

**ANÁLISIS TEÓRICO DEL SISTEMA RADAR  
Y MULTIRADAR**

**JAIRO MAURICIO GALLO MENDIETA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA  
Y DE TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2004**

**ANÁLISIS TEÓRICO DEL SISTEMA RADAR  
Y MULTIRADAR**

**JAIRO MAURICIO GALLO MENDIETA**

**Trabajo de investigación  
Presentado para optar el título de Especialista en Telecomunicaciones**

**Director  
MARIO ROSAS GALLO  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA  
Y DE TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2004**

A DIOS por permitirme dar otro paso y darme

La fuerza para continuar.

A mi esposa Leo y mi Adorada hija María Cristina

Por su amor, apoyo y estímulo.

A mis compañeros y amigos de la Especialización

Por su colaboración, ayuda y amistad.

***Jairo Mauricio***

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

A La AERONÁUTICA CIVIL DE COLOMBIA por su apoyo y colaboración durante la especialización.

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER por aceptarme en su claustro y motivarme a la formación y transformación de los conocimientos adquiridos.

A la ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA; ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES por su valiosa contribución en mi proceso de desarrollo y superación intelectual, personal y profesional.

Al Ing. Mario Rosas G. Director del proyecto por su gran ayuda y aporte para el desarrollo de este.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. LA AERONÁUTICA CIVIL	5
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE RADAR	6
2. FUNDAMENTOS DE RADAR	9
2.1 DETECCIÓN DEL BLANCO	9
2.2 NATURALEZA DEL BLANCO	10
2.3 LOCALIZACIÓN DEL BLANCO	11
2.4 ECUACIONES DE RADAR PRIMARIO	12
2.5 SISTEMA DE ANTENA	17
2.5.1 CONJUNTO DEL REFLECTOR	17
2.5.2 CONJUNTO DE ALIMENTACIÓN	18
2.5.3 CONJUNTO DEL PEDESTAL	18
2.6 RADAR PRIMARIO	19
2.6.1 TRANSMISOR RADAR PRIMARIO	20
2.6.2 RECEPTOR RADAR PRIMARIO	22
2.6.2.1 PROCESADOR SEÑAL ANÁLOGA	23
2.6.2.2 PROCESADOR SEÑAL DIGITAL	24
2.6.2.3 SINTETIZADOR DE FRECUENCIA DIGITAL	24
3. FUNDAMENTOS DE RADAR SECUNDARIO	25

3.1 INTERROGACIÓN EN RADAR SECUNDARIO	26
3.2 RADAR SECUNDARIO IRS-20P	28
3.2.1 TRANSMISOR RADAR SECUNDARIO	28
3.2.2 MÓDULO DE RECEPCIÓN	29
3.2.3 FILTROS SELECTORES	32
3.2.4 CANALES DE RECEPCIÓN	32
3.2.5 OSCILADOR LOCAL	33
3.2.6 FRECUENCIA INTERMEDIA	33
3.2.7 RECEPCIÓN DE VIDEO RADAR SECUNDARIO	34
4. PROCESO DE LA SEÑAL RADAR PSR Y RADAR SSR.	35
5. MULTIRADAR	38
6. ESTÁNDAR ASTERIX	41
6.1 BLOQUE DE DATOS	41
6.2 REGISTRO DE DATOS	42
6.3 CAMPO DE DATOS	42
6.3.1 ENUMERACIÓN DEL OCTETO	42
6.3.2 DESCRIPCIÓN FUENTE DE DATOS	42
6.3.3 CONFIGURACIÓN DE ELEMENTOS Y ESTADO	43
6.3.4 REPORTE Y DESCRIPCIÓN DEL BLANCO	44
6.3.5 MEDICIÓN DE POSICIÓN EN COORDENADAS POLARES	45
6.3.6 CÓDIGO MODO 2 REPRESENTACIÓN OCTAL	46
6.3.7 CÓDIGO MODO 1 EN REPRESENTACIÓN OCTAL	47
6.3.8 CÓDIGO MODO 3/A EN REPRESENTACIÓN OCTAL	47

6.3.9 NIVEL DE VUELO EN REPRESENTACIÓN BINARIA	48
6.3.10 CARACTERÍSTICAS DE LA TRAZA RADAR	49
6.3.11 DATOS DE TIEMPO REAL	50
6.3.12 NUMERO DEL TRACK	51
6.3.13 ESTADO DEL TRACK	51
6.3.14 VELOCIDAD DEL TRACK EN COORDENADAS POLARES	52
6.3.15 CÓDIGO MODO D EN REPRESENTACIÓN OCTAL	52
6.3.16 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA GEOGRÁFICA	53
6.3.17 DESCRIPCIÓN DE INTERFERENCIAS	54
6.3.18 REDUCCIÓN DE PASOS DE SOBRE CARGA	55
6.3.19 DSPS CONFIGURACIÓN Y ESTADO	56
6.3.20 ESTIMADO DE LA GENERACIÓN Y POLARIZACIÓN DE RADAR	56
6.3.21 SERVICIO DE DIFUSIÓN DE RELACIÓN DE REPORTE	57
6.4 PROTOCOLO HDLC	58
7 CONCLUSIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	83

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Bandas de frecuencia.	16
Tabla 2. Modos de interrogación SSR.	27
Tabla 3. Bloque de datos estándar Asterix	41
Tabla 4. SAC y SIC para Colombia	43
Tabla 5. Ejemplo modo 3/A	48
Tabla 6. Diagrama en bloque protocolo HDLC	59

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1. Pulso de interrogación PSR	10
Figura 2. Detección del blanco	11
Figura 3. Diagrama en bloques de la estación Radar	15
Figura 4. Diagrama pulsos de interrogación SSR	26
Figura 5. Pulsos F1, F2 y SPI recibidos en el Rx SSR	30
Figura 6. Tren de pulsos entre F1 y F2 recibidos en el Rx SSR	31
Figura 7. Direcciones regionales de la Aeronáutica Civil	40

## GLOSARIO

ATC: control de Transito Aéreo.

ADCM: módulo Conversor Análogo a Digital.

ASTERIX: All Purpose STructured Eurocontrol suRveillance Information EXchange. Estándar para el procesamiento e intercambio de información radar

AWG: analog Wave Generator. Generador de Onda Análoga.

CAT: data Category. Categoría de Datos.

DIPLEXER: unidad que permite la conmutación de la cadena 1 o cadena 2 de Radar cuando una de estas esta en emisión.

DPS: digital Wave Generator. Generador de Onda Digital.

DSPTS: surveillance Data Processing System. Sistema de Procesamiento de Datos de Vigilancia Radar.

DUPLEXER: esta unidad permite el bloqueo de la Recepción cuando el Transmisor emite. Evitando de esta forma el daño del Rx.

DWG: digital Wave Generator. Generador de Onda Digital.

FRN: field Reference Number. Número de Referencia de Campo.

FSPEC: field Specification. Especificación de Campo.

FUSER: fuera de Servicio.

FX: field extensión indicator. Indicador de extensión de campo.

FDP: procesador de datos de vuelo.

GO / NOGO: operativo / No operativo.

HPAA: conjunto de Amplificadores de Alta Potencia.

ICAO: OACI. International Civil Aviation Organization. Organización Internacional de la Aviación Civil.

IF: frecuencia Intermedia.

LEN: length Indicator. Indicador de Longitud.

LSB: last Significant Bit. Último Bit Significativo.

LOGM: módulo Generador de Oscilación Local.

MDM: módulo Divisor de Muestras.

MCT: módulo de Conmutación y Prueba.

ORS: overload Reduction Steps. Reducción de Pasos de Sobrecarga.

PSR: primary Surveillance Radar. Radar Primario de Vigilancia.

RDP: procesador de datos radar.

RE: reserved Expansion Indicator. Indicador de Expansión de Reserva.

REP: field Repetition Indicator. Indicador de Repetición de Campo.

SAC: system Area Code. Código del Sistema de Área.

SDPS: surveillance Data Processing System. Sistema de Procesamiento de Datos de Vigilancia.

SIC: system Identification Code. Sistema de Código de Identificación.

SP: special Purpose Indicator. Indicador de Propósitos Especiales.

SPI: special Position identification. Identificación de Posición Especial.

SSR: Secondary Surveillance Radar. Radar Secundario de Vigilancia.

SYN: sincronismo o Reloj.

TRAZA: Avión confirmado en radar PSR Y radar SSR

UAP: User Application Profile

UTC: Co-ordinated Universal Time. Hora Universal Coordinada.

WGS-84: world Geodetic System 84. Sistema Mundial Geodetic 8

## **RESUMEN**

**TITULO:** SISTEMA RADAR Y MULTIRADAR\*

**AUTOR:** JAIRO MAURICIO GALLO MENDIETA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** RADAR

MULTIRADAR

ESTANDAR ASTERIX

### **DESCRIPCIÓN**

El concepto radar y multiradar esta relacionado con aspectos importantes para la seguridad aérea nacional e internacional. Los equipos instalados en las diferentes estaciones aeronáuticas forman una red que garantiza la prestación del servicio de control de transito aéreo en la totalidad del territorio colombiano. Los sistemas radar adquiridos últimamente en el país utilizan tecnología de punta, garantizando un desarrollo tecnológico importante en la seguridad aérea nacional.

La presente monografía se realiza, con el fin particular de mostrar el sistema radar, multiradar y protocolo asterix. Así mismo los equipos que conforman una estación radar, su operación, la forma de obtener los datos y por ultimo su explotación y aplicación en el control de tránsito aéreo.

Capitulo primero presenta la historia y funciones de la Aeronáutica Civil. Después la reseña histórica del sistema radar, su desarrollo y adelanto tecnológico. Capitulo segundo se presenta las ecuaciones básicas de radar y una breve descripción del sistema radar primario, resaltando las características técnicas y de operación. Capitulo tercero esta dedicado al sistema radar secundario, detallando el proceso de intercambio de información entre el blanco (aeronave) con el interrogador / receptor. Capitulo cuarto describe el proceso y tratamiento realizado a la información radar primario y radar secundario, para ser enviada a los centros de control y salas radar, para su explotación. Capitulo quinto hace referencia y explica el tratamiento realizado a la información radar proveniente de diferentes sensores, con el fin efectuar el tratamiento multiradar. Capitulo sexto presenta las características básicas del protocolo asterix.

---

\*Trabajo de investigación.

\*\*Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. Julio Augusto Gelvez Figueredo.

## **ABSTRACT**

**TITTLE :** RADAR AND MULTI-RADAR SYSTEM \*

**AUTHOR :** JAIRO MAURICIO GALLO MENDIETA \*\*

**KEY WORDS:** RADAR

MULTI-RADAR

STANDARD ASTERIX

## **DESCRIPTION**

The radar and multi-radar concept is related to certain aspects that are considered important in terms of the national and international air security. The devices installed in the different aeronautical stations form a net which gurantees the air traffic control service all over Colombia. The radar systems acquired lately in the country use up-to-date technology, so they can gurantee an important techonological development on the national air security.

The following monograph has been made with the purpose of showing not only the radar and multi-radar system but also the asterix protocol, along with the devices that conform one radar station, its operation, the way of getting the data and, finally, its explotation and application to control the air traffic.

The first chapter presents the Aeronautica Civil's historical background and functions, together with a review on the radar system history and its techonological development and progress. Subsequently, the second chapter introduces the radar basic equations and a short description of the primary radar system, highlighting the characteristics of its techniquies and operation. Then, the third chapter is mainly dedicated to the secondary radar system, detailing the information exchange process between the target (airship) and the questioner/receiver. Right after, the fourth chapter describes the process of the treatment applied to the primary and secondary radars information in order to be delivered to the control centers and the radar rooms, so it can be exploited. Almost finally, the fifth chapter provides a reference along with an explanation of the radar information treatment that comes from the different sensors with the purpose of executing the multi-radar system. Last but not least, the sixth chapter presents the basic characteristics of the asterix protocol.

---

\* Work of Investigation.

\*\* Electric, electronic and telecommunications engineering school. Julio Augusto Gélvez Figueredo.

## INTRODUCCIÓN

A fin de optimizar los servicios de vigilancia en el espacio aéreo colombiano, la Aeronáutica Civil de Colombia esta terminando la instalación de una red de radares a nivel nacional. El investigar y tratar un tema como la infraestructura radar de la Aerocivil, con lleva a presentar un enfoque correspondiente a la actividad aeronáutica la cual se desarrolla como una parte de una cadena de servicios de valor agregado.

Estos servicios a la navegación en el espacio aéreo colombiano se implementan para alcanzar los siguientes compromisos: mantener y operar en óptimas condiciones la infraestructura de ayudas a la navegación, para proporcionar la seguridad, continuidad y regularidad en las operaciones de tránsito aéreo. Mantener la disponibilidad de los sistemas y equipos radar para proporcionar un servicio eficiente en la navegación Aérea, con una cobertura total de nuestro territorio patrio.

Los compromisos de mejorar en la seguridad aérea se han logrado con la adquisición de modernos sistemas digitales de comunicación para diferentes Aeropuertos tal como el aeropuerto Palo Negro de la ciudad de Bucaramanga. Además se ha modernizado el sistema radar con tecnologías de punta y se continua actualizando y modernizando la red de información aeronáutica.

Partiendo de este contexto la Aeronáutica Civil de Colombia posee en la actualidad una serie de estaciones radar a lo largo y ancho del territorio colombiano y también se encuentra en proceso de adquisición de nuevos equipos radar. La capacidad técnica de la aviación civil colombiana se encuentra en un nivel envidiable y actualmente se está estructurando un plan de transición de los sistemas de comunicación, navegación, vigilancia y

gestión del tráfico aéreo con base en recursos satelitales, lo cual compromete la adquisición de nuevas tecnologías.

En la actualidad Colombia es considerada a nivel Centro y Suramericano, como uno de los países mejor dotados en los sistemas de comunicaciones, tierra aire para apoyo en vuelo de aeronaves domésticas e internacionales. Esto se debe a los sistemas de telecomunicaciones, radar y equipos de radio-ayudas ubicados estratégicamente, por todo el territorio nacional.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente la UAEAC (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil) posee una moderna infraestructura de comunicaciones y radares los cuales juegan un papel importante para la seguridad y las comunicaciones aeronáuticas en el país. La falta de una relación entre la UIS (Universidad Industrial de Santander) y el sector empresarial como la Aeronáutica Civil hace que la mayoría de futuros ingenieros desconozca los avances tecnológicos que ocurren en nuestro país en esta área y por lo tanto tengan menos oportunidades de participar en ellos. Se detecto la necesidad de presentar un estudio no solo de las tecnologías de radar actuales, sino una visión futura de multiradar. El actual proyecto pretende hacer un aporte en el área de las telecomunicaciones, realizando un estudio del protocolo asterix aplicado en los diferentes sistemas radar y sistemas de vigilancia.

### **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La Aeronáutica Civil por intermedio de la división de Telecomunicaciones y ayudas a la navegación aérea, ha realizado en los

últimos años una verdadera renovación y modernización de los sistemas de telecomunicaciones y radar. Estos sistemas hacen parte de una moderna infraestructura que hace parte de la moderna red de telecomunicaciones aeronáuticas, propias de la Aeronáutica Civil y es una de las herramientas importantes de trabajo utilizada por los controladores de tránsito aéreo.

Esta infraestructura de sistemas radar se ha venido implementando con diferentes tecnologías y fabricantes lo cual ha generado problemas de orden técnico, no solo a nivel de nuestro país, sino también en otros países del mundo. Debido a esta variedad de tecnologías presente en los sistemas de telecomunicaciones y radar, Eurocontrol esta implementando el protocolo asterix, cuya finalidad es hacer compatibles las diferentes señales radar que provienen de las estaciones sensoras remotas, para realizar el multiradar en los diferentes centros de control del país.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

- Realizar un estudio teórico de los conceptos asociados al sistema radar, el tratamiento que se da a los datos obtenidos y su utilización con el fin de aumentar los índices de seguridad y mejoramiento en la prestación de los servicios de tránsito aéreo y su repercusión directa en la seguridad aérea nacional e internacional.

### **ESPECÍFICOS:**

- Realizar un estudio básico sobre los diferentes equipos, partes y elementos que conforman un sensor o cabeza radar.
- Presentar un estudio que integre las diferentes tecnologías de radar en el proceso llamado multiradar y la utilización de esta información en el control del tránsito aéreo.
- Presentar un estudio del protocolo asterix como elemento clave para realización práctica del sistema multiradar.
- Realizar un análisis crítico sobre los resultados de la implementación del sistema multiradar en Colombia.

## **1. AERONAUTICA CIVIL**

Al fundarse en 1919 la primera empresa comercial de aviación en el país, el estado vio la necesidad de crear un organismo a cuyo cargo estuviera el control de la aviación en todos los aspectos. Por medio de la ley 126 de 1919 se autorizó por primera vez al poder Ejecutivo para que reglamentara todo lo relacionado con la aeronavegación. En un comienzo se creó la Comisión Técnica de Aviación para asesorar al Ministerio de Industria. Despacho al cual estaba adscrita la Aviación Civil; al trasladar el conocimiento de los problemas de aviación al Ministerio de Guerra, se estableció una Dirección de Aviación.

La ley 89 de 1938 centralizó el control de la aviación en un organismo especial denominado Dirección General de la Aeronáutica Civil, encargado especialmente de lo relacionado con los servicios de Aeródromos, rutas aéreas, radiocomunicaciones aeronáuticas, meteorología, vigilancia de personas, materiales e instalaciones destinados a la navegación aérea.

Desde el año 1919 nuestro país es miembro activo de los convenios Internacionales relacionados con la aviación civil. Es así como en la convención realizada en Chicago en el año de 1944, se creó la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI); este convenio fue ratificado por el Congreso con la ley 12 de 1947; por el Decreto 969 de 1947, por el cual se reglamenta la estructura de la Aeronáutica Civil, adscribiéndola de nuevo al Ministerio de Guerra hasta el año de 1951, fecha en la cual se trasladó al Ministerio de Obras Públicas.

El rápido avance tecnológico hizo pensar en la necesidad de crear un organismo nacional, encargado del control y prestación de servicios de aeródromos y aeronavegación para ejercer un control directo del espacio aéreo en razón de la seguridad que demanda la defensa de la soberanía nacional.

Para tal fin, la nación optó por comprar los aeródromos ya existentes, la mayoría de éstos de propiedad de Avianca, con todas las instalaciones de radioayudas de navegación y comunicación, además de la construcción y mantenimiento de nuevos aeropuertos más la adquisición de equipos de radioayudas y servicios aeroportuarios, para su normal funcionamiento. Es así como el gobierno nacional en 1954, mediante decreto 3269 del 10 de noviembre, creó el Instituto descentralizado denominado Empresa Colombiana de Aeródromos (ECA), encargado de la construcción, mejora y mantenimiento de los aeropuertos públicos, dotado de personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio propio.

En 1956 se adscribieron las funciones al Ministerio de Guerra. Posteriormente, con el fin de dotar a la autoridad aeronáutica de una autonomía administrativa y financiera se creó el Departamento Administrativo de Aeronáutica Civil (DAAC), mediante decreto 1721 del 18 de julio de 1960, con unas funciones técnicas y administrativas específicas, para dirigir la política aeronáutica.

El decreto 3140 de 1968 suprimió la ECA y se creó el Fondo Aeronáutico Nacional (FAN), establecimiento público adscrito al Departamento Administrativo de Aeronáutica Civil "DAAC". Mediante la Ley 3a. y decreto 2332 de 1977 se reorganizó el Departamento Administrativo de Aeronáutica Civil.

El Departamento Administrativo de Aeronáutica Civil y el Fondo Aeronáutico Nacional, en el año de 1984, determinaron un convenio con la Fuerza Aérea Americana, cuyo objetivo es establecer los términos y condiciones bajo los cuales la FAA proveerá ayuda al DAAC/FAN, para el desarrollo y modernización de la infraestructura de la aviación civil de la República de Colombia, en las áreas Gerencial, Operativa y Técnica.

### **1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE RADAR**

Robert Watson-Watt entró a la Fuerza Aérea británica con la idea de estudiar un método para anticipar la "llegada" de una tempestad. Siendo ésta un fenómeno eléctrico, cuyos sonidos podían ser escuchados en un receptor, pensaba que podía haber un sistema para saber a qué distancia se estaban produciendo los "ruidos de la tempestad" y determinar su dirección y fecha de llegada al punto interesado.

Como no tenía medios propios –era hijo de un carpintero escocés-, se refugió bajo las alas de la Fuerza Aérea, y obtuvo cooperación de la BBC de Londres. Pudo al fin establecer que los movimientos de las tempestades podían ser determinados a 7.200 kilómetros de distancia. En 1935 lo habilitaron para que explorara las posibilidades reales de una hipótesis que venían alentando desde años antes. Watson-Watt decía que una onda de radio que choca con un avión en vuelo es reflejada, y que este "eco" puede ser recibido en tierra, permitiendo determinar la distancia a que se encuentra el avión, su velocidad y dirección. Pero fue Watson-Watt quien inventó el sistema completo para descubrir a distancia los aviones en pleno vuelo. Su invento fue bautizado como **Radar**, lo que es una abreviación de "Radio Detection and Ranging", frase inglesa que señala el descubrimiento y

determinación de la distancia a que se encuentra un aparato por medio de ondas electromagnéticas.

En 1936 Watson-Watt había logrado localizar aviones en vuelo hasta 120 kilómetros de distancia. Tres años más tarde, o sea seis meses antes del estallido de la Segunda Guerra Mundial, las Islas Británicas tenían un cinturón de estaciones de radar capaz de avisar anticipadamente el vuelo de aviones enemigos. Gracias al radar, los cazas ingleses pudieron interceptar a los atacantes antes de que llegaran a sus objetivos, impidiéndoles en gran porcentaje descargar sus bombas sobre centros vitales.

El invento del radar se mantuvo en secreto. Watson– Watt fue condecorado en 1942, pero su logro no fue dado a conocer en aquel tiempo, sino al término del conflicto.

Desde aquella época el radar ha sido perfeccionado y puesto al servicio del hombre en tiempos de paz. Barcos y aviones navegan a ciegas con el "bastón" del radar, que les avisa la presencia, distancia y forma del obstáculo que se interpone en su ruta. Las nubes, tempestad, niebla, iceberg y choques con otras naves han dejado de ser obstáculos insalvables para la navegación.

## **2. FUNDAMENTOS DE RADAR**

El siguiente capítulo muestra fundamentos básicos de radar y una serie de ecuaciones a las cuales no se le realizó un profundo análisis matemático. El sistema de radar primario se caracteriza por una respuesta pasiva del blanco o avión a la interrogación de la estación terrestre, la energía electromagnética radiada por la antena directiva, conectada al emisor radar terrestre, se refleja en el blanco constituido por el avión, y una pequeña fracción de dicha energía regresa a la misma antena que se encuentra también conectada al receptor radar. Se puede decir sencillamente que el radar primario permite contestar a las siguientes preguntas:

¿Está un blanco al alcance del radar terrestre?

¿A qué distancia y con qué dirección con respecto a la antena de dicho radar?

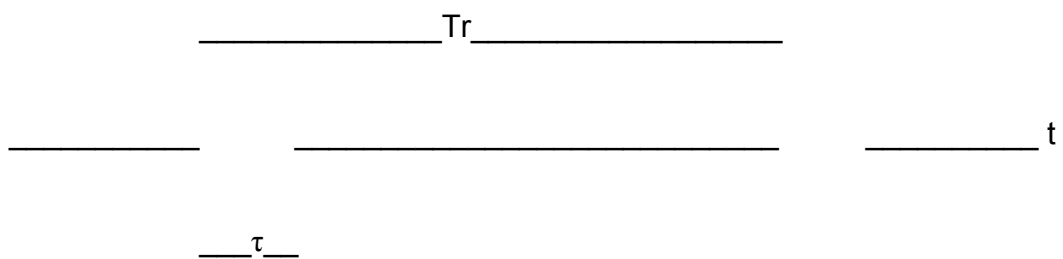
Los equipos de radar son muy diversos, sea como consecuencia de sus finalidades: radar de vigilancia de zona de control aéreo o ruta, de aeropuerto o aproximación, de pista y meteorológico.

### **2.1 DETECCIÓN DEL BLANCO**

La detección se realiza por medio de la reflexión en el blanco de la energía electromagnética emitida por el radar terrestre. El porcentaje de energía recibida después de esta reflexión, con respecto a la energía emitida, depende de la frecuencia de la onda portadora. Por lo tanto la elección de dicha frecuencia es muy importante, ya que la elección de la frecuencia

de la onda portadora también dependen ciertas características de los equipos. En el radar primario la interrogación consiste simplemente en la generación y propagación de breves impulsos de energía de muy alta frecuencia.

Figura 1. Pulso de interrogación PSR.



El periodo de repetición de los impulsos  $T_r$  es del orden del milisegundo que corresponde al período de recurrencia, por lo tanto la frecuencia de recurrencia es:

Frecuencia de recurrencia  $F_r = 1 / T_r$  es del orden del Kiloherz

## 2.2 NATURALEZA DEL BLANCO

Se llama “blanco” un obstáculo que se presenta en la trayectoria de una onda electromagnética y da lugar a una reflexión de esta onda. Un blanco puede ser el móvil que se quiere detectar pero también un cuerpo cualquiera en que se refleja la onda (edificios, montañas, bosques, nubes, etc.). El radar recibe ecos útiles que dan lugar a ecos útiles, y otros indeseables que dan lugar a ecos parásitos. Por lo tanto se genera un

problema de discriminación: es preciso visualizar los ecos útiles e impedir que los otros ecos afecten la presentación.

La energía electromagnética que regresa al radar después de haberse reflejado en el blanco es una parte mínima de la energía emitida y esto se debe a pérdidas por dos factores:

- Atenuación por propagación en la atmósfera.
- La dispersión por reflexión omnidireccional en el blanco.

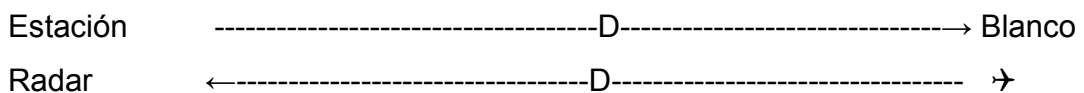
Las potencias recibidas son pues muy débiles, por lo tanto debajo de cierto nivel no se puede separar los impulsos recibidos por la antena del ruido del receptor, además como el ruido es una tensión fluctuante, se puede confundir picos de ruido con impulsos recibidos en la antena ( ecos falsos).

### 2.3 LOCALIZACIÓN DEL BLANCO

La localización del blanco se realiza por determinación de sus coordenadas polares. Es preciso determinar la distancia radar-blanco y determinar la dirección del blanco con respecto al norte magnético.

En un radar de vigilancia la indicación de dirección es únicamente acimutal, y no cenital. Para determinar la distancia  $D$  es preciso medir el tiempo  $T$  de la Señal en ir y volver de un impulso de energía electromagnética.

Detección del Blanco.



$$\text{Distancia} = 2D$$

Figura 2. Detección del Blanco

Siendo C la velocidad de propagación de la onda emitida ( $C = 300000 \text{ Km / s}$  ó  $C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ).

Entonces  $2 \times D = C \times T$  y es igual a  $D = C \times T / 2$  por lo que la medición de distancia se vuelve realmente es una medición de tiempo. Para detectar y localizar a los aviones en distancia y acimut, se realiza la exploración del espacio aéreo por medio de una antena directivo cuyo diagrama de radiación acimutal (horizontal) es muy agudo mientras que el diagrama de radiación cenital (vertical) es más ancho para poder alcanzar aviones en diferentes altitudes.

#### 2.4 ECUACIÓN DE RADAR PRIMARIO

El emisor Radar emite potencia de cresta  $P_c$  radiada uniformemente en todas las direcciones, con antenas omnidireccionales. La densidad de potencia ó potencia recibida por unidad de superficie a una distancia R de la fuente será igual a:

$$\frac{d P}{d S} = \frac{P_c}{4 \pi R^2}$$

La ganancia máxima  $G_o$  es la relación del rendimiento máximo de la potencia emitida  $P'$  por una fuente isotropica a la potencia emitida por la fuente directiva:

$$G_o = \frac{P'}{P}$$

La potencia recibida ó nivel del blanco radar es entonces:

$$\frac{d P}{d S} = \frac{P_c}{4 \pi R^2} G_o$$

Si el blanco es un obstáculo isotrópico perfecto, el reflejo de la superficie (tao) de la potencia recibida y reflejada omnidireccionalmente será:

$$\frac{d P}{d S} = \frac{P_c G_o}{4 \pi R^2} \sigma$$

A nivel de la antena radar y a la distancia R del blanco y por unidad de superficie, encontramos que la potencia reflejada es:

$$\frac{d P}{d S} = \frac{P_c G_o \sigma}{4 \pi R^2} \times \frac{1}{4 \pi R^2}$$

También se sabemos que la superficie equivalente Ae presente por la unidad de área es común a la emisión y a la recepción, y se encuentra clasificada en la ecuación:

$$G = \frac{4 \pi A_e}{\lambda^2}$$

Finalmente el nivel de potencia recibido en la antena por una superficie aparente es:

$$A_e = \frac{G_o \lambda^2}{4 \pi}$$

Entonces tenemos que:

$$Pr_{Antena} = Ae \times \frac{dP}{dS} = \frac{Pc Go \sigma}{4 \pi R^2} \times \frac{1}{4 \pi R^2} \times \frac{Go \lambda^2}{4 \pi}$$

Por lo tanto la ecuación básica de Radar la podemos expresar como:

$$Pr_{antena} = \frac{Pc Go^2 \lambda^2 \sigma}{(4 \pi)^3 R^4}$$

Como sabemos que la potencia recibida corresponde a una señal mínima detectable, la distancia radar correspondiente será, por definición el alcance máximo de un radar y se escribe en la ecuación:

$$S_{mínimo} = \frac{Pc Go^2 \lambda^2 \sigma}{(4 \pi)^3 R^4_{máxima}}$$

Por lo tanto corresponde a un alcance máximo:

$$R_{máximo} = \left( \frac{Pc Go^2 \lambda^2 \sigma}{(4 \pi)^3 S_{mínimo}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Figura 3. Diagrama en Bloques de la Estación Radar.

ESTACION CABEZA RADAR  
FUNCIONAMIENTO EN DIVERSIDAD

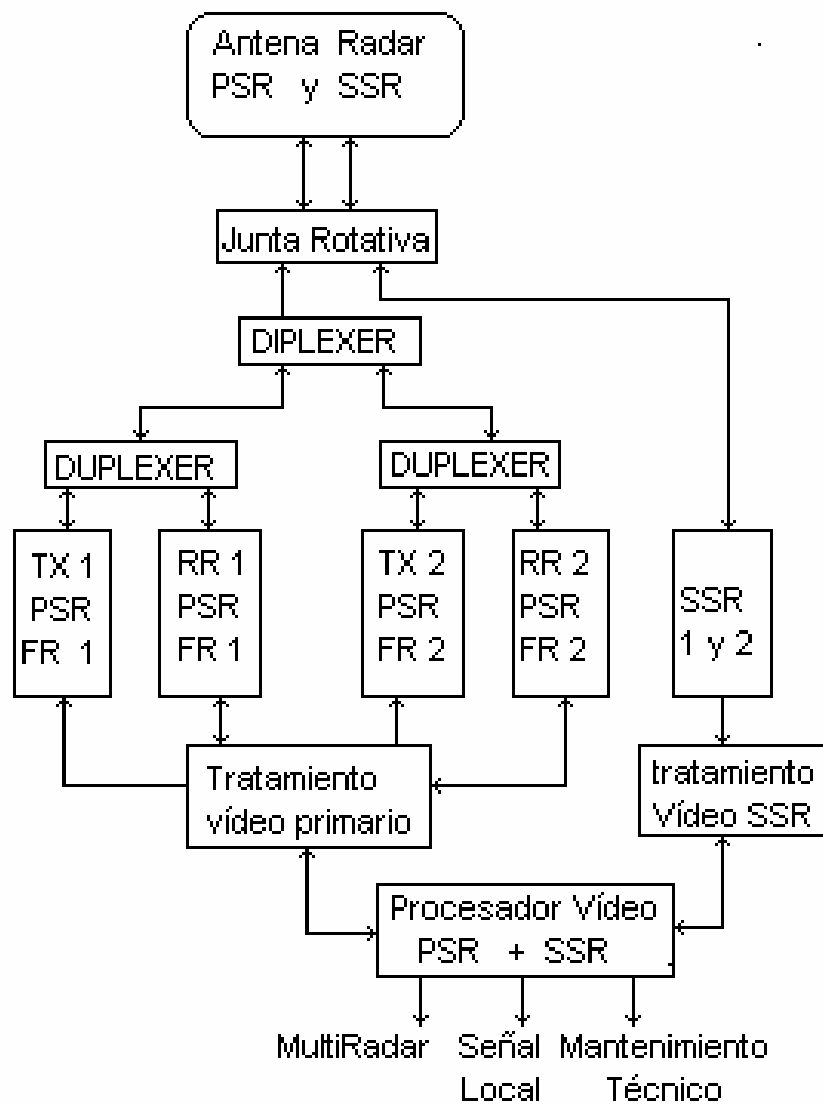


Tabla1: Bandas de Frecuencia.

BANDAS DE FRECUENCIA RADAR

Nomenclatura	Margen de Frecuencias	Bandas basadas en las Asignaciones de la UIT.
VHF	30 – 300 Mhz	137 – 144 Mhz 216 – 225 Mhz
UHF	300 – 1000 Mhz	420 – 450 Mhz 890 – 940 Mhz
Banda P	230 – 1000 Mhz	
Banda L	1000 – 2000 Mhz	1215 – 1400 Mhz
Banda S	2000 – 4000 Mhz	2300 – 2550 Mhz 2700 – 3700 Mhz
Banda C	4800 – 8000 Mhz	5255 – 5925 Mhz
Banda X	8000 – 12500 Mhz	8500 – 1700 Mhz
Banda Ku	12.5 -- 18 Ghz	13.4 – 14.4 Ghz 15.7 – 17.7 Ghz
Banda K	18 – 26.5 Ghz	23 – 24.25 Ghz
Banda Ka	26.5 – 40 Ghz	33.4 – 36 Ghz
Milimétrica	> 40 Ghz	

**Fuente:** Manual de Ingeniería Electrónica

## **2.5 SISTEMA DE ANTENA**

Luego de haber visto la presentación de las ecuaciones básicas del sistema radar, se continua con lo concerniente al grupo de la antena en un sistema radar, la cual en el sensor radar concentra la potencia emitida en una dirección definida y gracias a esta antena se obtiene la posición del blanco. El duplexor permite que con una sola antena se pueda transmitir y recibir la señal radar en instantes de tiempo diferentes. El sistema de antena para su presentación se ha dividido en tres grandes partes:

**2.5.1 Conjunto del reflector.** El conjunto del reflector se construye en forma compuesta o módulos para reducir significativamente el peso y al mismo tiempo incrementar la rigidez de todo el conjunto. Este reflector esta fabricado a partir de un compuesto optimizado de fibra de carbono que proporciona una estructura ligera pero a la vez con una gran rigidez por este motivo se realiza la construcción compuesta en una sección transversal que genera muy poco peso y al fabricarse en varias capas de fibra reforzada. El reflector esta sellado ambientalmente ante lo cual puede soportar condiciones atmosféricas extremas como temperaturas muy bajas o muy altas y gran cantidad de humedad constante o lluvia así mismo soporta condiciones adversas durante el traslado.

El haz principal, usado para transmitir la señal Radar y recibirla esta nominalmente dirigido a  $+3.0^\circ$  de elevación con relación al horizonte y el único haz auxiliar de recepción esta nominalmente dirigido a  $2.0^\circ$  en elevación por encima del haz principal.

El reflector puede ser inclinado manualmente en elevación entre  $-3.0^\circ$  y  $+6.0^\circ$  para lograr ajustarse al terreno.

**2.5.2 Conjunto de alimentación.** Este conjunto de alimentación hace referencia a las estructuras de tres canales de señal para el radar primario: que son el principal de guía de onda, el canal auxiliar de coaxial y un canal de prueba. Para el radar secundario utilizamos canal suma ( $\Sigma$ ) y el canal delta ( $\Delta$ ).

**2.5.3 Conjunto del pedestal.** Este elemento soporta los dos motores eléctricos con sus respectivas acometidas eléctricas. Además soporta los rodamientos o cojinetes de gran diámetro, este cojinete está ubicado en la parte inferior de la estructura formando parte del mecanismo de rotación y también del mecanismo de inclinación de elevación. El cojinete es movido por dos motores montados verticalmente con cajas de engranajes epicíclicas en línea. Con esta distribución se logra una ubicación y montaje apropiado para la junta de guía de onda rotatoria, los anillos de rozamiento y el indicador de posición de ángulo o señal norte.

El conjunto del pedestal también permite un excelente acceso para trabajos de mantenimiento. Está lubricado por un baño de aceite lo que proporciona una gran confiabilidad y un mantenimiento reducido en los sistemas hidráulicos, este cambio de aceite se realiza anualmente. El baño de aceite del pedestal tiene un volumen fijo a un nivel que mantiene la lubricación constante en el cojinete o rodamiento y en el mecanismo de engranaje final. La caja de engranaje suspendida de los ejes, está completamente llena en todo momento y un sistema cuidadosamente diseñado sin fricción permite el respaldo para el aceite de alta calidad que opera en los casquetes. Un embrague electromagnético permite remover uno de los motores eléctricos, cuando uno de estos falle sin tener que parar o detener la antena. Esta unidad giratoria está diseñada con elementos técnicos de gran calidad para garantizar una vida útil de 20 años con una utilización del ciento por ciento todos los días del año.

## 2.6 RADAR PRIMARIO (PSR)

Como se había mencionado antes en el radar primario se caracteriza por la respuesta pasiva del blanco (avión), el impulso de respuesta es una réplica del impulso de interrogación emitido pero degradado en el proceso de propagación y reflexión, ya que la energía reflejada por el avión hacia la antena radar no es más que una parte débil de la energía incidente. Para luchar contra los efectos de esta degradación, es necesario tener gran potencia en transmisión y una gran sensibilidad en la recepción sin que se aumente el nivel de ruido del receptor.

Además, las respuestas de los aviones a la interrogación del radar tiene que ser distinguidas de los ecos parásitos, estos ecos parásitos provienen de la lluvia ó de las nubes ya que las gotas de agua no son homogéneas ni totalmente esféricas. Los ecos parásitos que provienen de obstáculos fijos como los sistemas montañosos se eliminan utilizando la velocidad radial de los aviones y las tarjetas MTI en el receptor Radar.

Para el análisis teórico del sistema Radar se ha tomado como base un sistema radar de punta, de estado sólido de alto desempeño en Banda S que usa un conjunto de haz de exploración de alimentación dual sobre la antena que es explorado en acimut ( Radar monopulso: se llama monopulso porque obtiene la dirección del blanco midiendo simultáneamente la amplitud o la fase de dos señales que proceden simultáneamente de un solo impulso de emisión). Pero se debe mencionar que la Aeronautica Civil posee aun estaciones radar que no son de estado sólido totalmente y cuya parte final de alta potencia es modulada por un magnetrón.

Los haces de exploración usados en el proceso de detección proporcionan detección simultánea de blancos desde el horizonte hasta

30.000 pies. Por medio del uso de alimentaciones duales el sistema Radar puede efectuar algoritmos de detección-altura sobre blancos que tienen una elevación de hasta 7.5°. Una característica importante de la señal radar

es su relación de potencia pico a su potencia media efectiva, la cual debe ser de gran potencia en ciertos casos de millones de watios. Sin embargo se debe mencionar que la potencia media de una señal de pulsos es mucho menor que la potencia pico de los pulsos individuales. Por lo tanto los transmisores de radar pueden suministrar una gran cantidad de potencia útil para los pulsos, pero la potencia media es mucho menor. El intervalo de tiempo entre los pulsos esta en función de la distancia máxima que puede cubrir el sistema radar.

**2.6.1 Transmisor radar primario.** (Tx) El Transmisor radar primario es una unidad totalmente en estado sólido, que proporciona la etapa de amplificación final para los pulsos generados en el procesador de señal analoga. Tiene una cadena de amplificación de tres etapas que usa un conjunto de amplificadores de alta potencia (HPAA) y un mezclador/divisor radial que proporciona una combinación eficiente de las salidas de alta potencia en forma individual.

La energía AC que alimenta la unidad es trifásica 208/120 VAC filtrada. Posee dos suministros de energía, cada una contiene tres fuentes de 42.5 voltios, 90 Amperios y dos fuentes multi-voltaje de energía de baja tensión que proporciona la energía primaria para el transmisor. Las fuentes de 42.5 voltios son convertidores AC/DC distribuidos en la entrada trifásica, posee una configuración redundante para proporcionar carga continua de corriente sin interrupción de energía en caso de falla en el suministro de AC. En operación con carga total el transmisor utiliza cuatro de las seis fuentes que posee, lo que permite un mantenimiento técnico y

el reemplazo de uno de estos elementos si presenta daños o se llegase a quemar.

El conjunto mezclador/divisor permite una combinación de etapa, los circuitos de estas unidades con forman una estructura lineal de transmisión radial de muy baja perdida y con una excelente fase y balance.

A nivel del sistema esto da como resultado una ruta de energía más eficiente en el pulso de transmisión. La capacidad de “ hot swap” de los HPAA permite una degradación de potencia más suave ante el daño de una o más unidades de alta potencia hasta que se logre su reemplazo. Ante lo cual el transmisor puede seguir en emisión sin quedar fuera de servicio y trabajar con una serie de unidades de alta potencia dañadas.

Las unidades de potencia HPAA de los transmisores están conformadas por dos circuitos de alta potencia cada uno entrega una potencia nominal de 525 watios de potencia pico, estos comparten una regulador de voltaje ACC y se instalan en un rack común. La unidad ACC proporciona el voltaje regulado para todos los transistores colectores, lo cual permite una capacidad de almacenamiento de energía necesaria para los pulsos largos de 120 microsegundos y los circuitos PM/FL. Cada tarjeta HPAA es una cadena de transistores de amplificación de tres etapas cada uno con una ganancia total de 20 dB. El diseño de este circuito es tal que requiere un número mínimo de transistores para ser combinados y proporcionar la salida total de potencia para el módulo. El diseño de las tarjetas HPAA proporcionan beneficios, entre los cuales esta una disminución del pulso debido a la proximidad del capacitor de almacenamiento de energía a los transistores colectores, otorgando más

estabilidad pulso a pulso debido a que se reduce a la mitad el número de reguladores de voltaje.

Un pulso de entrada único de RF que viene del procesador de señal análoga es enrutado hacia la unidad motriz, la cual amplifica el pulso en dos etapas y lo envía a la sección divisor del conjunto radial divisor/mezclador. Las salidas del divisor son enviadas vía cables de fase igualados a las entradas de las unidades de potencia HPAA. Cada una de las señales RF es amplificada a 525 vatios luego es combinada en la sección mezcladora del conjunto divisor/mezclador. Esta salida es dirigida a través del conjunto guía de onda integrada y enviada a la antena.

Un diodo de carga se utiliza para protección del transmisor en caso de excesiva potencia reflejada o amplitud del pulso RF muy grande. También se usa para inhibir amplificación de RF en un intervalo de operación del transmisor radar. Las etapas redundantes de Pre-driver y amplificación del driver son intercambiadas automáticamente si uno de los canales no entrega el nivel de energía RF adecuado. El conjunto integrado de guía de onda proporciona conexión de salida de alta potencia desde el mezclador hasta la guía de onda que sale de los equipos radar, eléctricamente tiene cuatro funciones:

1. Filtra la energía armónica generada por los transistores HPAA para reducir la posible interferencia en otros equipos que se utilizan en operaciones Aeronáuticas.
2. Proporciona acoplamiento de energía RF en emisión y en reflejada para protección y calibración de equipos.
3. En ruta toda la energía recibida en antena hacia el receptor.
4. Dirige la energía recibida hacia el receptor correspondiente (El sistema radar primario trabaja diversidad de frecuencia) esto permite redundancia completa en la función de recepción de la señal radar.

**2.6.2 Receptor primario radar (Rx).** A continuación se analiza la sección correspondiente al receptor radar, el cual debe ser capaz de amplificar una señal muy débil del orden de  $-105\text{dBm}$  en una frecuencia muy alta dependiendo del tipo de radar que se este utilizando. Cuando la señal llega reflejada del blanco, se realiza una primera amplificación en el modulo amplificador parametrico, después se realiza una mezcla de la señal recibida con la frecuencia del oscilador local del receptor, obteniendo de esta forma

una frecuencia intermedia (IF) de  $30\text{ Mhz}$  la cual también se amplifica para poder obtener los blancos Radar.

**2.6.2.1 Procesador de señal análoga.** El procesador de señal análoga (ASP) contiene 10 conjuntos de tarjetas de circuitos (CCAs) dentro de un rack estándar de 19 pulgadas, estas tarjetas CCA se deslizan verticalmente en el rack para facilitar las labores de mantenimiento. Las funciones de Radar proporcionadas por el ASP incluyen dos canales de recepción, un oscilador local (LO), generación de reloj o sincronismo (SYN) y excitación de transmisor.

Los dos canales receptores dentro del ASP están conformados por cuatro tarjetas CCA (dos tarjetas CCA por canal). Cada canal tiene un módulo conversor receptor down (RDM) y un módulo conversor análogo a digital (ADCM). El ERDM acepta la señal recibida de los blancos banda-S desde el conjunto LNA y lleva a cabo una conversión triple de frecuencia.

La primera conversión es de banda-S a la primera frecuencia intermedia (IF) de  $675\text{ MHZ}$ . La segunda frecuencia IF pasa a través de un filtro de banda muy angosta y se convierte en una tercera IF que está centrada en  $2.5\text{ MHZ}$ . El RDM también proporciona una ganancia nominal de  $44\text{ dB}$  y una atenuación programable de  $0$  a  $15.5\text{ dB}$  más un circuito de detección de falla para el PMFL. La tercera salida IF del RDM alimenta al ADCM que toma la señal análoga de  $2.5\text{ MHZ}$  y la convierte en datos digitalizados de  $16\text{ bits}$  y

la envía al DSP para su procesamiento. La segunda función principal que proporciona el ASP es la generación de los OL y el reloj (SYN) para sincronizar todas las tarjetas del sistema.

Esta función se realiza vía tres tarjetas CCA, principalmente el módulo divisor maestro (MDM), el módulo generación LO (LOGM) y el módulo distribución RF (RFDM), este módulo tiene un oscilador de referencia primaria a 100 MHz. Todas las señales de transmisión, OL y relojes de procesamiento son coherentes con esta frecuencia. Por medio del uso de redes divisoras de ruido de fase baja, la señal de 100 MHz es dividida por el MDM para proporcionar señales análogas o procesamientos de reloj al LOGM.

Generadores de forma de onda análoga (AWG), control de forma de onda digital (DWC), DSP y ADCM conforman el grupo básico de tres señales análogas requeridas. 50, 20 y 2.5 MHz estas tres señales son generadas desde el MDM al LOGM para crear el segundo oscilador local a 750 MHz y el tercer OL a 77.5 MHz.

La tercera función del ASP es la generación de forma de onda y excitación de transmisión la cual posee tres tarjetas para soportar esta función. Las tres tarjetas CCA son: el DWC, AWG y el módulo conversor UP (UPCM). El AWG recibe formas de onda básica en forma digital desde el DWC, el AWG transforma esta señal digital en señal análoga centrada en 2.5 MHz. Esta señal de 2.5 MHz es convertida a 75 MHz de IF al mezclarla con el tercer LO a 77.5 MHz es filtrado y amplificado antes de alimentar el UPCM el cual acepta la IF de 75 MHz con el segundo LO a 750 MHz y luego mezcla el resultado con el primer LO sintonizado a 675 MHz por debajo de la frecuencia deseada de transmisión.

**2.6.2.2 Procesador de señal digital.** El DPS consiste en un juego de tarjetas COTs de procesamiento de señal y una tarjeta de interfase de video. El DPS está conformado por un juego de tarjetas DPS mercury que

consiste en una tarjeta madre común con lugares disponibles para dos tarjetas hijas. La tarjeta madre proporciona la interfase con el VME así como la interfase al raceway mercury.

El convertor A/D está alojado también en esta sección. La ventaja importante de la arquitectura DSP es que no existe pérdida de cuantificación después de las conversiones A/D ya que los datos son convertidos a punto flotante IEEE antes que tenga lugar cualquier operación posterior y cabe notar que en este tipo de conversión solo hay una pérdida total de 2.77 dB.

### **2.6.2.3 Sintetizador de frecuencia digital.**

Es un sintetizador análogo directo que proporciona ruido de fase bajo, espurias bajas y velocidades de intercambio rápidas. Es sintonizable en incrementos de 1 MHz y tiene intercambios de tiempo de menos de un microsegundo.

El sintetizador se utiliza para proporcionar el primer oscilador LO para conversión down de recepción y excitador conversión UP. El sintetizador siempre está sintonizado programado digitalmente a 675 MHz por debajo de la frecuencia deseada de transmisión.

Al finalizar este segundo capítulo se puede decir que al modificar ciertos parámetros en las ecuaciones como son potencia de transmisión y ángulo de antena se puede mejorar o disminuir la detección del sistema radar. Además cuando se hace referencia a trabajar en diversidad esto significa que en el radar primario existen 2 cadenas de equipos Tx/Rx cada una trabajando en diferente frecuencia por ejemplo: Estación radar Carimagua (Meta) frecuencia de Tx la cadena uno es 1300 Mhz y la frecuencia de Tx de la cadena dos es 1345 Mhz.

### **3. FUNDAMENTOS DE RADAR SECUNDARIO (SSR)**

En el siguiente capítulo analiza el sistema radar secundario, el cual es un equipo de características especiales ya que permite funciones adicionales de identificación, cálculo de la altitud y precisión en la ubicación acimutal, tomando una respuesta activa del avión, a una interrogación que realiza la estación terrestre de Radar.

El radar de vigilancia secundario es una tecnología desarrollada como parte de la estrategia de control de tránsito aéreo y vigilancia radar. La relación existente entre la estación de tierra y la aeronave es del tipo activo. Con esta respuesta activa del blanco se puede obtener una posición en tercera dimensión de la aeronave. A nivel mundial el radar secundario tiene la función de realizar la interrogación de las aeronaves. Esta función la realiza en la frecuencia de 1030 Mhz y las aeronaves contestan esta interrogación

en la frecuencia de 1090 Mhz, esta función de interrogar también se le denomina Modo y existen los siguientes tipos ó Modos: Modo 1, Modo 2, Modo 3/A, Modo B, Modo C, Modo D.

El equipo de a bordo de la aeronave distingue el Modo de interrogación y responde con una señal codificada la cual es preciso decodificar y tratar para obtener la información en la estación terrestre.

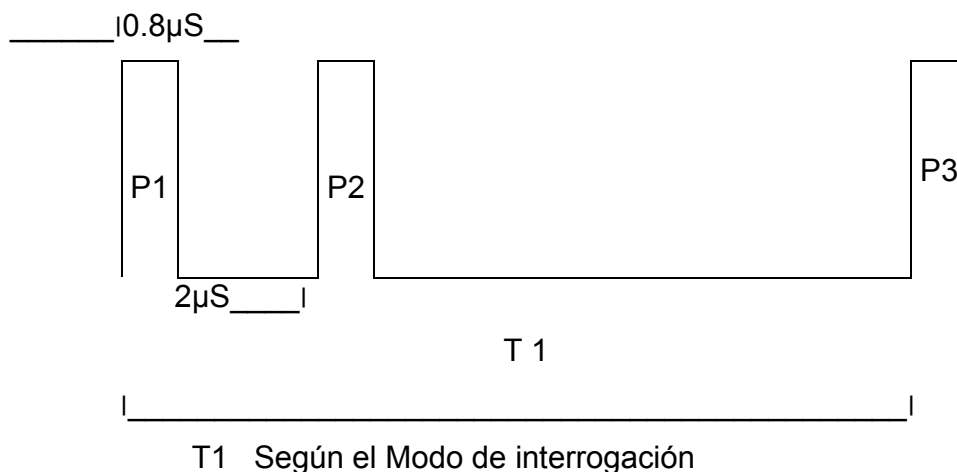
#### **3.1 LA INTERROGACIÓN EN RADAR SECUNDARIO**

Ahora se analiza lo referente a la forma de interrogar. Para su operación para efectos de vigilancia el radar secundario realiza una primera interrogación por aeronave por cada barrido de antena o sea por cada giro

de antena, haciendo esta interrogación sucesivamente, si no recibe una respuesta válida, el radar secundario envía una llamada general a todas las aeronaves que en ese momento se encuentran dentro del área de cobertura. De esta forma se logra que las aeronaves, que todavía no han sido interrogadas, respondan a dichas interrogaciones con una respuesta general, cuyo contenido incluirá la dirección exclusiva de la aeronave y a partir de este momento, las nuevas aeronaves que ya han sido incluidas en el proceso, pueden ser interrogadas individualmente. Este proceso de interrogación se realiza por medio de tres pulsos los cuales se modulan en la onda portadora estos pulsos son P1, P2 y P3 los cuales tienen las funciones de generar el Modo de interrogación y suprimir interrogaciones aleatorias.

Para definir el Modo de interrogación se fija un intervalo de tiempo T1 entre los pulsos P1 y P3, el pulso P2 se emite entre P1 y P3 para realizar la supresión de interrogaciones por lóbulos laterales.

Figura 4: Diagrama de pulsos de interrogación SSR.



Este tren de pulsos se repite periódicamente a la frecuencia de repetición del radar  $Fr = 1/Tr$

Hay que notar que  $T1$  es del orden de  $1/100$  de milisegundo y que el periodo de repetición  $Tr$  es del orden del milisegundo. Con base en lo anterior se muestra una serie de características adicionales aplicadas al radar secundario

Modos de interrogación del sistema SSR.

Frecuencia de interrogación	$1030 \pm 0.1$ Mhz.
Pulsos de interrogación	P1, P2, P3
Modos de Interrogación	1, 2, 3/A, B, C.
Separación entre pulsos 1 P1 – P3	
Modo1: Uso Militar	$T1 = 3.0 \mu s \pm 0.1 \mu s$
Modo 2: Uso Militar	$T1 = 5.0 \mu s \pm 0.1 \mu s$
Modo 3/A Carácter Universal	$T1 = 8.0 \mu s \pm 0.1 \mu s$
Modo B: Carácter Nacional	$T1 = 17.0 \mu s \pm 0.1 \mu s$
Modo C: Información de Altitud	$T1 = 21.0 \mu s \pm 0.1 \mu s$
Modo D: información Adicional	$T1 = 25.0 \mu s \pm 0.1 \mu s$
Separación pulsos P1 – P2	$T1 = 2.0\mu s \pm 0.1\mu s$ Todos lo Modos

Tabla 2: Modos de interrogación.

Hay que hacer referencia que en el Modo C el transponder ubicado en la aeronave recibe la interrogación del Radar Secundario y genera una respuesta codificada tomando como base los datos que genera el altímetro barométrico ubicado en el avión, existe una clave de respuesta para cada nivel de vuelo, tomando como base la altitud y la presión

atmosférica expresada en hecto-pies según la correspondencia de una atmósfera estándar: a un nivel cero o altitud cero corresponde a 1013.2 milibares de presión atmosférica y esto hace referencia al nivel del mar.

Esta se realiza de forma automática y es independiente del Modo de interrogación seleccionado y de la parte del mundo que se encuentre. Ahora veremos una descripción un poco más en detalle del Radar Secundario.

### **3.2 RADAR SECUNDARIO IRS-20MP**

En toda estación Radar independientemente en que sitio del planeta se encuentre ubicada, se posee un rack donde se ubica el radar secundario, este se encuentra conformado por un TX/RX que se denomina canal 1 o A. Todo radar secundario monopulso tiene como fin la transmisión y recepción de interrogaciones y respuestas. La señal recibida comprende el video que es procesado para extraer de él la información sintética correspondiente a cada blanco en lo referente a: distancia, acimut, posición angular, códigos de identificación.

En todo rack existen dos canales A y B esta configuración del equipo es de canal doble. Cada canal está compuesto de un transmisor y un receptor Monopulso (Tx/Rx), un extractor y una unidad de test o prueba UCS, encargada de realizar el control de los dos canales y la valoración de fallas en cada canal, así mismo determinar en forma automática o manual cual es el canal con mejor señal recibida. Además supervisa las comunicaciones con el resto de unidades del equipo. También realiza el monitoreo constantemente del canal que se encuentra en operación, mientras el otro canal se encuentra en reserva activa, produciéndose la conmutación automática en caso de presentarse una falla en el canal que se encuentre operativo.

**3.2.1 Transmisor SSR.** En esta tarjeta o modulo se recibe la señal del oscilador local LO a 1030 MHz que proviene del RX y se entregan al modulo de conmutación y test (MCT) la señal en RF de los pulsos de interrogación ya modulados son inyectados en el modulador. Dicha señal de RF del oscilador local, es modulada a bajo nivel por los pulsos de interrogación y se obtiene una señal de RF pulsada.

Esta señal se lleva al excitador el cual la eleva hasta aun nivel de potencia de 175 watos que es aproximadamente 52 dBm el cual es el nivel adecuado para excitar los módulos de potencia. El divisor de potencia divide la señal del excitador en cuatro señales iguales que son amplificadas por los módulos de potencia y recombinadas a la salida para obtener una potencia pulsada de RF de 2.5 Kwatios aproximadamente. Los módulos de potencia permiten ser desconectados de 1, 2 o 3 módulos para mantenimiento o reparación, pero al ejecutar esta acciones reducimos la potencia en 2.5, 6 y 12 dB respectivamente.

**3.2.2 Módulo receptor SSR.** Este módulo recibe las señales de los pulsos de las respuestas, moduladas a 1090 Mhz procedentes de las aeronaves y corresponden a los canales ohmnidireccional, suma y diferencia respectivamente. Una vez la señal recibida es filtrada, demodulada y amplificada, se envían a los dos extractores como señales de video bruto o crudo. Esta respuesta de la aeronave viene compuesta por una serie de pulsos codificados, según una clave también preseleccionada.

Estos pulsos tienen una duración más corta la cual es de 0.45  $\mu$ segundos mientras que los pulsos de interrogación generados en la estación Radar son de 0.8  $\mu$ segundos. Este grupo de pulsos según sus funciones y posiciones esta compuesto por tres grupos que son:

- 1- 2 pulsos de referencia designados por F1 y F2.

- 2- 1 pulso especial de identificación SPI, el cual va después de F2.
- 3- 12 pulsos de información que van localizados entre F1 y F2.

Los dos pulsos de referencia F1 y F2 constituyen respuesta elemental.

Que recibe el Radar Secundario y con base en esta información le permiten la localización del blanco.

Pulsos F1 - F2 y SPI recibidos en el Rx SSR.

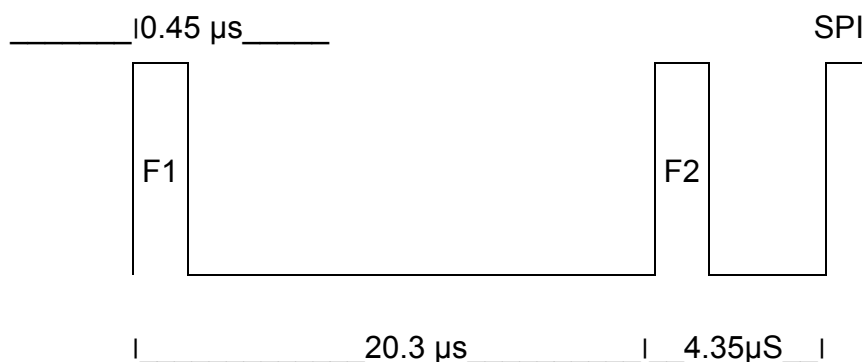


Figura 5: Pulsos de recepción

El pulso SPI emitido 4.35 μsegundos después de F2 sirve para una identificación especial. A petición del controlador se pulsa en el avión un botón del transponder que tiene por función incluir el pulso SPI durante 15 a 30 segundos, con lo cual se logra certeza sobre el blanco que genera la respuesta.

Para el tercer caso se intercalo una serie de 12 pulsos entre F1 y F2 cuya presencia de cada digito materializa un Uno binario y cuya ausencia de digito genera un Cero binario. Por lo tanto una serie de n pulsos permite obtener n posiciones binarias o bits de información, es decir 2<sup>n</sup> claves de respuesta.

A continuación se observa a modo de ejemplo la respuesta de un transponder en Modo 3/A. Dicha respuesta se compone de 16 posibles pulsos. La duración de cada pulso es de 0,45  $\mu$ s y la separación entre ellos es de 1,45  $\mu$ s, excepto la separación de la última posición que es de 4,35  $\mu$ s.

Tren de pulsos entre F1 y F2 recibidos por el Rx SSR.

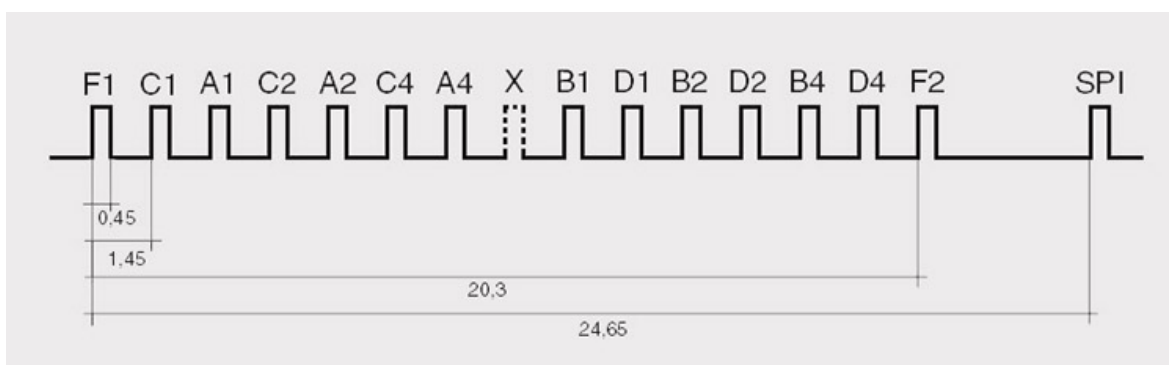


Figura 6: Tren de pulsos recibidos en el receptor del radar secundario.

Los pulsos F1 y F2 acotan la señal recibida. Las claves del transponder corresponden a los pulsos ordenados según: A4, A2 y A1. B4, B2 y B1. C4, C2 y C1. D4, D2 y D1. Al utilizar 12 pulsos se dispone de  $2^{12} = 4096$  claves distintas, estos 12 pulsos se reparten en cuatro grupos A, B, C y D de 3 pulsos con subíndice 1, 2 y 4 entonces tenemos ( $2^0, 2^1, 2^2$ ). Por lo tanto cada grupo de tres pulsos permite obtener  $2^3$  bits, ante la cual la presencia de A1, A2, A3 corresponde al dígito  $A = 1+2+4 = 7$ , en ausencia de todos corresponde  $A = 0+0+0 = 0$ .

Al realizar las diferentes combinaciones se obtienen las 4096 posibles respuestas del código transponder de la aeronave, cabe notar que un grupo de 1278 claves se destinan para cifrar la información de altitud.

El transponder mas utilizado en aviación privada y deportiva es el compatible con Modo A y C, aunque en los aviones comerciales ya se está extendiendo el uso del Modo S, el cual permite añadir información codificada que mejora la identificación y la información sobre la aeronave. La asignación de claves SSR las realiza el centro de control de tránsito aéreo (ATC) de acuerdo con la normatividad internacional vigente sobre navegación aérea. Existen unos códigos internacionales sobre peligros o fallas a bordo de la aeronave.

7500 INTERFERENCIA ILICITA. Se utiliza para notificar al centro de control que la aeronave se encuentra en situación de interferencia ilícita o secuestro.  
7600 FALLA DE RADIO. Una vez se tiene la certeza de que el receptor de radio tiene una falla se seleccionará esta clave para informar de tal suceso al centro de control y se proseguirá según los procedimientos de seguridad establecidos.

7700 EMERGENCIA. Salvo indicación contraria del ATC, es la clave que se seleccionará en el transponder para indicar que la aeronave se encuentra en una situación de emergencia que puede cubrir las antes mencionadas. El uso de estas claves, está limitado a situaciones reales como las descritas.

**3.2.3 Filtros preselectores.** Son filtros electromecánicos basados en cavidades resonantes, cuya función específica es la de permitir el paso de la señal de recepción de 1090 MHz, eliminando otras señales tales como la del mismo transmisor a 1030 MHz, un armónico o frecuencia imagen a 970 MHz. Este filtro proporciona un rechazo superior a 70 dB. Lo cual garantiza una llegada de señal exclusiva de 1090 MHz.

**3.2.4 Canales de recepción.** Después de tener la señal debidamente filtrada el receptor amplifica las tres señales de RF las cuales demodula y mezcla con el mismo oscilador local del transmisor para de esta

forma obtener una señal de frecuencia intermedia (IF) de 60 MHz. Después de obtener esta señal de frecuencia intermedia. La señal que se recibió como respuesta del blanco se pasa por tres canales básicamente idénticos, uno para la señal omnidireccional, otro para la señal suma y otro para la señal diferencia. Cada canal está constituido por un amplificador de RF, un filtro de armónicas o frecuencia imagen y un mezclador.

El amplificador de RF es un circuito híbrido de banda ancha con una ganancia de 16 dB y una figura de ruido de 3.1 dB. El filtro de frecuencia imagen permite solo el paso de la frecuencia de Recepción 1090 MHz, consiguiendo mejorar el factor de ruido del receptor en aproximadamente 3 dB. Este filtro se puede sintonizar o hacerle ajustes

mediante un condensador variable. El mezclador utilizado es del tipo doblemente balanceado que puede llegar a tener pérdidas de conversión de 7 dBs.

**3.2.5 Oscilador local.** El oscilador local suministra una señal de frecuencia 1030 MHz con una potencia de 7 dBm. La frecuencia del oscilador la podemos ajustar mediante un potenciómetro con un margen de error de 300 KHz. Este ajuste es realmente importante y neurálgico para poder tener exactamente la frecuencia de transmisión de 1030 MHz. A la salida del oscilador local existe un acoplador direccional de -20 dB proporcionando dos salidas. Una salida atenuada que se carga con una impedancia de 50 ohmios, para facilitar las labores de mantenimiento. Y la otra salida directa del acoplador se lleva, a un amplificador que proporciona la potencia de 13 dBm para excitar al transmisor y los mezcladores del receptor. La potencia se distribuye a la salida mediante circuitos híbridos obteniendo 10 dBm para el oscilador local suma/diferencia y 7 dBm para el oscilador local omnidireccional.

**3.2.6 Frecuencia intermedia.** Las señales de 60 MHz que proporciona el receptor para los canales Omnidireccional, suma y diferencia, llegan a tres tarjetas iguales donde se detectan los videos y estos una vez amplificados son distribuidos mediante drivers hacia los extractores. El amplificador de frecuencia intermedia es un circuito híbrido de banda ancha con una ganancia de 26 dB, a esto también se le adiciona que el filtro de frecuencia intermedia es del tipo L-C con siete resonadores, esto tiene como función proporcionar la selectividad del receptor. Este filtro está centrado en 60 Mhz y tiene un ancho de 10 Mhz con 3 dB sus pérdidas por inserción son de 2.5 dB.

También existe un atenuador controlado por voltaje que es un circuito híbrido basado en diodos PIN con un margen de atenuación de 20 dB y cuyo objetivo es linealizar la respuesta de los atenuadores en función de la tensión de control GTC la cual es un control de ganancia en el tiempo, los atenuadores de los canales suma y diferencia son controlados por un único circuito lineal para mantener una buena relación de amplitud y fase.

### **3.2.7 Recepción de vídeo del radar secundario.**

Seguidamente se hace una presentación en lo referente a la extracción del video. Con las señales de video suma, video omnidireccional y video diferencia que llegan del módulo receptor, debidamente procesadas, se detectan las respuestas que identifican al blanco o aeronave correspondiente, proporcionando un conjunto de datos que se almacenan en una memoria para que después el equipo procesador genere un blanco con toda la información asociada. El receptor realiza las funciones de detección de video que este entrega a los extractores de video transformadas en cuatro señales que son:

1. Video crudo suma procedente de la demodulación de RF ( $\Sigma$ )

2. Video crudo omnidireccional, procedente de la demodulación RF ( $\Omega$ )
3. Video crudo diferencia procedente de la demodulación de RF ( $\Delta$ )
4. Video crudo monopolso procedente de la demodulación de RF ( $\Sigma$  y  $\Delta$ )

Con base en estas señales los extractores realizan un análisis exhaustivo de las respuestas, pudiendo determinar el acimut del blanco con una sola respuesta y permitiendo separa los pulsos correspondientes a respuestas solapadas mediante el análisis de las correspondientes amplitudes de los videos de esta forma se reduce el número de respuestas necesarias para la detección de un blanco. Ambos extractores monopolso debidamente sincronizados realizan un mejor análisis en la correlación de las respuestas para determinar un blanco ya que además de las necesarias correlaciones en distancia y código, también realizan la correlación en acimut, realizando procesos adicionales tales como:

1. Seguimiento local de blancos que permite confirmar los códigos de una vuelta a la siguiente.
2. Adquisición de blancos mediante el análisis de posiciones futuras.
3. Eliminación de blancos reflejados.
4. Puede entrelazar hasta cuatro modos de interrogación.
5. Posee un generador de blancos que lo puede utilizar en modo test para verificar la cadena de recepción constantemente este blanco sintético se puede programar o no para que se observe en el monitor.

#### **4. PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL RADAR PSR y SSR**

Después de ser recibida la señal del sistema radar primario, la cual es amplificada y llevada a frecuencia intermedia FI para extraer la respuesta del blanco, esta señal es convertida en video análogo, el cual es llevado al equipo de tratamiento de video Doppler donde se realiza el filtrado de la señal, la cual se pasa por el filtro MTI, que realiza la discriminación entre el blanco móvil y un blanco estacionario como por ejemplo sistemas montañosos y árboles a esto se le denomina clutter.

Teniendo ya el video del radar primario procesado y digitalizado se continúa describiendo el tratamiento que se da al video del sistema radar secundario. Este video ya tratado por el receptor radar secundario es enviado al extractor de video el cual se caracteriza por realizar un tratamiento profundo de las confirmaciones dudosas que pueden producirse por cruzamiento de aeronaves o por respuestas confusas debido a respuestas Garbling. Otra de las funciones de este sistema de tratamiento de video secundario es el de generar un eco de test sintético el cual se inyecta en la cadena de recepción para generar una prueba constante del sistema.

El extractor de video recibe las siguientes señales:

- 1- Video bruto o crudo del radar secundario que en este momento se maneja como un nivel de voltaje el cual va de 0 a 2.5 voltios con una impedancia característica de 75 ohmios.
- 2- Recibe también una señal de sincronismo del radar secundario.
- 3- Una señal de rotación de antena.

4- Incrementos de rotación de antena.

5- Y una señal Norte.

Este Extractor de video recibe un tren de pulsos que reconoce y decodifica.

En la práctica, este tren de pulsos debe ser tenido en cuenta en condiciones precisas. El código secundario debe estar aislado, es decir no debe enredarse o mezclarse con el código de una aeronave vecina. En el instante que se presente superposición la cual se genera cuando dos aeronaves se encuentran una en cima de la otra pero en niveles diferentes de altitud, estos códigos deben conservarse como una información de duda.

El código Secundario debe aparecer a la misma distancia con relación a la sincronización de varias recurrencias sucesivas es decir varias vueltas de antena sucesivas. Si esta condición no se da, las respuestas deben ser rechazadas ya que corresponde a la interrogación de otro sensor radar. El extractor también tiene la función de eliminar el ruido. También recibe el video bruto lo filtra, purifica y digitaliza.

Además crea también un umbral que se adapta al nivel de señal que recibe del receptor radar secundario. Solo el video secundario purificado de ruido y de interferencias es enviado al procesador.

El Procesador Radar tiene como función principal el recibir los videos digitalizados del radar primario y el video digitalizado que le envía el extractor de video secundario para realizar la suma de esta dos señales y dejar una sola, la cual se puede utilizar de tres maneras diferentes:

1- Ser explotada directamente en el centro de Control.

2- Ser explotada en el mantenimiento Técnico.

3- Para realizar Multiradar.

Aparte del tratamiento y mezcla de video radar primario y video radar secundario. El procesador radar también recibe otras señales de equipos en la estación sensora como lo son:

- 1- Señal de sincronismo de la estación radar.
- 2- Un sincronismo del radar secundario.
- 3- Una señal de rotación de antena.
- 4- Una señal de incrementos de antena.
- 5- El video digitalizado del radar primario.
- 6- El video digitalizado del radar secundario.

Con base en el anterior análisis, se puede decir que el sistema radar secundario permite una comunicación directa y constante de la estación sensora con la aeronave, aparte de esto permite al controlador de tránsito aéreo información adicional del tipo de avión, su altitud e identificación lo que no sucede en el radar primario donde la aeronave no es interactiva en el proceso de detección. El fenómeno Garbling traído a colación, se presenta cuando una aeronave esta en una zona de cobertura radar vigilada por más de un sistema sensor. En la respuesta que genera el blanco adiciona una (g) al final para informar que esta siendo interrogado el avión por otro sistema radar.

## 5. MULTIRADAR

Finalizando el tratamiento de la señal radar por parte del procesador radar, esta se puede utilizar en forma directa, pero solo se tendría la información de una estación o sensor radar. Debido a esta situación se genera la necesidad de realizar el multi-radar: que es la combinación de los datos de vigilancia radar obtenidos en los diferentes sensores instalados en la geografía colombiana. En los centros de control de cada zona se realiza el proceso de mezcla o multi-radar de todas las señales que envían las diferentes estaciones sensoras del país. Como se había mencionado antes el protocolo asterix, tiene finalidad de hacer que las diferentes tecnologías radar y subsistemas que generan los datos de vigilancia, hablen un mismo idioma y lograr que el sistema lleve a cabo las siguientes tareas sin ningún contratiempo:

- Recepción automática y control de calidad en tiempo real de los datos radar.
- Cálculo de tracks normales y cálculo de tracks multi-radar.
- Correlación de los tracks con los planes de vuelo.
- Análisis de desviaciones laterales y longitudinales respecto a la ruta calculada.
- Comunicación de mensajes de progreso de vuelo de los tracks relacionados.
- Correlación de datos radar con datos de plan de vuelo.
- Avisos automáticos de alerta de conflictos, alarmas de altitudes y áreas restringidas.
- Transferencia automática entre sectores.

- Acción de By-pass en caso de falla de un sistema donde se realiza tratamiento de datos radar y multi-radar.
- Gestión de planes de vuelo repetitivos.
- Detección e identificación de conflictos potenciales en separaciones estándar de planes de vuelo o sea conflictos a corto plazo.

Las estaciones sensoras de La Aeronáutica Civil que aportan los datos de las cabezas de vigilancia radar para realizar el multi-radar son:

01- Regional Bogotá que posee el radar de ruta en el cerro el Tablazo, y el radar de aproximación en el aeropuerto internacional El Dorado. Estos radares marca Alenia que es tecnología Italiana. Pero el radar del Tablazo esta en proceso de modernización con equipos Lockheed Martín de tecnología Norte Americana. Radar de Araracuara Italiano Alenia.

02- Regional Antioquia con el Radar de ruta ubicado en Cerro Verde marca Alenia de tecnología italiana.

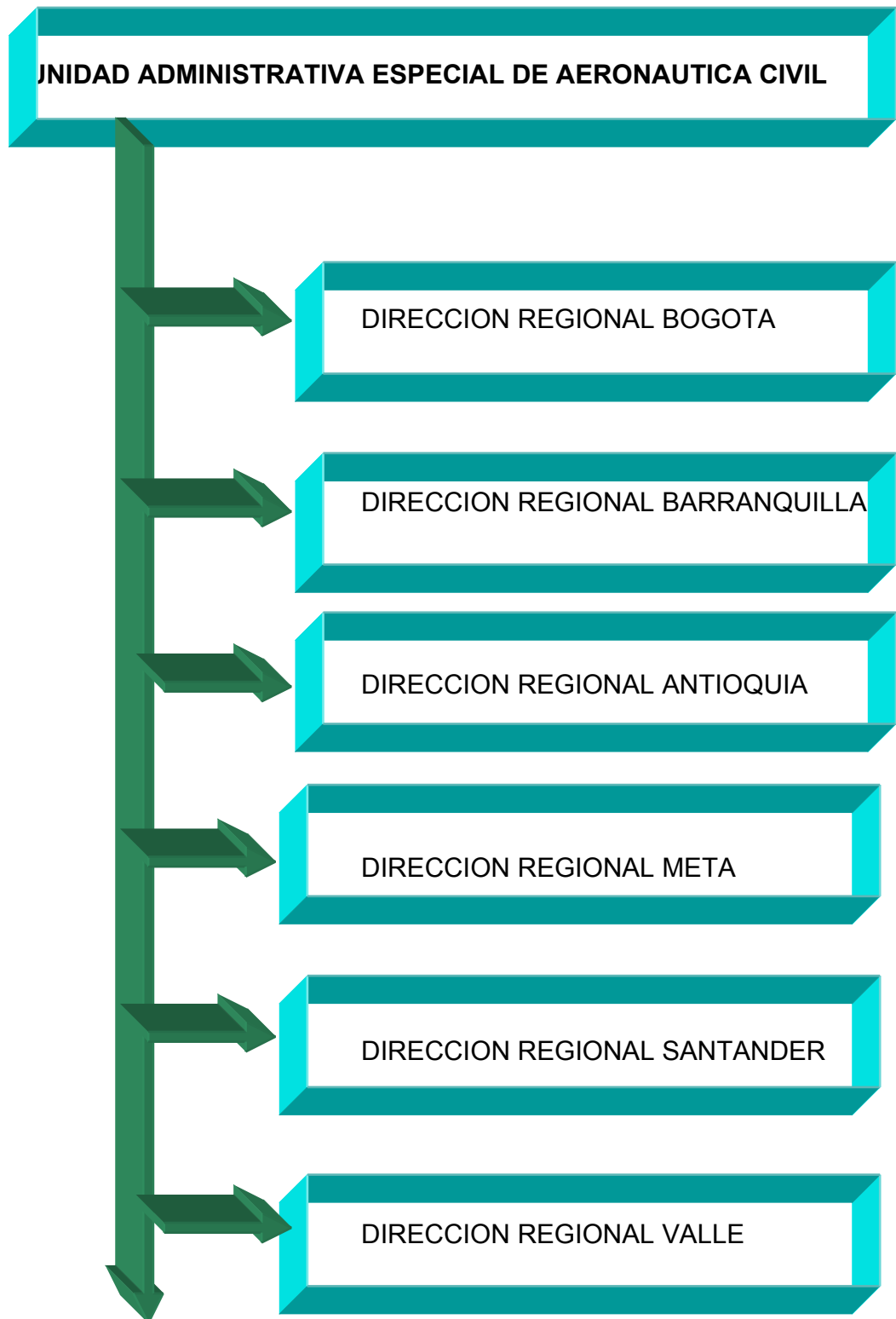
03- Regional Barranquilla con los radares de cerro Maco que es un radar de ruta y el radar de aproximación en Tubara. Estos radares son de tecnología Italiana Alenia.

04- Regional Valle con radar de ruta en el cerro Santa Ana y el radar de aproximación en el aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón de la ciudad de Palmira con tecnología italiana, marca Alenia.

05- Regional Cúcuta con el Radar de aproximación en el cerro el Picacho con tecnología Norte Americana Lockheed Martín.

06- Regional Meta con el Radar de ruta en Carimagua (Meta) y el radar de aproximación en el aeropuerto Vanguardia de Villavicencio. Estos son radares de tecnología francesa marca Thomson CSF.

Esta torre de Babel de diferentes fabricantes, marcas, modelos y tecnologías crea la necesidad de crear un protocolo, el cual hace que los diferentes fabricantes de equipos radar proporcionen los datos de vigilancia y radar en un formato único y poder realizar el multi-radar. Por tal motivo en el año 1992 Eurocontrol genera un estándar llamado ASTERIX el cual se analiza en el siguiente capítulo.



**FIGURA 7:** DIRECCIONES REGIONALES

## 6. PROTOCOLO ASTERIX

(All purpose **S**tructure **E**urocontrol su**R**veillance Information **E**Xchange). El cual proporciona todas las normas y disposiciones, sobre como se debe entregar los diferentes datos de vigilancia y radar para su tratamiento en el sistema multi-radar. Este protocolo también esta orientado a otros tipos de intercambio de información para la vigilancia. A continuación se analiza unos a partes y características del protocolo ASTERIX.

Bloque de datos asterix.

CAT = 048	LEN		FSPEC	PRIMER BLOQUE DATOS		FSPEC	ULTIMO BLOQUE DATOS
-----------	-----	--	-------	---------------------------	--	-------	---------------------------

Tabla 3: Bloque de datos del protocolo asterix.

### 6.1 BLOQUE DE DATOS

El protocolo ASTERIX esta compuesto por un bloque de datos constituido de la siguiente manera:

- Un byte u octeto que genera el Campo de Categoría de Datos (CAT). Indicando a que categoría pertenece los datos transmitidos.
- Los equipos de radar de secundario utilizan la categoría 48 para los reportes de detección de los blancos y Categoría 2 para los mensajes de señal norte.

- Uno o dos octetos que indican la longitud del campo (LEN). Indican además la longitud total en octetos de los bloques de datos incluyendo el CAT y el LEN.
- En este campo la máxima longitud de bloques de datos es cinco.

## **6.2 REGISTRO DE DATOS**

El protocolo ASTERIX almacena un registro de datos consistente en:

- Una especificación del campo (FSPEC) el cual es de longitud variable que indica que Campo de Datos están presentes en el Registro o historial de los Datos.
- Un número variable de Campo de Datos, los cuales pueden tener una longitud definida o una longitud variable.
- La longitud de los registros de Datos puede ser variable y su estructura es siempre un múltiplo de un octeto.

## **6.3 CAMPOS DE DATOS (DATA FIELD)**

Los elementos de los datos es la unidad más pequeña de información en cada categoría de datos. Un campo de datos es una implementación física con el propósito de realizar la comunicación de un Data Item y una unidad más pequeña de información transmitida. El User Application Profile (UAP) es el mecanismo por asignar los Data Item y los Data Field

**6.3.1 Enumeración del octeto.** La enumeración del octeto se toma como base las convenciones definidas en la norma del protocolo ASTERIX el cual transmite los bytes u octetos en un orden consecutivo.

### **6.3.2 Descripción fuente de datos.**

Identificación de la fuente de datos:

Definición: Esta parte del estándar maneja la identificación de la estación o cabeza de Radar, de la cual estamos recibiendo datos.

Formato: Dos octetos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1								Octeto no. 2							
16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
SAC								SIC							

Bits 16 a 9 = SAC System Area Code

Bits 8 a 1 = SIC System Identification Code

Los SAC y SIC Codificados para Colombia son:

PAIS	SAC	UBICACIÓN	SIC
COLOMBIA	96	SANTANDER	1
		EL TABLAZO	2
		VIEJO CALDAS	3
		LETICIA	4

Tabla 4: SAC y SIC para Colombia.

### 6.3.3 Configuración de elementos y estado.

Definición: Estado y configuración un listado de elementos.

Formato: Cuatro octetos de datos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1

32	31	30	29	28	27	26	25
FACTOR DE REPETICION							

Octeto no. 2

Octeto no. 3

24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
SAC								SIC							

Octeto no. 4

8	7	6	5	4	3	2	1
CON		PSR	SSR	MDS	ADB	0	0

Bits 32 a 25 = Factor de repetición.

Bits 24 al 17 = SAC Código de área del sistema.

Bits 16 al 9 = SIC Código del Sistema de Identificación.

Bit 8 y 7 (CON) = 00 operativo.

01 Degradado.

10 Actualmente No conectado.

Bit 6 (PSR) = 0 PRS operando normal.

= 1 PSR no operativo.

Bit 5 (SSR) = 0 SSR operando normal.

= 1 SSR no operativo.

Bit 4 (MDS) = 0 Modo S operativo.

= 1 Modo S no operativo.

Bit 3 (ADB) = 0 operativo

= 1 No operativo.

Bits 2 y 1 = 0 por defecto.

#### 6.3.4 Reporte y descripción del blanco.

Definición: El tipo y las características de los datos radar enviados por el sensor o cabeza radar.

Formato: Los datos de longitud variable que forman la primera parte de un octeto. Si llegase a existir otro bloque de datos, se puede Expandir a un segundo Octeto.

Estructura de la Primera parte:

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
TYP			SM	RDP	SPI	RAB	FX

Bits 8 a 6 (TYP) = 000 Calculo de plot sin detección.

= 010 Detección simple de SSR.

Bit 5 (SIM) = 0 registro actual del plot o del track.

= 1 plot o track sintético (generado en estado de mantenimiento)

Bit 4 (RDP) = Siempre en 0 valor por defecto.

Bit 3 (SPI) = Siempre en 0 valor por defecto.

= 1 Identificación de una posición especial.

Nota: Cuando el bit 3 cambia a 1 muestra que hay respuesta activa de un SPI.

Bit 2 (RAB) = 0 Valor por defecto

= 1 plot o track contestan a la interrogación del radar

Bit 1 (FX) = 0 fin de los datos.

= 1 presenta primera extensión de octeto.

Estructura de la primera extensión:

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
TST	0	0	ME	MI	FOE / FRI		FX

- Bit 8 (TST) = 0 valor por defecto  
= 1 prueba de indicación de blanco.
- Bit 7 = 0 Valor por defecto.
- Bit 6 = 0 Valor por defecto.
- Bit 5 (ME) = 0 Valor por defecto.  
= 1 emergencia militar.
- Bit 4 (MI) = 0 valor por defecto.  
= 1 Identificación militar.
- Bit 3 (FOE / FRI) = siempre va a 0.
- Bit 1 (FX) = 0 valor por defecto.  
= 1 extensión en la siguiente magnitud.

### 6.3.5 Medición de posición en coordenadas polares.

Definición: Calculo de la posición real de un avión en coordenadas polares.

Formato: Se presenta en cuatro octetos los Datos a relacionar.

Estructura:

Octeto no. 1

Octeto no. 2

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	21	20	19	18	17	16
RHO															
LSB															

Octeto no 3

Octeto no. 4

16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
THETA															LSB

- Bit 17 (LSB) =  $1/256$  NM ( milla náutica)  
256 NM = Es el rango máximo de alcance
- Bit 1 (LSB) =  $360^\circ / (2^{16}) = 0.005493164063^\circ$ .

### 6.3.6 Código Modo 2 Representación octal.

Definición: Código Modo 2 en representación octal.

Formato: dos octetos de datos de longitud fija

Octeto no. 1

Octeto no. 2

16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
V	G	L	0	A4	A2	A1	B4	B2	B1	C4	C2	C1	D4	D2	D1

Bit 16 (V) = 0 código valido.

= 1 código no valido.

Bit 15 (G) = 0 por defecto.

= 1 Código de error.

Bit 14 (L) = 0 Código Modo 2 respuesta del transponder.

= 1 Código Modo 2 respuesta de un blanco local.

Bit 13 = 0 por defecto.

Bit 12 a 1 = Modo 2 respuesta en representación octal.

### 6.3.7 Código Modo 1 en representación octal.

Definición: Código Modo 1 convertido en representación octal.

Formato: Un octeto de datos con longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 2

8	7	6	5	4	3	2	1
V	G	L	A4	A2	A1	B2	B1

Bit 8 (V) = 0 Código validó.

= 1 Código no validó

Bit 7 (G) = 0 Valor por defecto

= 1 Código no validó.

Bit 6 (L) = 0 Código Modo 1 derivado de la respuesta del transponder.

= 1 Código Modo 1 contestación de un blanco local.

Bits 5 a 1 = Modo 1 respuesta en representación octal.

Nota: El detector informa cuando se presenta un código alterado o cuando hay 2 respuestas superpuestas

### 6.3.8 Código Modo 3/A en representación octal.

Definición: Código Modo 3/A presentado en representación octal.

Formato: Se presenta en dos octetos de Datos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1

Octeto no. 2

16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
V	G	L	0	A4	A2	A1	B4	B2	B1	C4	C2	C1	D4	D2	D1

Bit 16 (V) = 0 Código validó

= 1 Código no validó.

Bit 15 (G) = 0 Valor por defecto

= 1 Código de error

Bit 14 (L) = 0 Código Modo 3/A respuesta del transponder.

= 1 Código Modo 3/A respuesta de un blanco local.

Bit 13 = 0 Valor por defecto.

Bit 12 a 1 = Código Modo 3/A respuesta en representación octal.

Veamos algunos ejemplos de código transponder (Modo 3/A).

Respuesta	A4 A2 A1	B4 B2 B1	C4 C2 C1	D4 D2 D1	Clave
	1	1	1	1	7777
	0	0	1	1	1234
	1	1	0	0	7000

Tabla 5: Ejemplo representación Modo 3/A.

### 6.3.9 Nivel de vuelo en representación binaria.

Definición: Nivel del vuelo expresado en representación binaria.

Formato: Dos octetos de datos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1

Octeto no. 2

16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
V	G	NIVEL DE VUELO												LSB	

Bit 16 (V) = 0 Código válido  
= 1 Código no válido

Bit 15 (G) = 0 Valor por defecto

= 1 Código de error.

Bits 14 a 1 LSB = 1/4 FL = 25 pies (Nivel de vuelo).

Nota: La Máxima altitud teórica que puede representarse es 204 775 pies.

Pero el valor real en la práctica es máximo de 126 750 pies.

### 6.3.10 Características de la Traza Radar.

Definición: Información adicional sobre la calidad del blanco Radar.

Formato: Dos octetos de longitud de datos fija.

Estructura:

Primer subcampo:

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
SRL	SRR	SAM	PRL	PAM	RPD	APD	FX

Bit 8 (SRL) = 0 Ausencia de subcampo # 1 (sin traza de SSR).  
= 1 Presencia de Subcampo # 1 (con traza de SSR trazan).

Bit 7 (SSR) = 0 Ausencia de subcampo # 2(Número de respuestas recibidas SSR).  
= 1 presencia de subcampo # 2 (Número de respuestas recibidas SSR).

Bit 6 (SAM) = Siempre valor 0

Bit 5 (PRL) = Siempre valor 0

Bit 4 (PAM) = Siempre valor 0

Bit 3 (RDP) = Siempre valor 0

Bit 2 (ADP) = Siempre valor 0

Estructura del Subcampo 1: Plot del SSR.

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
SRL							

Bit 8 a 1 = Plot de SSR expresado en valores binarios.

$$\text{LSB} = 360^\circ / (2^{13}) = 0.043945312^\circ$$

Estructura del subcampo 2:

Número de Respuestas recibidas por el SSR.

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
SSR							

Bits 8 a 1 (SSR) = Número de respuestas recibidas por el SSR.

### 6.3.11 Datos de tiempo real

Definición: El tiempo Real absoluto se expresa como Tiempo Universal Coordinado. Hora (UTC).

Formato: Tres octeto de Datos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1

24	23	22	21	20	19	18	17
HORA UTC DEL DIA							

Octeto no. 2

Octeto no. 3

16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
HORA UTC DEL DIA														LSB	

Bits 24 a 1 Hora del día. Acepta un rango de valores: 0 a 24 horas.

Bit 1 LSB =  $2^{-7}$  segundos = 1/128 segundos.

Nota: Todos los días el valor de la hora vuelve a cero a la media noche tomando la hora UTC.

### 6.3.12 Número del track.

Definición: Un valor entero representa un único track de referencia, a un registro de tracks dentro de un archivo de estos.

Formato: Dos octetos de longitud fija de datos

Estructura:

Octeto no. 1

Octeto no. 2

16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
NUMERO DEL TRACK (0 a 4095 )															

### 6.3.13 Estado del track.

Definición: El estado del track que se extrae de la información del radar secundario.

Formato: Un octeto de longitud variable en la primera parte. Seguido de un octeto que se puede extender a otro tercer octeto si se llegare a necesitar.

Estructura de Primera Parte:

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
CNF	RAD		DOU	MAH	CDM		FX

Bit 8 (CNF) = 0 track confirmado

= 1 presunción de track

Bits 7 y 6 (RAD) = 10 track en el Modo S del SSR.

Bit 5 (DOU) = Siempre valor 0

Bit 4 (MAH) = 0 No presenta movimiento horizontal.

= 1 Se presenta movimiento horizontal.

Bits 3 y 2 (CDM) = 11 No válido

Bit1 (FX) = 0 Fin de los datos

= 1 Se presenta primera extensión de datos.

**6.3.14 Velocidad del track en coordenadas polares.**

Definición: La velocidad del Track calculada en coordenadas polares.

Formato: Cuatro octetos de Datos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1

Octeto no. 2

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
CALCULO DE LA VELOCIDAD EN TIERRA (MÁXIMO 2 NM / S)															LSB

Octeto no. 3

Octeto no. 4

16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
CALCULO DE LA DIRECCIÓN															LSB

Bit 17 (LSB) =  $(2^{-14})$  NM/s = 0.22 Kt. (Nudos)

Bit 1 (LSB) =  $360^\circ / (2^{16}) = 0.005493164063^\circ$

### 6.3.15 Código modo D en representación octal.

Definición: Código Modo D representado en forma octal.

Formato. Tres octetos de Datos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1

24	23	22	21	20	19	18	17
LONGITUD DE DATOS DEL SP							

Bits 24 a 17 longitud datos del SP los cuales pueden ser 3.

Octeto no. 2

Octeto no. 3

16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
V	G	0	0	A4	A2	A1	B4	B2	B1	C4	C2	C1	D4	D2	D1

Bit 16 (V) = 0 Código validó  
 = 1 Código no validó

Bit 15 (G) = 0 Valor por defecto  
 = 1 Código no valido

Bits 12 a 1 Modo D respuesta en representación octal.

**6.3.16 Localización del área geográfica.**

Definición: Ubicación del track en el espacio geográfico.

Formato: Un octeto con factor de repetición (REP > = 3), seguido por <sup>n</sup> puntos Geográficos, expresados en coordenadas de WGS-84, Los cuales son vértices consecutivos de área.

Estructura:

Octeto no. 1

56	55	54	53	52	51	50	49
REP							

Octeto no. 2

Octeto no.

48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33
LATITUD EN WGS - 84															

Octeto no. 4

Octeto no. 5

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
LSB															

Octeto no. 6

Octeto no. 7

16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
LONGITUD EN WGS – 84														LSB	

Bits 56 al 49 (REP) = Factor de repetición.

Bits 48 al 26 Latitud = En WGS – 84 en un rango de dos parámetros  
 Definidos. Rango  $-90^{\circ} \leq \text{Latitud} \leq 90^{\circ}$

Bit 25 (LSB) =  $180 / 2^{23}$  grados. Aproximadamente  $2.145767 \times 10^{-5}$   
 grados.

Esto corresponde a una resolución mínima de 2.4  
 metros.

Bits 24 al 2 Longitud = En WGS – 84 en un rango de dos parámetros  
 Definidos. Rango  $-180^{\circ} \leq \text{Longitud} \leq 180^{\circ}$ .

Bit 1 (LSB) =  $180 / 2^{23}$  grados. Aproximadamente  $2.145767 \times 10^{-5}$   
 grados.

Esto corresponde a una resolución mínima de 2.4  
 metros.

**Nota:** no se requiere cerrar el polígono geométrico, pero ningún segmento  
 de área geométrica fronteriza se puede sobre poner o solapar.

### 6.3.17 Descripción de interferencias.

Definición: Interferencia en un área específica.

Formato: Un octeto de datos de longitud fija

Estructura:

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
ALL	WGT		0	0	0	0	0

Bit 8 (ALL) = 0 todos los elementos se afectan.  
 = 1 Ningún elemento se afecta.

Bits 7 y 6 (WGT) = 00 No existe interferencia.  
 = 01 Baja interferencia.  
 = 10 Interferencia media.

= 11 Alta interferencia.

Bits 5 al 1 = Por defecto en Cero.

Nota: La información es valida para un intervalo definido de tiempo. Y se puede reestablecer, enviando los bits 7 y 6 a Cero.

### 6.3.18 Reducción de pasos de sobrecarga.

Definición: Se realiza un filtrado en un área específica.

Formato: Un octeto de datos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
ORS							

Bits 8 al 1 (ORS) = Reducción de pasos de sobrecarga.

La información es valida para un elemento específico de tiempo el cual se puede reestablecer enviando el valor a cero. No existirá sobrecarga, sobre el actual mapeo de datos este reduce los pasos y la asociación de datos reduce el número de mensajes que no están sujetos a la estandarización excepto para el valor de cero.

### 6.3.19 DSPS Configuración y estado.

Definición: Configuración y estado del sistema de procesamiento de datos radar.

Formato: Un octeto de datos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
NOGO		PSS		OVL	TSV	0	0

Bits 8 y 7 (NOGO) = 00 Operativo.  
 = 01 Degradado.  
 = 10 Actualmente no conectado.  
 = 11 Desconocido.

Bits 6 y 5 (PSS) = 00 No aplica.  
 = 01 SDPS-1 seleccionado.  
 = 10 SDPS-2 seleccionado.  
 = 11 SDPS-3 seleccionado.

Bit 4 (OVL) = 0 por Defecto.  
 = 1 sobrecarga.

Bit 3 (TSV) = 0 por Defecto.  
 = 1 lapso de tiempo vencido.

Bits 2 y 1 = 0 por Defecto.

**6.3.20 Estimado de la ganancia y polarización del radar.**

Definición: Se calcula los valores estimados para la ganancia y la polarización del equipo radar.

Formato: Dos octetos de datos de longitud variable, que se pueden extender si se llegare a requerir.

Estructura:

Octeto no. 1

16	15	14	13	12	11	10	9
SID	TSB	SRB	SAB	SRG	PRB	PAB	FX

Octeto no. 2

8	7	6	5	4	3	2	1
PRG	PEB	0	0	0	0	0	FX

- Bit 16 (SID) = 0 Ausencia de subcampo # 1.  
 = 1 presencia del subcampo #1.
- Bit 15 (TSB) = 0 Ausencia del subcampo # 2.  
 = 1 presencia del subcampo # 2.
- Bit 14 (SRB) = 0 Ausencia del subcampo #3.  
 = 1 Presencia del subcampo #3.
- Bit 13 (SAB) = 0 Ausencia del subcampo #4.  
 = 1 Presencia del subcampo#4.
- Bit 12 (SRG) = 0 Ausencia del subcampo #5.  
 = 1 presencia del subcampo #5.
- Bit 11 (PRB) = 0 Ausencia del subcampo #6.  
 = 1 presencia del subcampo #6.
- Bit 10 (PAB) = 0

**6.3.21 Servicio de difusión de relación de reportes.**

Definición: Reportes enviados por el SDPS relativo a la difusión del servicio.

Formato: Un octeto de Datos de longitud fija.

Estructura:

Octeto no. 1

8	7	6	5	4	3	2	1
REPORTE							

- Bits 8 al 1 = 1 Servicio degradado.  
 2 Final del servicio degradado.

- 3 Radar principal fuser.
- 4 Servicio interrumpido por el operador.
- 5 Servicio interrumpido por doble contingencia.
- 6 Listo para el servicio después de la contingencia.
- 7 Servicio finalizado por el operador.
- 8 Falla en el operador Radar principal.
- 9 Servicio reiniciado por el operador.
- 10 Radar principal inicia operacionalmente.
- 11 Radar principal degradado.
- 12 Servicio interrumpido unidad adyacente en falla.
- 13 Reinicio en la continuidad del servicio.
- 14 Servicio sincronizado con el Radar de reserva.
- 15 Servicio sincronizado con el Radar principal.
- 16 Servicio de el Radar principal y auxiliar sincronizados.

#### **6.4 PROTOCOLO HDLC**

Después que se han procesado los Datos de las diferentes Estaciones Radar y se han llevado al formato ASTERIX es necesario enviarlos al centro de control para su explotación. Es hay cuando los datos ya procesados se envían a los diferentes operadores de control de tránsito aéreo y control radar.

Para esta función se utiliza el protocolo HDLC (High-Level Data Link Control) Control de Enlace de Datos de Alto Nivel de ISO. Este protocolo el cual es orientado a Bit tiene una equivalencia similar al protocolo ADCCP. (Advanced Data Communications Control Procedures) Procedimiento de Control Avanzado de Comunicaciones de Datos de la ANSI. Un subconjunto de HDLC es utilizado como protocolo de línea y es el referenciado como X.25 del CCITT.

Se utiliza un protocolo dúplex integral para enlace punto a punto usando una forma de “piggy-back” o superposición para las confirmaciones (ACKs). Estas confirmaciones a bloques de Datos de entrada que se han recibido correctamente, se transmiten como un campo de los bloque de salida, y es en este instante que se realiza la superposición, realizando el montaje de la confirmación sobre un bloque de Datos. Cuando no existe datos para enviar, las confirmaciones se envían separadamente en bloque especiales que no son de datos. Para evitar problemas sobre los bloque de datos que están siendo confirmados, cada bloque de datos transmitido lleva un número de secuencia de envío ( $N_s$ ) de tres bits, contador de 0 a 7, existen protocolos dúplex que poseen un número de secuencia de envío extendido. Este número de secuencia de envío ( $N_s$ ) se incrementa en cada transmisión de un nuevo bloque de datos, realizando un conteo circular pues el siguiente número a 7 o a 127 es 0.

Una confirmación se envía con un campo más de un bloque llamado Número de secuencia de recepción ( $N_r$ ), que coincide con el  $N_s + 1$ , donde  $N_s$  es el número de secuencia de envío del último bloque de datos correctamente recibido. Todos los bloques de datos recibidos hasta el número de secuencia  $N_r$  son confirmados de una sola vez.

Estructura del Protocolo HDLC:

FLAG	DIRECCIÓN	CONTROL	INFORMACIÓN	FCS	FLAG
8 Bits	8 Bits	8/16 Bits	N Bits	16 Bits	8 Bits

Tabla 6: Diagrama en Bloques del Protocolo HDLC.

La comprobación de errores en los bloques o tramas se realiza utilizando una secuencia de comprobación de trama (FCS) Frame Checkihg Sequence. Para el Protocolo HDLC realiza un Control de Redundancia

Cíclica (CRC) que consiste en una división que realiza ambos dispositivos extremos, Transmisor y Receptor. El dividendo de la división es el valor binario de la concatenación de los campos de Dirección, control e información: si esta presente. El divisor es una constante de 16 Bits, se descarta el cociente y se utiliza el resto de la división como secuencia de comprobación de trama o sea como FCS o CRC.

Luego del análisis de este último capítulo, se observa que durante el tratamiento de los datos radar en la estación como tal, se desarrolla un manejo de los datos como de niveles de voltaje y luego de ser tratados y asociados, el video radar primario y el video radar secundario por el equipo procesador radar. Se hace uso de las telecomunicaciones a nivel de microondas y enlaces satelitales para hacer llegar estos datos de vigilancia a los diferentes centros de procesamiento multi-radar ubicados en las regionales. En este sitio se hace la integración de las diferentes señales radar (multi-radar) con la aplicación directa del protocolo asterix, para generar una información completa del blanco radar que incluye: identificación de la aeronave, nivel de vuelo, velocidad, futuras posiciones, alertas de nivel mínimo de vuelo, alertas de proximidad, zonas restringidas, predicción de conflictos. Además incluye información de puntos de control, radio-ayudas y mapas. Toda esta información la tiene disponible el controlador en su estación de trabajo. Dichas estaciones de trabajo se encuentran sectorizadas por regiones geográficas del territorio colombiano.

## **7. CONCLUSIONES**

Los avances tecnológicos se encuentran en todos los sectores, pero en especial en el área de las telecomunicaciones, siendo el sector aeronáutico bastante influenciado por dichos avances. Esta influencia repercute directamente en los sistemas de vigilancia y radar, que son una parte importante de la seguridad aérea nacional e internacional. Siendo la Aeronáutica Civil la representante del estado colombiano, es la encargada de implementar y dar mantenimiento técnico a las estaciones o sensores radar.

El sistema radar secundario tiene la capacidad de interrogar y establecer una comunicación continua con las aeronaves que se encuentran en el área de su cobertura radar, proporcionando una información completa acerca de los blancos o aviones presentes en su área de cubrimiento. La cual se complementa con la señal del sensor primario para optimizar la información radar.

La experiencia más exitosa en la implementación del sistema multi-radar, radica en la capacidad de recibir, procesar y presentar en las estaciones de trabajo, la integración de los datos radar de dos o más sensores.

El principal impacto que se puede destacar acerca del protocolo asterix, es su facilidad para integrar las diferentes tecnologías de radar existentes en el mundo. Así mismo el poder asociar otros datos de vigilancia, para obtener finalmente una información bastante completa de las aeronaves.

Todo esto nos hace suponer que en un futuro no muy lejano, la aviación dará un salto hacia modernos sistemas de radar por satélite. Un modelo que se tratara de implementar, pero primero debe pasar una etapa de prueba y transición.

## BIBLIOGRAFÍA

CADORET Louis. Technique Radar Appliquee. ECOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE. Departament Electronique de l'ENAC. 4 Edition 1991 TOME I et TOME II.

COLLAZO, Javier L. Diccionario Enciclopédico de Términos Técnicos. Inglés – Español. Editorial Mc GRAW Hill. Madrid, 1997. Volumen 1 y 2.

CORBASÍ Ortín, Ángel. Sistemas de Navegación. Capítulo V: Sistemas Radar ISBN: 84-481-2057-4. McGRAW-Hill. Madrid, 1998.

MILEAF, Harry. Electrónica 1 Señales de Navegación. Editorial Limusa S.A MEXICO D.F. 1992.

ORGANIZACIÓN AERONÁUTICA CIVIL INTERNACIONAL. Anexo 10 de la OACI. Volumen 1 Anexo 2. Normas y Métodos de Telecomunicaciones Aeronáuticas. Documento 9426. Edición 2001