

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA**

**“Estudio y diseño de un sistema de Multilateración para vigilancia de la  
zona de Tráfico Aéreo del nuevo aeropuerto de Quito”**

**Autor  
Erika Cecilia Espín Villacrés**

**SANGOLQUI – ECUADOR**

**2008**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente Proyecto de Grado “ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE MULTILATERACIÓN PARA VIGILANCIA DE LA ZONA DE TRÁFICO AÉREO DEL NUEVO AEROPUERTO DE QUITO”, fue realizado en su totalidad por la señorita Erika Cecilia Espín Villacrés, portadora de la cédula de identidad 171921099-7, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Electrónico con especialidad en Telecomunicaciones, bajo nuestra dirección.

Atentamente,

Ing. Rodrigo Silva T.  
Director

Ing. Edwin Chávez  
Codirector

## **RESUMEN**

Este trabajo plantea el uso de un nuevo sistema electrónico complementario al Sistema Radar Secundario (SSR) existente en la estación de Control de Tráfico Aéreo de la DAC. Se utiliza la técnica de Multilateración para localizar una aeronave en zonas de aproximación a la pista del aeropuerto.

La Multilateración, conocida como posicionamiento hiperbólico, es el proceso de localizar un objeto con precisión de cálculo de la diferencia de tiempo de llegada (TDOA) de una señal emitida desde el objeto a tres o más receptores. La sincronización del sistema requiere del Global Navigation Satellite Systems (GNSS) cuya señal de reloj se encuentra distribuída en cada uno de los receptores.

Para el diseño del sistema se consideró la seguridad de la aeronavegación en las zonas de aproximación del nuevo Aeropuerto de Quito ubicado en Tababela, para lo cual se han analizado las características topográficas del sitio en cuestión y se ha determinado colocar los sensores en los siguientes lugares: Instalaciones del nuevo Aeropuerto, Santa Rosa, Condorcocha, Tabacundo y Monjas; en los cuales se comprobaron tener línea de vista entre dos ó más receptores del sistema.

Esta propuesta tiene un costo aproximado de un millón y medio de dólares, siendo inferior al valor de un radar secundario.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico en primer lugar a mis padres Martha y Francisco, por darme todo su apoyo no solo durante estos 6 meses de elaboración de este trabajo sino por el apoyo que me han dado toda mi vida tanto en el aspecto personal como estudiantil, por enseñarme que los objetivos trazados en mi vida solamente los conseguiré con mi esfuerzo y dedicación, siendo una prueba de ello la culminación de este trabajo.

También se lo dedico a mis hermanos Roberto y Francisco, por ayudarme en los pequeños pero grandes detalles que hicieron falta para la finalización de este trabajo y también por sus importantes enseñanzas durante mi vida universitaria.

Y finalmente pero no menos importante a Fernando ya que con su amor y paciencia pude soportar los momentos de agotamiento y estrés.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco inmensamente a Dios por darnos salud y vida a mí y a mis seres queridos,  
lo que me permitió realizar con éxito este trabajo.

A mis padres Francisco y Martha por su amor, paciencia y comprensión  
pero en especial a mi padre Francisco,

Por entenderme en momentos de cansancio y por compartir conmigo todos sus  
conocimientos y experiencia fundamentales para la elaboración de este trabajo.

A mi primo Rodrigo, por su ayuda y consejos incondicionales ya que con ellos pude  
mejorar el desarrollo y presentación de este trabajo.

Al Ing. Iván Salas principal del Área de Gestión Técnica y Vigilancia Radar de la  
Dirección General de Aviación Civil por compartir sus conocimientos y asesorarme en la  
realización de este trabajo.

A mis abuelitos Blanca, Miguel y Esther, a mis tías y tíos, primas y primos quienes durante  
la elaboración de este proyecto estuvieron preocupados  
por la pronta finalización del mismo.

Y a todas las personas que directa e indirectamente colaboraron para que culmine este  
trabajo satisfactoriamente.

## PRÓLOGO

La vigilancia de la aeronavegación en la ciudad de Quito se basa en el funcionamiento del radar Primario y Secundario, los cuales son los encargados de permitir el control del vuelo de las aeronaves en el Área Terminal de Maniobras (TMA) que tiene una cobertura de 40 NM (millas náuticas) en sentido radial; sin embargo y a pesar de que la detección de las aeronaves es segura, existen zonas en las que debido a la topografía se pierde esta detección ya que el radar tiene un alcance limitado.

En nuestros días se está implementando en varios países europeos, Estados Unidos y Australia una nueva tecnología que viene a complementar el Servicio de Vigilancia del Radar Secundario para eliminar zonas en las que no existe detección radar, principalmente en valles, lechos de ríos y otros lugares que tienen condiciones parecidas. Esta nueva tecnología es la Multilateración.

Varias empresas han encontrado una solución técnica para este inconveniente, mediante el desarrollo del sistema de Multilateración el cual, por sus características, ofrece una detección de hasta el 99.99 % en sitios en donde no existe cobertura radar.

La implementación de la Multilateración tiene una reducción significativa de los costos si relacionamos el valor de un radar con un sistema de Multilateración que está conformado por equipos, instalación y mantenimiento. La Multilateración no implica el aumento o cambio de los equipos de a bordo de las aeronaves debido a que se seguirá utilizando la misma aviónica que se utiliza para el radar Secundario. La capacitación de los operadores para el uso de este sistema es mínima y el mantenimiento se reduce a una visita semestral por parte del personal técnico a las instalaciones. Se debe mencionar que el espacio que ocupan los equipos y el consumo de energía eléctrica es mínimo.

El principio de funcionamiento de esta nueva tecnología se basa en la triangulación de las señales de recepción provenientes de equipos conocidos como sensores; consta de antenas receptoras de la señal de las aeronaves y de una estación de procesamiento la cual establece la posición del avión por el cálculo de la diferencia del tiempo de llegada de las señales a las diferentes antenas.

Si se llega a aplicar esta nueva tecnología, la aeronavegación en el Ecuador será la principal beneficiaria, lo que contribuirá a incrementar la seguridad operacional de los vuelos.

En los capítulos que conforman este documento se detalla una descripción de la arquitectura, las especificaciones técnicas de sus sensores beneficios y las principales aplicaciones del sistema de Multilateración.

También se describe el Servicio de Vigilancia para la Aeronavegación de la ciudad de Quito en el cual está incluido el funcionamiento y características de los radares: Primario, Secundario y radioayudas: no visuales y visuales.

Al final se presenta una propuesta técnica aplicable para el nuevo aeropuerto de Quito, los lugares en donde es probable instalar los sensores, los precios que esto generaría y el desempeño del sistema una vez que esté funcionando.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION** **26**

1.1 ANTECEDENTES .....	26
1.1.1 Presentación del Proyecto.....	26
1.1.2 Alcance .....	28
1.1.3 Objetivos.....	28

## **CAPITULO II**

### **SISTEMA DE MULTILATERACIÓN** **30**

2.1 GENERALIDADES.....	30
2.1.1 Introducción.....	30
2.1.2 Reseña Histórica .....	30
2.2 CONCEPTOS GENERALES .....	32
2.2.1 Detección por Radio y distanciamiento (RADAR) .....	32
2.2.2 Sistema de Alerta de Tráfico y precaución de Colisión (TCAS) .....	50
2.2.3 Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS).....	50
2.2.4 Tiempo Universal Coordinado (UTC).....	50
2.2.5 Sistema de Posicionamiento Global (GPS) .....	50
2.2.6 Vigilancia Dependiente Automática- por radiodifusión (ADS-B).....	51
2.2.7 Multilateración de Área Amplia (WAM).....	52
2.2.8 Sistemas Avanzados de Guía y Control de movimiento en la superficie (A-SMGCS) .....	53
2.3 La Multilateración .....	53
2.3.1 Técnicas aplicadas a la TDOA .....	59
2.3.2 Métodos de sincronización .....	62
2.3.3 Algoritmos empleados en la detección.....	69
2.3.4 Derivación .....	70
2.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	71
2.5 ARQUITECTURA .....	75
2.5.1 Diagrama en bloques .....	76
2.6 PRESTACIONES GENERALES .....	76
2.7 CONDICIONANTES DEL SISTEMA .....	76
2.8 APLICACIONES DE LA MULTILATERACIÓN .....	77
2.8.1 Superficie del aeropuerto.....	78
2.8.2 Área Terminal.....	79
2.8.3 Área Amplia (WAM) .....	79
2.8.4 Precisión en el monitoreo de las pistas de rodaje .....	79
2.8.5 Unidad de monitoreo de altura (HMU) .....	80
2.8.6 Administración ambiental .....	81
2.8.7 Administración de operaciones aeroportuarias e ingresos del Estado.....	82

## **CAPITULO III**

### **DESCRIPCION DE SERVICIOS DE NAVEGACIÓN AÉREA DE QUITO** **83**

3.1 GENERALIDADES .....	83
3.2 DIAGRAMA EXPLICATIVO DE LOS SISTEMAS DE AERONAVEGACION..	84
3.3 CAPACIDAD OPERATIVA .....	86
3.4 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE LA ESTACION MONJAS.....	87
3.4.1 Datos de radar .....	87
3.4.2 DP's y Fallback .....	88
3.4.3 Red Fija de Telecomunicaciones Aeronáuticas (AFTN).....	88
3.4.4 Grabadoras de Datos.....	89
3.4.5 Posiciones Operativas .....	89
3.4.6 Supervisor Técnico .....	90
3.4.7 Simulador .....	91
3.4.8 Enlace Satelital .....	91
3.4.9 Posición Torre (TWR).....	92
3.5 VIGILANCIA RADAR.....	92
3.5.1 Clientes Vigilancia Radar .....	92
3.5.2 Proceso de Vigilancia .....	93
3.5.3 Infraestructura que soporta el Servicio de Vigilancia Radar.....	93

#### **CAPITULO IV**

#### **CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO** **110**

4.1 SISTEMA BASELINE.....	110
4.1.1 Disolución Geométrica de Precisión (GDOP).....	112
4.2 VIGILANCIA EN LA RUTA .....	114
4.3 LOCALIZACIÓN DEL RECEPTOR Y DESEMPEÑO DE ALTITUD.....	116
4.3.1 Efectos geométricos.....	116
4.3.2 Consideraciones de diseño y <i>baseline</i> .....	117
4.4 ELECCION DE ANTENA.....	120
4.4.1 Antena SSR .....	120
4.4.2 Antena GNSS .....	120
4.5 RANGO DINAMICO .....	120
4.6 DETERIORO DE LA SEÑAL .....	121
4.7 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE MULTILATERACION.....	122
4.7.1 Sincronización Del Tiempo .....	122
4.7.2 Unidad Remota (RU).....	123
4.7.4 Componentes De Procesamiento .....	129
4.7.5 Terminal de Mantenimiento Central y local.....	133
4.8 PROPUESTA TECNICA.....	134
4.8.1 Ubicación del Aeropuerto.....	134
4.8.2 Topografía .....	135
4.8.3 Decisiones de Arquitectura.....	139
4.8.4 Descripción de los lugares de ubicación de sensores .....	145
4.9 COBERTURA .....	163

#### **CAPITULO V**

#### **DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE MULTILATERACION** **164**

5.1 CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO .....	164
5.1.1 Cobertura .....	164
5.1.2 Precisión .....	164
5.1.3 Tasa de Falsos blancos .....	165
5.1.4 Probabilidad de detección MLat (Modo S) .....	166
5.1.5 Identificación .....	166
5.1.6 Tasa de actualización.....	166
5.1.7 Capacidad de blancos .....	167
5.1.8 Iniciación de Pista.....	167
5.1.9 Tiempo de inicio.....	167
5.1.10 Tiempo de transferencia .....	167
5.2 BENEFICIOS .....	167
5.2.1 Costo.....	167
5.2.2 Desempeño .....	168
5.2.3 Disponibilidad Operacional.....	169
5.2.4 Expansión de la red .....	170
5.2.5 Cobertura cross-border .....	171
5.2.6 Impacto ambiental .....	172
5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	173
5.3.1 Ventajas .....	173
5.3.2 Desventajas.....	174

## **CAPITULO VI**

### **ESTIMACION ECONOMICA** **175**

6.1 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS .....	175
6.1.1 Hardware .....	175
6.1.2 Instalación y Autorización.....	176
6.1.3 Arquitectura.....	176
6.1.4. Mantenimiento.....	176
6.1.5 Consumo de energía .....	176
6.1.6 Alquiler del sitio .....	176
6.2 PROPUESTA ECONÓMICA .....	177

### **ANEXOS** **181**

A1: DEFINICIÓN DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN .....	181
A2: ASTERIX .....	183
A3: NTP.....	184
A4: SNMP .....	185
A5: EUROCAT .....	186
A6: COBERTURA DEL DISEÑO PROPUESTO PARA EL SISTEMA DE MULTILATERACIÓN.....	189
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	190

## INDICE DE TABLAS

Tabla. 2. 1. Modos de Interrogación.....	42
Tabla. 2. 2. Ejemplos de códigos de interrogación (Modo 3/A) .....	43
Tabla. 3. 1. Características Radar de Quito .....	86
Tabla. 4. 1. Secciones dependiendo de la altitud de la aeronave.....	119
Tabla. 4. 2. Características Receptor/Transmisor.....	129
Tabla. 4. 3. Diferencias entre los métodos de sincronización .....	139
Tabla. 4. 4. Lugares de ubicación de sensores.....	145
Tabla. 6. 1. Costo por adquisición de equipos.....	177
Tabla. 6. 2. Costo por instalación de equipos.....	177
Tabla. 6. 3. Costo por consumo de energía eléctrica.....	177
Tabla. 6. 4. Costo por mantenimiento anual.....	178

## INDICE DE FIGURAS

Figura. 2. 1. Principales causas de accidentes .....	31
Figura. 2. 2. Radar Primario .....	33
Figura. 2. 3. Transmisión.....	33
Figura. 2. 4. Recepción.....	34
Figura. 2. 5. Determinación de dirección .....	36
Figura. 2. 6. Variación de la fuerza del eco.....	36
Figura. 2. 7. Definición del ángulo de elevación.....	37
Figura. 2. 8. Radar Secundario .....	40
Figura. 2. 9. Pulsos Radar Secundario.....	41
Figura. 2. 10. Los pulsos F1 y F2 acotan la señal (frame pulses). Las claves del transpondedor corresponden a los pulsos ordenados según: A4 A2 A1, B4 B2 B1, C4 C2 C1, D4 D2 D1.....	43
Figura. 2. 11. Con ADS-B, una posición del avión se detecta por GNSS y broadcast junto con otros datos, como camino, partida, y la velocidad, a las estaciones terrestres, las cuales decodifican y transmiten la información a los sistemas de automatización ATC para su visualización en las pantallas de los controladores de tránsito aéreo.....	52
Figura. 2. 12. Localización de aeronave con receptores.....	53
Figura. 2. 13. Diseño con 5 estaciones receptoras.....	55
Figura. 2. 14. Receptor 2 a 0 .....	56
Figura. 2. 15. Receptor 3 a 0 .....	57
Figura. 2. 16. Receptor 4 a 0 .....	57
Figura. 2. 17. Intersección de Hiperboloides.....	58
Figura. 2. 18. Hiperboloide de precisión .....	59
Figura. 2. 19. Flujo de datos para correlación cruzada.....	60
Figura. 2. 20. Flujo de datos TOA.....	61
Figura. 2. 21. Grupo de retardo y sincronización .....	63
Figura. 2. 22. Topología de Sincronización WAM .....	64
Figura. 2. 23. Arquitectura Reloj Común .....	65

Figura. 2. 24. Arquitectura Reloj Distribuido.....	66
Figura. 2. 25. Arquitectura Transpondedor Sincronizado .....	67
Figura. 2. 26. Arquitectura GNSS sincronizado.....	68
Figura. 2. 27. Arquitectura de vista común GNSS sincronizado.....	69
Figura. 2. 28. Triangulación. ....	72
Figura. 2. 29. Recepción de respuestas de transpondedores.....	72
Figura. 2. 30. Diagrama en bloques de MLAT.....	74
Figura. 2. 31. Diagrama explicativo MLAT.....	75
Figura. 2. 32. Diagrama específico.....	76
Figura. 2. 33. Beneficios de la MLAT.....	78
Figura. 2. 34. SIN SISTEMA PRM.....	80
Figura. 2. 35. CON SISTEMA PRM Los aeropuertos paralelos con espacio reducido pueden mantener criterios de aproximación independientes, incluso durante condiciones climáticas adversas, lo que mejora la capacidad. ....	80
Figura. 2. 36. Los sistemas HMU basados en la Multilateración han sido desarrollados para RSVM en varios lugares alrededor del mundo.....	81

Figura. 3. 1. Sistemas para aeronavegación de Quito.....	84
Figura. 3. 2. Diagrama en bloques de la arquitectura.....	87
Figura. 3. 3. Flujo de mensajes AFTN .....	88
Figura. 3. 4. Posición ATC .....	90
Figura. 3. 5. Supervisor Técnico .....	91
Figura. 3. 6. Antena Radar.....	92
Figura. 3. 7. Proceso de Vigilancia Radar .....	93
Figura. 3. 8. Radar Primario STAR 2000 .....	94
Figura. 3. 9. Componentes (vista frontal).....	95
Figura. 3. 10. Componentes (vista posterior) .....	95
Figura. 3. 11. Antenas SSR giran a una relación de 15RPM, recibiendo réplicas desde la aeronave con transpondedores Modo A, C y S. ....	96
Figura. 3. 12. Radar Secundario RSM 9701 .....	97
Figura. 3. 13. Componentes (vista exterior) .....	97
Figura. 3. 14. Componentes (antena y vista interior) .....	98
Figura. 3. 15. Componentes (vista interior).....	98
Figura. 3. 16. Arquitectura Eurocat .....	99
Figura. 3. 17. VCCS .....	100
Figura. 3. 18. DME.....	104
Figura. 3. 19. Estación de tierra VOR/DME .....	104
Figura. 3. 20. Los modelos de emisión de las señales del localizador y <i>glideslope</i> .....	105
Figura. 3. 21. Horizonte artificial. En muchos aviones, aquí se muestran las dos agujas que marcan la senda correcta del ILS. De estar sintonizado un ILS durante la aproximación, las dos agujas en cruz indicarían que se está realizando correctamente la aeronavegación. ..	107
Figura. 3. 22. Vista del piloto con el uso de PAPI .....	108
Figura. 3. 23. PAPI individual.....	109
Figura. 3. 24. El PAPI puede ser visto como cuatro luces blancas al lado izquierdo de la pista. En este caso, el piloto está sobre el <i>glidepath</i> .....	109

Figura. 4. 1. Variación de la línea de vista con baseline .....	110
Figura. 4. 2. Diseño básico con 4 receptores .....	111
Figura. 4. 3. Diseño extendido con 5 y 6 receptores .....	112
Figura. 4. 4. GDOP para diseño de un cuadrado de 5 receptores.....	113
Figura. 4. 5. Ejemplos de DOP .....	113
Figura. 4. 6. Precisión WAM vs MSSR para aplicaciones en Vigilancia .....	114
Figura. 4. 7. Diseño extendido de múltiples receptores .....	115
Figura. 4. 8. Diseño de sistema múltiple extendido .....	116
Figura. 4. 9. Medida de cinco sitios para ilustración de VDOP y HDOP .....	116
Figura. 4. 10. HDOP Y VDOP desde 29000 – 41000 pies .....	117
Figura. 4. 11. HDOP Y VDOP desde 0 – 41000 pies .....	117
Figura. 4. 12. Precisión de altura (pies) contra baseline.....	118
Figura. 4. 13. Precisión vertical (pies) con varias configuraciones.....	119
Figura. 4. 14. Transmisor de referencia.....	122
Figura. 4. 15. GPS .....	123
Figura. 4. 16. Unidad Remota .....	124
Figura. 4. 17. Estación Modular Terrestre.....	125
Figura. 4. 18. Estación Modular Terrestre.....	126
Figura. 4. 19. Estación Receptora.....	127
Figura. 4. 20. Enlace Óptico .....	127
Figura. 4. 21. Enlace Microonda .....	128
Figura. 4. 22. Receptor/Interrogador .....	128
Figura. 4. 23. Diagrama Componentes de Procesamiento.....	129
Figura. 4. 24. Estación Central de Procesamiento.....	130
Figura. 4. 25. Estación de Procesamiento Central.....	131
Figura. 4. 26. Rack del Servidor.....	132
Figura. 4. 27. Rack del Servidor.....	132

Figura. 4. 28. Terminal de mantenimiento Central y Local .....	133
Figura. 4. 29. Interfaz Gráfica .....	134
Figura. 4. 30. Ubicación Nuevo Aeropuerto de Quito.....	135
Figura. 4. 31. Topografía alrededor del nuevo aeropuerto .....	136
Figura. 4. 32. Alturas de montañas alrededor del aeropuerto.....	137
Figura. 4. 33. Aproximación1 .....	138
Figura. 4. 34. Aproximación 2.....	138
Figura. 4. 35. Método TOA .....	139
Figura. 4. 36. Método de sincronización de vista común GNSS.....	141
Figura. 4. 37. Diseño de <i>baseline</i> .....	142
Figura. 4. 38. Cobertura con <i>baseline</i> de 20NM .....	142
Figura. 4. 39. Servicios de aeronavegación de la ciudad de Quito incluida la Multilateración .....	143
Figura. 4. 40. Diagrama en bloques del Sistema Radar y Sistema de Multilateración.....	144
Figura. 4. 41. Ubicación de sensores .....	145
Figura. 4. 42. NQIA-Monjas .....	147
Figura. 4. 43. Línea de vista entre NQIA y Monjas .....	148
Figura. 4. 44. NQIA-Santa Rosa.....	149
Figura. 4. 45. Línea de vista entre NQIA y Santa Rosa .....	149
Figura. 4. 46. NQIA-Tabacundo.....	150
Figura. 4. 47. Línea de vista entre NQIA y Tabacundo.....	150
Figura. 4. 48. NQIA-Condorcocha .....	151
Figura. 4. 49. Línea de vista entre NQIA y Condorcocha .....	151
Figura. 4. 50. Condorcocha-Monjas .....	152
Figura. 4. 51. Línea de vista entre Condorcocha y Monjas.....	153
Figura. 4. 52. Condorcocha- Santa Rosa .....	154
Figura. 4. 53. Línea de vista entre Condorcocha y Santa Rosa .....	155
Figura. 4. 54. Monjas-Tabacundo.....	156

Figura. 4. 55. Línea de vista entre Monjas y Tabacundo .....	157
Figura. 4. 56. Monjas-Santa Rosa .....	157
Figura. 4. 57. Línea de vista entre Monjas y Santa Rosa .....	158
Figura. 4. 58. Ubicación de Santa Rosa.....	159
Figura. 4. 59. Iglesia de Santa Rosa .....	159
Figura. 4. 60. Centro de Desarrollo Infantil de Santa Rosa.....	160
Figura. 4. 61. Santa Rosa-Tabacundo.....	160
Figura. 4. 62. Línea de vista entre Tabacundo y Santa Rosa.....	161
Figura. 4. 63. Iglesia de Tabacundo.....	162
Figura. 4. 64. Torre de Tabacundo .....	162
Figura. 4. 65. Escuela de Tabacundo.....	163
Figura. 5. 1. Cálculo de falsa posición .....	165
Figura. 5. 2. Región de Procesamiento corregida la posición por el cálculo.....	166
Figura. 5. 3. Comparación del Radar y MLAT .....	168
Figura. 5. 4. Eurocontrol informó que la Multilateración superó en gran medida la precisión del SSR donde existe cobertura. ....	168
Figura. 5. 5. Un corte de energía en un sitio, ya sea planeado (por ejemplo, mantenimiento) o imprevisto, demuestra la disponibilidad operacional superior de la Multilateración en comparación con SSR.....	170
Figura. 5. 6. El apoyo de MLAT para múltiples aplicaciones y la capacidad de expansión da a ANSPs una poderosa capacidad para disminuir la inversión.....	171
Figura. 5. 7. Ejemplo de Cobertura Cross-border.....	172
Figura. 5. 8. SSR necesita una mayor huella ambiental e infraestructura dedicada vs. MLAT que se coloca fácilmente en las estructuras existentes. El Radar consume más de 200 veces la potencia (12 kilovatios frente a 50 vatios) y pesa más de 100 veces (2500 kg vs 24 kg) que una estación terrestre de MLAT. ....	173

## GLOSARIO

SIGLA	INGLES	ESPAÑOL
ADF	Automatic Direction Finder	Localizador Automático de Dirección
ADS-B	Automatic Dependant Surveillance Broadcast	Vigilancia automática dependiente radiodifundida
ADU	Azimuth Distribution Unit	Unidad de distribución de azimuth
AFTN	Aeronautical Fixed Telecommunications Network	Red Fija de Telecomunicaciones Aeronáuticas
AIRCAT	Automated Integrated Radar Control of Air Traffic  Concept used by Thomson-CSF (now "Thales ATM") for modem transfer of data from radar sources.	Control de Tráfico Aéreo automatizado e integrado en el Radar
AMS	Mariscal Sucre Airport	Aeropuerto Mariscal Sucre
ANS	Air Navigation Service	Servicio de navegación aérea
ANSPs	Air Navigation Service Providers	Proveedores de servicios de aeronavegación

APP	APProach	Aproximación
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems	Orientación avanzada del movimiento en la superficie y de Sistemas de Control
ASTERIX	All-purpose Structured EUROCONTROL Radar Information eXchange	Intercambio de la información radar estructurada para todo propósito en el EUROCONTROL
ATC	Air Traffic Controller	Controlador de tráfico aéreo
ATCRBS	Air Traffic Control Radar Beacon System	Sistema de radiofaro en el Control del Tráfico Aéreo Radar
ATS	Air Traffic Service	Servicio de tráfico Aéreo
DME	Distance Measuring Equipment	Equipo Medidor de Distancia
DP	Data Processor	Procesador de Datos
ERCp	Central Receiver Station and Processing	Estación receptora central y de proceso
ERS	Secondary Receiver Station	Estación receptora secundaria

ESM	Electronic Surveillance Measure	Medida de vigilancia electrónica
FAA	Federal Aviation Agency	Agencia Federal de Aviación
FPL	Flight PLan	Plan de Vuelo
FRUIT	False Returns Unsynchronized In Time	Retornos Falsos asincrónicos en tiempo
GDOP	Geometric Dilution of Precision	Disolución Geométrica de Precisión
GMT	Greenwich Mean Time	Tiempo promedio de Greenwich
GNSS	Global Navigation Satellite System	Sistema Global de Navegación por Satélite
GP	GlidePath	Senda de planeo
GPS	Global Positioning System	Sistema de posicionamiento global
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision	Disolución horizontal de precisión
HMU	Height Monitoring Unit	Unidad de Monitoreo de Altura
IATCC	Integrated ATC Center	Centro Integrado de ATC
ICAO	International Civil Aviation Organization	Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)

IFF	Identify Friend or Foe	Identifique Amigo o Enemigo
ILS	Instrument Landing System	Sistema Instrumental para Aterrizaje
IM	Inner Marker	Marcador Interno
LINES	Link Interface Node for External System	Interfaz de conexión para el sistema externo
LNA	Low Noise Amplifier	Amplificador de bajo ruido
MM	Middle Marker	Marcador medio
MSSR	Monopulse Secondary Surveillance Radar	Radar Secundario Monopulso de Vigilancia
MTBF	Mean Time Between Failure	Tiempo promedio entre fallas
MTI	Movement Target Indicator	Indicador de blancos móviles
MTTR	Mean Time To Return	Tiempo promedio para retorno
MWA	Micro Wave Amplifier	Amplificador de Microonda
NDB	Non-directional Beacon	Radiofaro No direccional
NM	Nautical Mile	Milla Náutica
NOTAM	NOtice To AirMen	Notas al personal Aéreo

NTP	Network time protocol	Protocolo de tiempo de la red
OM	Outer Marker	Marcador externo
PAPI	Precision Approach Path Indicator	Indicador de Precisión de la senda de Aproximación
PPI	Plan Position Indicator	Indicador Plano de Posición
PRF	Pulse Recurrency Frequency	Frecuencia de Repetición de Pulsos
PRM	Precision Runway Monitor	Monitor de Precisión de la Pista activa
PRT	Pulse Repetition Time	Tiempo de Repetición de Pulso
PSR	Primary Surveillance Radar	Radar Primario de Vigilancia
PW	Pulse Width	Ancho de Pulso
RADAR	Radio Detection And Ranging	Detección por radio y distancia
RCP	Required Communication Performance	Desempeño Requerido para comunicación
RISC	Reduced Instruction Set Computer	Juego Computarizado de instrucciones reducidas
RNP	Required Navigation Performance	Desempeño Requerido para Navegación

RPL	Repeatitive flight PLan	Plan de vuelo Repetitivo
RRP	Regulatory Reform Program	Programa regulatorio de reforma
RSVP	Regulatory Structure and Validation Project	Estructura regulatoria y validación de proyecto
RVSM	Reduced Vertical Separation Minimum	Mínima Separación Vertical Reducida
SLS	Side Lobe Supression	Supresión de lóbulos laterales
SMR	Surface Movement Radar	Radar de movimiento en superficie
SNMP	Simple Network Management Protocol	Protocolo simple de administración red
SPI	Special Purpose Indicator	Indicador de propósitos especiales
SSR	Secondary Surveillance Radar	Radar Secundario de Vigilancia
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System	Sistema de impedimento de colisión y alerta de tráfico
TDOA	Time Difference Of Arrival	diferencia de tiempo de llegada

TDOP	Time Difference Of Precision	Tiempo de disolución de precisión
TMA	Terminal Maneouvre Area	Área Terminal de maniobras
TOA	Time of Arrival	Tiempo de llegada
TP	Turn Point	Punto de giro
TR	Treatment Radar	Tratamiento Radar
UPS	Uninterruptible Power Supply	Fuente ininterrumpida de Energía
UAT	Universal Access Transceiver	Transmisor/receptor de acceso universal
UTC	Universal Time Coordinated	Tiempo Universal Coordinado
VCCS	Voice Communication Control System	Sistema conmutado de comunicaciones de voz
VDOP	Vertical Dilution Of Precision	Disolución vertical de precisión
VHF	Very High Frequency	Muy alta frecuencia
VLAN	Virtual Local Area Network	Red Virtual de Área Local
VOR	VHF Omni-directional Range	Radiofaro Omnidireccional en VHF
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio	Razón de voltaje de onda estacionaria
WAM	Wide Area Multilateration	Multilateración de área amplia

XNMS	eXternal Network Management System	Sistema de administración de red externa
------	------------------------------------	--

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La Dirección General de Aviación Civil (DAC) es un organismo del Estado que controla, con el soporte de sistemas electrónicos y personal aeronáutico, todas las fases de vuelo de las aeronaves dentro del territorio ecuatoriano. En el cumplimiento de esta responsabilidad se ha detectado que aeropuertos tales como el de Loja, Quito, Cuenca, Latacunga, Ambato y los de la región oriental tiene un entorno orográfico complejo y esto podría ser un riesgo cuando se realizan procedimientos de aterrizaje de aeronaves debido a la precisión requerida para las fases críticas de despegue y aterrizaje, razón por la cual la DAC se encuentra buscando alternativas tecnológicas que puedan incrementar la cantidad y calidad de la información para las actividades de control de tráfico aéreo y, consecuentemente, contribuyan a disminuir el riesgo de colisión de aeronaves en el terreno en los sitios mencionados. Si se cuenta con la tecnología adecuada que proporcione la información operativa requerida, se contribuirá positivamente a la seguridad operacional para la aeronáutica nacional

#### **1.1.1 Presentación del Proyecto**

La seguridad operacional en la aeronavegación civil es un principio fundamental de las entidades gubernamentales o privadas destinadas al control y gestión de los vuelos que se realizan a nivel local, regional, nacional e internacional. El uso de diferentes tecnologías nos permiten disponer de herramientas para el control y, consecuentemente, la seguridad mencionada, por lo que se han desarrollado diferentes sistemas y parte de estos son las denominadas “radio ayudas”.

Como parte de estos sistemas de radio ayudas, y comúnmente utilizados, se tiene los denominados Radar Primario de Vigilancia y Radar Secundario de Vigilancia, los cuales se

encargan de recoger, mediante técnicas propias, los datos radar que son las posiciones de las aeronaves en un plano horizontal, que una vez procesados de manera adecuada permiten disponer de una presentación visual del espacio aéreo que incluyen los eventos propios de los vuelos de las aeronaves (objetivo o blanco de los radares); sin embargo y a pesar de que una detección para la presentación de los aviones es suficiente y segura, dependiendo de la topografía de los lugares en los que se hallan instalados estos sistemas, puede darse el caso de la presencia de zonas en las que la detección de aeronaves no será satisfactoria hasta zonas en las que se pierden las aeronaves, considerando que un radar tiene un alcance sólo en su “línea de vista” y transmite desde un solo punto de antena.

Para superar estos inconvenientes, se debe instalar equipos y/o sistemas complementarios, lo cual implica un aumento de los costos de inversión por el incremento de radares que de por si son sistemas muy complejos y costosos.

Varias empresas dedicadas a la investigación y desarrollo de sistemas electrónicos de radio ayudas, están demostrando las bondades que ofrece una nueva tecnología de vigilancia para la aeronavegación basados en múltiples sensores de radiofrecuencia dispuestos geométricamente en zonas aledañas a los aeropuertos denominada Multilateración, ofreciendo una eficiencia de hasta el 99.999% en la detección de blancos en lugares que antes eran difíciles de ser detectados para presentación en pantalla.

En la actualidad, la DAC viene utilizando como parte del Servicio de Vigilancia Radar sistemas que se hallan operando en diferentes localidades y que, dependiendo de la topografía de la instalación presentan zonas en las que se pierde la detección de las aeronaves. Estos sitios se denominan zonas ciegas.

En virtud del problema que se presenta, con el afán de mejorar sus sistemas electrónicos para el control de tránsito aéreo y, consecuentemente mejorar la guía en el vuelo de aeronaves, se estima muy conveniente efectuar un análisis de la factibilidad de implementación de nuevas alternativas tecnológicas y complementarias a los actuales sistemas de radar que operan en los aeropuertos de Quito o Guayaquil.

Si el resultado de aplicar nuevas tecnologías es positivo, la aeronavegación en el Ecuador será la principal beneficiaria de la implementación de estas técnicas, lo que contribuirá a incrementar la seguridad operacional de los vuelos.

Entre las nuevas tecnologías disponibles en el ámbito aeronáutico está la Multilateración, cuyo principio de funcionamiento es la medición de distancias respecto a un punto cuya posición no se conoce, esto es, se utiliza el tiempo de viaje de las señales electromagnéticas con transmisores y receptores de radio para determinar la distancia entre estos equipos de radio, y en base a la triangulación se determina la posición desconocida del punto de interés.

### **1.1.2 Alcance**

El proyecto se circunscribirá a realizar una investigación sobre la operación del sistema actual de aeronavegación de la DAC basada en la operación de radares que está ubicada en la estación de control de tráfico aéreo Quito Monjas Sur (QMS) y se presentará un diseño con una solución complementaria al sistema actual basado en el principio de Multilateración para disponer de los datos de posición de las aeronaves en el entorno espacial del nuevo aeropuerto de Quito, como ayuda al Control de Tránsito Aéreo.

En este trabajo se establecerá las zonas de cobertura del sistema utilizando cartas topográficas, sobre las cuales se indicarán el entorno de aeronavegación y los puntos en los cuales se ubicarán los sensores del sistema. También se realizará una estimación de costos referenciales para una futura implementación de este sistema.

### **1.1.3 Objetivos**

#### General

- Realizar el estudio y el diseño de un sistema de Multilateración para vigilancia de la Zona de Tráfico Aéreo del nuevo aeropuerto de Quito.

#### Específicos

- Describir los sistemas electrónicos para ayudas de aeronavegación utilizadas actualmente en la estación de control de tráfico aéreo de la ciudad de Quito.
- Investigar los sistemas de aeronavegación basados en el principio de Multilateración.
- Analizar el funcionamiento y la arquitectura del sistema de Multilateración.

- 
- 
- Realizar un estudio de campo para determinar la ubicación de los componentes del sistema de Multilateración.
  - Determinar la cobertura del nuevo sistema.
  - Determinar las especificaciones técnicas de los elementos sensores, de los elementos ubicados en la estación de control y en los equipos de a bordo en las aeronaves.
  - Realizar una estimación económica referencial para la futura implementación del sistema.

## **CAPITULO II**

### **SISTEMA DE MULTILATERACIÓN**

#### **2.1 GENERALIDADES**

##### **2.1.1 Introducción**

El tráfico aéreo mundial está aumentando a un ritmo exponencial. En la próxima década, la cantidad de pasajeros que desde ahora llenan los cielos, se duplicarán. Más pasajeros significan más aviones. El transporte aéreo, sin embargo, ya está plagado de retrasos.

Proveedores de servicios de navegación (ANSPs) son responsables no del paso seguro de la creciente red de tráfico aéreo, pero también de la eficacia. ANSPs han llegado a la innegable deducción que el radar (Radio Detection And Ranging- Detección por radio y distanciamiento) sólo no es suficiente para la creciente demanda.

En un esfuerzo por aumentar la eficiencia, racionalizar las operaciones, reducir al mínimo los costos de las infraestructuras y, sobre todo, mejorar la seguridad, muchos ANSPs se alejan de los radares tradicionales, mirando hacia una tecnología diferente: Multilateración.

##### **2.1.2 Reseña Histórica**

Muchos países más han decidido adquirir esta nueva tecnología ya que las estadísticas son alarmantes, además de que la saturación alista de incidentes y accidentes obligó a la Agencia Federal de Aviación (FAA) a tomar una serie de acciones agresivas para mitigar esta tendencia.

- Los incidentes en pista en los aeropuertos de USA se incrementaron en un 75% en el intervalo de tiempo comprendido entre los años 1993 a 1999.
- La causa de esta problemática se debió a los factores siguientes:
  - Aumento del tráfico aéreo.
  - Complejidad de los aeropuertos.
  - Mayor número de operaciones realizadas con visibilidad reducida.
  - Incremento de técnicas y procedimientos para satisfacer la demanda.

#### INCURSIONES EN PISTA

- Una vez cada 2 días
- Un serio incidente cada 2 semanas.

#### FACTORES CASUALES

- Pilotos 51%
- Conductores 29%
- Controladores 20%

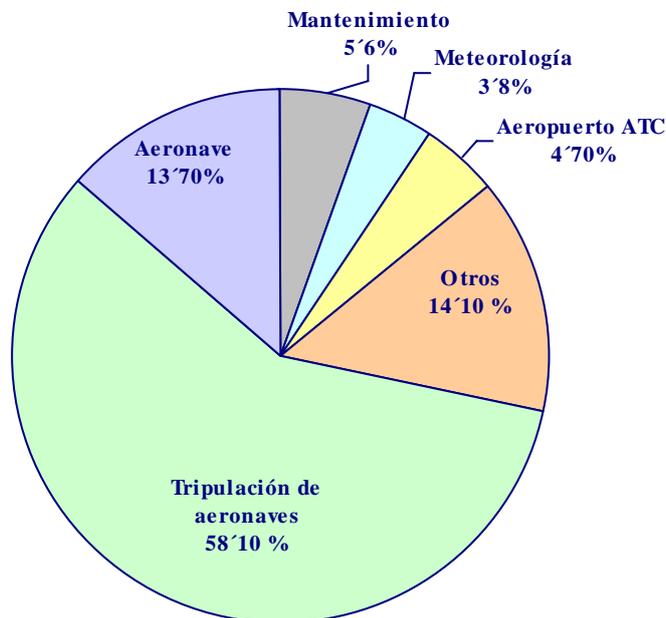


Figura. 2. 1. Principales causas de accidentes

---

---

## 2.2 CONCEPTOS GENERALES

### 2.2.1 Detección por Radio y distanciamiento (RADAR<sup>1</sup>)

Es un sistema que utiliza las ondas de radio para detectar la existencia de un objeto en el espacio y determinar su posición, distancia y altitud con relación a un punto conocido, que generalmente es la estación radar.

La localización exige la determinación de la distancia y dirección en que está situado el objeto, respecto de la posición del Radar; requiere en general las medidas de las tres coordenadas de situación, normalmente en forma de coordenadas esféricas (distancia y ángulos azimutal y cenital).

#### 1. *Radar Primario de Vigilancia (PSR<sup>2</sup>)*

El sistema de radar primario consiste de un transmisor de gran potencia y un receptor. El haz de radar desde el transmisor se refleja en un avión (o cualquier otro objeto en el camino del haz) y la recepción de una señal reflejada permite la posición (que consiste en rango y azimut) que se desea medir.

Debido a algunas de las principales desventajas de este sistema (de alta potencia y, por tanto, caro, la falta de identificación de la aeronave y la información de altitud), ha sido complementado por el radar secundario de vigilancia (SSR<sup>3</sup>).

---

<sup>1</sup> Radio Detection And Ranging

<sup>2</sup> Primary Surveillance Radar

<sup>3</sup> Secondary Surveillance Radar

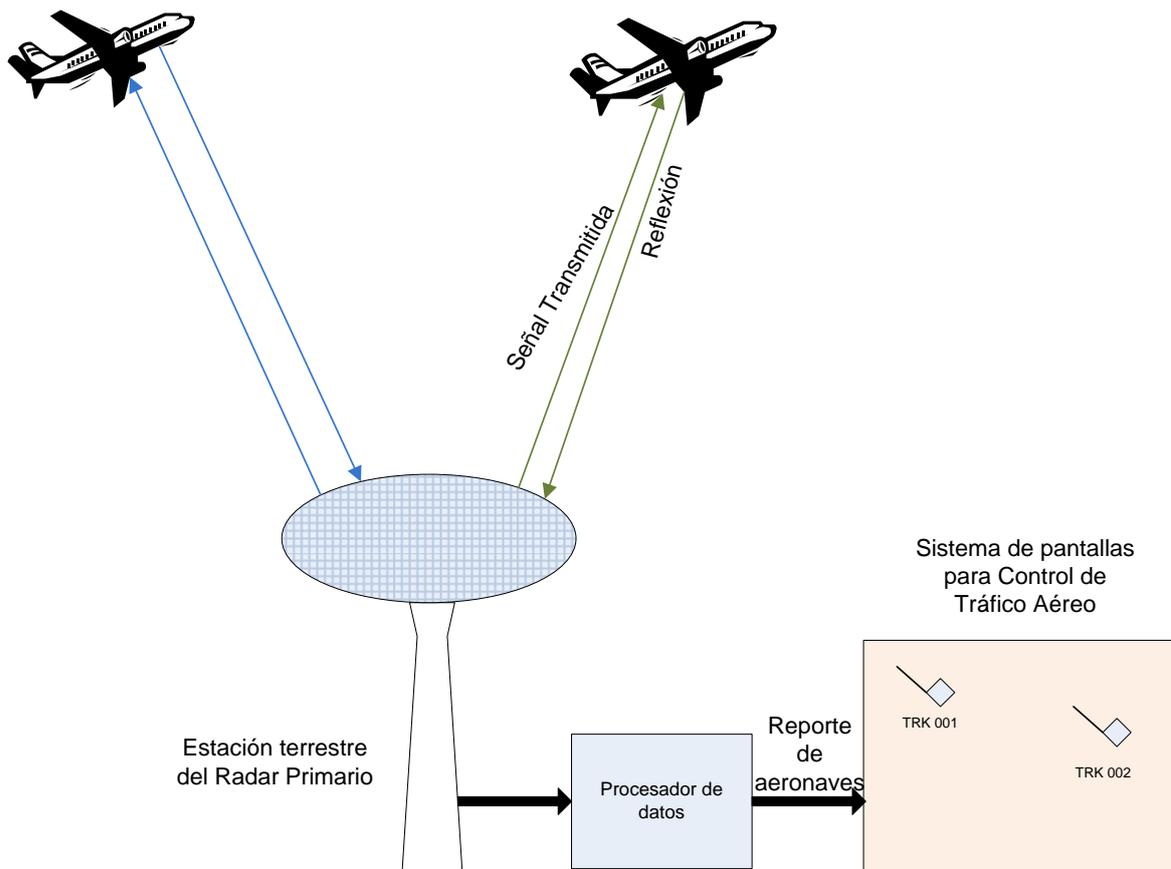


Figura. 2. 2. Radar Primario

La siguiente figura muestra el principio de operación de un radar primario.

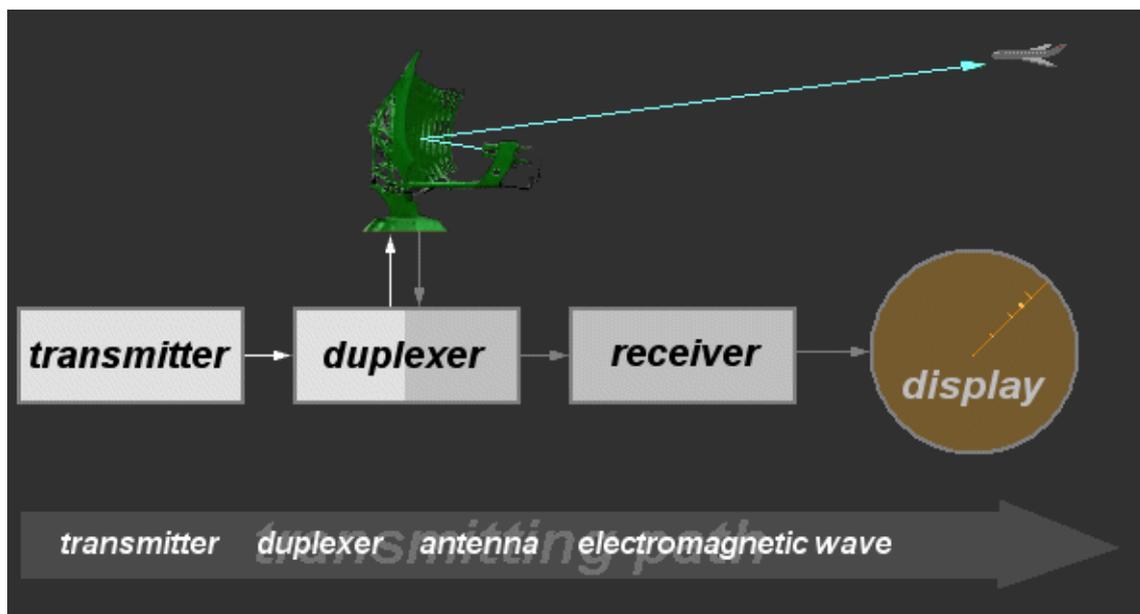


Figura. 2. 3. Transmisión

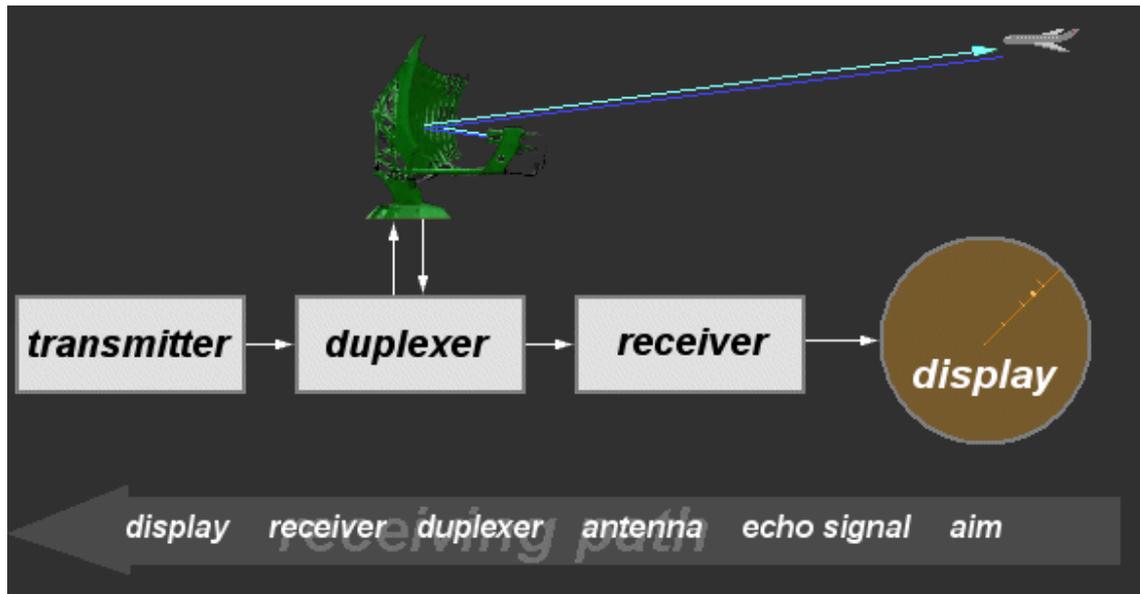


Figura. 2. 4. Recepción

La energía emitida por la antena del radar impacta en el blanco con una señal de microonda, la cual es entonces reflejada y recogida por un dispositivo receptor. La señal eléctrica recogida por la antena receptora es llamada eco de retorno. La señal de radar es generada por un potente transmisor y recibida por un receptor altamente sensible.

Todos los blancos producen una reflexión esparcida; esto es reflejada en un gran número de direcciones. La señal reflejada es también llamada dispersión.

Las señales de radar pueden ser mostradas en un indicador plano de posición (PPI<sup>4</sup>) tradicional o en otros más avanzados sistemas de pantalla de radar. Un PPI tiene un vector de rotación con el radar en el origen, el cual indica la dirección que apunta la antena y por tanto la ubicación del blanco.

El sistema PSR<sup>5</sup> da una información incompleta de las señales que aparecen en la pantalla, en consecuencia es el controlador quien debe deducir el significado de dichas señales.

Los ecos no deseados (*clutter*) como los originados por blancos estacionarios, son eliminados por un sistema indicador de blancos móviles (MTI<sup>6</sup>).

<sup>4</sup> Plan Position Indicator

<sup>5</sup> Primary Surveillance Radar

<sup>6</sup> Moving Target Indicator

Como su nombre lo indica, el MTI proporciona información sólo sobre los blancos móviles, no solamente de las aeronaves sino también a otros blancos en movimiento, pero suprimirá las señales de todos los objetos estáticos.

La cancelación de blancos fijos se hace en función de la fase de la radiofrecuencia reflejada.

Siendo las gotas de lluvia objetos en movimiento, éstas serán presentadas como ruido, para eliminar esta presentación muchas veces no deseada se utiliza la facilidad conocida como *polarización circular* la misma que aprovechando las características de esfericidad de los cuerpos rechaza todo cuerpo esférico en movimiento.

#### *Determinación de distancia*

La distancia es determinada a partir del tiempo de inicio de operación de la señal de alta frecuencia transmitida y la propagación  $C_o$ . El rango actual de un blanco desde el radar es conocido como rango inclinado. El rango inclinado es la distancia de la línea de vista entre el radar y el objeto detectado. Mientras el rango de tierra es la distancia horizontal entre el emisor y su blanco y su cálculo requiere el conocimiento de la elevación del blanco. Debido a que las ondas viajan hacia el blanco y regresan, el tiempo de viaje de ida y vuelta es dividido para 2 para obtener el tiempo en que la onda tardó en alcanzar el objetivo. Por tanto se define la siguiente ecuación:

$$R = \frac{C_o * t}{2}$$

$C_o$ = velocidad de la luz =  $3*10^8$  m/s

t= tiempo medido (s)

R= rango inclinado

Las distancias están expresadas en kilómetros o millas náuticas (1NM=1.8km)

#### *Determinación de la dirección*

La determinación angular del blanco es determinado por la directividad de la antena. Directividad, algunas veces conocida como ganancia directiva, es la capacidad de la antena

para concentrar la energía transmitida en una dirección en particular. Una antena con una alta directividad es también llamada una antena direccional. Por la medida de la dirección a la cual la antena está apuntando cuando el eco es recibido, ambos el azimut y el ángulo de elevación desde el radar hacia el objeto o blanco puede ser determinado. La precisión de la medida angular es determinada por la directividad, la cual es una función de la medida de la antena.

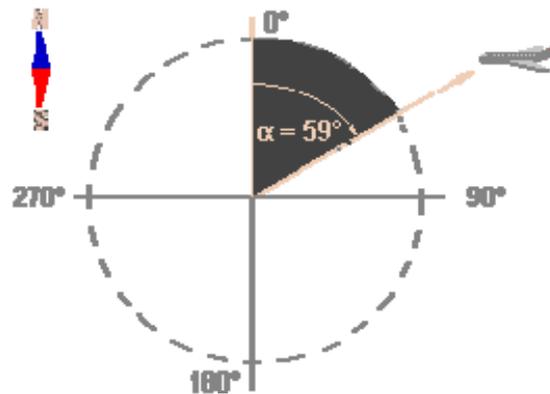


Figura. 2. 5. Determinación de dirección

La verdadera ubicación (con referencia al verdadero norte) de un blanco del radar es el ángulo entre el norte geográfico y una línea apuntando directamente al blanco. Este ángulo es medido en el plano horizontal y en la dirección de las agujas del reloj desde el norte geográfico.

Las antenas de la mayoría de sistemas de radar están diseñadas para irradiar energía en un lóbulo direccional o haz que puede ser movido simplemente con el movimiento de la antena. Como se puede ver en la figura, la figura del haz en el cual la señal del eco varía en amplitud en cuanto el haz de la antena se mueve sobre los blancos.

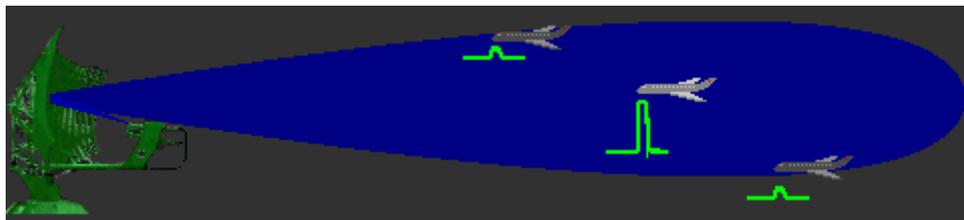


Figura. 2. 6. Variación de la fuerza del eco

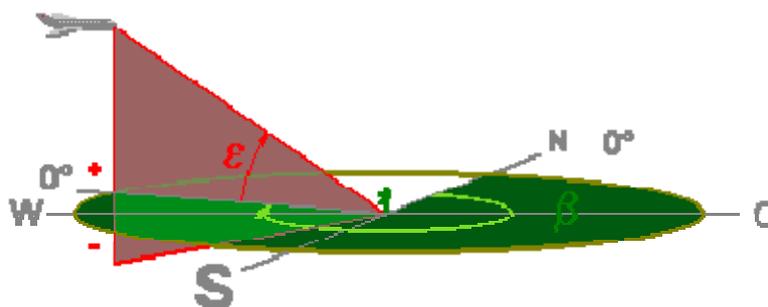
Con el fin de tener la determinación exacta del ángulo del haz, la determinación de la dirección del norte es necesaria. Los radares modernos toman esta tarea con ayuda de satélites GPS<sup>7</sup> para determinar en forma independiente la dirección del norte.

### *Angulo de Elevación*

Altitud.- o altura que los radares alcanzan usan un haz muy estrecho en el plano vertical.

El ángulo de elevación es el formado entre el plano horizontal y la línea de vista, medida en el plano vertical.

La letra griega Epsilon ( $\epsilon$ ) describe el ángulo de elevación. El ángulo de elevación es positivo sobre el horizonte (ángulo de elevación  $0^\circ$ ), pero negativo debajo del horizonte.



**Figura. 2. 7. Definición del ángulo de elevación**

### *Potencia de transmisión*

Normalmente, la cantidad de potencia que puede ser generada por un transmisor disminuye a medida que disminuye la longitud de onda.

### *Dimensiones de la antena*

Depende de los requisitos operacionales del radar; si es un radar de precisión requerirá un haz estrecho para ubicar aeronaves, en tanto que un radar de vigilancia requerirá un haz más ancho.

Las dimensiones de la antena serán mayores, mientras mayor sea la longitud de onda, para un ancho de haz determinado.

---

<sup>7</sup> Global Positioning System

Los sistemas de radar de vigilancia para el control de tráfico aéreo emplean un diagrama de radiación vertical con una línea casi recta en su parte superior, para observar todas las aeronaves, en cualquier distancia, hasta la misma altura.

#### *Impactos por giro (Hits per Scan)*

Mientras más rápido gire la antena, habrá más posibilidades de que se produzcan vacíos en donde no habrá energía irradiada; estos vacíos pueden disminuirse aumentando el número de pulsos radiados por segundo; pero el máximo valor de la frecuencia con que se repite el pulso (PRF<sup>8</sup>) está limitado por otras consideraciones.

Además de la razón a la que gira la antena y el PRF, del sistema, el número de veces que un objeto es golpeado por el rayo, depende también del ancho del rayo del sistema.

Mientras más ancho es el rayo, mayor tiempo permanecerá el objetivo dentro del rayo, por lo tanto recibirá mayor cantidad de impactos.

Desde el punto de vista estrictamente teórico, se podría pensar que solo un impacto por objeto sería suficiente para permitir la detección; sin embargo, debido a consideraciones prácticas se hace necesario que varios impactos por revolución sean recibidos desde un objeto dado, con el objetivo de asegurar una detección consistente.

El mínimo número de impactos requerido dependerá del radar usado en particular. La pantalla “memoriza” cada impacto, los impactos sucesivos son más o menos sumados al eco inicial.

El valor máximo de PRF que puede usarse, se determina por los requisitos de longitud del barrido del indicador.

El número de impactos por giro podría aumentarse, aumentando el ancho del rayo irradiado del sistema. Esto tiene dos desventajas:

- La ganancia de la antena se vería reducida lo cual disminuiría la capacidad de máximo rango del sistema.

---

<sup>8</sup> Pulse Recurrency Frecuency

- Las resoluciones de azimut del sistema sufren con los aumentos del ancho del rayo

Por esto una vez que el ancho del rayo de la antena y el PRF se han establecido para un sistema dado, el único método restante para aumentar los impactos por giro es reducir la velocidad de rotación de la antena.

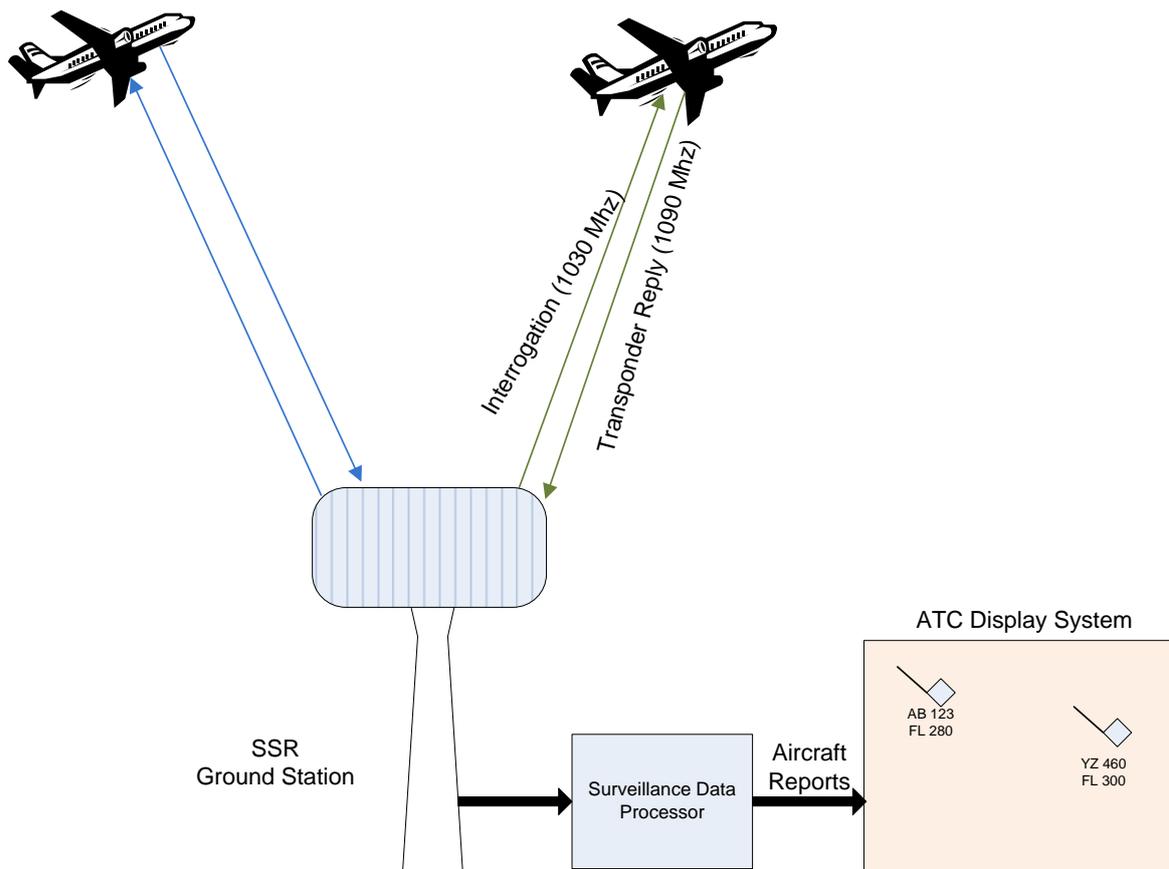
Para obtener una discriminación en azimut, se requiere de un haz muy estrecho y el reflector debe ser ancho y no muy alto. Para obtener un haz delgado en el plano vertical, el reflector debe ser alto, pero no muy ancho.

## 2. *Radar Secundario de Vigilancia (SSR)<sup>9</sup>*

El sistema de radar secundario de vigilancia (SSR) es el complemento del sistema de PSR y fue diseñado para ser una mejora en términos de costos, fiabilidad y rendimiento. Se trata de un componente de tierra (el radar) y un componente en el aire (transpondedor) a bordo de una aeronave.

---

<sup>9</sup> Secondary Surveillance Radar



**Figura. 2. 8. Radar Secundario**

Este sistema de radar usa transmisores/receptores terrestres (interrogadores/receptores) y transmisores/respondedores (transpondedor) a bordo de las aeronaves, conforme a la especificaciones desarrolladas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

El prototipo de los sistemas de radar secundario se desarrolló en los comienzos de la Segunda Guerra Mundial, con el fin de identificar los ecos de aeronaves como amigos o enemigos. Este sistema usaba un equipo en tierra para transmitir una señal de interrogación a la aeronave y un receptor/transmisor en la aeronave para transmitir una respuesta a la estación de tierra. La señal interrogadora era recibida por el receptor de la aeronave y decodificada. Si el receptor/transmisor en la aeronave estaba programado para responder a esta señal de pregunta, la parte transmisora del equipo enviaba una señal a la estación terrestre. Esta señal era procesada por el equipo terrestre y presentada en una pantalla radar. Si la respuesta era satisfactoria, se asumía que la aeronave era amiga. Este equipo se

llamo IFF (*Identify Friend or Foe*) y fue una contribución valiosa para el desarrollo progresivo del sistema Radar Secundario de Vigilancia (SSR<sup>10</sup>).

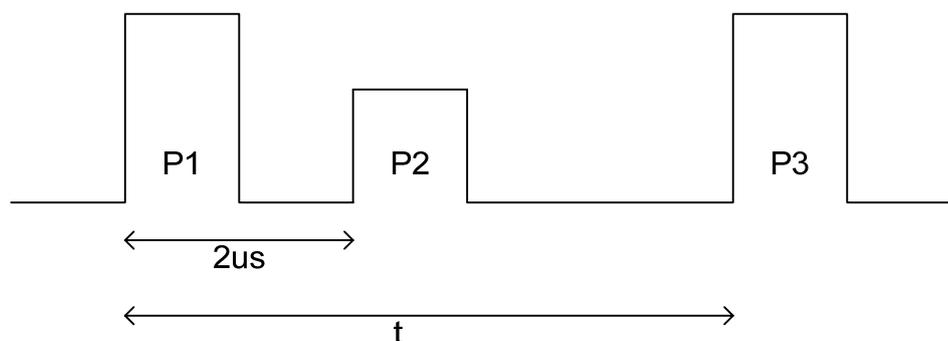
Sólo hay pérdidas de energía en un solo camino, cuando se usa el radar secundario ya que su operación no es dependiente de la energía reflejada. Por esto para una potencia de salida dada, el radar secundario tendría una mayor capacidad de rango que un radar de pulsos primario.

El radar secundario es un radar de pulsos y esencialmente un equipo auxiliar. Su función básica es complementar la información recibida vía radar primario.

Este sistema requiere de la participación activa de las aeronaves, es decir, se necesita de un transmisor y un receptor, tanto en el avión (transpondedor) como en tierra (interrogador/receptor).

La señal de interrogación se transmite en la frecuencia 1030 MHz y la señal de respuesta es recibida en 1090 MHz. Cada señal de interrogación está conformada por tres pulsos conocidos como P1, P2 y P3, en donde: P1 es el pulso de referencia, P2 es el pulso de control y P3 es el pulso de interrogación.

La separación de los dos primeros pulsos es de 2  $\mu$ s y la separación entre el primero y el tercero (t) identifica el modo de interrogación. El modo de interrogación indica como se lleva a cabo la transmisión de datos entre el SSR y el transpondedor y en consecuencia, qué tipo de información se envía.



**Figura. 2. 9. Pulsos Radar Secundario**

<sup>10</sup> Secondary Surveillance Radar

Como parte del mensaje del transpondedor, la aeronave envía la información de identificación (código de Modo A) o información de altitud por presión (código en Modo C), dependiendo de los bits codificados en la señal de radar.

MODO A/C: los transpondedores dan datos de identificación (código de Modo A) y altitud (Modo C). Por tanto, además de ser capaz de medir el alcance y orientación del avión, el Modo A/C también es capaz de solicitar al avión que proporcione su identificación y altitud.

MODO S: es una mejora del Modo A/C. Contiene todas las funciones del Modo A/C, y también permite seleccionar direccionamiento del blanco mediante el uso de las direcciones de 24 bits de la aeronave, y dos formas de enlace de datos entre la estación terrestre y la aeronave para el intercambio de información. Le da al transpondedor la capacidad de informar los datos de altitud.

La siguiente tabla muestra los modos existentes:

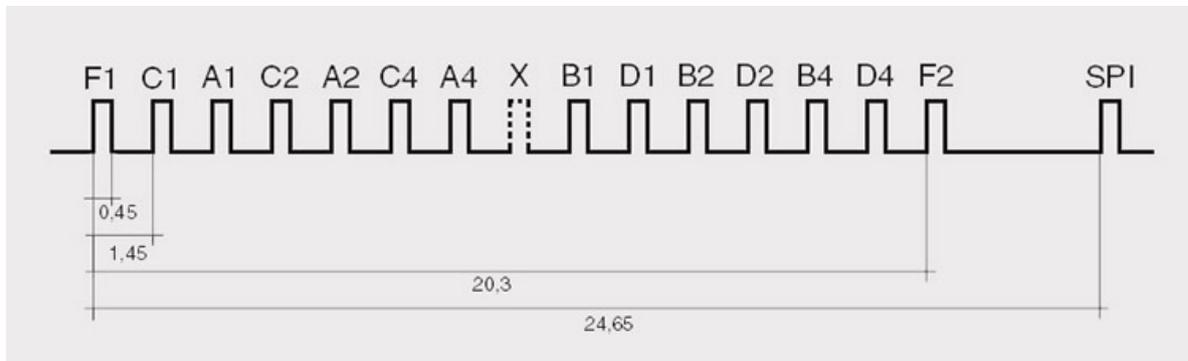
**Tabla. 2. 1. Modos de Interrogación**

<b>Modo</b>	<b>t</b>	<b>Aplicación</b>
<b>1</b>	3 $\mu$ s	identificación militar
<b>2</b>	5 $\mu$ s	identificación militar
<b>3 / A</b>	8 $\pm$ 2 $\mu$ s	identificación militar / civil
<b>B</b>	17 $\pm$ 2 $\mu$ s	reservado para futura utilización
<b>C</b>	21 $\pm$ 2 $\mu$ s	añade información de altura
<b>D</b>	25 $\pm$ 2 $\mu$ s	reservado para futura utilización
<b>S</b>	16,25 o 30,25 $\pm$ 2 $\mu$ s	añade información codificada

El segundo pulso es utilizado por el transpondedor para reconocer la señal principal del SSR y no responder (SLS, *side lobe supression*) a las señales colaterales que se producen en la cercanía de la antena, ya que eso ocasionaría ecos erróneos en el radar.

El radar secundario permite la utilización de 4096 códigos en sistema de numeración octal.

A continuación se tiene ejemplos de la respuesta de un transpondedor en modo 3/A. Dicha respuesta se compone de 16 posibles pulsos. La duración de cada pulso es de 0,45  $\mu$ s y la separación entre ellos es de 1,45  $\mu$ s, excepto la separación de la última posición que es de 4,35  $\mu$ s respecto su precedente.



**Figura. 2. 10.** Los pulsos F1 y F2 acotan la señal (frame pulses). Las claves del transpondedor corresponden a los pulsos ordenados según: A4 A2 A1, B4 B2 B1, C4 C2 C1, D4 D2 D1.

**Tabla. 2. 2.** Ejemplos de códigos de interrogación (Modo 3/A)

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

El transpondedor más utilizado en aviación privada y deportiva es el compatible con Modo A y C, aunque en los aviones comerciales ya se está extendiendo el uso del Modo S,

el cual permite añadir información codificada que mejora la identificación y la información sobre la aeronave.

La asignación de claves SSR las realiza el control de tránsito aéreo de acuerdo con los acuerdos internacionales sobre navegación aérea. Ahora bien, existen unas claves con significado específico:

*7500 INTERFERENCIA ILICITA (HIJ<sup>11</sup>)* Se utiliza para notificar al control de que la aeronave se encuentra en situación de interferencia ilícita (secuestro).

*7600 FALLO DE RADIO (RCF<sup>12</sup>)* Una vez que se tiene la certeza que el equipo de comunicaciones tiene falla se seleccionará esta clave para informar de tal suceso al control y se proseguirá según los procedimientos establecidos.

*7700 EMERGENCIA (SOS<sup>13</sup>)* Salvo indicación contraria del ATC, es la clave que se seleccionará en el transpondedor para indicar que la aeronave se encuentra en una situación de emergencia.

El radar secundario de vigilancia presenta en la pantalla su símbolo que identifica a este radar acompañado de una etiqueta la que consta de 3 líneas, en la primera el código asignado a la aeronave, en la segunda línea la altitud a la que se encuentra al momento junto tiene un pequeño triángulo para indicar si está en ascenso o descenso, la tercer línea nos indica la velocidad relativa de la aeronave, el tipo de máquina y la turbulencia que deja en su desplazamiento.

El código en pantalla, aparece ya que el blanco (la aeronave) emite una respuesta cuando recibe la señal (o interrogación) que ha enviado el equipo de tierra. Dicha respuesta la emite un equipo instalado en la aeronave llamado Respondedor o Transpondedor. En definitiva, el radar secundario se diferencia del primario en que recibe respuestas activas mientras que el primario simplemente el reflejo de la ráfaga emitida.

---

<sup>11</sup> High Jack

<sup>12</sup> Radio Communication Failure

<sup>13</sup> Save Our Souls

---

---

### *Radar Secundario de Vigilancia Monopulso (MSSR<sup>14</sup>).*-

Los sistemas Monopulso SSR miden la posición del azimut de un avión con la antena patrón horizontal usando técnicas de difracción. Estas técnicas mejoran la precisión y resolución del azimut. Además estos radares, normalmente tienen antenas de apertura vertical grande y por lo tanto están sujetas a menos efectos de multicamino.

### *COMPARACION ENTRE SISTEMAS*

#### *VENTAJAS*

##### *PSR*

1. La aeronave no necesita de equipo de a bordo. *El radar primario es un sistema autónomo (autosuficiente).*
2. La presentación será de blancos fijos o móviles.
3. Para la parte operativa tiene prioridad la presentación de los ecos móviles.
4. Dispone de facilidad de rechazar blancos móviles esféricos (lluvia).
5. Presenta las aeronaves dentro de los 360° dando su ubicación con referencia al norte magnético y se puede medir la distancia a la que se encuentra con anillos de rango con centro en la estación.
6. Si se presentan retornos de fenómenos climáticos las aeronaves pueden ser dirigidas para evitar las zonas de mal tiempo.
7. Si se presentan ecos permanentes conocidos, éstos permiten determinar fácilmente la orientación y precisión de la posición del equipo radar.

##### *SSR*

1. *La identificación de la aeronave es directa por el código asignado, sin maniobrar la aeronave.*
2. El alcance es mayor a pesar que los equipos de tierra y de a bordo son de menor potencia.
3. *La presentación en pantalla no depende el tamaño de la aeronave.*

---

<sup>14</sup> Monopulse Secondary Surveillance Radar

4. Optimo enlace tierra aire para transmisión de información. Se dispone de información automática de altitud y otros datos útiles para ATC provenientes del equipo de a bordo.
5. Ausencia de ecos permanentes y ecos de mal tiempo en la presentación
6. Uso en transferencia de control
7. Uso en interferencia ilícita (código 7500)
8. Uso en falla de comunicaciones (código 7600)
9. Uso en emergencia (código 7700)
10. Sectorización de tráfico, por altitudes, división de áreas en la pantalla, por códigos asignados, saliendo y entrando, etc.

### *DESVENTAJAS*

#### PSR

1. Se requiere transmisores de alta potencia para asegurar que el retorno de la señal sea lo suficientemente fuerte para la recepción.
2. La fuerza de la señal que es reflejada depende de la naturaleza del blanco, su tamaño y las condiciones atmosféricas reinantes
3. Las montañas, lluvia, nubes, polvo en la atmósfera son presentados en las pantallas causando señales no deseadas (*clutter*).
4. Para asegurar la identificación de una aeronave, se requiere la realización de maniobras a solicitud.
5. No hay diferencia en el eco de diferentes aeronaves.
6. No hay diferencia entre el tráfico conocido y desconocido.
7. No posee medios para indicar positivamente que una aeronave ha experimentado: interferencia ilícita, falla de comunicaciones, o que está en emergencia.
8. Se requieren transmisores de alta potencia para radares de largo alcance.
9. Los ecos de aeronaves pueden ser oscurecidos por retornos climáticos o ecos permanentes.

#### SSR

1. *Es indispensable el equipo de a bordo.*
2. Depende del estado del equipo de a bordo.

3. La presentación en la pantalla será sólo de aeronaves que tengan activado un código.
4. Es imposible la presentación de fenómenos meteorológicos por lo que no se puede dirigir aeronaves para evitar zonas de mal tiempo.
5. No muestra ecos permanentes, por lo que necesita equipo especial para verificar orientación y precisión de posición.
6. Puede producirse desvanecimiento de la señal, ej. Ocultamiento de la antena.
7. Pueden producirse respuestas no deseadas como *Fruit*, *Garble*.

### INDICADORES RADAR

La presentación de las señales radar se realiza en indicadores planos de posición (PPI<sup>15</sup>). En el radar de Quito tenemos los PPI: CRT y LCD que son pantallas con diferentes aplicaciones, los LCD nos entregan presentación en una superficie útil de 30 pulgadas, hay CRT de 19 y 21 pulgadas que nos entregan presentación de señales radar, para aplicaciones de mantenimiento y comprobación del funcionamiento de los radares.

Un sistema radar primario da la información de distancia y ubicación del objeto, dentro de los 360° lo que es fácil observar en la pantalla.

El radar secundario nos entrega la presentación del blanco acompañado de la etiqueta con 3 líneas de información, todas ellas provenientes del equipo de a bordo.

Resolución de Rango: Es la mínima distancia a la que dos blancos, alineados en dirección radial a la antena aparecen separados en el indicador radar; con pulsos de 1 useg de ancho esta distancia es de 150 m.

Resolución de Azimut: Es la mínima separación angular a la que dos blancos, situados a la misma distancia de la antena aparecen separados en el indicador radar, en el radar *Plessey* este ángulo es de 1.5°.

---

<sup>15</sup> Plan Position Indicator

---

---

## *PROBLEMAS EN LA PRESENTACIÓN DE LAS SEÑALES RADAR*

### Efectos Atmosféricos

En la energía electromagnética influyen debido a su absorción por las moléculas de gas y vapor de agua y debido al esparcimiento de la energía por las gotas de lluvia o nieve.

### Interferencias

Debido al gran incremento en las comunicaciones, existe un gran número en las posibilidades de mutua interferencia entre diferentes estaciones.

### Adyacencia

Sistemas de radar ubicados en la misma localidad y de apreciable potencia, se interferirán mutuamente.

### Interferencias en los radares Secundarios

El radar secundario es un sistema de identificación y recepción de datos a través de la respuesta del avión al impulso del radar.

Los radares de Control de Tránsito Aéreo, tienen un tipo particular de interferencia ocasionado por el hecho de que todos los radares secundarios operan en un par común de frecuencias, una para transmisión y una para recepción.

### Lóbulos Laterales

Teóricamente, la antena de un SSR produce sólo un haz delgado en el plano azimutal, pero en la práctica, se producen también un gran número de haces más pequeños alrededor de la antena llamados lóbulos laterales. Mientras la antena gira, un respondedor ubicado a corta distancia de la antena, puede responder a un lóbulo lateral, tanto como al lóbulo principal.

En el radar secundario, la respuesta no tiene relación alguna con la amplitud de la pregunta, y los ecos debido a los lóbulos laterales aparecen con la misma amplitud que los del lóbulo principal, lo que hace difícil distinguirlos.

Para distinguir los lóbulos laterales del principal, se prevé una antena omnidireccional que radie el pulso P2 con la misma amplitud en todas las direcciones. Este impulso se radia 2 useg detrás de P1 pero desde un arreglo de antena diferente.

#### Falsos Retornos asincrónicos en tiempo (FRUIT<sup>16</sup>)

Son aquellas respuestas no sincronizadas que aparecen en la pantalla de un controlador, producidas como respuestas a interrogaciones de otros interrogadores.

#### GARBLE

Se define como la recepción de un código de respuesta por un decodificador en particular, en forma diferente a como fue originalmente transmitido.

#### Ocultamiento de la antena

La antena del respondedor se encuentra ubicada, normalmente, en la parte inferior del fuselaje. Mientras la aeronave efectúe vuelo recto y nivelado, las señales de interrogación pueden alcanzar la antena sin obstáculo, pero cuando la aeronave se encuentra virando, o en un ascenso pronunciado, un ala o el fuselaje pueden ocultar la antena del respondedor a las señales de interrogación, en este caso, el respondedor no será activado. Este fenómeno ocurre ocasionalmente, dependiendo de la altitud de vuelo de la aeronave. El ocultamiento de la antena del respondedor es de corta duración y ocurre sólo durante virajes hacia la estación o en ascensos pronunciados.

#### Bloqueo

Es una emisión perturbadora del radar, en lo que a ATC se refiere, se llama a la introducción de radiación falsa en un radar. Este bloqueo produce blancos falsos o puede producir ecos parásitos en una gran parte de la pantalla.

Existen dos tipos de bloqueo:

I) Bloqueo activo, generando energía radar.

II) Bloqueo pasivo, acción de radiación parásita.

---

<sup>16</sup> False Returns Unsynchronized In Time

### 2.2.2 Sistema de Alerta de Tráfico y precaución de Colisión (TCAS<sup>17</sup>)

El propósito de este sistema es el de mostrar la posición de los tráficos cercanos e indicar cuando existe un peligro potencial de acuerdo a estos dos criterios:

1. TCAS CAUTION (precaución)
2. TCAS ALERT (alerta)

### 2.2.3 Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS<sup>18</sup>)

Es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea por tierra, mar o aire. Estos permiten determinar las coordenadas geográficas de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas y otras actividades afines.

Un sistema de navegación basado en satélites artificiales puede proporcionar a los usuarios información sobre la posición y la hora (cuatro dimensiones) con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas.

### 2.2.4 Tiempo Universal Coordinado (UTC<sup>19</sup>)

El tiempo universal coordinado, o UTC, también conocido como *tiempo civil*, es la zona horaria de referencia respecto a la cual se calculan todas las otras zonas del mundo. Es el sucesor del Tiempo Promedio del observatorio de Greenwich (GMT<sup>20</sup>). A diferencia del GMT, el UTC no se define por el sol o las estrellas, sino que se mide por relojes atómicos.

### 2.2.5 Sistema de Posicionamiento Global (GPS<sup>21</sup>)

Permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión de centímetros, usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros.

---

<sup>17</sup> Traffic alert and Collision Avoidance System

<sup>18</sup> Global Navigation Satellite System

<sup>19</sup> Coordinated Universal Time

<sup>20</sup> Greenwich Mean Time

<sup>21</sup> Global Positioning System

---

---

El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra.

### **2.2.6 Vigilancia Dependiente Automática- por radiodifusión (ADS-B<sup>22</sup>)**

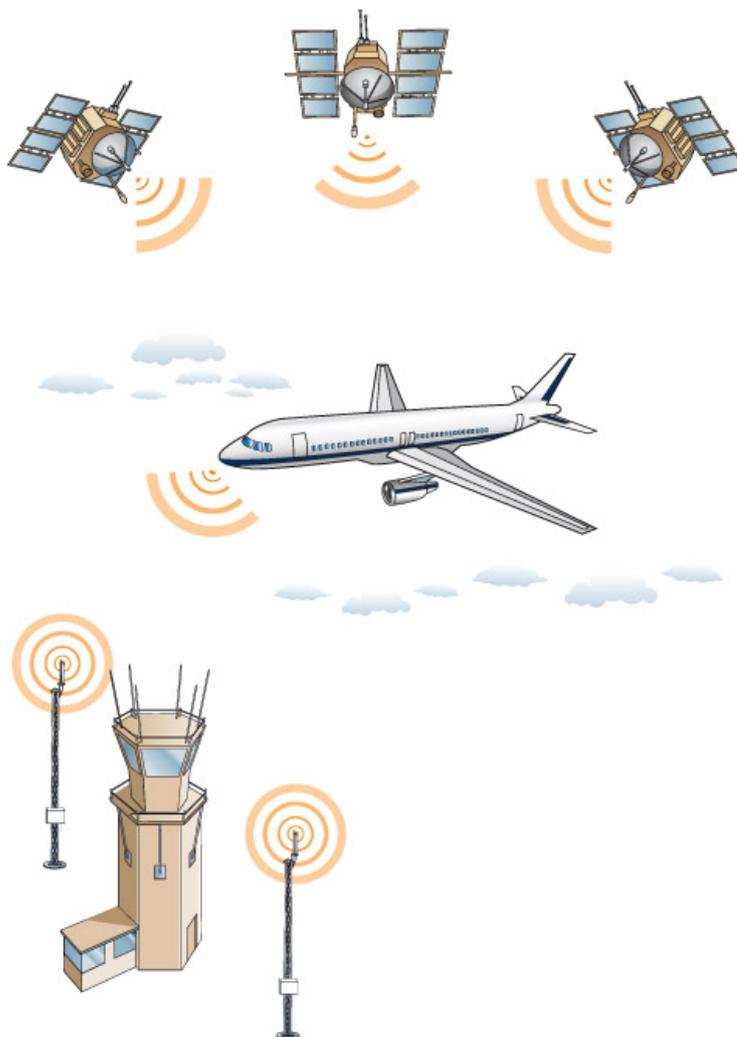
Será un elemento clave de la futura gestión de sistemas de tráfico aéreo. Sin embargo, su aplicación se espera entre los años 2020 y 2025.

A diferencia de la actual técnica de vigilancia, donde un radar con base en tierra, transmite señales de interrogación y usa las respuestas de transpondedores de aviones para determinar la ubicación, ADS-B equipado en aviones emitirá su posición GNSS una vez por segundo. La información recibida por los controladores de tránsito aéreo, y otras aeronaves ADS-B, incluyen la identificación de la aeronave, altitud, velocidad, rapidez, la proyección del camino y otra información útil.

Una de las principales razones por las que ADS-B no se aplicó plenamente durante muchos años es el alto costo de equipar los aviones con todos los elementos esenciales tanto para transmitir y recibir ADS-B. Como tal, habrá un extremadamente lento período de transición complicado por el hecho de que el ADS-B, y el radar son de tecnología muy diferente.

---

<sup>22</sup> Automatic Dependent Surveillance-Broadcast



**Figura. 2. 11. Con ADS-B, una posición del avión se detecta por GNSS y broadcast junto con otros datos, como camino, partida, y la velocidad, a las estaciones terrestres, las cuales decodifican y transmiten la información a los sistemas de automatización ATC para su visualización en las pantallas de los controladores de tránsito aéreo.**

### 2.2.7 Multilateración de Área Amplia (WAM<sup>23</sup>)

Es un nuevo atractivo para la vigilancia de control del tráfico aéreo. Una red de sensores distribuidos recibe señales del transpondedor desde un objeto de interés, y envía las señales recibidas el momento preciso con la información a un Servidor de Multilateración. Aquí la técnica de diferencia de tiempo de llegada se utiliza para calcular la posición del objetivo. En Multilateración de área amplia, las estaciones se reparten mucho más lejos, a distancias de hasta 100 km entre sí.

---

<sup>23</sup> Wide Area Multilateration

### 2.2.8 Sistemas Avanzados de Guía y Control de movimiento en la superficie (A-SMGCS<sup>24</sup>)

Es el término utilizado para describir un sistema modular constituido por diferentes funciones, cuyo objetivo es satisfacer la demanda de capacidad de los aeropuertos, mediante el movimiento ordenado, rápido y seguro de aeronaves y vehículos, con independencia de la visibilidad, densidad de tráfico o complejidad del aeropuerto.

- Las funciones que se han identificado son las siguientes:
  - Vigilancia.- Permite el seguimiento de los móviles de interés dentro del volumen de cobertura proporcionando de cada blanco su posición, velocidad y aceleración.
  - Guiado.- Proporciona una indicación clara de la ruta asignada a las aeronaves y vehículos en el área de maniobras.
  - Supervisión y control.- Mejora de la vigilancia de pistas y rodaduras detectando incursiones y posibles conflictos y en este último caso dando la resolución más idónea.
  - Enrutamiento.- Genera rutas para hacer uso de la total capacidad aeroportuaria

### 2.3 La Multilateración

También conocida como posicionamiento hiperbólico, es el proceso de localizar un objeto con precisión de cálculo de la diferencia de tiempo de llegada (TDOA) de una señal emitida desde el objeto a tres o más receptores.

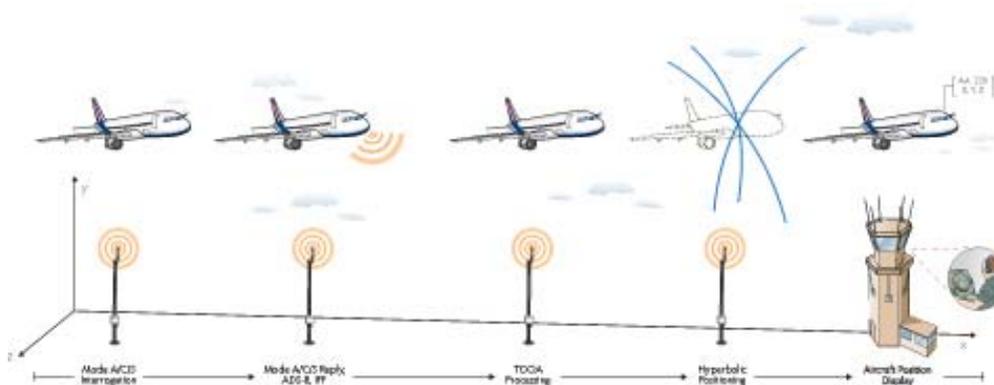


Figura. 2. 12. Localización de aeronave con receptores

<sup>24</sup> Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems

La esencia de la Multilateración es que suministra una sutil transición a la Vigilancia automática dependiente por radiodifusión (ADS-B<sup>25</sup>) mediante el uso de la misma infraestructura de tierra mientras provee beneficios anticipados mediante el mejoramiento de la Vigilancia

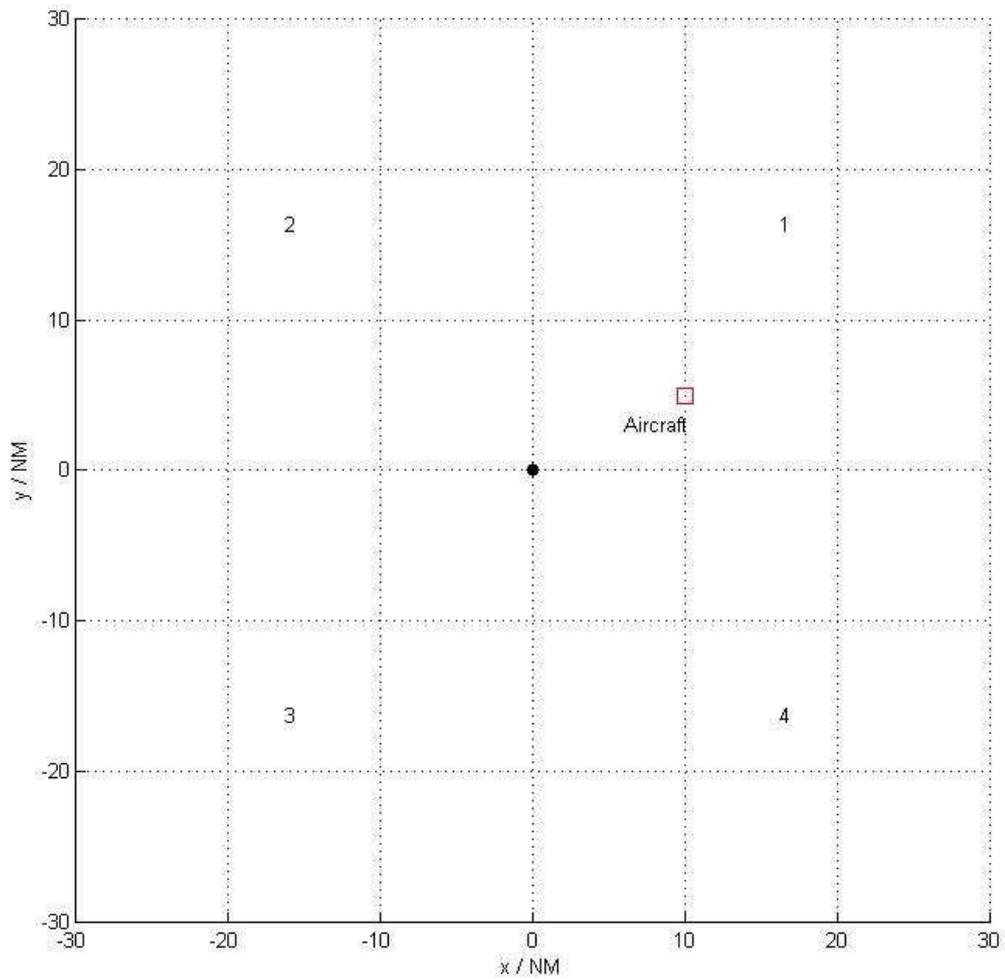
Un sistema de Multilateración consta de una serie de antenas para recepción de una señal de una aeronave y una unidad central de procesamiento para calcular la posición del avión con la diferencia de tiempo de arribo (TDOA) de la señal en las diferentes antenas.

El TDOA entre dos antenas corresponde, matemáticamente hablando, a un hiperboloide (en 3D) en donde se localiza la aeronave. Cuando cuatro antenas detectan la señal del avión, es posible estimar la posición 3D de la aeronave mediante el cálculo de la intersección de las hipérbolas resultantes.

Cuando sólo tres antenas están disponibles, una posición 3D no puede calcularse directamente; pero, si la altura del objetivo es conocido de otra fuente (por ejemplo, de modo C, o en un entorno ASMGCS) entonces la posición del objetivo puede ser calculada. Esto es usualmente referido a una solución en 2D. Conviene que se observe que el uso de altitud barométrica (Modo C) puede dar lugar a una posición menos exacta del objetivo, ya que la altura barométrica puede diferir significativamente de la altura geométrica. Con más de cuatro antenas, la información adicional puede ser usada para verificar la exactitud de otra medición o para calcular una posición media de todas las mediciones que debería tener un error pequeño. El siguiente ejemplo describe un sistema formado por WAM de 5 estaciones receptoras (los números 0 ... 4)

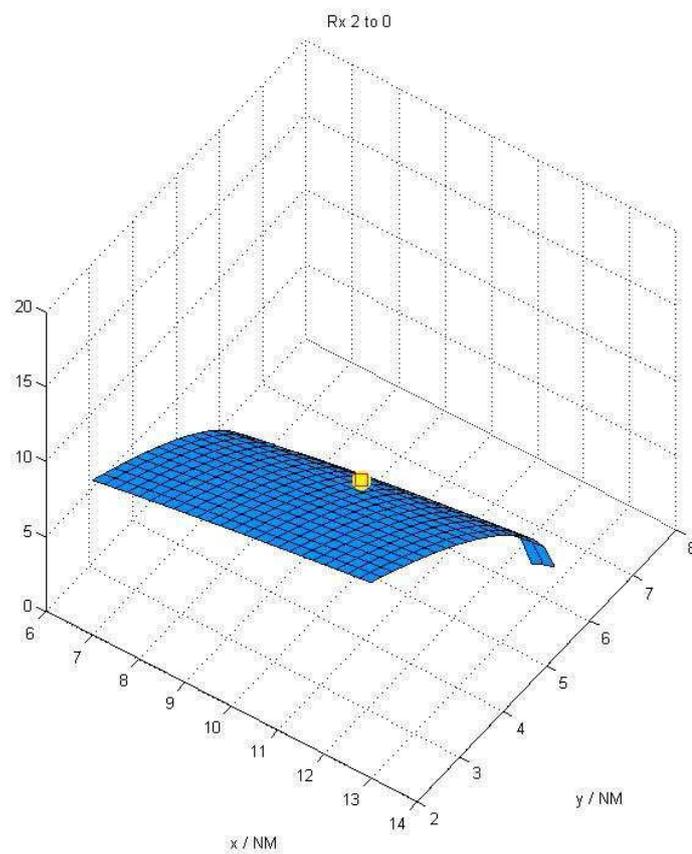
---

<sup>25</sup> Automatic Dependant Surveillance Broadcast

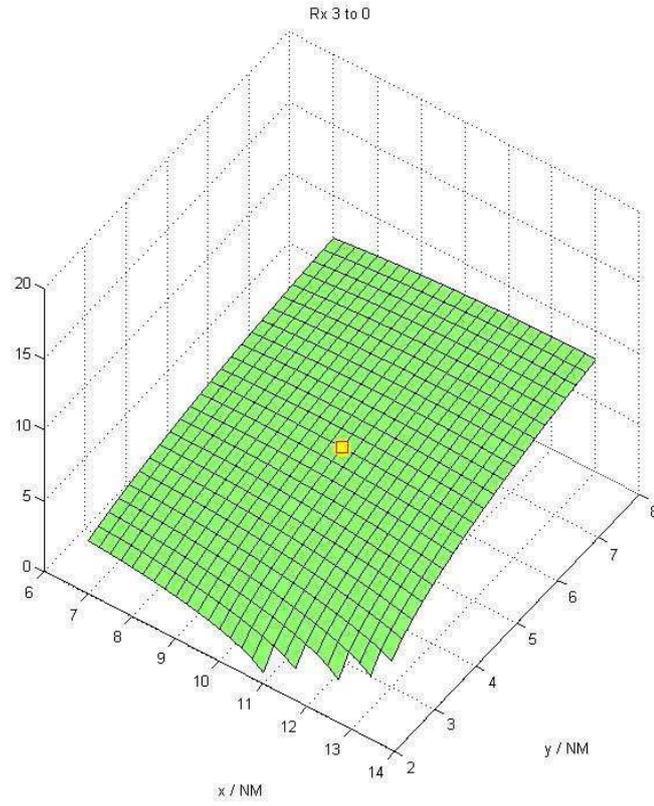


**Figura. 2. 13. Diseño con 5 estaciones receptoras**

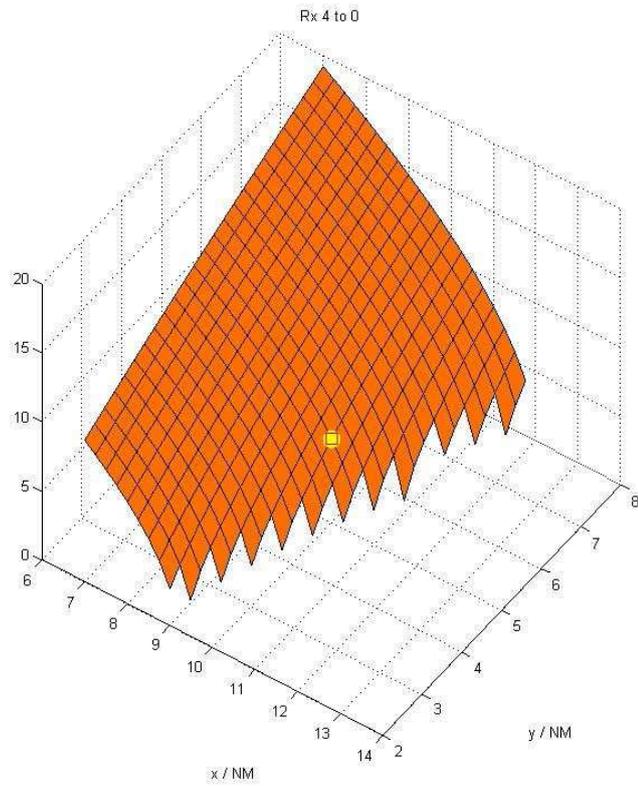
Suponiendo que la señal del avión se detecta en todos los sitios, las 3 primeras imágenes muestran los hiperboloides correspondientes a la TDOA de la señal en los lugares 0 y 2, 0 y 3, y 0 y 4, respectivamente. La estación central de procesamiento calcula la intersección de todos los hiperboloides como se muestra en la imagen final.



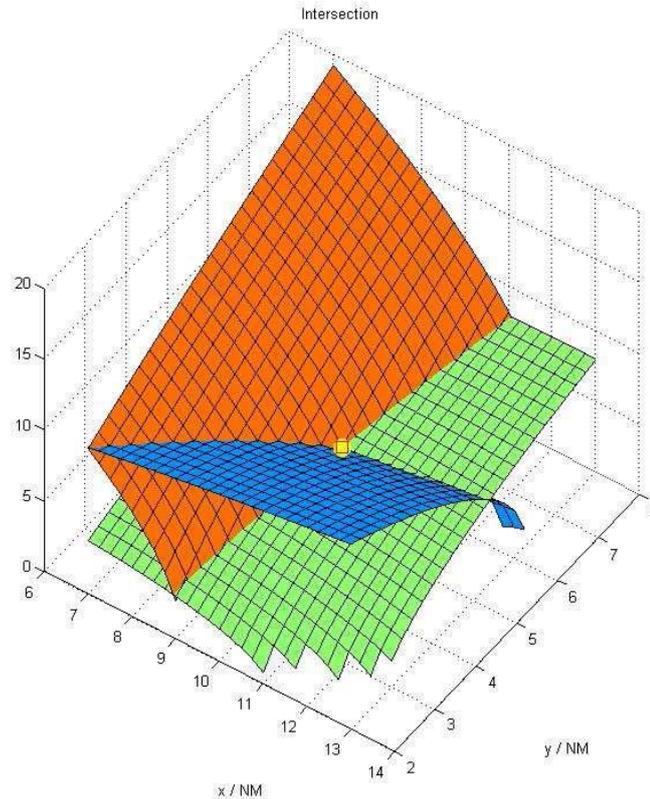
**Figura. 2. 14. Receptor 2 a 0**



**Figura. 2. 15. Receptor 3 a 0**



**Figura. 2. 16. Receptor 4 a 0**



**Figura. 2. 17. Intersección de Hiperboloides**

Puede haber más de una solución para el cálculo de Multilateración ya que los hiperboloides pueden cruzarse en dos lugares. Normalmente, la solución correcta es fácilmente identificada.

La geometría del sistema en general tiene un gran impacto en la exactitud que puede obtenerse: mientras el avión está dentro de la zona 2D de antenas terrestres, la posición calculada tendrá la máxima precisión; fuera de esta área, la precisión se degradará rápidamente.

Se puede hacer una distinción entre sistemas de Multilateración activos y pasivos: un sistema pasivo se compone sólo de los receptores, en cambio, un sistema activo tiene una o más antenas transmisoras para interrogar por ejemplo, un transpondedor del SSR de una aeronave. La principal ventaja de un sistema activo reside en el hecho de que no depende de otras fuentes para activar una transmisión de una aeronave.

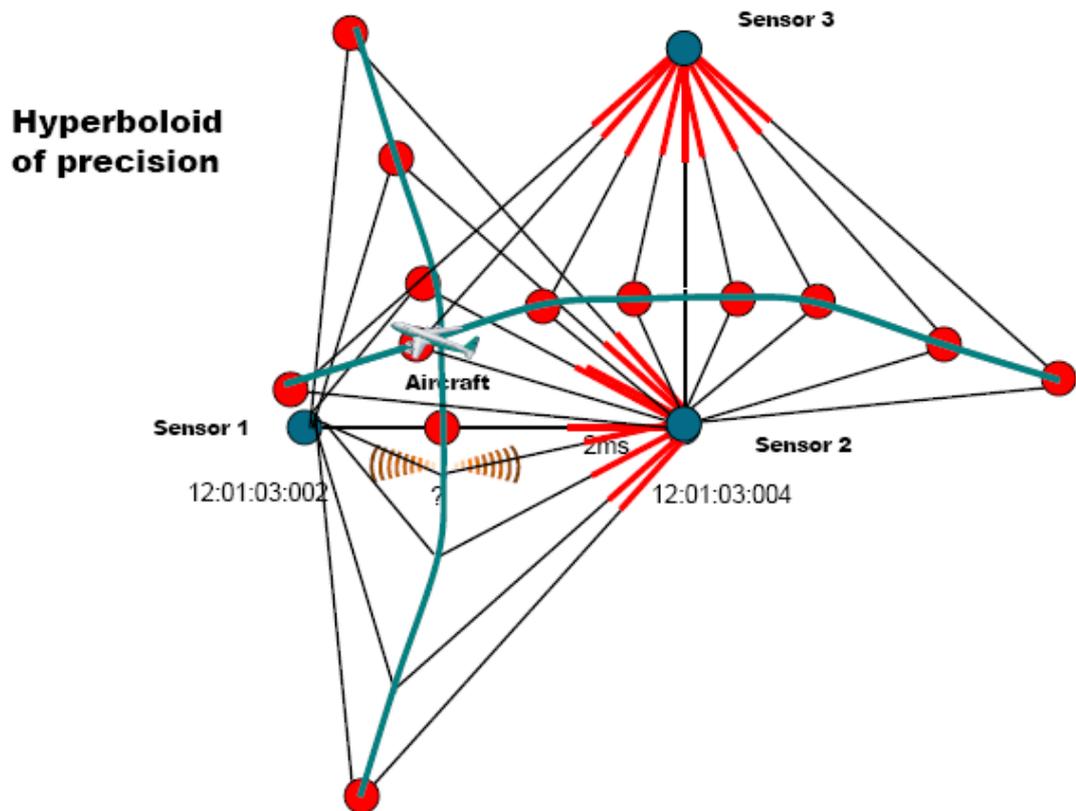


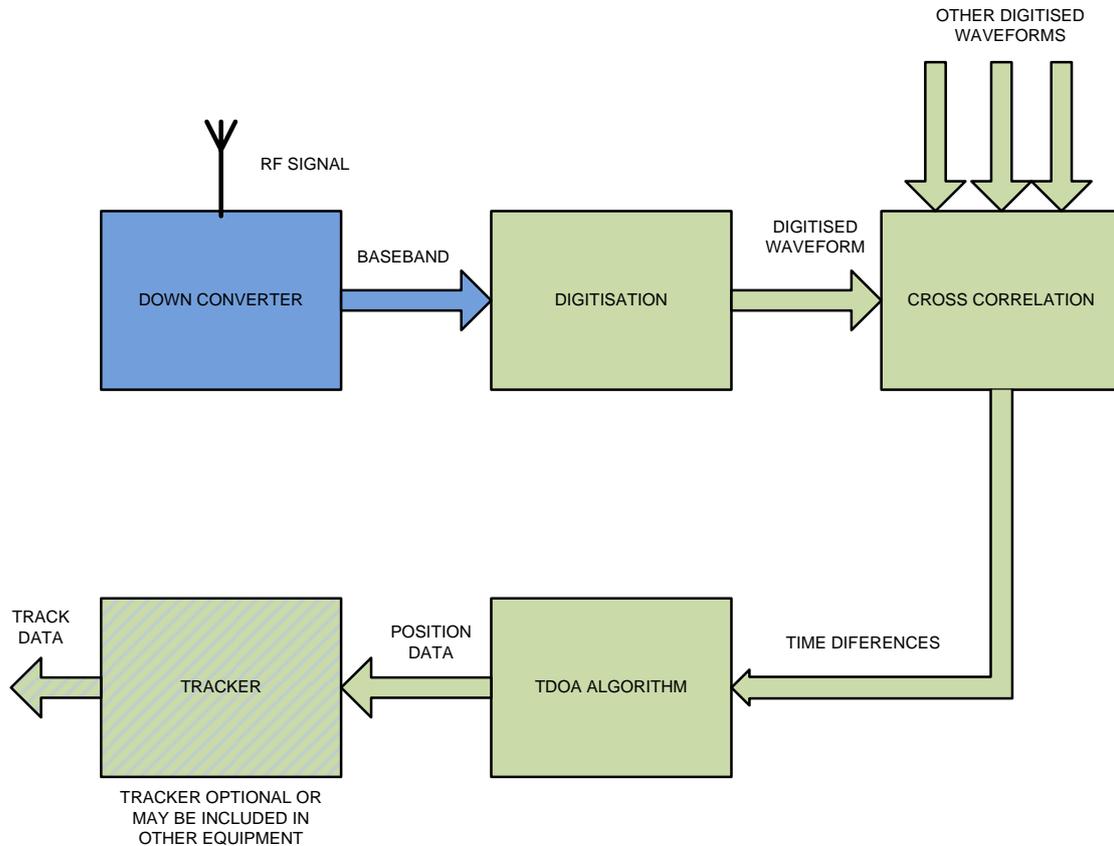
Figura. 2. 18. Hiperboloide de precisión

### 2.3.1 Técnicas aplicadas al TDOA

Existen dos métodos de cálculo del TDOA.

El método TOA es el método más común para la Multilateración SSR. Los dos métodos se describen en detalle a continuación.

### 1. Sistemas de correlación cruzada



**Figura. 2. 19. Flujo de datos para correlación cruzada**

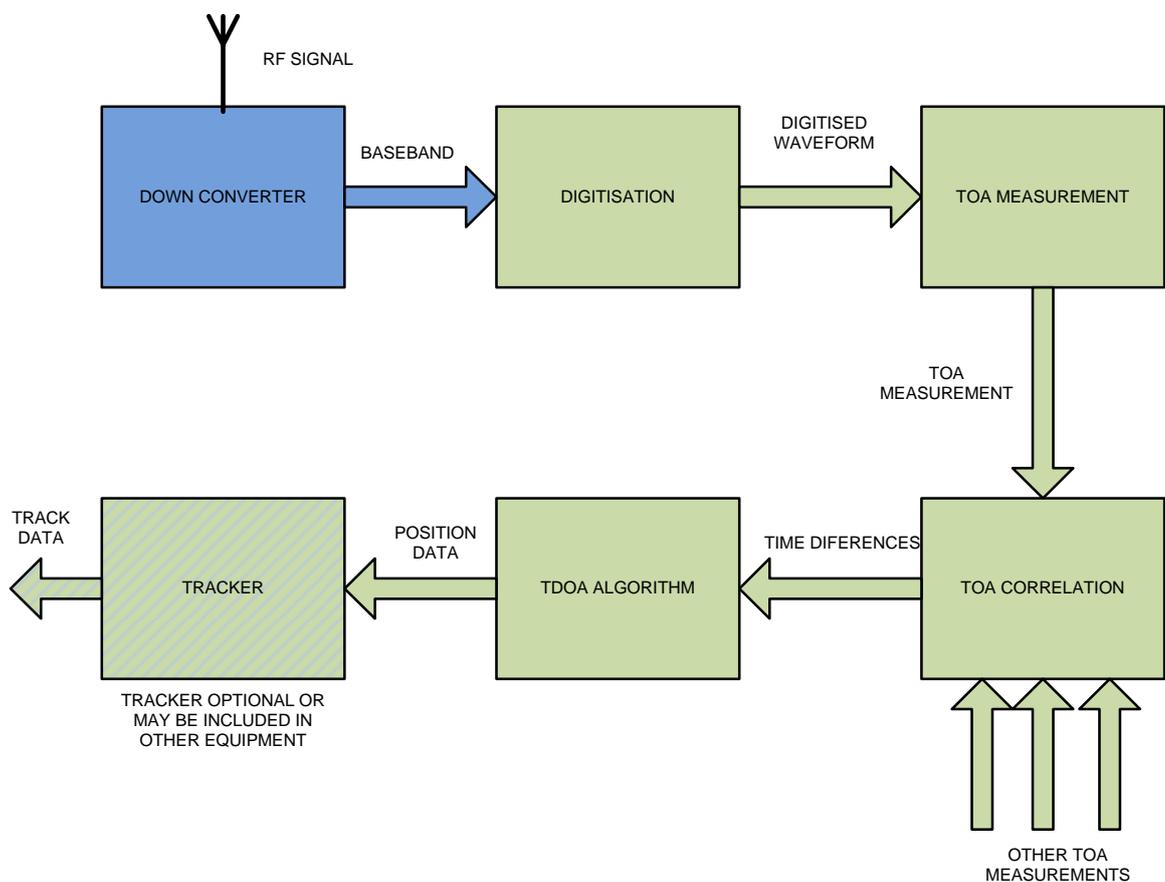
Tomando cada una de estas secciones:

- El "Down Converter" recibe la señal de 1090MHz RF y convierte a una señal banda base I / Q o señal de video para permitir la digitalización.
- El bloque "digitalización" utiliza un convertidor analógico a digital apropiado o similar para convertir la señal análoga I / Q o la señal de vídeo en una representación digital.
- Tras la digitalización, la sección de correlación cruzada realiza una serie de correlaciones cruzadas con los datos digitalizados de un par de lugares. Suponiendo que la misma señal está presente en la señal desde ambos lugares, esta operación da lugar a un valor de TDOA entre el par de sitios dados. La precisión de este proceso está influenciado por el tipo de señal digitalizada y los múltiples caminos, entre otros factores. Dada una serie de valores de TDOA, un algoritmo TDOA se utiliza para calcular la posición en X / Y / Z de la aeronave

- Por último, un 'tracke<sup>26</sup>r' es utilizado habitualmente para tener el trazo sin procesar de X / Y / Z y producir el *track* del avión, mejorando así la precisión y el rechazo de los datos erróneos.

Un sistema de correlación cruzada difiere fundamentalmente con un sistema TDOA ya que el tiempo actual de llegada de la señal en el receptor nunca es calculado, solamente los valores de TDOA están disponibles.

## 2. Sistema TOA



**Figura. 2. 20. Flujo de datos TOA**

Tomando cada una de estas secciones:

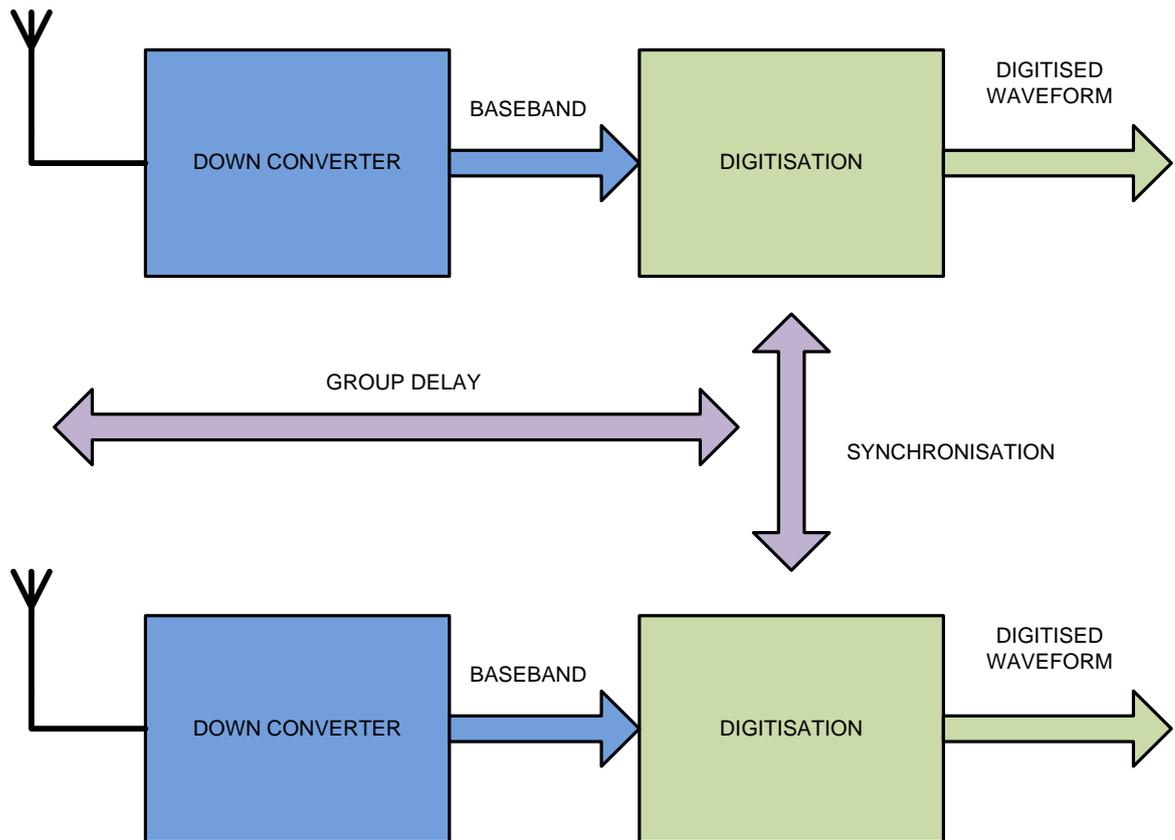
- Los bloques "Down Converter" y "Digitisation" operan ya que la correlación cruzada enfoca, convirtiendo RF a una señal de video o banda base y, entonces la digitaliza.

<sup>26</sup> Pista del avión

- Tras la digitalización, un sistema TOA ahora calculará el tiempo de llegada de las señales locales al receptor; información que no se calcula con el sistema de correlación cruzada. Además, los códigos SSR con la forma de onda suelen ser identificados y extraídos a esta etapa para ayudar a la correlación.
- Habiendo calculado una serie de TOAs para cada receptor, estos deben ahora ser correlacionados con un grupo de valores de TOA calculados para una determinada transmisión del avión. Habiendo realizado esta correlación o agrupación, los valores de TDOA pueden calcularse.
- El algoritmo TDOA y los bloques 'Tracker' funcionan como el sistema basado en la correlación.

### **2.3.2 Métodos de sincronización**

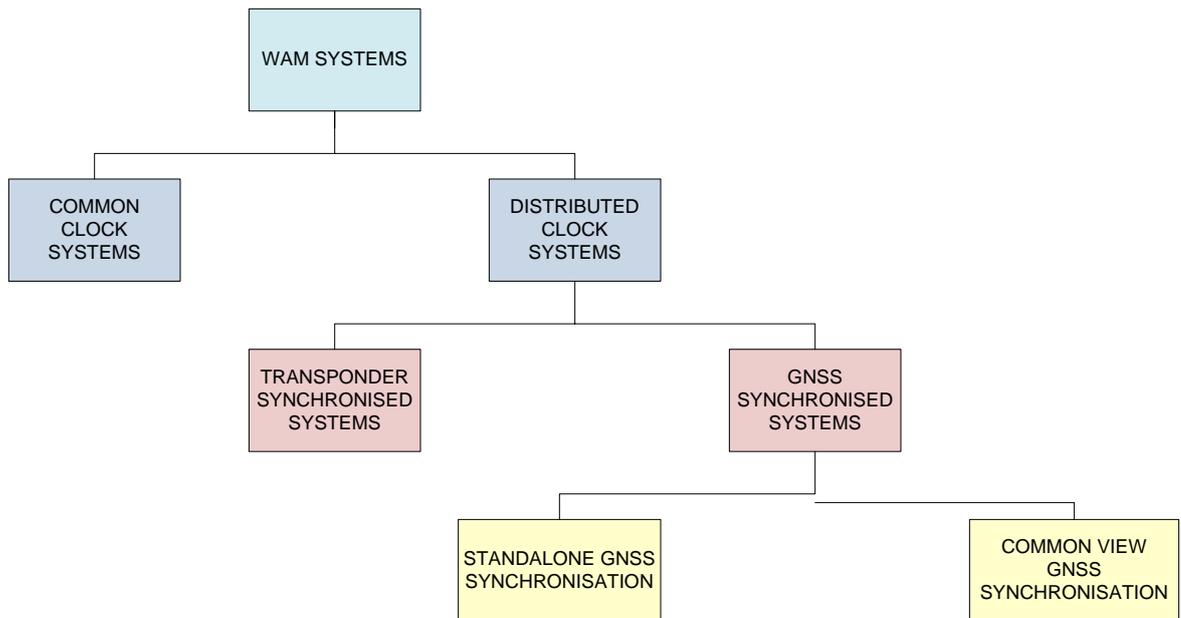
La sincronización es fundamental para los sistemas de Multilateración: correlación cruzada y TOA, aunque el método de aplicación de sincronización generalmente difiere. Con el fin de calcular la posición, es necesario conocer la diferencia de tiempo de una señal de llegada a una antena en el sistema y la llegada de la señal a otra antena en el sistema. Esto es comúnmente denominado la TDOA. Sin embargo, la señal está marcada en el tiempo durante el proceso de digitalización, la que es retardada en un tiempo relativo para el tiempo de llegada a la antena por el retardo de grupo del proceso de conversión de una frecuencia alta a baja. Por lo tanto, para calcular exactamente el TDOA este retraso debe ser exactamente conocido y tomado en cuenta. Además, el proceso de digitalización para cada cadena de los receptores deben ser referenciados a un tiempo base común, de lo contrario las señales en los diferentes sitios se harán referencia a diferentes relojes y no serán directamente comparables. La Figura a continuación muestra el retraso del grupo y los componentes de sincronización. La sincronización se define como el método por el cual el proceso de digitalización de las señales para cada sitio están unidos.



**Figura. 2. 21. Grupo de retardo y sincronización**

El siguiente diagrama muestra la topología de las diversas tecnologías de sincronización en uso en sistemas WAM<sup>27</sup>, necesaria para ambos métodos TOA y de correlación cruzada.

<sup>27</sup> Wide Area Multilateration

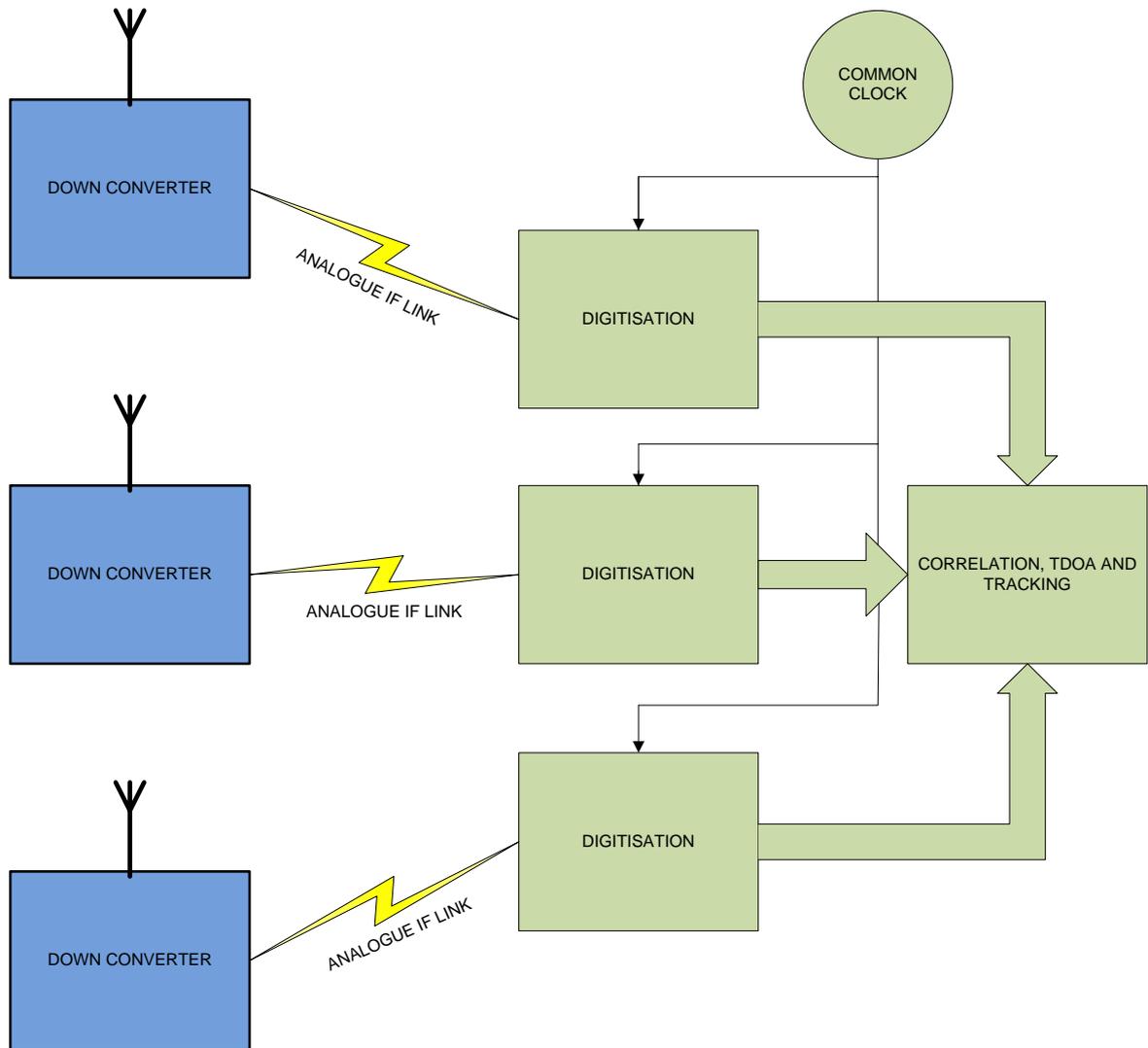


**Figura. 2. 22. Topología de Sincronización WAM**

### 1. *Sistemas de reloj común*

Los sistemas de reloj común usan un simple receptor con la mayor parte de la complejidad en el sitio de procesamiento central. Los sistemas de reloj común reciben señales de radiofrecuencia (RF) desde las aeronaves y abajo se convierten a una frecuencia intermedia (IF). Esta señal IF se transmite desde cada receptor a un sitio central sobre un enlace analógico. La conversión a banda base o video y posterior digitalización es entonces llevado a cabo en el sitio central con referencia a un reloj común de cada receptor. Con esta arquitectura, no hay ninguna necesidad de sincronizar cada uno de los receptores externos con otros ya que la digitalización se produce en el sitio central.

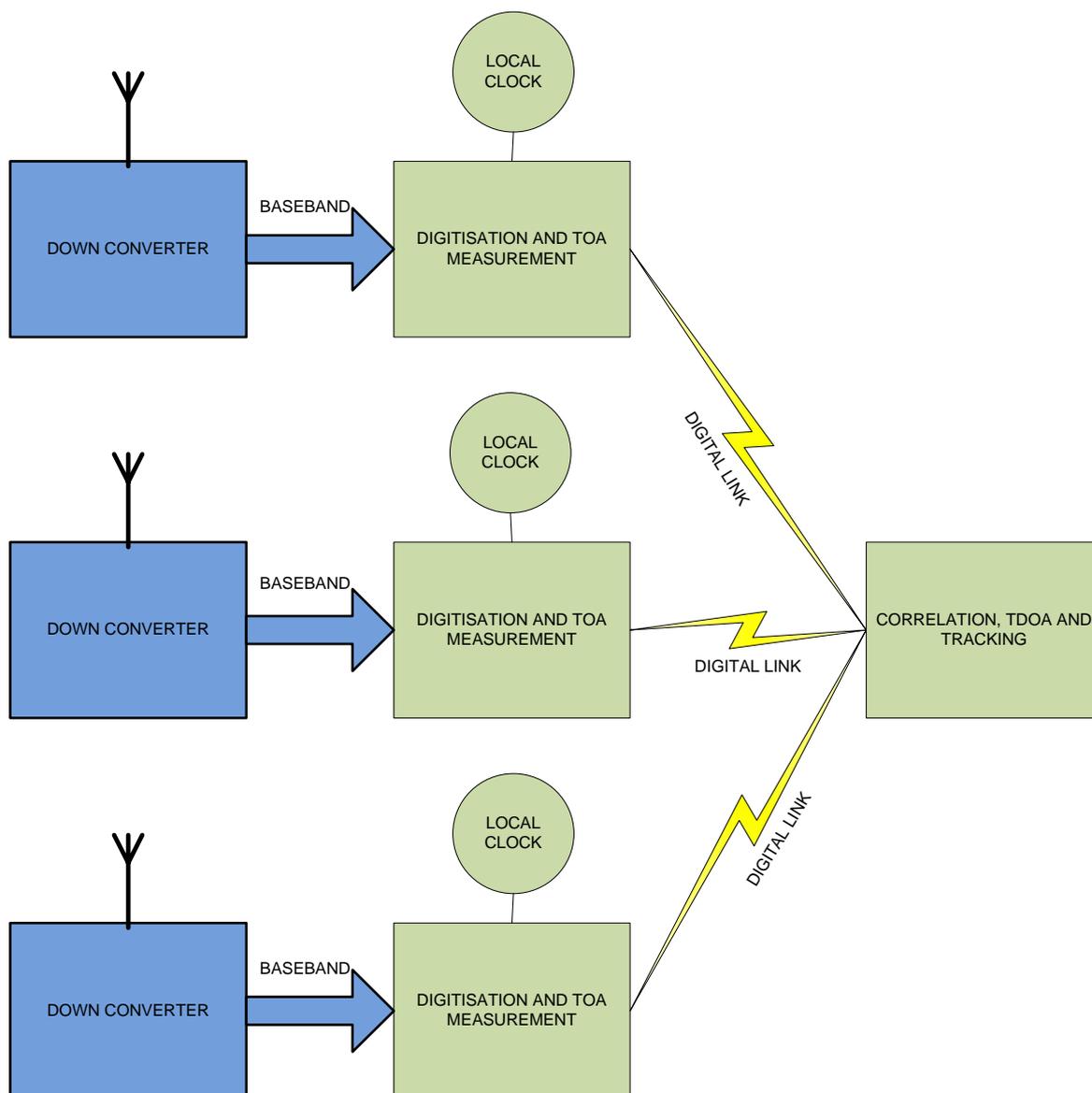
La ubicación del procesador de Multilateración suele estar en el centro del sistema para minimizar las distancias del enlace de las comunicaciones.



**Figura. 2. 23. Arquitectura Reloj Común**

## 2. Sistemas de reloj distribuido

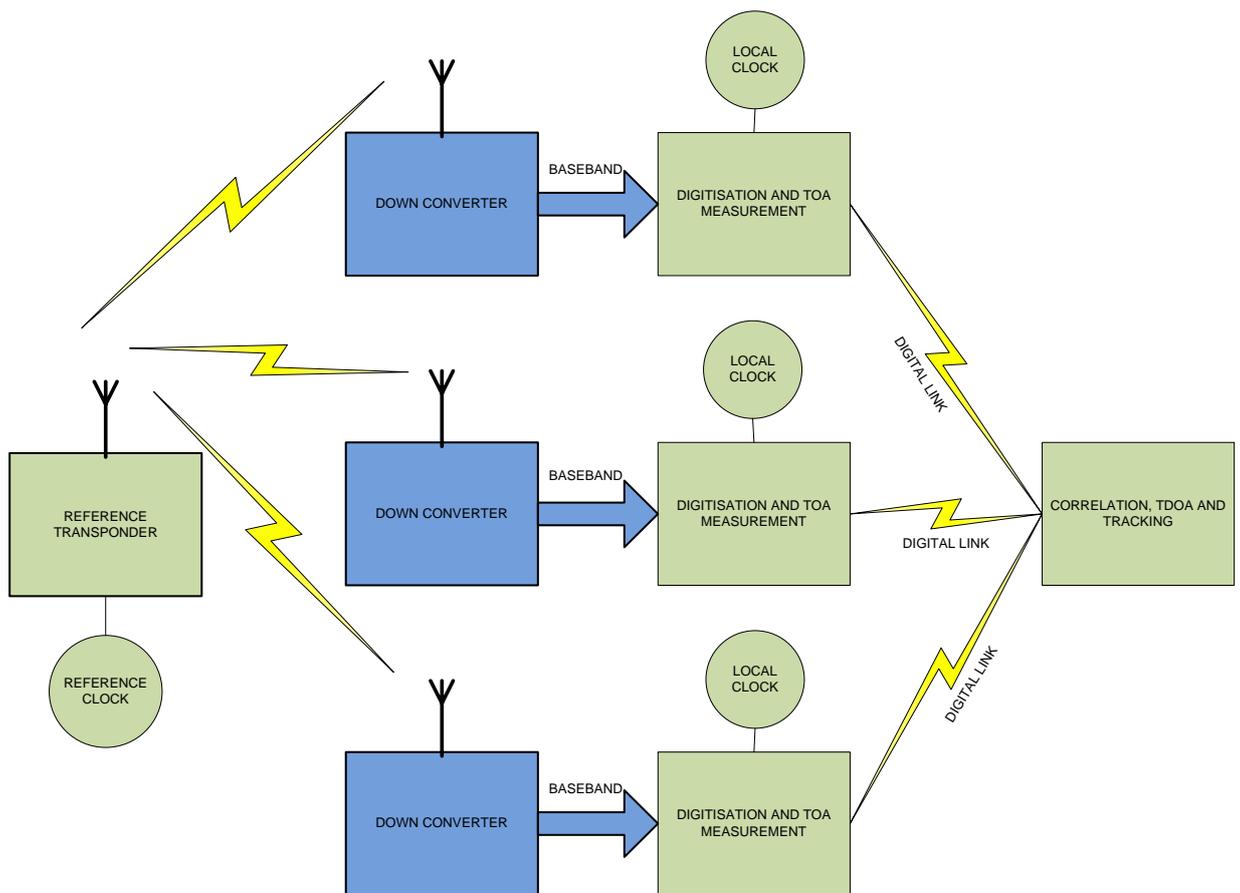
Los sistemas de reloj distribuido usan un receptor más complejo para reducir las demandas sobre el enlace de datos. La señal RF es convertida en una señal banda base o de video y, a continuación, la digitalización, el código de extracción y la medida TOA se realizan en el receptor. Esto da una gran flexibilidad en el enlace de datos como el valor del código SSR y el TOA necesario para ser transmitido al lugar de procesamiento de cada receptor. Cualquier enlace de datos digital se puede utilizar y la latencia del enlace no es crítica.



**Figura. 2. 24. Arquitectura Reloj Distribuido**

### 3. Sistema de transpondedor sincronizado

Los sistemas de transpondedor sincronizado usan transmisiones desde un transpondedor de referencia para recoger los relojes en cada uno de los sitios del receptor. La señal de tiempo de referencia y la transmisión SSR del avión pasan a través de la misma cadena análoga del receptor. Esto significa que los retrasos comunes anulan el sesgo del retardo producido por los componentes analógicos. La sincronización del transpondedor no necesita ser reubicada con el procesador de Multilateración central, pero necesita tener línea de vista a cada uno de los receptores. Para un sistema WAM esto significa que todos los mástiles o torres son típicamente necesarios.



**Figura. 2. 25. Arquitectura Transpondedor Sincronizado**

#### 4. Sistema Standalone GNSS sincronizado

Una referencia de tiempo común externo, como un sistema global de navegación por satélite (GNSS) puede ser utilizado para dar una referencia de tiempo común para cada uno de los receptores. El tiempo de los sistemas GNSS se mantiene con mucha precisión ya que esto es esencial para la precisión de la navegación. Los sistemas GNSS sincronizados son mucho más fáciles de ubicar que el de reloj común y los sistemas de transpondedor ya que no necesitan torres altas para la sincronización y cualquier enlace de datos digitales se pueden utilizar.

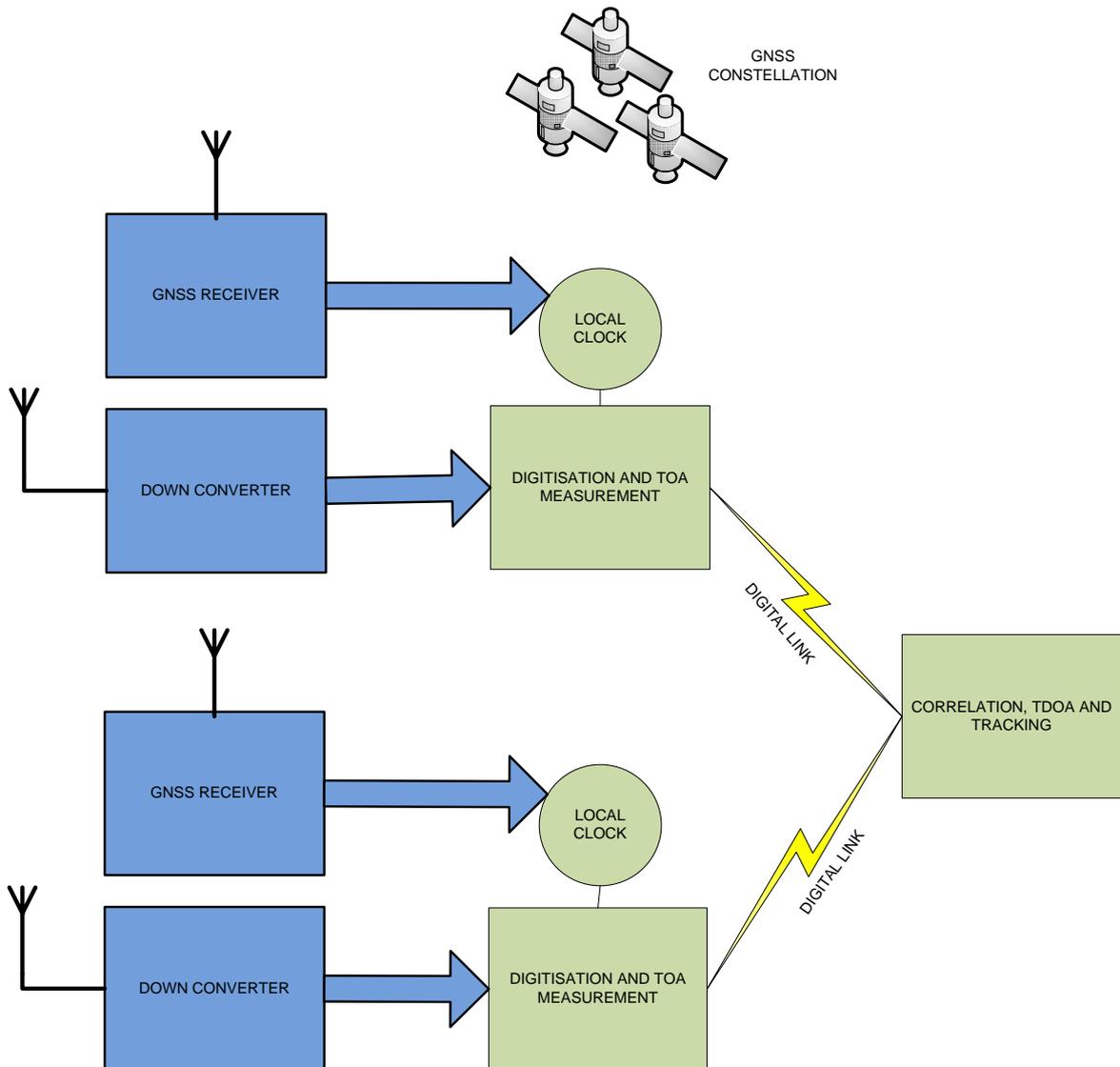


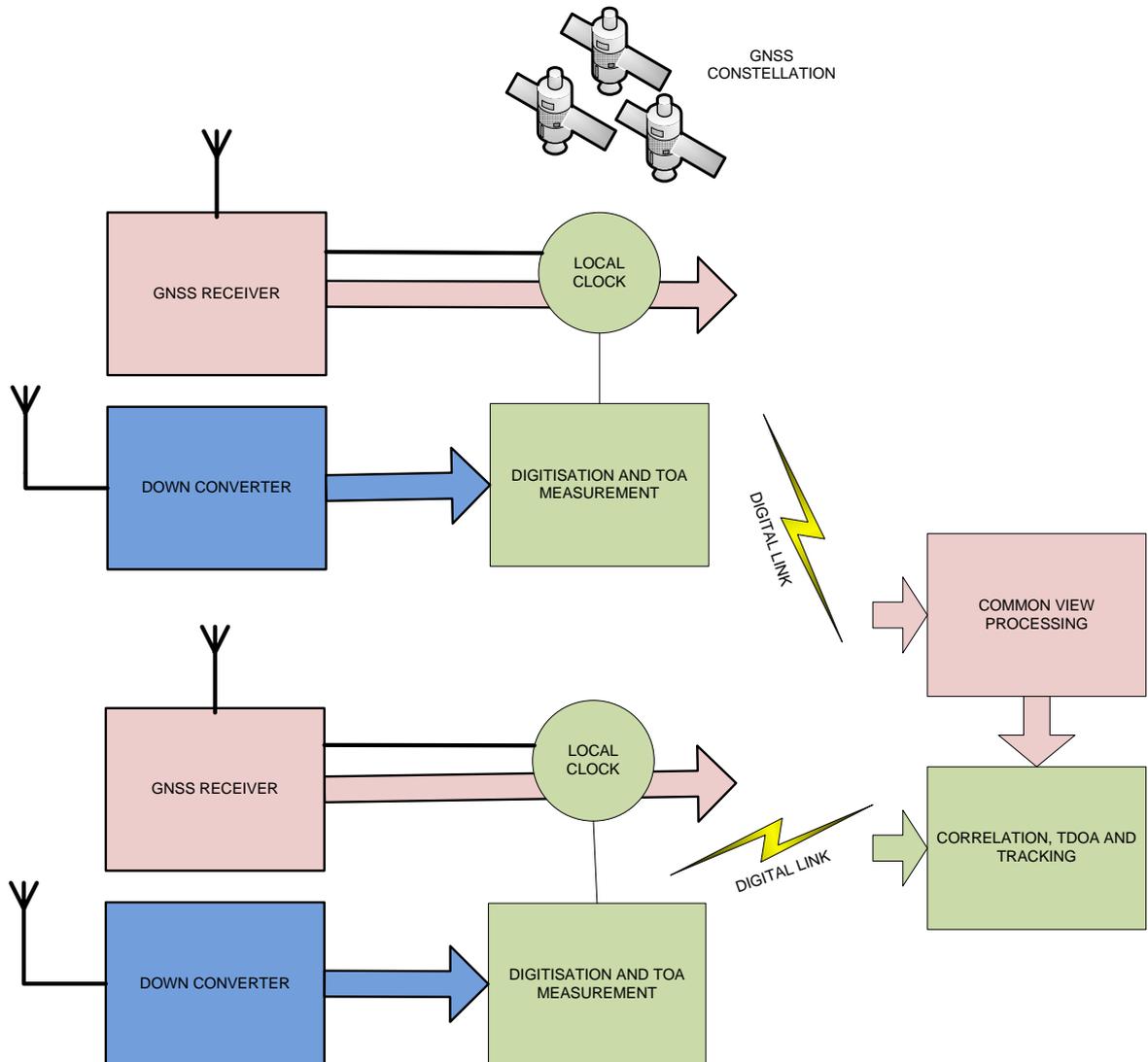
Figura. 2. 26. Arquitectura GNSS sincronizado

##### 5. Sistema de vista común GNSS sincronizado

Para situaciones en las que la sincronización *Standalone* GNSS entre los receptores no es suficientemente exacta, un método de sincronización de vista común puede ser utilizado. Los sistemas de vista común usan satélites GNSS que están a la vista de todos los receptores y los datos diferenciales calculados - es decir:

Un satélite *A* en Rx.*A* - satélite *A* en Rx.*B*. Esto permite que una gran cantidad de las fuentes de los errores sean eliminadas, ya que están entre señales comunes, y, por tanto, proporciona una mucho más precisa solución de sincronización. La calculada sincronización de datos podrá, o bien ser aplicada directamente a los datos TOA en cada receptor, o a los datos TOA con su llegada al sitio central. En cualquier caso, el

receptor GNSS no es requerido en el sitio de procesamiento ya que los datos se han capturado en los receptores.



**Figura. 2. 27. Arquitectura de vista común GNSS sincronizado**

Las características de varios esquemas de sincronización, con respecto a sus aplicaciones para WAM, están resumidas en la tabla 2.3.

### 2.3.3 Algoritmos empleados en la detección

- Linealización de las ecuaciones de segundo grado aplicando el Teorema de Taylor  
*“Toda función regular se puede linealizar en el entorno de cualquier punto de su dominio”*

- *Bancroff* para movimientos bidimensionales

*“Basado en el producto interno de Lorentz para los vectores de espacio-tiempo”*

### 2.3.4 Derivación

Considérese la posibilidad de un emisor en un lugar desconocido  $(x, y, z)$  que queremos localizar. Considérese también un sistema de Multilateración con cuatro receptores ubicados en lugares conocidos: un lugar céntrico, C, un sitio de izquierda, L, sitio de derecha, R y un cuarto sitio, Q.

El tiempo de viaje (T) de pulsos desde el emisor en  $(x, y, z)$  a cada uno de los lugares donde se encuentran los receptores es simplemente la distancia dividida por la tasa de propagación del pulso (c):

$$T_L = \frac{1}{c} \left( \sqrt{(x - x_L)^2 + (y - y_L)^2 + (z - z_L)^2} \right)$$

$$T_R = \frac{1}{c} \left( \sqrt{(x - x_R)^2 + (y - y_R)^2 + (z - z_R)^2} \right)$$

$$T_Q = \frac{1}{c} \left( \sqrt{(x - x_Q)^2 + (y - y_Q)^2 + (z - z_Q)^2} \right)$$

$$T_C = \frac{1}{c} \left( \sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2 + (z - z_C)^2} \right)$$

Si el sitio C se considera en el sistema de coordenadas de origen,

$$T_C = \frac{1}{c} \left( \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right)$$

Entonces la diferencia de tiempo entre la llegada de los pulsos que llegan directamente a la ubicación central y los que vienen a través de los sitios secundarios se puede demostrar:

$$\tau_L = T_L - T_C = \frac{1}{c} \left( \sqrt{(x - x_L)^2 + (y - y_L)^2 + (z - z_L)^2} \right) - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\tau_R = T_R - T_C = \frac{1}{c} \left( \sqrt{(x - x_R)^2 + (y - y_R)^2 + (z - z_R)^2} \right) - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\tau_Q = T_Q - T_C = \frac{1}{c} \left( \sqrt{(x - x_Q)^2 + (y - y_Q)^2 + (z - z_Q)^2} \right) - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Donde  $(x_L, y_L, z_L)$  es la ubicación del sitio del receptor izquierda, etc, y C es la velocidad de propagación de los impulsos, frecuentemente la velocidad de la luz. Cada ecuación define un hiperboloide separado.

El sistema de Multilateración debe resolver entonces, la ubicación de puntos desconocidos  $(x, y, z)$  en tiempo real. Todos los demás símbolos son conocidos.

Se debe tener en cuenta que en los Sistemas de Multilateración para control del tráfico aéreo civil, la desconocida altura, z, a menudo se derivan directamente del regreso del transpondedor del SSR en Modo C. En este caso, sólo tres sitios se requieren para una solución 3D.

## 2.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Está basado en el principio de la triangulación, es decir, se toma la demarcación de un objeto a partir de tres posiciones conocidas y ampliamente separadas, y se las traza en un mapa, su intersección mostrará la localización del objeto.

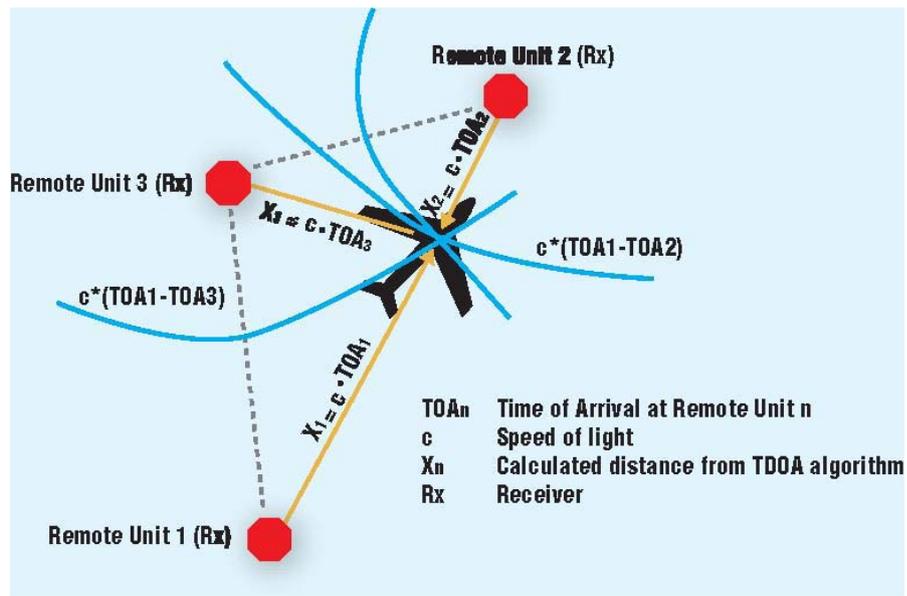


Figura. 2. 28. Triangulación.

Pero MLAT no toma las demarcaciones. El sistema emplea un número de estaciones pequeñas, automáticas llamadas “*postes que escuchan*” que se puedan ubicar alrededor de un aeropuerto para supervisar el tráfico local, o ubicarlas mucho más lejos, para cubrir áreas más grandes de espacio aéreo.



Figura. 2. 29. Recepción de respuestas de transpondedores.

---

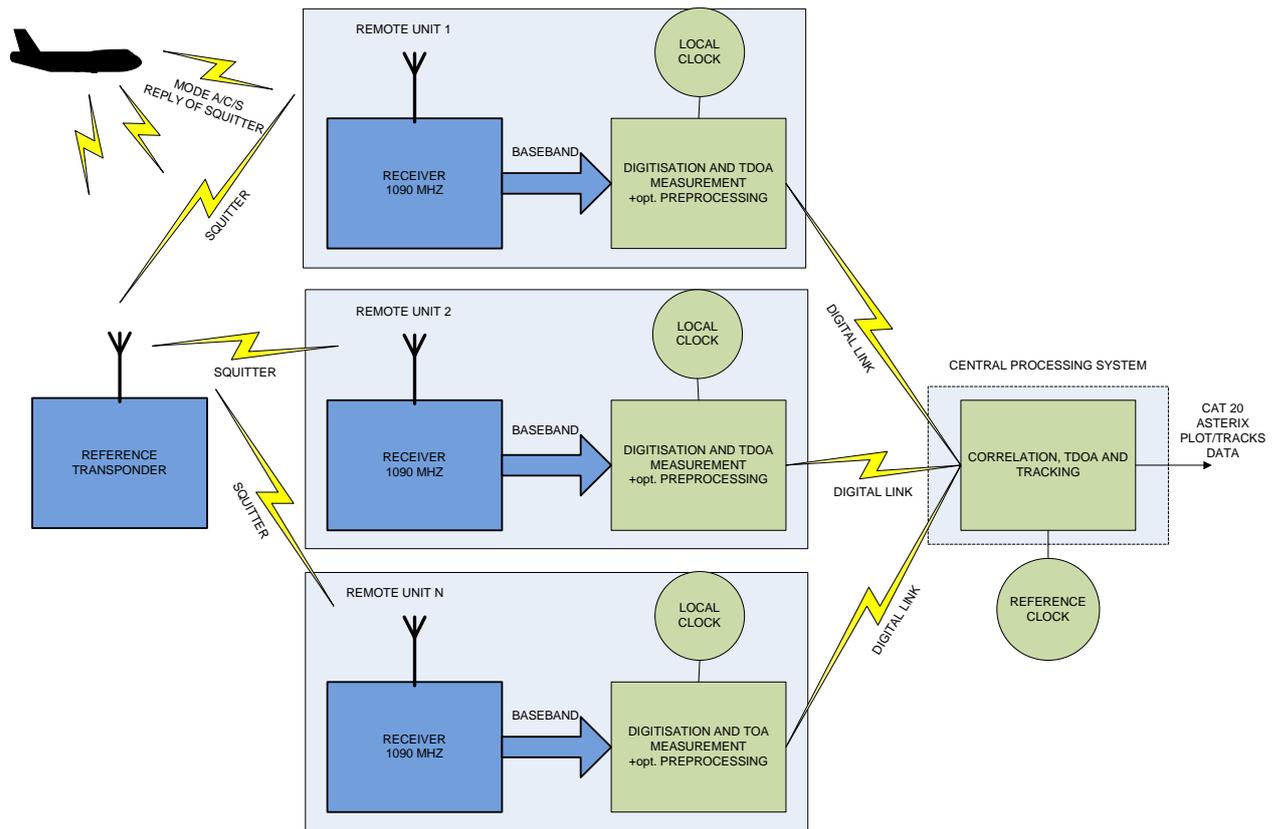
---

Las estaciones simplemente esperan a recibir las respuestas de los transpondedores, activados por interrogaciones de los radares secundarios de vigilancia (SSR) o de aviones equipados con Sistema anticolidión (TCAS), fuera de la línea de vista, que pueden ser hasta 300 millas para las aeronaves de alto desempeño. Para cubrir todas las combinaciones del tráfico, MLAT puede supervisar los modos A/C, Modo-S, ADS-B y los transpondedores militares. Cada segundo, las estaciones envían los datos de las señales recibidas a un procesador localizado centralmente, donde los complejos cálculos de triangulación y de tiempo obtienen las posiciones exactas de todas las aeronaves, las cuales son enviadas al centro ATC. En el centro, los controladores no ven ninguna diferencia entre el radar convencional y los blancos MLAT<sup>28</sup> en sus pantallas, porque la unidad del procesador de MLAT proporciona la información en el formato idéntico al de la visualización radar. La única diferencia es que los datos de MLAT están actualizados con una frecuencia mucho más alta que los 4.8 segundos típicos del barrido de 360 grados de la antena del radar.

Además esa renovación de datos más alta provee a los controladores una presentación mucho más continua de los blancos en sus pantallas, comparados con los “saltos periódicos” de los barridos del radar.

---

<sup>28</sup> Multilateración



**Figura. 2. 30. Diagrama en bloques de MLAT**

Otra ventaja de la mayor frecuencia de renovación de la MLAT es que mientras la confirmación y la identificación de un blanco por el radar convencional requieren generalmente por lo menos tres barridos consecutivos de la antena, o aproximadamente 15 a 20 segundos, la MLAT puede alcanzarlo en apenas tres o cuatro segundos.

En ausencia de SSR, una situación que está llegando a ser bastante común, es que uno o dos postes pasivos fijos en la red se modifican para convertirse en estaciones activas donde ambos transmiten interrogaciones y entonces, junto con las estaciones pasivas, esperan a escuchar las contestaciones de los transpondedores. Es decir la MLAT puede funcionar conjuntamente con SSR o ser totalmente independiente de ellas.

Hay cada vez más instalaciones de MLAT; las ventajas operacionales del sistema no sólo han igualado o han excedido los del radar en usos comparables pero también han ganado bajando los costos.

## 2.5 ARQUITECTURA

Un sistema MLAT consta de los siguientes componentes:

- Un sistema de transmisión que incluye generación de mensajes de interrogación y la función de transmisión.
- Un proceso de interrogación inteligente opcional que determina si una interrogación MLAT es requerida (en un área siendo interrogada por sistemas TCAS y SSR).
- Un subsistema receptor de arreglo de antenas que recibe las transmisiones desde el blanco y recibe las marcas de tiempo en cada antena.
- Un procesador central que calcula y produce pistas de MLAT (y ADS-B).

Teniendo un transmisor de interrogación, asegura regularidad de respuestas desde el blanco. El blanco, (avión/vehículo/obstáculo) debe tener un subsistema que responderá a una interrogación o estará automáticamente generando una transmisión en la frecuencia 1090MHz.

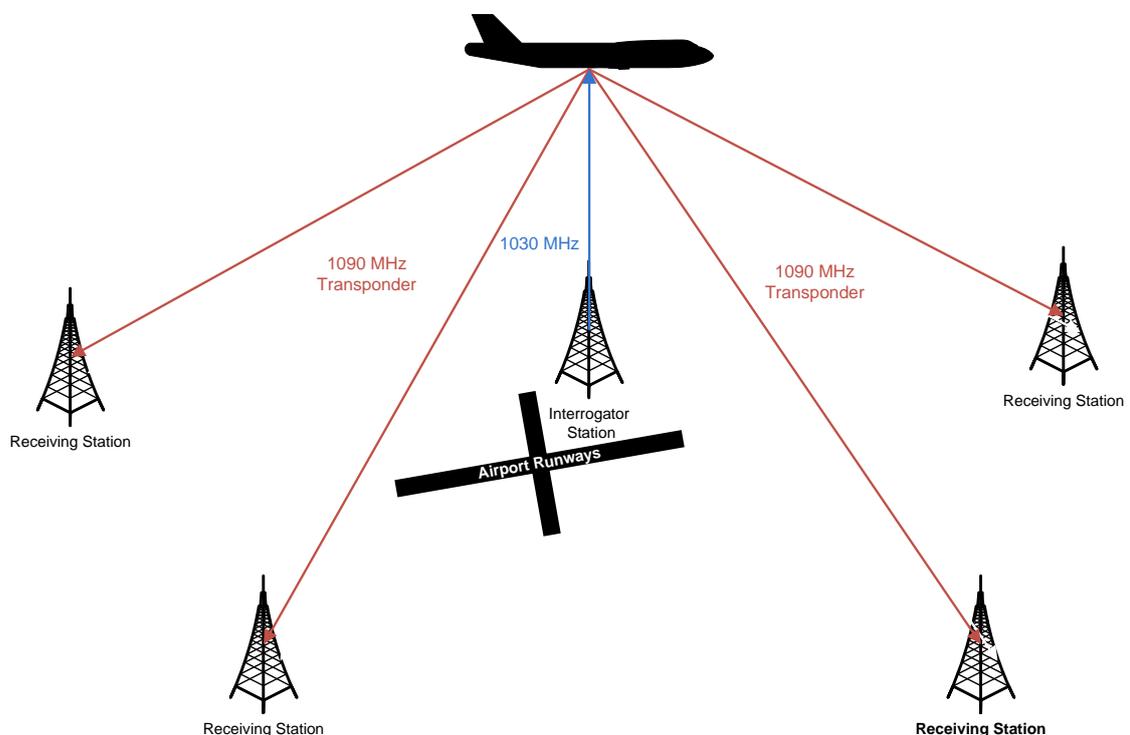


Figura. 2. 31. Diagrama explicativo MLAT

### 2.5.1 Diagrama en bloques

SENSIS<sup>29</sup> nos ofrece la siguiente arquitectura:

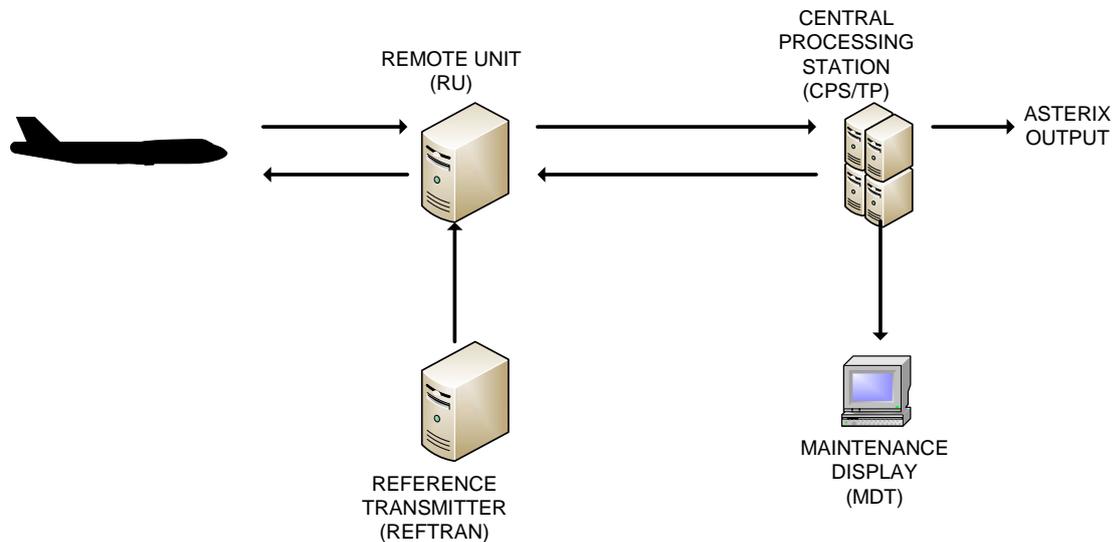


Figura. 2. 32. Diagrama específico<sup>30</sup>

### 2.6 PRESTACIONES GENERALES

- Trabaja con señales procedentes de los sensores: MSSR, SSR modo S y ADS-B.
- Probabilidad de detección Modo S >99.9%
- Exactitud en el plano horizontal: 7.5m
- Exactitud en el plano vertical: 20m
- Refresco de la información: 1 seg.
- Capacidad de procesar: 400 blancos equipados con transpondedor en Modo S, sin deterioro de las prestaciones.

### 2.7 CONDICIONANTES DEL SISTEMA

- Complejidad del aeropuerto:
  - Calles de Rodaje.
  - Plataformas.
  - Edificio(s) Terminal(es).
  - Edificio(s) de Servicio(s).

<sup>29</sup> Empresa dedicada a implementar el sistema de Multilateración

<sup>30</sup> ASTERIX: software, ver Anexo 2

- Situación (ubicación) entre los diferentes elementos del sistema con el objeto de garantizar su línea de vista.
- Trayectorias múltiples, asociadas a los mecanismos de propagación de ondas electromagnéticas, es la corrupción de la información.
- Las trayectorias múltiples son difíciles de predecir debido a que el entorno aeroportuario es complejo y dinámico, debido a:
  - Hangares con puertas abiertas o cerradas.
  - Nuevas construcciones.
  - Orientación de las aeronaves y vehículos terrestres con respecto a las estaciones receptoras e interrogadoras.

## **2.8 APLICACIONES DE LA MULTILATERACIÓN**

La capacidad única de la Multilateración es ser precisamente, "adaptada" para satisfacer completamente los requisitos en materia de cobertura y eliminar los sitios donde no existe vigilancia. Esto ha sido realizado, con el equivalente - y frecuentemente superior – del desempeño sobre SSR a lo largo de toda el área de cobertura, a un costo significativamente menor.

Por otra parte, los futuros cambios de vigilancia que se requieren para dar cabida a un nuevo enfoque, la salida o más procedimientos de vuelo puede ser de fácil y poco costo lograrse mediante la adición del pequeño sistema y con sensores instalados fácilmente.

La Multilateración, puede verse no sólo como un instrumento para aumentar la utilización del espacio aéreo y la eficiencia operativa, sino que también ofrece importantes beneficios económicos y la flexibilidad.

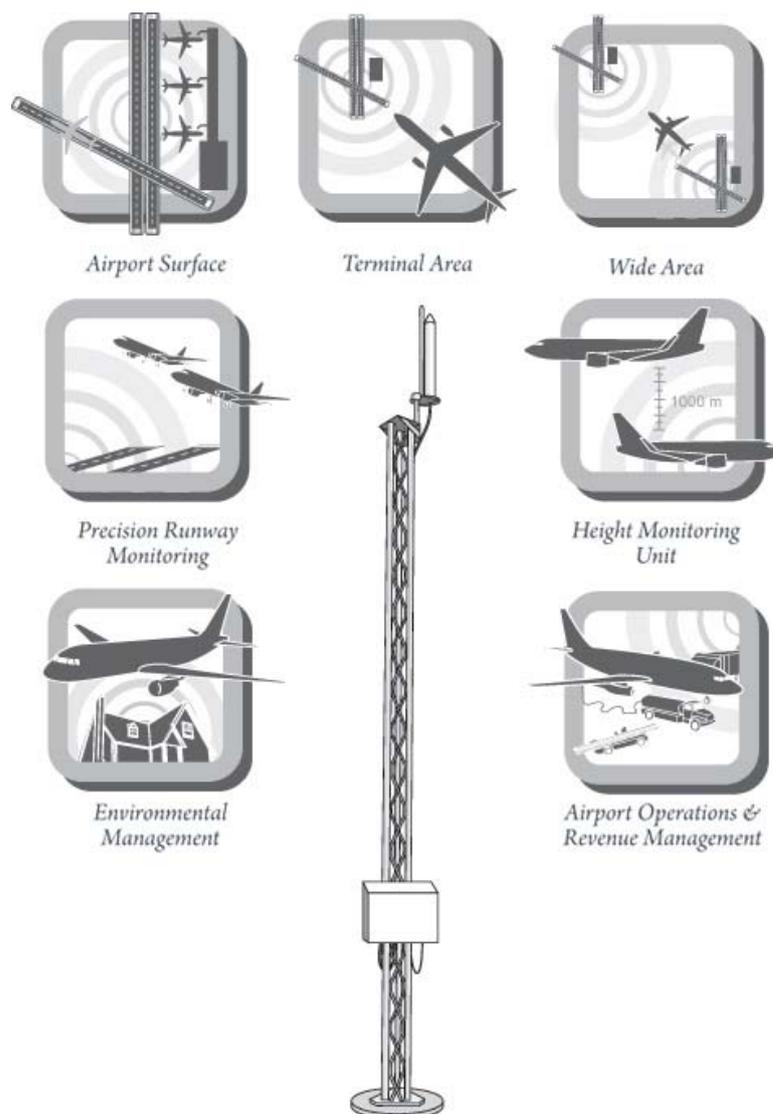


Figura. 2. 33. Beneficios de la MLAT

### 2.8.1 Superficie del aeropuerto

La adición de estaciones de Multilateración ubicadas estratégicamente proporciona a los controladores de tierra una visión clara de todas las áreas de la superficie del aeropuerto "ocultas", con mucha mayor precisión y la mejora de la discriminación, independientemente de las condiciones meteorológicas.

A diferencia del radar de superficie (SMR<sup>31</sup>), la Multilateración también proporciona una identificación exclusiva de todos los aviones y detiene el salto de una etiqueta a otra etiqueta ya que podrían estar cerca una con otra.

<sup>31</sup> Surface Movement Radar

### **2.8.2 Área Terminal**

En una serie de aeropuertos de todo el mundo, operaciones de menor altitud en el área Terminal están restringidas por la presencia alta del terreno, que pueden bloquear las interrogaciones provenientes de los aviones cerca de los radares secundarios. A su vez, esto impide el monitoreo de los controladores locales de tráfico del área Terminal por debajo de una determinada altura.

El sistema de Multilateración además de ser más barato en la adquisición, instalación y mantenimiento, también proporciona óptima cobertura del área Terminal y más rápida y precisa localización de la superficie del aeropuerto.

### **2.8.3 Área Amplia (WAM)**

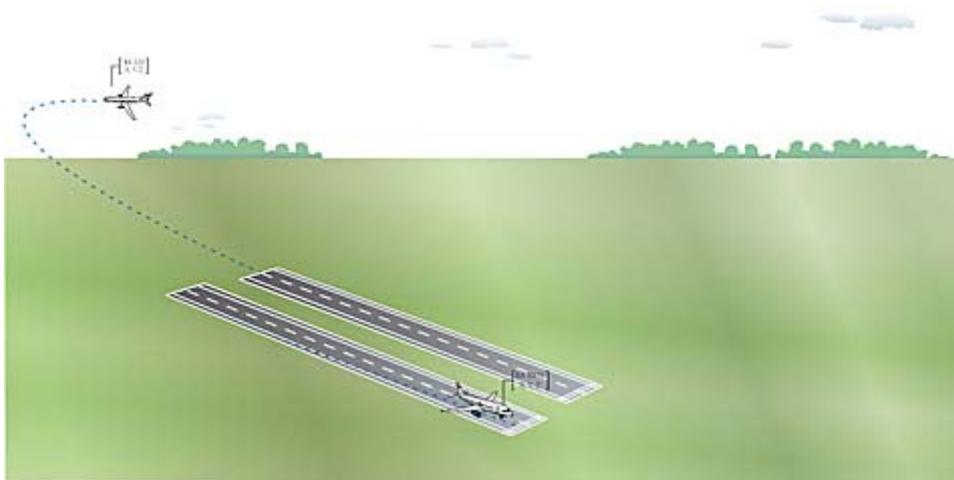
En Multilateración de área amplia (WAM), las estaciones se reparten mucho más lejos, a distancias de hasta 100 km entre sí. En estos lugares, la Multilateración prevé una detección superior sobre el radar secundario, más precisión de seguimiento y a significativamente bajos costos.

### **2.8.4 Precisión en el monitoreo de las pistas de rodaje**

Una importante aplicación de la Multilateración es su demostrada capacidad para proporcionar una mayor seguridad al mismo tiempo que aumenta significativamente la capacidad de aterrizaje.

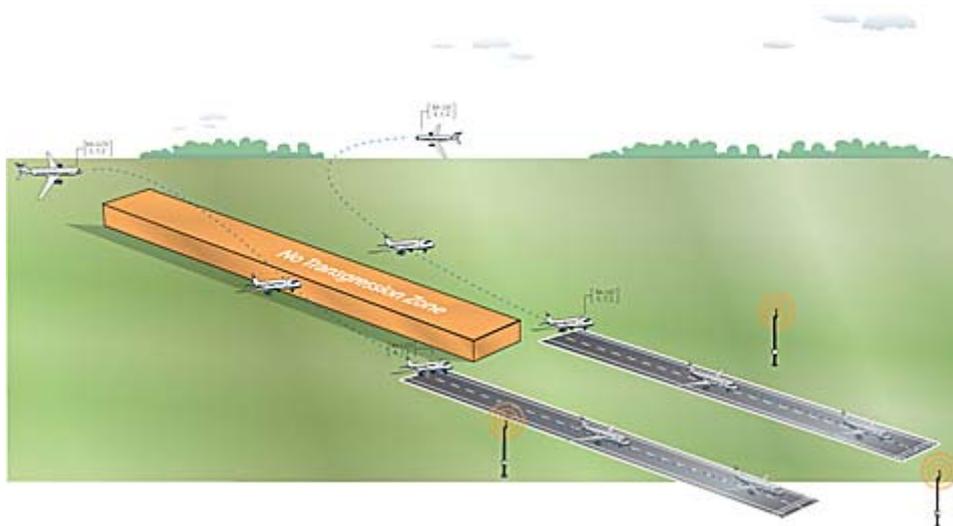
Para los aeropuertos con pistas paralelas, el vuelo de las aeronaves se los hace en pistas separadas. Pero en muchos aeropuertos, las pistas están demasiado cerca, para volar la aeronave de forma segura una aeronave adyacente con otra se lo hace bajo condiciones instrumentales. Las aeronaves son entonces "escalonadas" en el camino de aproximación con un importante espaciamiento entre ellas, reduciendo considerablemente el rendimiento del aeropuerto, especialmente durante las inclemencias del tiempo.

Además, las presiones ambientales y de zonificación están limitando la expansión del aeropuerto y puede forzar a nuevas pistas que se construirán dentro de los límites del aeropuerto lo más estrechamente espaciados, paralelos a las actuales pistas de aterrizaje para acomodar el aumento de la demanda futura.



**Figura. 2. 34. SIN SISTEMA PRM**

Los aeropuertos paralelos con espacio reducido deben mantener aproximaciones escalonadas, lo que disminuye el rendimiento, especialmente durante los períodos de congestión y las inclemencias del tiempo.



**Figura. 2. 35. CON SISTEMA PRM**

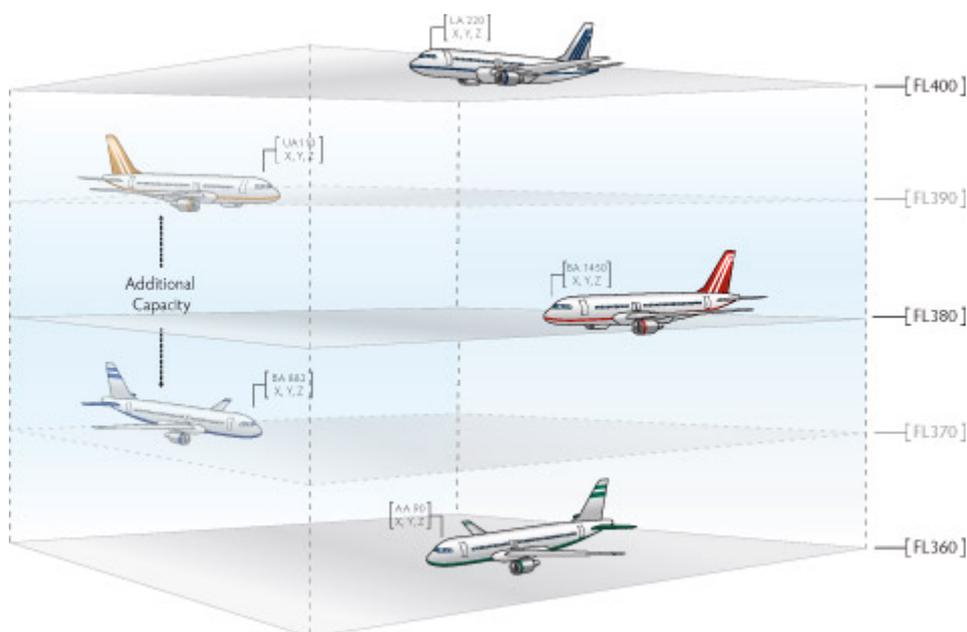
Los aeropuertos paralelos con espacio reducido pueden mantener criterios de aproximación independientes, incluso durante condiciones climáticas adversas, lo que mejora la capacidad.

### 2.8.5 Unidad de monitoreo de altura (HMU)

Una nueva tecnología en el altímetro fue introducida en la década de 1990 y dio lugar a la introducción de separación vertical mínima reducida (RVSM), lo que permitió que los aviones sean separados verticalmente desde una altura de 1000 pies a una altura de hasta 41000 pies.

Sin embargo, mientras que todas las aeronaves que vayan a operar en el espacio aéreo de RVSM fueron re-equipadas para satisfacer el nuevo requerimiento, fue necesario inicialmente verificar y comprobar periódicamente que los equipos nuevos de las instalaciones estaban operando dentro de los parámetros establecidos.

La Multilateración fue elegida como la mejor técnica para realizar esta tarea. La adición de niveles de vuelo permite el uso eficiente de combustible y reducción de la congestión.



**Figura. 2. 36. Los sistemas HMU basados en la Multilateración han sido desarrollados para RSVM en varios lugares alrededor del mundo.**

### 2.8.6 Administración ambiental

El sistema registra la identificación de todas las aeronaves que llegan y salen, junto con su trayectoria precisa en la trayectoria y en la superficie; y puede mostrar la hora exacta que pasó sobre cualquier punto de su camino.

La Multilateración puede facilitar la gestión de aeropuertos como un medio extremadamente eficaz y fuente de información accesible sobre el ruido, las emisiones y otros datos de las operaciones de vuelo.

### **2.8.7 Administración de operaciones aeroportuarias e ingresos del Estado**

Los sistemas de Multilateración dan a las compañías aéreas y al personal aeroportuario en tiempo real, la vigilancia y el seguimiento para la planificación y la programación de recursos del aeropuerto para mejorar la administración y movimientos en la pista.

La Multilateración ofrece pistas de vuelo y los datos de identificación automática para producir facturas oportunas y precisas.

## **CAPITULO III**

### **DESCRIPCION DE SERVICIOS DE NAVEGACIÓN AÉREA DE QUITO**

#### **3.1 GENERALIDADES**

La misión de los Servicios de Navegación Aérea de Quito es proporcionar los medios para:

- Guiar al avión en su ruta de acuerdo con la información de los Planes de Vuelo.
- Proporcionar la seguridad de todos los vuelos dentro del Área Terminal de Quito, respetando las reglas ICAO<sup>32</sup>.
- Simular el control de tráfico aéreo, usando el simulador para entrenamiento.

Las características básicas del Sistema APP<sup>33</sup> (Estación Monjas) de Quito son las siguientes:

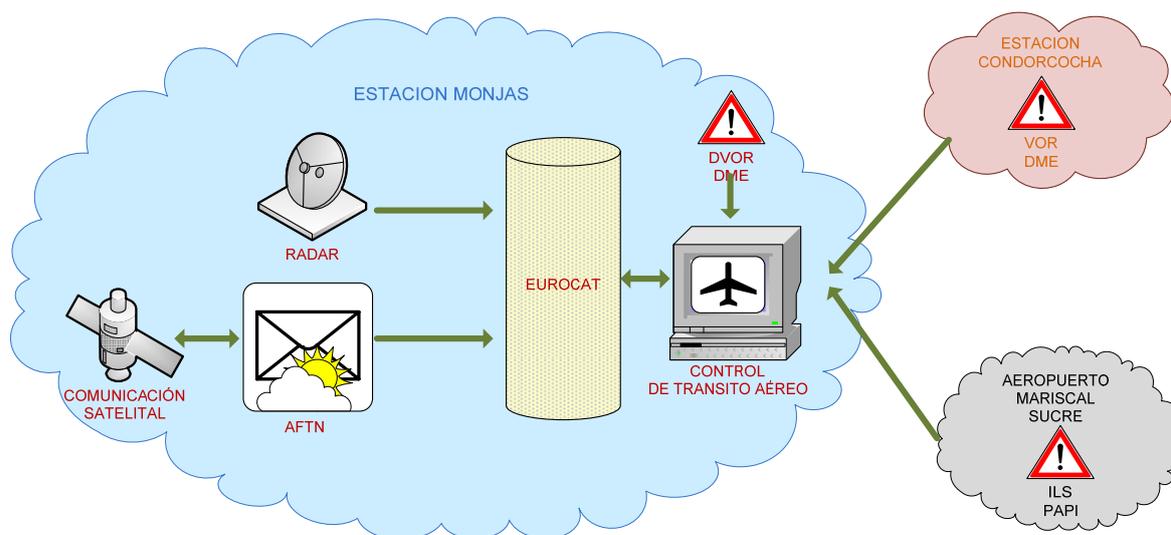
- Arquitectura distribuida.
- Computadores con instrucciones reducidas de alta capacidad.
- Principio de distribución de datos cliente-servidor.
- Suministro de funciones de software probadas en campo.

---

<sup>32</sup> International Civil Aviation Organization

<sup>33</sup> Aproximación

### 3.2 DIAGRAMA EXPLICATIVO DE LOS SISTEMAS DE AERONAVEGACION



**Figura. 3. 1. Sistemas para aeronavegación de Quito**

Los sistemas de radionavegación que tiene la ciudad de Quito, se encuentran ubicados en la Estación Monjas, Estación Condorcocha y en el Aeropuerto Mariscal Sucre, los cuales permiten el control de la navegación dentro del Área Terminal y la aproximación a la pista del aeropuerto Mariscal Sucre.

La estación Monjas, ubicada en el cerro del mismo nombre, a un costado de la autopista General Rumiñahui, está conformada por las dependencias: Electrónica Radar, Comunicación Satelital, Red de Telecomunicaciones Fijas Aeronáuticas (AFTN<sup>34</sup>) y la dependencia de Aproximación (APP) de Control de Tránsito Aéreo.

La dependencia Electrónica Radar es la encargada del mantenimiento y monitoreo del funcionamiento del radar Primario, Secundario, Sistema de presentación de señales radar (EUROCAT), Sistema conmutado de comunicaciones de voz (VCCS) para el suministro del servicio de la vigilancia aeronáutica basada en las señales de presentación de los radares; además realiza trabajos de mantenimiento y monitoreo de los equipos de comunicaciones tierra-aire, radioenlaces (microonda hacia el aeropuerto Mariscal Sucre), sistemas telefónicos de Andinatel, Red Mode (Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas), líneas telefónicas internas.

<sup>34</sup> Aeronautical Fixed Telecommunication Network

Comunicaciones Satelitales suministran el medio para el intercambio de los mensajes aeronáuticos emitidos desde cada uno de los aeropuertos del país; canales de voz entre cada uno de ellos, suministra el medio para enviar el video de las señales radar a una posición de trabajo instalada en la Torre de control (TWR<sup>35</sup>) del Aeropuerto Mariscal Sucre.

. La dependencia AFTN administra todos los mensajes encaminando hacia sus respectivos destinatarios, por ejemplo: las Notificaciones al personal Aeronáutico (NOTAM<sup>36</sup>), hacia los aeropuertos del país o del exterior. Constituye el Centro Internacional de Telecomunicaciones del Ecuador con salidas e ingresos hacia los centros de comunicaciones de Lima y Maiquetía (Venezuela) para utilización de las notificaciones aeronáuticas a nivel mundial.

EUROCAT<sup>37</sup> es el sistema de presentación de las señales radar que dispone la estación Monjas, utiliza el sistema operativo AIRCAT<sup>38</sup> 500. Este sistema es complementado con el VCCS<sup>39</sup> el cual permite las comunicaciones tierra-aire y telefónicas. Los datos procesados en el Eurocat son presentados en las pantallas de los Controladores de Tránsito Aéreo, los cuales son los encargados de guiar a las aeronaves en el espacio del Área Terminal de Maniobras (TMA<sup>40</sup>) de Quito y disponerlas para el aterrizaje final o su cambio a otra dependencia aeronáutica.

En la estación Monjas, también tenemos la radioayuda no visual: DVOR<sup>41</sup>, el cual permite guiar a las aeronaves utilizando un azimut (ángulo en relación al norte magnético) en el que se encuentra el avión, con referencia a esta posición terrestre (Monjas) con la que el avión permanece en contacto, conjuntamente trabaja el equipo medidor de distancia (DME<sup>42</sup>) el que suministra la distancia en la que se halla una aeronave con referencia a esta instalación.

---

<sup>35</sup> ToWeR

<sup>36</sup> NOtice To AirMen

<sup>37</sup> Ver Anexo 5

<sup>38</sup> Automated Integrated Radar Control of Air Traffic

<sup>39</sup> Voice Communication Control System

<sup>40</sup> Terminal Maneouvre Area

<sup>41</sup> Doppler VHF Omni-diretional Range

<sup>42</sup> Distance Measuring Equipment

En la estación Condorcocha, ubicada en el monte Casitagua, a un costado de la avenida Manuel Córdova Galarza, al norte de Quito; se encuentra ubicado un VOR/DME, que al igual que los equipos de Monjas, permiten guiar a las aeronaves. Esta es una radioayuda de ruta, es la más importante del país debido a que la mayor parte de aerovías de ingreso y salida del país convergen hacia esta instalación, aquí se elige la ruta de aeronavegación que tomará la aeronave dependiendo del lugar de destino.

El Aeropuerto Mariscal Sucre cuenta con el sistema de aterrizaje instrumental ILS<sup>43</sup>, los equipos de tierra guían con gran exactitud a una aeronave en la aproximación a la pista usando señales de radio.

La ayuda visual: PAPI<sup>44</sup>, el cual es un sistema de luces ubicado a un lado de la pista activa (aterrizaje y descolaje de aviones), consiste de cuatro lámparas con filtros de colores (blancos y rojos) que dan la indicación visual de la posición de la aeronave en la pendiente de descenso hasta la pista.

### 3.3 CAPACIDAD OPERATIVA

El propósito del sistema es procesar los datos de radar y los datos de Plan de Vuelo para mantener la ruta y el Control de Tráfico Aéreo en el Área Terminal de Quito. El Sistema APP de Quito está establecido en una base de datos centralizada de Planes de Vuelo (FPL<sup>45</sup>) que puede contener hasta 600 FPLs incluyendo hasta 300 FPLs activos.

Las características generales del sistema son las siguientes:

**Tabla. 3. 1. Características Radar de Quito**

NÚMERO MÁXIMO DE PISTAS DE RADAR PROCESADOS	300
Tiempo de actualización de las pistas desplegadas	5 segundos
Número máximo de Planes de vuelo activos	300
Número máximo de Planes de vuelo activos e inactivos	600
Capacidad de Base de datos de plan de vuelo repetitivo (RPL <sup>46</sup> )	3000 RPLs
Número máximo de mapas en el sistema	75

<sup>43</sup> Instrument Landing System

<sup>44</sup> Precision Approach Path Indicator

<sup>45</sup> Flight PAn

<sup>46</sup> Repetitive flight PAn

Número de pistas simultáneas desplegadas en una posición	128
--	-----

### 3.4 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE LA ESTACION MONJAS

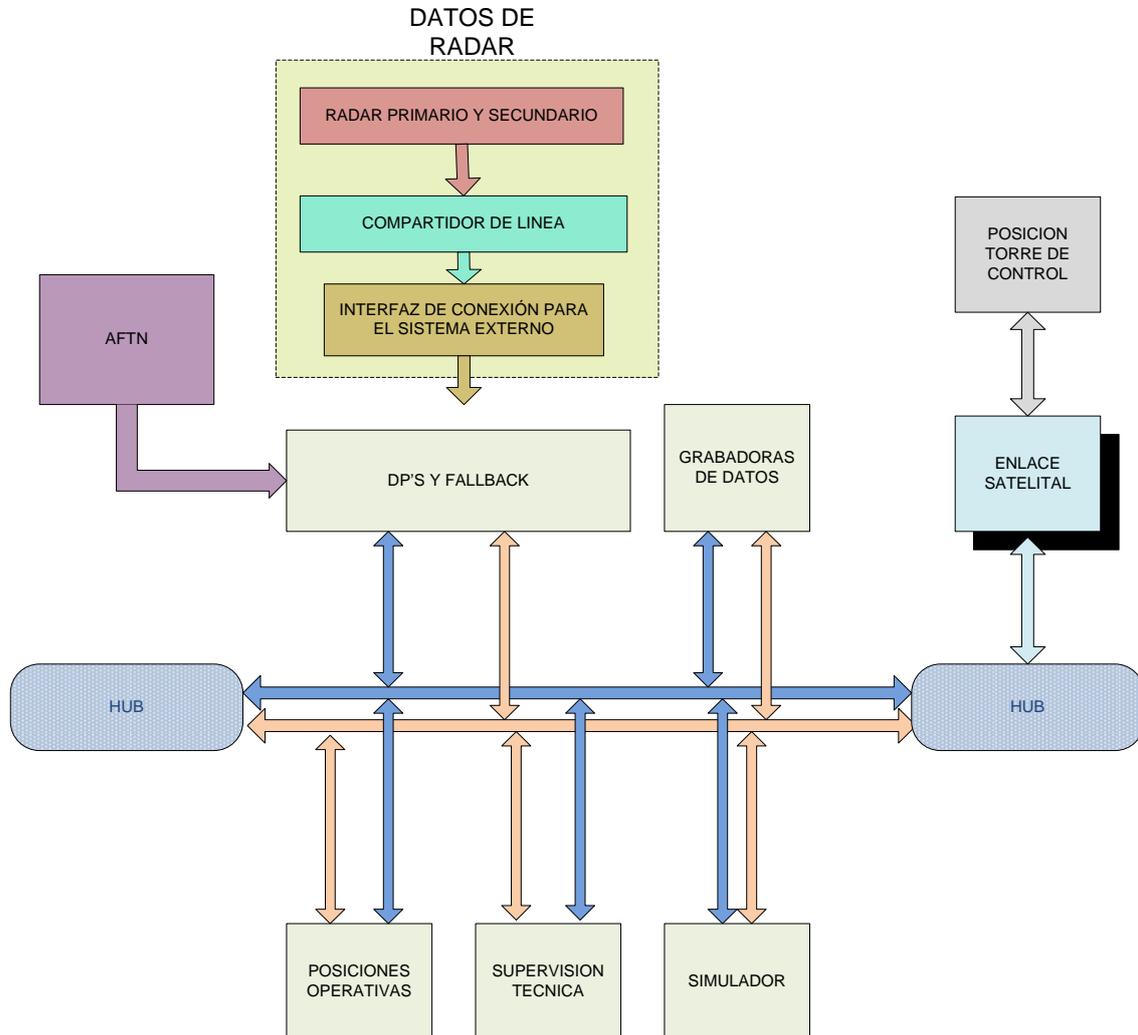


Figura. 3. 2. Diagrama en bloques de la arquitectura

#### 3.4.1 Datos de radar

Los datos recibidos tanto del radar primario como radar secundario son enviados a la unidad de compartición de línea<sup>47</sup> TL 553 (4 líneas) cuyo propósito es dividir los datos de radar conectados a los *LINES BOX* (interfaz de conexión del sistema externo con las LAN).

<sup>47</sup> line shearer

### 3.4.2 DP's y Fallback

Recibe datos de radar (TL 553, compartidor de 4 líneas) y AFTN (TL 601, compartidor de 2 líneas), estos datos son enviados mediante LINES BOX al computador *Digital Alpha Station*. Los datos son procesados en este computador de datos *DECAAlpha* (DP<sup>48</sup>), el propósito del equipo DP es manejar los datos de radar, procesar las pistas locales, las pistas del sistema y el plan de vuelo.

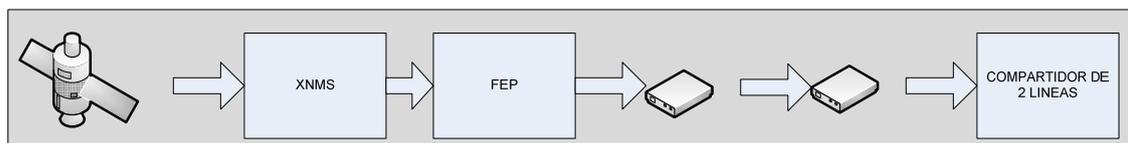
En caso de una falla de las dos DP's, las pistas locales que provienen del procesador *Fallback* pueden ser usadas para desplegar la situación aérea.

### 3.4.3 Red Fija de Telecomunicaciones Aeronáuticas (AFTN<sup>49</sup>)

La red AFTN está encargada de manejar varios tipos de mensajes (Servicio de tráfico Aéreo –ATS<sup>50</sup>–, meteorológico, Mensajes de Servicio al personal aeronáutico –NOTAM<sup>51</sup>–, etc) provee un enlace con el Eurocat, para entregar los mensajes necesarios para el Control de Tráfico Aéreo.

Los dispositivos que se usan son:

- Elementos de comunicación satelital
- Sistema de administración externa de la red (XNMS<sup>52</sup>).- muestra toda la configuración del sistema. Todas las alarmas son manejadas por este nodo. Con la ayuda de la base de datos del sistema, la red puede ser configurada y monitoreada.
- FEP<sup>53</sup>.- distribuidor de datos
- Módems
- TL601.- compartidor de 2 líneas.



**Figura. 3. 3. Flujo de mensajes AFTN**

<sup>48</sup> Data Processor

<sup>49</sup> Aeronautical Fixed Telecommunications Network

<sup>50</sup> Air Traffic Service

<sup>51</sup> NOtice To AirMen

<sup>52</sup> External Network Management System

<sup>53</sup> Front End Processor

#### 3.4.4 Grabadoras de Datos

Para grabar los datos en el Eurocat, a ser usados para reproducciones y propósitos de análisis, el centro tiene una Grabadora de Datos Radar. La reproducción es realizada en cualquiera de las posiciones del controlador, supervisión técnica u operativa. Los datos grabados son almacenados sea sobre un disco duro o sobre una cinta de audio digital.

La grabadora recibe los datos modulados en referencia de tiempo GORGY TIMING (trabaja con el Sistema de Posicionamiento Global GPS para generar la información de tiempo) y los datos de Sincronización desde el equipo ATIS (marca de la grabadora) divididos en unidades de compartición de línea TL 601. Los datos de referencia de tiempo son enviados a los equipos VCCS y ATIS y a la estación *Digital Alpha Station*.

#### 3.4.5 Posiciones Operativas

La integran las estaciones de trabajo de los Controladores de Tráfico Aéreo y el Supervisor ATC el cual vigila operativamente todo el Sistema APP.

##### POSICION ATC

- Presentan todo el Tráfico Aéreo en las pantallas de acuerdo al rango seleccionado.
- Presentan el tráfico aéreo correlacionado y/o indicativos de alarma
- Imprimen las fajas de progreso de vuelo.
- Posibilitan crear y/o modificar los planes de vuelo, mapas video.
- Manipulan el *software* para planes de vuelo repetitivos



**Figura. 3. 4. Posición ATC**

Cada posición ATC está compuesta de dos pantallas (de 32 y 21 pulgadas) un computador *Digital Alpha Station*, dos relojes digitales, una impresora de fajas de progreso de vuelo de papel térmico, dos teclados, dos paneles telefónicos y dos paneles de frecuencias.

La posición del supervisor ATC dispone de las mismas unidades más una impresora para estadísticas del tráfico aéreo.

### **3.4.6 Supervisor Técnico**

- Monitorea la presentación de señales radar.
- Administra y monitorea el sistema *Eurocat*.
- Actualiza mapas video.
- Actualiza formatos de fajas de progreso de vuelo.
- Actualiza la base de datos de los planes de vuelo repetitivos.



**Figura. 3. 5. Supervisor Técnico**

La posición está compuesta por un computador *Digital Alpha Station*, tres pantallas (dos de 21 y una de 19 pulgadas), un reloj, una impresora, teclados, panel telefónico, panel de frecuencias y la posición de monitoreo remoto del radar (pantalla de 21 pulgadas).

### **3.4.7 Simulador**

El sistema APP tiene un sistema de entrenamiento. Este equipo permite la operación de varios ejercicios con diferente configuración de entrenamiento. La mayoría de las funciones son idénticas a aquellas existentes en la sala de control ATC.

La posición está compuesta de un computador *Digital Alpha Station*, un reloj digital, panel telefónico, un panel de frecuencias y una impresora.

### **3.4.8 Enlace Satelital**

El video de las pantallas de la sala de control radar se envía a una posición remota ubicada en la torre del Aeropuerto Mariscal Sucre (AMS) utilizando la red satelital de la DAC. Se ha conformado una red WAN utilizando *routers* para ingresar y salir del sistema satelital.

### 3.4.9 Posición Torre (TWR<sup>54</sup>)

La posición está compuesta por un computador *Digital Alpha Station*, pantalla (21 pulgadas), panel telefónico y de frecuencias, dos relojes y una impresora de fajas de progreso de vuelo de papel térmico.

## 3.5 VIGILANCIA RADAR

La acción de seguimiento e identificación de una aeronave a lo largo de toda su trayectoria para evitar que unas aeronaves irrumpen en la ruta de otras con la ayuda del radar es lo que denominamos servicio de vigilancia radar.



Figura. 3. 6. Antena Radar

### 3.5.1 Clientes Vigilancia Radar

- El cliente directo de vigilancia radar es el personal de Control de Tránsito Aéreo, para realizar su trabajo.
- Clientes indirectos son las tripulaciones aéreas en vuelo y las aerolíneas.

## SERVICIO VIGILANCIA RADAR

- Detección radar de los eventos de la aeronavegación.
- Visualización en tiempo real del progreso de los vuelos en el área circunscrita a la estación.

---

<sup>54</sup> Tower

- Soporte en comunicaciones tierra-aire, y en requerimientos de energía.
- Señal radar primario.
- Señal radar secundario.
- Señal canal meteorológico
- Comunicaciones móviles aeronáuticas.
- Los usuarios de estos servicios, (personal ATC) hacen uso de estas facilidades, modifican: los mapas video, la base de datos (planes de vuelo) y las fajas de progreso de vuelo. Además crean Tráfico Aéreo ficticio (simulador) usando el sistema *Eurocat*.

### 3.5.2 Proceso de Vigilancia



Figura. 3. 7. Proceso de Vigilancia Radar

En el proceso de Vigilancia se van a tener variables de entrada que serán los insumos; un proceso el cual generará un producto. Por tanto se cuenta con energía, un software y equipos radar los cuales realizarán la detección dando como resultado la señal radar; ésta a su vez y junto con el *software* y hardware se convertirán en una interfaz gráfica mediante la decodificación.

### 3.5.3 Infraestructura que soporta el Servicio de Vigilancia Radar

1. Radares: Primario y Secundario
2. Sistema *Eurocat* - VCCS
3. Comunicaciones móviles aeronáuticas
4. Sistema ininterrumpido de electricidad y de emergencia.
5. Equipos complementarios

## 1. RADARES

### RADAR PRIMARIO



**Figura. 3. 8. Radar Primario STAR 2000**

#### *Alcance*

Para una potencia de salida de 10 KW se tiene un alcance en la instalación del radar de Quito de 60NM

#### *Frecuencias de operación*

El radar primario opera en el rango de 2725 a 2750 MHz, y es la encargada de establecer la posición y distancia de la aeronave.

#### RADAR PRIMARIO STAR 2000

- Antena AN2000S
- MWA<sup>55</sup>: Amplificador de microonda
- LNA<sup>56</sup>: Amplificador de bajo ruido
- Transmisor
- Receptor
  - Procesamiento canal meteorológico
  - Procesamiento canal avión
- TR<sup>57</sup>2000: Tratamiento Radar
  - MTI<sup>58</sup>: Indicador de blancos móviles (aeronave).

---

<sup>55</sup> Microwave Wave Amplifier

<sup>56</sup> Low Noise Amplifier

<sup>57</sup> Treatment Radar

<sup>58</sup> Moving Target Indicator

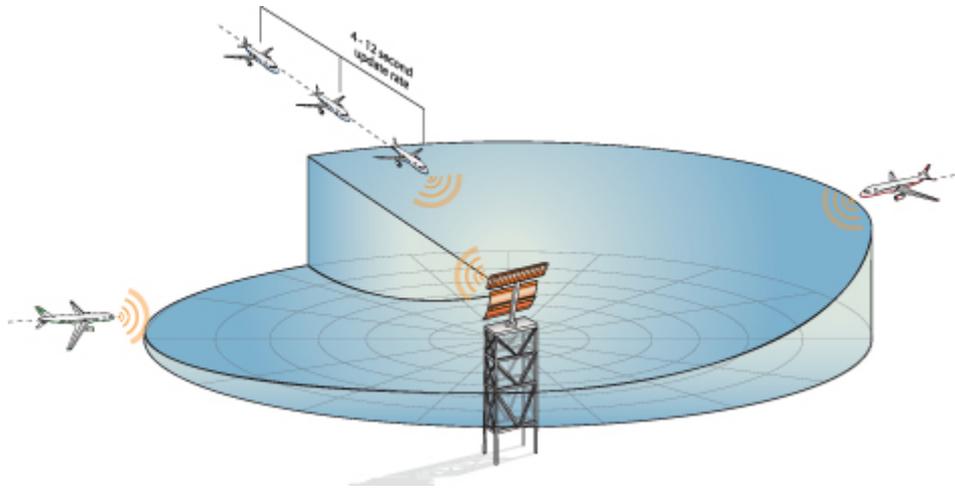
*COMPONENTES RADAR PRIMARIO*

**Figura. 3. 9. Componentes (vista frontal)**



**Figura. 3. 10. Componentes (vista posterior)**

## RADAR SECUNDARIO



**Figura. 3. 11. Antenas SSR giran a una relación de 15RPM, recibiendo réplicas desde la aeronave con transpondedores Modo A, C y S.**

El radar secundario en la instalación de Quito trabaja en modo 3/A-C.

### *Alcance*

Para una potencia de 5 KW se tiene un alcance de 250NM en condiciones ideales.

En el radar de Quito, se ha comprobado un alcance de 180NM al norte a una altitud de 42000ft con una aeronave grande, hacia el sur se ha detectado a 106NM con una aeronave de FAE a 40000ft de altitud.

### *Frecuencias de operación*

El radar secundario opera interrogando en 1030 MHz y recibiendo las respuestas en 1090 MHz, permite la identificación de la aeronave, altitud a la que se halla, velocidad, tipo de máquina y turbulencia que deja.

Ambas señales, del radar Primario y Secundario son procesadas y asociadas para ser mostradas en la pantalla radar simultáneamente.



**Figura. 3. 12. Radar Secundario RSM 9701**

### RADAR SECUNDARIO MONOPULSO RSM 970I

- Antena AS 909
- Interrogador/receptor I/R
- RPC<sup>59</sup> 2000
- TR 2000
- ADU<sup>60</sup>

### COMPONENTES RADAR SECUNDARIO



**Figura. 3. 13. Componentes (vista exterior)**

<sup>59</sup> Replay Processor Correlator

<sup>60</sup> Azimuth Distribution Unit

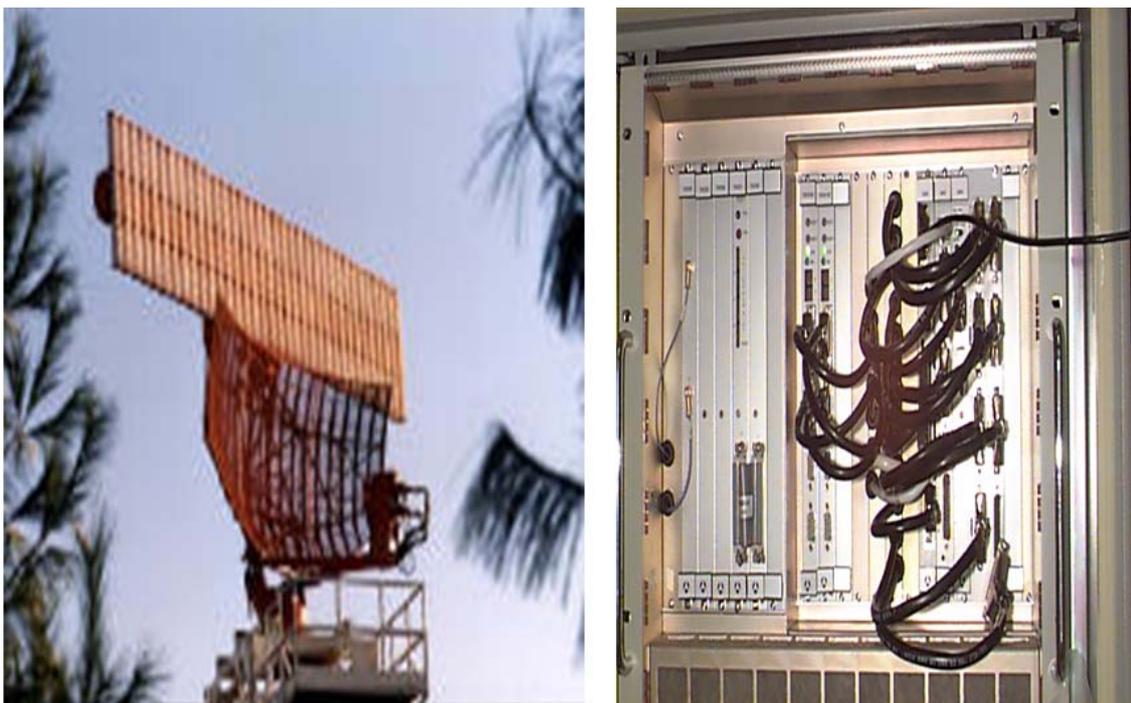


Figura. 3. 14. Componentes (antena y vista interior)

PROCESADOR RADAR TR 2000



Figura. 3. 15. Componentes (vista interior)

## 2. SISTEMA EUROCAT

- Recibe *tracks* (pistas) del sistema radar (señal radar) y es tratado por los procesadores de datos.
- Presenta información radar mediante una interfaz gráfica, las aeronaves en sus rutas de acuerdo a la información de los planes de vuelo.
- Brinda seguridad a todas las aeronaves dentro del área circunscrita a la cobertura radar, respetando las reglas OACI.
- Genera tráfico aéreo ficticio, para uso en el simulador de entrenamiento.

### ARQUITECTURA DEL EUROCAT

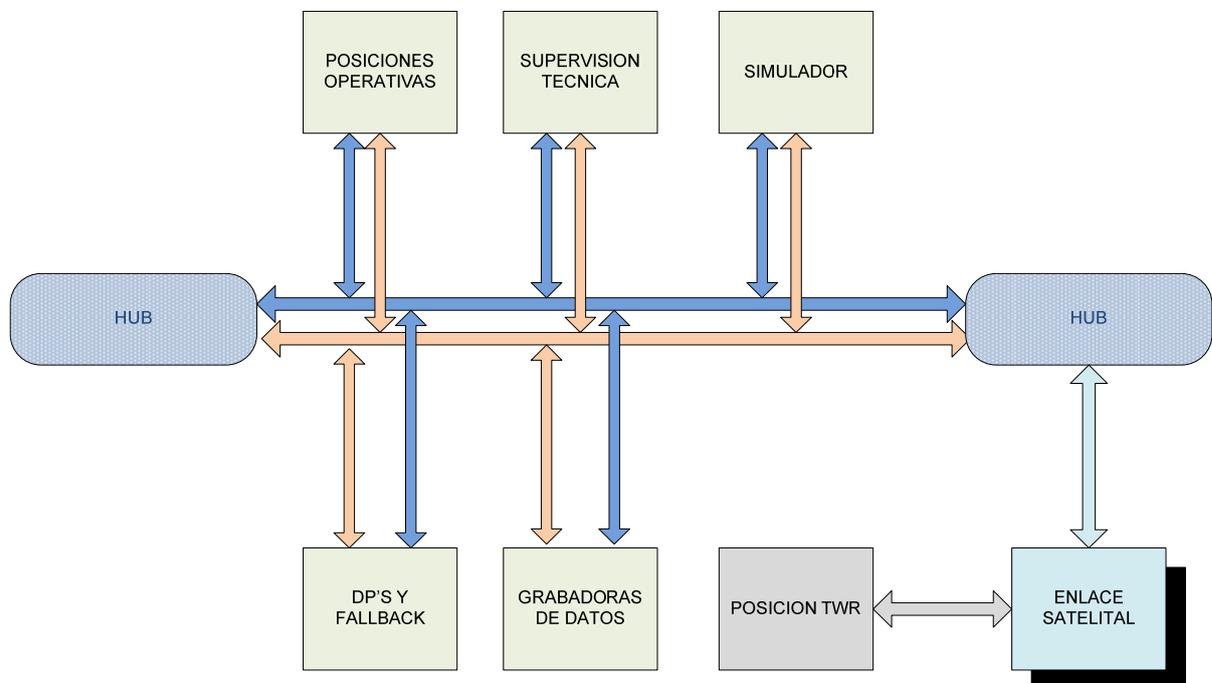


Figura. 3. 16. Arquitectura Eurocat

### INFRAESTRUCTURA EUROCAT

- Procesador de datos DP
- Procesador *fallback*
- Supervisor técnico
- Supervisor operativo
- ATC1, ATC2
- Torre de control
- Simulador

- Impresora de fajas de progreso de vuelo
- Unidad de cinta TLZ09
- *Lines box*
- *Digital Wan router*

### COMUNICACIONES SISTEMA VCCS

Es un sistema de comunicación de voz digital (VVCS<sup>61</sup>). Monitorea y asegura las comunicaciones entre el operador ATC y las líneas de enlace por teléfono y/o enlaces de radio con las diferentes dependencias involucradas en el Control del Tráfico Aéreo.

### INFRAESTRUCTURA SISTEMA COMUNICACIONES VCCS

- Teléfonos Andinatel, red mode, red satelital, extensiones centrales.
- Frecuencias de radio: aproximación, alterna, torre de control (RX), emergencia, coordinación.
- Panel telefónico y panel de radio.
- Energía ininterrumpida de emergencia (UPS<sup>62</sup>) exclusivo VCCS con autonomía de 8 horas.



**Figura. 3. 17. VCCS**

<sup>61</sup> Voice Communication Control System

<sup>62</sup> Uninterruptible Power Supply

### 3. COMUNICACIONES MÓVILES AERONÁUTICAS

El Servicio Móvil Aeronáutico, está reservado a las comunicaciones aeronáuticas relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos principalmente en las rutas nacionales e internacionales de la aviación civil.

El área de transito aéreo se subdivide en las siguientes dependencias, a las cuales se le da dicho servicio por medio de un canal de voz.

- Aproximación (APP): Proporciona un canal de voz, mediante el cual se brinda información a las aeronaves que se encuentran en el área de aproximación, tiene una cobertura de 40 millas de diámetro con centro en el VOR de Monjas y una altura vertical de 24.500 pies.
- Centro de control de área (ACC): Proporciona un canal de voz de radiofrecuencia con equipos *transceivers* principal y stand by, mediante el cual se gestiona el tráfico de aeronaves en el espacio aéreo de TMA y ruta, su cobertura es todo el territorio nacional, con una altura vertical de 40,000 pies y más.
- TORRE DE CONTROL: Proporciona canales de radiofrecuencia de TWR y GND, además dispone del equipamiento necesario para establecer comunicación con: Aeronaves, Aproximación, y dependencias aeroportuarias. Brinda información a las aeronaves para los aterrizajes y despegues, su cobertura es de 5 millas náuticas, tomando como referencia la pista del aeropuerto y 11500 pies de altura vertical.

### 4. UPS

Este sistema fue diseñado para hacer frente al problema de los apagones, pero a medida del paso del tiempo, se introdujeron una serie de dispositivos adicionales para ser la solución total a los problemas de acondicionamiento de energía.

## 5. EQUIPOS COMPLEMENTARIOS EN LA VIGILANCIA AÉREA EN EL TMA DE QUITO

### *RADIOAYUDAS*

#### A) NO VISUALES

##### 1. Radiofaro No Direccional (NDB<sup>63</sup>)

Radiofaro no Direccional, es el sistema de navegación más antiguo en la aviación, pero aún hoy en día es uno de los más necesarios. Opera en un rango de frecuencia de 190 – 400 KHz. Y su señal es transmitida en todas las direcciones. El equipo receptor a bordo se llama ADF<sup>64</sup> o Localizador automático de dirección.

Mediante un instrumento ADF a bordo del avión, el piloto puede seleccionar la frecuencia de esa emisora, que conoce por las cartas de navegación, y observar la aguja del instrumento, que le indica en qué dirección se encuentra el radiofaro.

Así como la brújula nos señala siempre el norte magnético, la aguja del ADF nos señalará siempre la dirección de la estación NDB que hayamos sintonizado. En este caso debemos girar nuestro avión hasta ubicar esta aguja hacia delante.

Los NDB están situados a lo largo de las principales rutas de navegación aéreas, y sobre todo en las inmediaciones de los aeropuertos, donde siguen siendo de gran utilidad para los pilotos cuando realizan maniobras de aproximación con poca o nula visibilidad. La emisión se realiza en frecuencia media y el alcance es de unas 30 millas náuticas (unos 50 kilómetros).

##### 2. Radiofaro Omnidireccional de muy alta frecuencia (VOR<sup>65</sup>)

Este sistema utiliza señales de radiofrecuencia para obtener el ángulo radial respecto del norte magnético (azimut) en que se encuentra el avión, siempre haciendo referencia a la posición de la estación terrestre con la que el avión permanece en contacto.

---

<sup>63</sup> Non-directional Beacon

<sup>64</sup> Automatic Direction Finder

<sup>65</sup> VHF Omni-diretional Range

Para poder obtener el radial<sup>66</sup>, los sistemas del avión deben comparar las fases de dos señales enviadas por la estación terrestre: una señal de referencia y otra llamada variable, la diferencia de fase entre estas dos señales en el equipo de a bordo nos dará como resultado la posición de la aeronave en relación al norte magnético.

Los sistemas VOR constan de una instalación en tierra, transmisor y antena y una instalación a bordo de la aeronave, compuesta por una antena, un receptor y un indicador.

Frecuencia de trabajo: entre 112 y 118 MHz. (de 108 a 112 MHz para usos especiales).

### 3. Equipo de Medida de Distancia (DME<sup>67</sup>)

Equipo Medidor de Distancia es autónomo pero trabaja generalmente asociado a una estación VOR e indica en el *display* del equipo DME la distancia que hay desde el avión hasta la estación VOR que se halla seleccionada (medida en millas náuticas, NM<sup>68</sup>).

---

<sup>66</sup> El radial es la dirección de vuelo expresado en grados de la esfera terrestre, en la que la emisora VOR se convierte en centro.

<sup>67</sup> Distance Measuring Equipment

<sup>68</sup> Nautical Miles



**Figura. 3. 18. DME**



**Figura. 3. 19. Estación de tierra VOR/DME**

Se trabaja en banda C (960 – 1215 MHz.)

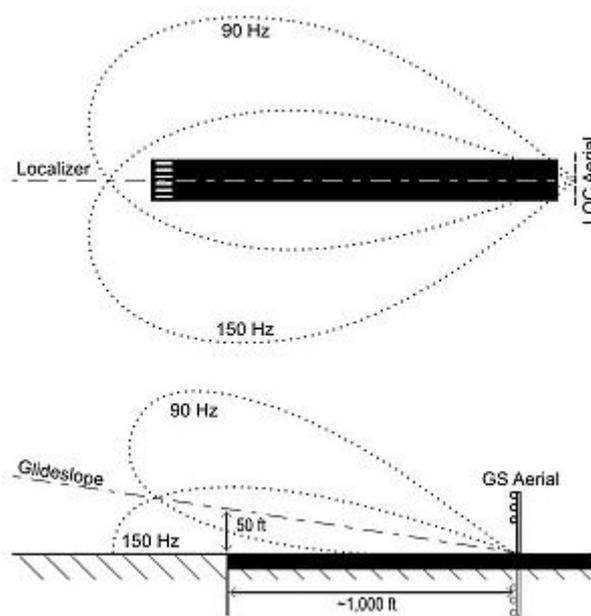
El modo de funcionamiento es bastante simple. Una vez recibidos los 2 pulsos enviados por el avión, se espera un tiempo de 50 segundos antes de responder. El avión calcula el tiempo que ha tardado en recibir la respuesta, obteniendo a partir de éste la distancia.

#### 4. Sistema Instrumental para Aterrizaje (ILS<sup>69</sup>)

Es un sistema de aproximación instrumental de precisión, los equipos de tierra dan la exactitud en la guía de una aeronave en la aproximación a la pista, usando una combinación de señales de radio.

##### PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Un ILS consiste de dos subsistemas independientes, uno para proporcionar una orientación lateral (Localizador), el otro orientación vertical (*glideslope* o senda de planeo) a la aproximación a la pista de una aeronave. La orientación de la aeronave es dada por los receptores del ILS en la aeronave.



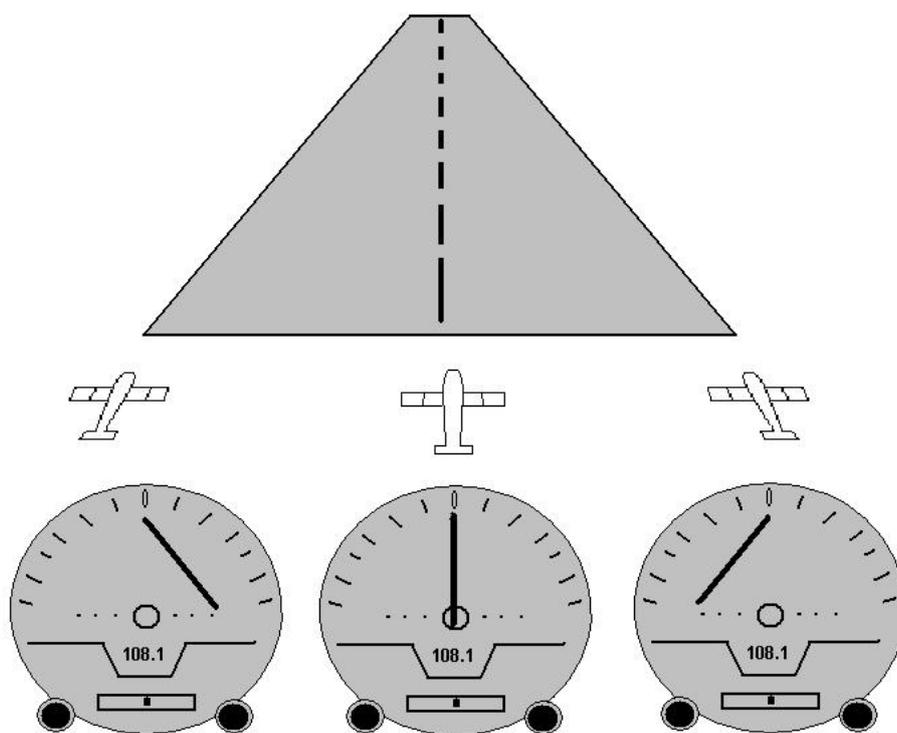
**Figura. 3. 20. Los modelos de emisión de las señales del localizador y *glideslope***

Un arreglo de antenas del localizador está normalmente ubicado más allá del fin de la parte de salida de la pista y generalmente consiste de algunos pares de antenas direccionales. Dos señales son transmitidas entre el rango de frecuencias 108.1 MHz y 111.95 MHz. Una es modulada en 90 Hz, la otra en 150 Hz y éstas son transmitidas en forma separada. Cada antena transmite un haz angosto, uno ligeramente a la izquierda de la línea del centro de la pista, el otro a la derecha.

<sup>69</sup> Instrument Landing System

Un arreglo de antenas *glideslope* o *glidepath* (GP) está ubicado a un lado de la zona de tope de ruedas de la aeronave. La señal GP es transmitida en una frecuencia portadora entre 329.15 y 335 MHz usando una técnica similar a la del localizador. La línea del centro de la señal del *glideslope* está ajustada para definir una pendiente de descenso de aproximadamente  $3^\circ$  sobre la horizontal (nivel de tierra).

Estas señales son mostradas en un indicador de un panel instrumental. El piloto controla la aeronave de manera que las indicaciones en el instrumento (indicador de desvío, de rumbo) permanezcan centradas en el medidor. Esto asegura que la aeronave esté siguiendo el ILS (da orientación lateral). La orientación vertical, mostrada en el instrumento por el indicador *glideslope*, ayuda al piloto a llegar al punto adecuado para el tope de ruedas del avión con la pista.





**Figura. 3. 21. Horizonte artificial.** En muchos aviones, aquí se muestran las dos agujas que marcan la senda correcta del ILS. De estar sintonizado un ILS durante la aproximación, las dos agujas en cruz indicarían que se está realizando correctamente la aeronavegación.

## COMPONENTES

### Radiobalizas

Las radiobalizas operan en 75 MHz y se utilizan para indicar la altura y posición exactas a las que se encuentra el avión durante su aproximación.

Son tres:

1. *Marcador externo* (OM<sup>70</sup>): localizada a 5 millas náuticas del umbral de la pista. Emite rayas en código morse con un tono de 400 Hz; su indicador a bordo, una lámpara de color azul, se enciende cuando la aeronave cruza esta ayuda.
2. *Marcador Medio* (MM<sup>71</sup>): se localiza a 1 milla náutica del umbral de la pista. Emite rayas y puntos en código morse con un tono de 1300 Hz; su indicador a bordo, una lámpara de color ámbar se activa cuando la aeronave cruza esta facilidad. En Quito constituye el punto de decisión, si el piloto no ve la pista debe realizar una aproximación frustrada y realizar una nueva aproximación.
3. *Marcador interno* (IM<sup>72</sup>): cuando está instalada, se ubica para indicar que está a punto de cruzar el umbral de la pista. Emite puntos en código morse con un tono de 3000 Hz, su indicador a bordo, una lámpara de color blanco se activa cuando la aeronave cruza esta ayuda. En Quito, esta facilidad no está instalada, se la está utilizando como punto de giro (TP<sup>73</sup>), que se halla instalada estratégicamente en el

<sup>70</sup> Outer Marker

<sup>71</sup> Middle Marker

<sup>72</sup> Inner Marker

<sup>73</sup> Turn Point

lugar que todas las aeronaves deben girar hacia el lado derecho en el procedimiento de salida.

## B) VISUALES

### 1. Indicador de la pendiente de descenso en la aproximación de precisión (PAPI<sup>74</sup>)

Guía verticalmente a la aeronave hacia la pista.

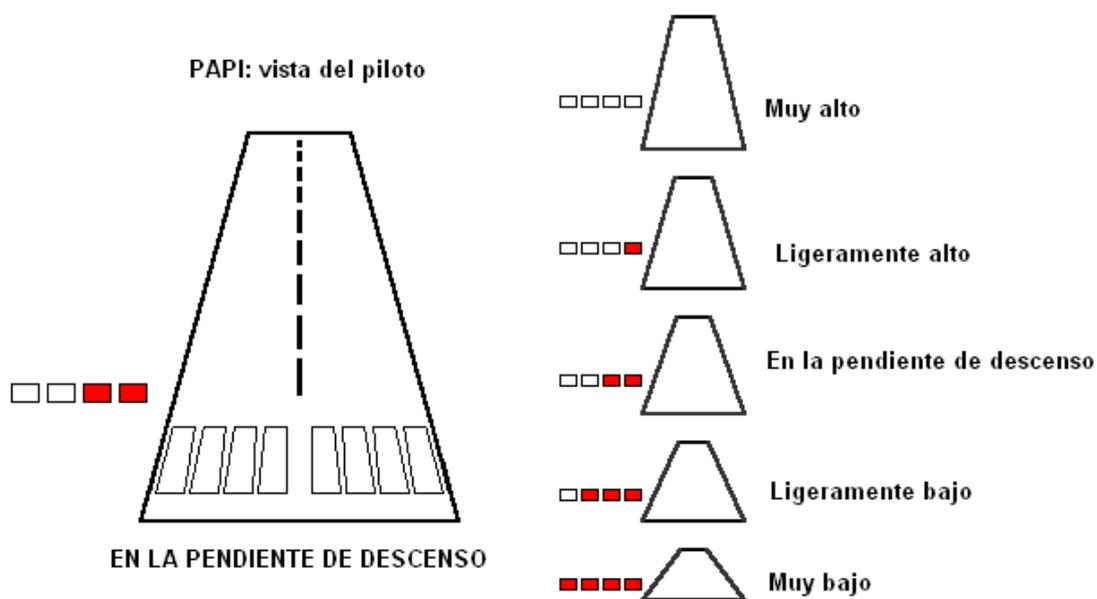


Figura. 3. 22. Vista del piloto con el uso de PAPI

Es un sistema de luces ubicado al lado de la pista que consiste de dos, tres o cuatro cajas de luces que dan una indicación visual de la posición de una aeronave en la pendiente de descenso para la pista.

El PAPI está usualmente ubicado en el lado izquierdo de la pista y puede ser visto hasta 5 millas durante el día y 20 millas en la noche. Tiene dos o cuatro luces instaladas en fila.

Cada caja de luces está equipada con un aparato óptico que divide la luz de salida en dos segmentos, rojo y blanco. Dependiendo del ángulo de aproximación, las luces aparecerán rojas o blancas para el piloto. Idealmente el total de luces cambiará desde rojo a

<sup>74</sup> Precision Approach Path Indicator

medio rojo, moviéndose en sucesión desde la derecha hasta el lado izquierdo. El piloto alcanzará la pendiente de descenso normal (usualmente  $3^\circ$ ). Si una aeronave está bajo el *glidepath*, las luces rojas excederán en número a las blancas; si una aeronave está sobre el *glidepath*, más luces blancas estarán visibles.



**Figura. 3. 23. PAPI individual**



**Figura. 3. 24. El PAPI puede ser visto como cuatro luces blancas al lado izquierdo de la pista. En este caso, el piloto está sobre el *glidepath***

## CAPITULO IV

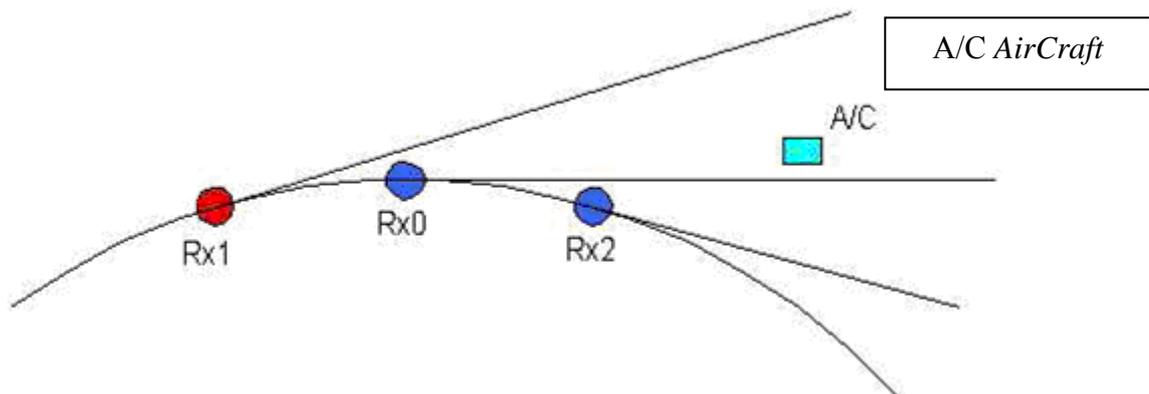
### CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

#### 4.1 SISTEMA BASELINE

El *baseline* es definido como la distancia entre sitios adyacentes.

La altura mínima que un sistema de Multilateración puede ver hacia abajo está regida por el *baseline* de los receptores. Con un sistema MSSR la mínima altura de cobertura está regida por el horizonte radar. Con un sistema de Multilateración el horizonte radar de múltiples receptores debe ser tomado en cuenta.

La distancia máxima entre receptores está determinada por el horizonte de múltiples receptores. Una solución de posición completa en 3D requiere de 4 o más receptores para ver el blanco.

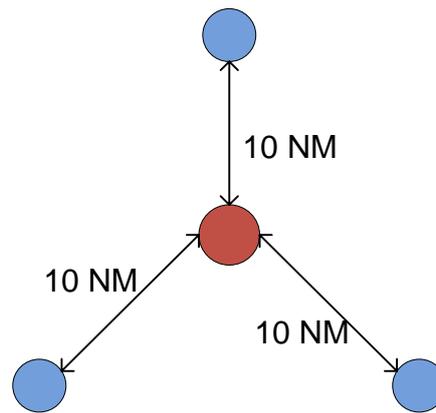


**Figura. 4. 1. Variación de la línea de vista con baseline**

La figura 4.1 muestra el impacto de la curvatura de la tierra en la visibilidad de una aeronave asumiendo un terreno plano con los receptores al nivel de la tierra. En este caso el blanco es visible para Rx0 y Rx2 pero no para Rx1. A partir de éste se puede

observar que el *baseline* del receptor más lejano de un sistema de Multilateración será el del nivel de cobertura más bajo.

El diseño más básico de la Multilateración es un sistema de 4 receptores como muestra en la figura 4.2. En general los *baselines* de 10-20NM están usados para mejorar la cobertura de nivel bajo. Sin embargo el impacto del terreno y la altura de la antena deben ser considerados en algunas especificaciones del diseño del sistema.



**Figura. 4. 2. Diseño básico con 4 receptores**

El diseño básico puede ser extendido por la adición de receptores para incrementar el área de cobertura mientras se mantiene la cobertura baja. La figura 4.3 muestra un diseño con 5 receptores y un sistema de 6 receptores los cuales ofrecen un área de cobertura mucho más grande. El sistema puede ser extendido para cualquier número de receptores para cubrir cualquier área aunque algunas arquitecturas pueden limitar esto.

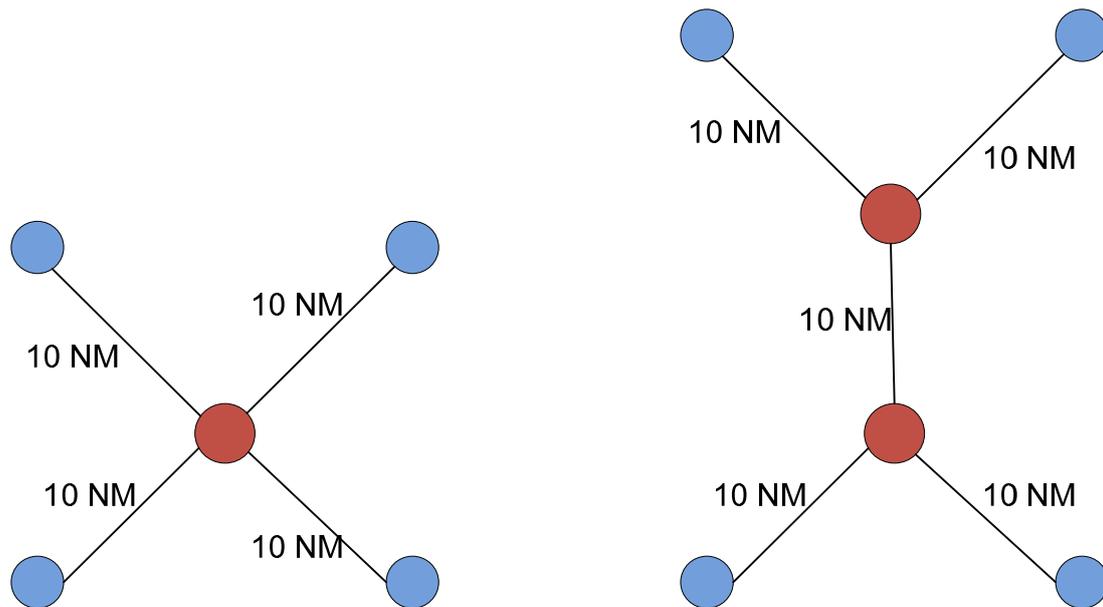


Figura. 4. 3. Diseño extendido con 5 y 6 receptores

Para cubrir áreas amplias con múltiples sensores debe notarse que la figura geométrica requiere diseños unos más adecuados que otros. Esto no es simplemente un caso de identificar la geometría con la más baja densidad del receptor.

#### 4.1.1 Disolución Geométrica de Precisión (GDOP)

La Disolución Geométrica de Precisión (GDOP) es una característica que afecta la precisión de la Multilateración, juntando la precisión de TDOA con la precisión de la posición.

GDOP puede ser dividido en una serie de elementos constitutivos:

- TDOP – tiempo DOP, muchos no pueden ser presentados por sistemas TDOA ya que el tiempo de transmisión no es necesario.
- HDOP – Horizontal DOP; errores geométricos de la raíz de la suma cuadrática de  $x$  y  $y$ . Esto es normalmente inferior para VDOP.
- VDOP – Vertical DOP; el componente vertical de DOP rige la alta precisión. VDOP incrementa ya que la altura de la aeronave disminuye (es decir, altitudes menores tienen menor precisión).

Para aplicaciones de mínima separación vertical (RVSM<sup>75</sup>), las gráficas VDOP son generalmente dadas. VDOP y HDOP están ilustrados en las figuras 4.4 y 4.5 para una topología de 5 sensores a una altura de la aeronave de 35000 pies.

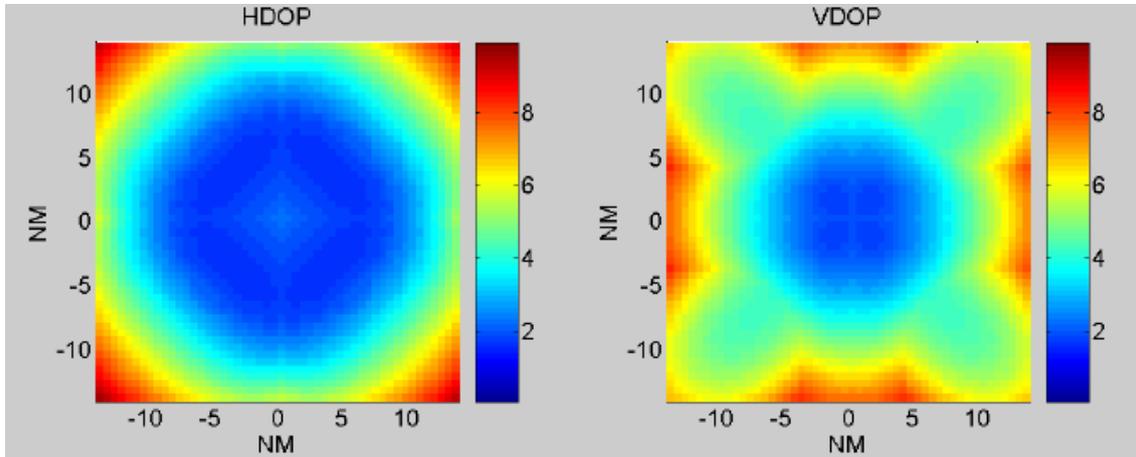


Figura. 4. 4. GDOP para diseño de un cuadrado de 5 receptores

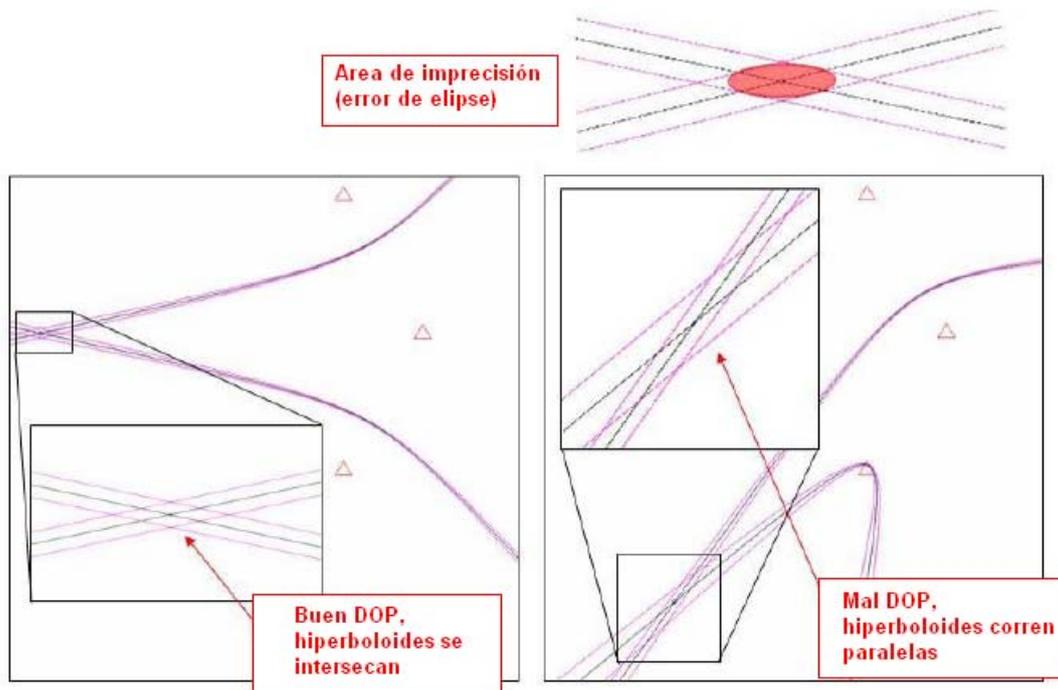


Figura. 4. 5. Ejemplos de DOP

<sup>75</sup> Reduced Vertical Separation Minimum

## 4.2 VIGILANCIA EN LA RUTA

Esta aplicación supone una vigilancia de largo alcance a altitudes típicas de 29000-41000 pies. A esta altura la exactitud no se degradará notablemente en el rango de altura antes indicada.

El más directamente comparable “sistema simple” para un Radar es considerado como un diseño cuadrado-5 (como en la figura anterior de 5 y 6 receptores) pero con una *baseline* grande de 60NM. Esto razonablemente une la variación con la distancia y la forma de la figura de la precisión para un radar simple como se muestra en la siguiente figura. Solamente la precisión horizontal está mostrada ya que el MSSR no puede calcular la altura. Si son necesarios, más receptores fuera de los límites podrían ser añadidos en el *baseline* de las 60NM para formar un pentágono, hexágono, etc. Sin embargo, esto por lo general podría no ser realizado por razones de disponibilidad o cobertura ya que no tendrá un impacto significativo en la exactitud.

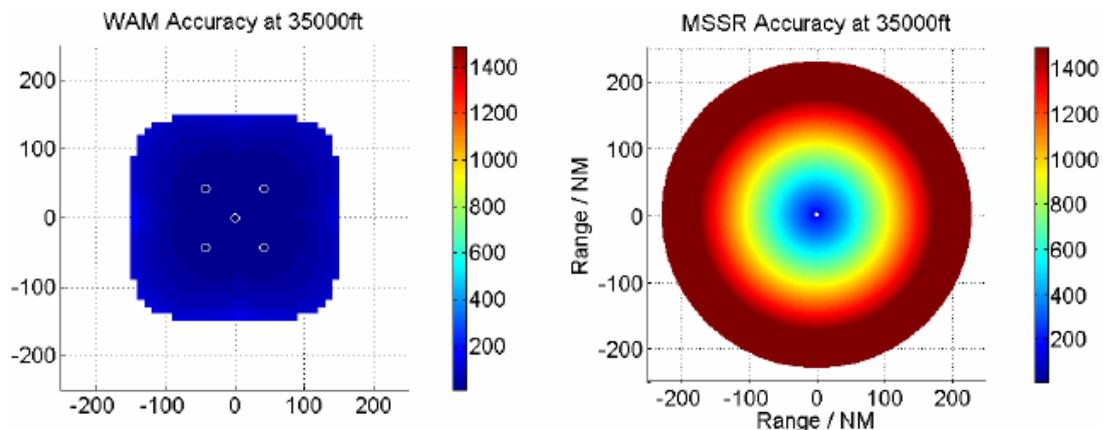


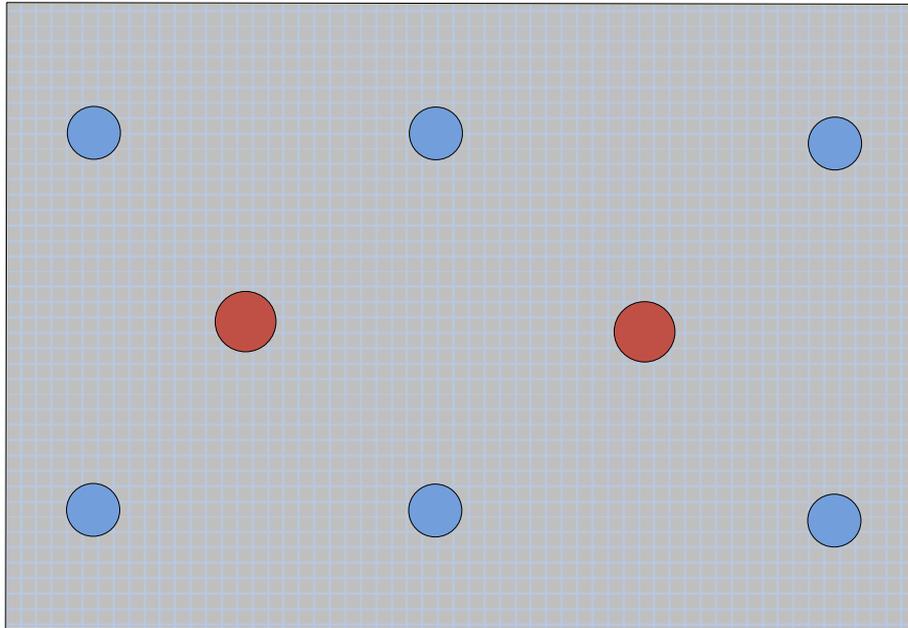
Figura. 4. 6. Precisión WAM vs MSSR para aplicaciones en Vigilancia

En las figuras 4.6 asumen la sincronización de 1nanosegundo las cuales pueden ser mejoradas usando el método de sincronización de vista común GNSS. Para técnicas de precisión más bajas, existirá alguna degradación en la precisión horizontal y una degradación más significante en la precisión vertical.

El área blanca alrededor del borde de la gráfica de WAM indica el rango máximo que puede ser vista la aeronave; con *baselines* más cortas ésta área de no cobertura disminuirá pero la precisión rápidamente se decrementará.

La cobertura en un sistema de Multilateración estará limitada por la línea de vista en rangos cortos de un sistema simple. Para extender la cobertura, existen dos opciones:

1. Formar un sistema contiguo simple comprendido de varios receptores.



**Figura. 4. 7. Diseño extendido de múltiples receptores**

Las ventajas del uso de este sistema son:

- Potencial número reducido de receptores
- Costos más bajos ya que solamente se requiere un procesador de Multilateración.

Las desventajas del uso de este sistema son:

- Necesita el Sistema de Reloj Distribuido o una larga distancia dedicada con enlaces de microonda/fibra óptica para Sistemas de Reloj Común.
- Incrementa la complejidad de algoritmos para múltiples sensores.

2. Usar múltiples grupos de receptores.

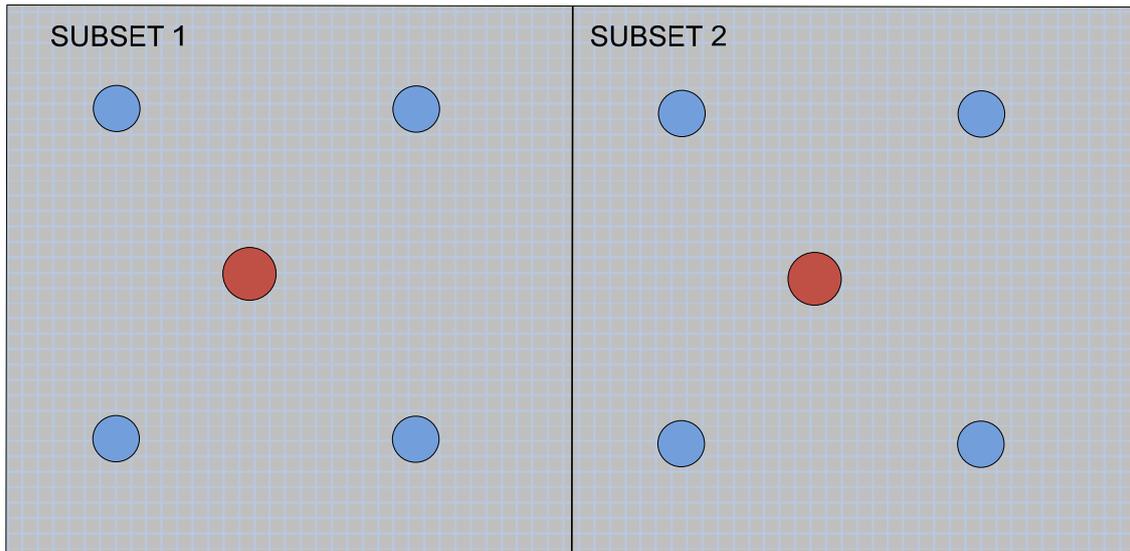


Figura. 4. 8. Diseño de sistema múltiple extendido

### 4.3 LOCALIZACIÓN DEL RECEPTOR Y DESEMPEÑO DE ALTITUD

#### 4.3.1 Efectos geométricos

La precisión del sistema de Multilateración depende de la precisión de TDOA y de factores geométricos, denominados Disolución de Precisión. En general, los factores geométricos vertical y lateral, VDOP y HDOP respectivamente, difieren en general con  $VDOP \geq HDOP$ .

Esto se ilustra en la siguiente figura, usando el estándar Cuadrado-5 medido en un *baseline* de 10NM en dos puntos marcados “A” y “B”.

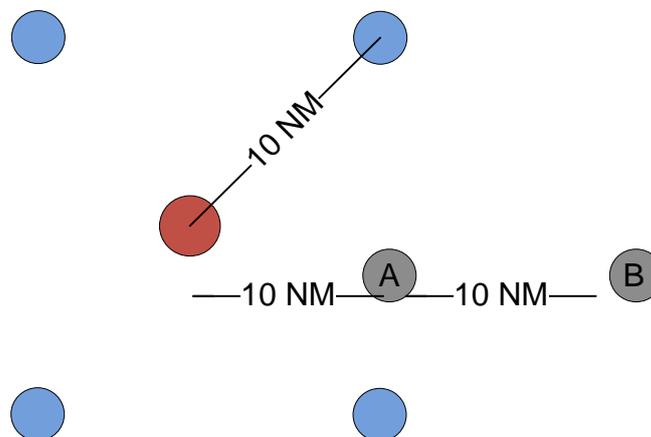


Figura. 4. 9. Medida de cinco sitios para ilustración de VDOP y HDOP

Altura de vigilancia típica de 29000 – 41000 pies HDOP y VDOP son similares.

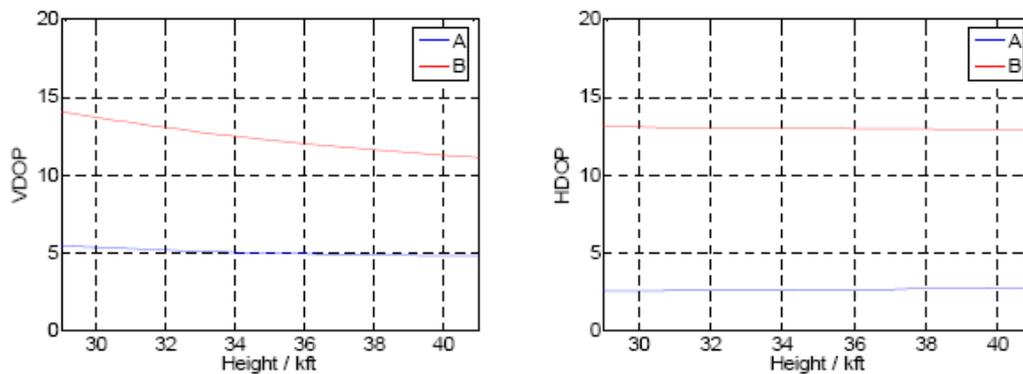


Figura. 4. 10. HDOP Y VDOP desde 29000 – 41000 pies

Sin embargo, con el decremento de la altura VDOP muestra un dramático decremento donde HDOP no lo hace. Note que la escala vertical es 20 veces más grande que la de abajo.

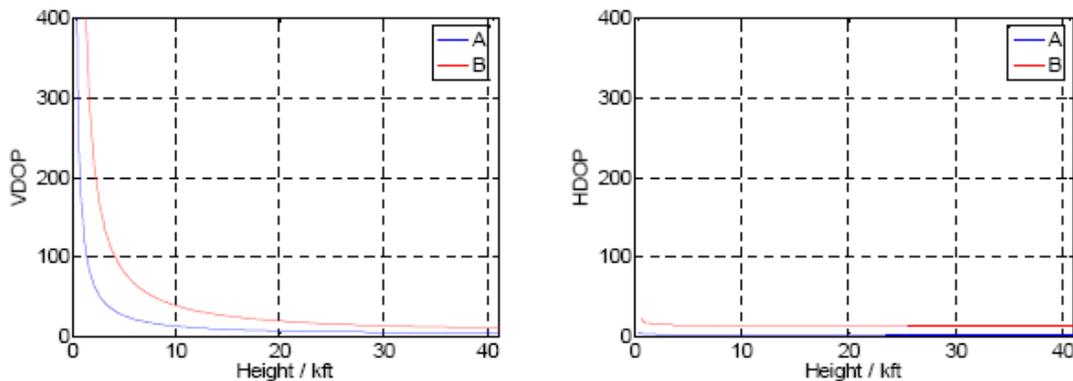


Figura. 4. 11. HDOP Y VDOP desde 0 – 41000 pies

Como se puede observar, un descenso brusco en el gráfico VDOP, existe en aproximadamente 5000 pies, por debajo del cual un incremento dramático en VDOP se puede ver.

#### 4.3.2 Consideraciones de diseño y *baseline*

En comparación con la precisión lateral necesaria para proporcionar el desempeño MSSR, la precisión RVSM es más estricta y generalmente se considera 25 pies RMS. Esto implica que el *baseline* y la subsecuente área de cobertura deben ser reducidos desde el caso lateral con el fin de mejorar la relación señal a ruido y la correspondiente exactitud del tiempo y por tanto la posición. Un incremento de *baseline* también conducirá a un área de cobertura no-uniforme. Esto se ilustra usando una antena con un

ángulo de  $9.5^\circ$  para mejorar la precisión. Todos los gráficos están para una altitud de 35000 pies. Estos gráficos tienen un más bajo “piso” de 15 pies de precisión, crudamente corresponde a la diferencia de alturas en el transpondedor SSR cuando está montado arriba y debajo de una aeronave dando una incertidumbre en la posición cuando se toman juntos.

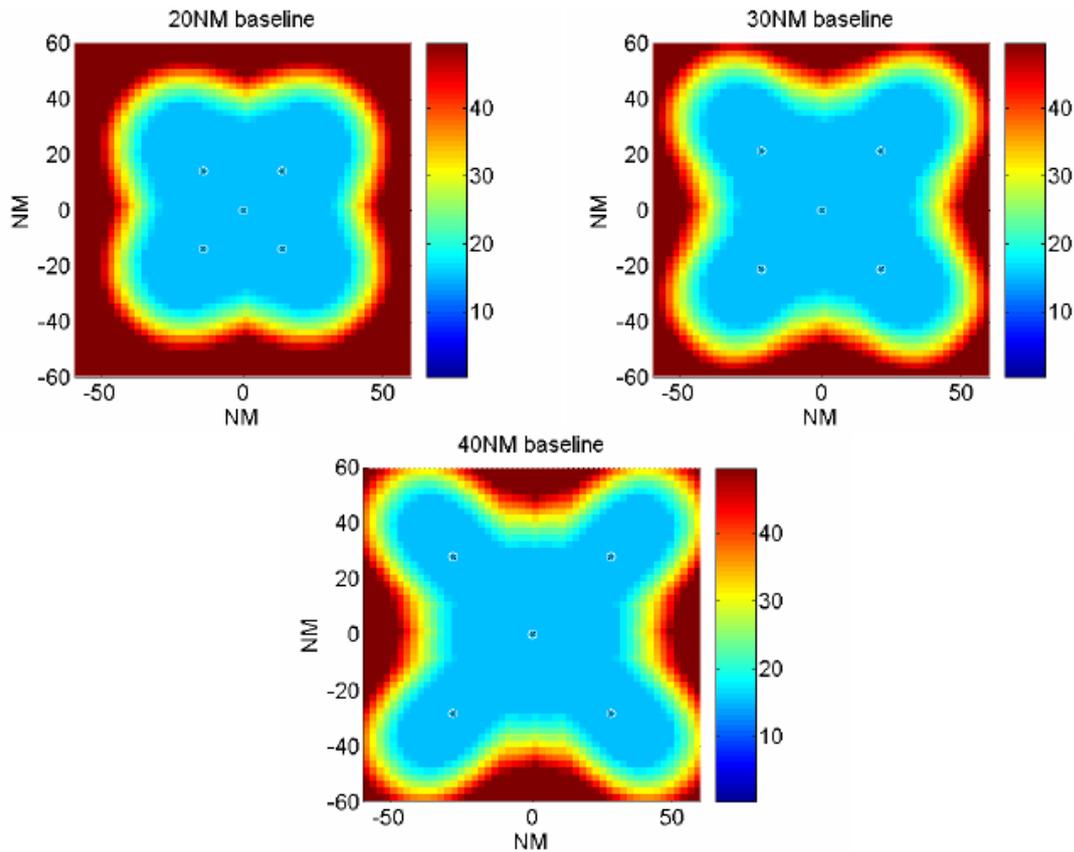


Figura. 4. 12. Precisión de altura (pies) contra baseline

Como se puede ver, sobre *baselines* de 30-40 NM la cobertura no es uniforme.

El diseño del receptor también tiene un efecto marcado sobre la cobertura como se ilustra en los diagramas siguientes.

Un *baseline* nominal de 30 NM es usado.

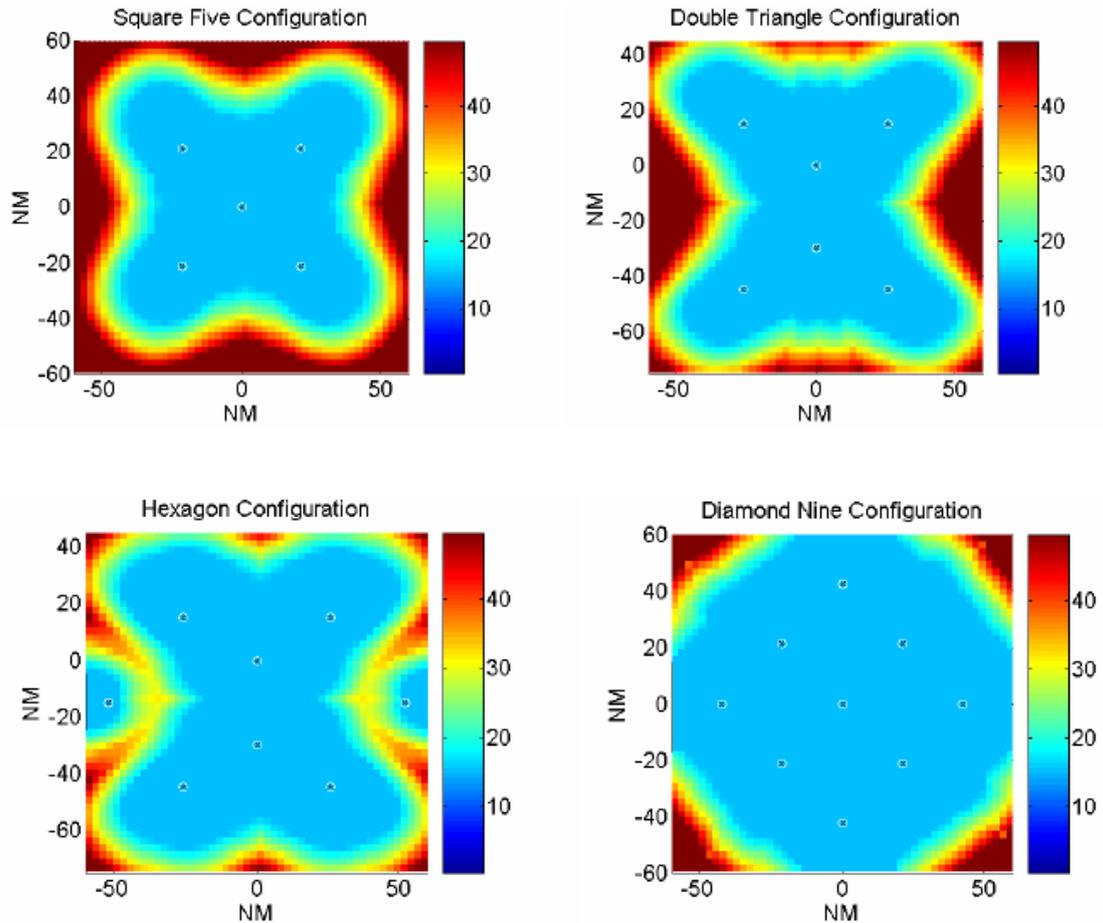


Figura. 4. 13. Precisión vertical (pies) con varias configuraciones

Como se puede ver, la elección del modelo de cobertura no es dada únicamente por la cobertura de cada receptor; los efectos geométricos significan que ciertas configuraciones son notablemente mejor que otras para un número similar de receptores.

La precisión de un sistema WAM puede ser dividido en 3 secciones discretas dependiendo de la altitud de la aeronave, detallado en la tabla 4.1. Note que se asume que los receptores tienen antenas apropiadas, sensibilidad para permitir los requeridos *baselines*/distancias/señal a ruido que deben alcanzarse.

Tabla. 4. 1. Secciones dependiendo de la altitud de la aeronave

TITULO	ALTITUD/PIES	PRECISIÓN LATERAL	PRECISION VERTICAL	BASELINE/NM
Altitud en	~25000+	Muy bueno	Muy bueno	Larga (30-60NM)

<b>vigilancia</b>				dependiente sobre la precisión requerida
<b>Altitud Media</b>	~10000 a 25000	Muy bueno	Cobertura	Mediana (10-30NM)
<b>Altitud baja</b>	<10000	Muy bueno	Pobre	Baja para tener buena visibilidad (10-20NM)

#### 4.4 ELECCION DE ANTENA

La elección de la antena, para señales SSR 1090MHz y GNSS (si se requiere) es crítico y son discutidas en forma separada.

##### 4.4.1 Antena SSR

La antena SSR tiene tres parámetros críticos para esta aplicación:

1. Ganancia pico: La máxima ganancia, acoplada con la sensibilidad del receptor, definirá la cobertura del sistema.
2. Ganancia/Modelo de haz: por el diseño cuidadoso del modelo del haz, los multicaminos pueden ser limitados mientras se asegura la cobertura uniforme con el ángulo de elevación.
3. Ancho de Banda: La elección cuidadosa del ancho de banda limitará el ruido y mejorará el desempeño del sistema.

##### 4.4.2 Antena GNSS

Si un sistema está utilizando sincronización GNSS, es importante que una antena apropiada sea elegida para disminuir el efecto de multicamino e interferencia. Varios otros componentes RF son requeridos en adición para reducir la reflexión interna y así mejorar el voltaje de la relación de onda estacionaria (VSWR<sup>76</sup>).

#### 4.5 RANGO DINAMICO

El rango dinámico indica que rango de niveles de potencia pueden ser detectados simultáneamente por un receptor. Idealmente un receptor debe tener suficiente rango

<sup>76</sup> Ver ANEXO1

dinámico para detectar la aeronave en el mínimo y máximo rango requerido simultáneamente. Si no es posible, señales más bajas pueden ser pérdidas (incluso cuando la potencia se encuentra sobre el nivel de sensibilidad) o un receptor envía dentro de la compresión, distorsión de la señal de salida. Por tanto el rango dinámico y la sensibilidad deben ser considerados conjuntamente cuando se determina la cobertura del receptor.

El rango dinámico nominal que tiene un sensor es de 90dB y una sensibilidad mínima de -90dBm.

#### 4.6 DETERIORO DE LA SEÑAL

La señal del transpondedor recibida por el sistema puede estar sujeta a deterioro. Esto puede ser producido por la combinación de multicaminos, *garble*<sup>77</sup> y potencialmente condiciones de interferencia no intencional o maliciosa.

Multicamino es donde múltiples copias de la misma señal son recibidas debido a reflexiones desde objetos como la tierra, agua, edificios u otras aeronaves. La elección de la antena puede ayudar a reducir el multicamino.

Las diferencias de caminos cortos provocan la misma réplica de llegada muchas veces con pulsos superpuestos. Típicamente los caminos primeros y directos tendrán un nivel más alto que los caminos reflejados. Estas superposiciones pero de pulsos atenuados provocan que la forma del pulso de la señal directa recibida se deforme.

Las diferencias de caminos largos resultan en múltiples copias de la misma réplica para ser recibida. Si esto no es detectado puede provocar *tracks* fantasmas.

*Garble* es en donde dos o más señales diferentes son recibidas con superposición en el tiempo. La probabilidad de que se produzca *garble* en cualquier señal incrementa con la densidad de la señal del medio SSR.

Multicamino y *garble* tienen un impacto en la precisión de los receptores de Multilateración así como afectando la probabilidad de detección. En muchos casos, especialmente con multicamino, la señal por si misma puede ser recuperada

---

<sup>77</sup> Mal recepción de un código en la respuesta SSR

suficientemente para propósitos de identificación. Sin embargo la deformación de la señal afecta la precisión de cualquier medida TOA o correlación cruzada.

## 4.7 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE MULTILATERACION

### 4.7.1 Sincronización Del Tiempo

Transmisor de Referencia

- Da mensajes comunes DF17 a las unidades remotas (*Downlink Format* es la respuesta a la interrogación originada desde el SSR; la tecnología de Modo S tiene 2 tipos de *squitter*<sup>78</sup>, un corto de 56 bits DF11 y el extendido de 112 bits DF17)
- Da monitoreo del enlace RF
- Sincroniza tiempo del sistema
- Estimula la funcionalidad de auto-chequeo del sistema.



Figura. 4. 14. Trasmisor de referencia

<sup>78</sup> Transmisión intencional o no intencional del transpondedor en ausencia de la interrogación.

Fuente del tiempo GPS



**Figura. 4. 15. GPS**

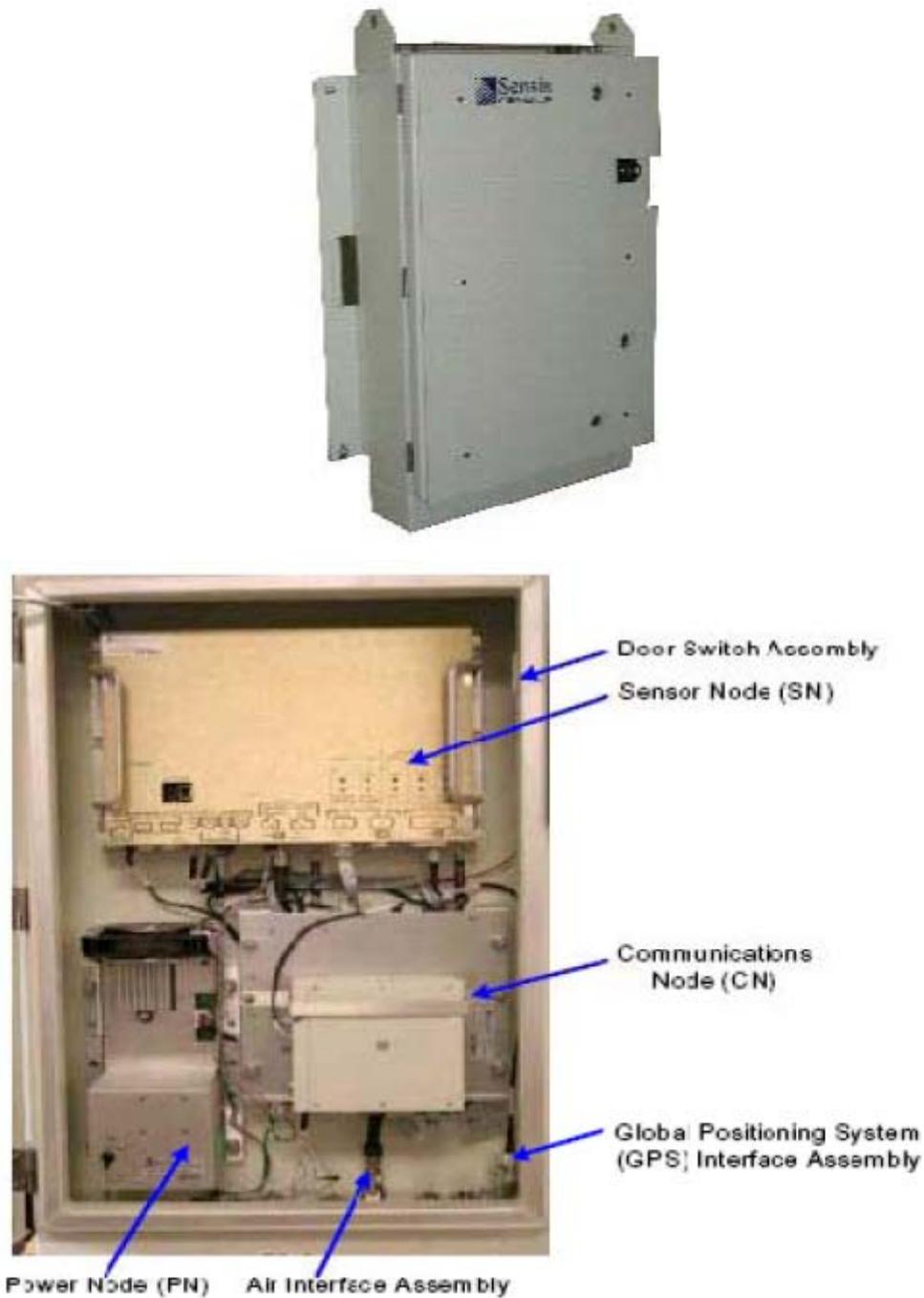
#### **4.7.2 Unidad Remota (RU)**

La empresa SENSIS<sup>79</sup> nos ofrece la unidad remota que tiene las siguientes características:

- Recibe la transmisión
- Decodifica la transmisión, señales de respuesta del transpondedor y mensajes ADS-B.
- Recepción de secuencia de caracteres.
- Selecciona las recepciones para enviar a la estación de procesamiento central.
- Envía ATCRBS o interrogación Modo S (solamente Transmisor de referencia, unidad remota).
- Interroga a los transpondedores para la identificación, altitud y enlace de datos (opcional).

---

<sup>79</sup> Proveedor de Multilateración y ADS-B para la vigilancia en la aeronavegación



**Figura. 4. 16. Unidad Remota**

Por otro lado, la empresa ERA<sup>80</sup> nos ofrece en forma separada los sensores remotos y la estación modular terrestre los cuales tienen las siguientes características:

#### *Sensores Remotos*

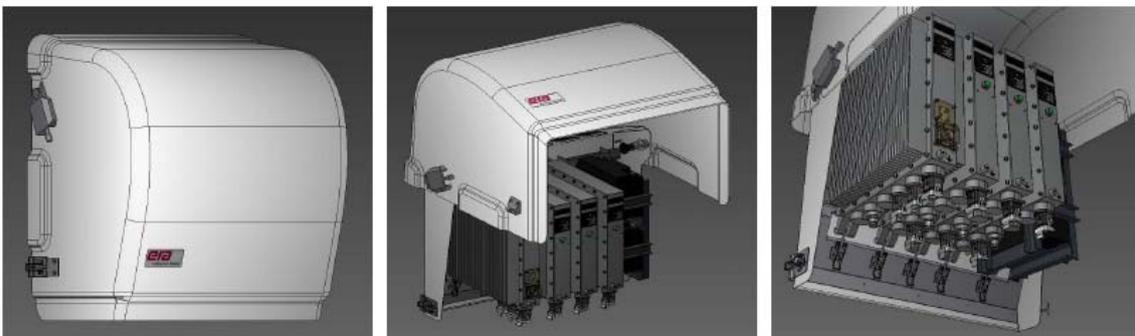
- Rango de temperatura:  $-40^{\circ}\text{C} \rightarrow +60^{\circ}\text{C}$  (al aire libre)

<sup>80</sup> Proveedor de Multilateración y ADS-B para la vigilancia en la aeronavegación

- Humedad relativa: hasta el 100% (implica condensación)
- Acceso a protección: IP67 – sumersión hasta 1m, operación en ambiente polvoriento.
- Resistencia al corrosivo: emisiones industriales, salinidad, neblina
- Formación de hielo: hasta los 15mm
- Velocidad del viento: hasta 50m/s

#### *Estación modular terrestre*

- Cada módulo está sellado para estándares IP67
- Suministro de energía y UPS
  - Batería interna, energía solar opcional
- Decodificador de 1090MHz
  - Opción de UAT (*Universal Access Transceiver*). Incluye diagnósticos
- Procesador y unidad de tiempo
  - GPS
  - TCP/IP y Serial – ASTERIX<sup>81</sup> 21Out, MLAT out
- Módulo (s) de comunicación especial
  - Fibra dedicada, enlaces de microonda
- Módulo Interrogador
  - Conexión separada de la antena
- Antena
  - Diseñada para usar en banda L, tres modelos (rango corto y largo)
  - Antena GPS



**Figura. 4. 17. Estación Modular Terrestre**

---

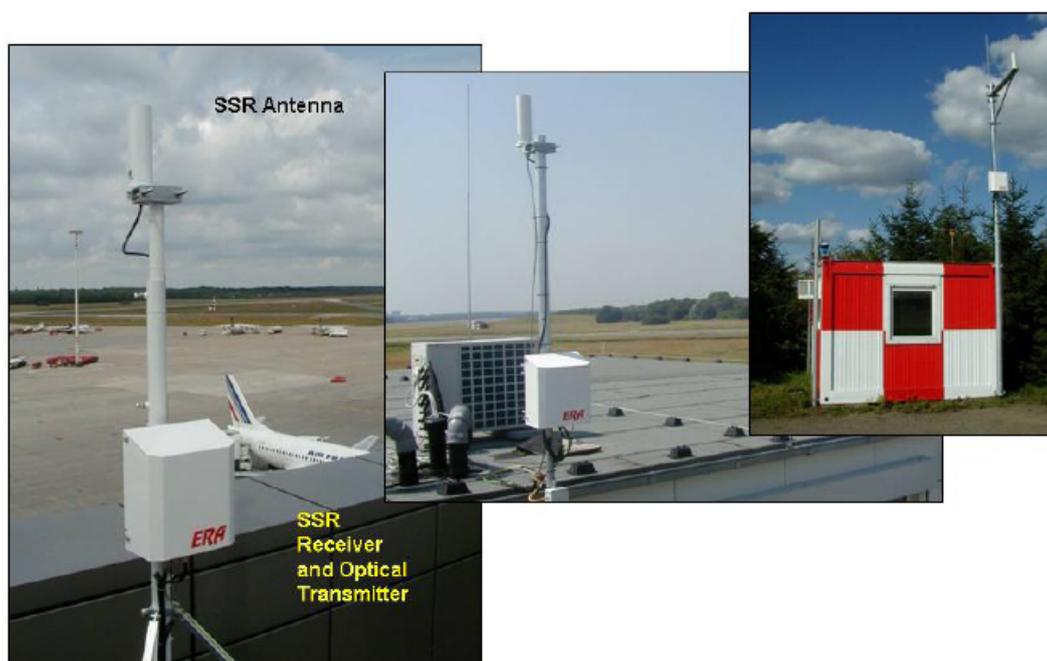
<sup>81</sup> Ver ANEXO2



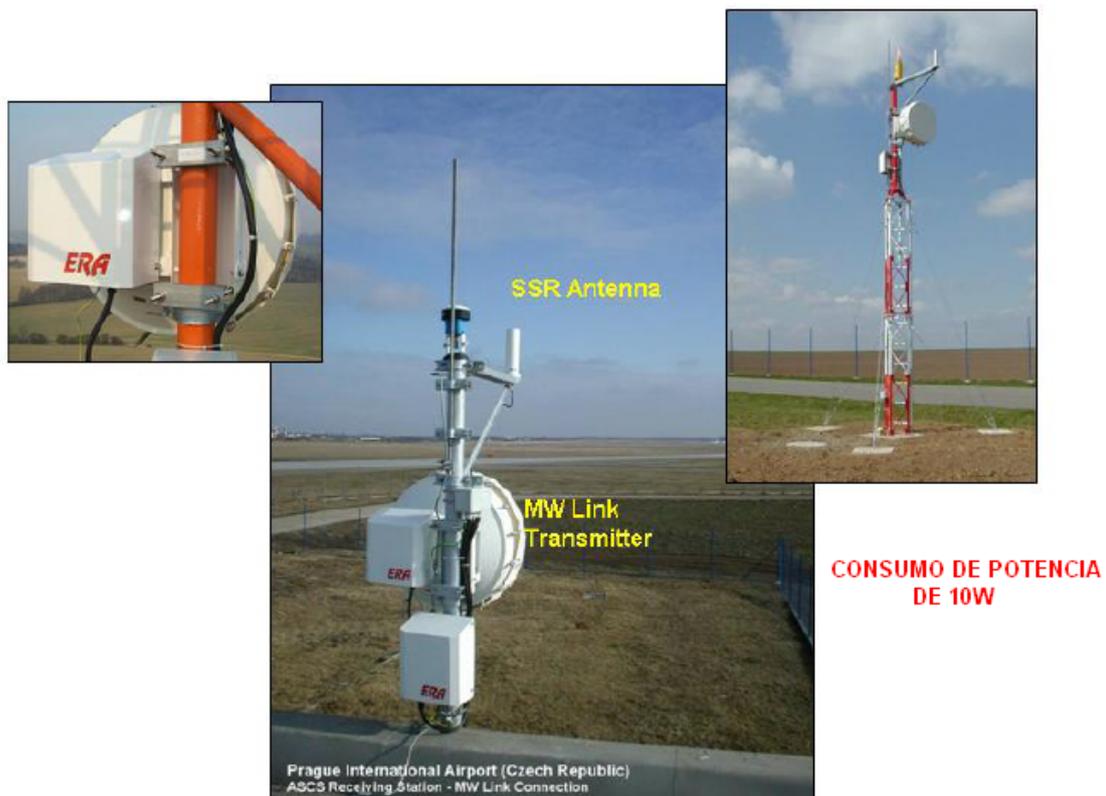
**Figura. 4. 18. Estación Modular Terrestre**

*Estación Receptora por ERA***Figura. 4. 19. Estación Receptora**

## Enlace óptico

**Figura. 4. 20. Enlace Óptico**

## Enlace de microonda



**Figura. 4. 21. Enlace Microonda**  
*Estación receptor/interrogador por ERA*



**Figura. 4. 22. Receptor/Interrogador**

Tabla. 4. 2. Características Receptor/Transmisor

CARACTERISTICA	VALOR
Receptor	Frecuencia de recepción 1090 MHz +/- 3MHz Modo A,C,S, 1090ES ADS-B Impedancia de entrada 50Ω Voltaje de la relación de onda estacionaria máximo 1.5 Sensibilidad: mínimo -90dBm Rango dinámico: nominal 90dB
Transmisor	Frecuencia de transmisión 1030MHz Modo A,C,S

4.7.4 Componentes De Procesamiento

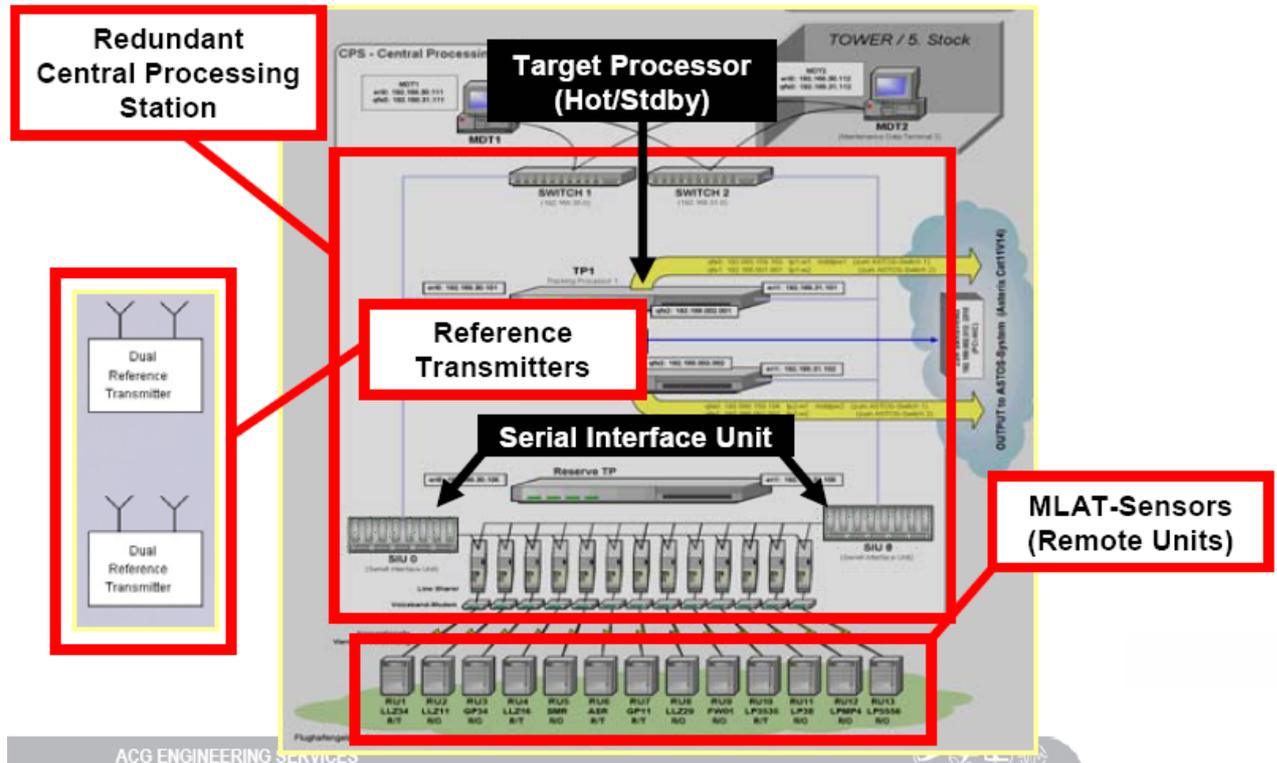


Figura. 4. 23. Diagrama Componentes de Procesamiento

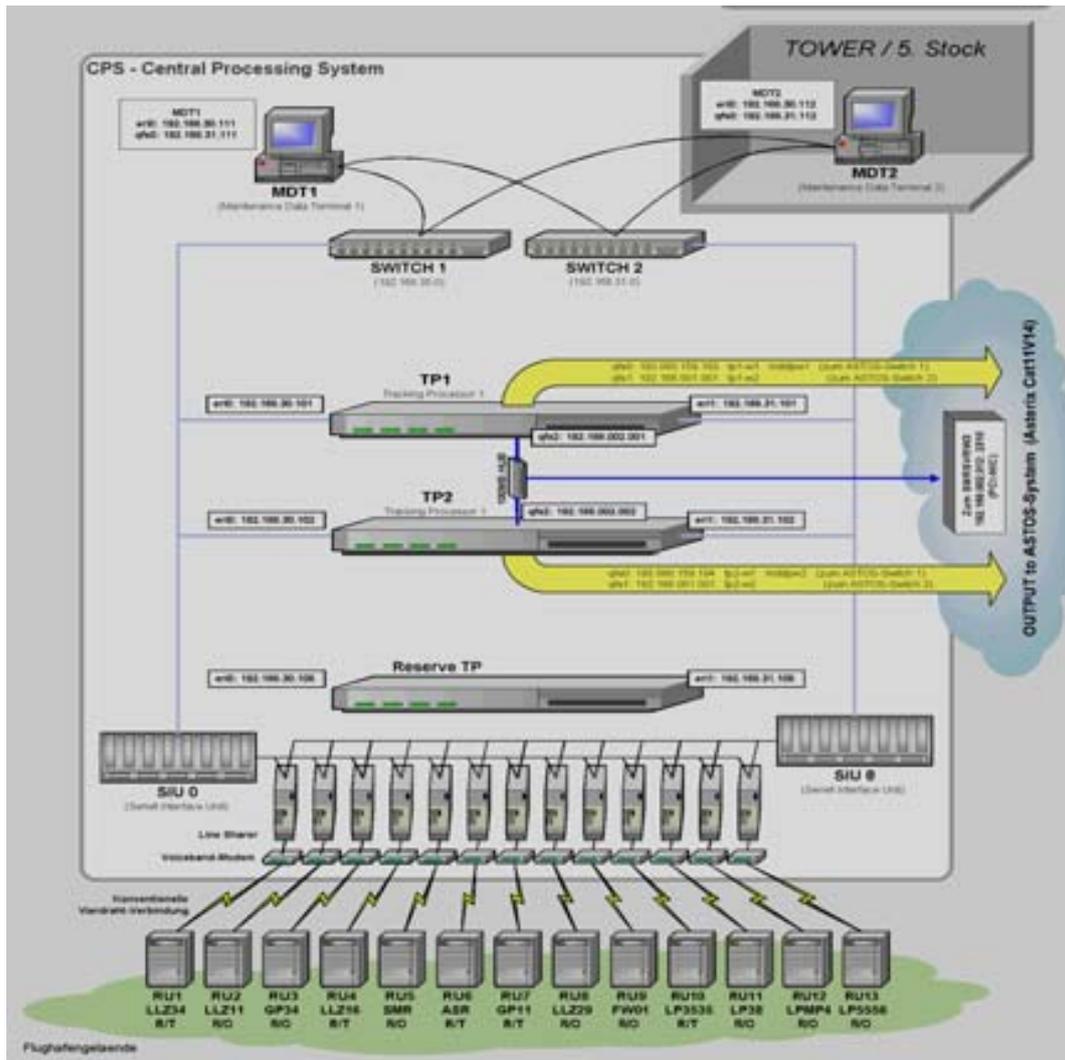


Figura. 4. 24. Estación Central de Procesamiento

#### Estación de Procesamiento Central

- Combina mensajes de la Unidad Remota
- Realiza procesamiento multicamino
- Realiza estimación de posición
- Pistas de los blancos

#### Procesador de blancos

- Calcula y rastrea la posición de los blancos.
- Realiza la correlación de código/llamada.
- Administra las comunicaciones de datos sobre cableado y medio inalámbrico.
- Hace lista de interrogaciones.



**Figura. 4. 25. Estación de Procesamiento Central**

*Típico Rack de Servidor*

- Rack de servidores estándar
- Procesadores de blancos redundante
- Administración de servidores redundante
- Servidores de tiempo NTP<sup>82</sup> redundante
- Switch Cisco capacidad-VLAN
- Procesamiento de TDOA
- Fusión
- Salida
- Administración, Monitor

---

<sup>82</sup> Network Time Protocol, ver Anexo 3



Figura. 4. 26. Rack del Servidor

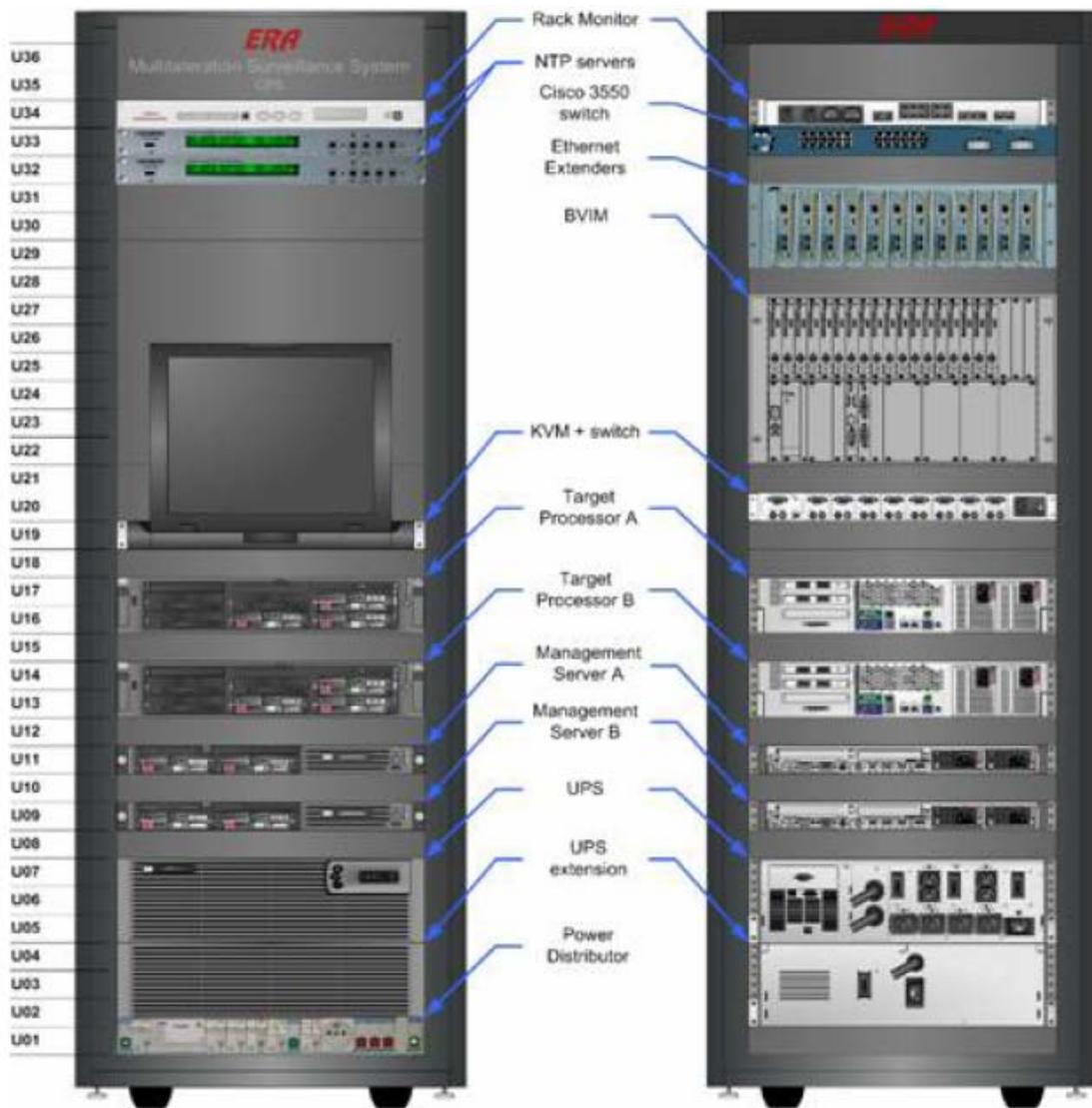


Figura. 4. 27. Rack del Servidor

#### 4.7.5 Terminal de Mantenimiento Central y local

- Proporciona la interfaz al usuario para:
  - Monitoreo del estado del sistema
  - Configuración del sistema
  - Control del sistema
  - Grabación, reproducción y análisis de datos.



**Figura. 4. 28. Terminal de mantenimiento Central y Local**

#### *Consola de administración remota*

- Interfaz de usuario gráfica para presentación del estado y alertas.
- Múltiples perfiles de usuario para control del sistema.
- Integración de Protocolo Simple de Administración de Red (SNMP<sup>83</sup>)
- Diagnóstico para ayudar la identificación y rectificación de fallas.

---

<sup>83</sup> Simple Network Management Protocol, ver Anexo 4

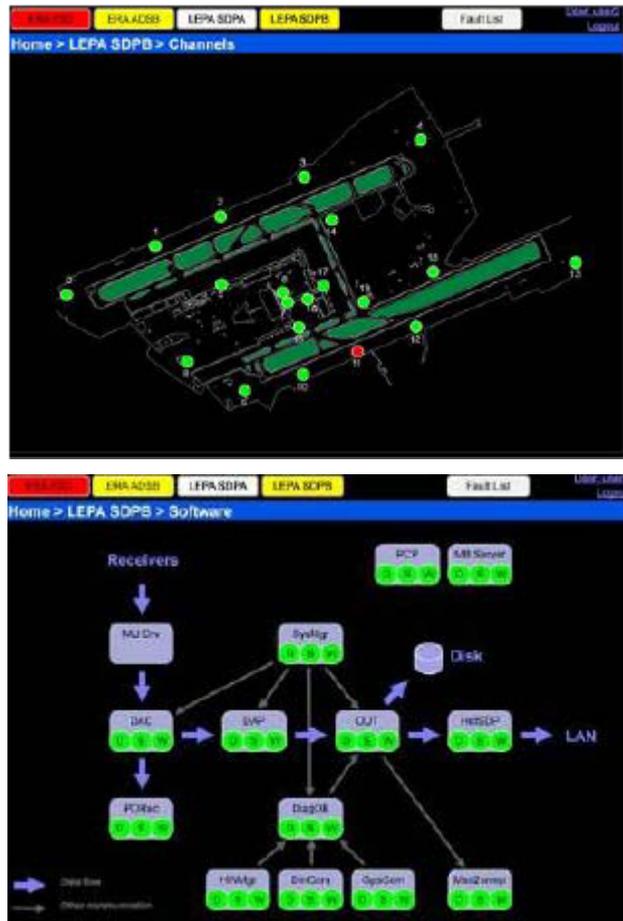


Figura. 4. 29. Interfaz Gráfica

## 4.8 PROPUESTA TECNICA

### 4.8.1 Ubicación del Aeropuerto

Está localizado en la zona de Tababela y Puenbo, a aproximadamente 25 kilómetros al este de Quito.



**Figura. 4. 30. Ubicación Nuevo Aeropuerto de Quito**

#### **4.8.2 Topografía**

El sitio en donde se colocarán los sensores debe ser estratégico para poder cubrir la mayor parte de espacio posible; para ello se debe tomar en cuenta la topografía del lugar ya que debe existir línea de vista entre la mayoría de las estaciones.



Figura. 4. 31. Topografía alrededor del nuevo aeropuerto

#### *Alturas de Montañas*

A continuación se presentan las principales montañas que se encuentran alrededor del aeropuerto y las cuales deberán ser tomadas en cuenta para la ubicación de cada uno de los sensores, principalmente el Ilaló.

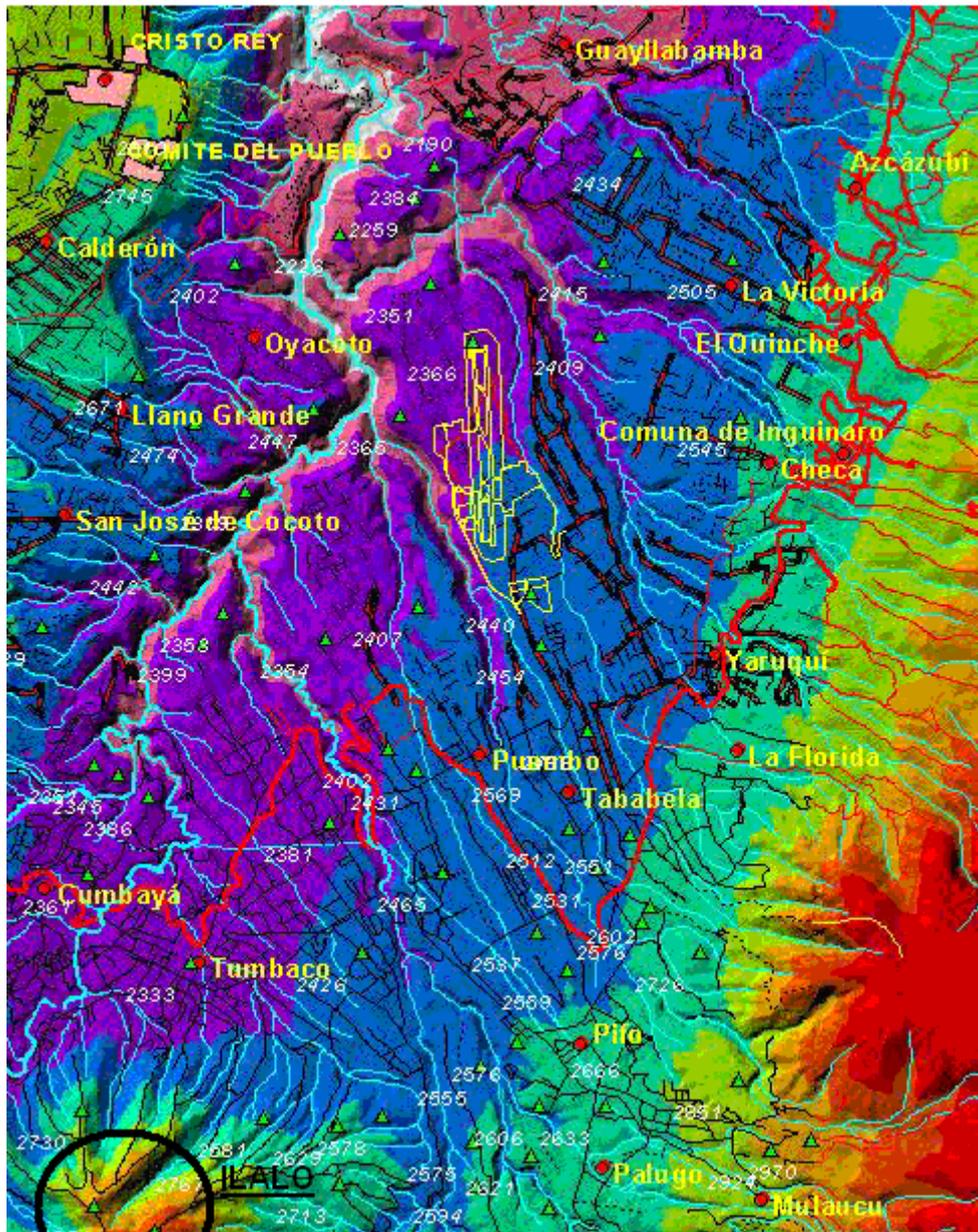


Figura. 4. 32. Alturas de montañas alrededor del aeropuerto

#### *Procedimiento de descenso*

En el diario El Comercio, del día viernes 4 de Julio de 2008, se publicaron las siguientes gráficas en las cuales se puede observar un supuesto procedimiento de aproximación al nuevo aeropuerto de Quito, utilizando las radioayudas (VOR's) que dispone en la actualidad la DAC.

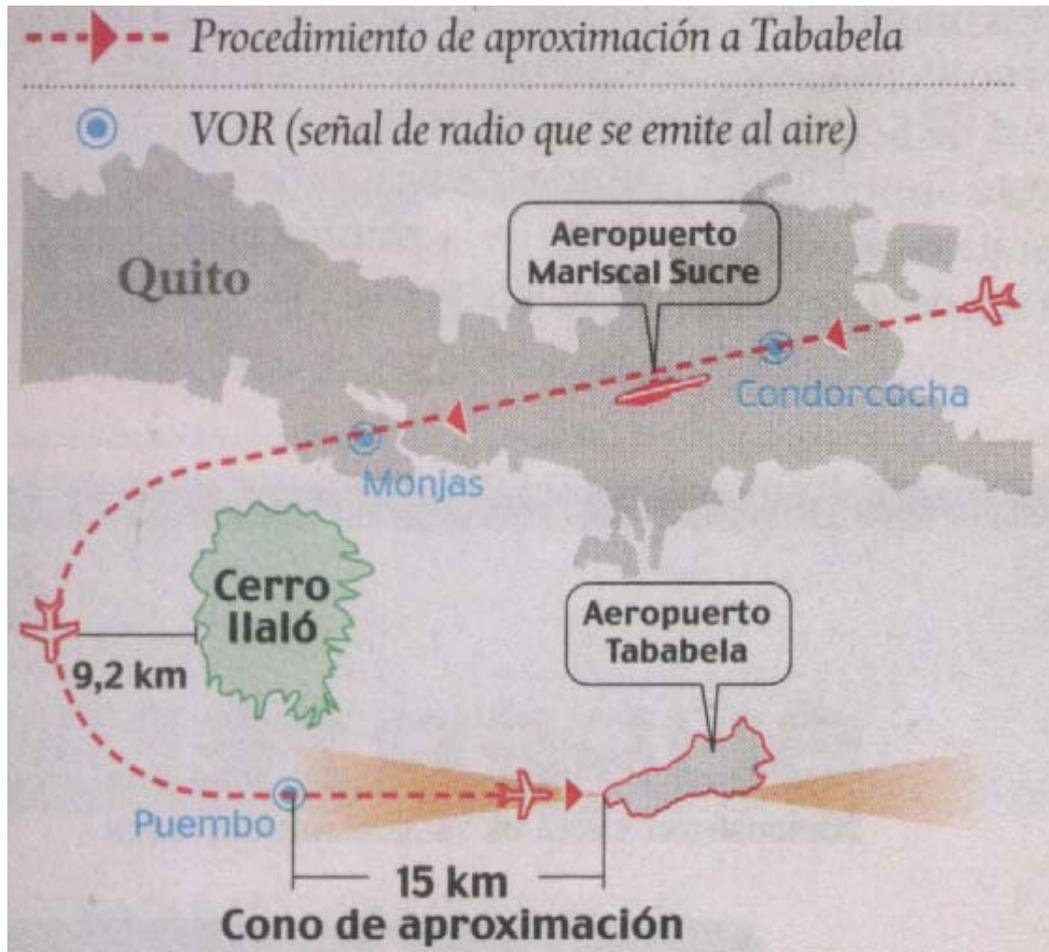


Figura. 4. 33. Aproximación1

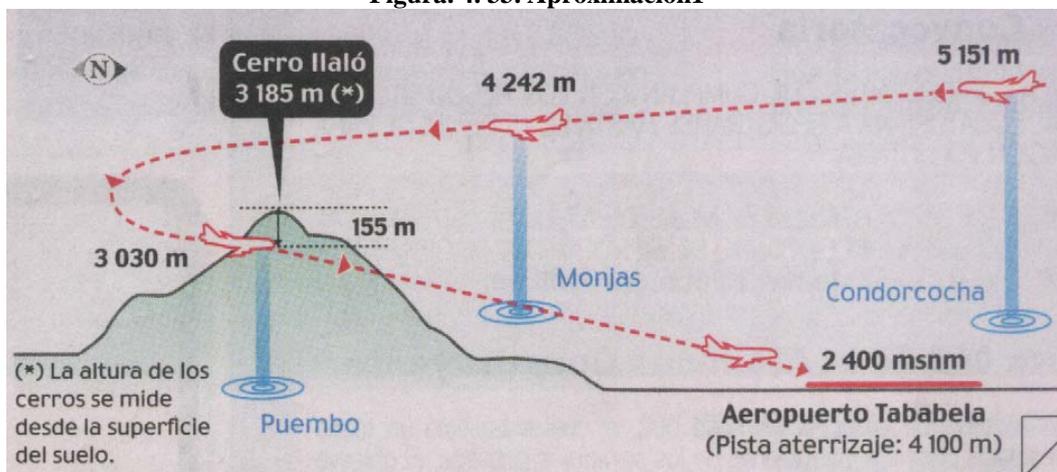


Figura. 4. 34. Aproximación 2

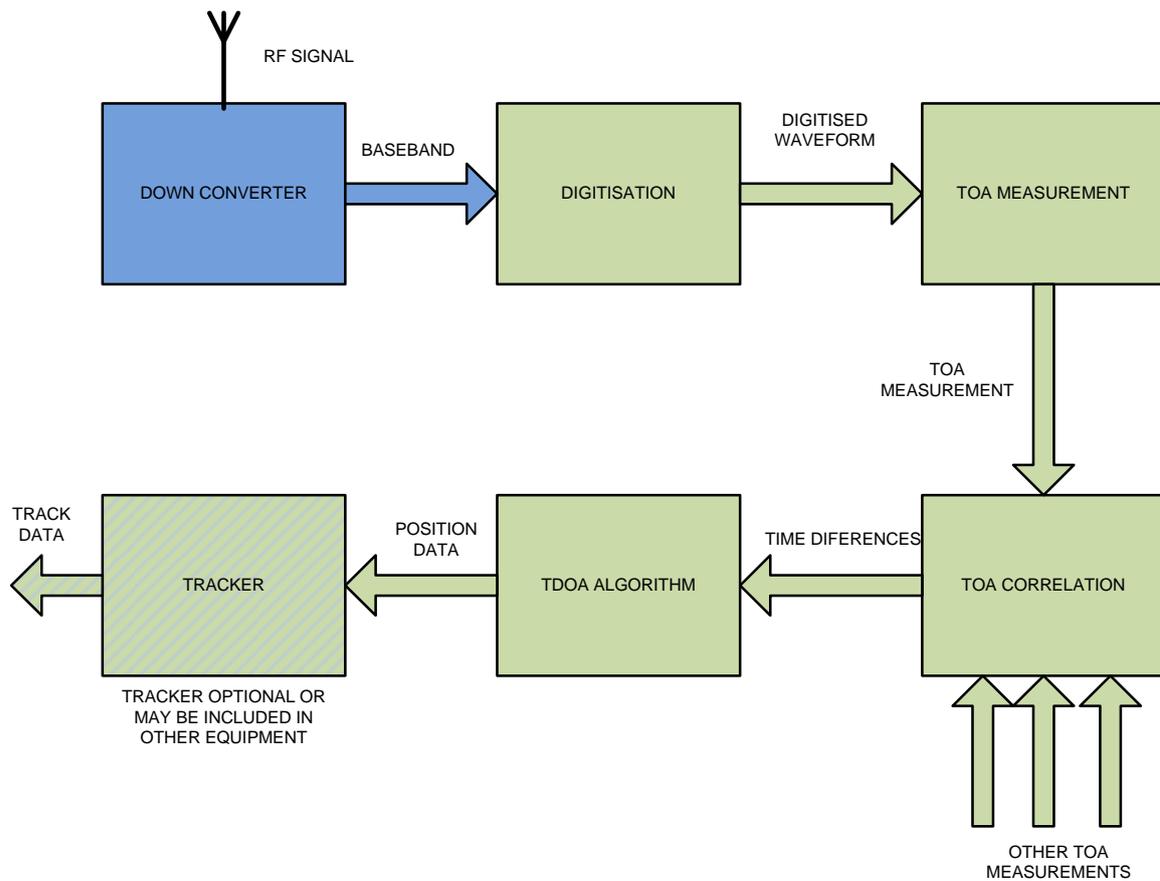
Antes de que los aviones puedan aterrizar, demorarán entre 15 y 20 minutos hasta llegar a la pista, porque deberán alejarse 20 millas (37km) del Ilaló antes de alinearse a la pista de la nueva terminal.

Una limitación, es que por la altura a la que está el avión en el momento de sobrevolar la cordillera, el ILS, no puede ser captado por el piloto al descender.

**4.8.3 Decisiones de Arquitectura**

**1. CALCULO DEL TDOA**

El método de cálculo de TDOA comúnmente utilizado en el sistema de Multilateración es el TOA.



**Figura. 4. 35. Método TOA**

**2. SINCRONIZACIÓN**

En la tabla 4.3 se puede observar las diferencias entre cada uno de los métodos de sincronización.

**Tabla. 4. 3. Diferencias entre los métodos de sincronización**

	<b>PRECISIÓN*</b>	<b>ENLACE</b>	<b>MASTIL</b>	<b>LINEA DE</b>
--	-------------------	---------------	---------------	-----------------

				<b>VISTA</b>
<b>RELOJ COMUN</b>	Mediana	Microonda Fibra	Alto Bajo	Si No
<b>TRANSPONDEDOR SINCRONIZADO</b>	Mediana	Cualquiera	Alto	Si
<b>STANDALONE GNSS</b>	Baja	Cualquiera	Bajo	No
<b>VISTA COMUN GNSS</b>	Alta	Cualquiera	Bajo	No

\*La precisión puede ser definida aproximadamente como:

- Baja – menos de 10-20ns
- Mediana – entre 2-5ns y 10-20ns
- Alta – más de 2-5ns

Del análisis de la tabla anterior, se concluye que: el método de sincronización de vista común GNSS da la mejor solución porque:

- Es una tecnología probada y usada en sistemas desarrollados desde el 2000
- Ofrece mayor precisión en áreas de gran cobertura.
- Da flexibilidad en la elección del sitio.

Además reduce los costos por la reducción de:

- Número de sitios necesarios.
- Infraestructura requerida en esos sitios.
- Impacto ambiental de la instalación.

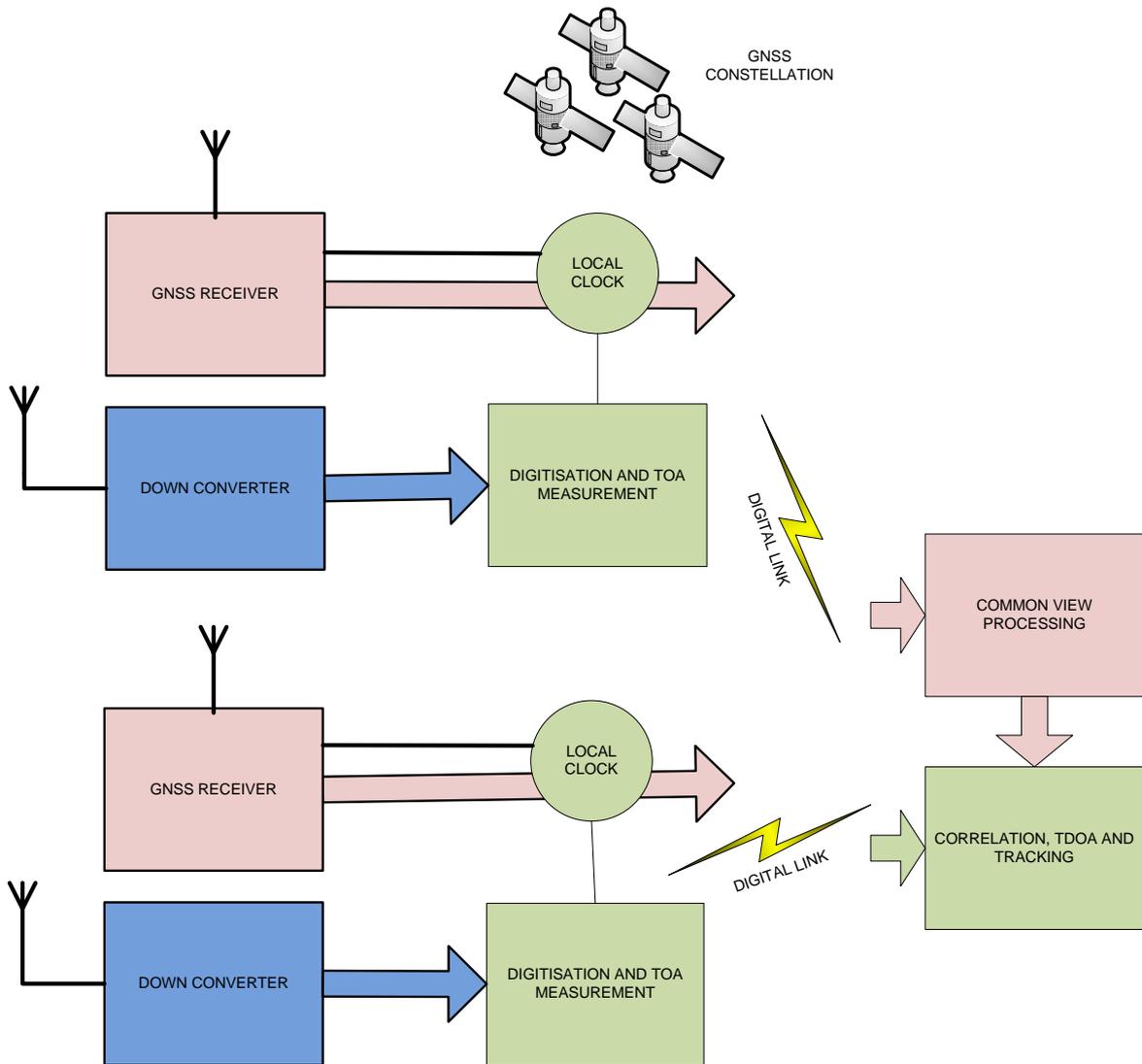


Figura. 4. 36. Método de sincronización de vista común GNSS

### 3. BASELINE

El diseño más básico de la Multilateración es un sistema de 4 receptores. En general los *baselines* de 10-20NM están usados para mejorar la cobertura de nivel bajo. Sin embargo el impacto del terreno y la altura de la antena deben ser considerados en algunas especificaciones del diseño del sistema para poder tener línea de vista entre las unidades remotas.

Sabiendo que el área que se va a proteger es el Área Terminal, el diseño de *baseline* adecuado puede ser de 4 receptores y un transmisor o interrogador; el número de sensores que se coloquen dependerá del sitio en los cuales se ubiquen y que tengan línea de vista entre los mismos.

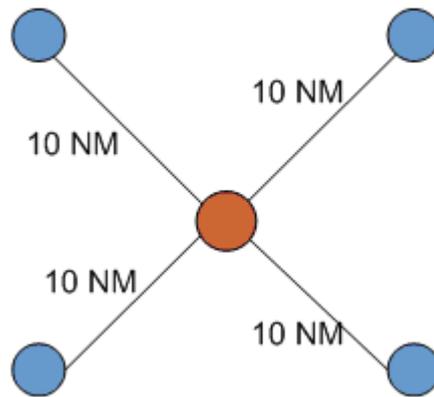


Figura. 4. 37. Diseño de *baseline*

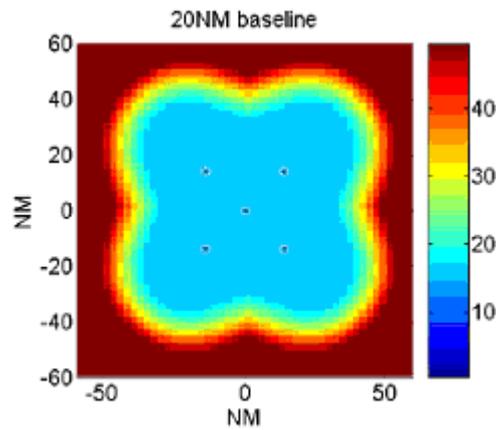


Figura. 4. 38. Cobertura con *baseline* de 20NM

#### 4. ARQUITECTURA

El Sistema de Multilateración puede ser instalado juntamente con el Radar, sin que esto afecte el funcionamiento de cualquiera de los dos sistemas.

DIAGRAMA EXPLICATIVO

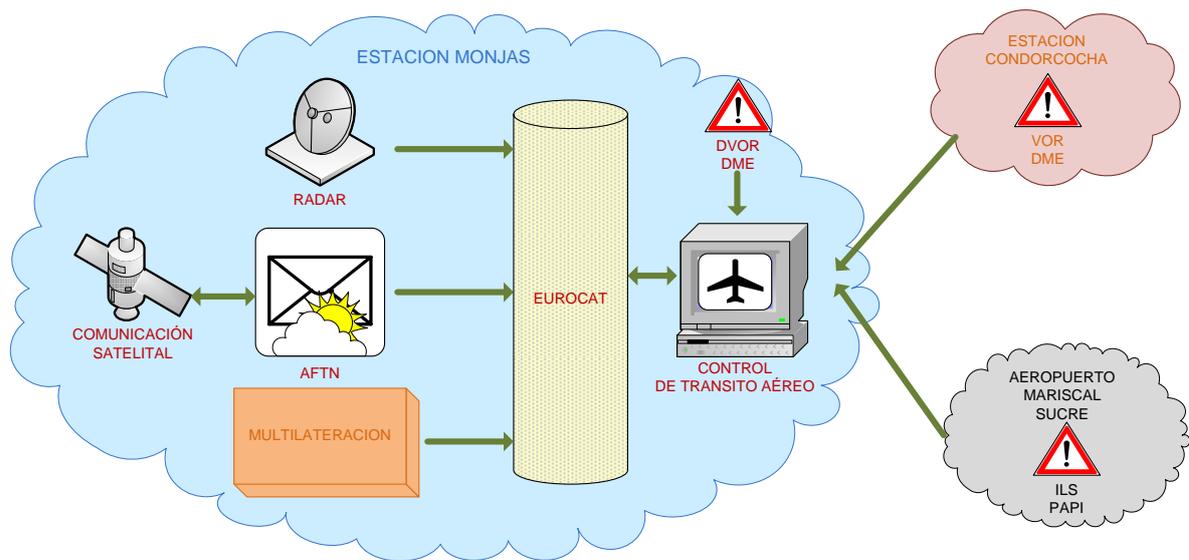
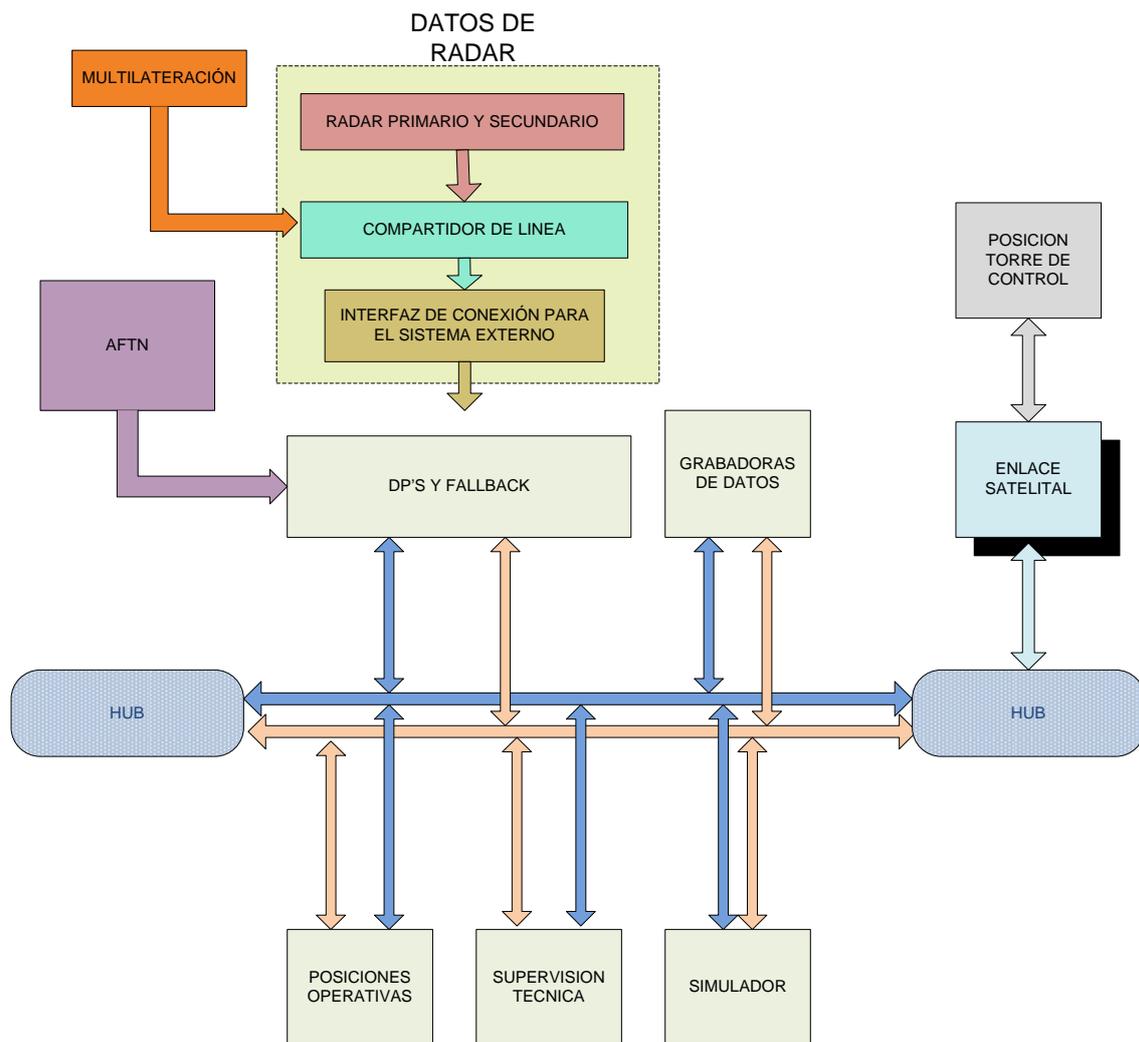


Figura. 4. 39. Servicios de aeronavegación de la ciudad de Quito incluida la Multilateración

*DIAGRAMA EN BLOQUES*

**Figura. 4. 40. Diagrama en bloques del Sistema Radar y Sistema de Multilateración**

## 5. UBICACIÓN DE SENSORES

Las limitaciones para la nueva terminal además del cerro Ilaló (3185m) son los Andes (con cerros como el Pasochoa y el Sincholagua), al sur ya que están más cerca que lo que están del Aeropuerto Mariscal Sucre, los cuales afectan el procedimiento de descenso.

Debido a que los equipos pueden estar a la intemperie, el sitio que se elija para su ubicación debe cumplir la existencia de línea de vista entre ellos.

Analizando estas limitaciones, y considerando sitios que tengan accesibilidad para realizar la instalación, se ha decidido colocar los sensores como se indica en la figura 4.44:



Figura. 4. 41. Ubicación de sensores

#### 4.8.4 Descripción de los lugares de ubicación de sensores

Tabla. 4. 4. Lugares de ubicación de sensores

UBICACION	ALTITUD (M.S.N.M)	LATITUD	LONGITUD	UNIDAD	FRECUENCIA	ANTENA
Aeropuerto (NQIA)	2391	00°08'14''S	78°21'28''O	Transmisor de Referencia (Potencia regulable entre 30 dBw y 18	1030MHz	Dipolo omnidireccional

				dBw en escalones de -3dBi, -6dBi y -12dBi) y Transpondedor de Referencia (para pruebas, ganancia de 3dBi)	1090MHz	No direccional o sectorial
Monjas	3018	00°14'00''S	78°28'39''O	Receptor (Sensibilidad: -90 dBm)	1090MHz	
Santa Rosa	3124	00°24'27''S	78°21'31''O	Receptor (Sensibilidad: -90 dBm)	1090MHz	
Tabacundo	2891	00°00'18''N	78°17'38''O	Receptor (Sensibilidad: -90 dBm)	1090MHz	
Condorcocha	3400	00°02'24''S	78°30'44''O	Receptor (Sensibilidad: -90 dBm)	1090MHz	

Este sistema nos da la facilidad de colocar los equipos según la conveniencia, debido a que son “tropicalizados”; es decir que pueden trabajar:

- Rango de temperatura: -40°C → +60°C (al aire libre)
- Humedad relativa: hasta el 100% (implica condensación)
- En ambiente polvoriento.
- Resistencia al corrosivo: emisiones industriales, salinidad, neblina
- Velocidad del viento: hasta 50m/s

Además este sistema cuenta con

- Suministro de energía y UPS
  - o Batería interna, energía solar opcional

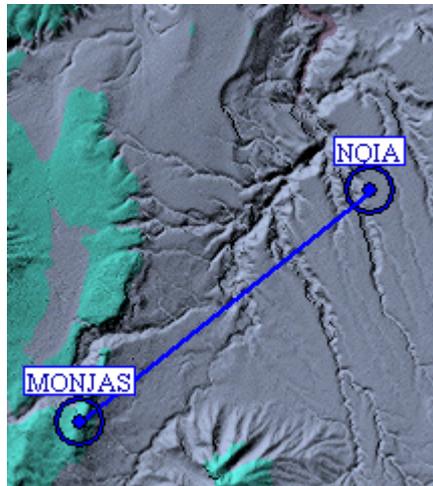
- Energía de entrada: 115 VAC +/- 10% o 230 VAC +/- 10%; opcional 48 VDC
- Frecuencia de entrada: 47-63 Hz

### **Aeropuerto NQIA**

El transmisor de referencia se lo colocará en las instalaciones electrónicas del nuevo aeropuerto ya que se considera como el punto central del sistema. En este mismo sitio se colocará el transpondedor de Referencia con el cual se puede monitorear el funcionamiento continuo de los receptores.

### *Línea de Vista NQIA-Monjas*

El receptor se lo colocará en la estación Monjas, en la que actualmente están instalados el radar Primario y Secundario; además en este sitio se instalará la Estación de Procesamiento Central ya que el personal técnico que actualmente monitorea y realiza mantenimiento de los radares podrá hacer los mismos trabajos a los equipos de la Multilateración evitando que sea movilizado el personal.



**Figura. 4. 42. NQIA-Monjas**

La distancia aproximada entre estas dos estaciones es de 17km.

NQIA (Tx): altitud de antena=10m

Monjas (Rx): altitud de antena=10m

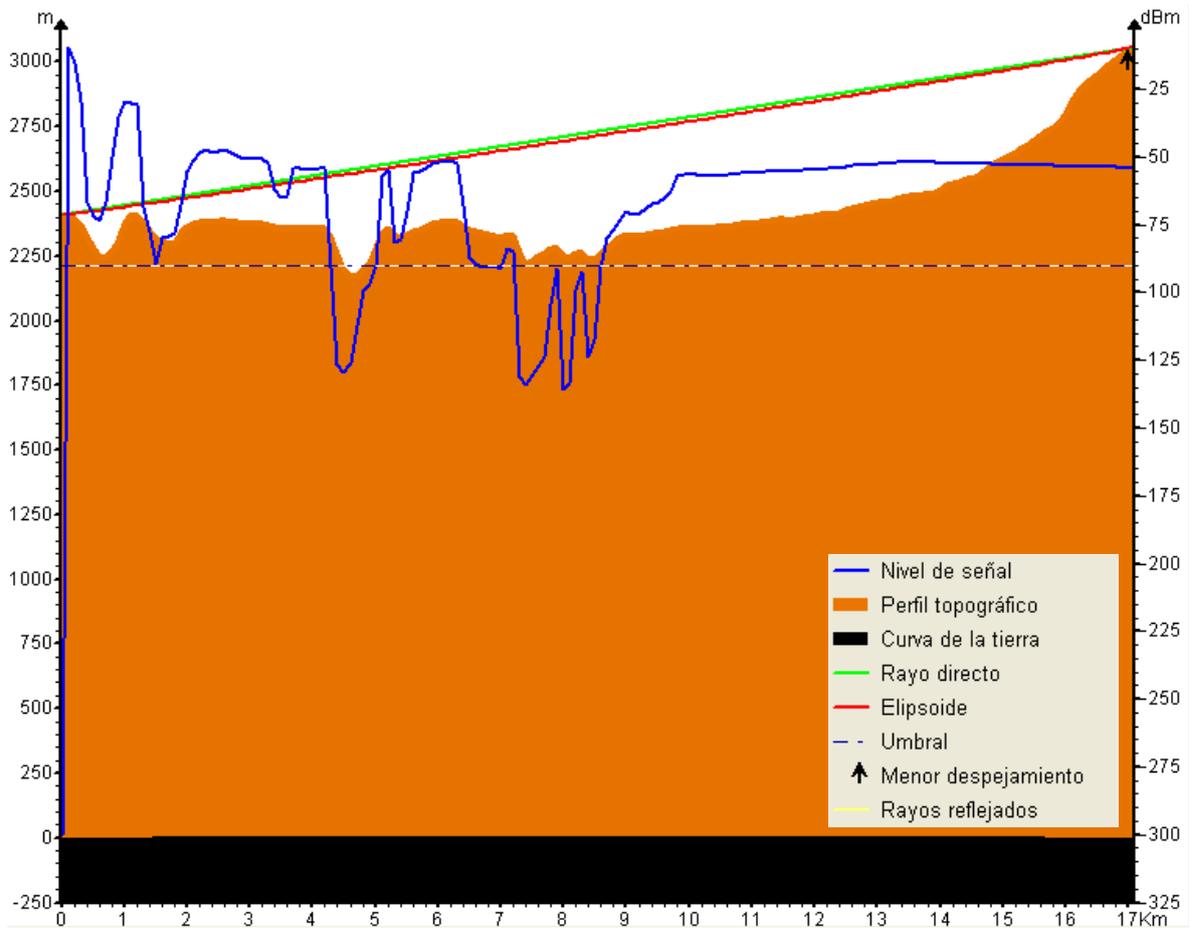


Figura. 4. 43. Línea de vista entre NQIA y Monjas

Se debe notar que para poder tener línea de vista entre estos dos lugares se debe colocar una antena de 10m y 10m de altura en NQIA y Monjas respectivamente.

Línea de Vista NQIA-Santa Rosa

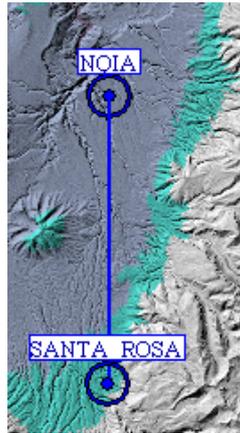


Figura. 4. 44. NQIA-Santa Rosa

La distancia aproximada entre estas dos estaciones es de 30km.

NQIA (Tx): altitud de antena=10m

Santa Rosa (Rx): altitud de antena=15m

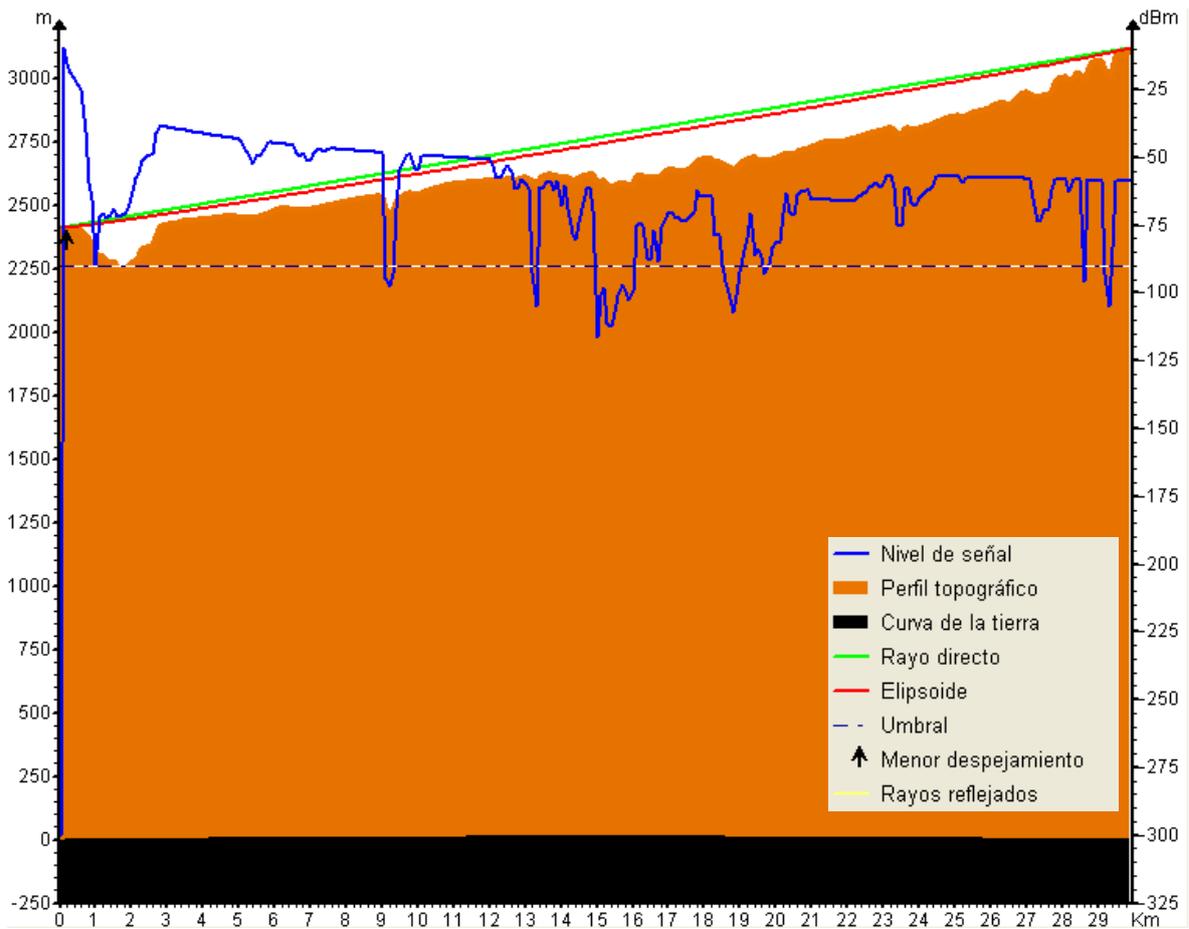


Figura. 4. 45. Línea de vista entre NQIA y Santa Rosa

Se debe notar que para poder tener línea de vista entre estos dos lugares se debe colocar una antena de 10m y 15m de altura en NQIA y Santa Rosa respectivamente.

#### Línea de Vista NQIA-Tabacundo

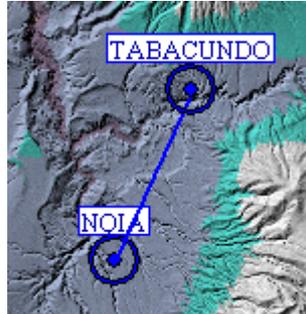


Figura. 4. 46. NQIA-Tabacundo

La distancia aproximada entre estas dos estaciones es de 17km.

NQIA (Tx): altitud de antena=25m

Tabacundo (Rx): altitud de antena=50m

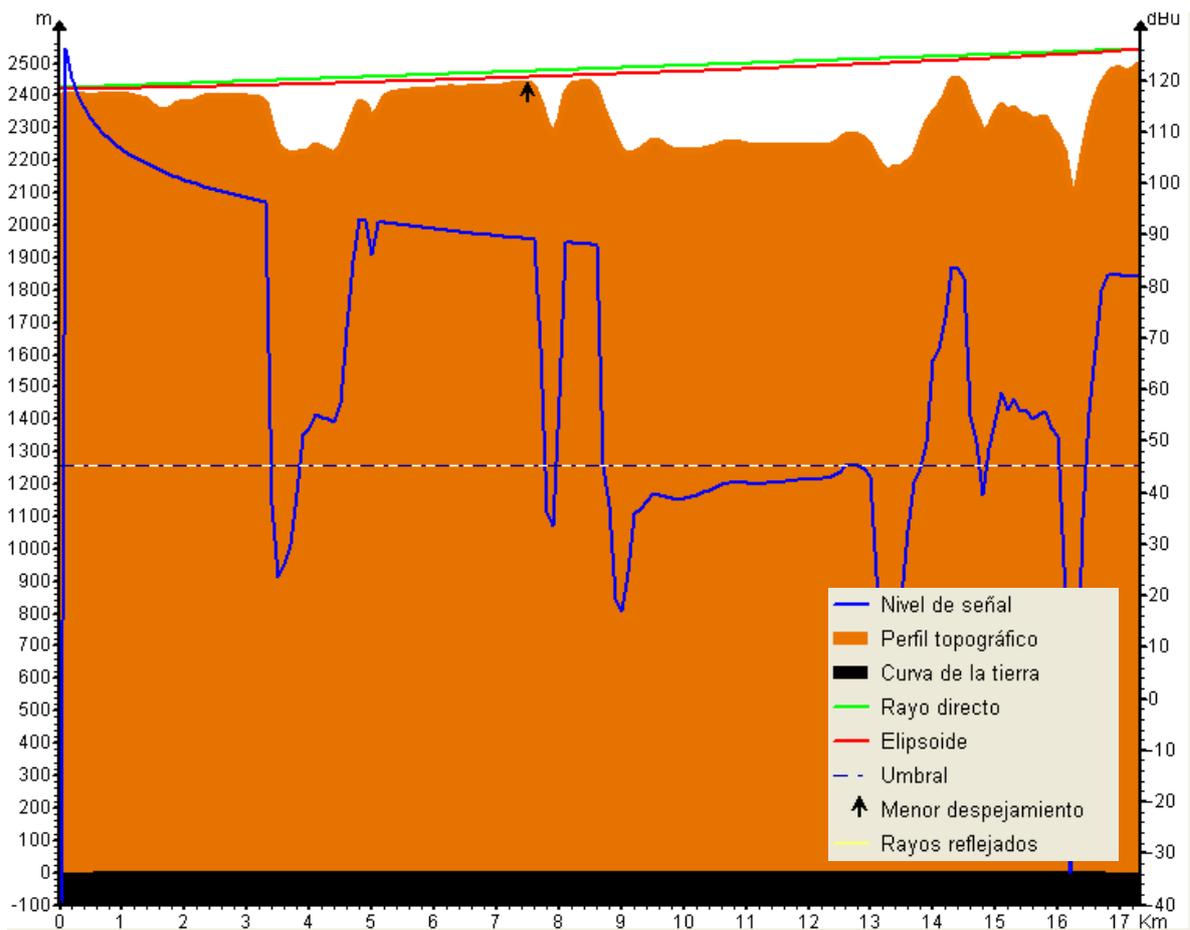


Figura. 4. 47. Línea de vista entre NQIA y Tabacundo

Para poder tener línea de vista entre estos dos lugares la altitud de las antenas debe ser de 25m y 50m en el nuevo aeropuerto (NQIA) y Tabacundo respectivamente.

#### Línea de Vista NQIA-Condorcocha

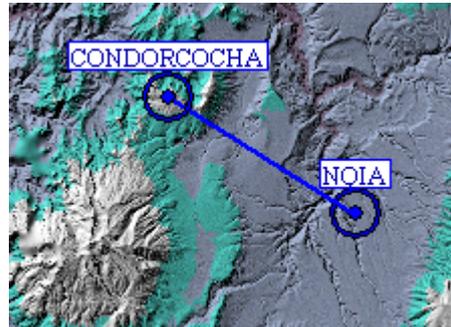


Figura. 4. 48. NQIA-Condorcocha

La distancia aproximada entre estas dos estaciones es de 20km.

NQIA (Tx): altitud de antena=10m

Condorcocha (Rx): altitud de antena=10m

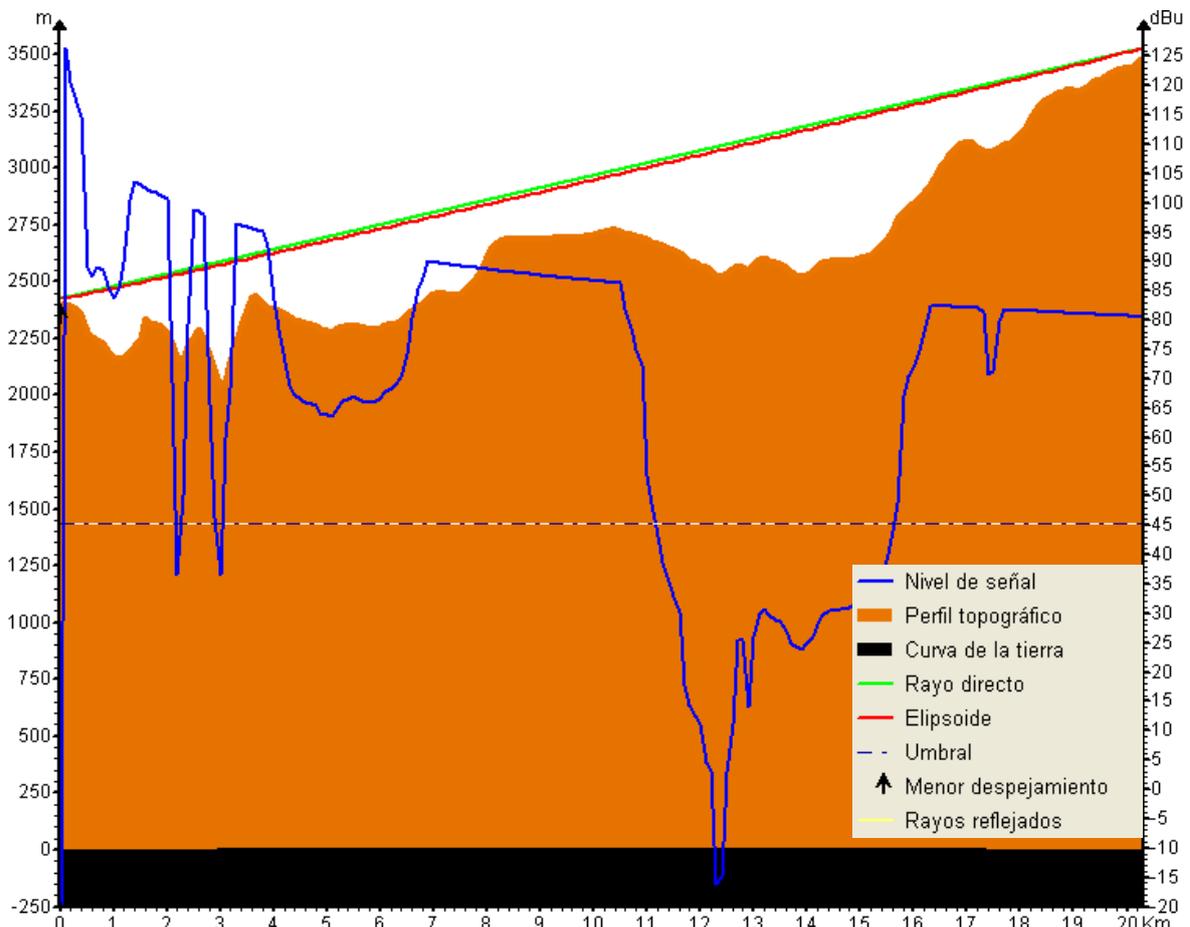


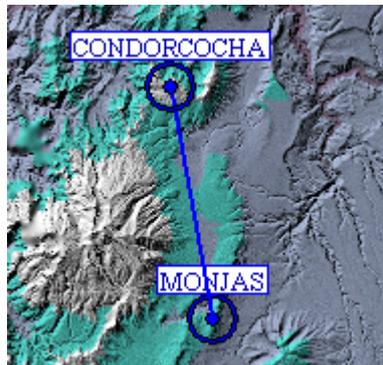
Figura. 4. 49. Línea de vista entre NQIA y Condorcocha

Se debe notar que para poder tener línea de vista entre estos dos lugares se debe colocar una antena de 10m y 10m de altura en NQIA y Condorcocha respectivamente.

### Condorcocha

El receptor se lo colocará en las instalaciones electrónicas de la Estación Condorcocha en la que actualmente están instalados un VOR/DME.

#### *Línea de Vista Condorcocha-Monjas*

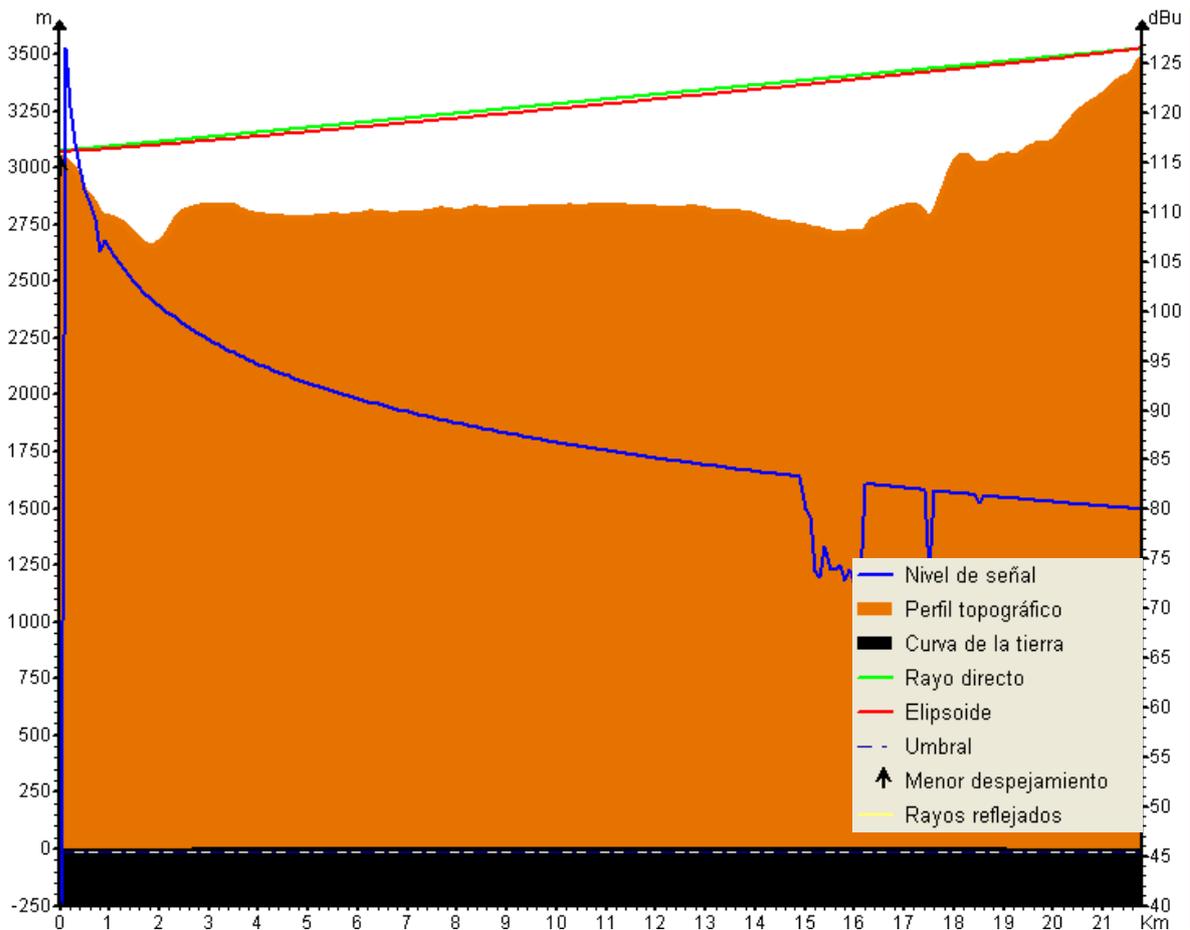


**Figura. 4. 50. Condorcocha-Monjas**

La distancia aproximada entre estas dos estaciones es de 22km.

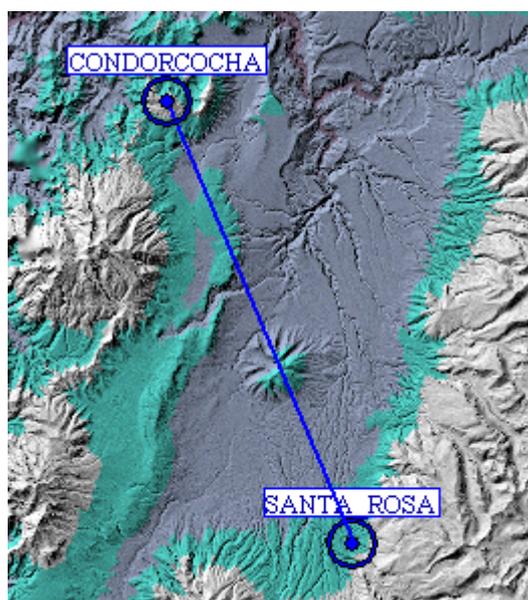
Condorcocha (Rx): altitud de antena=10m

Monjas (Rx): altitud de antena=10m



**Figura. 4. 51. Línea de vista entre Condorcocha y Monjas**

Se debe notar que para poder tener línea de vista entre estos dos lugares se debe colocar un mástil de 10m para instalar la antena Condorcocha y Monjas respectivamente.

*Línea de Vista Condorcocha-Santa Rosa*

**Figura. 4. 52. Condorcocha- Santa Rosa**

La distancia aproximada entre estas dos estaciones es de 42.5km.

Condorcocha (Rx): altitud de antena=10m

Santa Rosa (Rx): altitud de antena=10m

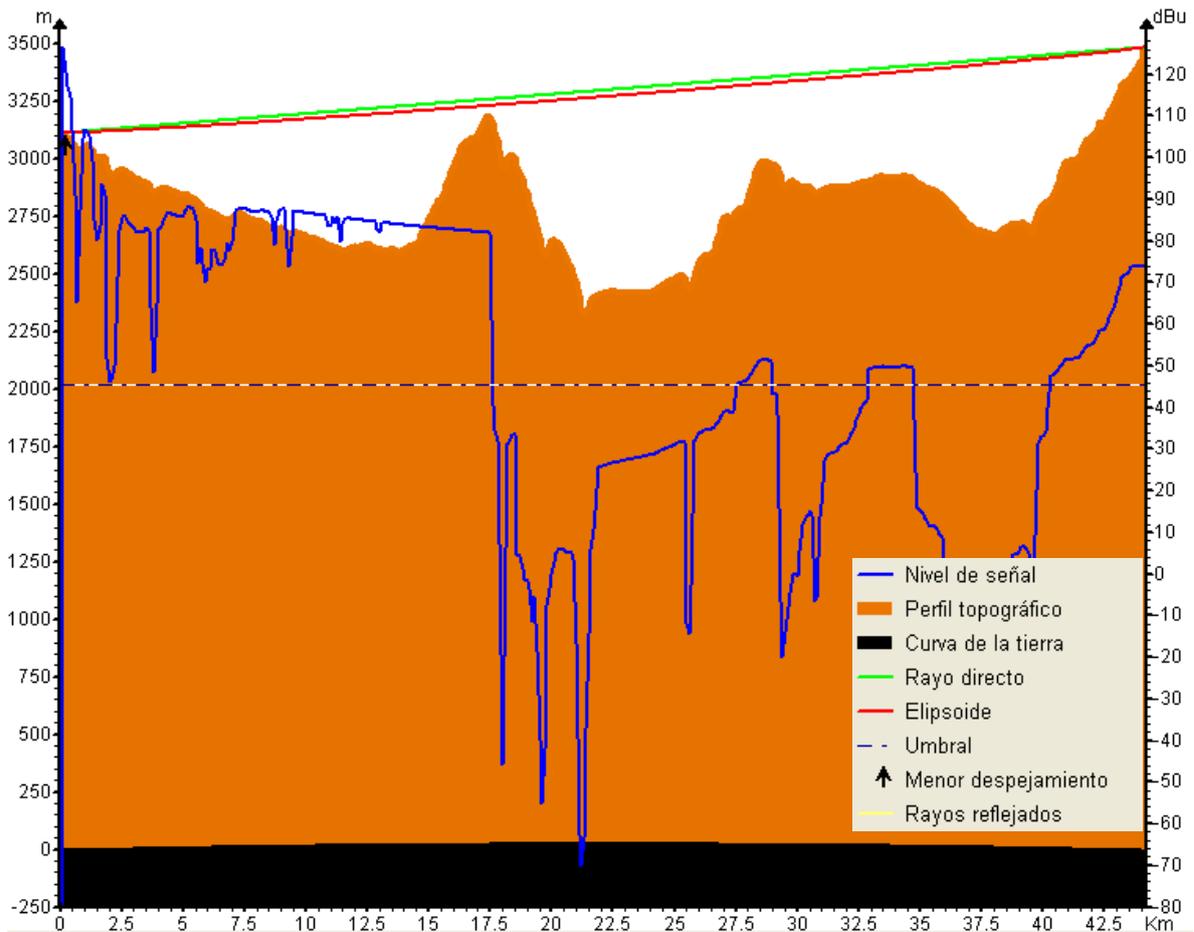


Figura. 4. 53. Línea de vista entre Condorcocha y Santa Rosa

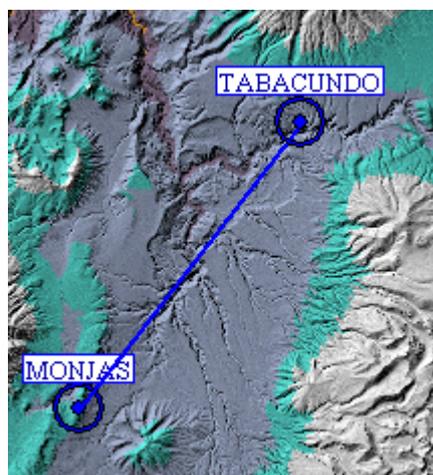
Se debe notar que para poder tener línea de vista entre estos dos lugares se debe colocar un mástil de 10m para instalar la antena en Condorcocha y Santa Rosa respectivamente.

### Monjas

Actualmente en este sitio se encuentra ubicado el radar de la Aviación Civil se puede colocar la estación central de procesamiento para que el personal técnico electrónico pueda monitorear y hacer mantenimiento a dicho equipo, además los equipos del radar cuentan con la facilidad de tener el acceso de la información de la Multilateración para la presentación en las pantallas radar, con lo que disminuyen los costos por arrendamiento de terreno, movilización de personal técnico y consumo de energía eléctrica.

Los datos recogidos en las distintas estaciones de este sistema se enviarán a dicha estación y posteriormente se los procesará para ingresarlos como producto final a la presentación en las pantallas.

*Línea de Vista Monjas-Tabacundo*



**Figura. 4. 54. Monjas-Tabacundo**

La distancia aproximada entre estas dos estaciones es de 33km.

Monjas (Rx): altitud de antena=10m

Tabacundo (Rx): altitud de antena=10m

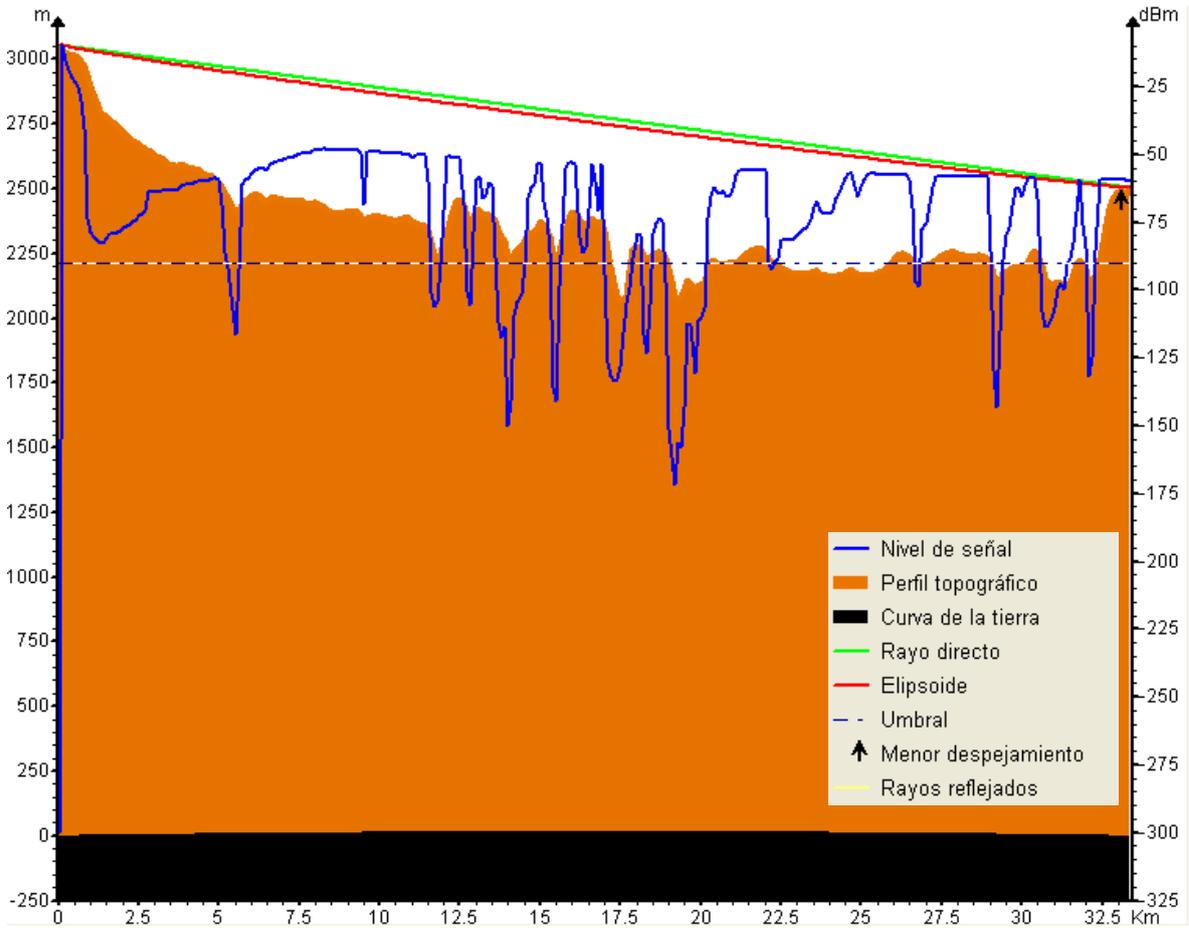


Figura. 4. 55. Línea de vista entre Monjas y Tabacundo

Se debe notar que para poder tener línea de vista entre estos dos lugares se debe colocar un mástil de 10m para instalar la antena en Monjas y Tabacundo respectivamente.

*Línea de Vista Monjas-Santa Rosa*

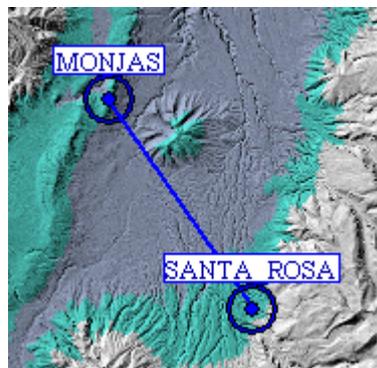


Figura. 4. 56. Monjas-Santa Rosa

La distancia aproximada entre estas dos estaciones es de 22.5km.

Monjas (Rx): altitud de instalación de la antena=10m

Santa Rosa (Rx): altitud de instalación de la antena=10m

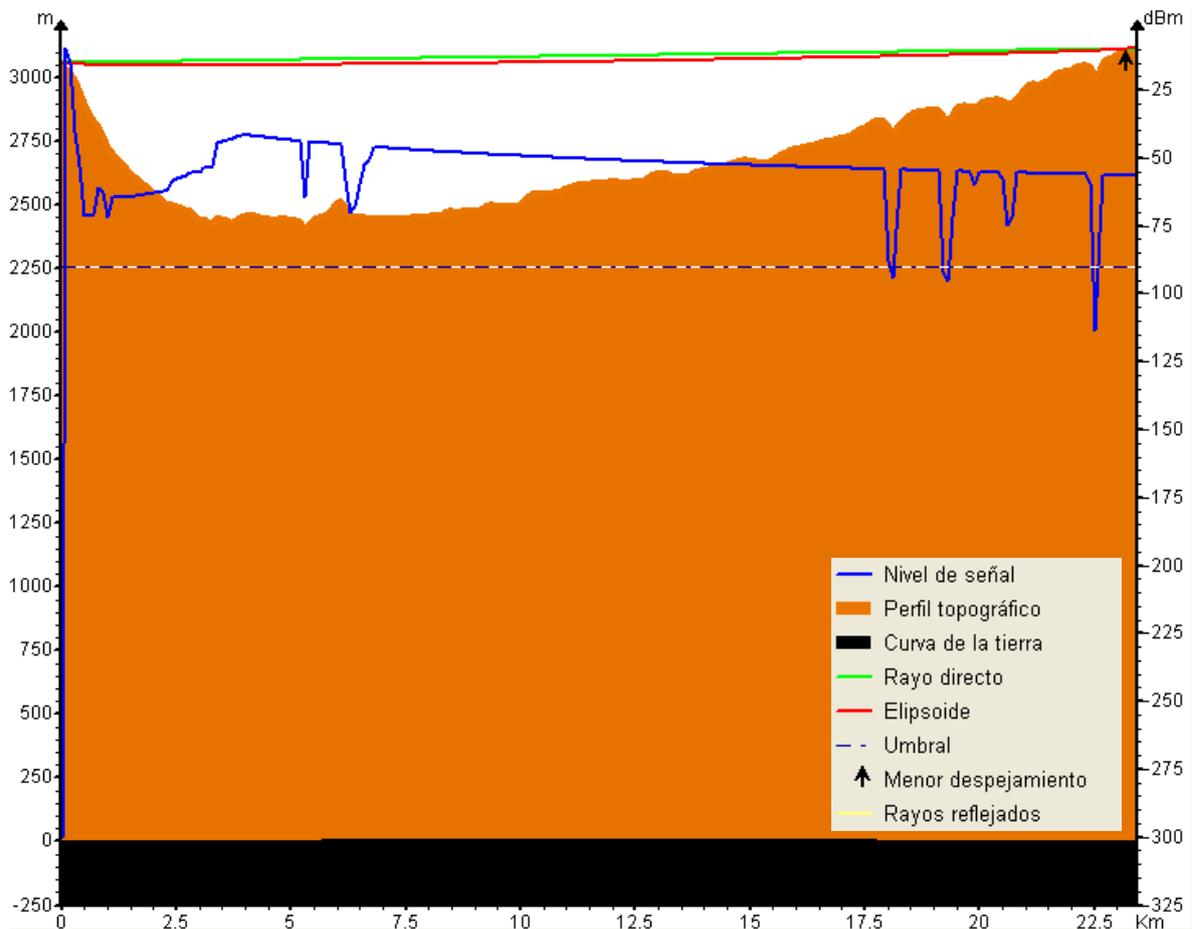


Figura. 4. 57. Línea de vista entre Monjas y Santa Rosa

Se debe notar que para poder tener línea de vista entre estos dos lugares se debe colocar un mástil de 10m para instalar la antena en Monjas y Santa Rosa respectivamente.

### Santa Rosa

El lugar seleccionado se halla a unos 6 km de Pintag, accediendo por una carretera de segundo orden, véase figura 4.58.

Se puede colocar el receptor en la torre de la Iglesia o en el Centro de Desarrollo Infantil de dicho lugar, véase figuras 4.59 y 4.60, lo que permitirá disponer de línea de vista. Se deberán hacer las coordinaciones necesarias para convenir con los responsables a fin de disponer del sitio necesario para la instalación; la DAC se comprometerá a obtener un registrador de consumo de energía exclusivo de este equipo, a fin de realizar

los pagos correspondientes y hará las coordinaciones a fin de solventar el arrendamiento del sitio.

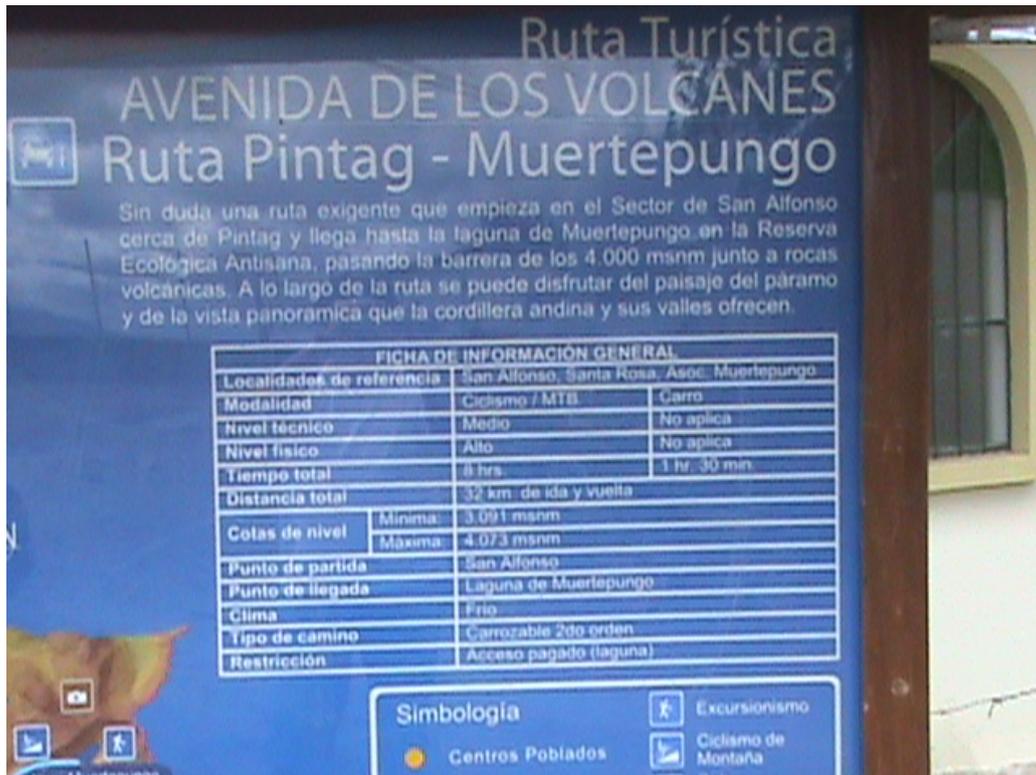


Figura. 4. 58. Ubicación de Santa Rosa

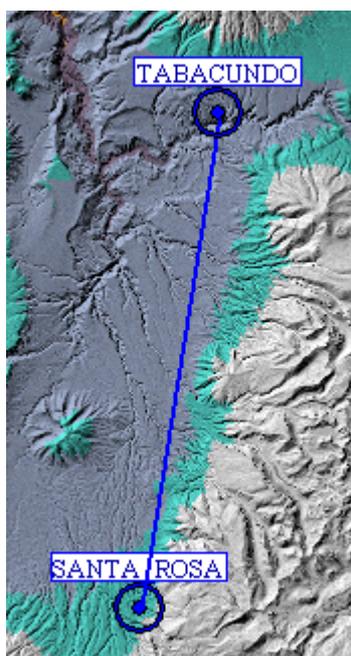


Figura. 4. 59. Iglesia de Santa Rosa



**Figura. 4. 60. Centro de Desarrollo Infantil de Santa Rosa**

*Línea de Vista Santa Rosa-Tabacundo*



**Figura. 4. 61. Santa Rosa-Tabacundo**

La distancia aproximada entre estas dos estaciones es de 45km.

Tabacundo (Rx): altitud de mástil para antena=10m

Santa Rosa (Rx): altitud de mástil para antena=15m

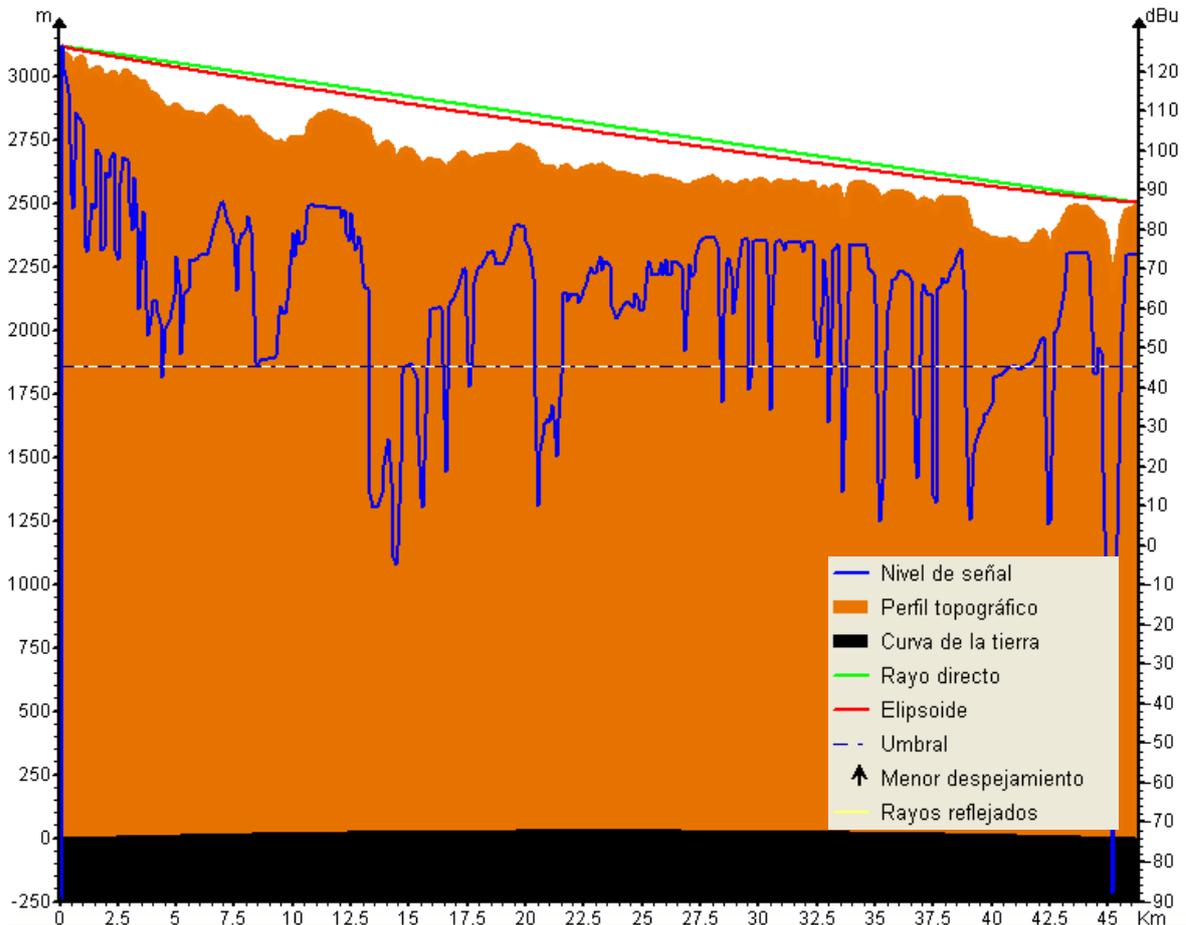


Figura. 4. 62. Línea de vista entre Tabacundo y Santa Rosa

Se debe notar que para poder tener línea de vista entre estos dos lugares se debe colocar una antena de 10m y15m de altura en Tabacundo y Santa Rosa respectivamente.

### Tabacundo

Al igual que en Santa Rosa, se deberán realizar las gestiones pertinentes ya sea con las dependencias: municipal, privada o pública para que se permita colocar al receptor en un edificio o mástil de dichas dependencias, véase figuras 4.63, 4.64 y 4.65; de la misma manera se deberá obtener un registrador de consumo de energía exclusivo de este equipo, a fin de realizar los pagos correspondientes y coordinar el pago del arrendamiento del sitio de instalación.



**Figura. 4. 63. Iglesia de Tabacundo**



**Figura. 4. 64. Mástil de comunicaciones de Tabacundo**



Figura. 4. 65. Escuela de Tabacundo

#### 4.9 COBERTURA<sup>84</sup>

En el Anexo 6, se muestra la cobertura de forma gráfica que se obtiene del diseño del sistema anteriormente expuesto, con los lugares en donde posiblemente se ubicarían los sensores.

Se sabe que: Rx1 → Santa Rosa (Pintag)

Rx2 → Monjas

Rx3 → Condorcocha

Rx4 → Tabacundo

Tx → Nuevo Aeropuerto

La carta topográfica se encuentra en una escala 1:250.000.

---

<sup>84</sup> Ver Anexo 6

## CAPITULO V

### DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE MULTILATERACION

#### 5.1 CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

##### 5.1.1 Cobertura

Típicamente provee cobertura del Área Terminal.

Los requerimientos típicos de cobertura incluyen:

- ✚ Toda la pista y superficies de rodaje
- ✚ Todas o la mayoría de las zonas de aproximación.
  - Puede excluir las de poco uso
  - Puede excluir las zonas de difícil cobertura
- ✚ Corredores de aproximación y salida
  - Lo suficientemente lejos para superponer con el Terminal/Aproximación Radar.
- ✚ Por encima de la superficie del aeropuerto hasta 100-300 metros
- ✚ Espacio aéreo usado por el tráfico de llegadas y salidas a una distancia de 5NM.

##### 5.1.2 Precisión

- La precisión de la Multilateración es típicamente validada usando un avión laboratorio de comprobación y algunas veces un vehículo instrumental.
  - ✚ El vehículo instrumental típicamente maneja sobre todas las superficies de interés del aeropuerto incluyendo *centerlines* y bordes.
  - ✚ El avión laboratorio de comprobación típicamente vuela todas las rutas de aproximación y salida y algunas veces con una altura fijada sobre las pistas.

### 5.1.3 Tasa de Falsos blancos

- Las falsas pistas son también una preocupación importante para los Sistemas de Multilateración ya que pueden causar falsas alertas al operador.
- Menor a  $10^{-4}$  que se define como cualquier salida espúrea o cualquier reporte de posición mayor que 50 metros de la posición verdadera.
- Las falsas pistas en la Multilateración en su mayoría son causadas por:
  - o Cartas de tiempo corruptas
  - o Pobre GDOP

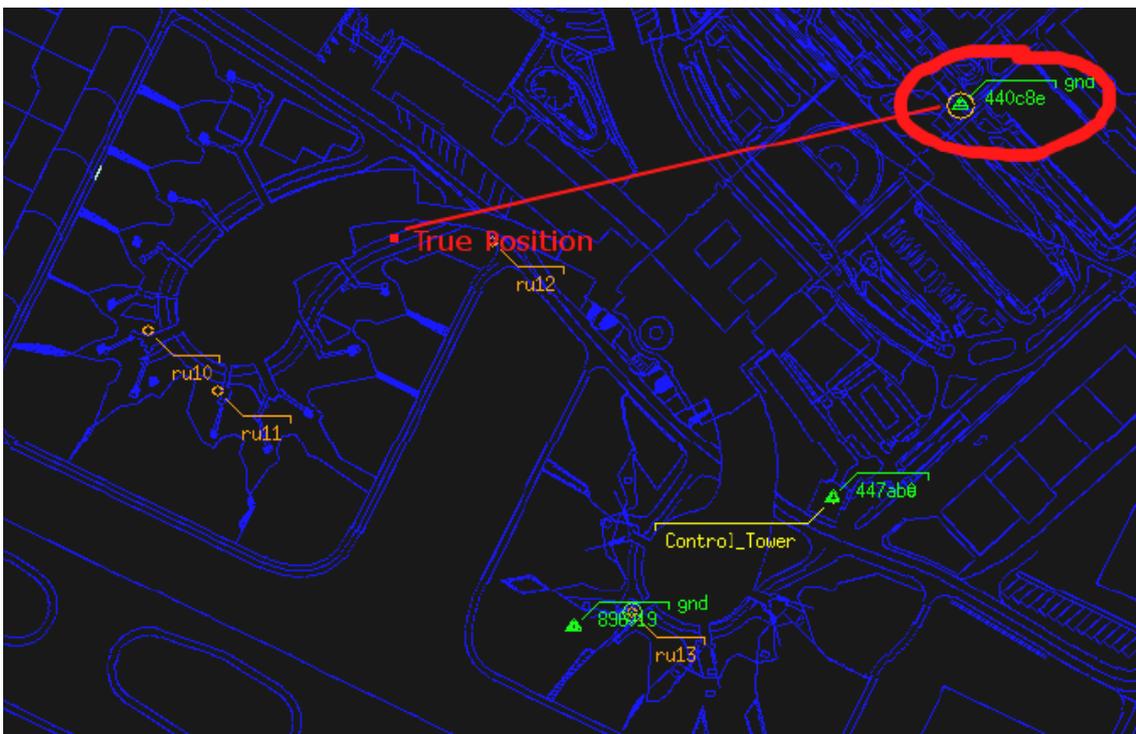


Figura. 5. 1. Cálculo de falsa posición

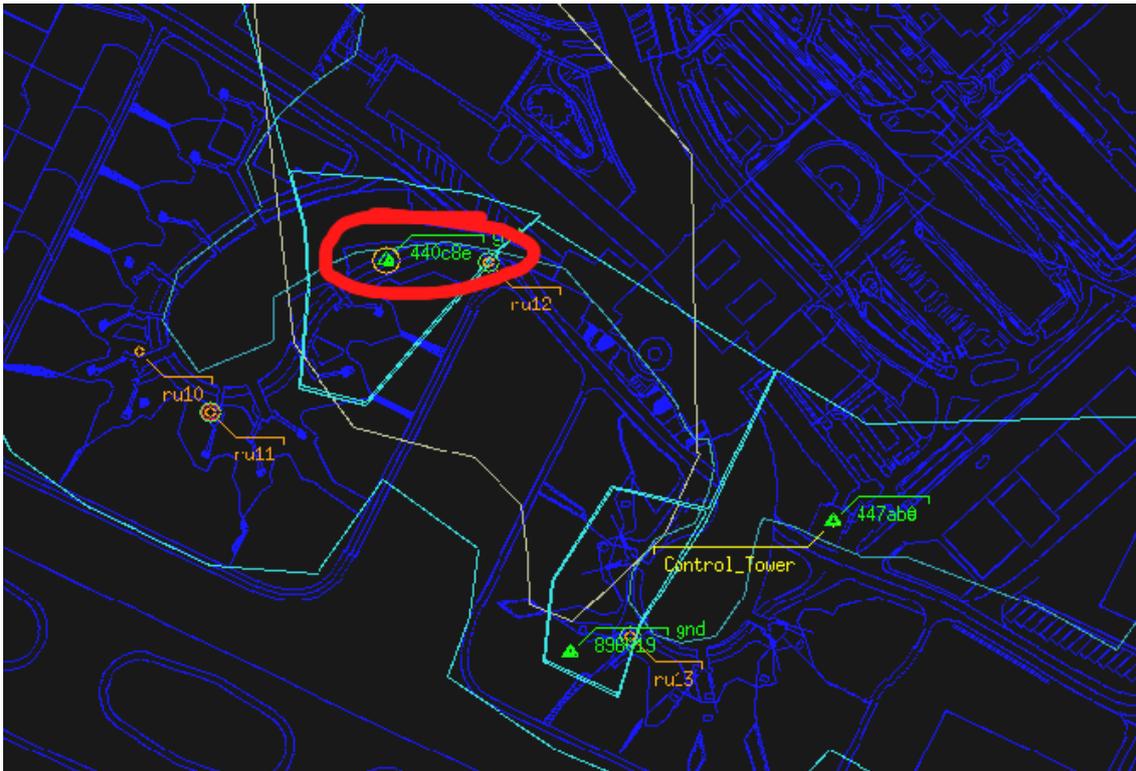


Figura. 5. 2. Región de Procesamiento corregida la posición por el cálculo

#### 5.1.4 Probabilidad de detección MLat (Modo S)

99.9% dentro de cualquier período de 2 segundos en la pista y calle de rodaje.

#### 5.1.5 Identificación

Desarrolla pistas únicas para todos los Modo S y Modo A/C equipados en las aeronaves usando los 24 bits de dirección de identificación de Modo S y/o los 12 bits de código de identificación de Modo A/C.

Determina el código de identificación de Modo A/C para todas las aeronaves, incluyendo las equipadas con Modo S, dentro del área de cobertura.

El sistema da la correcta identificación del blanco con probabilidades que excede el 99.9%.

#### 5.1.6 Tasa de actualización

1 por segundo de promedio mínimo para cualquier blanco en el área de cobertura, basado en la tasa de *squitter* de interrogación del transpondedor Modo S.

### **5.1.7 Capacidad de blancos**

Hasta 500 blancos/segundo

### **5.1.8 Iniciación de Pista**

Pista iniciada con 5 segundos de encendido del transpondedor inicial o a la entrada en el área de cobertura.

### **5.1.9 Tiempo de inicio**

Menor que 5 minutos del encendido inicial o reinicio en el evento de una importante pérdida de energía

### **5.1.10 Tiempo de transferencia**

Menor que 1 segundo desde el principal al de respaldo una vez que la falla ha sido identificada.

## **5.2 BENEFICIOS**

### **5.2.1 Costo**

Mientras el promedio de costo de las industrias de radar varía dentro de límites razonables, la Multilateración ha demostrado ser de costos mucho más bajos que el radar tradicional. El análisis bajo estas estimaciones demuestra un beneficio de casi 5 millones de euros para un ciclo de vida de 15 años.

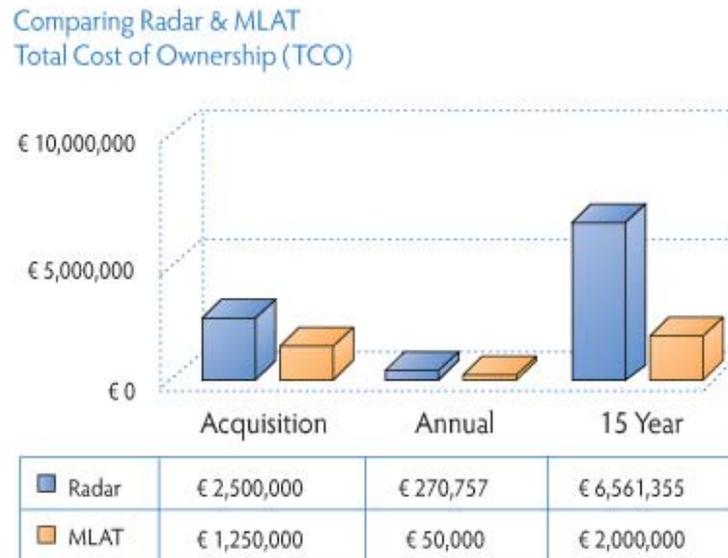


Figura. 5. 3. Comparación del Radar y MLAT

### 5.2.2 Desempeño

De conformidad con el rendimiento basado en la filosofía que está siendo desarrollado por la OACI y distintos grupos de trabajo, el desempeño de los sistemas de Multilateración ha sido considerado por los organismos nacionales con certificación en igualdad de condiciones de estándares de radar secundario. Sin embargo, a lo largo de una serie de evaluaciones separadas y mediciones del servicio operacional, los sistemas de Multilateración han sido probados para exceder el desempeño de los estándares del radar en términos de precisión.

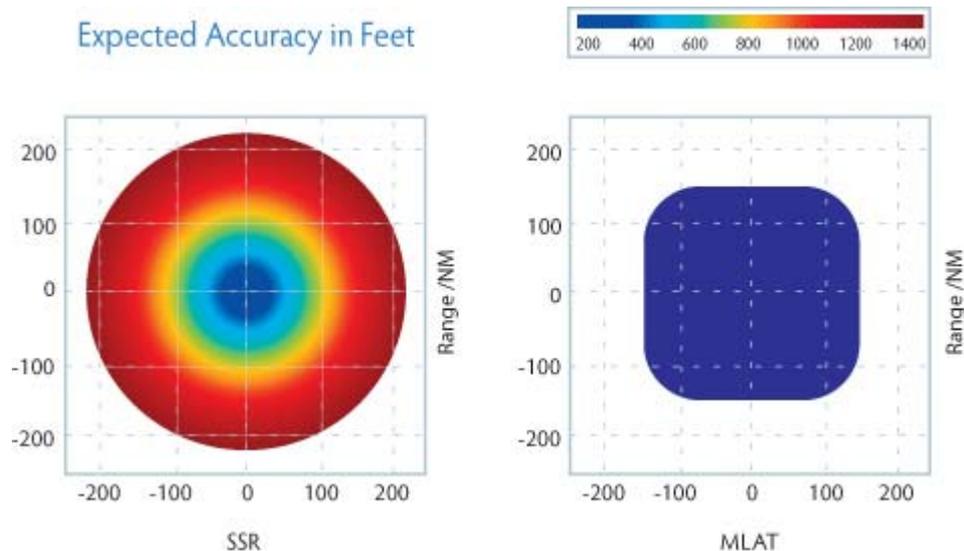


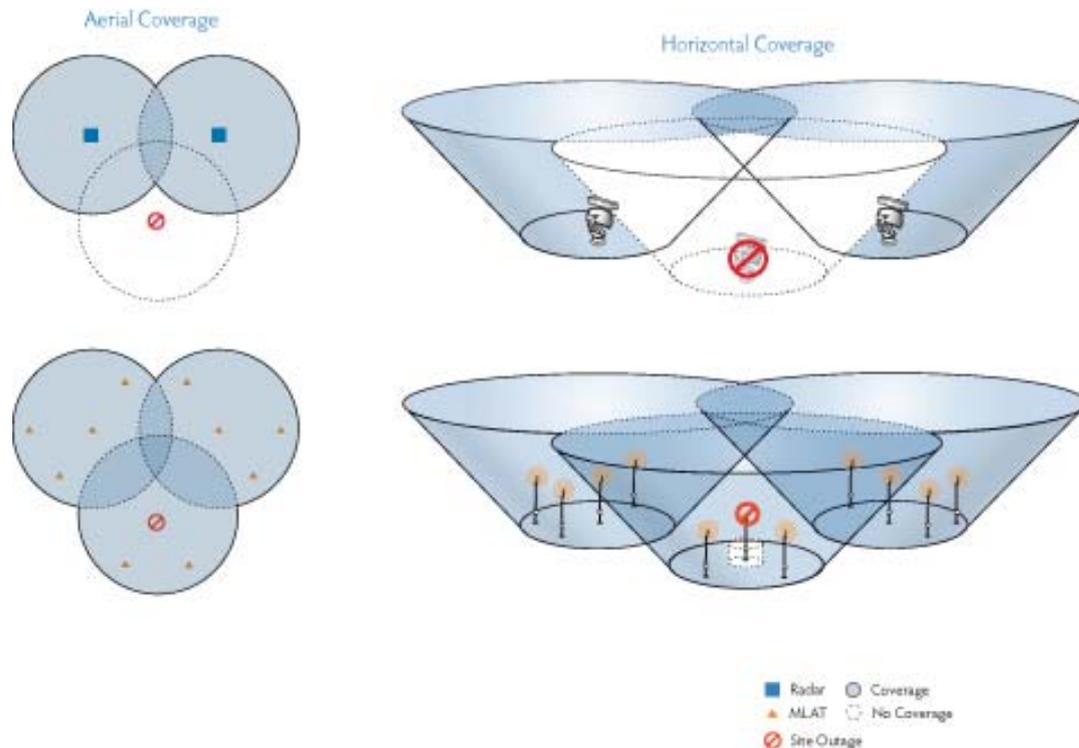
Figura. 5. 4. Eurocontrol informó que la Multilateración superó en gran medida la precisión del SSR donde existe cobertura.

### 5.2.3 Disponibilidad Operacional

Al examinar el radar tradicional, se puede ver que el mantenimiento de un sistema de Multilateración es más fácil y menos costoso. Primeramente porque el sistema de Multilateración no tiene partes móviles. En segundo lugar, cada sensor es pequeño y de fácil acceso. Lo que puede parecer menos obvio es la mejora posible en términos de disponibilidad operacional debido a la nueva arquitectura de un sistema de vigilancia MLAT.

La Multilateración proporciona niveles de redundancia que son el resultado directo de su diseño de red. Normalmente denominado redundancia N-1, el concepto básico es que si una sola estación terrestre fuese a experimentar un corte de energía eléctrica, la cobertura no se degradaría ya que el resto de las estaciones terrestres seguirían prestando la cobertura necesaria. Independientemente de si el corte del suministro eléctrico es programado por mantenimiento, si es producto de una suspensión de energía por un acontecimiento imprevisto localizado en un sitio, el sistema de Multilateración es capaz de proporcionar funcionamiento y cobertura continua.

Con el radar tradicional, un corte de energía por mantenimiento o suspensión imprevista en el sitio se traduciría en una pérdida de la cobertura de vigilancia. Con Multilateración, sofisticados modelos de diseño del sistema son "construidos" en diferentes niveles de redundancia para lograr la disponibilidad operacional y requerimientos de seguridad. La arquitectura de la red de Multilateración, inherente de redundancia "N-1" y las herramientas del diseño del sistema no sólo permiten a los ANSPs programar el mantenimiento sin ningún tipo de degradación de la cobertura, sino también mejorar la disponibilidad cuando las cosas no van de acuerdo a lo planeado.



**Figura. 5. 5. Un corte de energía en un sitio, ya sea planeado (por ejemplo, mantenimiento) o imprevisto, demuestra la disponibilidad operacional superior de la Multilateración en comparación con SSR.**

### 5.2.4 Expansión de la red

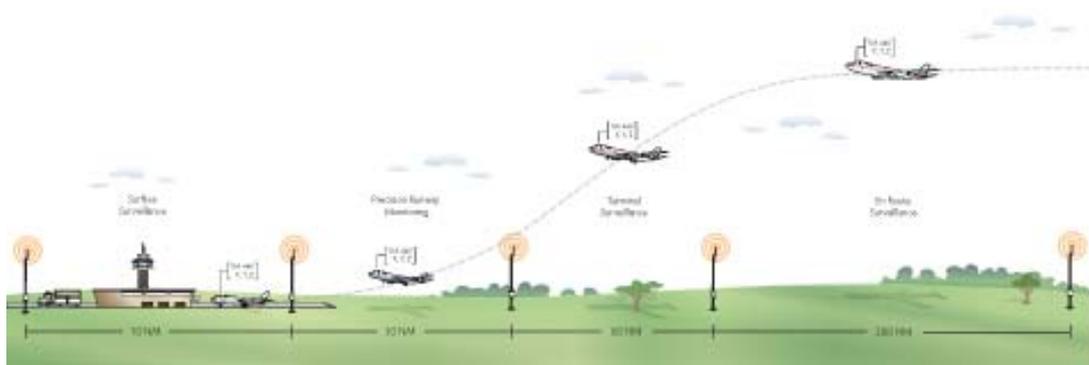
La Multilateración soporta un área amplia de aplicaciones de vigilancia sin cambiar sus características básicas de los equipos. Las unidades de: sensor, procesamiento de datos, enlaces de comunicaciones y la infraestructura esencial siguen siendo esencialmente idénticos, sea cual sea la aplicación.

Las unidades de Multilateración soportan vigilancia de superficie A-SMGCS que puede ampliarse mediante la adición de nuevas unidades de sensores para dar una mayor precisión de vigilancia de las rutas de aproximación a la pista. Esta configuración puede ser aumentada con nuevos sensores desplegados desde el aeropuerto, donde los datos pueden ser manejados por los operadores aéreos para el control del tráfico de entrada y salida en los alrededores del espacio aéreo Terminal.

Por último, sensores idénticos pueden ser instalados en distancias mucho más lejanas, donde podrán ser dispuestos en una configuración de área amplia para cubrir el espacio aéreo entre los aeropuertos.

El sistema de Multilateración puede ampliarse sin ningún tipo de pérdida de la inversión inicial.

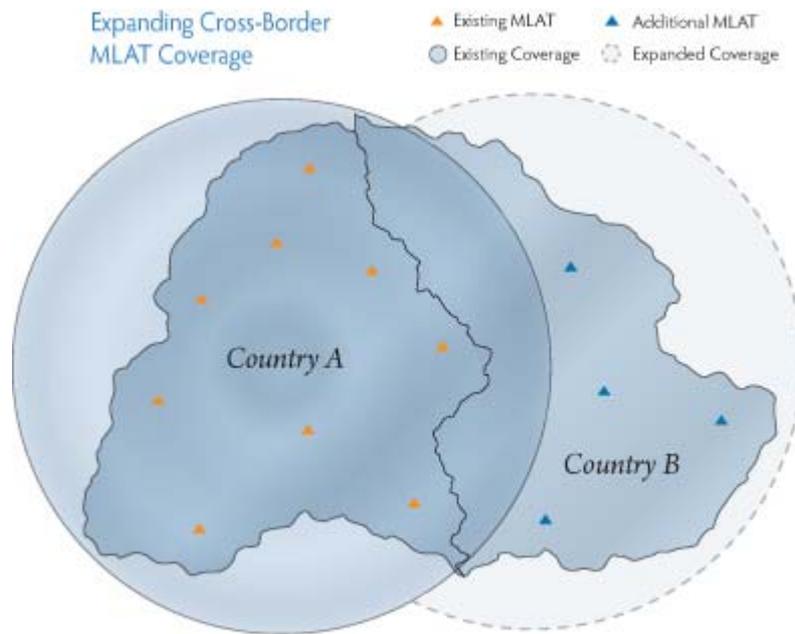
Esta aplicación ofrece un importante beneficio económico a consecuencia de mínimas intervenciones en los sensores y la disponibilidad de piezas de repuesto, así como la gran reducción de los costos de entrenamiento del servicio técnico en comparación con los valores que exige el radar. Debido a la familiaridad de una sola unidad, ofrece un diagnóstico de fallas y reparación mucho más rápido, en caso de que sea necesario.



**Figura. 5. 6. El apoyo de MLAT para múltiples aplicaciones y la capacidad de expansión dan a ANSPs una poderosa capacidad para disminuir la inversión.**

### 5.2.5 Cobertura cross-border

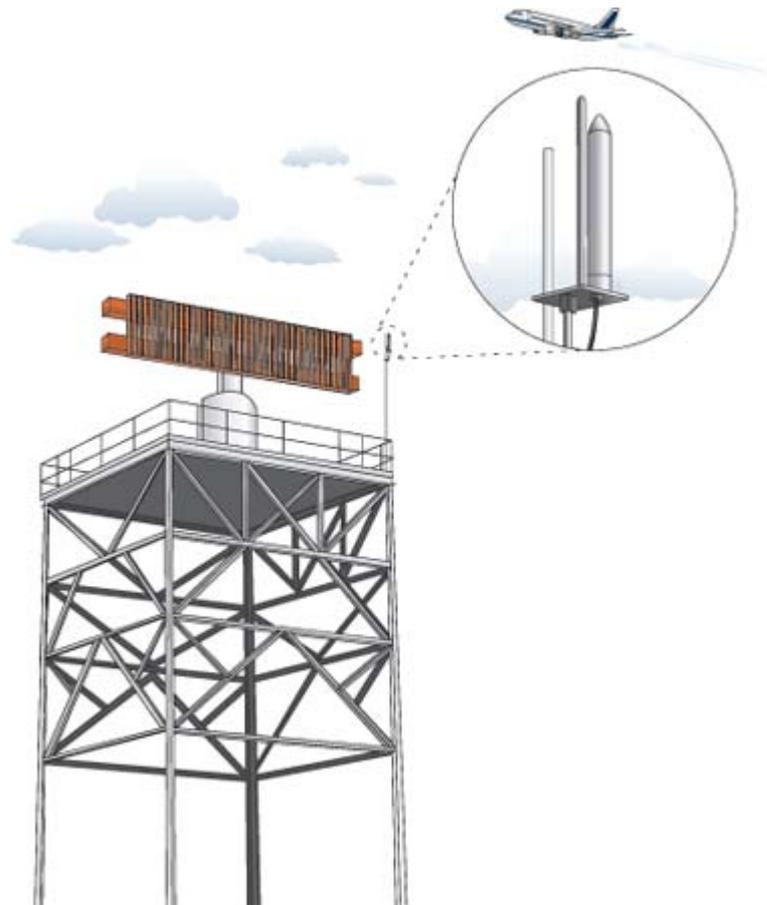
Los sistemas de Multilateración han sido planificados e instalados por ANSPs para proporcionar una óptima cobertura dentro de las fronteras de sus propias naciones. Tal como ocurrió a menudo con SSR, la cobertura de vigilancia a menudo se extiende fuera de los límites del espacio aéreo cubriendo parte del espacio aéreo del país vecino. Sin embargo, a diferencia del radar tradicional, la capacidad de expansión única de la Multilateración ofrece la capacidad de ampliar la inversión existente de un ANSP y permitir la financiación de los gastos y modelos de cooperación nunca antes posible.



**Figura. 5. 7. Ejemplo de Cobertura Cross-border**

### 5.2.6 Impacto ambiental

En el mundo actual, el impacto ambiental de la maquinaria y la tecnología está muy cerca. Los recursos son finitos y cualquier cosa que emita contaminación es perjudicial. Más y más ANSPs se enfrentan a grandes restricciones en donde se pueden colocar los radares, debido a la huella que los equipos ocupan, y también a causa de la contaminación electromagnética que se crea. La Multilateración no tiene ese problema, ya que cada sensor puede ser colocado en las estructuras ya existentes, tales como torres de telefonía celular, edificios, etc. Los sensores de la Multilateración no se enfrentan a los cambios ambientales que afectan a cualquier sitio de radar porque son estacionarios y requieren de poca energía.



**Figura. 5. 8. SSR necesita una mayor huella ambiental e infraestructura dedicada vs. MLAT que se coloca fácilmente en las estructuras existentes.**

**El Radar consume más de 200 veces la potencia (12 kilovatios frente a 50 vatios) y pesa más de 100 veces (2500 kg vs 24 kg) que una estación terrestre de MLAT.**

## 5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

### 5.3.1 Ventajas

- La probabilidad de falla del sistema (no detección del sistema) se producirá sólo después de 12100 horas.
- Procedimientos ATC
  - o No se necesita cambios a los procedimientos radar.
  - o No es un cambio brusco para los controladores.
- Reduce los retardos, provee de rutas directas y óptimas para aumentar la seguridad.
- Mejor tiempo y planeamiento de vuelo.
- Mejora el uso del espacio aéreo.
- Sistema fácilmente expandible.
- Sistema construido con redundancia.

- No produce problemas ambientales.
- No costos adicionales para aerolíneas.
- Reducción del trabajo para la tripulación y el personal de tierra.
- El costo de mantenimiento es mucho mas bajo debido a que no existen partes mecánicas giratorias.
- Tasa de actualización y precisión más alta que el radar.
- Camino de transición a ADS-B.

### **5.3.2 Desventajas**

- Aún no está aprobado por la OACI.
- Se requieren múltiples sitios de instalación y enlaces de comunicaciones.
- Alcance (rango) de interrogación limitado.

## **CAPITULO VI**

### **ESTIMACION ECONOMICA**

#### **6.1 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS**

Los costos de un sistema de Multilateración dependen del número de componentes:

- Equipo Hardware (Estación de Procesamiento Central, Unidades Remotas, Transpondedores de Referencia).
- Instalación y autorización
- Costos de operación (mantenimiento, electricidad, costos por alquiler de línea de datos, costos por alquiler del sitio).

##### **6.1.1 Hardware**

El costo del equipo (hardware) básico es más barato que SSR.

- Receptores Múltiples similares a un receptor SSR.
- Transmisor Opcional similar a un transmisor SSR.
- Antenas múltiples de costo mucho más bajo que SSR.
- No componentes mecánicos giratorios.
- Procesador de Multilateración.

Si se compara el costo estimado del hardware de un sistema SSR (\$ 3'915500) con los precios estimados de los equipos de la Multilateración (Procesador Central \$ 626480, Unidades Remotas \$ 78310 - \$ 234930, Transpondedor de Referencia \$ 78310), entonces los costos del hardware de un sistema de Multilateración son alrededor del 50% de lo que cuesta un sistema SSR.

### **6.1.2 Instalación y Autorización**

La instalación y autorización dependen de la ubicación. La instalación es más simple que SSR y existen múltiples sitios para elegir. La autorización será más cara al inicio hasta que la tecnología haya madurado y la aprobación del proceso esté estandarizada.

### **6.1.3 Arquitectura**

Con respecto a la arquitectura: los enlaces de microonda o fibra óptica requieren sistemas de reloj común; esto puede ser costoso en algunos casos. Los Sistemas de Reloj Distribuido pueden usar cualquier enlace digital sobre una mezcla de cualquier tecnología: cobre, fibra o inalámbrica. Si ya existen enlaces a los sitios, los sistemas de reloj distribuido pueden explotar esta infraestructura y evitar los costos de instalación de enlaces. Los sistemas GNSS sincronizados son más simples y más flexibles de ubicar lo cual hace la elección del sitio mucho más fácil. *Los sistemas de transpondedor Sincronizado y Sistemas de reloj común que usan enlaces de microonda tienen restricciones de línea de vista entre los sitios. Estos sistemas serán inadecuados en sistemas montañosos.*

### **6.1.4. Mantenimiento**

El costo del mantenimiento del sistema de Multilateración será mucho más bajo que SSR ya que no existe rotación de partes mecánicas. Un mantenimiento a los 6 meses en cada sitio para mantener el equipo auxiliar tales como sistemas UPS puede ser suficiente.

### **6.1.5 Consumo de energía**

Transmisor de Referencia (R/T): 360 watts

Unidad Remota (solamente receptor- R/O): 360 watts

Transpondedor de Referencia (REFTRAN): 200 watts

### **6.1.6 Alquiler del sitio**

El costo de la renta/mantenimiento de los enlaces múltiples de datos podría ser una parte significativa del total de los costos de operación, y ciertamente el costo de la renta de los sitios contribuirá substancialmente a los costos de operación.

## 6.2 PROPUESTA ECONÓMICA

En este caso, se va a instalar un sistema conformado por 4 receptores, un transmisor de referencia y un transpondedor de referencia.

**Tabla. 6. 1. Costo por adquisición de equipos**

<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>
Transmisor de Referencia	1	78310	78310
Transpondedor de Referencia	1	78310	78310
Unidad Remota (receptor)	4	78310	313240
Estación Central de Procesamiento	1	626480	626480
<b><i>TOTAL EQUIPOS</i></b>			<b><i>1096340</i></b>

**Tabla. 6. 2. Costo por instalación de equipos**

	<b>COSTOS (\$)</b>
Equipos (incluido el entrenamiento al personal técnico)	1096340
Montaje de equipos y mástiles	120000
Fuente de energía de respaldo	30000
Enlaces de telecomunicaciones	70000
Instalación (planificación, pruebas)	70000
Uso de frecuencias aeronáuticas	0
<b><i>TOTAL INSTALACION</i></b>	<b><i>1386340</i></b>

**Tabla. 6. 3. Costo por consumo de energía eléctrica**

<b>EQUIPO</b>	<b>CONSUMO DE ENERGIA (watts)</b>	<b>COSTO POR CONSUMO DE ENERGIA (\$ x 1 hora)</b>	<b>COSTO POR CONSUMO DE ENERGIA (\$ x 1mes)</b>
Transmisor de Referencia	360	0.03	51.42
Transpondedor de Referencia	200	0.02	28.57
Unidad Remota	360	0.03	51.42

(receptor)			
Estación Central de Procesamiento	360	0.03	51.42
<b><i>TOTAL CONSUMO DE ENERGIA</i></b>			<b><i>182.84</i></b>

Tabla. 6. 4. Costo por mantenimiento anual

	<b>COSTOS</b> <b>(\$)</b>
Repuestos necesarios (4% del valor de los equipos)	43853.6
Consumo de energía	2194.08
Mantenimiento (una vez cada 6 meses, x 3 estaciones)	3000
<b><i>TOTAL MANTENIMIENTO POR 1 AÑO</i></b>	<b><i>49047.68</i></b>

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✚ El nuevo aeropuerto de Quito, por estar ubicado en un lugar con una topografía muy irregular, compuesta de elevaciones y valles, requiere de sistemas electrónicos de tecnología de punta, para la vigilancia de la aeronavegación, capaces de cubrir de manera segura las zonas de aproximación a la pista.
- ✚ Los sistemas de vigilancia de aeronavegación que actualmente se utilizan para el control del tráfico aéreo en la ciudad de Quito son los radares Primario y Secundario.
- ✚ A pesar de la avanzada tecnología de los sistemas radar, se presentan zonas en las que no se tiene detección de las aeronaves o es inconsistente, lo cual hace necesaria la incorporación de otros sistemas tales como la Multilateración (MLAT).
- ✚ El sistema MLAT se basa en el principio de triangulación y consta de una serie de antenas para la recepción de la señal de una aeronave y de una estación de procesamiento la cual calcula la posición del avión con la diferencia del tiempo de llegada de la señal en las diferentes antenas.
- ✚ Un sistema de Multilateración consta principalmente de un transmisor de referencia, un transpondedor de referencia (para pruebas), unidades remotas (sensores) y una estación central de procesamiento, cuya ubicación debe ser estratégica para lograr cubrir la mayor parte del espacio aéreo que se desea proteger.
- ✚ Para determinar la ubicación de los equipos remotos aledaños al nuevo Aeropuerto de Quito, se debió visitar varios lugares para asegurarse de que además de tener línea de vista con las demás estaciones, se tenga disponibilidad de la infraestructura necesaria para la instalación y funcionamiento de los equipos y facilidades para las telecomunicaciones.

- ✚ Con la ubicación de los sensores en: Santa Rosa (Pintag), Tabacundo, Condorcocha, Nuevo Aeropuerto y Monjas, se mejora la seguridad en el espacio aéreo del Área Terminal del nuevo aeropuerto de Quito.
- ✚ Los equipos del sistema de Multilateración ofrecen la facilidad de ser instalados fácilmente en sitios con espacios reducidos y a la intemperie.
- ✚ Para optimizar la precisión del sistema MLAT es necesario incrementar el número de sensores remotos considerando siempre el criterio de la distancia óptima entre ellos (baseline).
- ✚ Mediante la estimación económica realizada se puede notar que el precio de adquisición, instalación y mantenimiento del sistema de Multilateración es de aproximadamente el 50% de los valores que demanda un radar Secundario.
- ✚ Se recomienda la implementación de un sistema MLAT que será complementario al sistema SSR de la DAC, en razón de que, debido a la ubicación del nuevo aeropuerto se han observado zonas ciegas en la trayectoria de aproximación de las aeronaves hacia la pista del nuevo aeropuerto ubicado en Tababela.
- ✚ Para la ubicación geográfica de los sensores, se debe procurar tener línea de vista entre el mayor número de sitios, con el fin de garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema.
- ✚ En razón de que MLAT es una tecnología relativamente nueva, se recomienda el asesoramiento de una empresa con experiencia certificada para realizar el proceso de planificación e instalación de este sistema.

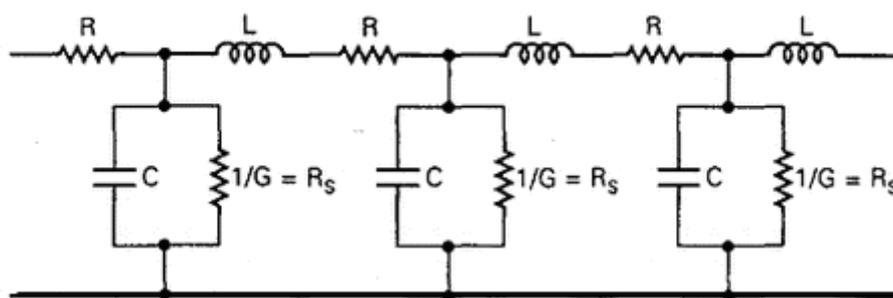
## ANEXOS

### A1<sup>85</sup>: DEFINICIÓN DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN

- Es cualquier sistema de conductores, semiconductores, o la combinación de ambos, que puede emplearse para transmitir información, en la forma de energía eléctrica o electromagnética entre dos puntos.
- Son circuitos en frecuencias muy altas donde las longitudes de onda son cortas, estas actúan como circuitos resonantes y aun como componentes reactivos en VHF y UHF y frecuencias microondas.

En resumen: "*Es un medio o dispositivo por donde se propaga o transmite información (ondas electromagnéticas) a altas frecuencias.*"

### CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

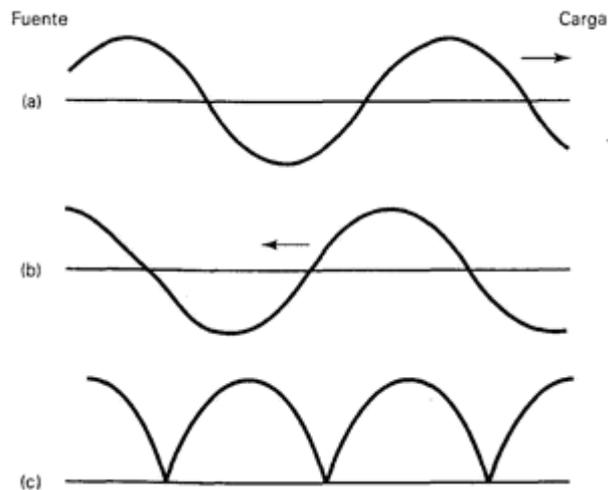


$C$  = capacitancia – dos conductores separados por un aislante  
 $R$  = resistencia – oposición al flujo de corriente  
 $L$  = autoinductancia (inductancia propia)  
 $1/G$  = resistencia de dispersión del dieléctrico  
 $R_s$  = resistencia de dispersión en derivación

Figura. A1.1. Línea de transmisión de dos cables paralelos, circuito equivalente eléctrico

<sup>85</sup> <http://www.monografias.com/trabajos38/lineas-de-transmision/lineas-de-trasmision2.shtml>

## RELACIÓN DE ONDA ESTACIONARIA



**Figura. A1.2. El desarrollo de una onda estacionaria en una línea de transmisión (a) onda incidente; (b) onda reflejada; (c) onda estacionaria**

La relación de onda estacionaria (SWR), se define como la relación del voltaje máximo con el voltaje mínimo, o de la corriente máxima con la corriente mínima de una onda. A ello también se llama relación de voltajes de onda estacionaria. (VSWR). En esencia es una medida de la falta de compensación entre la impedancia de carga y la impedancia característica de la línea de transmisión.

La ecuación correspondiente es:

$$\Gamma = \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \quad SWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (\text{Adimensional})$$

Los máximos de voltaje ( $V_{\max}$ ) se presentan cuando las ondas incidentes y reflejadas están en fase (es decir, sus máximos pasan por el mismo punto de la línea, con la misma polaridad) y los mínimos de voltaje ( $V_{\min}$ ) se presentan cuando las ondas incidentes y reflejadas están desfasadas  $180^\circ$ . La ecuación queda:

$$SWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{E_i + E_r}{E_i - E_r}$$

## A2<sup>86</sup>: ASTERIX

### **General Description**

#### **Project in Perspective with other Projects**

The tool will serve to check the data integrity and validity of ASTERIX messages on an ATC data network. The tool is not planned to have a major operational usage. It will be used to check correctness of operation of new ASTERIX applications and to track down the data level problems that may arise in an operational environment.

#### **Summary of Product Functions**

The tool is intended for evaluation of data streams to and from operational equipment. But the evaluation is not required to be real-time. The anticipated operation mode will be recording of all network data and an off-line analysis of the recorded data to track down the problem sources. It is also foreseen that the tool can be used for the on-line monitoring of the ATC data quality.

#### **User Characteristics**

The potential users of the tool will be either a dedicated person whose main task is to analyze ATC data networks and track down any problems, or an ATC engineering unit member who is responsible from the overall performance of the ATC surveillance system. Therefore, the tool should support both the mainstream analysis of the ASTERIX data with automated error reporting facilities and should also assist an expert to analyze the ASTERIX data in finer detail by selection filters, low-level data displays.

---

<sup>86</sup> [http://www.eurocontrol.int/asterix/gallery/content/public/documents/FAM\\_Tool.pdf](http://www.eurocontrol.int/asterix/gallery/content/public/documents/FAM_Tool.pdf)

### A3<sup>87</sup>: NTP

The **Network Time Protocol (NTP)** is a protocol for synchronizing the clocks of computer systems over packet-switched, variable-latency data networks. NTP uses UDP port 123 as its transport layer. It is designed particularly to resist the effects of variable latency by using a jitter buffer.

NTP is one of the oldest Internet protocols still in use (since before 1985). NTP was originally designed by Dave Mills of the University of Delaware, who still maintains it, along with a team of volunteers.

NTP is not related to the much simpler DAYTIME (RFC 867) and TIME (RFC 868) protocols.

---

<sup>87</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_Time\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Network_Time_Protocol)

## A4<sup>88</sup>: SNMP

El **Protocolo Simple de Administración de Red** o **SNMP** es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red. Es parte de la familia de protocolos TCP/IP. SNMP permite a los administradores supervisar el desempeño de la red, buscar y resolver sus problemas, y planear su crecimiento.

Las versiones de SNMP más utilizadas son dos: SNMP versión 1 (SNMPv1) y SNMP versión 2 (SNMPv2). Ambas versiones tienen un número de características en común, pero SNMPv2 ofrece mejoras, como por ejemplo, operaciones adicionales.

SNMP en su última versión (SNMPv3) posee cambios significativos con relación a sus predecesores, sobre todo en aspectos de seguridad, sin embargo no ha sido mayoritariamente aceptado en la industria.

---

<sup>88</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Simple\\_Network\\_Management\\_Protocol](http://es.wikipedia.org/wiki/Simple_Network_Management_Protocol)

## **A5<sup>89</sup>: EUROCAT**

EUROCAT 2000 is a system for processing radar data, and flight plan data and flight information, for use of the ATS provided on routes of air traffic services, and in the Prague terminal control area, including CTR Prague.

EUROCAT 2000 provides the following functions:

Obtains and processes primary, secondary and combined tracks and plots, which are collected from several radar inputs.

Compiles and pre-compiles flight plan data.

Automatically allocates SSR codes, with the exception of take-offs from selected aerodromes in FIR Prague.

Allows work with electronic strips with limited utilization of their data.

Detects short-term conflicts (STCA), danger of close approach to the terrain (MSAW), and warns of close approach to dangerous space (DAIW).

Registers data on the system and operator performance, and makes it possible to re-play these data.

Enables filtration of system tracks, and their distribution to external.

Monitors and controls the system.

EUROCAT 2000 integrates the functions of a flight plan, radar functions and MMI for EC projecting. The processor for compiling flight information utilizes the pre-compiled external FDP data of the ESUP system. It starts to work with these data at the coordinated stage of flight, allocates secondary radar codes, organizes the flight-life according to its rules, and co-operates with the EUROCAT 2000 radar processor on integrated functions of the flight plan and the system's track. The EUROCAT 2000 system works with its own sectoring, its own trajectory, and flight profile. The results are projected at FDO, OPSUP and EC of the ATS Prague units. It is a supplier of the system's track to the co-operating RMCDE system and, through it, also to IDP and external users. It has its own controlling and monitoring system and a scope of features and capabilities that are suppressed for the time being, and have been, in correspondence with the EATCHIP requirements, destined for later implementation.

---

<sup>89</sup> [http://www.ans.cz/generate\\_page.php3?page\\_id=628](http://www.ans.cz/generate_page.php3?page_id=628)

The space where multi-radar processing of the EUROCAT 2000 system takes place is defined off-line. In this space the system produces the MRT product – a system track. All points defining this space are related to the system's centre. The coordinates that are used are stereographic, and have been obtained by stereographic projection on the reference plane. The radar functions work with several types of tracks and plots. The tracks coming in from radar detectors generated by mono-radar-tracking are called local tracks, and their position is related to the position of the radar detector. Local tracks are generated by the system from the incoming plots by mono-radar-tracking. The combined tracks, which are produced by multi-radar-tracking, are called system tracks.

The flight plan function, besides automatic processing of selected areas of ATS messages (sometimes called ICAO), also makes it possible to calculate flight trajectories, including the profile, and mid-term plan conflict prediction. These functions are also utilised for warning purposes.

The flight plans functions process flight plans, and supplement messages to flight plans, during the whole flight-life within the area of the system's jurisdiction. Some of the functions extract needful information, which is passed on to air traffic controllers in the form of MMI.

Producer/distributor

Thales ATM, France.

Date of commencement of operation

2001

Platform

The EUROCAT 2000 operates under Ultrix and OS2 operating system. The EUROCAT 2000 is composed as an open distributed system, which uses double LAN communication architecture. Individual components are provided by Hewlett-Packard, Compaq and Thales. The system uses industrial computers and some of the components were developed specifically just for use in the EUROCAT 2000 system.

### Selected parameters

The maximum size of space that can be processed by multi radar is limited by a square, which has a side of no more than 512 NM. The system makes it possible to connect up to 8 radar detectors. Multi-radar processing is capable of simultaneous generation and processing of a maximum of 250 system tracks. System tracks are updated every 6 seconds. The maximum capacity of the system is 250 active flight plans.

**A6: COBERTURA DEL DISEÑO PROPUESTO PARA EL SISTEMA  
DE MULTILATERACIÓN**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### *LIBROS*

SKOLNIK, Merrill, Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, Segunda Edición, 1985

TOOMAY, J.C, Radar Principles for the non-specialist, Publicaciones Lifetime Learning, California, 1982

THOMSON-CSF, ATC System, Francia, 1996

ORGANIZACION DE AVIACION CIVIL INTERNACIONAL, Manual sobre ensayo de radio ayudas para la navegación, Primera edición, Canadá, 1998

BALDEON, Edgar, Manual de Radio-Navegación Aérea, Quito, 1997

ERA, “Beyond Radar”, Estados Unidos, 2007

### *PAGINAS DE INTERNET*

BEYOND RADAR, Era, [www.erabeyondradar.com](http://www.erabeyondradar.com)

MULTILATERATION & ADS-B, Era, [www.multilateration.com](http://www.multilateration.com)

### *ARTICULOS*

ASTRA, “Comparison of Surveillance Technologies”

SENSIS, “Multilateration Systems Implementations”

SENSIS, “Multilateration Technology Overview”, Syracuse, NY

EUROCONTROL, “Wide Area Multilateration”, Agosto 2005

### *INFORMACION PROPORCIONADA*

AENA, Dirección de Sistemas e Instalaciones de N.A, “Sistema de Multilateración”, 24 de febrero de 2003

SALAMANCA, Miguel, “Curso de Multilateración”, Julio 2005

AIRSYS ATM, “STAR 2000 - RSM970 I”, 9 de noviembre de 1998

AUSTRO CONTROL, “Use of MLAT for operational air traffic control”, 2008

ASARE, Bernard, “Next Generation Surveillance”, Estados Unidos, 31 de enero de 2008

Sangolquí,

de 2008

COORDINADOR DE CARRERA

EL ALUMNO EGRESADO

Ing. Gonzalo Olmedo

Erika Cecilia Espín Villacrés