

ESTUDIO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE MULTILATERACION
COMO SISTEMA ALTERNATIVO EN LA VIGILANCIA AERONÁUTICA

MARTIN ALBERTO TRUYOL PALACIO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERA ELECTRICA, ELECTRONICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2011

ESTUDIO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE MULTILATERACION
COMO SISTEMA ALTERNATIVO EN LA VIGILANCIA AERONÁUTICA

MARTIN ALBERTO TRUYOL PALACIO

Monografía realizada para optar al título de especialista en telecomunicaciones

Director de monografía
Jairo Mauricio Gallo Mendieta
Licenciado en Electricidad y Electrónica, especialista en Telecomunicaciones

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERA ELECTRICA, ELECTRONICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2011

A toda mi familia, en especial a mis dos pequeños hijos quienes son el motor de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y capacidades para seguir adelante cada día.

A mi familia por todo su apoyo durante mis frecuentes viajes a la ciudad de Bucaramanga durante el periodo de estudio en mi especialización en Telecomunicaciones.

A mis amigos y ex compañeros de Aena, del departamento de Radar, división de navegación y vigilancia de Aena donde realicé mis prácticas laborales durante mi maestría en Sistemas Aeroportuarios (Madrid – España) los cuales me permitieron enfocarme en el presente trabajo.

A mis compañeros de la Aeronáutica Civil por toda su colaboración y apoyo.

A todos muchas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. SISTEMAS CONVENCIONALES DE VIGILANCIA AERONÁUTICA.....	19
1.1 RADAR SECUNDARIO	19
1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PARTE ACTIVA TERRESTRE.....	19
2. SISTEMAS DE MULTILATERACION	21
2.1 FUNDAMENTO DE LA MULTILATERACION	21
2.2 PRINCIPIO DE IDENTIFICACIÓN DEL BLANCO (MODO S).....	24
2.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA MSS.....	24
2.3.1 ESTACIONES RECEPTORAS (RXS).....	24
2.3.2 ESTACIONES TRANSMISORAS (TXS).....	25
2.3.3 MEDIOS DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES A LA CPS.....	25
2.3.4 ESTACIÓN DE PROCESAMIENTO CENTRAL (CPS).....	25
2.3.5 SISTEMA DE GESTIÓN DEL SISTEMA DE MULTILATERACIÓN. ..	26
2.3.6 VISUALIZACIÓN DE DATOS SINTÉTICOS.	26
2.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MSS	26
2.4.1 ESTACIÓN RECEPTORA (RXS).....	26
2.4.2 SISTEMA DE INTERROGACIÓN, ESTACIÓN TRANSMISORA (TXS).	28
2.4.3 MEDIOS DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES AL CPS.....	30
2.4.4 ESTACIÓN DE PROCESAMIENTO CENTRAL (CPS).....	30
2.4.5 SISTEMA DE GESTIÓN DEL SISTEMA DE MULTILATERACIÓN. ..	33
2.4.6 VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS SINTÉTICOS EN FORMATO ASTERIX.	34
2.5 EVALUACIÓN DE LAS PRESTACIONES DEL SERVICIO DE SISTEMA DE MULTILATERACIÓN DE ÁREA AMPLIA (WAM).....	38
2.5.1 COBERTURA.	39
2.5.2 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL SISTEMA.....	39
2.5.3 PRECISIÓN POSICIONAL DEL SISTEMA	40
2.5.4 CAPACIDAD, REFRESCO DE INFORMACIÓN Y RETARDO DE PROCESAMIENTO	42
2.6 INTEROPERABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE MULTILATERACION. ..	43

2.7 EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIONES A NIVEL MUNDIAL.....	45
2.7.1 LA MULTILATERACIÓN EN ESPAÑA.	46
3. EVALUACION Y CRITERIOS PARA UN EMPLAZAMIENTO DE MULTILATERACION DE AREA AMPLIA (WAM), TMA DE CUCUTA (COLOMBIA)	47
3.1 CRITERIOS A CONSIDERAR EN UN EMPLAZAMIENTO DE MULTILATERACION DE AREA AMPLIA, EN LA APROXIMACION DEL AEROPUERTO DE CUCUTA	47
3.1.1 EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA AVIACIÓN COMERCIAL PARA LA GESTIÓN DEL CONTROL DEL TRÁNSITO AÉREO EN EL TMA DEL AEROPUERTO CAMILO DAZA DE CÚCUTA.....	47
3.1.2 EVALUACIÓN DE POSIBLES SITIOS PARA UBICACIÓN DE ESTACIONES REMOTAS DE MULTILATERACIÓN:	47
3.1.3 EVALUACIÓN DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN Y PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL, PARA LLEVAR LA INFORMACIÓN RECIBIDA DE MULTILATERACIÓN A LA UNIDAD CENTRAL DE PROCESO.	47
3.1.4 EVALUACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE DETECCIÓN QUE DEBERÍA TENER EL SISTEMA WAM Y LA IDENTIFICACIÓN DE BLANCOS EQUIPADOS CON TRANSPONEDORES QUE CUMPLAN CON EL ANEXO 10 DE LA OACI (MODOS A/C/S Y SQUITTER EXTENDIDOS):.....	47
3.1.5 DESEMPEÑO OPERACIONAL:	48
3.1.6 MEDICIÓN DE POSICIÓN:	48
3.2 DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GEOGRAFICAS Y DEFINICION DEL ENTORNO OPERACIONAL DEL TMA DE CUCUTA	48
3.2.1 DEFINICIÓN DEL AREA DE CONTROL TERMINAL DE CÚCUTA (TMA).....	49
3.3 INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES Y VIGILANCIA AERONAUTICA	51
3.4 POLÍTICAS CNS/ATM INSTITUCIONALES.....	52
3.5 EVALUACION SITIOS PARA POSIBLES EMPLAZAMIENTOS DEL SISTEMA WAM.....	52
3.6 COMPOSICIÓN BÁSICA REQUERIDA AL SISTEMA WAM	59
3.7 EVALUACION POST IMPLEMENTACION	60
4. CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS

ACC: Centro de control de Area
AIP: Publicación de información Aeronáutica
APP: Oficina de control de aproximación o servicio de control de aproximación
ASD: Visor de Situación Aérea
A-SMGCS: Sistema Avanzado de Control, Guiado y Movimiento en Superficie
ASTERIX: Formato de datos Estándar de Eurocontrol para el intercambio de datos radar (All Purpose Structured EUROCONTROL Radar Information Exchange)
ATC: Control de Tráfico Aéreo
ATM: Gestión del Tráfico Aéreo
ATS: Servicio de tránsito aéreo
BIOS: Sistema Input-Output (entrada-salida) Básico
BITE: prueba interna del equipo
BOP: Bloque de Optico
BVIM: Bloque de Entrada de Video señal
CAR/SAM: Centro América / Suramérica
CAT: Categoría de Datos
CNS/ATM: Comunicaciones, Navegación, Vigilancia/ Gestión de Transito Aéreo
COTS: Del Mercado
CPS: Estación de Procesamiento Central
DIN: Tarjeta DIN
ECP: Unidad Central de Proceso
ERPC: Estación Receptora y de Proceso Central o Primario
ERS: Estaciones Receptoras Secundarias
ERS: Estación Receptora Secundaria
EUROCAE: Organización Europea para Equipamiento de la Aviación Civil
EUROCONTROL: Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aerea
FIR/UIR : Región de Información de Vuelo /Región Superior de Información de Vuelo
FTP: Protocolo de Transferencia de Archivos
GDOP: Dilución por Posición Geométrica
GND : Tierra
GREPECAS: Grupo Regional de Planificación e Implementación del Caribe y Sudamérica, para el desarrollo y seguridad de la Aviación Civil de la Región.
HDD: Unidad de Disco Duro
HF: Alta Frecuencia
HMI: Interfaz Humano – Máquina
IDE: Entorno de Desarrollo Integrado
IP: Protocolos de Internet
LAN : Redes de Area Local
LAN: Red de Area Local
LCMS: Estación Local de Control y Monitorización
LCMS: Sistema Local de Gestión y Monitorización

LEN: Longitud
LOS: Línea de Vista
MIB: Base de Datos de Gestión
MODE S: Dirección Selectiva SSR
MS: Estación de Monitorización
MSS: Sistema de Vigilancia de Multilateración
MSSR: Radar de Vigilancia Mono pulso Secundario
MU: Unidad de Medición
MUCE: Unidad de Medición
NM: Millas Náuticas
OACI: Organización Internacional de la Aviación Civil
OSI: Modelo de referencia de Interconexión de Sistemas abiertos
RCMS: Terminal(es) de Sistema de Control Remoto y Monitorización
RCMS: Sistema Remoto de Control y Monitorización
RF: Radio Frecuencia
RVR: Alcance Visual en la pista
Rx: Receptor
RXS: Estaciones Receptoras
SMR: Radar Movimiento en Superficie
SNTP: Protocolo de Tiempo en Red Simple
SSR: Radar de Vigilancia Secundario
TDOA: Diferencia en el Tiempo de Llegada
TMA: Area de Control Terminal
TWR: Torre de Control de Aeródromo o Control de Aeródromo
Tx: Transmisor
TXS: Estaciones Transmisoras
VHF: Muy Alta Frecuencia
WAM: Multilateración de Area Amplia

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Principio de detección de la Multilateración	23
Figura 2. Principio de operación: Situación del blanco en el aire	24
Figura 3. Proceso de Multilateración	24
Figura 4. Arquitectura de un sistema de Multilateración	27
Figura 5. Estación receptora con enlace de datos microondas	28
Figura 6. Estación receptora con enlace de datos fibra óptica	29
Figura 7. Pulsos interrogación en intermodo	30
Figura 8. Pulsos de interrogación en modo S	31
Figura 9. Diagrama de bloques de una estación de procesamiento Central	32
Figura 10. Cadena de procesamiento de señal y datos	33
Figura 11. Arquitectura del sistema de gestión	35
Figura 12. Estructura general de un mensaje Asterix	38
Figura 13. Estructura de un registro	39
Figura 14. TMA Cúcuta	51
Figura 15. Geografía del TMA y ubicación de puntos de referencia	52
Figura 16. Cobertura a 5.000 pies sector sur	55
Figura 17. Cobertura a 10.000 pies sector norte	56
Figura 18. Cobertura a 13.000 pies sector norte	56
Figura 19. Cobertura total del TMA a 15.000 pies	57
Figura 20. Cobertura a 15.000 pies marcador intermedio	58
Figura 21. Cobertura a 15.000 pies cerro Oriente	58
Figura 22. Cobertura a 15.000 pies cerro la Virgen	59
Figura 23. Cobertura a 15.000 pies cerro Carrizales	60

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Aplicaciones de la Multilateración	22
Tabla 2. Pulsos de la señal interrogadora	30
Tabla 3. Ventanas de resolución posicional	42
Tabla 4. Comparación productos de Multilateración	45
Tabla 5. Sitios propuestos para emplazamientos WAM	54

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.....	65
--------------	----

GLOSARIO

ALTITUD: distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto y el nivel medio del mar.

APROXIMACIÓN: se define como el área de la cabecera de la pista a una distancia de 5 millas náuticas y dentro de la trayectoria de planeo de la pista.

BLANCOS SUPERPUESTOS: condición por la que las respuestas radar se superponen entre sí en distancia o en azimut.

CÓDIGO DE RESPUESTA: tren de impulso de respuesta, secuencia de impulso (trama) y de información en una respuesta en modo A o en modo C del radar secundario.

INTEGRIDAD: atributo de un sistema o un elemento que indica que puede ser utilizado para llevar a cabo correctamente bajo demanda. (Incluye la capacidad del sistema para informar al usuario de una manera oportuna de cualquier degradación del rendimiento).

INTERROGADOR: elemento transmisor de un sistema de vigilancia (SSR o Multilateración) de base terrestre.

LATENCIA: tiempo máximo desde cuando la transmisión de un blanco (vehículo o aeronave) es recibido en un sensor al tiempo en que es transmitido el reporte de posición por el sistema de multilateración.

RESOLUCIÓN: capacidad de un sistema para distinguir entre dos o más blancos muy cercanos entre sí tanto en distancia como en marcación (azimut).

RETARDO: tiempo máximo de procesamiento de la información en la estación radar o de multilateración.

TRANSPONDEDOR DE VIGILANCIA: unidad que transmite una señal de respuesta al recibir una interrogación de un radar secundario (SSR) o de un sistema de multilateración. El término se deriva de las palabras transmisor y respondedor.

RESUMEN

TITULO

ESTUDIO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE MULTILATERACION COMO SISTEMA ALTERNATIVO EN LA VIGILANCIA AERONÁUTICA*

AUTOR

MARTIN ALBERTO TRUYOL PALACIO**

PALABRAS CLAVES

Vigilancia Aeronáutica, Seguridad Operacional, Multilateración, Integridad, Navegación Hiperbólica

DESCRIPCIÓN

El desarrollo del presente trabajo está intencionado en un acercamiento al conocimiento de los sistemas de Multilateración como equipamiento en tierra que apoya los servicios de Vigilancia Aeronáutica, así como hacer la evaluación a una posible implementación.

El primer capítulo, detalla características operativas del Radar Secundario, la opción anterior a la Multilateración en cuanto a vigilancia cooperativa independiente, e intenta mostrar los tipos de señales que emite y que recibe, dado que son las mismas que emplea el sistema de Multilateración en su operación de modo que permita posteriormente realizar un paralelo de operación de las dos tecnologías.

El segundo capítulo, describe la forma en que la Multilateración realiza la detección de un blanco y la procesa, además muestra las partes que componen el sistema. Se hace un somero estudio a la forma como se intercambia la información a través del protocolo Asterix, detallando como se estructura genéricamente el protocolo e indicando la categoría utilizada para la Multilateración. Posteriormente se hace un detalle de los parámetros que se utilizan para evaluar las prestaciones de un sistema de Multilateración (según modelo europeo – Eurocontrol). Finalmente se hace una referencia de algunas implementaciones de Multilateración en el mundo y específicamente las realizadas en España.

El tercer capítulo hace evaluación de un posible emplazamiento de un sistema para el TMA de Cúcuta, donde se valoran algunos sitios propuestos por el autor, lo que se pretende es verificar la cobertura de cada sitio propuesto, así como evaluar si en las áreas de interés del TMA (las diferentes aerovías) y en los distintos niveles de vuelo, ahí la cobertura permanente para detección de blanco en 3D (los tres ejes x, y, z), el cual requiere como mínimo que el blanco sea detectado por 4 antenas como mínimo, así como otras consideraciones propias de este sistema.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Programa de Especialización en Telecomunicaciones, Director: Jairo Mauricio Gallo Mendieta.

SUMMARY

TITLE

RESEARCH FOR THE INSTALLATION OF MULTILATERATION SYSTEM AS ALTERNATIVE SYSTEM IN THE AERONAUTICAL SURVEILLANCE

AUTHOR

MARTIN ALBERTO TRUYOL PALACIO**

KEY WORDS

Aeronautical surveillance, Operational Safety, Multilateration, Integrity, Hyperbolic Navigation.

DESCRIPTION

The development of the present research pretends to make an approach to the knowledge of Multilateration systems as land equipment which supports the services of Aeronautical surveillance, as well as doing the evaluation and implementation.

The first chapter details some characteristics of the Secondary Radar which is the previous option to the Multilateration in regard to a cooperative and independent surveillance. That it beams and receives provided that they are the same that Multilateration system uses in its operation so that it allows to perform later a parallel operation of both technologies.

The second chapter, describes the way in which the Multilateration performs the detection of a target and process it, in addition, it shows the parts that compose the system. A cursory study is done to the way as information is exchange across the protocol Asterix, detailing how the protocol is structured generically and indicating the category used for the Multilateration, later a detail of the parameters that are in use for evaluating the presentations of Multilateration system (according to European model - Eurocontrol) is done. Finally, a reference of some Multilateration implementations in the world and specifically the ones performed in Spain, is carried out.

The third chapter evaluates a possible emplacement of a system for Cúcuta TMA, where principally an evaluation of some places proposed by the author is done and what is claimed to check is the coverage of every proposed place, as well as to evaluate if in the areas of interest of the TMA (the different airways) and in the different levels of flight, exist the permanent coverage for detection of target in 3D (the axes x, y and, z), which needs as minimum, that the target be detected by 4 antennas as minimum, as well as other considerations own of this system.

* Grade project.

** Physical-Mechanical Engineering Division, School of Electric, Electronic and Telecommunications Engineering, Specialization Program in Telecommunications, Manager: Engineer Jairo Mauricio Gallo Mendieta.

INTRODUCCIÓN

La vigilancia aeronáutica es denominada como la capacidad del sistema ATS de proveer información de calidad que garantice la presentación de la situación aérea en tiempo real, de cada una de las aeronaves que están recibiendo Servicios ATC Radar.

Por tanto la facilidad de poder representar en una pantalla o consola de control de tránsito aéreo el entorno de un espacio aéreo específico, en tiempo real el cual corresponde a la detección de todas las aeronaves (o también llamados blancos), dicha representación en pantalla de cada blanco que es llamada etiqueta radar, resulta a partir del manejo automatizado de la información de datos radar y de vuelo que tiene adjunto una serie de datos que sirven de ayuda a los servicios de control de tránsito aéreo (ATC) radar y los cuales corresponden a identificación de la aeronave (llamada modo A) y que corresponde al código asignado por ATC a cada aeronave para poder diferenciarlas entre sí; otra información que se representa en la etiqueta radar, asociada con cada aeronave es la altitud que se está registrando en el equipamiento barométrico de abordaje así como la información de velocidad registrada por la aeronave (llamada modo C).

La información proporcionada por la vigilancia radar, se genera de dos medios distintos: Uno es la detección de los blancos sin cooperación de ellos mismos o "Vigilancia Independiente", lo cual es una detección que se basa en la reflexión de una señal enviada al espacio por un equipo en tierra "Radar Primario", el cual emite esta señal de gran potencia, de modo que le permita a la señal enviada poder llegar a los blancos en un espacio aéreo específico y tener energía suficiente para poder rebotar y llegar con la energía necesaria para ser detectado por sus partes receptoras (del radar primario). Esta señal detectada no requiere de colaboración alguna (sin respuesta) del blanco, lo cual es una ventaja para funciones de detección básica de defensa, fundamental en actividades militares y en operaciones civiles de rastreo aéreo, pero que tiene asociada una restricción de las características del blanco como es la información relacionada a ella, tal es la identificación de la aeronave (blanco) y otros datos de vuelo asociados a dicho vuelo, por lo que para actividades de gestión y control del espacio aéreo no es suficiente.

Por lo anterior, esta información complementaria del blanco detectado se logra con la implementación de otro equipo en tierra llamado "Radar Secundario", el cual se basa en la emisión de una señal (interrogación) cuyo objetivo, en cuanto a potencia, es poder llegar hasta los blancos ubicados en el área a cubrir sin importarle si la señal de rebote en el blanco, llega con energía suficiente al mismo radar, esto es, solo le importa poder llegar hasta los blancos, por cuanto cuando son detectados por las aeronaves (equipo transpondedor) estos devuelven otra señal (respuesta) que contiene información de acuerdo al tipo de interrogación que les haga, permitiendo al equipo en tierra de vigilancia poder tener datos

adicionales a su posición acimutal, que informan sobre algunas condiciones de vuelo del blanco detectado denominándose a esta detección “Vigilancia Cooperativa”.

Asociado a este concepto de Vigilancia Aeronáutica, se encuentra la capacidad del sistema de poder:

Incrementar el nivel de seguridad en las diferentes fases del vuelo permitiendo optimizar las separaciones mínimas entre aeronaves.

Supervisar la separación entre la aeronave y el terreno.

Administrar de forma segura, regular y eficiente el espacio aéreo, garantizando mediante la prestación de servicios de vigilancia ATS.

El control de Tránsito Aéreo (ATC), presta cuatro servicios al tránsito aéreo: Información y alerta en la FIR/UIR, asesoramiento en las rutas y control del espacio aéreo.

Dependiendo de qué área tenga asignada cada dependencia o posición del control, el servicio que suministra puede ser en:

- Servicio de Control de Aeródromo (TWR)
- Servicio de Control de Aproximación (APP)
- Servicio de Control de Area (ACC)

Las clases de control de tránsito aéreo que se pueden ejercer son:

- Control por Procedimientos: Llamado también convencional, el cual se fundamenta en los informes de posición reportados por los pilotos a través de comunicaciones orales tierra – aire. Puede reportarse cuando el controlador lo pida o en puntos preestablecidos de notificación obligatoria. Debido a que no se tiene un conocimiento preciso de la posición de la aeronave, las separaciones entre aeronaves deben ser grandes.
- Control por Radar: Aparte de las comunicaciones orales, se usa la vigilancia por medio de radares. Aquí se permiten menores separaciones porque el controlador cuenta con información sobre la posición de todo el tráfico aéreo en su área (conciencia situacional del controlador).

El contar con sistemas de vigilancia y comunicaciones convenientes permiten soportar un servicio de control de tránsito aéreo que mejora sustancialmente la capacidad, eficiencia y seguridad.

1. SISTEMAS CONVENCIONALES DE VIGILANCIA AERONÁUTICA

1.1 RADAR SECUNDARIO

La intención de la presente monografía no es la descripción técnica detallada de este equipo, sin embargo se planteará el concepto operacional y algunas características que permitan establecer una referencia, frente al sistema intencionado de estudio, La Multilateración.

La detección basada en un SSR (Radar Secundario), como se indicó anteriormente, consiste en emitir una señal electromagnética referenciada en azimut (en una dirección determinada), con la intención de que dicha señal sea percibida por un equipo transpondedor de la(s) aeronave(s) que se encuentre(n) en la zona del lóbulo de radiación de dicho radar, llamado “alcance radar” y luego en una fase de recepción; es capaz de detectar la señal proveniente del transpondedor, quien lo hace respondiendo en principio a la señal enviada por el SSR. La señal enviada por el SSR, es una señal codificada y que corresponde a una interrogación compuesta por una combinación de pulsos que tienen unas características especiales.

1.1.1 Características de la parte activa terrestre.

Corresponde a la actuación por parte del SSR donde la emisión de una serie de pulsos codificados y la interrogación, los cuales son tres P_1 , P_2 y P_3 , de ellos se utiliza el P_2 exclusivamente para la supresión de los lóbulos laterales y la distancia entre los pulsos P_1 y P_3 definen el tipo de pregunta o “modo” de interrogación, estos son cuatro:

Modo A: 8 microsegundos

Modo B: 17 microsegundos

Modo C: 21 microsegundos

Modo D: 25 microsegundos

En la aviación civil solo se utilizan los modos A y C, donde el modo A es una interrogación sobre la Identificación de la aeronave, que no es otra cosa que un código asignado por el controlador y está compuesto por 4 dígitos en base octal y el modo C que es una interrogación de la altura barométrica del avión. Estos pulsos tienen otras características en su emisión, como la frecuencia portadora que es a 1030 MHz, la potencia que está ligada a requerimientos condicionantes como: distancia (o alcance) que pretende cubrir, ganancia de la antena, las pérdidas por condiciones atmosféricas y otras pérdidas relacionadas con líneas de transmisión. La potencia está relacionada con la garantía de que los equipos abordo (transpondedores) reciban la energía suficiente que les permita captar adecuadamente la señal interrogadora de los SSR.

Los pulsos que realmente le interesan al transpondedor para interpretar el tipo de interrogación son los denominados P_1 y P_3 , que como se dijo anteriormente, es el tiempo entre ellos el que determina el tipo de interrogación. Sin embargo, debido al patrón de radiación de la antena radar, genera otros lóbulos (laterales) diferentes al intencionado (lóbulo principal), que acarrearán un inconveniente pues se comportan como otras interrogaciones similares y que se adicionan a la principal. Esta situación controla generando otro pulso (P_2), el cual se emite 2 microsegundos después de P_1 y quien se emite en forma omnidireccional, con otra antena adicional, y cuya potencia se calcula de forma que en la dirección del lóbulo principal este pulso esté por debajo de 9 dB. del nivel de P_1 y P_3 (que son pulsos similares), y en la dirección de los lóbulos laterales será al contrario, es decir, el nivel de P_2 es superior al de P_1 . Los transpondedores son diseñados de manera que en su evaluación de la señal de entrada no contesten cuando el nivel de P_2 sea superior al de P_1 .

2. SISTEMAS DE MULTILATERACION

El propósito del sistema de vigilancia de Multilateración (MSS) es proporcionar, en tiempo real las posiciones e identificaciones de los aviones y vehículos equipados con un transpondedor SSR operacional.

También es llamada posicionamiento hiperbólico, consistiendo en una técnica que emplea los tiempos de llegada de una misma señal radioeléctrica (TDOA) transmitida por los transpondedores Modo A/C/S, a un conjunto de antenas para el posicionamiento tridimensional de una estación móvil mediante un mínimo de 4 antenas.

Es un sistema de vigilancia cooperativa en la superficie y en el entorno aeroportuario, que permite ampliar la cobertura de los radares secundarios y constituye junto con el radar de superficie (SMR) el Sistema Avanzado de Vigilancia en Superficie (SAVS), el cual está incluido en el programa A-SMGCS de OACI (Documento 9476).

Las aplicaciones de los MSS se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Aplicaciones de la Multilateración

Vigilancia	Areas de Interés	Complemento
Superficie Aeroportuaria	Pistas Calles de Rodaje Plataformas	SMR ADS-B
Areas Terminales (TMA)	Alternativa al MSSR en orografías complejas Cubrir huecos en la cobertura proporcionada por la RVR	MSSR Modo – S ADS - B
Ruta	Alternativa a la RVR Cubrir huecos en la cobertura proporcionada por la RVR	MSSR Modo – S ADS - B

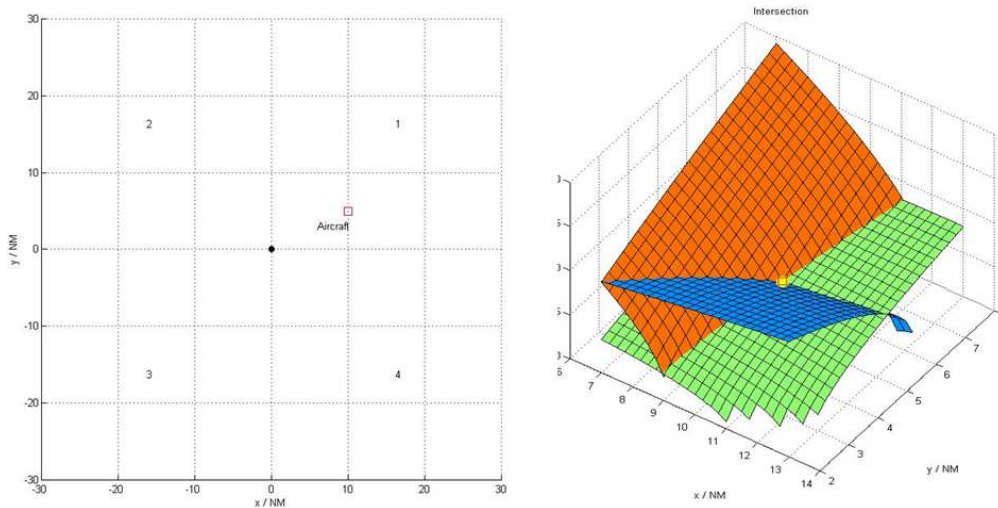
Fuente: Eurocae ED-142

2.1 FUNDAMENTO DE LA MULTILATERACION

El MSS está basado en el principio de la Multilateración del TDOA de emisiones de blancos que respondiendo a un SSR o a un interrogador MSS, a 1090 MHz, en conformidad con el anexo 10 de OACI. Mediante el conocimiento de la posición de 2 antenas (las cuales no necesitan ser unidireccionales) y conociendo el TDOA de una señal proveniente del móvil (blanco) a localizar, el problema de búsqueda del punto emisor se reduce a localizar al mismo en el interior de un hiperboloide de

dos hojas. Añadiendo un tercer nodo de medición se obtiene una nueva diferencia de tiempos de llegada, lo que genera un nuevo hiperboloide que intersecciona con el anterior, reduciendo el problema a una curva en la superficie de una de las dos hojas del hiperboloide. Si añadimos una cuarta antena, obtenemos un nuevo TDOA y generamos un nuevo hiperboloide; dicho hiperboloide intersecciona con los otros dos (o con la curva generada por la intersección de los dos primeros hiperboloides) en un único punto común, que es el punto a determinar. En este caso, se da también la coordenada de altura del punto de medición (figura 1).

Figura 1. Principio de detección de la Multilateración



Fuente: Eurocontrol

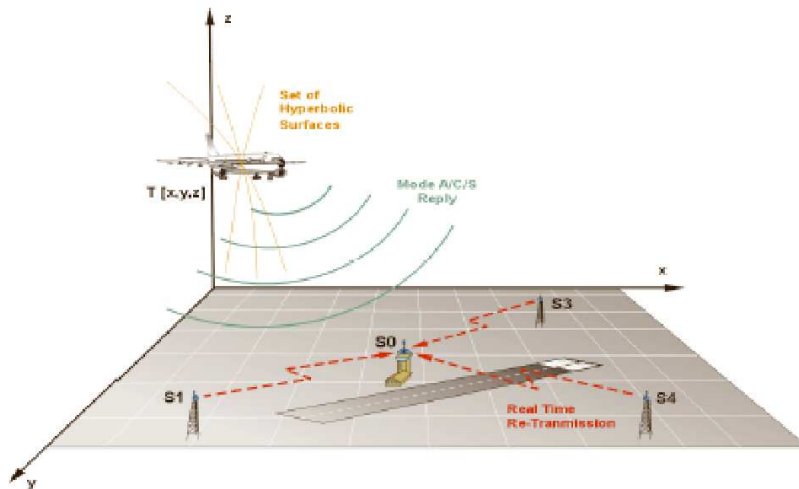
En el TDOA no es necesario conocer los tiempos de llegada, tan solo basta con conocer la diferencia de dichos tiempos. Para ello, partimos del principio que defiende que debido a la diferencia de distancias que existen entre las antenas respecto al punto de medición, los tiempos de retardo de las señales captadas por el terminal emisor son diversos.

Como se aclara anteriormente, se requiere un mínimo de antenas receptoras para el posicionamiento en 2D, que es de 3 antenas y un mínimo de 4 antenas para el posicionamiento en 3D. Con este requerimiento y considerando los objetos urbanos (estructuras, edificaciones, etc.) próximos y dentro del aeródromo, se generan problemas adicionales de enmascaramiento de la ondas de radio por lo que puede ser necesario la instalación de receptores adicionales en algunas áreas, para mejorar la precisión de la medición de la posición.

A continuación, del sistema detectar la señal de cada transpondedor en distintas localizaciones de sensores, la señal es enviada por cada una de ellas a la

Estación de Procesamiento Central (EPC), donde se utiliza la diferencia de tiempo de llegada de la señal en cada localización de sensor para la estimación de la ubicación del transpondedor (figura 2), usando técnicas avanzadas de procesamiento.

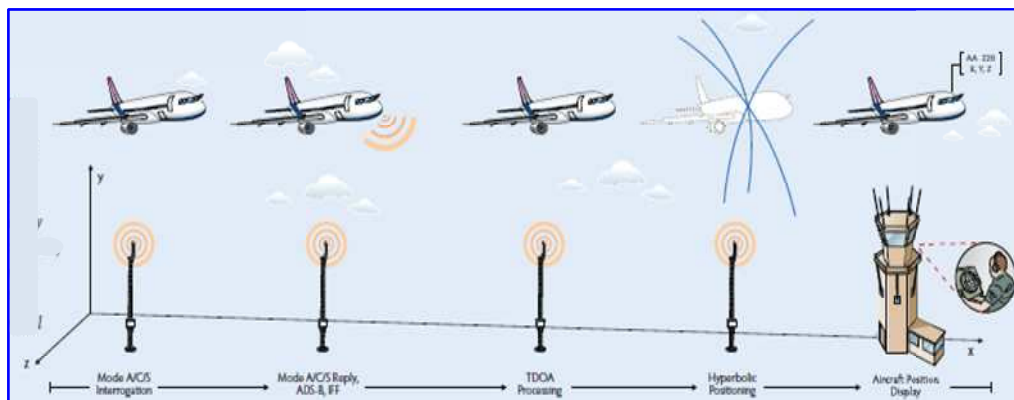
Figura 2. Principio de operación: Situación del blanco en el aire



Fuente: Era Corporation

La Multilateración no requiere de equipamiento abordo adicional, dado que se usan las respuestas del transpondedor Modo A, C y S, así como también los de uso militar IFF e incluso el ADS-B.

Figura 3. Proceso de Multilateración



Fuente: Era Corporation

2.2 PRINCIPIO DE IDENTIFICACIÓN DEL BLANCO (MODO S)

El MSS obtiene una dirección de 21 bits única e información de posibilidades del transpondedor de los squitter¹ modo S, que son transmitidos espontáneamente (aproximadamente una vez por segundo) por un transpondedor modo S de un abordo.

La dirección modo S es utilizada por el sistema MSS para interrogar selectivamente al avión y obtener:

- El código modo A para los transpondedores del nivel 1².
- La identificación del avión para los transpondedores de nivel 2 y superiores.
- La altitud del modo C.
- El estado del vuelo (GND)

Para obtener el código modo A de un blanco modo S, el MSS debe tener capacidad de interrogación en Modo S. La interrogación en modo S la proporciona la estación transmisora convenientemente instalada, en el aeropuerto o en el caso de WAM en las afueras.

La estación transmisora emite interrogaciones Modo S directamente al blanco seleccionado para obtener su código Modo A, el código Modo C y la etiqueta de tierra (Ground). Para minimizar las interferencias con otros sistemas que compartan la banda de frecuencia o con transpondedores de a bordo, las interrogaciones se transmiten con una potencia de salida controlada y con una baja frecuencia de repetición dentro del área de cobertura.

2.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA MSS

Estos sistemas se caracterizan por ser modulares y comprenden al menos las siguientes unidades funcionales básicas:

2.3.1 Estaciones receptoras (RXS).

Instaladas alrededor del área a cubrir, llamadas también estaciones repetidas secundarias. El objetivo de las estaciones receptoras es recibir las transmisiones del transpondedor SSR de aviones y otros vehículos equipados. Una RXS consta de los siguientes componentes:

¹Señal espontánea emitida por los transpondedores Modo S y no solicitados por ninguna estación, con información de ubicación, derrota, altura, etc., de la aeronave que lo emite.

²Capacidad del equipo en Modo S de a bordo, con capacidad de interrogación selectiva básica, sin notificación de capacidad de datos y otros datos.

- Antena.
- Unidad Receptora.
- Fuente de Alimentación.
- Enlace de Datos.

2.3.2 Estaciones Transmisoras (TXS).

Instaladas dentro del área de cobertura, llamadas también interrogadoras y se instalarán tantas como sean necesarias para garantizar la cobertura radar de toda la zona operativa del sistema de Multilateración. Las TXS constan de:

- Antena.
- Interrogador SSR / Transmisor de referencia (doble).
- Fuente de alimentación.
- Enlace de datos.

El Interrogador SSR/Transmisor de referencia (doble) interroga directamente a los blancos equipados con un transponder modo S para obtener la identificación del avión (código modo A), la altitud del avión (código modo C) o la etiqueta de tierra³. Transmite respuestas SSR continuamente para comprobar la integridad del sistema y la calibración en línea.

2.3.3 Medios de transmisión de señales a la CPS.

Comprende los sistemas de conversión de señales eléctricas a ópticas y viceversa, así como los equipos necesarios para retransmitir la señal captada (de los transponder) por los receptores o la señal a transmitir por los interrogadores y vienen de la CPS. Estos medios de retransmisión pueden ser ópticos, si se encuentran dentro del entorno aeroportuario y las condiciones del terreno lo permiten o por medio de radiofrecuencia (microondas) para localizaciones más remotas o que presentan mayor complejidad para medios ópticos.

2.3.4 Estación de Procesamiento Central (CPS).

Su objetivo es procesar los mensajes generados por las estaciones receptoras y controlar las estaciones receptoras y transmisoras. Las CPS comprenden:

³ Información generada por el Transponder indicando que el Avión a puesto ruedas sobre la pista.

- Enlaces de Datos.
- Distribuidor de Señal.
- Procesador de Señal y Datos del Subsistema Medidor.
- Estación de Control y Monitorización local.

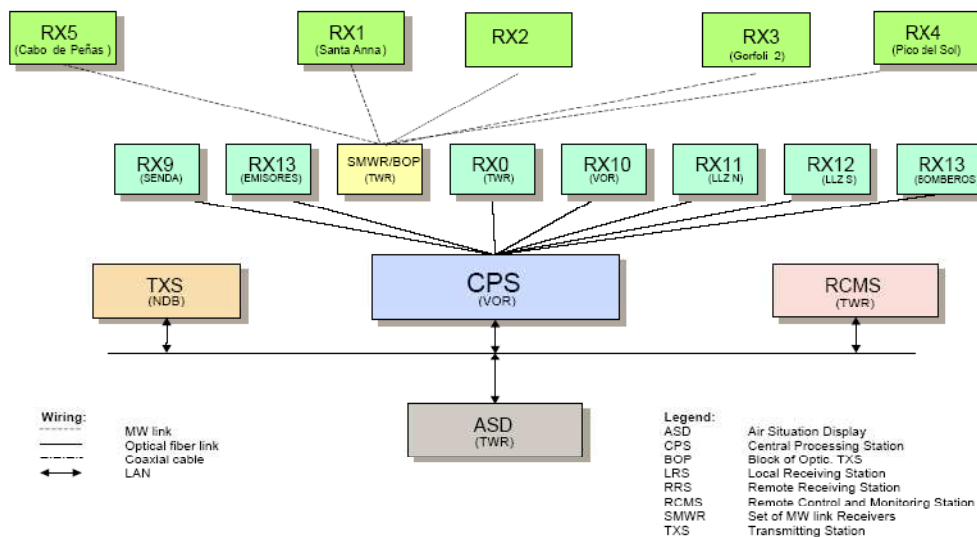
2.3.5 Sistema de gestión del sistema de Multilateración.

Este sistema reside en servidores que se encargan de todo lo referente de la configuración del sistema. Está compuesto por terminal(es) de Sistema de Control Remoto y Monitorización (RCMS), terminal de Sistema de Control Local y Monitorización (LCMS) y el visor de Situación en el Aire (ASD).

2.3.6 Visualización de datos sintéticos.

El formato Asterix de Eurocontrol procede de los extractores o procesadores de datos de la ECP, para permitir la presentación en una unidad de datos dedicada al mantenimiento (PPI).

Figura 4. Arquitectura de un sistema de Multilateración



Fuente: Era Corporation

2.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MSS

2.4.1 Estación Receptora (RXS).

Pueden ser locales (LRS) ó remotas (RRS), su misión es recibir las señales respuesta (en la banda de los 1090 MHz) de los transpondedores de las aeronaves o de vehículos y enviarlas a la CPS, mediante fibra óptica o

radioenlace. Básicamente está compuesta por la antena, el receptor y la estación de transmisión de datos.

Las características de esta unidad son:

- Fechado, que corresponde a una característica de etiquetar la señal recibida de los transpondedores con la inserción de un tiempo de recepción el cual se realiza con un reloj de alta estabilidad sincronizado con GPS. Esta característica no es común en las RRS y cuando la posee obedece al modo de configuración llamado Distribuido, y que es precisamente que a la CPS le llegan las señales de Las ERR ya fechadas, obviamente esto requiere una mayor complejidad de estos receptores. Cuando las ERR no incluyen este fechado, la configuración es denominada Centralizada, que supone estaciones receptoras más sencillas y en consecuencia más fiable y con menos consumo de energía.
- La antena en banda L, dipolo con cubierta de protección, polarización vertical, DDR en acimut no direccional o sectorial.
- El Receptor tiene las siguientes características: la frecuencia nominal es a 1090 MHz \pm 0.5 MHz, sensibilidad de -70dBm a la entrada del receptor, señales recibidas: modos A, C, S así como mensajes ADS-B.
- Estación de transmisión de datos, que puede ser fibra óptica o radioenlace, (figuras 4 y 5).

Figura 5. Estación receptora con enlace de datos microondas



Fuente: Era Corporation

Figura 6. Estación receptora con enlace de datos fibra óptica



Fuente: Era Corporation

2.4.2 Sistema de Interrogación, Estación Transmisora (TXS).

La función principal de la estación transmisora es solicitar respuestas SSR de los transpondedores SSR de abordo, esto es la generación de interrogaciones en Modo A, C y S para excitar los transpondedores existentes dentro del volumen de cobertura del sistema, con el fin de adquirir, identificar o confirmar los blancos; este ciclo de operación lo controla la Estación de Procesamiento Central (CPS). La ubicación correcta de las estaciones transmisoras dentro del área de cobertura requerida es necesaria para el correcto funcionamiento del sistema MSS.

Una composición estándar de un Interrogador modo S, lo integra una antena, transmisor (doble), unidad de conmutación, unidad de control y estado, unidad de supervisión (doble).

De las características técnicas del Interrogador se pueden destacar:

- La señal de RF es de 1030 MHz \pm 0.01 MHz

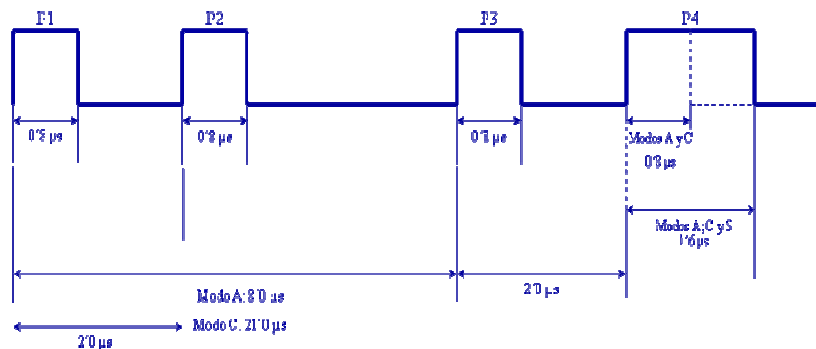
- Las envolventes de las señales de RF correspondientes a los pulsos emitidos, son de características similares al de un Radar Secundario con capacidad Modo S (Anexo 10 OACI, volumen IV), así:
- Potencia de salida podrá estar entre 30 dBw y 18 dBw, con posibilidad de ajuste en escalones de -3dB; -6 dB y -12dB.
- el PRF (frecuencia de repetición de pulsos) seleccionable entre 100 Hz y 450 Hz.
- El entrelazado de modos, deberá ser programable.

Tabla 2. Pulsos de señal Interrogadora.

Pulsos	Duración (μs)	Tiempo de subida (μs)	Tiempo de bajada (μs)
P ₁ ; P ₂ ; P ₃ ; P ₄ Corto y P ₅	0.8 ± 0.1	0.05 a 0.1	0.05 a 0.2
P ₄ largo	1.6 ± 0.1	0.05 a 0.1	0.05 a 0.2
P ₆ corto	16.25 ± 0.25	0.05 a 0.1	0.05 a 0.2
P ₆ largo	30.25 ± 0.25	0.05 a 0.1	0.05 a 0.2

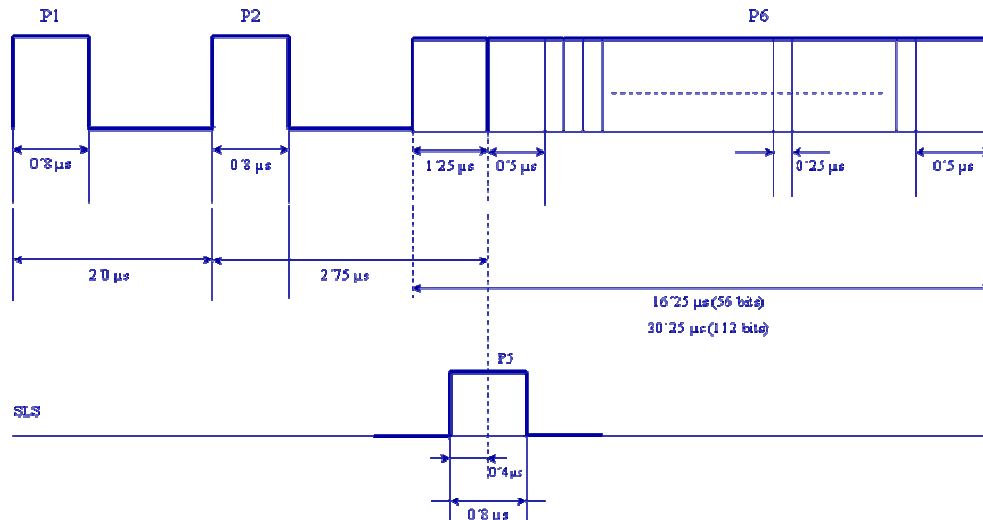
Fuente: Anexo 10 de la OACI, volumen IV

Figura 7. Pulsos interrogación en intermodo



Fuente: Anexo 10 de la OACI, volumen IV

Figura 8. Pulsos interrogación en modo S



Fuente: Anexo 10 de la OACI, volumen IV

2.4.3 Medios de Transmisión de señales al CPS.

Cuando se ubican estaciones remotas individuales bien sea en los exteriores del aeropuerto o en el interior del entorno aeroportuario, que por su situación requieran que su retransmisión se realice por medio de vía microondas, es necesario implementar el Bloque BOP (Bloque de Óptico), que se encargará de convertir la señal eléctrica de radiofrecuencia en señal óptica, recibidas en los receptores para posteriormente transmitir las a través de ruta óptica al bastidor del CPS, cuando este se ubica en otra edificación. El bloque BOP se sitúa en el interior de la torre de control, dado que se supone que el punto más alto del entorno aeroportuario es la torre de control, para garantizar la línea de vista con las estaciones remotas.

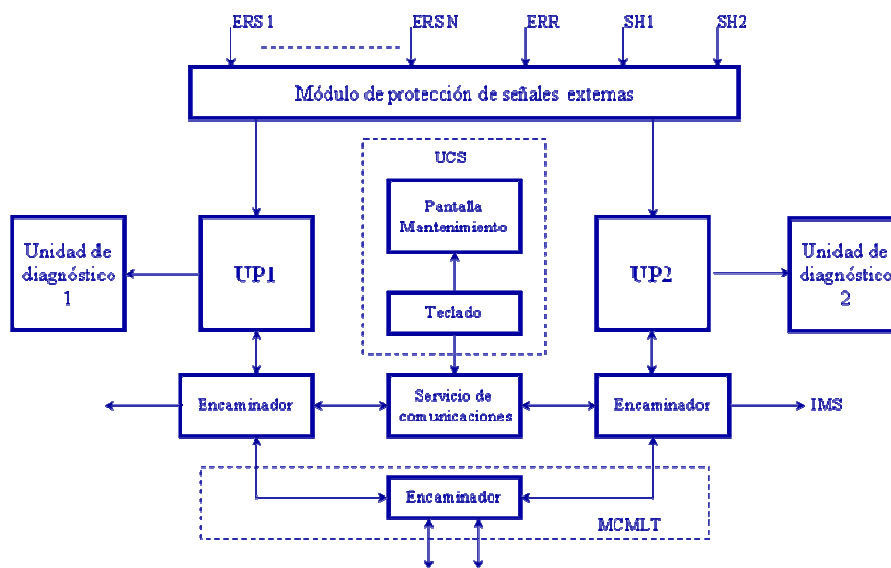
Las señales de microondas (radioenlaces) para comunicar las ERS con las ERPC, se transmitirán de forma directiva a través de una antena de microondas asociada a cada uno de dichos transmisores. Las señales a la entrada de la antena de microondas deberán cumplir con niveles TTL, en líneas de 50 Ω o 75 Ω de impedancia característica y en cualquier forma deberá cumplir con los requisitos indicados en la recomendación ITU-R F.637 ó ITU-R F.497-6.

2.4.4 Estación de Procesamiento Central (CPS).

Representa el núcleo del sistema que se encarga de asegurar las siguientes funciones:

- Recepción de las señales SSR de todas las Estaciones receptoras conectadas.
- Procesamiento de datos de Multilateración en tiempo real de las señales SSR recibidos en digitalización del video, detección del blanco, generación de la pista y seguimiento de la pista.
- Fechado exacto de todos los datos procesados (utilizando un servidor NTP⁴ y/o GPS).
- La salida de los resultados del procesamiento de datos de Multilateración como mensajes de blancos en ASTERIX Cat. 10.
- Control de la estación transmisora.
- Monitorización en línea de los componentes WAM fundamentales.

Figura 9. Diagrama de bloques de una estación de procesamiento central



Fuente: Era Corporation

Como se puede apreciar en la figura, las CPS constan de dos unidades de procesamiento de señal y de datos idénticos y bloques que garantizan las condiciones para el rendimiento de los subsistemas de procesamiento.

2.4.4.1 Descripción de funciones de la CPS. Las rutas y procesamiento de las videoseñales, a la CPS le llegan las señales de los receptores (normalmente

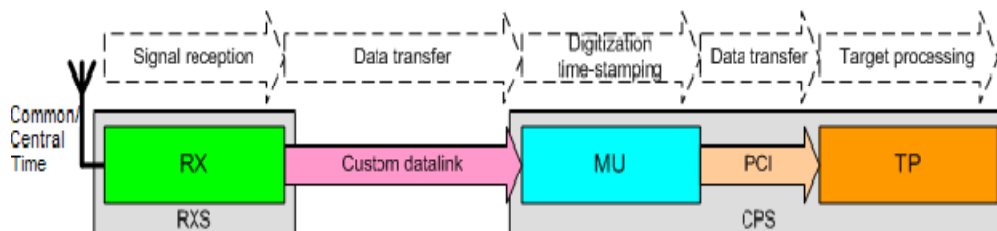
⁴ Los relojes disponen de salida serie (RS422) y de salida a LAN para actuar como servidores NTP.

mediante cable óptico) a un distribuidor de señales ópticas que están contenidas en un módulo de entrada de señales de video, que algunos fabricantes le llaman BVIM, que se encargará de convertir el formato óptico a eléctrico y entregarlo a las unidades de procesamiento y medición de blancos (TP), que se encargara de iniciar los blancos, tracking (seguimiento) y donde son generados los mensajes blancos.

Las unidades TP aseguran las siguientes funciones:

- Detección de señal SSR (Modo A/C/S).
- Medida del TOA de las señales SSR.
- Decodificación e interpretación del contenido de las señales SSR.
- Calculo de Multilateración de posición exacta.
- Generación y Transmisión de salida de Mensaje de salida de Blancos.
- Generación y Transmisión de comandos y datos al Transmisor.
- Recepción de datos de diagnóstico de todos los Receptores y Transmisores.

Figura 10. Cadena de procesamiento de señal y datos



Fuente: Era Corporation

Intervalos de medición, el cual establece tiempos para el procesador de señal y video a fin de realizar las fases de lectura de los registros de estado de las unidades de medida, de medición ó procesamiento de la video señal (medición del TOA, etc.) y repetición de ciclo nuevamente.

Los subsistemas de GPS se basan en la utilización de señal GPS por el sistema operativo, en cada uno de los dos procesadores de señal y datos, para la corrección del tiempo del sistema, la cual se utiliza para asignar el tiempo a posiciones de respondedores SSR detectados y en seguimiento.

El diagnóstico de la CPS consiste en el uso de medios de diagnóstico del sistema ASCS (Sistema Aeroportuario de Vigilancia en Superficie) para comprobar los fallos de la CPS. Donde mediante las señales de los Transmisores de referencia (estación transmisora) y/o cuando se implementa un receptor/transmisor de prueba, que imita un blanco, se puede comprobar no solo los sistemas de multilateralidad, sino también a los interrogadores TXS.

La grabación de datos, los datos primarios (Los datos de la Unidad de Medición) se graban en el procesador de señal y datos, donde dicha grabación se realiza por breve tiempo, dado la gran cantidad de datos y lo que supone en requerimiento de espacio de disco. Estos datos se guardan en archivos, estableciendo que deberá quedar libre un espacio libre de disco y donde al llegar a este límite, los archivos más antiguos serán borrados.

El Back-up y recuperación, es la opción que garantiza que en caso de fallo de cualquiera de los subsistemas del ordenador, pueda realizarse un back-up en espera (hot back-up), en línea o puede utilizarse la pieza de repuesto que reemplaza el ordenador averiado.

2.4.5 Sistema de Gestión del Sistema de Multilateración.

El sistema de gestión es la aplicación que se usa para mantener y controlar el sistema de Multilateración. Una de las características del sistema es que no requiera asistencia permanente "in situ", por lo que el sistema requiere solamente de supervisión intermitente, permitiendo realizar el mantenimiento, ejecutar las funciones de control y generar informes del sistema, desde distintos sitios que pueden ser localmente o remotamente, incluso vía internet.

Esta supervisión se realiza vía LCMS o RCMS. El terminal del Sistema Remoto de Control y Monitorización (RCMS) permite el control y la monitorización en línea de las funciones del MSS, permitiendo al personal de mantenimiento la visualización en línea de las mediciones del mismo. Permitiendo adicionalmente la reproducción de los datos grabados.

El sistema puede tener varios terminales RCMS conectadas, además del LCMS (Terminal Local de Gestión y Monitorización). Otras terminales RCMS se pueden conectar al sistema a través de una WAN (vía internet), de las cuales una puede ser la del centro de supervisión del fabricante, con el debido control del usuario propietario.

2.4.5.1 Funciones. Las principales funciones del Sistema de Gestión son:

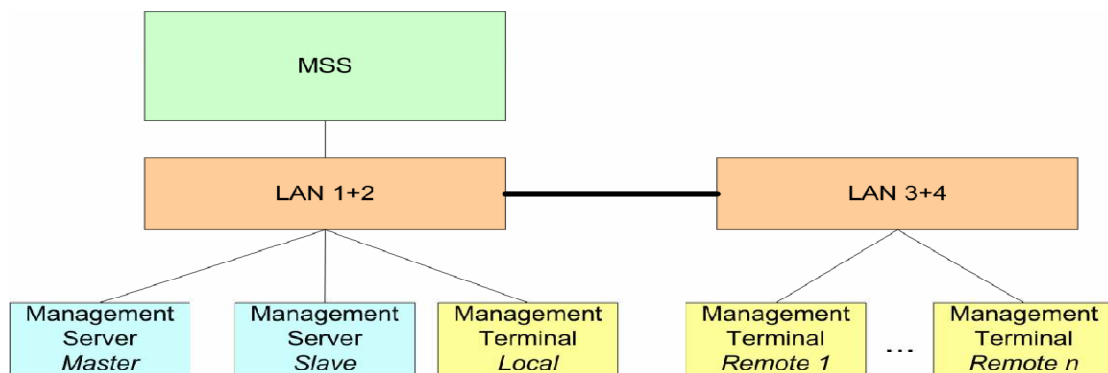
- Monitorizar el estado de todas las unidades y subsistemas del SMMS.
- Proporcionar un modo de Prueba que ayude a comprobar los efectos de los cambios en los parámetros de procesamiento de datos en SMMS.

- Monitoriza y avisa continuamente sobre cualquier estado de error o degradación del sistema SMMS debido a fallos o errores en cualquier unidad o subsistema.
- Ayuda a los ingenieros de mantenimiento a detectar, localizar y corregir los fallos o errores.
- Proporciona al usuario informes de rendimiento y salidas de cualquier unidad o subsistema.
- La gestión de la presentación y almacenamiento de los parámetros operativos del sistema.

2.4.5.2 Arquitectura. La arquitectura del Sistema de Gestión puede dividirse en dos categorías principales:

- Elementos físicos – Hardware de PC y periféricos para apoyar las funciones del Sistema de Gestión.
- Elementos funcionales – Software(s), protocolos, y datos instalados en los elementos físicos, en el Sistema de Gestión, y en el sistema gestionado, que asegure la funcionalidad del Sistema de Gestión.

Figura 11. Arquitectura del sistema de gestión



Fuente: Era Corporation

2.4.6 Visualización de los datos sintéticos en formato Asterix.

Los datos procesados en la CPS, como se detallo en la sección 2.4.4.1, el cual ya con la detección y rastreo de los blancos, se generan datos que se entregan al medio (LAN), en formato Asterix, para posterior uso en aplicativos de gestión y para representación en la PPI, en posiciones de uso de ATC.

2.4.6.1 Formato Asterix. El formato Asterix es un protocolo de intercambio de datos de vigilancia, estructurado para todo propósito. El cual es un estándar de Eurocontrol que se refiere a las capas de Presentación y Aplicación (capas seis y siete), definidos en el modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos (OSI). La información de vigilancia codificada en Asterix puede ser usada por algún medio de comunicación disponible, para instancias como redes de área amplia (WAN), redes de área local (LAN), protocolos de internet (IP), etc., que están en capas más bajas.

Asterix fue desarrollado para facilitar el intercambio de información de vigilancia entre y dentro de países, donde los principales usuarios son los Centros de Control de Tránsito Aéreo (ATC), así como el intercambio de datos de vigilancia entre distintos centros de control. Además es usado por industrias vinculadas al desarrollo y estabilización de nuevas tecnologías, que están integrados en los sensores de vigilancia y en sistemas de automatización. Otra intención es permitir que las nuevas tecnologías de vigilancia cohabiten con los sistemas existentes, donde la información debe ser generada y transmitida de manera armonizada y eficiente.

La filosofía de Asterix se puede describir en dos palabras “Distribuir todo lo requerido” y “No transmitir más de lo necesario”. Dado que hay información a transmitir común a todos los sistemas, estos son clasificados para categorías, ASTERIX especifica los requerimientos mínimos en el nivel de Aplicación, así que facilita el intercambio entre aplicaciones heterogéneas. Es posible la comunicación entre dos sistemas diferentes (localizados incluso en países diferentes), basado en un núcleo de datos relacionados usados en vigilancia, transferidos en la misma forma por la capa de Presentación Asterix.

2.4.6.2 Organización de los datos en un mensaje Asterix. La categoría de Datos (Data Categories - CAT) es el agrupamiento que se hace del tipo de dato que se intercambia entre los diferentes usuarios, y el cual se estandariza para que sea igual a los otros usuarios y cuyo propósito de clasificación son:

- Permitir fácil identificación de los datos.
- Facilitar el envío de datos a las correspondientes tareas de aplicación en la unidad de recepción.
- Establece una cierta Jerarquía de los datos basado en sus prioridades.

Se han definido hasta 256 categorías de datos y sus usos en los siguientes rangos:

- Categoría de datos desde 000 hasta 127, para aplicaciones estándares civiles y militares.

- Categoría de datos desde 128 hasta 240, reservado para aplicaciones especiales militares.
- Categoría de datos desde 241 hasta 255 usado para aplicaciones no estándares de civiles y militares.

Para la transmisión de datos de Multilateración se han definido dos tipos de mensajes y los cuales se agrupan en su categoría correspondiente:

- Reportes de Blancos, correspondiendo a la Categoría 20.
- Mensajes de servicio y estatus, Categoría 19.

Items de Datos y Catalogo de Datos: Los Ítems de datos corresponden a la unidad más pequeña de información definida y estandarizada por el formato Asterix. Como se comentó en el ítem anterior, es necesario definir un a categoría de datos específica para poder intercambiar información y este intercambio hace uso exclusivo de los Items de Datos estandarizados, ubicados dentro del Catálogo de Items de Datos. Es necesario indicar que los Items de Datos están inequívocamente referenciados dentro del Catálogo de Items de Datos. La referencia simbólica de cada Items de Datos está contenida por 8 caracteres así: : Innn/AAp⁵, donde:

I, indica que representa un Items de Datos

nnn, es un numero decimal de 3 dígitos que indica la Categoría del dato al cual pertenece al Items de Datos.

AA, numero decimal de 2 dígitos que indica el tipo de dato.

p, un número decimal que puede indicar hasta 10 diferentes representaciones.

Campo de Datos (Data Field): Con el propósito de comunicación, los diferentes Items de Datos deben estar asociados a cada Data Fields, los cuales tienen una extensión de octetos y direccionados por un número de referencia del campo. La referencia entre un Data Ítem y Data Field se estandariza por cada aplicación mediante una UAP (User Aplicación Profile), la cual se detalla a continuación.

Perfil de la Aplicación Usuaría (UAP): Es el mecanismo estandarizado por el cual se establece la debida correspondencia entre los al y los Data Field, para cada aplicación. El UAP se considera como una tabla de control que está incluido en el mensaje para que el programa residente en el sistema de procesamiento, permita el empaquetado y desempaquetado de mensajes, definiendo cual de los catálogos de Items de Datos será utilizado, su extensión, asignación de Data Field y requerimientos específicos que se necesitan estandarizar para una correcta transmisión e interpretación de los mensajes.

⁵ Basado en documento de estandarización de Eurocontrol SUR.ET1.ST05.2000-STD-01-01 Parte 1 ASTERIX

Estructura General del mensaje Asterix: Los datos de la aplicación a ser transmitida por el medio de comunicación consistirá de uno o una serie de bloque de Datos consecutivos.

Bloque de Datos (Data Block), está compuesto por: un campo de un octeto para la categoría de Datos (CAT), por otro campo de dos octetos que indica la longitud (LEN) y por uno o más registros, como lo muestra la Figura 11.

Figura 12. Estructura general de un mensaje Asterix

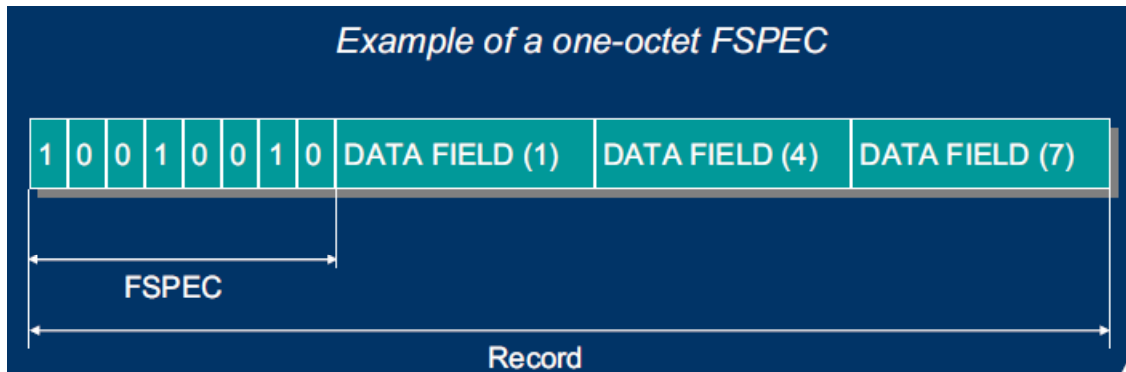


Fuente: Eurocontrol

Registro (Record), contiene información de la misma categoría de datos necesaria a una aplicación dada y consiste de, ver Figura 12:

- Un campo de especificación (Field specification – FSPEC), de extensión variable y considerada como una tabla de contenido indicando el orden y la presencia de Data Fields.
- Tiene un número variable de campo de datos con longitud implícita o explícita. Cada data field está asociado con uno y solo un data ítem, como este definido en el UAP.

Figura 13. Estructura de un registro



Fuente: Eurocontrol

2.5 EVALUACIÓN DE LAS PRESTACIONES DEL SERVICIO DE SISTEMA DE MULTILATERACIÓN DE ÁREA AMPLIA (WAM).

Aunque el sistema de Multilateración es un sistema que aún no está normalizado por la OACI, si se encuentra ampliamente difundido en Europa, América y otras partes del mundo y para la descripción del presente capítulo se hace referencia al documento guía de los países Europeos y bajo el cual las entidades prestadoras de Servicio de navegación aérea se basan para la evaluación de sus sistemas que están extractados en el documento EUROCAE ED-142, especificaciones técnicas para sistemas de Multilateración de área Amplia (WAM), y a su vez en la capacidad de detección e identificación de blancos equipados con transpondedores (Modo A/C/S and squitter extendidos) en cumplimiento del anexo 10 de la OACI.

Los requerimientos para la evaluación de prestaciones son las especificaciones mínimas para el desempeño de vigilancia para sistemas WAM a soportar separaciones radar de 3 NM y 5 NM en reemplazo de la del radar SSR.

El sistema WAM definido, proveerá:

- Los mismos datos de vigilancia como el SSR.
- Los mismos niveles de vigilancia cooperativa independiente como el SSR.
- Datos de equivalencia o mejor calidad, continuidad y disponibilidad tal como los del SSR.

2.5.1 Cobertura.

El sistema WAM deberá ser desplegada (de acuerdo a la infraestructura disponible) de modo que haya cobertura continua de todos los blancos en el espacio aéreo intencionado para la vigilancia, lo cual se logra usando el número apropiado de estaciones receptoras WAM. La cobertura dentro del TMA se extenderá desde los niveles mínimos en que los servicios de vigilancia son requeridos hasta los niveles máximos superiores.

Es importante disponer de una herramienta informática que permita calcular esta cobertura y considerando otros condicionantes de que sea por lo menos de 4 estaciones receptoras, etc.

Los rangos típicos aplicables:

- Espacio aéreo TMA, superior a 60 NM (incluye el volumen de aproximación final, superior a 30 NM).
- En espacio aéreo en ruta, superior a 180 NM.

2.5.2 Parámetros de Calidad del Sistema.

Para poder evaluar los siguientes parámetros de prestaciones de servicios del sistema es necesario que se tengan métodos de medida, de datos grabados a partir del funcionamiento real (tráfico de oportunidad), basados en la reconstrucción de la trayectoria de las aeronaves.

Los Proveedores de servicios de navegación aérea, emplean entre diferentes herramientas informáticas (ofrecidas por fabricantes especializados e incluso por los mismos fabricantes de los sistemas de Multilateración), que consiste en la extracción del código Asterix y correspondiente tratamiento de datos que incluye una gestión estadística de los diferentes parámetros calificados y evaluados por los proveedores de servicios de navegación aérea.

2.5.2.1 Detección de un blanco. Se refiere a la probabilidad que un blanco situado dentro del volumen de cobertura operativa, para una aeronave, en cada intervalo de refresco de la información, el sistema produzca un mensaje con información válida de posición.

La probabilidad de detección se cuantificará como el cociente entre el número de blancos detectados a la salida y el número total de blancos esperados, sin tener en cuenta transpondedores fijos o de referencia.

Se utiliza el parámetro Probabilidad de detección global, donde el término global se refiere a la tasa de detección de blancos calculada teniendo en cuenta todos

los blancos con Transponder activo, situado dentro del volumen de cobertura operativa del sistema. Para los sistemas WAM, el sistema debe garantizar que el sistema detectará y reportará la posición de cualquier blanco con un transpondedor modo S activo, una probabilidad de detección global $\geq 98.0\%$, y la probabilidad de detección.

2.5.2.2 Probabilidad de falsa detección. Se considera un blanco falso como a cualquier reporte de blanco espurio o un mensaje correspondiente a un blanco real, reportado con un error posicional mayor a 150 metros para la aplicación TMA y 350 metros para la aplicación en ruta, respecto a su posición verdadera, en el instante de la detección (reportado en el mensaje Asterix). En esta definición se incluyen blancos múltiples, en los que para un mismo periodo de refresco de información se obtienen dos reportes del mismo blanco.

La tasa de probabilidad de blancos falsos será: $\leq 0.01\%$, y para blancos equipados con transpondedores con (A/C) puros, se cumplirá con un valor $< 0.1\%$.

2.5.2.3 Probabilidad de identificación. En cada periodo de refresco, el sistema proporcionará un reporte de información correcta y validada de identificación, de acuerdo con el modo de interrogación, así:

Probabilidad de identificación (Transponder modo S) $> 99\%$ ⁶

Probabilidad global de detección de códigos en Modo A $> 98\%$

Probabilidad global de detección de códigos en Modo C $> 96\%$

2.5.2.4 Probabilidad de falsa identificación. Se considera código falso aquella información de identificación del blanco que el sistema de Multilateración reporta incorrectamente. La tasa se considerará como el cociente entre el número de reportes con identificación errónea y el número de reporte de blancos detectados con información de código, se establece esta tasa, así:

- Para blancos equipado con Transpondedor modo S, la probabilidad de detección de códigos falsos $< 0.1\%$.
- Relación de códigos falsos validados Modo A puro $< 0.1\%$
- Relación de códigos falsos validados Modo C puro $< 0.1\%$
- Probabilidad del total de códigos falsos debe ser $< 0.2\%$

2.5.3 Precisión Posicional del Sistema

2.5.3.1 Precisión posicional. Se refiere a la precisión posicional del sistema obtenida dentro del volumen de cobertura operativa y que se relaciona

⁶ Según Documento Eurocae ED-142, Capítulo 3 (parametros y estandares de desempeño)

fuertemente con la geometría de ubicación del sistema ERS – transpondedor, se le referencia con el parámetro DOP (*Dilution of Precision*), en términos de desviación estándar (σ) y en el sistema WAM esta desviación estándar se hace en referencia a la precisión de posición horizontal.

El sistema deberá tener capacidad de supervisar continuamente, en tiempo real de operación, y etiquetar la precisión posicional con la que se ha obtenido la posición de cada blanco detectado, dentro del volumen de cobertura operativa. El error posicional en el plano horizontal para WAM será $\sigma \leq 20.41$ m.

Nota. Se debe considerar la no degradación de precisión posicional, en área crítica, por eventual fallo o caída de una de las estaciones receptoras secundarias (ERS), y en el caso de fallo o caída de dos estaciones ERS, la degradación no deberá ser mayor del 30%.

2.5.3.2 Saltos. Se consideran saltos, aquellos informes de blancos con errores posicionales mayores a 300m en la zona WAM. La tasa total de saltos no excederá el 0.02%.

2.5.3.3 Marcas de tiempo. Llamado en términos técnicos “*time stamp error*” y se refiere al error de marca de tiempo que reporta el extractor de datos del sistema de los **plots** generados. El fechado se realiza en base a la hora facilitada por los relojes patrón de la estación, sincronizados mediante el receptor GPS.

Esta marca de tiempo no debe ser superior a 100 ms del tiempo UTC del día.

2.5.3.4 Resolución de Sistema. La resolución posicional del sistema esta especificada por dos blancos aproximándose entre sí, equipados con transpondedores SSR (Modo A/C únicamente) en dos ventanas de separación horizontal (area 1,2), de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3. Ventanas de resolución posicional

Ventana de Separación Horizontal	TIPO DE ESPACIO AEREO	
	Servicio en Ruta	Servicio TMA
Área 1	3.500 m (2 NM)	1.200 M (0.6 NM)
Área 2	7.000 m (4 NM)	3.500 (2 NM)

Fuente: Eurocae ED-142

2.5.3.5 Detección de Posición. La probabilidad de detección de posición de dos blancos SSR en un intervalo de actualización definido debe ser mejor que:

- 60% en el Area 1⁷
- 98% en el Area 2

2.5.4 Capacidad, refresco de información y retardo de procesamiento

2.5.4.1 Capacidad de blancos. Se define así como el número máximo de blancos, en el cual el sistema está habilitado para cumplir con todos los requisitos de desempeño en vigilancia. La capacidad requerida depende del volumen de espacio aéreo en particular y características sobre el medio ambiente. Como mínimo, el sistema deberá tener capacidad de procesar simultáneamente 250 blancos en el volumen de cobertura.

Nota: La capacidad requerida y la tasa de actualización tendrán impacto directamente sobre la capacidad del radio enlace de datos, usado por el sistema.

2.5.4.2 Intervalo de Actualización. El intervalo de actualización no deberá exceder lo siguiente:

- 8 segundos para aplicaciones en Servicio de Ruta.⁸
- 5 segundos para aplicaciones en Servicio TMA.

2.5.4.3 Retardo de procesamiento. Es el tiempo de retardo de procesamiento en la unidad central de proceso (ECP) y volcado a las redes de área local, incluso en las condiciones más adversas de carga del sistema.

En modo asíncrono (de acuerdo a la disponibilidad de datos) el máximo retardo de reporte de datos deberá ser < 1 segundo, medido desde el tiempo en que se recibe la señal del blanco en la antena sensor hasta la salida del reporte en el Sistema WAM.

En modo periódico, el reporte de blancos debe no incluir datos que sean más antiguos a 1 segundo que el periodo de actualización, medido desde el tiempo en que se receptiona el blanco en la antena receptora.

Nota: Se asume, que el retardo de la infraestructura de comunicaciones utilizada en el sistema WAM no debe exceder los 500ms.

⁷ Según Documento Eurocae ED-142, Capítulo 3 Item 3.3.8.1

⁸ Según Documento Eurocae ED-142, Capítulo 3 item 3.3.1

2.5.4.4 Tiempo de iniciación de pista. Está definido desde el tiempo en que el blanco entra en el volumen de cobertura con un Transponder activo al primer reporte de tiempo. El tiempo de iniciación de pista debe ser \leq a 2 veces el intervalo de actualización definido con una probabilidad del 99%.

2.6 INTEROPERABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE MULTILATERACION.


Dado que los sistemas de Multilateración interpretan las mismas señales que un Radar Secundario (obviamente con técnicas diferentes), esto es las respuestas de los transpondedores a bordo en Modo A, C y S⁹, pues la interface de intercambio de datos tanto de los SSR como los de la Multilateración son en el Protocolo ASTERIX, y que con solo adaptar la Categoría utilizada del Asterix, es posible fusionar los datos de los dos sistemas y por tanto permitir “una convivencia” de estas tecnologías, facilitando una integración con la tecnología existente (SSR) e incluso con la futura.

Además, según lo expuesto por algunos fabricantes como: ERA, Senses, Rannoch, Quinetiq, Roque Manor (Siemens), Indra, etc. El sistema de Multilateración permite integrarse al Sistema de Vigilancia Dependiente Automática ADS-B, que si bien es cierto que es una tecnología que su implementación no esta tan inmediata por diferentes motivos (como dependencia de la capacidad de su aviónica), es posible poder decodificar las señales ADS-B de acuerdo a la aplicabilidad de algunos estándares (como el RTCA DO-260A) y poder ser configurada como una red aislada de estaciones ADS-B redundantes en tierra.

La siguiente tabla muestra algunas comparaciones entre fabricantes y su interoperabilidad con otros sistemas de vigilancia:

⁹ Los Modos A, C y S hacen referencia al tipo de interrogación que realiza.

Tabla 4. Comparación productos de Multilateración

FABRICANTE					
NOMBRE DEL PRODUCTO	QUADRANT	MSS	ADAM / AWAM	MDS	MAGS
FRECUENCIA DE OPERACIÓN	1090 MHz ES 1030 MHz Interrogación Modo S	1090 MHz ES 1030 MHz Interrogación Modo S	1090 MHz ES	1090 MHz ES	1090 MHz ES 1030 MHz Interrogación Modo S
CAPACIDAD	Superior a 1500 Blancos	400 blancos por seg.		250 blancos	> 200 blancos por seg.
TRASMISION MODO S	UF 4 / UF 5 / UF 11	UF4 / UF5 / UF20 / UF21		UF4 / UF5 / UF20 / UF21	
RECEPCION MODO S	DF 1 - 48	DF0 / DF4 / DF5 / DF11 / DF16 / DF17 / DF18 / DF20 / DF21 / DF24		DF 17/18	
RECEPCION Y TRANSMISION MODO A/C	OK	OK	OK	OK	
FORMATO DE SALIDA (SOBRE LAN/WAN)	ASTERIX CAT 19, 20, 21	ASTERIX CAT 01, 02, 10, 19, 20, 21, 23, 34, 48	ASTERIX CAT 10, 11, 21	ASTERIX CAT 10, 11, 34/38, CD2 (MLAT), 21 (ADS-B)	ASTERIX CAT 10, 19, 20, 21, 23, 34, 48
COBERTURA	> 250 NM	Any		> 250 NM	
ESTANDAR APLICABLE	ICAO Annex 10, EUROCAE ED-117, RTCA DO-260 / DO-260A	ICAO Annex 10, EUROCAE ED-117, EUROCAE ED-142, RTCA DO-260 / 260 ^a		ICAO Annex 10 V4, EUROCAE ED-117 MOPS & WG-70 WAM, RTCA DO-260 & DO-260A	ICAO Annex 10, EUROCAE ED-117, RTCA DO-260 / DO-260A
TEMPERATURAS	-40°C to +60°C	Partes Exteriores : -40°C to +60°C	Partes Exteriores: -40°C to +49°C Partes Interiores : +10°C to +35°C		Partes Exteriores: -55°C to +70°C Partes Interiores : -10 °C to +50°C
VOLTAJE DE ENTRADA	24 VDC (+/- 4 V) 100 to 260 VAC 50/60 HZ	120 to 230 VAC or 18 to 30 VDC	100 to 240 VAC or 18 to 30 VDC	18-30 VDC or 100-240 VAC	
POTENCIA CONSUMIDA	10 W		90 W (150 W con calefacción)	< 90 W (< 150 W con calefacción)	

INTERFACES	Ethernet 10/100, Static IP or DHCP, TCP/IP. UDP, SNMP, IGMP, NTP, ICMP	Dual LAN, TCP, UDP, SNMP, NTP			
------------	--	----------------------------------	--	--	--

Fuente : Adapt aeronav

La interoperabilidad de los sistemas de multilateración depende en gran parte de la capacidad de integración entre las distintas categorías de Asterix en su formato de salida y para una mejor comprensión de estas categorías ver al final el anexo A¹⁰.

2.7 EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIONES A NIVEL MUNDIAL

Los comienzos de la Multilateración nace de aplicaciones militares, pero la decisión de algún Proveedor de Servicios de Navegación Aérea (aplicación Civil), por usar las últimas tecnologías en desarrollo de la vigilancia (Multilateración), fue probablemente la República Checa, Ostrava en el año 2001, cuyo emplazamiento consistió en 5 estaciones receptoras y 2 interrogadoras, que incluía el sistema de control y monitoreo remoto. El vuelo de prueba mostró coberturas del sistema de 80 NM.

El interés a nivel mundial por adoptar esta tecnología para soportar la vigilancia aeronáutica a ido incrementando y su uso en diferentes aplicaciones (Control de Superficies Aeroportuarias, Área Terminal, Área Amplia, monitorización de precisión de calles de rodaje, Unidad de monitorización de altura, Gestión de entornos, Gestión de Operaciones Aeroportuarias). Algunos ejemplos de implementaciones de Multilateración en el mundo son:

- Aeropuerto de Beijing (China), 2008. Monitorización de calles de rodajes paralelas.
- Aeropuerto de Innsbruck (Austria). La cercanía de montañas de 8000 pies de altura al aeropuerto, condicionaba la seguridad operacional, por lo que se implemento para mejorar el Área Terminal.
- La FAA¹¹, en un programa llamado ASDE-X¹², fusiono información de Radares de Superficie (SMR) con sensores de Multilateración e incorporo programa predictivos de Multilateración para vigilancia en superficie.
- Aeropuerto de Aspen – Colorado (USA). La pobre cobertura radar que se tenía y la cercanía con montañas la separación de aeronaves era de 30 NM, con la

¹⁰ Para mayor ilustración sobre las diferentes categorías de intercambio de datos radar, referirse a los documentos de Eurocontrol SUR.ET1.ST05.2000-STD-01-01

¹¹ FAA: Organismo Federal de los Estados Unidos para la Administración de la Aviación.

¹² ASDE-X: Sistema de equipos instalados para la detección en la superficie Aeroportuaria modelo X

instalación del sistema Multilateración en área amplia, permitió la reducción de separación a 5 NM.

- Para la monitorización de vuelos aéreos en área montañosa entre Hobart y Launceston (Tasmania), donde un estudio previo determinaba que era

necesario la instalación de 12 SSR para la cobertura total y se decidieron por una implementación de Multilateración, cuyos costos fueron muy inferiores.

- Aeropuerto internacional de Vancouver (Canadá), implementación como sistema A-SMGCS.
- Mar del Norte, donde entre Reino Unido y los Países bajos, optaron por la Multilateración para el monitoreo aéreo de los helicópteros que circulaban en esta zona, instalando las pequeñas antenas receptoras sobre las plataformas Petroleras.
- Aeropuerto de Queestowne (Nueva Zelanda), aeropuerto que presenta una presenta una aproximación complicada por la cercanía de montañas y condiciones climáticas adversas. Se implementó la Multilateración y mejoro la conciencia situacional a los controladores y la seguridad operacional.
- Otras ciudades (Aeropuertos) que han implementado sistemas de Multilateración son: Holanda, Atlanta, Budapest, Cairo, Ciudad del Cabo, Santiago de Chile, Asturias, Madrid, Oslo, etc.

2.7.1 La Multilateración en España.

La implementación de sistemas de Multilateración, en España, se inició con la implementación de los sistemas en Palma de Mallorca y Asturias, posteriormente se instalaron en Tenerife Norte y en ejecución se encuentran Santiago de Compostela, Madrid y Barcelona.

La evaluación de estos sistemas como el resto de equipamiento de vigilancia (Radares Primarios, Secundarios y de Superficie), se realiza mediante el monitoreo y evaluación de los distintos parámetros de cada sistema y previamente definidos. Para esto se emplean herramientas de evaluación de parámetros, algunos son de desarrollo de Eurocontrol (SACC-S) y otros de desarrollo propio de Aena, como es el caso para la valoración de prestaciones de la Multilateración.

Además de esto se tiene implementado un programa que propende por el control de la calidad de la información radar, llamado COCIR y que busca la estandarización de las diferentes prestaciones de la Red de vigilancia, permitiendo de esta forma establecer un sistema de alarmas temprano mantener un registro, un plan de actuación y una verificación que permita mostrar y garantizar ante las autoridades aeronáuticas españolas el correcto desempeño de los sistemas y así

mantener y garantizar el cumplimiento de los parámetros que establece el reglamento CE 2096/05 tales como la exactitud, continuidad, integridad y disponibilidad y de este modo permitir el estado de certificación como proveedor de servicios de navegación aérea.

3. EVALUACION Y CRITERIOS PARA UN EMPLAZAMIENTO DE MULTILATERACION DE AREA AMPLIA (WAM), TMA DE CUCUTA (COLOMBIA)

La consideración inicial plantea una evaluación de las condiciones actuales y un planteamiento del problema, que permita dimensionar los requerimientos necesarios para dicha implementación y los beneficios que se alcanzarían.

3.1 CRITERIOS A CONSIDERAR EN UN EMPLAZAMIENTO DE MULTILATERACION DE AREA AMPLIA, EN LA APROXIMACION DEL AEROPUERTO DE CUCUTA

3.1.1 El área de influencia de la aviación comercial para la gestión del control del tránsito aéreo en el TMA del Aeropuerto Camilo Daza de Cúcuta.

3.1.2 Evaluación de posibles sitios para ubicación de estaciones remotas de Multilateración:

- Consideración de emplazamientos ya desarrollados con otros sistemas de comunicaciones y/o vigilancia Radar y/o Navegación.
- Consideración de otros emplazamientos de organismos externos (distintos a la Aeronáutica Civil) que tengan implementados sistemas de telecomunicaciones, que se puedan considerar a futuro para la instalación mediante algún convenio interinstitucional.

3.1.3 Evaluación de los medios de comunicación y propagación de la señal, para llevar la información recibida de multilateración a la unidad central de proceso.

3.1.4 Evaluación de las capacidades de detección que debería tener el sistema WAM y la identificación de blancos equipados con transpondedores que cumplan con el anexo 10 de la OACI (modos A/C/S y squitter extendidos):

- El sistema deberá proporcionar mínimo los siguientes datos del blanco: Posición horizontal derivado de una solución MLAT, Presión Barométrica y altitud, Identificación operacional de la aeronave, Tiempo de la posición horizontal.
- Interrogación, el sistema WAM deberá ser capaz de interrogar de modo A/C/S, cumpliendo con los requerimientos relevantes del anexo 10 de la OACI.

3.1.5 Desempeño operacional:

- Intervalos de actualización, que para una aplicación de TMA el valor típico es de 4 a 5 segundosⁱ.
- Probabilidad de detección de la posición de un blanco, que no deberá ser menor del 97 % para blancos equipados con transpondedores en Modo A/C y del 98% para blanco equipados en modo Sⁱ.
- Probabilidad de falsa detección, que deberá ser menor al 0.1 %ⁱ.
- Probabilidad de detección de código, corrección de dirección en Modo S con probabilidad > 99%, corrección y validación de código modo A con probabilidad mayor al 98%, corrección y validación de código Modo C con probabilidad mayor al 96%ⁱ.

3.1.6 Medición de Posición:

- Medición de posición horizontal, refiriéndose a la exactitud y que no deberá exceder para aplicaciones TMA a los 150 metrosⁱ.
- Estampado del tiempo del blanco reportado, deberá estar dentro de los 100 ms del tiempo UTC del díaⁱ.
- Resolución posicional, es la separación horizontal de 2 blancos encontrados en un área específica, donde en servicio aplicaciones TMA será de 1200 metros (0.6 millas náutica)ⁱ.

3.1.7 Retardo de procesamiento, que en una infraestructura de comunicaciones no deberá exceder los 500 msⁱ.

3.2 DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GEOGRAFICAS Y DEFINICION DEL ENTORNO OPERACIONAL DEL TMA DE CUCUTA

La Gestión de tráfico aéreo de área llevado desde el aeropuerto Camilo Daza de Cúcuta, reúne unas condiciones particulares que están marcadas principalmente por:

- Orografía del entorno bastante accidentada.
- TMA dividido en Zona Norte y Zona Sur.
- TMA colindante con áreas de control de espacio aéreo de otro país, que requiere de coordinación internacional.

¹ Según se establece en documento de Eurocae ED-142, Especificaciones técnicas para un sistema de Multilateración área Amplia.

- Gestión del tráfico aéreo basado en estimados y comunicaciones de audio Tierra – aire (Control por Procedimientos), no se cuenta con Vigilancia Radar.
- La gestión del tráfico de área que se lleva, entrega su control a 4 aeropuertos controlados: Cúcuta, Saravena, Tame y Arauca. Además de los sobre vuelos gestionados, de aerovías que sirven de conexión a otros TMA.

3.2.1 Definición del Area de Control Terminal de Cúcuta (TMA).

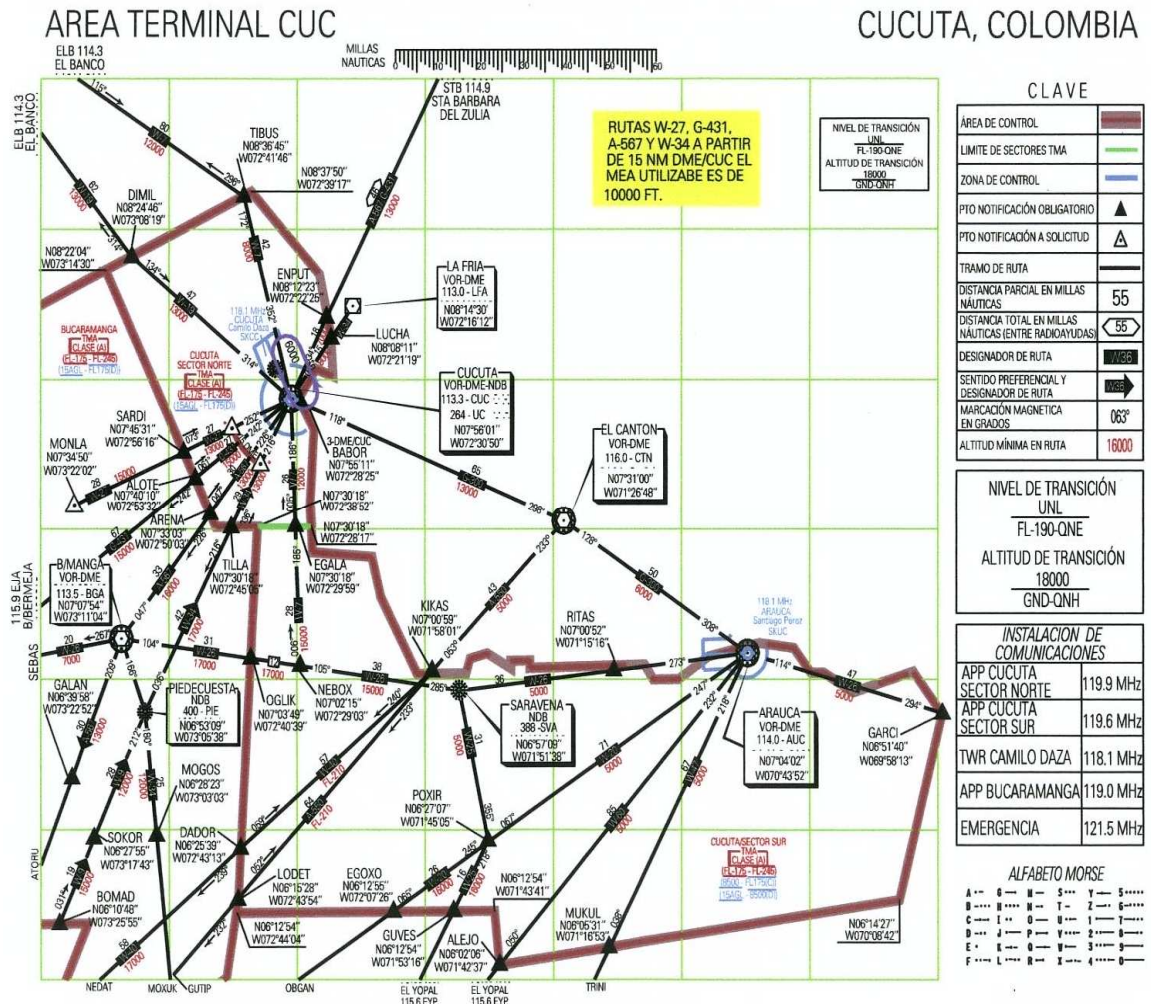
Forma una especie de “L” y el cual comprende la gestión del tráfico entrante, saliente y sobrevuelos. Abarca 2 departamentos, Norte de Santander y Arauca.

El tráfico estimado por día en el TMA es de 200 operaciones y el crecimiento esperado en un lapso no mayor a un año¹³ es del 15 % en el área Norte y un 12 % en el área Sur. El TMA está delimitado, al norte por el punto de notificación TIBUS, al sur el punto de notificación más externo es EL YOPAL, al este el punto más extremo es GARCI y al oeste el punto de notificación más extremo es SARDI, el Gráfico 12. muestra las diferentes aerovías establecidas, como punto de notificación y otros datos¹⁴.

¹³ Este pronóstico se extracta de acuerdo al crecimiento histórico en los últimos años, llevado por el Grupo de Aeronavegación de la Regional Norte de Santander.

¹⁴ Tomado del AIP Colombiano.

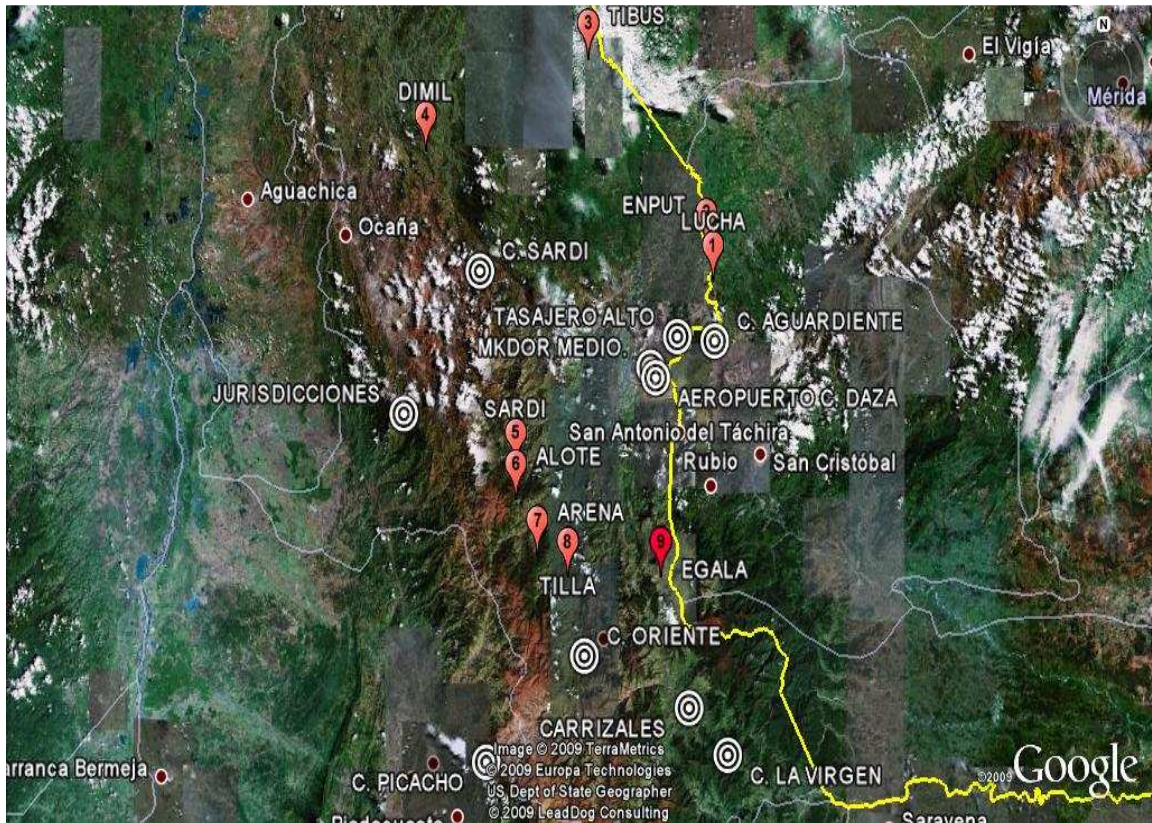
Figura 14. – TMA Cúcuta



Fuente: Manual de Información y Procedimientos Aeronáuticos (AIP)

El área más crítica se podría decir que es el Sector Norte, principalmente las aerovías SARDI, ALOTE, ARENA y TILLA que dan entrada al TMA por el lado Oeste y el cual presenta la Orografía más alta y con relativa cercanía al zona de tránsito de aeródromo (ATZ) del aeropuerto de Cúcuta, la siguiente figura muestra una perspectiva del terreno.

Figura 15. Geografía del TMA y ubicación de puntos de referencia



Fuente: Google Earth

3.3 INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES Y VIGILANCIA AERONAUTICA

El ATM (Gestión del Tránsito Aéreo) de Cúcuta no se encuentra cubierta con algún sistema de vigilancia aeronáutica, sin embargo y en miras para un posible despliegue de un sistema WAM se podría hacer uso algunos emplazamientos, como es el utilizado para el soporte de las Comunicaciones Aeronáuticas (tierra – tierra y tierra - aire) el cual dispone de una infraestructura que implica unos emplazamientos en algunos sitios elevados para garantizar la cobertura necesaria de dichas comunicaciones, estas ubicaciones se detallan en la Tabla 3., con la observación de “facilidad de implementación”. Las cuales cuentan con las correspondientes vías de acceso, energía comercial y energía de respaldo, torres para antenas, Casetas de Equipos, en algunos se cuenta con respaldo de vigilancia militar o al menos presencia de personal de vigilancia técnica privada.

Otro dato, que hace relevancia es la evaluación de estaciones SSR próximas que puedan provocar respuestas en los transpondedores de las aeronaves en el entorno próximo del ATM Cúcuta y que podrá tener incidencia en la instalación de estaciones Interrogadoras WAM dentro del área evaluado. En este sentido, existe una estación MSSR ubicada en el Cerro Picacho, el cual está dentro de las estaciones consideradas como viables.

3.4 POLÍTICAS CNS/ATM INSTITUCIONALES

La Aeronáutica Civil de Colombia consiente de la necesidad de actuar en coherencia con lo propuesto por el Grupo Regional de Planificación e Implementación CAR/SAM (GREPECAS) y proyectando su actuación hacia la implementación de tecnologías compatible con los sistemas que permitan una gestión más global y más autónoma, según lo enmarca el documento OACI 9750 (Plan Mundial de Navegación Aérea) y lo consigna en el Plan de Acción Nacional de la entidad, para la mejora de los sistemas CNS/ATM 2009 – 2015 y donde se plantean algunos objetivo (entre otros) como la implementación de sistemas WAM a mediano y largo plazo, contemplando los Aeropuertos (entre otros) de Cúcuta y Arauca. Con lo cual permite deducir que estudios en este sentido, favorecen la adecuada planificación a su implementación.

3.5 EVALUACION SITIOS PARA POSIBLES EMPLAZAMIENTOS DEL SISTEMA WAM

Como ya se ha enunciado las condiciones del terreno que están en las diferentes aerovías de aproximación al aeropuerto Camilo Daza son de orografía accidentada, por lo que las ubicaciones favorables deberán ser buscando un equilibrio entre máxima altura y las facilidades que se puedan tener para su acceso y el desarrollo de infraestructura. Si bien es cierto que los emplazamientos de la WAM que se requieren (Estaciones Receptoras Secundarias) en estos sitios no son en principio de mayor dimensión, pues se debe necesitar en su defecto de existencia de algún tipo de instalación de: una torre para instalación de antenas de altura promedio a 30 metros y un pequeño shelter para alojar los equipos (algunas versiones de equipos ERS no necesitan de estos shelter, pues están diseñados para operación en exteriores), disponibilidad de energía comercial y energía de reserva (paneles solares ó suministro de equipo electrógeno), y de ser posible algún tipo de vigilancia.

Por lo que en principio evaluar los emplazamientos ya existentes que están destinados a otras infraestructuras de soporte como de navegación o comunicaciones, que facilitarían la implementación y algunos trámites administrativos.

Tabla 5. Sitios propuestos para emplazamiento WAM

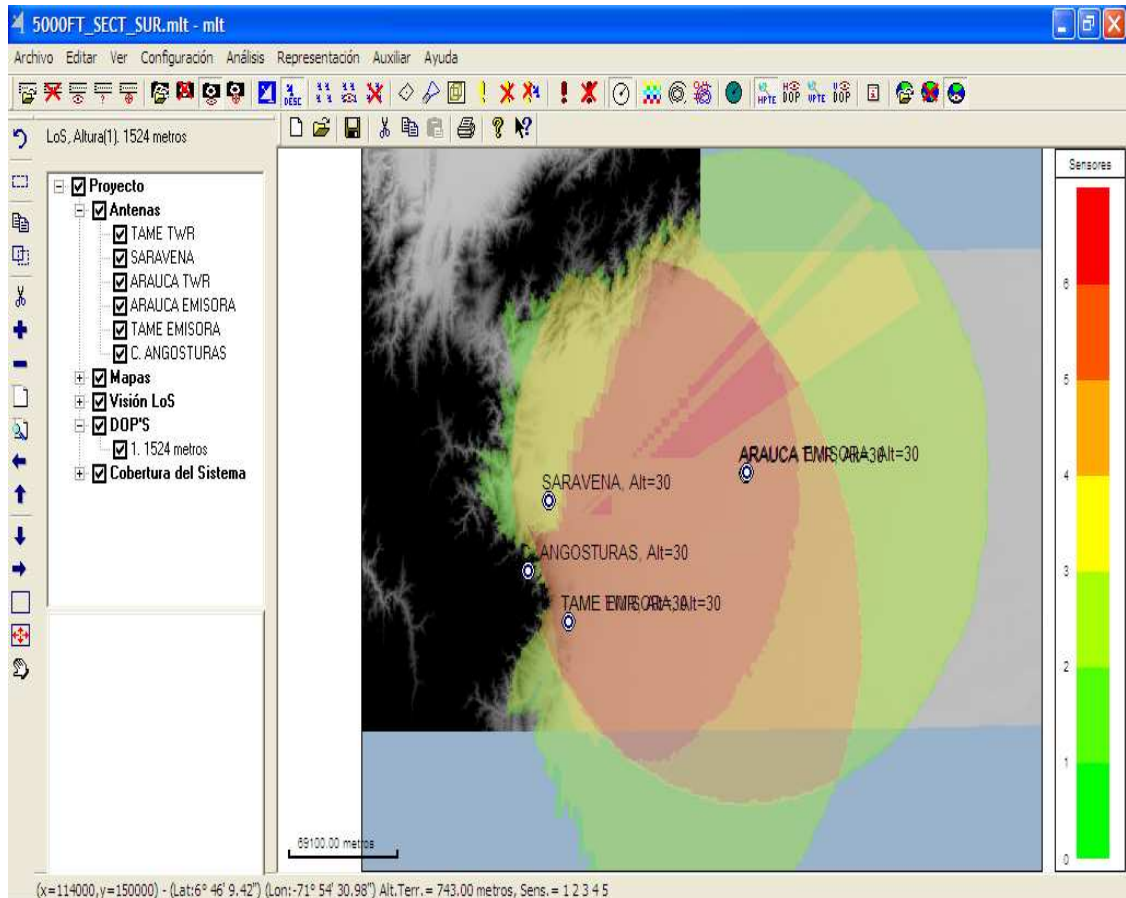
UBICACIONES ESTACIONES REMOTAS SISTEMA WAM							
Nº Emplazamiento	NOMBRE	COORDENADAS SEXAGESIMAL		COORDENAS EN FRACCION DECIMAL		ALTURA ANTENA (metros)	OBSERVACION DEL EMPLAZAMIENTO
		LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD		
1	Aeropuerto Camilo Daza	07°55'39.24"	72°30'41.57"	7,927567	72,511547	30	Facilidad de implementación
2	Marcador intermedio	07°57'00.15"	72°31'31.27"	7,950000	72,516667	15	Facilidad de implementación
3	Cerro Jurisdicciones	07°51'02"	73°11'42"	7,850556	73,195000	30	Facilidad de implementación
4	Cerro Oriente	07°20'15"	72°42'20"	7,337500	72,705556	30	Facilidad de implementación
5	Cerro la Virgen	07°07'25"	72°19'01"	7,123611	72,316944	30	Facilidad de implementación
6	Cerro Picacho	07°06'33"	72°58'18"	7,109167	72,971667	30	Facilidad de implementación
7	Cerro Carrizales	07°13'35"	72°25'23"	7,223611	72,423056	20	Facilidad de implementación
8	Cerro Tasajero Alto	08°00'56.85"	72°27'08.31"	8,015792	72,452308	20	Sin Facilidad
9	Cerro Aguardiente	08°00'21.23"	72°21'02.53"	8,005897	72,350703	20	Sin Facilidad
10	Cerro Sardi	08°09'18"	72°59'23.31"	8,155000	72,989808	20	Sin Facilidad
11	Tame – Torre	06°27'15"	71°45'7.31"	6,454167	71,752031	20	Facilidad de implementación
12	Tame – Emisora	06°27'7.08"	71°45'4.52"	6,451967	71,751256	30	Facilidad de implementación
13	Savena – Emisora	06°57'21.23"	71°51'38.58"	6,955897	71,860717	30	Facilidad de implementación
14	Arauca-Torre	07°4'0.46"	70°44'10.61"	7,066794	70,736281	30	Facilidad de implementación
15	Arauca-Emisora	07°4'15.45"	70°44'1.12"	7,070958	70,733644	30	Facilidad de implementación
16	Cerro Angostura	06°39'53.52"	71°58'57.27"	6,664867	71,982575	20	Facilidad de implementación
17	Cucuta VOR	07°56'01.17"	72°30'49"	7,933658	72,513611	10	

Fuente: Archivos de instalaciones de Aerocivil - Soporte Técnico Regional Santanderes

Para la evaluación de los sitios se utilizó una herramienta informática para coberturas multi-emisión y que considera la conveniencia geométrica de las estaciones para la dilución por posición (GDOP), que permita tener un criterio de conveniencia desde el punto de vista de cobertura de cada estación receptora remota y en conjunto de todas las antenas, de modo que se pueda tener una idea de que cumpla con la condición de cubrimiento permanente de por lo menos 4 antenas (calculó hiperbólico en 3D).

El análisis de cobertura por línea de vista (LoS), se realizó de acuerdo a los niveles de vuelo requeridos en las diferentes aerovías, considerando inicialmente los niveles inferiores (5.000 pies) utilizados en el Sector Sur.

Figura 16. Cobertura a 5.000 pies sector sur

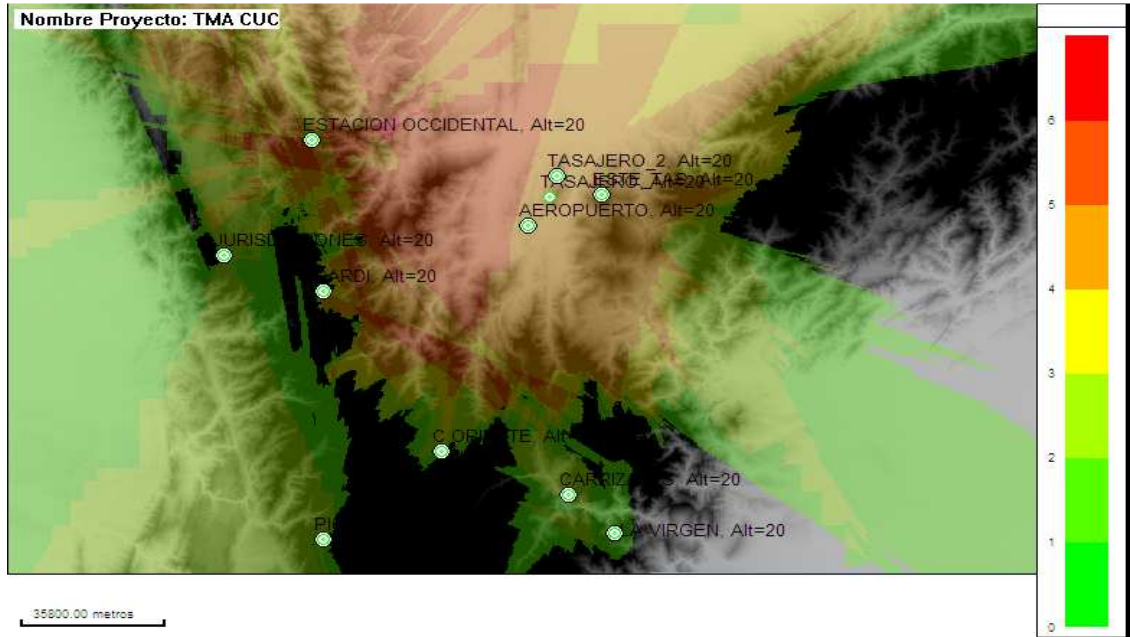


Fuente: Software MLAT v 1.72¹⁵

Posteriormente en el sector norte, se evaluaron los sitios a partir de los 10.000 pies, 13.000 pies y 15.000 pies, que son los niveles de vuelo requeridos en las aerovías consideradas críticas, después de su notificación de ingreso al área de control.

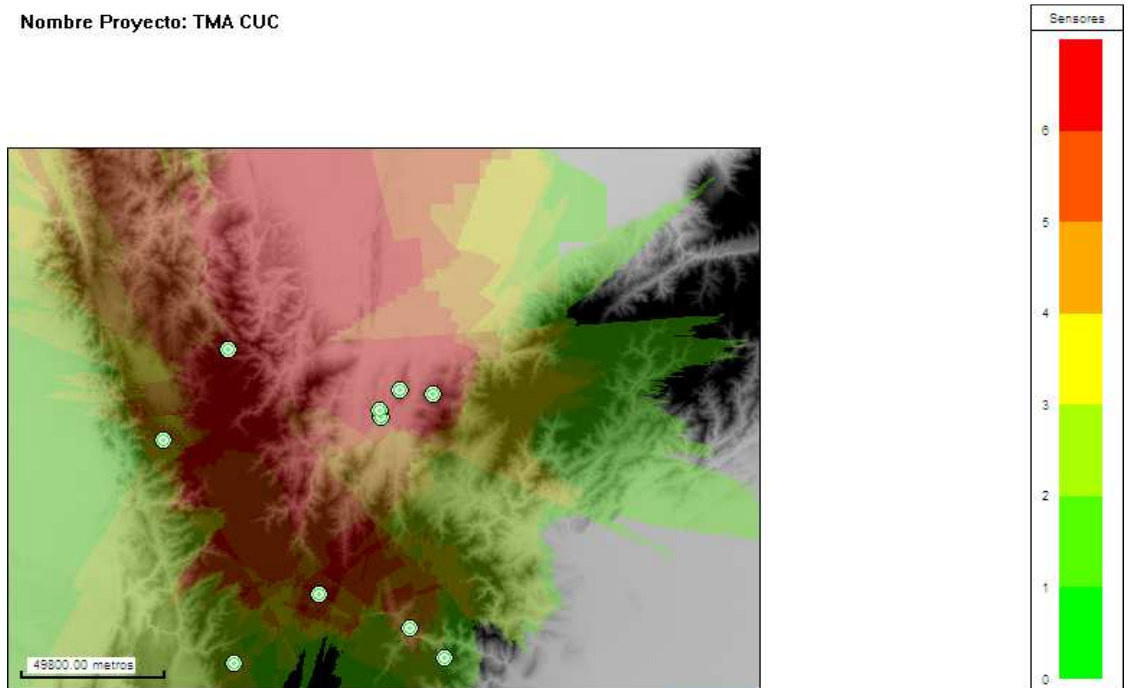
¹⁵ Software para el diseño de sistemas de Multilateración, empleado por Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, quienes amablemente permitieron y facilitaron correr esta evaluación en sus equipos.

Figura 17. Cobertura a 10.000 pies sector norte



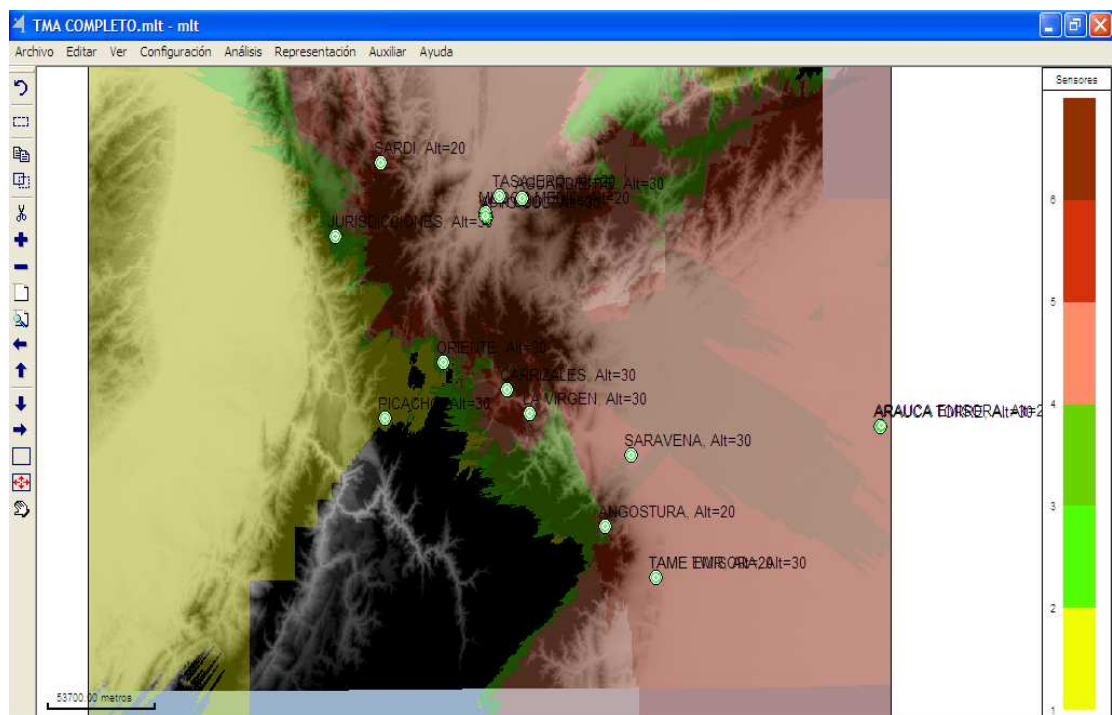
Fuente: Software MLAT v 1.72

Figura 18. Cobertura a 13.000 pies sector norte



Fuente: Software MLAT v 1.72

Figura 19. Cobertura total del TMA a 15.000 pies

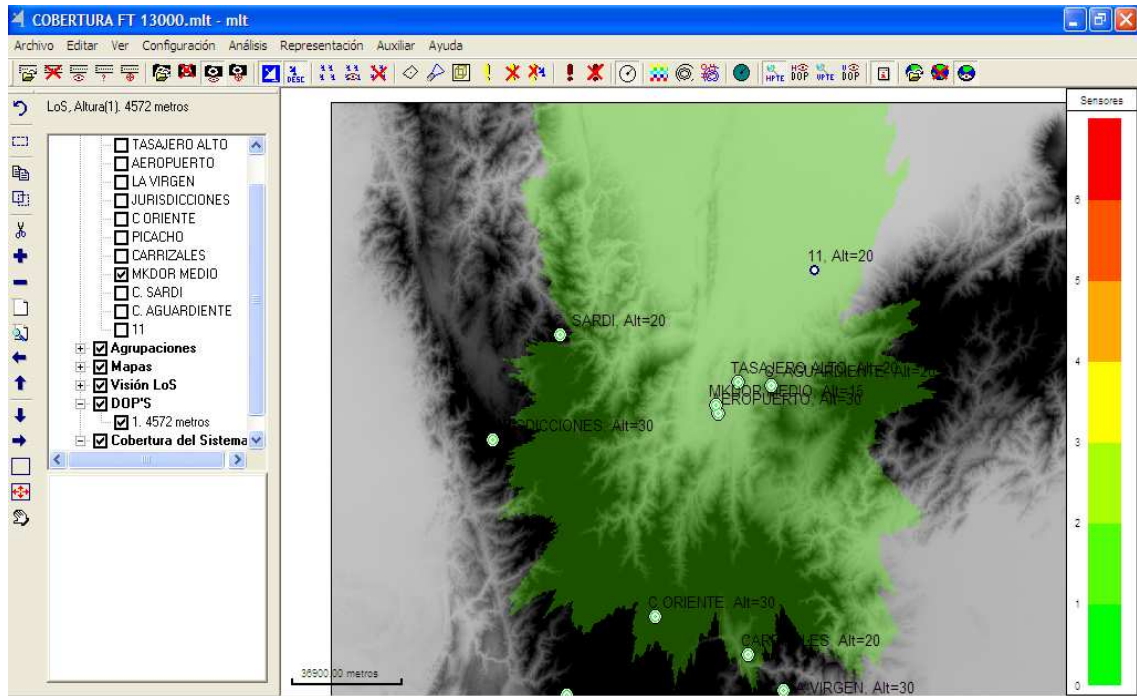


Fuente: Software MLAT v 1.72

Estos gráficos pueden mostrar que la elección de algunos sitios no ofrecen mayor relevancia de cobertura, aunque las zonas más oscuras muestran que se cumple con la cobertura por 4 estaciones, es necesario considerar los eventos de fallos de alguna de ellas sin detrimento de las prestaciones, con lo cual es necesario que cada sitio sea lo más óptimo posible en cobertura y en beneficio por ubicación geométrica para mejorar la Dilución por Posición (DOP), que en definitiva afectara en la calidad de detección. Por lo que es conveniente realizar una re ubicación que permita una mejor cobertura hacia el área de interés.

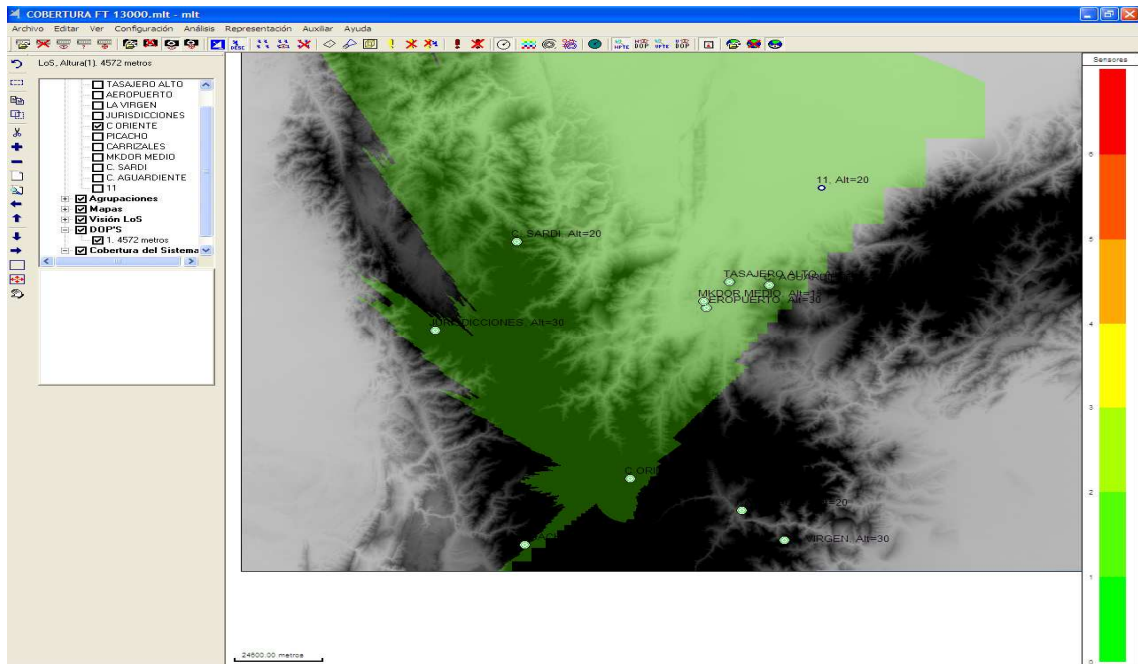
Los siguientes gráficos muestran una cobertura adecuada, que permiten suponer una ubicación conveniente por cuanto contribuye en la disminución de estaciones remotas.

Figura 20. Cobertura a 15.000 pies – marcador intermedio



Fuente: Software MLAT v 1.72

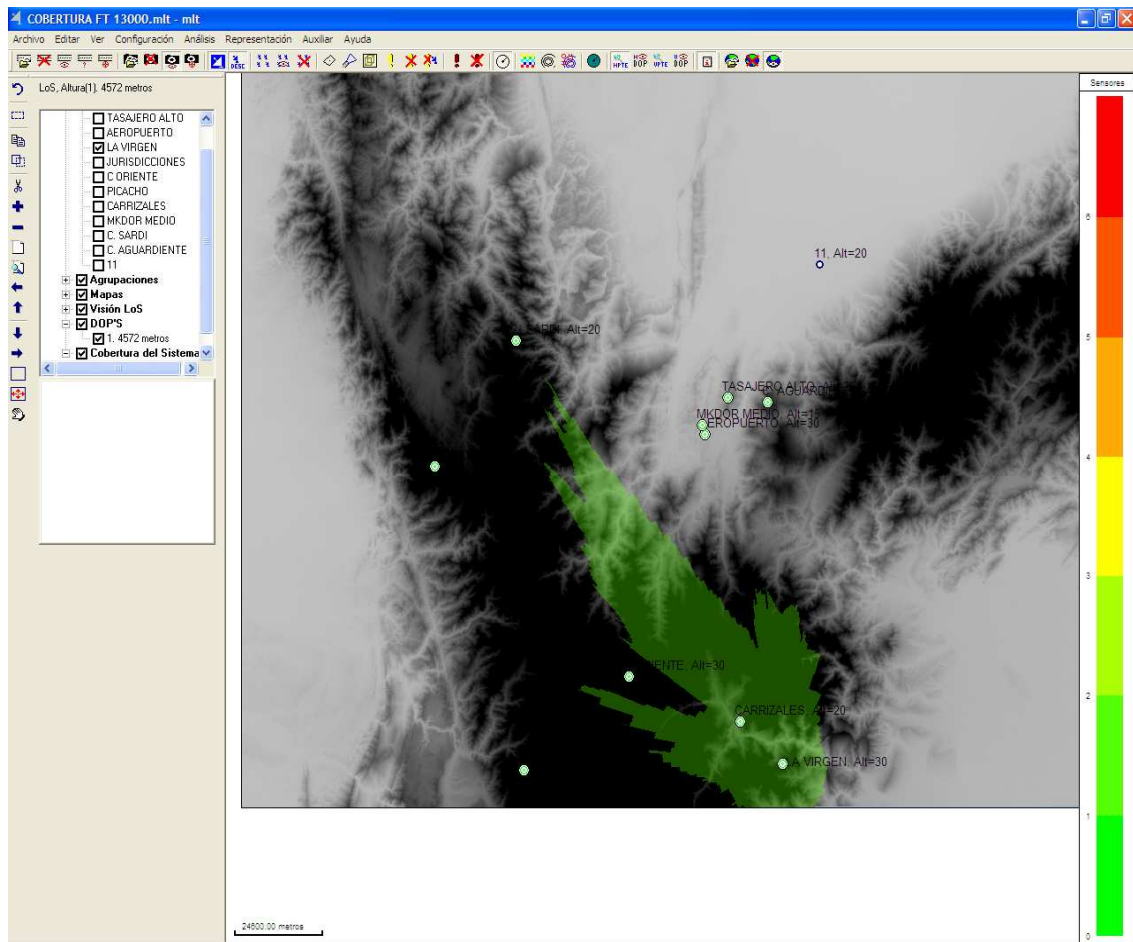
Figura 21. Cobertura a 15.000 pies – cerro oriente



Fuente: Software MLAT v 1.72

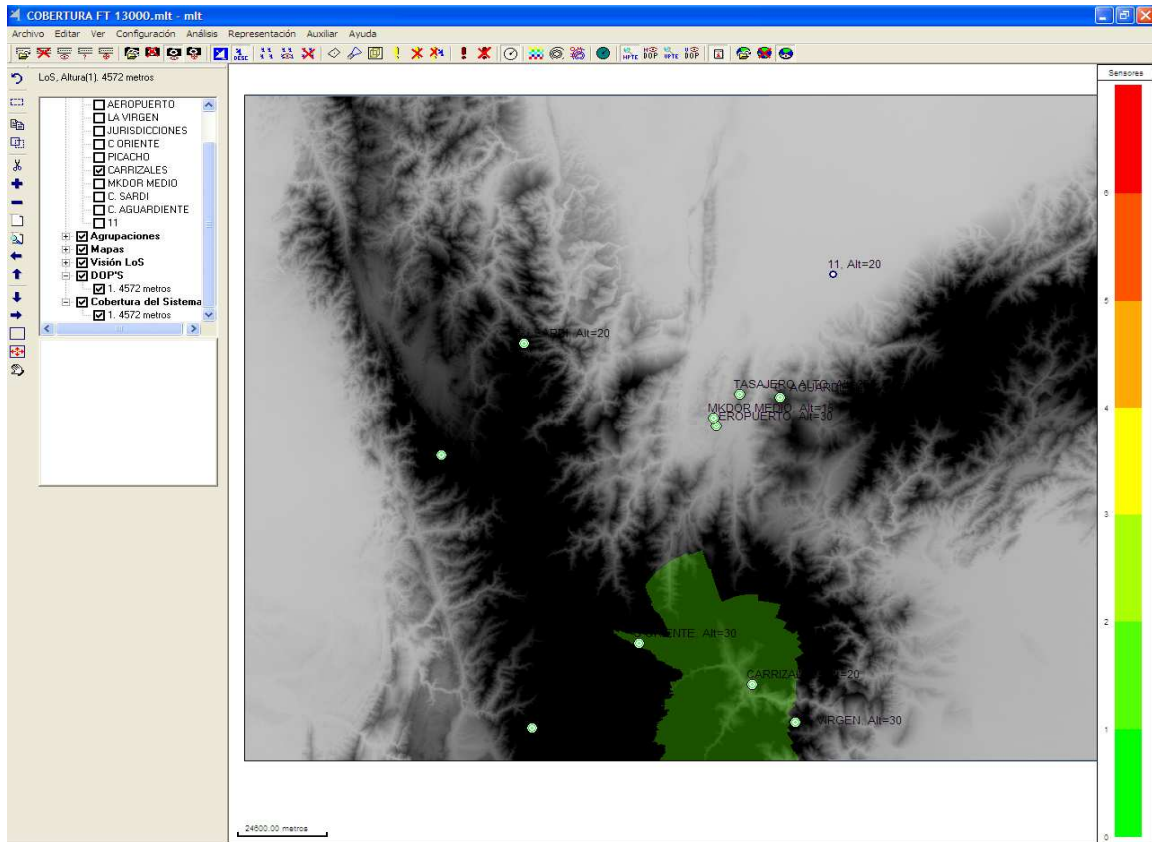
A continuación se muestra algunas ubicaciones cuya elección de sitio no favorece las coberturas, por lo que hace suponer la necesidad de una mejor ubicación, obviamente considerando las facilidades de poder realizar emplazamientos y condiciones futuras para la asistencia técnica.

Figura 22. Cobertura a 15.000 pies cerro la virgen



Fuente: Software MLAT v 1.72

Figura 23. Cobertura a 15.000 cerro carrizales



Fuente: Software MLAT v 1.72

3.6 COMPOSICIÓN BÁSICA REQUERIDA AL SISTEMA WAM

Aunque la composición de un sistema WAM puede variar de un fabricante a otro, se debe partir de una composición básica, que deben contener todos los sistemas propuestos y que permita dimensionar el sistema.

- Transmisor WAM 1030 MHz (Interrogadores). Cada estación debe tener 2 transmisores que le den la redundancia al sistema y disminuya los riesgos de indisponibilidad de la estación. El número de estaciones interrogadoras instaladas en el TMA debe ser tal que debe garantizar una adecuada cobertura de modo que el sistema obtenga las respuestas necesarias de los transpondedores de las aeronaves para la adecuada detección de los blancos.
- Estaciones Receptoras Secundarias (ERS) WAM 1090 MHz. En este sentido además de valorar la cantidad estimada de estaciones receptoras que garanticen una cobertura permanente por al menos 4 estaciones, se debe valorar la

conveniencia del tipo de red, Red Centralizada (con fechado en la Estación Central de Proceso) o Red Distribuida (con fechado en cada una de las estaciones Receptoras Remotas). En cuanto al número de estaciones receptoras remotas, el ejercicio de simulación de coberturas planteado muestra que por lo menos deberá tener un número no menor de 17 estaciones receptoras, este número no significa (ni implicará al autor) que este debe ser el número definitivo, pues la empresa contratista de la implementación en definitiva deberá garantizar la cobertura total en las aéreas críticas de la TMA (durante todas la aerovías que cruzan el TMA).

- Subsistema de Estación Receptora y de Proceso Central ó primario (ERPC) de la WAM. El cual se ubica en las instalaciones asignadas para los acoger a los equipos centrales del sistema WAM, dentro del entorno Aeroportuario y es al cual apuntan las informaciones de todas estaciones receptoras secundarias. Su configuración interna deberá ser lo más redundante posible.
- Sistema de procesamiento y distribución de datos de vigilancia. Este requerimiento es similar al utilizado para los SSR.
- Red de datos de vigilancia. También es un requerimiento similar al de los SSR.
- Mecanismo de sincronización.
- Sistema Remoto de Control y Monitoreo (RCMS) y prueba interna del equipo (BITE).
- Enlaces de datos entre receptores secundarios WAM y la Unidad de Proceso Central WAM, la cual incluye los modem Tx. / Rx. y los medios de Tx. Estos enlaces deben cumplir, también, con el requerimiento que el tiempo desde que recibida la señal del blanco en la antena de la ERS hasta que la recibe la unidad central de proceso no debe ser mayor a 500ms.
- Enlace de datos entre la Unidad Central de Proceso WAM y las siguientes etapas del proceso en la infraestructura ATC.
- Monitor Remoto.

3.7 EVALUACION POST IMPLEMENTACION

Corresponde a las pruebas que se realizarán al sistema WAM y que garantizaran que el sistema es apto para apoyar los servicios de la vigilancia aeronáutica y que cumple con los requisitos de fiabilidad, confiabilidad e integridad de los parámetros detallados en el capítulo 2, parte 2.5.2 .

Para esta evaluación es fundamental contar con una herramienta informática que permita medir cada uno de los parámetros exigidos y que se aplica con el tráfico de oportunidad, grabaciones durante un tiempo suficiente del tráfico normal

existente. En principio esta herramienta lo que permite es poder extraer la información en el protocolo de intercambio de datos radar usado y que se propone el ya utilizado, el Asterix y que adicionalmente le realiza algunos cálculos estadísticos que permitan evaluar la prestación del sistema. Por lo que es recomendable tener un protocolo de aceptación que define los parámetros esperados a evaluar con los límites permitidos y con definición de tolerancias.

4. CONCLUSIONES

Los Radares Secundarios en su técnica de detección, muestra algunas deficiencias al verse condicionada por las reflexiones y ocultamientos de la señal tanto de la interrogadora como la de respuesta generada en zonas montañosas u otros obstáculos. Al poseer una sola fuente de emisión (antena radar) de interrogaciones para obtener las respuestas (señal de los transpondedores de las aeronaves) en el procesamiento y generación de información útil en la vigilancia aeronáutica, lo cual condiciona a que dicha antena deba tener línea de vista permanente sobre sus todos sus objetivos esperados en todo su entorno y a una distancia considerable, condicionando a geografías llanas o sitios elevados pero con detección en niveles altos.

Los sistemas de Multilateración en ese sentido complementan dichas deficiencias, permitiendo poder ubicar diferentes antenas receptoras e interrogadoras en diversos sitios, con estaciones relativamente sencillas, que permiten obviar los obstáculos tanto naturales como artificiales y de esta manera presentar una alternativa de vigilancia aeronáutica en zonas difíciles por obstáculos y que en la otra solución de vigilancia (radares) equivaldría a requerir probablemente otros sensores, que representan una inversión cuantiosa.

En un estudio previo se determinan, entre otros aspectos: posibles ubicaciones convenientes, cantidad requerida de estaciones receptoras secundarias e interrogadoras que garanticen una adecuada detección de los blancos (aeronaves), así como los medios para intercomunicar dichas estaciones con la estación central de procesamiento, que se convierten en factores importantes para definir el costo y el desempeño del sistema de Multilateración. Por ello, el que la Aeronáutica Civil (Regional Norte de Santander) disponga de estaciones en cerros y otros en lugares llanos, con la debida infraestructura de comunicaciones, suministro eléctrico, etc. Hacen suponer una facilidad en algunos trámites administrativos y actuaciones operativas. Aunque Obviamente debido al acondicionamiento que conlleva la configuración de la topología geométrica que deben tener dichas estaciones de Multilateración para disminuir el error de Dilución por Posición Geométrica (DGOP), conlleva a la necesidad de implementar otros sitios que no se encuentran desarrollados (con alguna infraestructura) por la Aeronáutica Civil.

Desde el punto de vista técnico-operativo, la implementación de un sistema de Multilateración de aérea amplia (WAM) en el TMA evaluado para el aeropuerto Camilo Daza de la ciudad de Cúcuta, requeriría de la consideración de algunos aspectos como: los parámetros funcionales, control del desempeño del sistema de Multilateración, efecto de las pruebas al sistema, diseño del software de gestión y hardware, seguridad al personal de atención técnica, cobertura del sistema de Multilateración, disponibilidad y mantenibilidad del sistema, interfaces externas,

sistema de salida de datos, registro de los datos generados por el sistema, monitoreo.

BIBLIOGRAFÍA

MARTINEZ VADILLO, Juan Francisco. Navegación Sistemas y Equipos, Maniobras y Procedimientos. Séptima edición, corrección y reedición, 2.006, ISBN 84-604-7696-0, imprenta Amábar (España), 1008 páginas.

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, Anexo 10 Telecomunicaciones Aeronáuticas, volumen IV Sistemas de radar de vigilancia y sistemas anticolidión, Tercera Edición julio del 2.002 S/P1/500 impreso en la OACI, 211 páginas.

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, Anexo 11 Servicios de Tránsito Aéreo, Decimotercera Edición Agosto del 2.001 S/P1/650 impreso en la OACI, 85 páginas.

EUROPEAN ORGANISATION FOR THE SAFETY OF AIR NAVIGATION , Eurocontrol, “Surveillance Data Exchange” Parte 14 Categoría 20 “Multilateration target report”, SUR.ET1.ST05.2000-STD-18-02. edición 1.1, junio de 2.006, 46 páginas.

EUROPEAN ORGANISATION FOR THE SAFETY OF AIR NAVIGATION , Eurocontrol, “Surveillance Data Exchange” Parte 18 Categoría 19 “Multilateration System status Messages”, SUR.ET1.ST05.2000-STD-18-02. edición 1.0, junio de 2.006, 27 páginas.

EUROCAE, ED-142. Technical Specification for Wide Area Multilateration (WAM) System, version 1.0, octubre del 2.007, 51 páginas.

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE AERONÁUTICA CIVIL, Documento Plan de navegación aérea para Colombia 2010 – 2019, Volumen I “Requerimientos operacionales”, Septiembre del 2.009, 123 páginas

Recomendaciones ITU-R F.497-6, ITU-R F.746-6, ITU-R F.637-3

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE AERONÁUTICA CIVIL, Documento Publicación de información Aeronáutica AIP, parte 3 Aeródromos. 2.011 actualizable periódicamente.

ANEXO A. LISTA DE CATEGORÍAS.

Lista de categorías de datos en Asterix – Aplicaciones estándares civiles y militares:

CAT000: Time synchronization messages (providing efficient time stamping when composite traffic pictures are exchanged between processing systems).

CAT001: Monoradar data target reports, from a radar surveillance system to a SDPD (plots and tracks from PSRs, SSRs, SSRs, excluding mode S and ground surveillance).

CAT002: Monoradar Service Messages (status, North marker, sector crossing messages).

CAT003: Distribution of Synthetic Air Traffic Data.

CAT008: Monoradar Derived Weather Information.

CAT009: Multisensor Derived Weather Information.

CAT010: Monoradar Surface Movement Data.

CAT011: SMGCS.

CAT016: Enhanced Surveillance Data from a Mode S Ground Station.

CAT017: Mode S Surveillance Co-ordination Function messages.

CAT018: Mode S Data-Link Function messages.

CAT 019: Multilateration system status messages.

CAT 020: Multilateration data.

CAT021: ADS-B Messages.

CAT030: Exchange of Air Situation Pictures.

CAT031: Sensors information messages (transmission of surveillance biases to users).

CAT032: CAT032 information provided by users to ARTAS.

CAT034: CAT034 next version of category 002.

CAT048: CAT048 next version of categories 001 and 016.

CAT061: Session and service control messages.

ⁱ Según se establece en documento de Eurocae ED-142, Especificaciones técnicas para un sistema de Multilateración área Amplia.