56C8E1 DD72C2AA 74CEEB87 6A0AA30F
140933C8 E8CD9CB3 9CA7EC25 3B43A0ED E8A59D93 281EDA88 50BE91B8 C7689EC8
90950203 010001A3 69306730 0F603355 1D130101 FF040530 030101FF 30140603
551D1104 0d300882 09434F41 445F4441 432E301F 0603551D 23041830 168014D9
3F3A442F 84D6E4F8 A242D1D5 7687CD4 3FE7F30 1D060355 1D0E0416 0414D93F
3A442F84 D6E4F8A2 42D1D576 878CD43F E7FF300D 06092A86 4886F70D 01010405
0003E181 00703E7D E4349785 CA086D93 E0501C97 6C753F7F BCF6FB2C AAF0E466
4873C884 3618C3F1 04D00134 34D00489 0613ADE1 8E018D50 8B9663C1 210FD644
9E688F56 A258688E F8056442 CB97CF78 98DC87EA C7528DCF 5109DEBC CB6680DC
48C32D01 664E82DB FD0CD8DC EDC9888F 67510634 60DE5500 67030A45 0D0AD3BD
9276895D F1
quit
spanning-tree mode pvst
spanning-tree extend system-id

vlan internal allocation policy ascending

interface GigabitEthernet0/1
switchport access vlan 20
interface GigabitEthernet0/2
switchport access vlan 30
interface GigabitEthernet0/3

```

Figura 4. 7: Configuración de la VLAN

Es necesario configurar un puerto, que permita mantener el enlace entre la PC y los servidores donde se integran las señales de los radares de la DGAC a través de WiMAX, para lo cual al puerto 8 del router se lo configura como puerto “trunk”, permitiendo así recibir o enviar tráfico entre switches y routers y entre múltiples VLANs, ver la Figura 4.8.

```
File Edit Setup Control Window Help
interface GigabitEthernet0/3
interface GigabitEthernet0/4
interface GigabitEthernet0/5
interface GigabitEthernet0/6
interface GigabitEthernet0/7
interface GigabitEthernet0/8
switchport mode trunk
interface GigabitEthernet0/9
interface GigabitEthernet0/10
interface Vlan1
no ip address
!
ip http server
ip http secure-server
ip sla enable reaction-alerts
!
line con 0
line vty 0 4
login
line vty 5 15
login
!
end
COAD_DAC#
COAD_DAC#
COAD_DAC#
COAD_DAC#
```

**Figura 4. 8: Configuración del puerto trunk.**

Con esta configuración, nos permite ser parte de la red del ACC de la DGAC, tomando en cuenta que debe estar habilitada la dirección IP asignada por la DGAC para futuras réplicas de las señales.

#### **4.1.4. Configuración y sincronización del visualizador gráfico de ficheros ASTERIX.**

Esta aplicación básicamente decodifica los mensajes Asterix y los presenta en forma de listas en una representación polar, el código está escrito para decodificar las categorías ASTERIX: 1, 2, 8, 10, 11, 21, 34 y 48, siendo estas dos últimas categorías, la 34 para mensajes de servicio por ejemplo: pasos por sectores y va poniendo los valores en los campos que detecta; y categoría 48 para datos del radar primario y secundario.

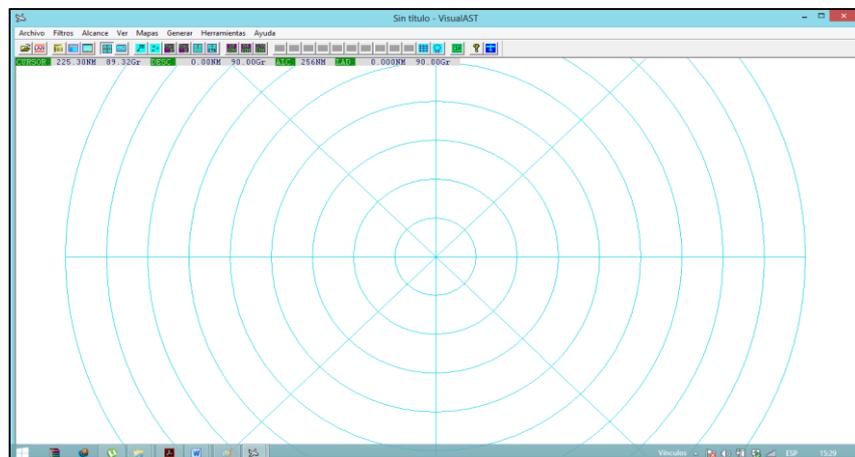
El VisualAST, fue diseñado por la empresa INDRA para presentar los datos en laboratorio que emiten los radares primarios y secundarios, capturando la información de los mismos y decodificando los protocolos antes mencionados, siendo una herramienta de mantenimiento.

En la Figura 4.9, se visualiza la barra de herramientas, siendo esta una interfaz gráfica de usuario, mostrada usualmente en una pantalla a modo de filas y al ser presionado algunas despliegan columnas con funciones propias del software, además contiene datos que se van actualizando según la captura de información.



**Figura 4. 9: Barra de herramientas VisualAST.**

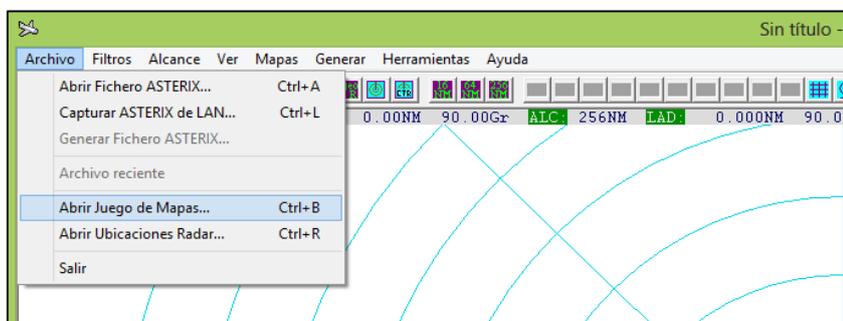
La pantalla de inicio presenta círculos que constituyen el alcance, teniendo iconos para presentar a 16 NM, 64NM y 256 NM como se puede ver en la Figura 4.10.



**Figura 4. 10: Pantalla de inicio del visualizador grafico VisualAST.**

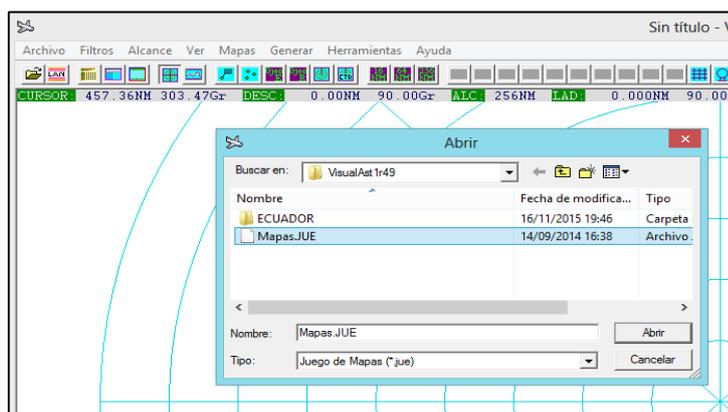
Primeramente es necesario cargar el mapa del Ecuador, mismo que es del tipo (.jue), siendo una plantilla que se utiliza en la Aviación

Civil. En la barra de herramientas, al seleccionar “Archivo” se selecciona “Abrir Juego de Mapas” como se visualiza en la Figura 4.11.



**Figura 4. 11: Función “Abrir Juego de Mapas” del VisualAST.**

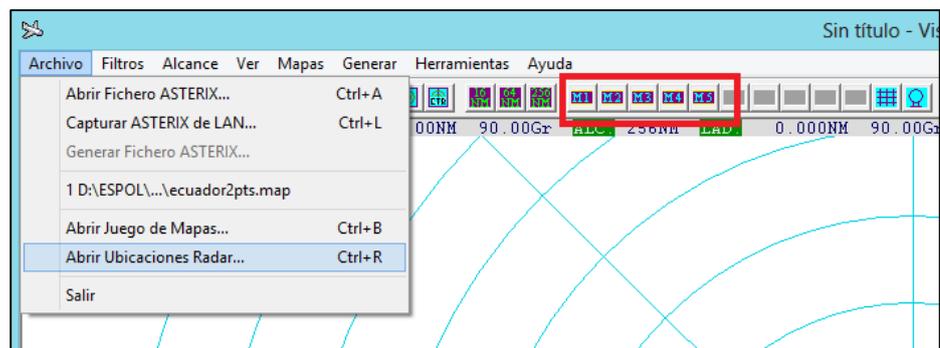
Seguidamente seleccionamos la plantilla Mapas.JUE, como se visualiza en la Figura 4.12, misma que contiene información del perfil del territorio nacional, aerovías y aeropuertos, seguidamente “Abrir”. Estas plantillas las utilizan los entes de control aeronáutico, en nuestro caso fue proporcionada por la DGAC.



**Figura 4. 12: Selección de la plantilla para cargar el perfil de un mapa.**

Una vez cargada la plantilla, se habilitan en los iconos que se recalca en la Figura 4.13 y se puede seleccionar la información que se desea visualizar de acuerdo al siguiente detalle:

- M1: Aerovías
- M3: Mapa del Ecuador
- M4: Aeropuertos



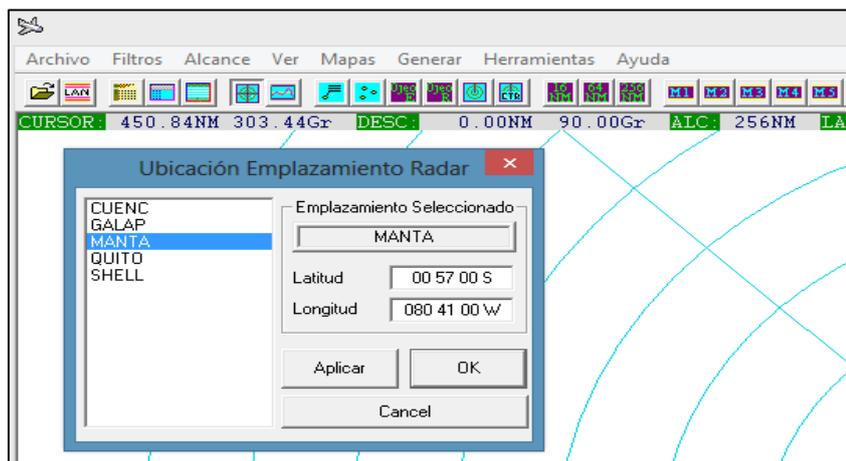
**Figura 4. 13: Función “Abrir Ubicaciones Radar” del VisualAST.**

Luego se debe cargar la ubicación de los radares como se puede visualizar en la Figura 4.14, misma que es del tipo (.rad) siendo una plantilla que posiciona en coordenadas sexagesimales, la ubicación de los radares como se visualiza en la Figura 4.15, siendo en esta fase necesario seleccionar el radar del que se desea capturas los datos.



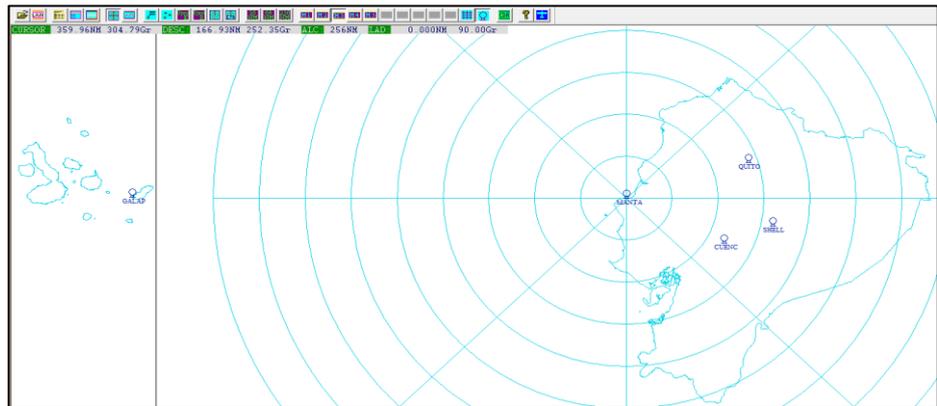
**Figura 4. 14: Selección de la plantilla para cargar ubicación radares.**

Al seleccionar un radar, la plantilla del mapa se posiciona de acuerdo a sus coordenadas, siendo este el punto de inicio de los círculos de alcance, por ejemplo: sí seleccionamos la ubicación del emplazamiento del Radar de “Manta” como se puede visualizar en la Figura 4.15, se posicionará en sus coordenadas sexagesimales.



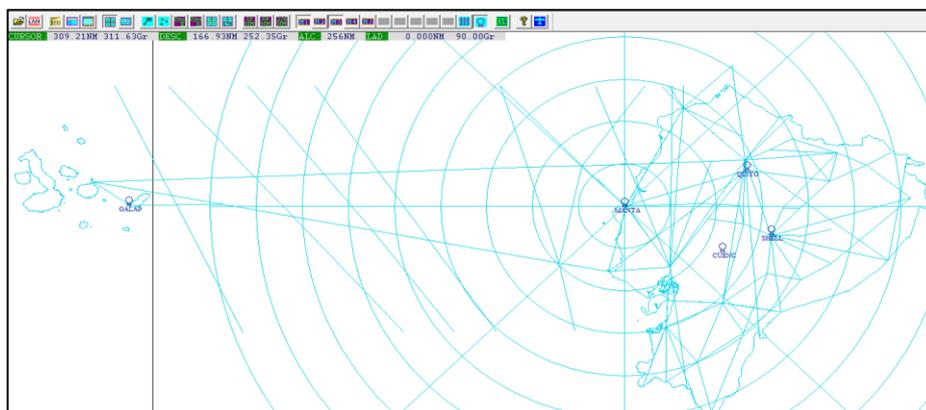
**Figura 4. 15: Selección de la Ubicación Emplazamiento Radar.**

Al seleccionar “OK” el perfil del Ecuador se posiciona de acuerdo a las coordenadas de la ubicación del radar de Manta, para que el mapa se presente se debe seleccionar de la barra de herramientas el icono “M3”, el ambiente de trabajo es como se puede visualizar en la Figura 4.16.



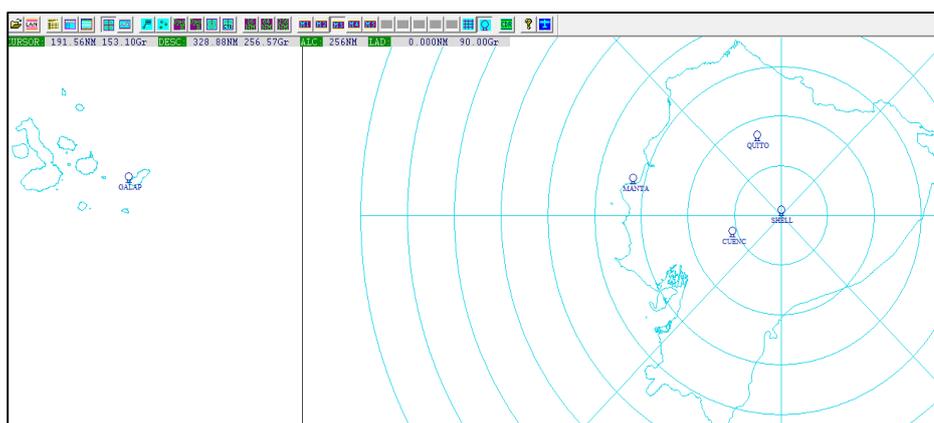
**Figura 4. 16: Ubicación del perfil ecuatoriano respecto al radar de Manta.**

El software VisualAST, tiene cargado la plantilla de aerovías de acuerdo a los pasos ejecutados anteriormente, para presentarla se debe seleccionar de la barra de herramientas el icono “M1”, el ambiente de trabajo es como se puede visualizar en la Figura 4.17. Estas aerovías son rutas designadas por donde las aeronaves circulan de acuerdo a las rutas que cubren, siendo un camino virtual predefinido tanto en dirección como en altura.



**Figura 4. 17: Ubicación del perfil ecuatoriano respecto al radar de Manta con aerovías.**

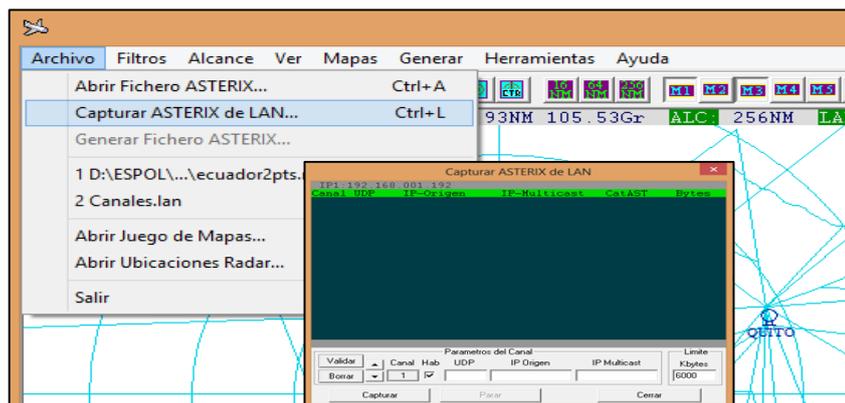
Si se requiere la selección de otro radar, se siguen los mismos pasos anteriores, como ejemplo se tomará el radar de Shell y como se puede ver en la Figura 4.18, el perfil del Ecuador se posiciona de acuerdo a las coordenadas de la ubicación del radar de Shell y así con el resto de radares.



**Figura 4. 18: Ubicación del perfil ecuatoriano respecto al radar de Shell.**

## 4.2. Operación del sistema de visualización gráfica

Para empezar a tener los datos de información, seleccionamos “Archivo”, luego “Capturar ASTERIX de LAN” y se me despliega la pantalla para configurar los Parámetros del Canal como se visualiza en la Figura 4.19.



**Figura 4. 19: Función “Captura ASTERIX de LAN” del VisualAST.**

Para configurar los Parámetros del Canal de donde se obtendrán los datos, se utilizara un Analizador de Protocolos de Red “WireShark” el mismo que permite obtener información del tráfico que pasa a través de la red, permitiendo obtener las direcciones IP de origen, la IP Multicast y el Puerto de Destino, como se muestra en la Figura 4.20.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
667	4.10564000	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	96	Source port: 30002 Destination port: 4021
668	4.10564700	10.200.7.20	225.20.210.1	UDP	61	Source port: 30001 Destination port: 4009
669	4.11019600	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	100	Source port: 30002 Destination port: 4021
670	4.11019700	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	100	Source port: 30002 Destination port: 4021
671	4.11045300	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	100	Source port: 30002 Destination port: 4021
672	4.11045300	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	100	Source port: 30002 Destination port: 4021
673	4.12485100	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	100	Source port: 30002 Destination port: 4021
674	4.12929100	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	100	Source port: 30002 Destination port: 4021
675	4.12929200	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	100	Source port: 30002 Destination port: 4021
676	4.15025700	10.200.13.20	225.50.210.1	UDP	102	Source port: 30001 Destination port: 4011
677	4.15025800	10.200.13.20	225.50.210.1	UDP	67	Source port: 30001 Destination port: 4011
716	4.24029500	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	80	Source port: 30002 Destination port: 4021
717	4.24029500	10.200.15.124	225.70.210.1	UDP	73	Source port: 4008 Destination port: 4008
718	4.24488500	10.200.13.20	225.50.210.1	UDP	61	Source port: 30001 Destination port: 4011
821	4.70071900	10.200.5.20	225.30.210.11	UDP	72	Source port: 30002 Destination port: 4021
822	4.71982600	10.200.3.20	225.10.210.1	UDP	102	Source port: 30001 Destination port: 4010
823	4.72010300	10.200.5.20	225.30.210.11	UDP	72	Source port: 30002 Destination port: 4021
913	5.22009200	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	80	Source port: 30002 Destination port: 4021
914	5.22034700	10.200.5.20	225.30.210.1	UDP	61	Source port: 30001 Destination port: 4001
915	5.22425900	10.200.3.20	225.10.210.11	UDP	72	Source port: 30002 Destination port: 4021

**Figura 4. 20: Información de Protocolos de la Red.**

En la Tabla 7, se detalla por cada estación radar la IP de Origen, la IP Multicast y el Puerto de Destino, datos obtenidos con el WireShark, mismos que permiten configurar los canales de donde se va a capturar los datos. Estos parámetros no cambian, a no ser que físicamente sean conectados en otros puertos en los servidores de la DGAC, por lo que de existir un problema es necesario nuevamente utilizar el Analizador de Protocolos.

RADAR	IP ORIGEN	IP MULTICAST	PUERTO
CUENCA	10.200.3.20	225.10.210.1	4010
MANTA	10.200.5.20	225.30.210.1	4001
QUITO	10.200.13.20	225.50.210.1	4011
GALAPAGOS	10.200.15.124	225.70.210.1	4008
SHELL	10.200.7.20	225.20.210.1	4009

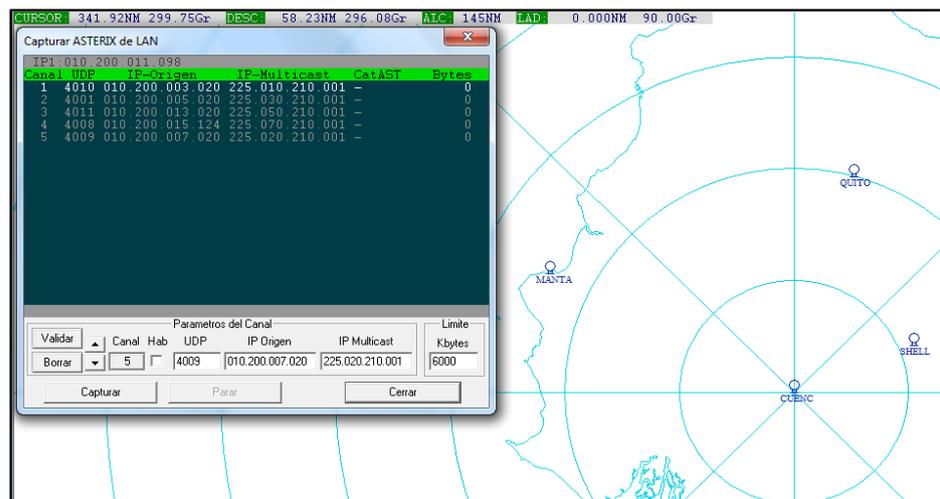
**Tabla 7: Parámetros de Configuración del Canal.**

En la pantalla “Captura ASTERIX de LAN”, se ingresan los parámetros de la Tabla 6, asignando un canal a cada radar de manera que permita tener identificado a que radar pertenece.

Debe existir concordancia al seleccionar un radar de acuerdo a la configuración descrita en los pasos anteriores, para este caso designaremos en el canal 1 al radar de Cuenca, como se puede ver en la Figura 4.21 el canal habilitado resalta del resto.

Estos pasos se los repite con cada radar como se puede observar en las Figuras: 4.22, 4.23, 4.24, y 4.25 correspondientes a los radares de: Manta, Quito, Galapagos y Shell respectivamente, hay que tener en cuenta que el resto de canales este deshabilitado ya que si dos o más canales resaltan, existirán problemas al momento de capturar la información, ya que los datos se obtendrán de cada radar seleccionado según corresponda al canal habilitado, ocasionando datos erróneos.

Radar de Cuenca:



**Figura 4. 21: Configuración para la captura de datos del radar de Cuenca.**

## Radar de Manta

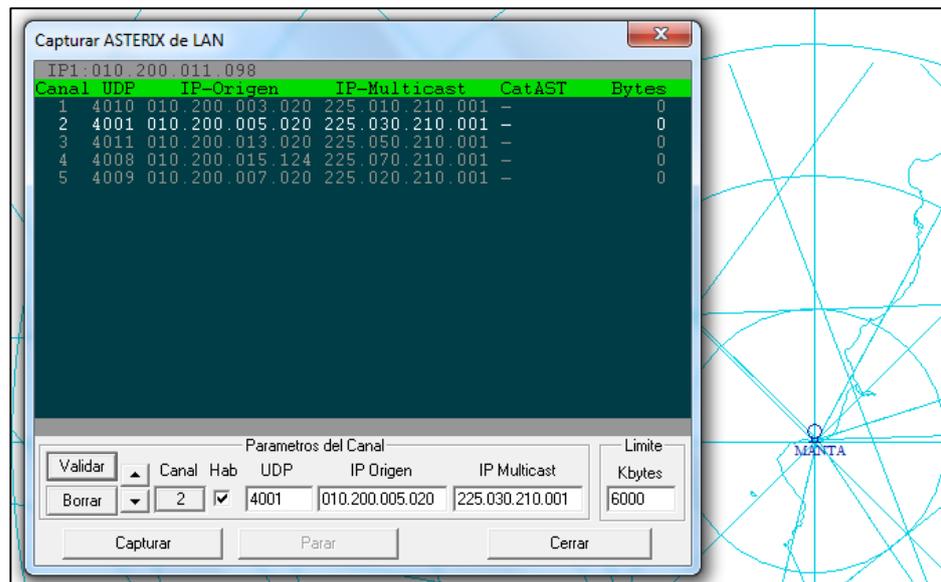


Figura 4. 22: Configuración para la captura de datos del radar de Manta.

## Radar de Quito

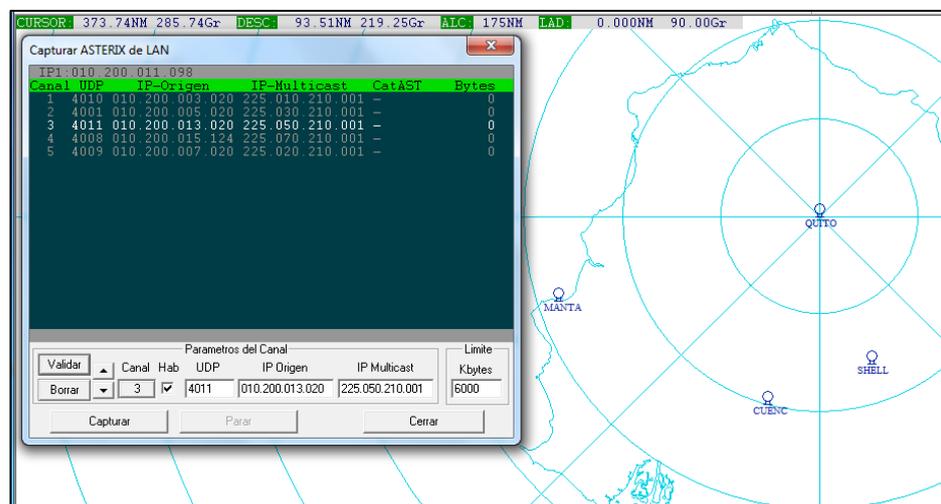
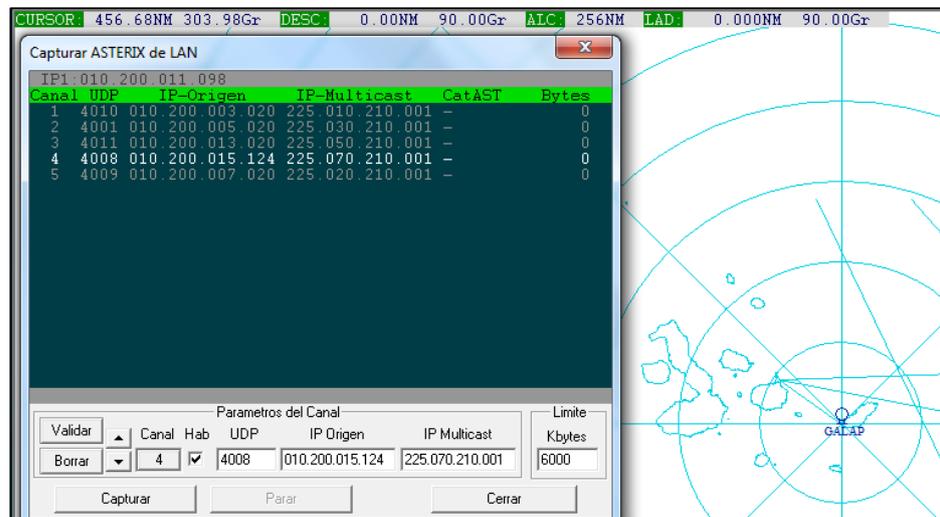


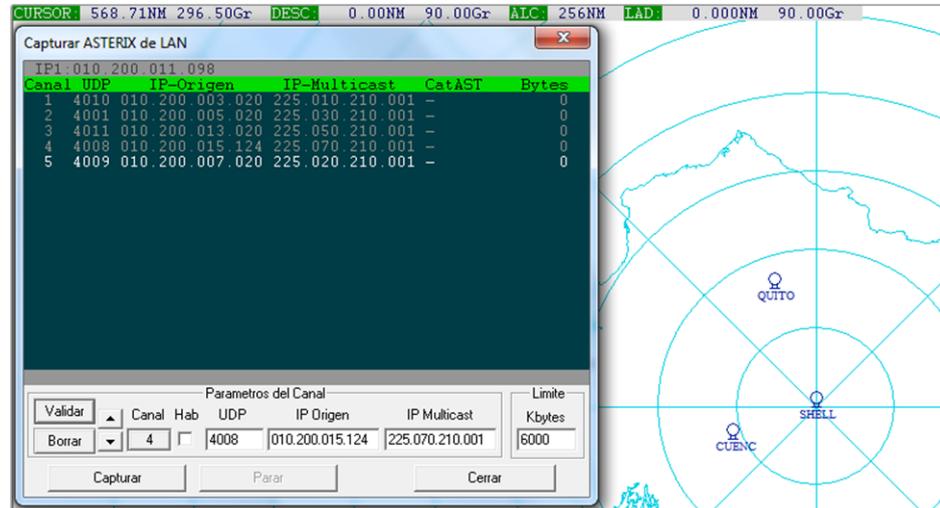
Figura 4. 23: Configuración para la captura de datos del radar de Quito.

### Radar de Galápagos



**Figura 4. 24: Configuración para la captura de datos del radar de Galápagos.**

### Radar de Shell



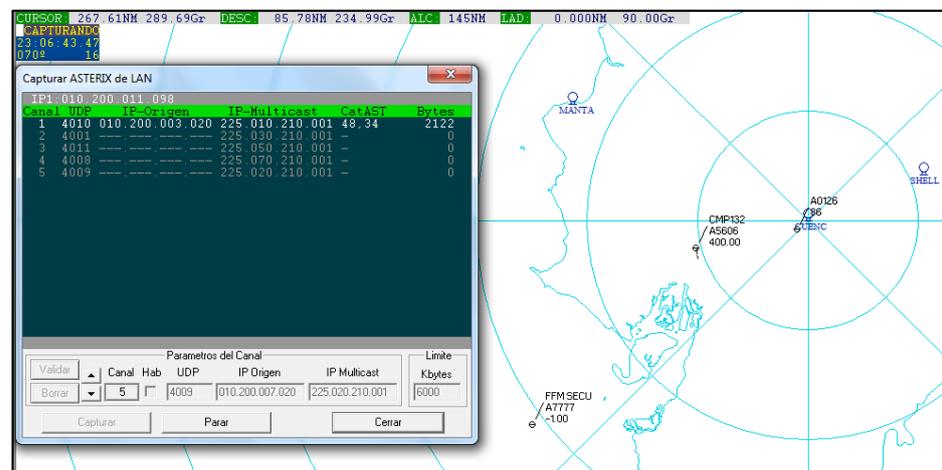
**Figura 4. 25: Configuración para la captura de datos del radar de Shell.**

### 4.3. Diseño de pruebas

Al validar los parámetros ingresados en la configuración de cada uno de los radares, empezamos a capturar los datos que emiten estos de manera independiente, en otras palabras es necesario abrir una pantalla del Visualizador de Protocolos Asterix por cada radar que se necesite ver los tracks de las aeronaves en vuelo.

Al empezar a capturar los datos, se presenta la cantidad de bytes y la categoría Asterix Cat. 34 y Cat.48 que se reciben, presentándose los tracks de las aeronaves que en ese momento se encuentran en vuelo como se puede apreciar en las Figuras: 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 y 4.30 correspondientes a los radares de Cuenca, Manta, Quito, Galápagos y Shell respectivamente.

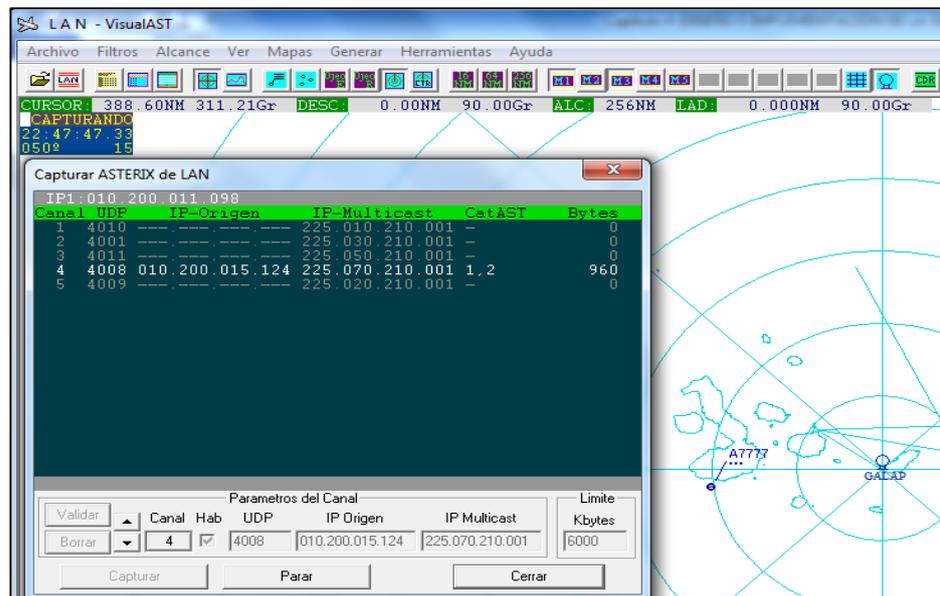
#### Radar de Cuenca



**Figura 4. 26: Captura de datos y presentación de tracks del radar de Cuenca.**



## Radar de Galápagos



**Figura 4. 29: Captura de datos y presentación de tracks del radar de Galápagos.**

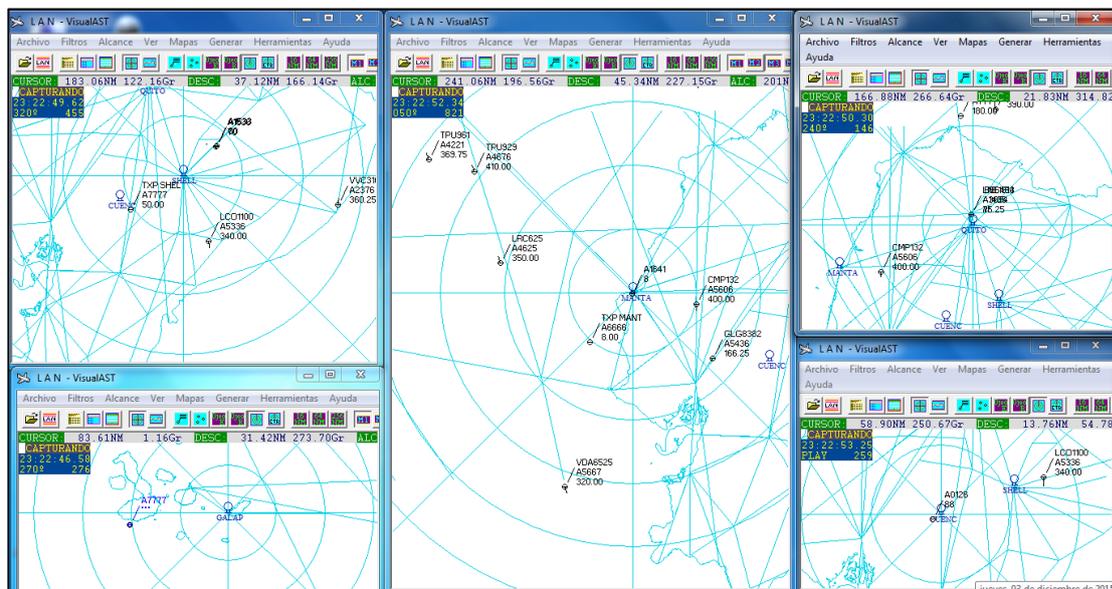
## Radar de Shell



**Figura 4. 30: Captura de datos y presentación de tracks del radar de Shell.**

La captura de datos ASTERIX de los radares y la presentación de los tracks de las aeronaves en vuelo se las puede hacer de manera selectiva y simultánea, tal como se puede observar en la Figura 4.31, teniendo así la

información del cuadro aéreo que los radares de la DGAC detectan de acuerdo al área de cobertura.



**Figura 4. 31: Captura de datos y presentación de tracks de las aeronaves en vuelo de manera individual y simultánea.**

## **CAPITULO 5**

### **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

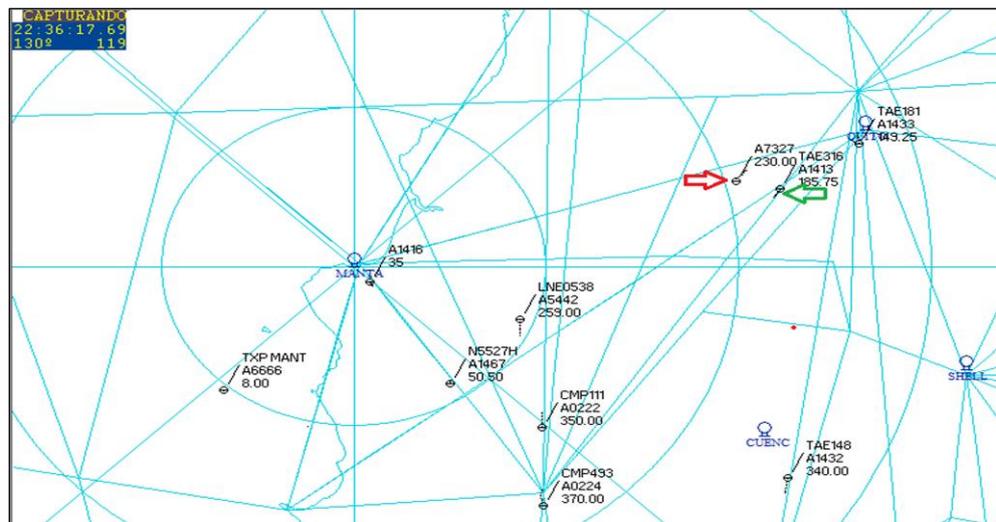
#### **5.1. En Laboratorio**

Para este ensayo, se analizará las capturas de información que se toma del radar de Manta como se puede observar en la Figura 5.1, cada señal representa a una aeronave que en ese instante de tiempo se encontraba en vuelo, la información que presenta es la matrícula de la aeronave y la altura a la que se encuentra de acuerdo a su localización.

Las líneas como ya se indicó en el capítulo anterior, representan las aerovías, las mismas que permiten a los controladores de tránsito aéreo ver la trayectoria y destino de una aeronave como se ve la señalada con la flecha verde, sin embargo existen muchas aeronaves que se salen de su trayectoria ya sea porque están circunvalando alguna nubosidad, o por algún otro motivo como se nota en la aeronave señalada con la flecha roja,

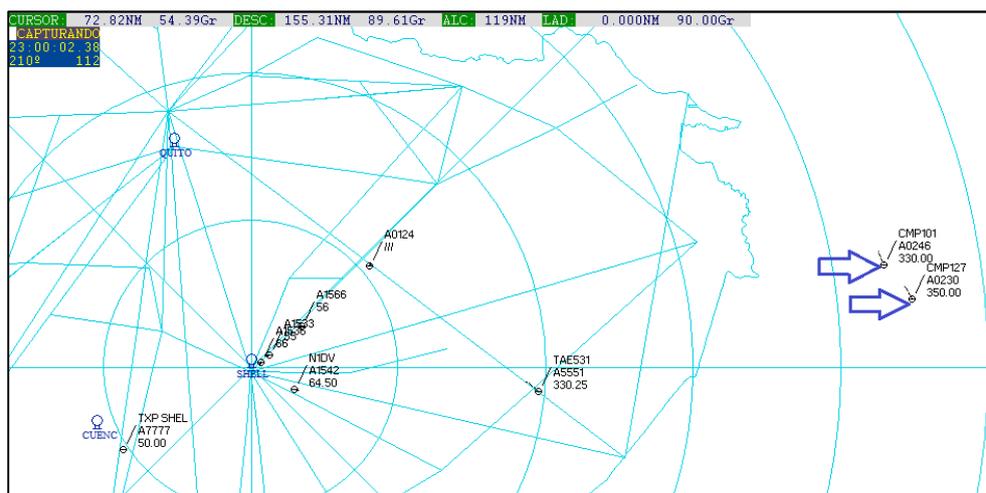
es ahí cuando los controladores hacen contacto con la aeronave para preguntar la novedad y se lo enruta.

En ocasiones las aeronaves no contestan y es cuando traspasan el control a la Fuerza Aérea, a fin de determinar que propósito tiene esa aeronave y si presenta una novedad siguiendo procedimientos acorde a los niveles de alerta.



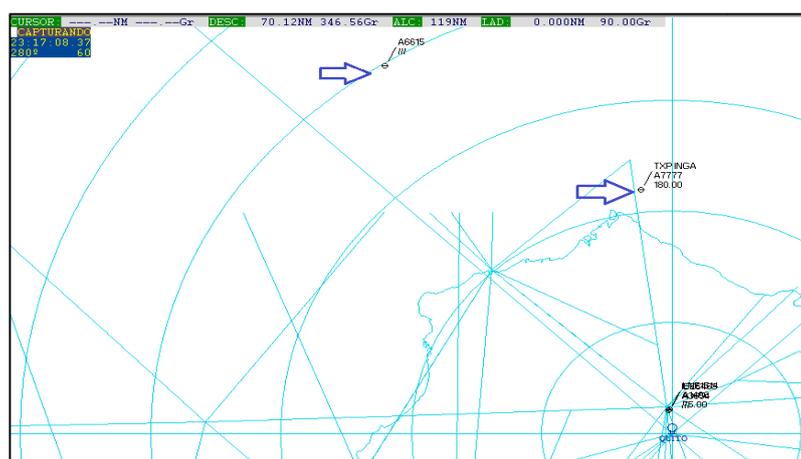
**Figura 5. 1: Presentación de las aeronaves en vuelo radar de Manta**

Con el radar de Shell se puede ver que existen aeronaves en vuelo fuera del territorio ecuatoriano como se presenta en la Figura 5.2, esto es posible porque la cobertura de ese radar en particular, no tiene obstáculos naturales, permitiéndole que su alcance sea mayor, además la altura que llevan las aeronaves permiten que el interrogador (radar secundario) tenga respuesta de la aeronave y presente la información en el visualizador gráfico.



**Figura 5. 2: Presentación de las aeronaves en vuelo radar de Shell**

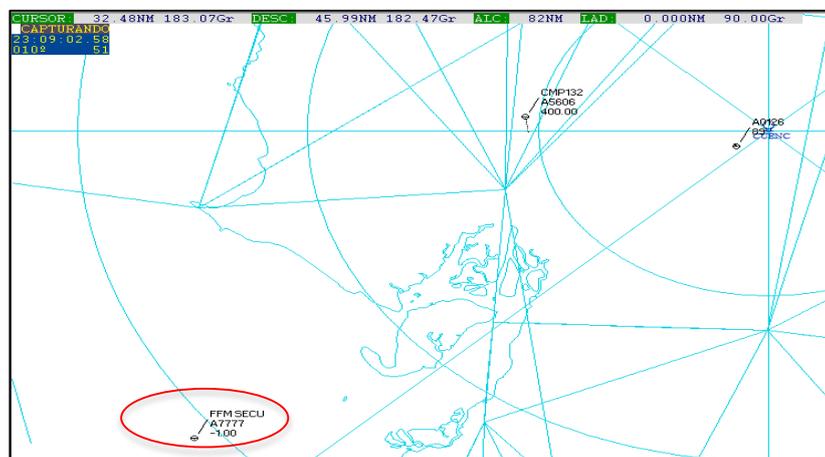
Lo mismo ocurre con el radar de Quito, debido a su posicionamiento y alcance mayor a 200 NM, se puede tener tracks de aeronaves fuera del territorio nacional como se puede ver en la Figura 5.3. Esta información es correlacionada con los radares de Colombia ya que a nivel regional con los países vecinos existe el cruce de información, además juega un papel muy importante la altura a las que viajan ya que eso determina si es un vuelo local o un vuelo con destino internacional y está sobrepasando la región.



**Figura 5. 3: Presentación de las aeronaves en vuelo radar de Quito**

En la Figura 5.4 que pertenece a la presentación del radar de Cuenca, en el extremo inferior se detecta un track falso, esto es debido a que los pulsos del radar secundario chocan con las olas del mar y producen ecos falsos que no pueden los procesadores del radar discriminar, siendo la experticia del operador quien determine si es o no una aeronave.

Este comportamiento se presenta con mayor frecuencia cuando se usan radares primarios, debiendo ser los procesadores de mejores características más robustos para que filtren estos ecos falsos.



**Figura 5. 4: Presentación de las aeronaves en vuelo radar de Cuenca**

## 5.2. De Campo

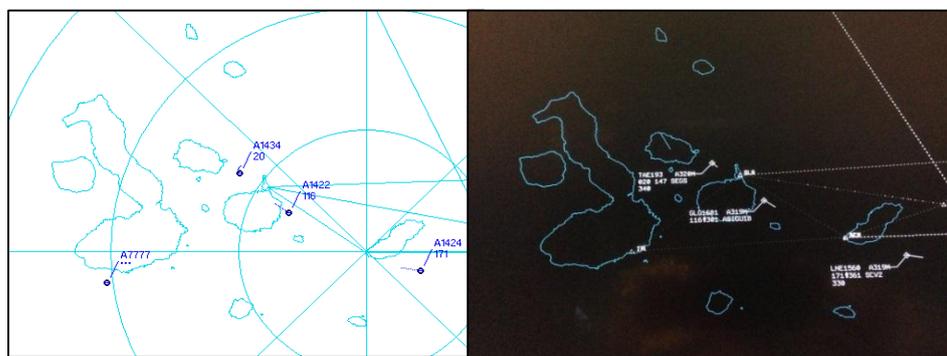
### Con la consola de los radares la de DGAC

Se puede observar en la Figura 5.5 al lado izquierdo, las señales de las capturas realizadas con el software VisualAST que se encuentra en el CMC-COAD correspondiente al radar de Manta y a la derecha la presentación en una consola del ACC-DGAC, así como también en la Figura 5.6 correspondiente a radar de Galápagos.

En ambos casos la información es igual y la presentación de las aeronaves en vuelo es precisa, es necesario recalcar que las consolas de la DGAC poseen más información como condiciones climatológicas, puntos de chequeo, áreas prohibidas y posee las señales integradas de todos los radares secundarios.



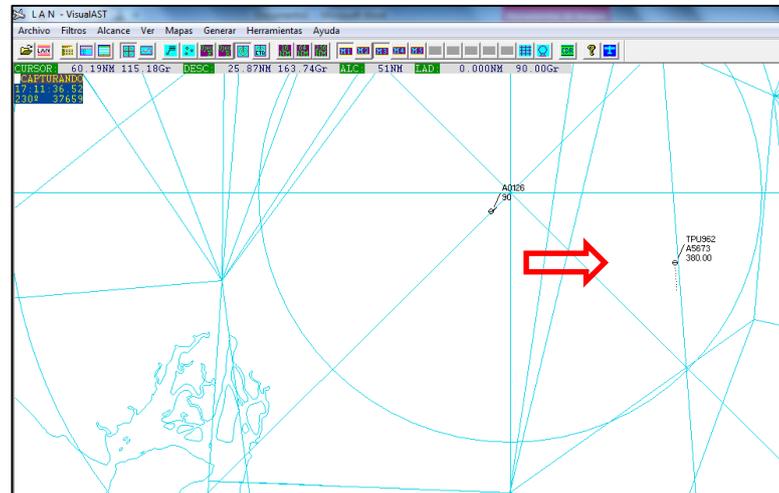
**Figura 5. 5: Diferencias entre el entorno VisualAST y consola ACC-DGAC**



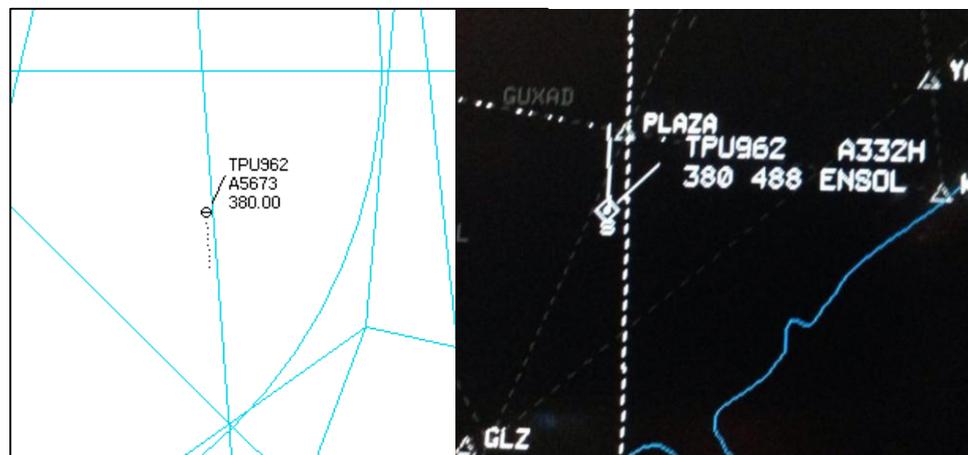
**Figura 5. 6: Comparación del posicionamiento de una aeronave en vuelo con la señal del radar de Galápagos**

En el Anexo 2, se puede ver el detalle de la Información de un plot que ha sido localizado donde muestra la distancia, el azimut, el código, la Identificación, estos datos permiten identificarlos y presentar la información,

pasando a ser un track que ha sido localizado, mostrando el detalle como se ve en la Figura 5.8.



**Figura 5. 7: Seguimiento de una aeronave en vuelo con el radar de Shell**



**Figura 5. 8: Comparación del posicionamiento de una aeronave en vuelo con la señal del radar de Shell**

### Con la consola de los radares militares de la FAE

Comparando la información que se puede obtener y el ambiente de operación de las consolas de la DGAC versus la consola implementada en este proyecto se puede determinar que son similares. Pero las consolas de los radares militares, mismos que presentan las señales de los aeronaves en vuelo que detecta el radar primario correlacionando la información con el radar secundario del mismo sistema, permite detectar aeronaves a baja altura e información más detallada, además de poseer plataformas y sistemas de guerra electrónica, un sistema integrado de radio comunicaciones y en conjunto, todo el sistema permite operaciones de manera local así como remota. En la Figura 5.9 se puede observar dos pantallas, la superior es de configuración y presentación de información y la inferior es netamente para realizar operaciones de Defensa Aérea y vigilancia.

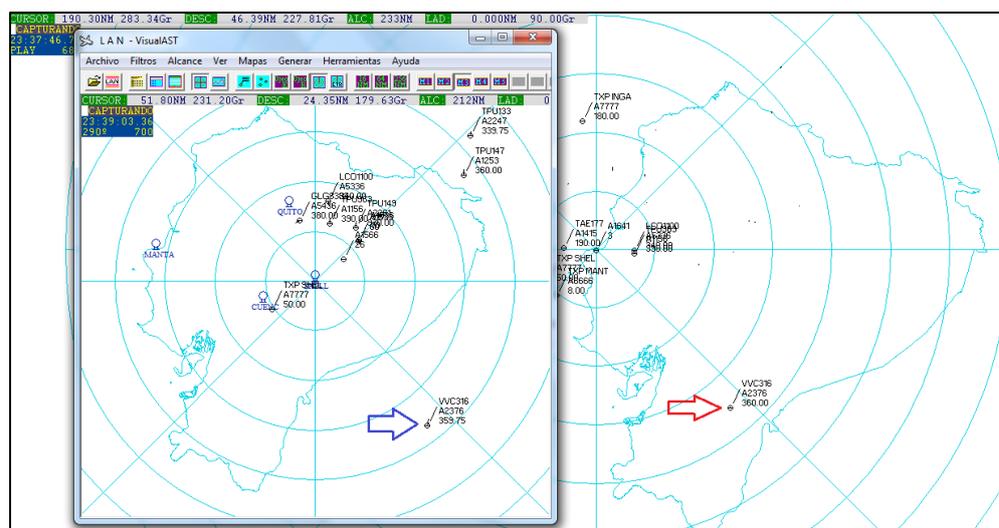


**Figura 5. 9: Consolas de Radares Militares**

Esta información que detecta el radar militar de forma local, será integrada en el CMC-COAD con el resto de radares militares y como ya se cuenta con



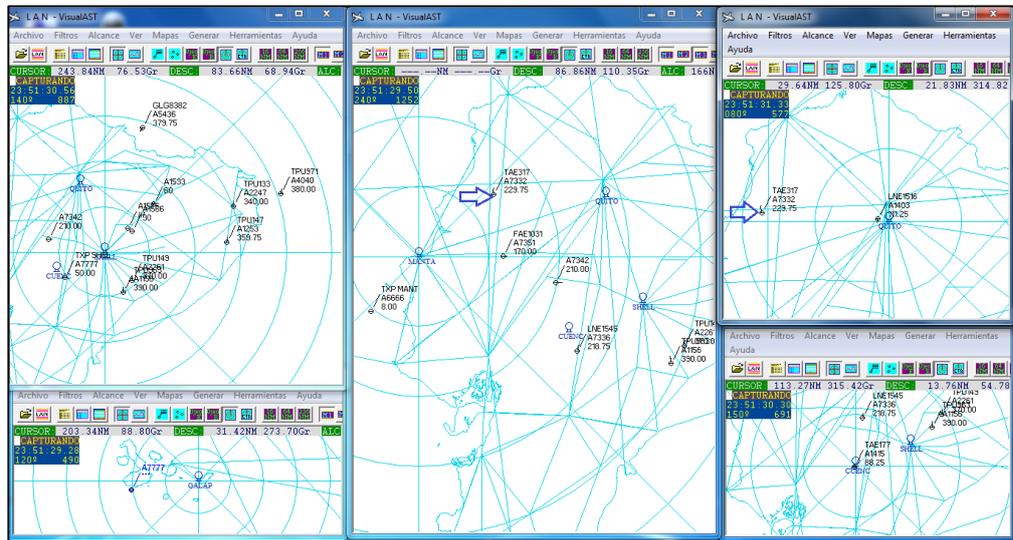
Para este segundo ensayo, obtendremos datos únicamente del radar de Shell y cambiaremos de posición el mapa, primero en su correspondiente ubicación Shell (pantalla izquierda) y segundo en la posición de Manta (pantalla derecha) como se puede visualizar en la Figura 5.11, teniendo como resultado que las aeronaves identificadas son presentadas respecto al radar que las detecta y ubicadas según se haya fijado el mapa, es decir: en la pantalla izquierda, la información de las aeronaves esta presentada correctamente porque el mapa está ubicado a su correspondiente radar que las identifica que es Shell, mientras que en la pantalla derecha la posición de las aeronaves es incorrecta porque el mapa está ubicado de acuerdo a Manta y la información es del radar de Shell.



**Figura 5. 11: Comparación de señales de los radares trabajando de forma simultánea.**

Otra consideración es que más de un radar puede detectar una misma aeronave y los presenta de manera individual, como ensayo se tomó la información de un instante de tiempo, donde se detectó una aeronave con placas TAE317, misma que es presentada por el radar de Manta y el radar de Quito como se puede ver en la Figura 5.12, señaladas con las flechas de color azul, teniendo como resultado que la plataforma me permite tener

información de manera individual de cada radar pero pueden operar de manera simultánea.



**Figura 5. 12: Señales de los radares trabajando de forma individual y simultanea**

#### 5.4. Resumen de escalabilidad del sistema.

Las pruebas realizadas nos permiten determinar que es un sistema que ayuda a los operadores y que cumple satisfactoriamente el requerimiento que la Fuerza Aérea tenía, que era contar con la información.

Tomando en cuentas todos los ensayos que se realizaron en las diferentes pruebas y los resultados obtenidos, se podrían indicar que es un sistema estable, que tiene una estructura que permite continuidad de información y que su configuración permite reaccionar y adaptarse sin perder calidad, o bien manejar la información que se necesite, ayudando a la toma de decisiones una vez que confluyan la información que se tiene de los equipos militares.



Este sistema permite además crecer sobre la misma plataforma que usen los protocolos Asterix, sin que esto afecte a su desempeño ni a la pérdida de calidad en los servicios que se han registrado en las pruebas realizadas. Además es independiente del medio de transmisión que se utilicen, tomando en cuenta que la información ya está integrada en los ACC de la DGAC.

Para llevar las señales de los radares de la DGAC a cualquier reparto de la FAE que los necesite, es necesario que en el ACC de la DGAC, existan los permisos necesarios a nivel de red por parte de los administradores, para que los equipos que estén del lado de la FAE a través de una VLAN, sean parte de la red de la DGAC y así poder acceder al servidor donde se integran las señales de los radares.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

1. No contar con la información de detección de los radares secundarios de la DGAC, ha ocasionado demoras en la identificación de las aeronaves en vuelo, haciendo tardía la reacción con los aviones de interceptación en el caso de necesitar un reconocimiento, ya que actualmente la información se la canaliza por medio telefónico, causando un incremento de los vuelos ilegales en el territorio nacional.
2. Contar con la cobertura de los radares de la Dirección General de Aviación Civil, complementa el área de cobertura de los radares militares, cubriendo las áreas ciegas y correlacionando la información de las aeronaves que se detecten en ambos sistemas y así tener el cuadro aéreo identificado.
3. Gran parte de los fabricantes de sistemas radáricos están adoptando las recomendaciones de EUROCONTROL para la utilización de interfaces y protocolos en las categorías ASTERIX, ya que estas facilitan la integración de sistemas e intercambio de datos radáricos entre diferentes regiones, ya que este protocolo es uno de los códigos abiertos más utilizados a nivel mundial, fortaleciendo la seguridad del control de tráfico aéreo.

4. La tendencia de diseño y construcción de nuevos sistemas radáricos, apuntan al empleo de componentes que permitan una degradación suave (arquitectura soft-fail) es decir, en caso de fallo de algún elemento el sistema, no se pare por completo, sino que siga funcionando con limitaciones, siendo la tendencia la utilización en gran parte de elementos COTS.
5. Las señales de los radares de la DGAC convergen en un router en el cuarto de servidores del ACC en Guayaquil, y a través del medio de transmisión WiMAX perteneciente a las Fuerzas Armadas se accede desde el Centro de Mando y Control de la FAE, para mediante direccionamientos de canales de transmisión y utilizando el software VisualAST, capturar los datos de los radares de Galápagos, Manta, Cuenca, Quito y la Shell de manera individual.
6. El software VisualAST, trabaja en pantallas individuales por cada radar, ya que en los ensayos realizados se evidenció la limitación de trabajar de manera integrada con todos los radares, concluyendo que una de las principales causas es debido a que inicialmente la plantilla del perfil del Ecuador queda fijo respecto a un radar en particular, y al configurar para que capture los datos de todos los radares al mismo tiempo, presenta las aeronaves detectadas de forma aleatoria y en ubicaciones que no son las correctas.
7. Como resultado de la implementación y de las pruebas realizadas, es posible concluir que se ha atendido a satisfacción el requerimiento operativo de los controladores de interceptación de la Defensa Aérea de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, proporcionándoles los tracks de las aeronaves en vuelo, su identificación, altura y localización respecto al territorio nacional.
8. Al haber obtenido buenos resultados en la implementación del plan piloto, podemos concluir que es viable la replicación de la solución en los cuatro repartos más de la Fuerza Aérea: ALA-11, ALA-21, ALA-23 y ESMA, utilizando la infraestructura propia de la institución, misma que ya posee el enlace entre los repartos mencionados.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estimaciones precisas de la intensidad de lluvia en el lugar de emplazamiento de un sistema radárico, antes de determinar el requerimiento en la banda de operación del mismo, ya que operativamente los radares que trabajan en la Banda L, presenta un mejor comportamiento ante la atenuación atmosférica por efectos de la lluvia, pues el eco que genera puede reducir significativamente el rango de cobertura de los radares, sin embargo, es la banda de frecuencia de los radares en donde se marca la diferencia.
2. En lo que respecta a los radares en Banda S, se recomienda ampliar la investigación a los futuros sistemas, ya que tendrán mayores problemas de interferencias con los sistemas de comunicaciones principalmente en telefonía móvil, considerando la investigación realizada y la experiencia de la empresa INDRA, fabricante de radares en España.
3. Se recomienda ampliar la investigación en los parámetros que se necesitaría para legalizar el uso de las frecuencias las Bandas S y L en sistemas radáricos, ya que a la fecha la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), no dispone de los formatos que permitan realizar los estudios de ingeniería para el uso de esas bandas.
4. La investigación realizada puede ser el preámbulo para desarrollar sistemas propios, ya que los resultados muestran que la implementación de este prototipo, tiene una disponibilidad del 96% de contar con las señales de las aeronaves en vuelo que detecte cualquier radares que trabaje con protocolos ASTERIX y un ahorro económico del 75% de lo que costaría un sistema similar si se lo adquiere con alguna empresa fabricante relacionada al área.
5. Se recomienda, la replicación del plan piloto en los cuatro repartos más de la Fuerza Aérea, ya que esto permitirá que el resto de unidades militares, cuente

con la información de las aeronaves que se encuentren en vuelo en su área de responsabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] EL COMERCIO, Redacción Seguridad (I). *"Avionetas indagadas por drogas, casos que se vuelven frecuentes en Ecuador"*. EL COMERCIO.COM [en línea]. 20 febrero 2015. [Consulta: 15 Marzo 2015].  
<http://www.elcomercio.com/actualidad/avioneta-droga-esmeraldas-narcotrafico-incinerada.html>
- [2] Estudio de mercado realizado por la Comisión Especial para elaborar las especificaciones técnicas para la adquisición de sistemas radáricos para el Ecuador. Mismos estudios reposan en los archivos de la Jefatura de Operaciones Aéreas con Oficio 130-CER-R-08 del 06 de Octubre del 2008.
- [3] BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, *"Inflación Anual"*. [www.bce.fin.ec](http://www.bce.fin.ec) [en línea]. [Consulta: 15 Enero 2016]  
[http://contenido.bce.fin.ec/resumen\\_ticker.php?ticker\\_value=inflacion](http://contenido.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion)
- [4] EUROCONTROL, *Medios de Comunicación "ASTERIX"*. [en línea]. [Consulta: 05 Noviembre 2015]  
<https://www.eurocontrol.int/asterix>
- [5] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, *Plan Nacional de Frecuencias*. Ecuador, 2012.
- [6] UIT Regulación de Radio, Volumen 1, Article 2; Edition of 2008. Según estándar IEEE 521-2013 Letras estándar para la designación de bandas de frecuencia de radar. Estándar reafirmado en 1984; el original data de la Segunda guerra mundial, 2013.  
[www.microwaves101.com](http://www.microwaves101.com) *"Waveguide frequency bands and interior dimensions"*
- [7] INDRA, *Análisis efectuado entre técnicos de INDRA en laboratorio*, España, 2015.

- [8] INDRA, *Análisis de atenuación por efectos de la lluvia en rangos de frecuencia de bandas L y S*, 2014
- [9] Silvana Ruiz, Gustavo Cornejo, Andrés Atiencia, José Escalante, *"Estudio y diseño de una red inalámbrica (WIMAX), para un operador de comunicaciones de la ciudad de Guayaquil"*, Centro de Investigación Científica y Tecnológica, ESCUELA POLITÉCNICA DEL LITORAL ". [www.dspace.espol.edu.ec](http://www.dspace.espol.edu.ec) 2008, [en línea]... [Consulta: 16 Octubre 2015]
- <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2554/1/5030.pdf>
- [10] Ing. Bacuilima Santiago, *"Estudio y Diseño de una red WiMAX para la ciudad de Cuenca"*, Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, Ecuador, 2010.
- [11] AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES, *"Espectro Radioeléctrico"*. [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec) [en línea]. [Consulta: 18 Octubre 2015]
- <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- [12] INDRA, *Fundamentos de un Sistema Radar 0122809901000MA03*, 2015
- [13] MERRIL I. SKOLNIK, "RADAR HANDBOOK", 2nd Edición, McGraw Hill, Ch1 pp1.16
- [14] MERRILL I. SKOLNIK, *"Introduction to Radar System"*, McGraw Hill, 1962, Sec 1.2 ,
- [15] DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL, *"Sistema Integrado de Control Operacional"*. [www.aviacioncivil.gob.ec](http://www.aviacioncivil.gob.ec) [en línea]. [Consulta: 02 Diciembre 2015]
- <http://www.sico.aviacioncivil.gob.ec/sico/web/index.php>
- [16] Ing. Morazán Bonilla Edgar, *"Desarrollo de un Analizador de Protocolo ASTERIX de Eurocontrol"*, Tesis de Pregrado, Universidad de El Salvador. El Salvador, 2011.
- [17] Ing. Monserrat del Carmen de León Cedillo, M.C Juan Rodolfo Ruíz Guerra, M.E Hugo Rodríguez Martínez, Ing. Uriel Alejandro Sánchez Ledesma,

“*Visualización de Datos Radar en Tres Dimensiones sobre Mapa Geográfico*”.  
2013.

- [18] Giacomo Verticale and Luigi Musumeci., Presentation of paper & quot;  
“*Impact of Multipath Fading on the Fairness of the WiMAX System*”;  
ICLAN 2008. [en línea]. 17 Diciembre 2008. Politécnico di Milano-Italy.  
[Consulta: 15 Octubre 2015].

<http://www.slideshare.net/gverticale/presentazione-853366>

- [19] INDRA, Centros de Mando y Control, “*Descripción de los CMC-DA*”, Junio  
2015.

- [20] Wikipedia, “*Commercial off-the-shelf (COTS)*”. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) [en línea].  
[Consulta: 13 Marzo 2016]

[https://en.wikipedia.org/wiki/Commercial\\_off-the-shelf](https://en.wikipedia.org/wiki/Commercial_off-the-shelf)

## ANEXOS

Mensaje	Plot	Hora	Dist	Acim	CodA	AltC	Nresp	Flags	AA	Niv	Ident	VelC
351	SECU	23:34:13.63	55.22	117.56	5313	32000	4		AA78DE	2	IC01100	
352	SECU	23:34:13.94	17.14	146.31	1506	5500	8					
353	SECU	23:34:14.77	51.46	220.89	6666	800	4		E84000	2	TXP MANT	
354	SECU	23:34:15.38	105.64	276.82	4656	39000	4		AD7DA9	2	TPU929	
355	SECU	23:34:15.48	142.43	286.40	3205	36975	4		A68E4F	2	TPU961	
356	SERV	23:34:16.30	NORTE	3.969		9	0	0				
357	SECU	23:34:16.91	152.08	55.63	5561	23250	4		A40455	2	UPS431	
358	SECU	23:34:17.04	53.75	66.79	5641	38000	4		0C203B	2	CMP132	
359	SECU	23:34:17.24	85.78	85.28	7367	23000	4		E84072	2	LNE1519	
360	SECU	23:34:17.45	84.11	103.79	1400	24000	4		E84073	2	LNE1516	
361	SECU	23:34:17.59	54.98	117.05	5313	31975	4		AA78DE	2	IC01100	
362	SECU	23:34:17.91	17.30	146.21	1506	5500	7					
363	SECU	23:34:18.73	51.46	220.88	6666	800	4		E84000	2	TXP MANT	
364	SECU	23:34:19.35	105.43	276.54	4656	39000	4		AD7DA9	2	TPU929	
365	SECU	23:34:19.46	142.11	286.25	3205	37000	4		A68E4F	2	TPU961	
366	SERV	23:34:20.27	NORTE	3.977		9	0	0				
367	SECU	23:34:20.89	152.22	55.48	5561	23375	4		A40455	2	UPS431	
368	SECU	23:34:21.01	53.95	66.25	5641	38000	4		0C203B	2	CMP132	
369	SECU	23:34:21.22	85.54	85.51	7367	23000	4		E84072	2	LNE1519	
370	SECU	23:34:21.41	84.25	103.53	1400	23975	4		E84073	2	LNE1516	
371	SECU	23:34:21.56	54.74	116.63	5313	31975	4		AA78DE	2	IC01100	
372	SECU	23:34:21.89	17.46	146.15	1506	5500	8					
373	SECU	23:34:22.71	51.46	220.89	6666	800	4		E84000	2	TXP MANT	
374	SECU	23:34:23.32	105.23	276.31	4656	39000	4		AD7DA9	2	TPU929	
375	SECU	23:34:23.43	141.78	286.10	3205	37000	4		A68E4F	2	TPU961	
376	SERV	23:34:24.25	NORTE	3.977		9	0	0				
377	SECU	23:34:24.86	152.38	55.39	5561	23500	4		A40455	2	UPS431	
378	SECU	23:34:24.98	54.16	65.71	5641	38000	4		0C203B	2	CMP132	
379	SECU	23:34:25.20	85.30	85.75	7367	23000	4		E84072	2	LNE1519	
380	SECU	23:34:25.39	84.39	103.27	1400	24000	4		E84073	2	LNE1516	
381	SECU	23:34:25.53	54.51	116.10	5313	31975	4		AA78DE	2	IC01100	
382	SECU	23:34:25.86	17.62	146.04	1506	5500	8					
383	SECU	23:34:26.69	51.46	220.89	6666	800	4		E84000	2	TXP MANT	
384	SECU	23:34:27.30	105.02	276.06	4656	39000	4		AD7DA9	2	TPU929	
385	SECU	23:34:27.41	141.45	285.94	3205	37000	4		A68E4F	2	TPU961	
386	SERV	23:34:28.23	NORTE	3.977		9	0	0				
387	SECU	23:34:28.84	152.54	55.29	5561	23650	4		A40455	2	UPS431	
388	SECU	23:34:28.95	54.38	65.28	5641	38000	4		0C203B	2	CMP132	
389	SECU	23:34:29.17	85.05	85.94	7367	23000	4		E84072	2	LNE1519	
390	SECU	23:34:29.36	84.54	103.00	1400	23975	4		E84073	2	LNE1516	
391	SECU	23:34:29.50	54.28	115.58	5313	31975	4		AA78DE	2	IC01100	
392	SECU	23:34:29.84	17.79	145.87	1506	5500	8					
393	SECU	23:34:30.66	51.46	220.89	6666	800	4		E84000	2	TXP MANT	
394	SECU	23:34:31.27	104.81	275.81	4656	39000	4		AD7DA9	2	TPU929	
395	SECU	23:34:31.38	141.13	285.80	3205	37000	4		A68E4F	2	TPU961	
396	SERV	23:34:32.20	NORTE	3.969		9	0	0				
397	SECU	23:34:32.80	152.73	55.03	5561	23775	4		A40455	2	UPS431	
398	SECU	23:34:32.91	54.60	64.75	5641	38000	4		0C203B	2	CMP132	
399	SECU	23:34:33.15	84.82	86.24	7367	23000	4		E84072	2	LNE1519	

ANEXO 1. Mensajes que transmiten los transponder de las aeronaves en vuelo.

Mensaje	Plot	Hora	Dist	Acim	CodA	AltC	Nresp	Flags	AA	Niv	Ident	VelC	ApuntC			
1	SECU	23:31:48.42	114.89	285.70	4656	39000	4		AD7DA9	2	TPU929					
Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
00000000	30	00	3C	FF	E1	02	F0	05	A5	72	36	A8	72	E5	CB	2A
00000010	09	AE	06	18	E0	28	04	C7	AD	7D	A9	51	05	79	CB	98
00000020	20	03	CC	30	00	30	54	00	00	40	80	17	3D	3B	3F	FC
00000030	EF	50	BA	CA	05	33	E0	24	00	60	20	FD	30	00	3C	FF

PLOT SECUNDARIO	
Campo	Hexad Descripción
CAT	30 -> Categoría..... 48 [Plots y Pistas]
LONG	003C -> Longitud..... 60 bytes
FSPEC	FFE102-> Espec. Campos... 11111111 11100001 00000010
010	F005 -> Estacion Radar... SAC=240 [??????] SIC= 5 [??????]
140	A57236-> Hora UTC..... 10842678 [x 1/128 Sgds] = 84708.422 Sgds] = 23:31:48.42
020	A8 -> Desc. Plot/Pista: ModeS Roll-Call REAL
040	72E5 -> Distancia..... 29413 x 1/256 NM = 114.89 NM
CB2A	-> Acimut..... 52010 x 360/65536 = 285.70 Grados
070	09AE -> Código 3/A octal: 4656 Valido
090	0618 -> Código C binario: 39000 Valido [11887 Metros]
130	E0 -> Características: Subcampos:
28	-> SSR runlength... 40 [x 360/8192 Grados] = 1.758 Grados
04	-> SSR replies..... 4 Respuestas
C7	-> SSR Amp replies: -57 dBm
220	AD7DA9-> Direc. Aeronave: AD7DA9
240	510579-> Identificador... TPU929
CB9820	-> de Aeronave...
250	03 -> Mode S MB Data...
CC30	-> MB Data..... MCP/FCU Altitude: 39008 ft FMS Altitude: ----- ft
0030	-> MB Data..... Bar Press Setting: 1009.0 mb
5400	-> MB Data.....
0040	-> MB Data + BDS... Registro BDS 4.0 --> Selected vertical intention
8017	-> MB Data..... Roll Angle: 0.000 ° True Track Angle: 162.773 grados
3D3B	-> MB Data..... Ground Speed: 472 kt
3FFC	-> MB Data..... Track Angle Rate: -0.031 °/s True Airspeed: 478.000 kt
EF50	-> MB Data + BDS... Registro BDS 5.0 --> Track and turn report
BACA	-> MB Data..... Magnetic Heading: 165.234 ° Indicated AirSpeed: 258 kt
0533	-> MB Data..... Mach: 0.828
E024	-> MB Data..... Bar Altit Rate: 128 ft/m Inertial Vert Velocity: 0 ft/m
0060	-> MB Data + BDS... Registro BDS 6.0 --> Heading and speed report
230	20FD -> Capac. Comu/ACAS: COM= Nivel 2 ARC= 25 pies

Anexo 2. Información de un Plot detectado por el radar secundario.