UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

CONTROL DE TRÁFICO AÉREO Y MARÍTIMO. IDENTIFICACIÓN DE IDIOSINCRASIAS Y APORTACIONES AL CONTEXTO DE LA SEGURIDAD MARÍTIMA

Autor: Francisco Marí Sagarra
Director: Ricard Marí Sagarra

CAPÍTULO 7

EQUIPAMIENTOS

7.1. Equipos en el Ámbito Aéreo

7.1.1. El radar en el ATC

En un principio el control de tráfico se realizaba por medio de señales visuales (banderas, luces, marcas y carteles, etc.) que debían ser vistas por el piloto. Posteriormente estas ayudas se convirtieron en faros, y hacia 1930 con la introducción de la radio en los aviones se consiguió establecer contacto oral entre piloto y controlador.

Históricamente, la primera mención conocida de radar es una patente de Hülsmayer en Alemania de 1904, que no llegó a realizarse. El primer sistema de radar en funcionamiento data de 1925, por simple medida de interferencia y el primer radar de impulsos se desarrolló en 1938. [GONZ-82]. Este sistema, utilizado inicialmente para la detección de buques y aeronaves con fines militares, está basado en el principio de reflexión de las ondas de radiofrecuencia.

Al ser un sistema capaz de presentar sobre una pantalla el tráfico aéreo de un área determinada, su aplicación al control de tráfico fue inmediata. Este tipo de radar recibe el nombre de radar primario, actualmente también se utiliza con los mismos fundamentos que lo desarrollaron hace 50 años, pero presenta dos inconvenientes para el control aéreo:

a) No se distingue un blanco de otro y no identifica a las aeronaves.
b) No da información de altitud.

Para solucionar el problema de la identificación, se desarrollaron los sistemas militares IFF/SIF (Identification Friend or Foe/Selective Identification Feature) que, mediante unas trazas distintivas provenientes del eco radar, activadas por el piloto a requerimiento del controlador, permitían distinguir los aviones propios de los enemigos.

El problema de la información de altitud se solucionó a partir de la aparición del radar secundario de vigilancia (SSR), versión potenciada del SIF, que proporciona la transmisión automática y continua de este dato.

A lo largo del tiempo se ha llegado a otros sistemas más perfeccionados, con el empleo del respondedor de abordo hasta llegar al sistema anticolisión TCAS, de reciente creación. Por otra parte los satélites permiten la aplicación de mejores criterios de separación radar, y por tanto, incrementan la capacidad del espacio aéreo controlado. Con la Vigilancia Dependiente Autónoma (ADS) para uso de los servicios de tránsito aéreo y cuya función estriba en la transmisión automática de datos extraídos de los sistemas de navegación de abordo, se da una información más precisa de posición de la aeronave y además se alivia la sobrecarga de frecuencias de radio que en la actualidad tiene el control de tráfico aéreo.

Este sistema reúne las siguientes ventajas:

1. Es un sistema de gran precisión.
2. Permite controlar los vuelos de varios aviones simultáneamente.
3. No está prácticamente afectado por las perturbaciones atmosféricas, no sujeto a interferencias.
4. No es necesaria ninguna instalación especialmente sofisticada a bordo.
5. Permite programar la secuencia de tráfico para el aterrizaje de un avión cada dos minutos, aproximadamente.
6. No se requiere ningún mapa especial a bordo.
7. Permite efectuar aproximaciones instrumentales de precisión sin el apoyo de ayudas de navegación.
8. En el caso del SSR, proporciona un canal adicional de comunicaciones (aunque codificado) unilateral con el servicio de control.

A continuación se describen de forma genérica los sistemas de radar primario y secundario, elementos fundamentales en el control de tráfico aéreo.

7.1.2. Radar Primario

Cuando el controlador opera con el radar trabajando por simple reflexión de las ondas electromagnéticas desde el avión, se dice que trabaja con un radar primario. Esta situación se puede presentar tanto en el radar de vigilancia, como en el de aproximación y en el de superficie.

Normalmente el radar primario de vigilancia (Figura 7-1) provee al controlador de tráfico aéreo una representación en forma de mapa, en el que aparecen todos los ecos de radar de los aviones que se encuentran dentro del alcance de detección. El controlador puede determinar la posición (marcación y distancia) de cada blanco del radar respecto a la instalación radar, o de un blanco respecto a otro, así como respecto a una estación de tierra. Es decir, el equipo permite al controlador localizar blancos, pero no puede identificarlos instantáneamente, ya que para ello debería ordenar una serie de virajes a la aeronave que desea identificar en pantalla para establecer lo que se llama "contacto positivo".

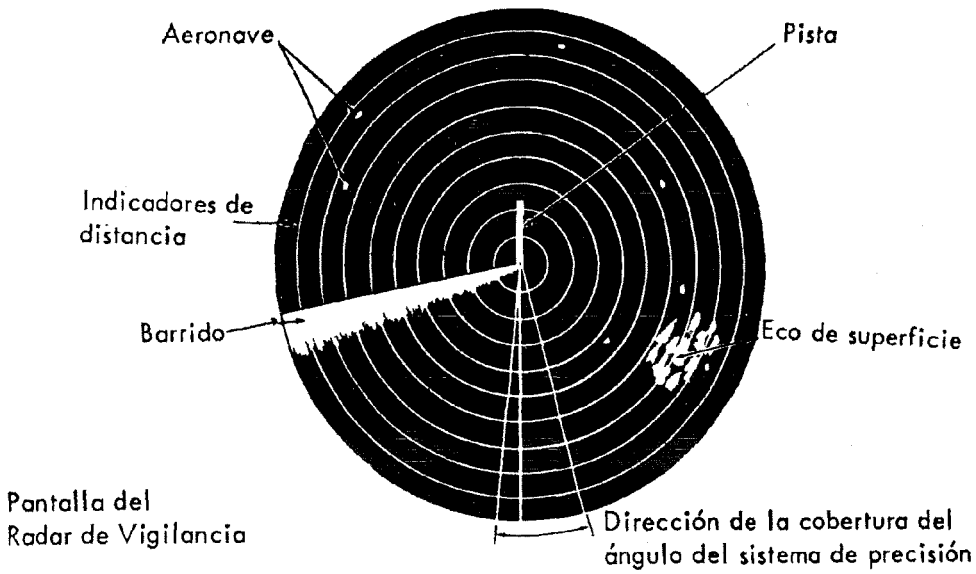


Figura 7-1

Un dispositivo en la pantalla, la unidad de video-mapa, genera una carta de aerovías o un mapa de aeropuerto y lo presenta en la pantalla de radar. Por ejemplo, usando este dispositivo el controlador además de "ver" el eco de los aviones, conoce cual es su situación con respecto a las pistas, ayudas de navegación, aerovías, obstáculos peligrosos, etc. A requerimiento del operador/controlador, en la pantalla se representa toda la cobertura o solo parte, lo cual es muy útil cuando se acumulan los aviones alrededor de toda una zona de la pantalla. La diferencia esencial entre el radar de vigilancia de aeropuerto (ASR), el radar de vigilancia terminal (TAR) y el radar de

vigilancia de aerovías (ARSR) se encuentra en el equipo requerido para proveer alcances de cobertura apropiados a cada uno de ellos.

El equipo radar de detección de la superficie del aeropuerto (ASDE) es también un sistema de vigilancia aunque su antena "barre" el suelo más que el aire. En los grandes aeropuertos que tienen varias calles de rodaje y pistas, y especialmente en condiciones meteorológicas adversas, permite al controlador tener un "acceso visual" al movimiento de aeronaves y vehículos terrestres aunque para él no sea posible localizarlos de una forma directa, por ejemplo, si hay un edificio entre la torre y una zona del aparcamiento.

La principal ventaja del radar primario es que no requiere ningún equipo especial abordo, todos los aviones pueden hacer uso de esta ayuda de tierra a través del controlador, pero los factores que afectan a la reflexión, así como las características de los ecos en pantalla, hacen que a veces se presenten dificultades para obtener dichos ecos, a parte de que no es posible identificar los blancos inmediatamente.

Las aplicaciones del radar primario en el control de tráfico aéreo según la función que desempeñe se puede dividir en:

a) Radar de vigilancia (ASR, TAR, ARSR).
b) Radar de precisión para aproximaciones (PAR).
c) Radar de superficie (ASDE).

7.1.3. Radar de exploración o vigilancia (ASR).

La misión es vigilar alrededor del aeropuerto. Como la pantalla está graduada en grados de azimut y provista con marcas de distancia, el controlador puede determinar la posición y distancia de avión en cualquier momento. Se emplea para realizar, durante la fase de aproximación, la vigilancia de las desviaciones en azimut de la trayectoria de aproximación. Dispone de una sola antena situada en las proximidades del aeropuerto

La antena del ASR cubre 360° en azimut y trabaja en la frecuencia de 3.000 Mhz. El alcance es de 60 NM aproximadamente y proporciona un haz giratorio a 30 r.p.m. de 8° de amplitud vertical y 7° de amplitud horizontal. (Figura 7-2).

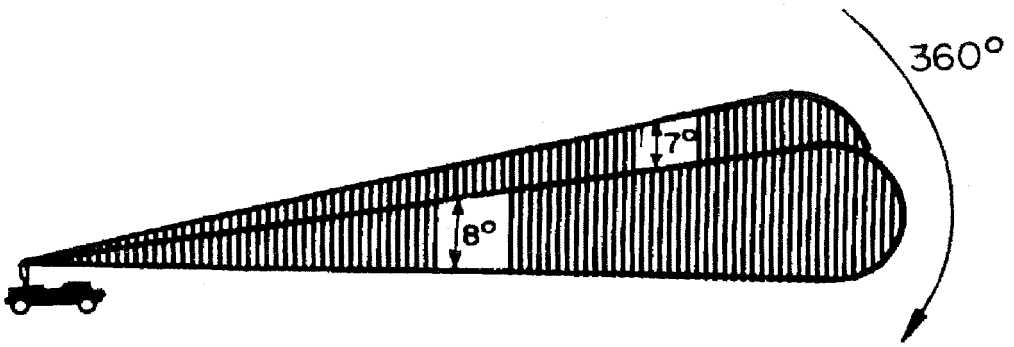


Fig. 7-2

La señal del primario suele emplearse integrada con la del secundario en áreas donde es necesario conocer con gran exactitud la posición de la aeronave, utilizándose por sí sola cuando no hay duda alguna acerca de la identidad del eco radar.

Para el control de tráfico aéreo presenta los inconvenientes citados de no permitir la identificación de los blancos y no dar información de altitud. Tiene además un alcance relativamente corto, las mencionadas 60 millas, sobre todo si lo comparamos con las 200 millas náuticas del SSR. Sin embargo, tiene la ventaja de ser una señal muy fiable al no sufrir procesos informáticos que la harían muy susceptible al error, como ocurre con la señal del SSR.

7.1.4. Radar de aproximación de precisión (PAR)

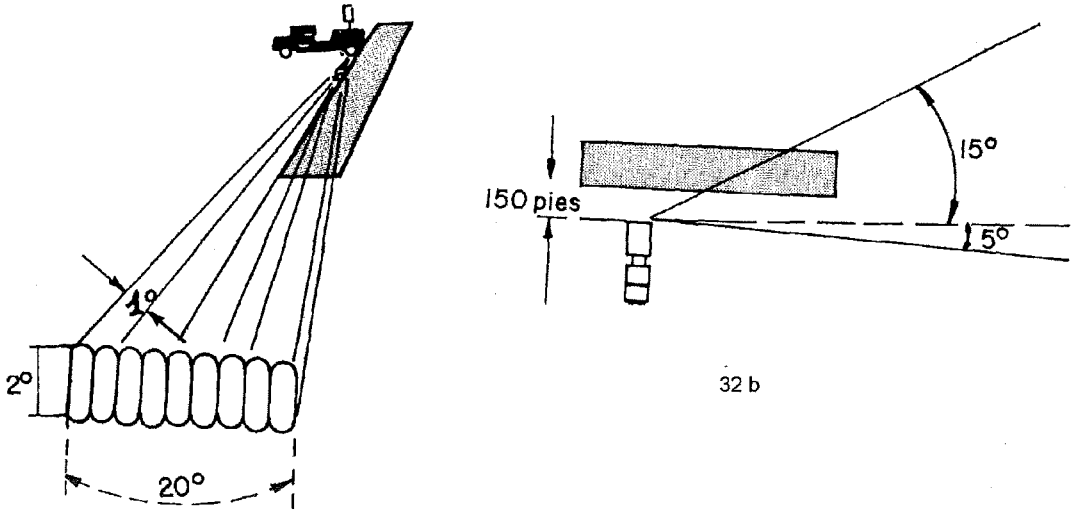
Es un equipo de radar primario usado para determinar la posición de una aeronave durante la aproximación final, en azimut y elevación en relación con una trayectoria nominal de aproximación, y en distancia en relación con un punto de toma de contacto. Sirve para que pueda darse guía por comunicación radio a los pilotos durante las fases de la aproximación para aterrizar.

Este sistema de radar es de uso eminentemente militar y tiene como objetivo auxiliar a las aeronaves que arriban en emergencia, indicándole el controlador, a partir de la información de sus pantallas, cualquier desviación significativa de la senda de planeo o de la trayectoria de aproximación.

El equipo está situado, generalmente, en la mitad de la pista y a una distancia entre 150 y 300 pies a un lado de ella, mirando hacia la zona de aproximación.

El sistema PAR consta de cuatro pantallas y dos antenas, emite en la frecuencia de 10.000 Mhz, con un alcance de 10 millas náuticas.

El haz correspondiente a la antena de azimut barre un sector de 20° de amplitud sobre el plano horizontal y 2° sobre el vertical, siendo las dimensiones de este haz de 1° horizontal y 2° verticales. (Figuras 7-3a y 7-3b).



Figuras 7-3a y 7-3b

La antena de elevación posee un haz de 3,6° horizontales y 1° vertical con lo que barre un sector vertical de 3,6° de ancho por 7° de alto, (ver figura 7-4). La antena de azimut gira su haz de derecha a izquierda, y la de elevación, de arriba abajo.

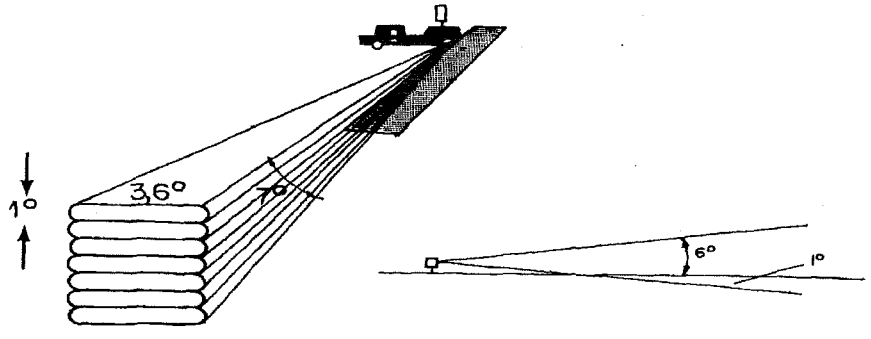


Figura 7-4

Al llegar el avión a la distancia de aproximación, el haz indica al operador la altura a la que se encuentra el avión, y el haz de azimut si se encuentra a la derecha o a la izquierda de la trayectoria de final.

En el sistema de PAR se utilizan cuatro pantallas. Dos de ellas indican en azimut la situación del avión y las otras dos la elevación sobre el terreno. Las pantallas de azimut se diferencian únicamente en la distancia que cubren, una tiene un alcance de 10 millas náuticas y la otra 2 millas náuticas, y lo mismo ocurre con las de elevación.

El error máximo en azimut desde la línea central de la pista en el punto de contacto es de 30 pies ó 0,2°, lo que resulte mayor.

7.1.5. El radar secundario de vigilancia

El Radar secundario de Vigilancia (Secondary Surveillance Radar-SSR), desempeña un papel muy importante en el control de la circulación aérea. Se diferencia del Radar Primario o radar puro, en que el blanco detectado deja de ser pasivo y no solamente refleja la energía recibida, sino que, "activamente", responde a la señal recibida. Esta respuesta es a su vez "cualitativa", porque "cualitativa" es también la interrogación estando las respuestas condicionadas por la clase de interrogación recibida. Permite conseguir una seguridad y fluidez tales, que las separaciones entre aeronaves que vuelen a la misma altitud, se pueden reducir hasta 3 Nm. cuando aquellas se encuentran a menos de 40 Nm. de la estación, y a 5 Nm. cuando se encuentran a mayor distancia. El SSR es un sistema en sí mismo, capaz de operar independientemente, pero normalmente está asociado a un radar primario

El principio de funcionamiento consiste en que la estación de tierra, es la unidad "interrogadora", con una antena montada de manera que pueda barrer el espacio simultáneamente con la antena de un radar primario, y un descodificador, envía unas señales que son recogidas por el equipo de abordo, que es la unidad "respondedora", el cual descifra la interrogación y transmite una respuesta cifrada que es recogida por el interrogador y enviada a la pantalla de radar. En dicha pantalla aparece una señal luminosa que varía de aspecto según sea el cifrado de la respuesta. Todas estas

posibilidades están condicionadas a que el móvil interrogado tenga su equipo receptor de interrogaciones y generador de respuestas, conocido por el nombre de "transponder o transpondedor".

Las funciones del radar secundario son: la detección, la localización, la identificación simple y el data link. Las dos primeras son análogas al radar primario, las otras dos son específicas y hacen adquirir toda su potencialidad.

El equipo interrogador transmite una secuencia codificada de pulsos de radio en la frecuencia de 1.030 Mc/s, con una tolerancia de ±1,5 Mc/s y a un régimen de 450 interrogaciones por segundo, la polarización de las transmisiones de interrogación y control es predominantemente vertical.

El transpondedor de a bordo responde en la frecuencia de 1.090 Mc/s, con una tolerancia de ±3.0 Mc/s y a un régimen comprendido entre 400 y 1.200 respuestas por segundo; transmitiendo un código seleccionado en su unidad de control y que previamente ha sido comunicado a la nave por el controlador, permitiendo la identificación positiva del buque o avión con un blanco en la pantalla de radar y suministrando otros datos, por medio del descodificador del equipo de tierra que ha analizado la señal emitida por el respondedor (como también se le llama simplemente al equipo de a bordo).

7.1.5.1 Características principales del radar secundario

- **Modos de Interrogación**

  La interrogación consiste en la transmisión de dos impulsos, llamados P1 y P3 y, de un impulso adicional de control llamado P2, que se utiliza para la supresión de lóbulos laterales. La amplitud del pulso P2 puede ser mayor o menor que las amplitudes de los pulsos P1 ó P3, lo que sirve respectivamente para inhibir o activar las respuestas del transpondedor de a bordo. (Figura 7-5).

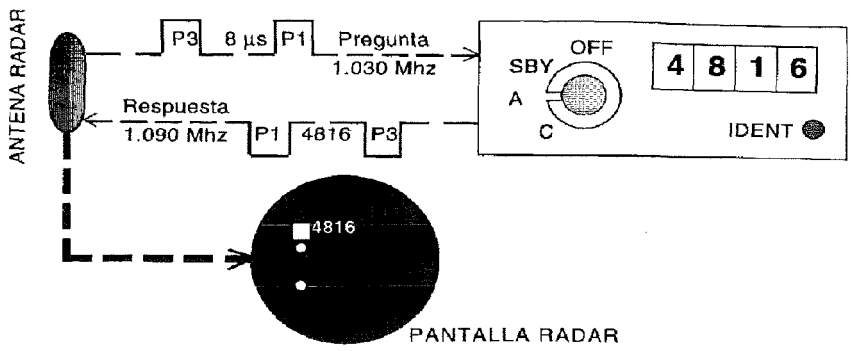


Figura 7-5

El intervalo de tiempo transcurrido entre P1 y P3 determina el modo de interrogación, hay 5 modos de interrogación para fines militares, y otros 4 para fines civiles. [OACI-85].

Cuando el control aéreo utiliza un intervalo entre P1 y P3 de 8 microsegundos (Modo A), el transpondedor responde insertando un código de cuatro dígitos que es el que corresponde al que la tripulación había selectado.

Cuando la separación entre impulsos interrogadores es de 21 microsegundos, el transponder responde en Modo C insertando entre P1 y P3 la altitud del avión, obtenida de un altímetro codificador en los aviones convencionales o directamente del Computador de Datos del Aire (ADC) en los aviones con sistema de datos integrados, (figura 7-6), el convertidor analógico-digital transforma los datos analógicos de altitud en una secuencia digital, codificada según el código Gray, transmitiendo la altitud por incrementos de 100 pies, según la tabla del Anexo 10 – Volumen I de OACI.

El intervalo entre P1 y P2 es de 2 microsegundos, la tolerancia de los intervalos es de ±0,2 microsegundos.

Cada centro de control tiene asignadas unas familias de claves con las que identifica a las aeronaves en su área de jurisdicción. Las familias de claves se asignan según un sistema de reparto mundial coordinado por la OACI.

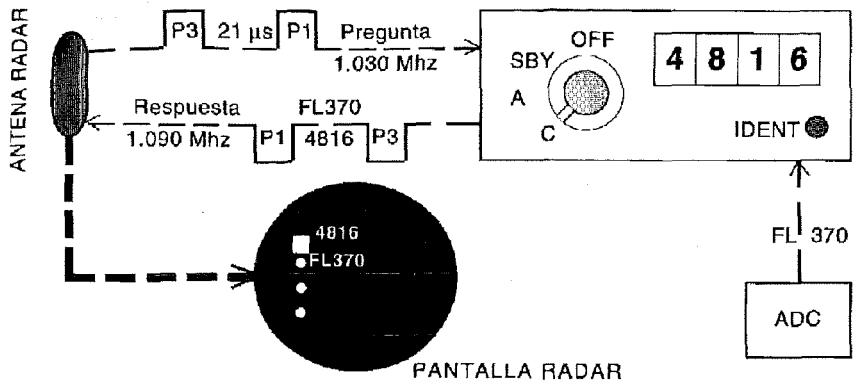


Figura 7-6

- **Impulso especial de identificación de posición (SPI)**

  Cuando existe una ambigüedad en la identificación radar, además de los impulsos de información, se puede transmitir un SPI después del último impulso de referencia, con un espacio respecto a éste de 4,35 microsegundos.

  Para efectuar la transmisión de un SPI es necesario pulsar momentáneamente (a requerimiento del controlador) el correspondiente interruptor situado en el panel de control del transponder, (marcado como ident, en la figura 7-6), con ello se consigue duplicar, durante un período de tiempo comprendido entre 15 y 30 segundos, el ancho de la señal luminosa que aparece en la pantalla.

  El periodo de tiempo durante el cual permanece duplicada dicha señal, está fijado previamente para cada respondedor y figura en sus respectivas órdenes técnicas, el efecto producido en la pantalla radar depende de la marca del fabricante.

- **Anchura de los impulsos de respuesta**

  Para todos es de 0,45 microseg., con una tolerancia de ±0,1 microsegundos.

- **Zona servida por el interrogador**

  El SSR proporciona servicio, bajo todas las condiciones meteorológicas, entre 0,5° y 45° de elevación, hasta un mínimo de 30.840 metros (100.000 pies) sobre el nivel del mar y a todas las distancias entre 1 y 200 Nm. como mínimo.

7.1.5.2 Ventajas y limitaciones que ofrece el SSR

a) **Las ventajas** quedan claramente significadas por cuanto permiten:

1. Una gran fluidez en el tráfico por la seguridad que representa estar bajo control radar positivo cualesquiera que sean las condiciones meteorológicas.
2. Obtener del controlador la posición del avión y su velocidad respecto al suelo (GS), el rumbo y la distancia a cualquier punto.
3. Transponder las señales de Socorro, Urgencia y de fallo de comunicaciones, pudiendo en éste caso acusar recibo de los mensajes, en caso de fallo solamente del transmisor, reglando el respondedor de acuerdo con las instrucciones del controlador.

b) **Las Limitaciones** del SSR convencional presentan el primer inconveniente del SSR es la necesidad de tener un equipo transpondedor a bordo y complementariamente, los equipos, tanto de a bordo como de tierra, tienen que ser de una gran calidad, pues el proceso completo constituye una serie de fases en las que la pérdida de calidad supondría una degradación de la señal, lo que le restaría fiabilidad, siendo los factores de degradación más representativos:

- **Limitada Capacidad de Enlace de Datos Tierra/Aire** y tan sólo admite 4.096 claves de respuestas en el enlace Aire/Tierra, utilizadas para identificación o altitud.
- **La Transmisión en Líneas de Visión en Zonas ciegas**, conos de silencio, falta de cobertura en zonas de baja altitud, ocultación de la antena de la aeronave en maniobras, y alcance limitado.
- **Exceso de Señales en el Espacio** ya que el método utilizado para determinación del azimut obliga a una alta frecuencia de repetición de interrogaciones dando lugar a una alta densidad de señales, lo que aumenta el riesgo de interferencias.
- **El giro mecánico de la antena exploradora** genera una ineficacia de exploración, imposibilidad de establecimiento de prioridades en el orden de interrogación e imposibilidad de adecuar el intervalo de interrogación a las necesidades del ATC para cada aeronave.
- **La Ausencia de Datos de Actitud**, tales como el rumbo y la velocidad, limitan de forma importante la precisión del seguimiento de pistas (tracking) y la buena

operatividad (minimización del número de falsas alarmas) de la función de detección de conflictos a corto plazo.

- **Respuestas a Interrogaciones Ajenas**, (respuestas asíncronas), como todos los equipos transmiten las respuestas en la misma frecuencia, 1.090 Mc/s, existe la posibilidad de que en un equipo interrogador se reciban respuestas a interrogaciones realizadas por otro, cuando un avión está en una zona de cobertura común a dos o más interrogadores. En la pantalla PPI estas respuestas aparecen en posiciones variables, presentando el aspecto de un racimo de uvas, de ahí el nombre de "Fruiting".
- **Solape de Respuestas**, debido a la separación entre los dos impulsos de referencia es de 20,3 microseg., que en la pantalla radar supone una distancia de 3 Kms. Por ello, cuando la separación entre dos aeronaves sea menor de estos 3 Kms. y están en azimutes que difieran en menos que la anchura del haz principal del SSR, sus ecos se solaparán. Se conoce con el nombre de "Garbling ". Estas limitaciones pueden ser minimizadas o superadas mediante los algoritmos de tracking mono y multiradar utilizados por los sistemas de tratamiento de datos radar.
- **Los algoritmos mono-radar** se utilizan para mejorar la precisión y la disponibilidad de la información SSR. Para ello se realizan una serie de procesos cuyo resultado es el *alisamiento* de la pista, al objeto de compensar el ruido y, por tanto mejorar la precisión y también el poder disponer de una posición extrapolada, que, además, puede ser presentada al controlador en caso de producirse una falta radar (ausencia de una respuesta).

  Estos algoritmos presentan problemas y limitaciones propias, especialmente en maniobras donde se produce una pérdida de precisión de la posición o una mayor incertidumbre con respecto a la misma. La disponibilidad de datos de actitud (rumbo, velocidad, etc.) permitiría superar esta problemática.
- **Los algoritmos multiradar** se utilizan para mejorar la disponibilidad, aunque también permiten mejorar la precisión. Estos algoritmos fusionan la información proveniente de varios radares, o combinan varios algoritmos mono-radar. Permiten superar o minimizar algunas limitaciones, como son las zonas ciegas, conos de silencio y pérdidas en maniobra, al complementarse unos radares con otros. Sin

embargo, el coste para conseguir la cobertura adecuada puede ser en algunos casos muy alto, debido al excesivo número de radares necesarios para cubrir orografías muy accidentadas.

7.1.5.3. Panel de un transponder en uso en aviación civil

El equipo, representado en la figura 7-7, dispone de 4.096 claves en cada uno de los modos:

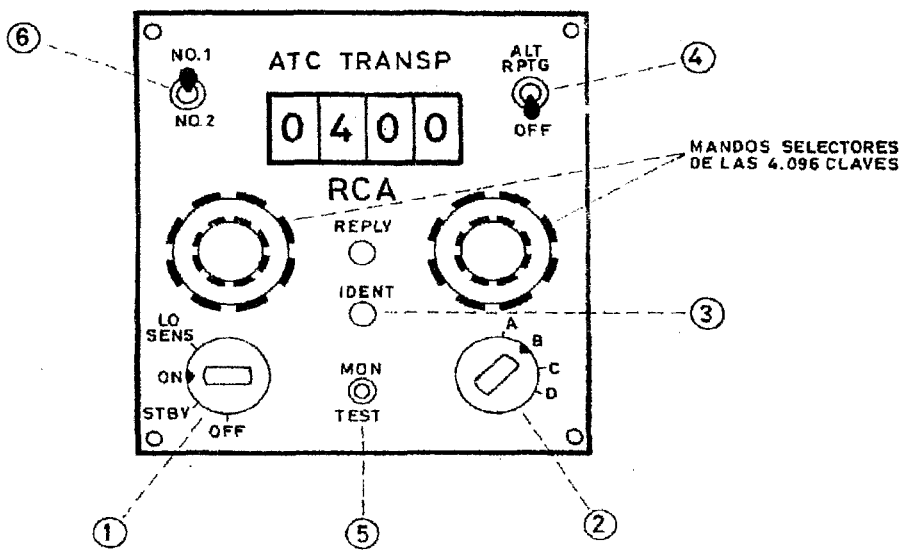


Figura 7-7

1. Selector de encendido y funcionamiento.
2. Selector de modos
3. Botón de identificación (Ident). Pulsándolo se transmite un SPI.
4. Al conectar este interruptor se transmite la altitud de presión, aunque el selector de modo no esté en modo C.
5. Interruptor para activar la comprobación del equipo, enciende una luz verde simulando la recepción de una interrogación
6. Selector de uno de los dos transpondedores que se llevan a bordo.

En la pantalla del controlador, la posición de la aeronave se representa por un símbolo (círculo, cuadrado, etc.), con una etiqueta en la que figura la clave y la altitud. También pueden representarse otros datos numéricos como rumbo y velocidad que el propio radar calcula a partir de las posiciones sucesivas de la aeronave.

Asignando una clave distinta a cada aeronave se consigue diferenciar a unas de otras. Con la utilización de procesos informáticos se puede reemplazar la clave por el indicativo radiotelefónico, facilitando todavía más la identificación en la presentación.

La aplicación del SSR se extiende a todos los espacios aéreos donde se puede conseguir cobertura radar, pero la separación que se ha de mantener entre las aeronaves empleando este sistema debe ser mayor que con radar primario, al tratarse de una señal que está sujeta a un número mayor de posibles errores entre la posición real de las aeronaves y la presentada en pantalla.

El emplazamiento de las antenas de radar secundario puede coincidir con las de primario (la mayoría de las veces) y cuando es así se montan coaxialmente. (Figura 7-8)

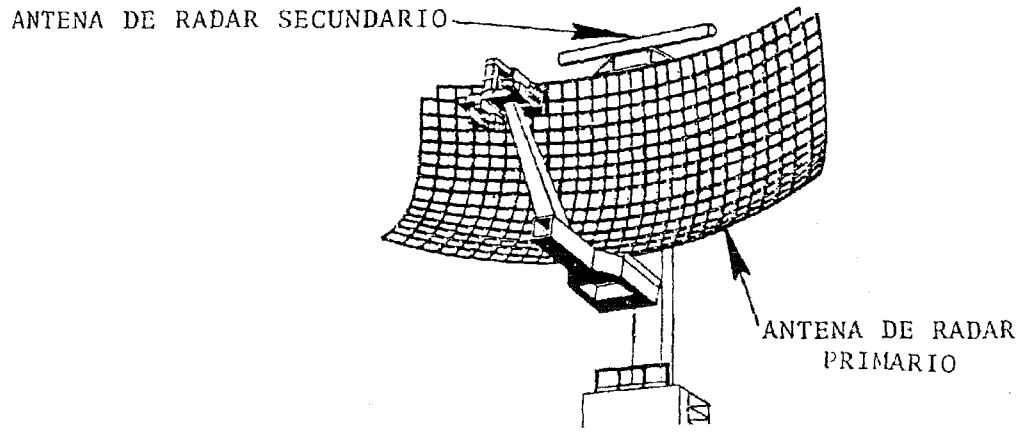


Figura 7-8

El radar secundario de vigilancia es la herramienta fundamental del control de tráfico aéreo moderno. Las funciones que desempeñan los modos A y C actualmente, así como la transmisión de muchos otros datos, son llevadas a cabo por un sistema de nueva concepción como es el modo S utilizando la técnica del mono pulso, el modo S es la

base del sistema anticolisión de a bordo ACAS, (Airborne Collision Avoidance System).

7.1.6. Transpondedor y radar modo S

Además de las limitaciones y problemática anteriormente expuestas, se añade el hecho de que el haz de la antena de radar secundario no es lo suficientemente estrecho y al "iluminar" el avión en una pasada hace que el transpondedor de éste dispare hasta 16 respuestas sucesivas, aumentando de forma considerable el número de impulsos electromagnéticos emitidos innecesariamente. Si a esto le añadimos que las previsiones realizadas indican que el incremento del tráfico aéreo será aproximadamente del 100% en los próximos 10 años, se ve con claridad que los medios actuales de control de tráfico aéreo deberán adaptarse para poder soportar esa demanda y eliminar los problemas actualmente existentes.

El radar Modo S trata de solucionar este problema incorporando a la función de vigilancia la función de enlace de datos.

7.1.6.1. Descripción del radar modo S

El radar Modo S es una combinación del radar secundario de vigilancia y un sistema de enlace de datos Tierra/Aire y Aire /Tierra, capaz de proporcionar los servicios necesarios de vigilancia y comunicaciones de las aeronaves y soportar la automatización de la gestión del tráfico aéreo en ambientes de alta densidad de tráfico.

El radar Modo S genera una interrogación dirigida a un avión en concreto y recibe una respuesta únicamente de este avión, evitando lanzar interrogaciones a todos los aviones en cada barrido de 360º alrededor de la estación. Esto significa dos cosas:

a) Que las interrogaciones son selectivas evitando interferencias, de ahí que se llame Modo S (Selective).
b) Que al disminuir el número de interrogaciones queda espacio suficiente para insertar otras informaciones, tanto en la pregunta como en la respuesta,

estableciendo de este modo un canal automático de comunicaciones Tierra/Aire y como se expondrá más adelante también Aire/Aire (Sistema TCAS).

La operación en Modo S se inicia cuando el radar de tierra envía una "interrogación a todos los aviones". Dependiendo del formato de la interrogación, contestarán los aviones con transpondedor Modo A/C, Modo S o ambos, de manera que el sistema sea compatible con todos los modos, mientras que sigan en operación los transpondedores más antiguos. Si el equipo de a bordo trabaja en Modo S, la respuesta incluye la dirección de este avión. Cada avión quedará asignado en una marcación, a la cual se dirigirá el radar de tierra en las sucesivas interrogaciones a ese avión. Si la llamada se dirige sólo a los transpondedores Modo S, la codificación se hace utilizando el código DPSK (utilizado normalmente en redes de transmisión de datos) y si se dirige a transpondedores Modo A/C/S se codifica con modulación PAM.

Una vez averiguada la dirección y la posición de los aviones que hay en la zona, el equipo de tierra hace una lista con todas sus marcaciones y va interrogando a todos esos aviones a medida que el eje de la antena apunta a cada uno de ellos y empezando por los que están más lejos. Una sola interrogación es necesaria para buscar cada avión, ya que el radar de tierra utiliza una antena especial (radar monopulso) que permite averiguar el azimut exacto del blanco. De esta manera se puede llegar a controlar un gran número de aviones mejorando la exactitud y el automatismo, permitiendo, además, el intercambio de información específica con cada uno de ellos.

Por la importancia que tiene este equipo, consideramos aportar una explicación mas completa de sus características y funcionamiento.

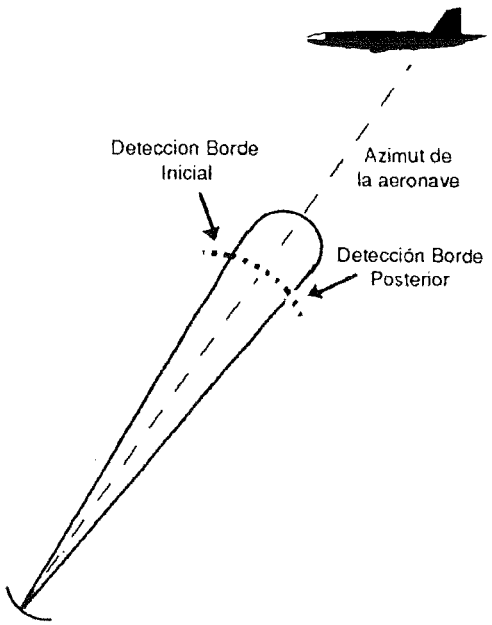
7.1.6.2. Técnicas para la determinación del azimut

Existen dos sistemas para la determinación del azimut:

- **Técnica de ventana deslizante**

Es el sistema utilizado por los radares convencionales para la determinación del azimut de la aeronave. Este sistema necesita una frecuencia de repetición de 450 interrogaciones por segundo para poder conseguir las doce o más respuestas correctas

necesarias de cada una de las aeronaves. El valor de azimut de la aeronave se consigue calculando la media de los azimuts de la primera respuesta y la última. (Figura 7-9).



DETECTOR VENTANA DESLIZANTE

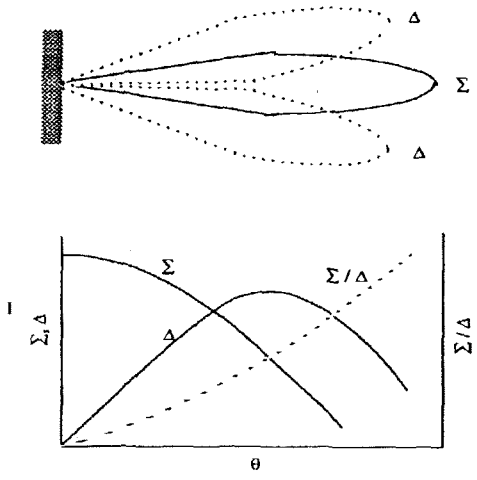
Figura 7-9

- **Técnica monopulso**

Es el sistema utilizado por los radares monopulso y los radares Modo-S para la determinación del azimut de la aeronave. Teóricamente este sistema sólo necesita una respuesta correcta para la determinación del azimut; el método consiste en disponer de dos diagramas de radiación en la recepción de la respuesta, el azimut de la aeronave con respecto al ángulo de apuntamiento de la antena será función de la relación existente entre las amplitudes de la señal recibida por un diagrama respecto al otro. (Figura 7-10).

7.1.6.3. Cobertura y enlace de datos

El SSR Modo S proporciona cobertura del volumen del espacio aéreo asignado con cualquier tipo de condiciones meteorológicas, en todos los radiales y distancias, desde un mínimo de 1 milla náutica, hasta la distancia máxima requerida por las operaciones.



Σ: DIAGRAMA SUMA
Δ: DIAGRAMA DIFERENCIA
θ: ANGULO DE ALINEAMIENTO

DIAGRAMA MONOPULSO

Figura 7-10

Estas distancias son de 200 millas en largo alcance y 80 millas en corto alcance.

La cobertura en altitud es de una distancia mayor o igual a 100.000 pies, con ángulos de elevación de 0,5° y 40°.

El transpondedor Modo S, sin necesidad de ser interrogado, transmite al espacio cada segundo en frecuencia de 1.090 Mhz un código de 24 bits específico de cada avión individual, que se le asigna cuando sale de fábrica para que, bien la estación de tierra, bien otro transpondedor Modo S, puedan dirigir sus interrogaciones a un avión concreto inhibiendo la respuesta de cualquier otro o, lo que es lo mismo seleccionar solamente el avión que más interesa interrogar en cada instante, con lo que se evitan interferencias y aumenta la resolución de respuesta.

El sensor Modo S realizará vigilancia de transpondedores Modo S y Convencional, aceptando la información digitalizada de los blancos dados por una radar primario coemplazado. La determinación de azimut se realizará por técnica monopulso. El sensor Modo S puede interrogar cada segundo a los transpondedores de los aviones cercanos,

de manera similar a como lo hace el radar secundario de ATC, y recibir respuesta de ellos. (Figura 7-11).

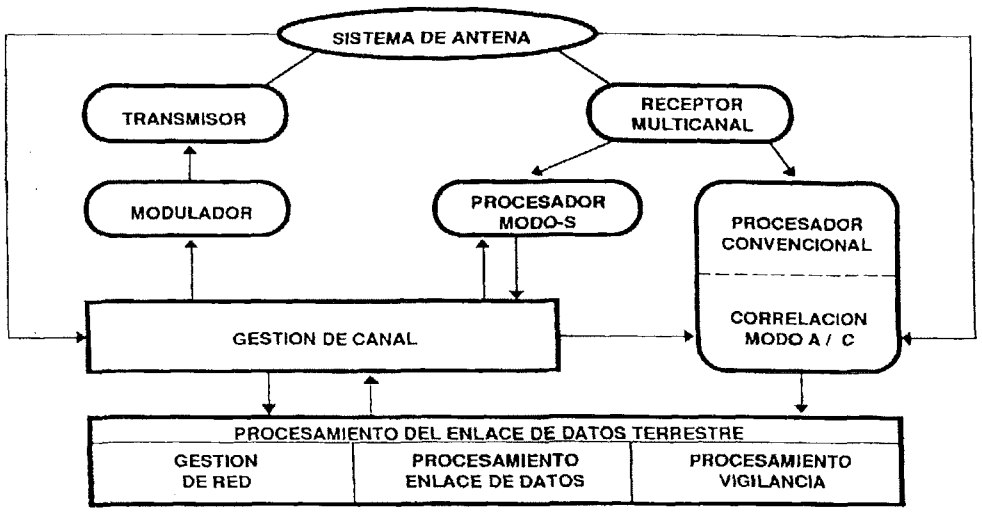


DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONAL DEL INTERROGADOR

Figura 7-11

El sensor Modo S proporciona un enlace de datos Tierra/Aire y Aire/Tierra para todos los aviones equipados con transpondedor Modo S. La tasa de errores no detectados es inferior a un error por 10^7 mensajes de 112 bits. La detección de errores se realiza mediante la verificación de paridad.

7.1.6.4. Interrogación modo – S –y sus características

Consta de dos señales:

1. Una señal emitida por una antena **directiva** que consta de tres pulsos: P1, P2 y P6. Los pulsos P1 y P2 forman el preámbulo y están separados 2 μsg siendo de igual amplitud, por lo que un transpondedor convencional (Modo A/C) interpreta este par de pulsos como una orden de supresión de lóbulos laterales del SSR, e inhibe su funcionamiento durante un período de tiempo entre 25 y 45 μsg.

El pulso P6 contiene el bloque de datos de información de la señal Modo-S, se modula por desplazamiento de fase diferencial. (Figura 7-12).

La estructura del pulso P6 es la siguiente: 1,25 µsg después del comienzo del pulso se produce la inversión de fase asíncrona (si no se produce, se anula la recepción de la señal).

Después de 0,25 µsg de la inversión de fase se analiza el bloque de datos, viendo si cada 0,25 µsg con o sin inversión de fase, lo que da lugar a 56 o 112 bits de datos, dejándose un margen de 0,5 µsg hasta el final del pulso. Los últimos 24 bits de P6 contienen la información del código de dirección de la aeronave.

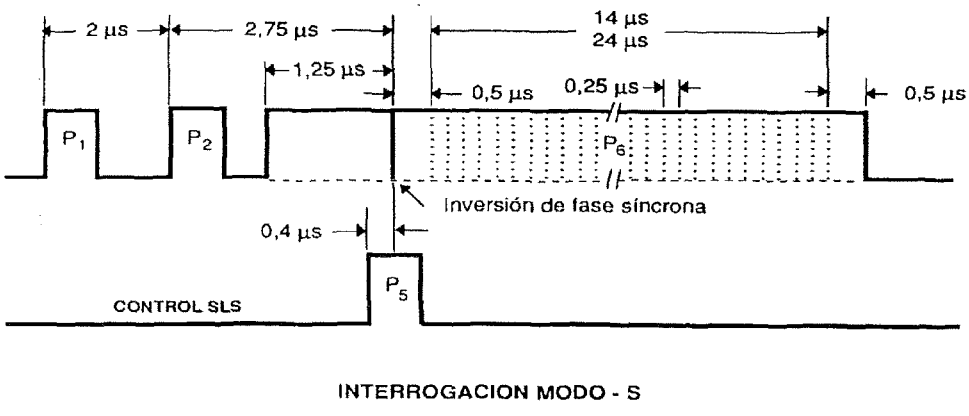


Figura 7-12

2. Una señal emitida por una antena omnidireccional y que consta de un impulso P5 usado para suprimir los lóbulos laterales. Si la amplitud de P5 es mayor que la de P6 se enmascara la inversión de fase síncrona, anulando la interrogación.

Características:

- Frecuencia 1.030 Mhz.
- Modulación DPSK.
- Velocidad de transmisión 4 Mbps.

7.1.6.5. Interrogación Intermodo.

Es la utilizada para llamada general en Modo A/C y A/C/S. Consta de dos señales:

1. Una señal emitida por una antena directiva que consta de tres pulsos: P1, P3 y P4. Los pulsos P1 y P3 son iguales a los emitidos por un SSR Convencional y tienen la

misma utilidad, determinando el modo de interrogación convencional. (Figura 7-13).

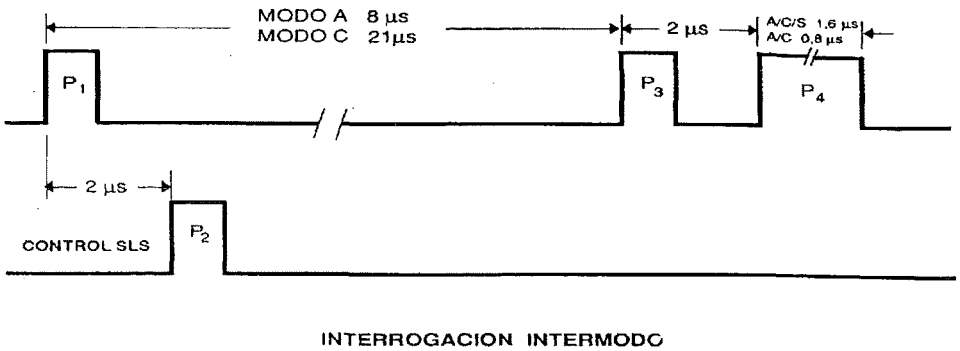


Figura 7-13

El pulso P4 se emite 2 µsg después de P3 y sólo es captado por los transpondedores Modo S. Este pulso puede tener dos tiempos de duración:

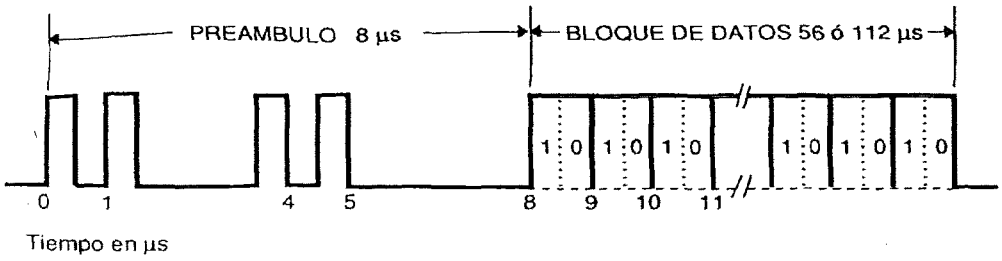
a) Si dura 0,8 µsg los transpondedores Modo S no responden.
b) Si dura 1,6 µsg responden los transpondedores Modo S, dando su código de dirección.

2. Una señal emitida por una antena omnidireccional, que consiste en un pulso P2, dicho pulso se emite 2 µsg después de P1. Se utiliza para eliminar los lóbulos laterales. En el caso de que P2 sea mayor o igual que P1, no responden los transpondedores.

7.1.6.6. Respuesta modo –S– y sus características

Una respuesta en Modo S está integrada por un preámbulo y por un bloque de datos que contiene 56 o 112 bits. (Figura 7-14).

El preámbulo consta de 4 pulsos de 0,5 µsg de duración y separados 1; 3,5 y 4,5 µsg del borde de subida del primer pulso. Después de 8 µsg del borde de subida del primer pulso, se inicia el bloque de datos, siendo de 56 o 112 µsg, según sea la respuesta larga o corta y dedicando los últimos 24 bits del bloque a la información del código de dirección de la aeronave.



RESPUESTA MODO - S

Figura 7-14

Características:

- Frecuencia 1.090
- Modulación PPM
- Velocidad de transmisión 1 Mbps.

Respuesta Convencional

Si el transpondedor Modo S no detecta el pulso P4, emitirá una respuesta convencional en Modo A/C, idéntica a la de un transpondedor convencional.

7.1.6.7. Características de la vigilancia radar Modo S

Las características principales que introduce el interrogador Modo S en la vigilancia son:

- **Direccionamiento Único.** Cada aeronave equipada con Modo S tendrá permanentemente asignada una dirección única de 24 bits. Estos 24 bits de dirección estarán en todas las interrogaciones discretas dirigidas a la aeronave, y en todas las respuestas de la aeronave.
- **Mejora del "Degarbling" de la Respuesta.** Las interrogaciones serán ordenadas según la distancia entre el interrogador y la aeronave, de forma que las respuestas no se solapen.
- **Reinterrogación.** Si una respuesta a una interrogación no es recibida, o es recibida, pero no decodificada, el interrogador tendrá la capacidad de reinterrogar (varias veces si es necesario) a la aeronave, durante el tiempo en que la aeronave está en el haz de radiación de la antena.

- **Llamada General y Pase de Lista.** Para ser interrogada discretamente, una aeronave deberá estar en el archivo de "pase de lista" del interrogador. Para la adquisición de blancos que todavía no están en el archivo de "pase de lista", el interrogador transmitirá interrogaciones de "llamada general" a la que cada aeronave equipada con Modo S responderá dando su dirección, y será incorporada al archivo "pase de lista" del interrogador.
- **Bloqueo a Llamada General.** Una vez en el archivo de llamada "pase de lista" del interrogador, el transpondedor podrá ser bloqueado y no responder a las subsiguientes interrogaciones de "llamada general" Modo S.

  Si por alguna razón una aeronave dejase de recibir interrogaciones de llamada selectiva por un período de 18 segundos, cualquier bloque existente se invalidará, de manera que la aeronave, podrá ser readquirida por adquisición normal Modo S.
- **Cobertura Multisensor.** Será posible la transmisión Interrogador/interrogador de la "dirección" y "posición" de la aeronave, allí donde los interrogadores Modo S tengan coberturas solapadas, y puedan comunicarse por medio de una vía común entre instalaciones ATC.
- **Enlace de datos radar modo S.** El enlace de datos del radar Modo S soportan una mayor automatización del ATC, al objeto de aumentar la capacidad del mismo. Las funciones automatizadas son todas las relacionadas con el intercambio de datos Tierra/Aire y Aire/Tierra entre el sistema terrestre ATC y la aeronave.

  Además, debe permitir el intercambio de mensajes controlador/piloto en ambos sentidos, estos mensajes se realizan al máximo nivel posible, utilizando teclados de función o pantallas táctiles, de manera que los mensajes generados actualicen también, cuando sea necesario, los sistemas de tratamiento de datos de plan de vuelo y radar, con lo que se evita el trabajo redundante.

7.1.7. Principales Tipos de Mensajes:

Básicamente son tres, según se describen a continuación:

Mensajes de vigilancia

Los datos de vigilancia podrán ser incluidos en cada interrogación y respuesta normalizada Modo S (con la excepción de los formatos de mensaje de longitud extendida y llamada general).

En una interrogación de vigilancia, puede incluirse una instrucción de bloqueo del transpondedor para interrogaciones de "llamada general". Normalmente, en una respuesta de vigilancia se incluye un informe de altitud idéntico al informe actual en Modo C. Sin embargo, tanto en tierra como el piloto pueden iniciar la inclusión del Modo A actual, en lugar del informe de altitud.

Mensajes Normalizados.

La mayor parte de las transmisiones de enlace de datos Modo S serán realizados mediante mensajes normalizados incluidos como parte de una interrogación o respuesta de 112 bits. Estas transmisiones incluyen datos de vigilancia además del mensaje de enlace de datos, y generalmente, será utilizado en lugar de una respuesta o interrogación de vigilancia.

Mensajes de Longitud Extendida.

Cada mensaje normalizado debe ser confirmado antes de la siguiente transmisión. Para proporcionar una transmisión eficaz de mensajes largos, se incorpora la capacidad de transmisión de mensajes de longitud extendida (ELM), pudiendo utilizarse hasta dieciséis, tanto en la transmisión Tierra/Aire, como en la Aire/Tierra, y serán confirmados con una única interrogación o respuesta.

Los mensajes de longitud extendida no contienen datos de vigilancia, y no pueden, de esta, forma sustituir a una interrogación o respuesta de vigilancia.

Los datos que puede intercambiar son: identificación del vuelo, autorizaciones, información de viento, transmisión de parámetros, altitudes mínimas de seguridad, nuevas frecuencias de comunicaciones, hora de despegue, etc.

7.1.8. El radar Modo S dentro del sistema ATC.

Las funciones que realizan cada uno de los interrogadores Modo S, están controladas por el mapa de cobertura, que es previamente definido, y que puede ser diferente en operación normal y en situación de fallo de varios sistemas. El mapa de cobertura define el máximo alcance en el que el interrogador proporciona cobertura de vigilancia y el área en el que el interrogador está designado como principal para el enlace de datos. Además proporcionan información de las responsabilidades de cobertura de los interrogadores adyacentes.

El interface entre el interrogador y cada instalación de control consta de un enlace en una dirección para la transmisión de los datos de vigilancia y un enlace en dos direcciones para el intercambio de mensajes de enlace de datos. (Figura 7-15).

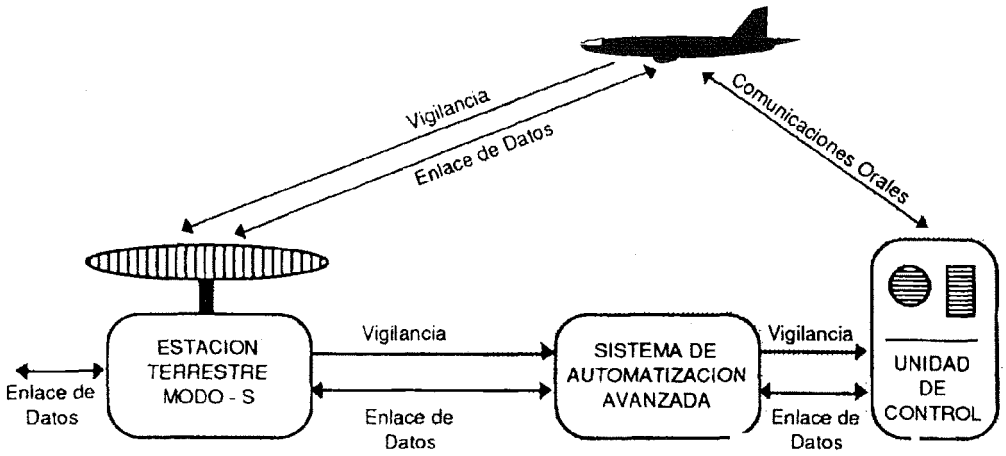


Figura 7-15

En general, cada interrogador es capaz de proporcionar servicio de vigilancia y comunicaciones para más de una instalación de control y del mismo modo, cada instalación de control debe ser capaz de recibir datos desde más de un interrogador. Esta capacidad de mayor conexión permite a las instalaciones de control obtener las ventajas de cobertura múltiple, a fin de mantener el servicio de vigilancia y enlace de datos en el caso de fallo de un equipo o enlace de un interrogador particular. Las fronteras de

vigilancia entre interrogadores adyacentes están determinadas principalmente por la geometría de la cobertura.

En general, las instalaciones de control utilizan los datos de un interrogador (principal) para mantener el "seguimiento" de una aeronave y utilizan los datos de esa aeronave procedentes de un segundo interrogador como "reserva instantánea".

El sensor designado como principal, es normalmente el que tenga mejor cobertura en una región determinada del espacio aéreo. La instalación de control puede utilizar cualquier sensor que tenga una aeronave en su registro de "seguimiento" para la transmisión de mensajes de enlace de datos normalizados Tierra/Aire.

7.1.9. Transpondedor SSR MODO S.

El transpondedor Modo S, recibe y decodifica las interrogaciones realizadas por los interrogadores Modo A/C y Modo S, reconociendo cuales son las interrogaciones Modo S dirigidas a la aeronave. Cada transpondedor Modo S reconoce la dirección discreta que le ha sido asignada a la aeronave y la dirección usada en las interrogaciones de llamada general Modo S y en las transmisiones de radiodifusión. Una vez determinado el tipo de interrogación y el contenido de los campos de control, el transpondedor transmite la respuesta apropiada en Modo A/C o Modo S.

7.1.9.1. Capacidad de los Transpondedores Modo S.

La capacidad de los transpondedores modo S puede establecerse por niveles y limitaciones.

NIVEL 1:

Los transpondedores de nivel 1 tienen la capacidad de realizar las siguientes funciones:

Transmisiones de llamada general en Intermodo y en Modo S.

Transmisiones para vigilancia dirigida, de altitud e identidad.

Protocolos de bloqueo.

Protocolos de datos básicos excepto la notificación sobre capacidad de enlace de datos.

Transacciones para los servicios Aire/Aire.

NIVEL 2:

Los transpondedores de nivel 2 tienen la capacidad de los del nivel 1, y además, permitirán la realización de las siguientes funciones:

Comunicaciones de longitud normal.

Notificación sobre capacidad de enlace de datos.

NIVEL 3:

Los transpondedores de nivel 3 tienen la capacidad de los de nivel 2 permitiendo además:

Comunicaciones Tierra/Aire de mensajes de longitud ampliada (ELM).

NIVEL 4:

Los transpondedores de nivel 4 tienen la capacidad de los de nivel 3 permitiendo además:

Comunicaciones Aire/Tierra de mensajes de longitud, ampliada (ELM).

Se puede resumir las ventajas que presenta el denominado "SSR en Modo S" en los siguientes puntos:

a) La diferencia fundamental con respecto al SSR es la directividad con que se realiza la interrogación y la selectividad con que la aeronave responde a la misma.
b) Como la compatibilidad con el SSR es total, se utilizan las mismas frecuencias de interrogación y respuesta, así como el formato de la señal.
c) Mediante este sistema cada aeronave, por medio de su transpondedor Modo S, tiene asignado un único código de dirección (adress), que proporciona las ventajas:
    - El interrogador tiene la posibilidad de limitar su trabajo sólo a aquellos blancos para los cuales tiene responsabilidad de vigilancia.
    - La temporización apropiada de las interrogaciones asegura que las respuestas de las aeronaves no se solapen.
    - Facilita la vigilancia en cualquier condición meteorológica y la mayor capacidad de suministrar datos adicionales codificados puede traducirse en una

disminución de errores producidos en las comunicaciones ATC, además de descargar los canales de comunicación VHF.

7.1.9.2. Limitaciones

Al ser un sistema con doble funcionalidad, la comunicación de datos y vigilancia (detección de aeronaves, etc.), debido a la direccionalidad de su antena giratoria, presenta las siguientes limitaciones:

a) El tiempo necesario para transferir un mensaje, debido a que hay que esperar a que la antena giratoria apunte a la aeronave, puede llegar a ser tan grande, o incluso más, que el tiempo necesario para la ejecución de una vuelta de antena completa (8 segundos o más si se trata de un radar de ruta), siendo, por lo tanto, inadecuado para la transmisión inmediata de mensajes de control de tránsito aéreo.

b) Tiene un tiempo muy limitado (aproximadamente 32 milisegundos por vuelta de antena) para transferir los datos, ya que el giro de ésta es uniformemente secuencial y no permite tiempos de iluminación variables sobre determinados blancos.

c) No puede utilizarse eficientemente debido a que la antena tiene que perder el tiempo barriendo áreas donde a veces no existen aeronaves o éstas no requieren del intercambio de mensajes.

d) Los mensajes no pueden transmitirse ordenados en base a su prioridad, ya que la antena no puede dirigirse a cualquier dirección a voluntad y mantenerse en ella hasta que la transferencia del mensaje se haya completado. Han de transmitirse en el orden establecido por el barrido de la antena.

7.1.10. Vigilancia Dependiente Automática (ADS)

7.1.10.1. Limitaciones actuales del ATC

La eficiencia de los servicios de control de tránsito aéreo, depende de manera importante de los sistemas de comunicación y vigilancia disponibles. Existen muchas áreas del globo (espacios aéreos oceánicos y regiones remotas) donde no es posible disponer de instalaciones de vigilancia e incluso no son viables las comunicaciones VHF, suministrándose el servicio de control mediante comunicaciones en alta

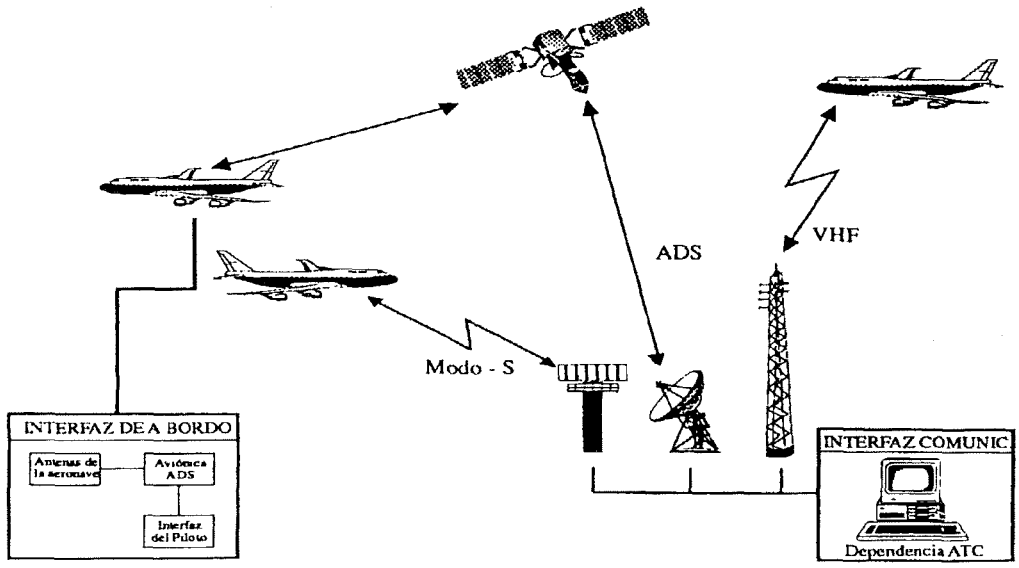
frecuencia HF, que presentan limitaciones de carácter operacional, y recurriendo al control de tránsito aéreo de procedimiento. Este tipo de control limita la posibilidad de modificación de los perfiles de vuelo autorizados, limitándose el control al seguimiento del plan de vuelo establecido mediante informes de posición transmitidos vía HF a intervalos relativamente poco frecuentes. Para garantizar la seguridad de las operaciones con este tipo de control, es necesario recurrir a grandes separaciones entre aeronaves, lo que limita la capacidad del espacio aéreo.

El incremento constante de los servicios de transporte y la necesidad de reducir los costes de operación exige la implantación de técnicas más eficientes de gestión del tránsito aéreo. Diversas organizaciones internacionales como OACI, Eurocontrol, la Agencia Espacial Europea (ESA) y las autoridades de aviación civil de países dentro de cuya jurisdicción entran espacios aéreos oceánicos o de regiones remotas como Estados Unidos, Canadá, Japón, Australia, España, Inglaterra y Portugal, llevan varios años trabajando para encontrar una solución a este problema.

El comité FANS fue establecido por el Consejo de la OACI a finales de 1983, con la misión de estudiar, identificar y evaluar los nuevos conceptos y la nueva tecnología, incluida la de satélites, en el ámbito de la navegación aérea, y preparar recomendaciones para el desarrollo de la navegación aérea para un período de unos 25 años. Este comité llegó a la conclusión de que la explotación de las comunicaciones por satélite es la única solución actualmente viable que permitiría superar las deficiencias de los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia actuales, y satisfacer las necesidades y requisitos del futuro previsible a escala mundial. [OACI-24].

El sistema ideado recibe el nombre de Vigilancia Dependiente Automática (ADS-Automatic Dependent Surveillance), mediante el cual, los informes de posición, identidad y nivel, procedentes de las aeronaves se transmiten automáticamente o a petición, a las dependencias de control de tránsito aéreo (ATC). A intervalos preestablecidos, mediante un enlace de datos Aire/Tierra, se presentan gráficamente en un mapa electrónico, lo que permite mejorar el control en regiones de información de vuelo (FIR) donde actualmente se recurre a los sistemas de procedimiento basados en

las comunicaciones orales piloto/controlador que dan lugar a grandes valores de los mínimos de separación y que no permiten una organización de tránsito aéreo plenamente eficaz. (Figura 7-16).



CONCEPTO DEL SISTEMA ADS

Figura 7-16

7.1.10.2. Objetivos del ADS y zonas de aplicación

Mediante la implantación de la función ADS se pretende conseguir los siguientes objetivos:

a) Aumentar la seguridad de los vuelos.
b) Tener conocimiento de las desviaciones sobre la ruta prevista.
c) Reducir la separación entre aeronaves.
d) Utilización más flexible del espacio aéreo.
e) Aumentar el nivel de redundancia y controlar la integridad del sistema global de navegación.

Para conseguir estos objetivos se dan los pasos siguientes:

1. La aeronave obtiene su posición en los tres ejes del espacio por el medio más exacto conocido. El sistema utilizado actualmente es el de posicionamiento global (GPS).

2. Los datos de posición junto con los de identificación, rumbo, velocidad, datos meteorológicos, integridad de la señal GPS y otros se introducen automáticamente en un ordenador.
3. El ordenador aplica un formato tipo a los datos que ha recibido y los suministra periódica y automáticamente a un transmisor de radio de comunicaciones vía satélite. El sistema utilizado es el de la Organización Internacional de Telecomunicaciones Marítimas por satélite, Inmarsat.
4. Con unos intervalos prefijados, el transmisor de radio vía satélite transmite automáticamente, a los satélites de la red Inmarsat, una señal con el mensaje ADS que contiene los datos con que se alimentó al ordenador.
5. Los satélites de la red Inmarsat retransmiten el mensaje ADS a una estación terrestre.
6. La estación terrestre retransmite el mensaje ADS hasta el centro de control de tráfico aéreo empleando líneas telefónicas convencionales.
7. En el centro de control, sobre un mapa electrónico, se presenta un símbolo (cuadrado, círculo, rombo) en la posición que indicaba el mensaje ADS, señalando con una etiqueta la identificación y altitud de la aeronave. El resto de los datos se procesa y archiva.

Aunque el concepto ADS en sí no incluye las comunicaciones, automatización o procedimientos ATC, estos elementos deben ajustarse para servir de apoyo a la función ADS y poder utilizar las posibilidades que ofrece la transmisión precisa de la posición de la aeronave.

El diseño del sistema ADS debe permitir la introducción de la función ADS sin interrumpir los servicios actuales ATC, de forma que en un principio puedan coexistir criterios operacionales ATC basados en ADS y basados en sistemas de vigilancia clásicos.

El aprovechamiento de la capacidad ADS por el ATC se obtiene mediante la automatización de las siguientes funciones:

- Validación de los datos de vuelo.

- Control de conformidad.
- Seguimiento.
- Detección de conflictos.
- Resolución de conflictos
- Presentación de datos al controlador.

Zonas de aplicación.

Las zonas de operación en las que se considera que resultará beneficiosa la aplicación de la función ADS son las siguientes:

1. Regiones Oceánicas.
2. Zonas Continentales sin vigilancia radar y de baja densidad de tránsito
3. Zonas de alta densidad de tránsito, con o sin vigilancia radar, en las que el ADS podrá llegar a ser un complemento o sustituto, en algunas circunstancias, del radar secundario de vigilancia.
4. Zonas de vuelos a baja altitud (por ejemplo, de helicópteros en actividades petrolíferas).

7.1.10.3. Componentes del sistema ADS

Un sistema ATC basado en ADS, además de tener capacidad para recibir los informes de posición transmitidos por la aeronave, deberá tener capacidad para intercambiar mensajes (de voz y datos) entre el piloto y el controlador. Sus componentes principales son los siguientes, (Figuras 7-17 y 7-18):

- Interfaz del piloto.

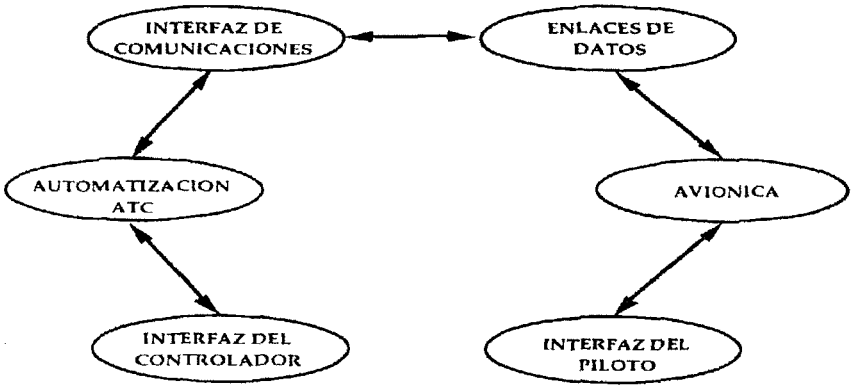
  Los informes ADS se transmiten automáticamente sin acción del piloto y con una frecuencia de notificación determinada por el ATC, no obstante, la interfaz del piloto debe proporcionar los medios para:

  1. Iniciar mensajes de emergencia (mediante un sistema de acción rápida).
  2. Enviar y recibir informes ordinarios.
  3. Controlar la operación del sistema.

  Además la interfaz del piloto deberá proporcionar capacidad oral directa piloto/controlador.

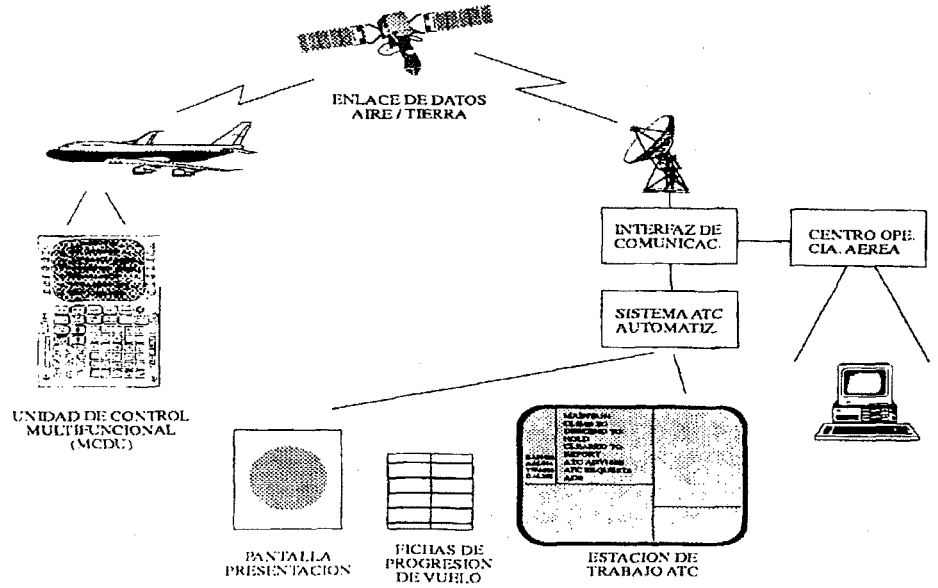
- Aviónica.

El equipo de abordo ADS tienen capacidad para obtener de los sistemas de abordo las informaciones necesarias para constituir los informes ADS, así como de formatearlos y encaminarlos al enlace Aire/Tierra vía el procesador de enlace de datos. En recepción podrá recibir los mensajes originados por la dependencia ATS.



COMPONENTES DEL SISTEMA ADS

Figura 7-17



COMPONENTES DEL SISTEMA ADS

Figura 7-18

- Enlace de datos.

El subsistema de comunicaciones transmite los datos Aire/Tierra ajustándose a los formatos, protocolos y niveles de prioridad establecidos y efectúa el establecimiento y la terminación de las comunicaciones automáticamente tras su iniciación por parte del piloto.

El enlace de datos Aire/Tierra por satélite (comunicaciones aeronáuticas móviles por satélite) está diseñado para cumplir los requisitos relativos a la prestación de los servicios ADS.

Los enlaces de datos VHF o Modo S, también pueden emplearse como subredes de enlaces de datos Aire /Tierra.

- Interfaz de comunicaciones.
- Automatización de ATC.
- Interfaz del controlador.

7.1.11. OPERACIÓN DEL SISTEMA ADS

7.1.11.1. Inicialización

El procedimiento para el establecimiento del enlace entre la aviónica ADS de abordo y los equipos terrestres queda determinado en que toda aeronave que se aproxime a un espacio aéreo ADS-ATC será requerida para enviar un mensaje inicial al centro ATC y quedará en espera de recibir un acuse de recibo que incluirá información respecto al tipo de informe ADS a transmitir y al intervalo de notificación.

7.1.11.2. Modos de Acceso ADS

Los servicios ADS podrán proporcionarse utilizando cualesquiera de los cuatro modos de acceso siguientes:

1. Modo por contacto preestablecido.
2. Modo de respuesta inmediata por solicitud
3. Modo de interrogación selectiva ordenada en el tiempo.
4. Modo de acceso aleatorio.

Mediante el modo por contacto, la aviónica de la aeronave proporciona automáticamente informes ADS con intervalos de notificación preestablecidos. El sistema ATC terrestre puede modificar el intervalo de notificación según sea necesario, basándose en las características del espacio aéreo, en el tipo de aplicación y la densidad del tránsito.

Mediante el modo de respuesta inmediata por solicitud el ATC puede solicitar un informe de posición cuando así lo exijan las circunstancias operacionales.

El modo de acceso aleatorio puede servir como modo de reserva en el caso de que falle la capacidad de recepción de la aeronave.

7.1.11.3. Tasa de Actualización de los Informes ADS

Una frecuencia de notificación de una vez cada diez segundos se considera apropiada para circunstancias normales, no obstante, ésta puede variar de cero (no hay respuesta ADS) hasta 30 segundos (120 notificaciones por hora de vuelo). No se prevén tasas de notificación superiores a 30 segundos.

Se requerirán frecuencias de notificación más altas en las siguientes circunstancias:

a) En rutas con alta densidad de tráfico.
b) Cuando existan cambios de actitud de la aeronave (variaciones rápidas de altitud o del vector velocidad).
c) En situaciones de emergencia.

7.1.11.4. Información Transmitida

Mediante los informes ADS generados por la aviónica de abordo, se transmite la siguiente información para su utilización por los servicios ATC.

a) **Información de posición** extraída del sistema de navegación de la aeronave, con un intervalo de notificación que puede ser controlado por el ATC terrestre.
b) **Información sobre la ruta a seguir** almacenada en el sistema de navegación de la aeronave.

c) **Datos meteorológicos** (temperatura exterior, dirección e intensidad del viento), extraídos de los sensores de abordo para su utilización por el ATC a las oficinas meteorológicas.

7.1.12. Tipos de mensajes ADS

Actualmente hay definidos cuatro tipos diferentes de informes ADS: Informe Básico ADS, Informe ADS Ampliado, Informe ADS Conexo y Mensaje de Emergencia.

1. Informe Básico ADS.

El informe básico ADS, (Tabla 7-1), que es transmitido automáticamente por la aviónica de abordo con un intervalo de notificación establecido por el centro ATC, además de la **Identificación de la aeronave** (Campo 7 del plan de vuelo OACI o bien la matrícula de la aeronave).

INFORME BÁSICO ADS

ELEMENTOS DE DATOS	LO QUE DEBE TRANSMITIRSE		RESOLUCION	BITS
	EN CADA INFORME	A PETICION		
Latitud/Longitud	X		0,0125	42
Altitud	X		2, 1m(8ft)	16
Tiempo	X		0,125s	15
Factor de Calidad	X			7
Activación de los campos/ Capacidad ADS		X		16
Identificación del vuelo		X	8X6 Bits	48

Tabla 7-1

2. Informe ADS Ampliado.

El informe ADS ampliado incluye, además, información sobre la trayectoria a seguir por la aeronave mediante el suministro de datos sobre: puntos de referencia/notificación, rumbo y velocidad respecto a tierra y respecto al aire. (Tabla 7-2).

ELEMENTOS DE DATOS	LO QUE DEBE TRANSMITIRSE		RESOLUCIÓN	BITS
	EN CADA INFORME	A PETICION		
Punto de recorrido siguiente		x	0,0125′	42
Altitud estimada en el punto de recorrido siguiente		x	2, 4m (8ft)	16
Punto de recorrido subsiguiente		x	0,0125′	42
Altitud estimada en el punto de recorrido subsiguiente		x	2,4m (8ft)	16
Derrota/ Rumbo		x	0,1°	12+1
IAS/ Mach		x	0,5 kt/0,001	13+1
Velocidad Vertical		x	0,08m/s	12

Tabla 7-2

3. Informe ADS Conexo.

En este informe se suministran datos sobre velocidad y dirección del viento y sobre temperatura del aire exterior. (Tabla 7-3).

ELEMENTOS DE DATOS	LO QUE DEBE TRANSMITIRSE		RESOLUCION	BITS
	EN CADA INFORME	A PETICION		
Velocidad del Viento		X	2Km/h(1kt)	9
Dirección del Viento		X	0,07°	9
Temperatura		X	0,25°C	12

Tabla 7-3

7.1.13. Formato de los Mensajes ADS

El formato de cada uno de los informes ADS, que se han definido, se establece en función de los elementos de datos que deben transmitirse en dicho mensaje, bien automáticamente o a petición; junto a los campos correspondientes a cada informe debe figurar un campo de 24 bits, correspondiente a la dirección técnica de la aeronave (identificador global único idéntico al Modo S).

7.1.14. Estado de desarrollo

En la actualidad se trabaja en el desarrollo de los requisitos operacionales para el intercambio automático de datos Aire/Tierra, necesarias para la prestación de la función ADS, así como en el desarrollo de los requisitos operacionales para el proceso y presentación de los datos ADS para su utilización por los servicios ATS. (Tabla 7-4):

ORGANIZACION	CARACTERISTICAS/ OBJETIVOS	FECHA DE INICIO	ESTADO
FANS II	Establecido para asesorar sobre la supervisión y coordinación del planteamiento de la transición a los futuros sistemas CNS	1989	En activo
SICASP	Establecido para desarrollar las SARPs respecto a Modo-S y Sistemas Anticolisión	1981,87	En activo
AMSSP	Establecido para desarrollar las SARPs respecto a las comunicaciones móviles aeronáuticas	1987	
ADSP	Establecido para realizar estudios específicos con objeto de desarrollar requisitos operacionales ADS	1990	En activo
NATSPG	Establecimiento para crear un concepto común ATM para el Atlántico Norte y su Plan de Implementación	1965	En activo
AMCP	Cambio de nombre en el panel AMSSP para incluir el enlace de datos VHF	1991	En activo

Tabla 7-4

En Abril de 1990 la Comisión de Navegación de OACI, creó el ADSP (Automatic Dependent Surveillance Panel) con el objeto de elaborar los SARPs (Standards and Recommended Practices), procedimientos y material de consulta respecto a ADS.

La norma ARINC Characteristic 745 "Automated Dependent Surveillance (ADS)" es el documento más avanzado respecto a la definitiva definición de la estructura de los mensajes ADS, por lo que los formatos a definir por OACI se basarán en gran medida a dicha norma.

7.1.15. Experiencias ADS

Con objeto de validar el concepto ADS y ayudar a establecer los protocolos definitivos, se han realizado o se están realizando un número importante de experiencias ADS siendo los más significativos:

1. **PRODAT/PROSAT**

   Realizado por la Agencia Europea del Espacio (ESA), Eurocontrol, British Civil Aviation Authority (CAA) y la Dirección General de Aviación Civil Española (DGAC). El programa se inició en diciembre de 1981. En los ensayos ATC participaron tres centros de control de tránsito aéreo experimentales: uno en Torrejón/Paracuellos (España), otro en Bretigny (Eurocontrol, Francia), y otro en Hurn (Reino Unido). (Figura 7-19). El punto focal del sistema era la estación terrena (GES) situada en Villafranca del Castillo, cerca de Madrid, que comprendía el equipo de radio para el enlace con el satélite y el sistema de gestión de la red (NMS), el cual actuaba como interfaz inteligente entre el satélite y las redes de comunicaciones terrestres. El satélite que se utilizó en la última fase de la experiencia fue el MARECS B2 DE INMARSAT.

Para la segunda fase del programa se fabricaron nueve terminales satélite a instalar en aeronaves (cinco fabricadas en el Reino Unido por RACAL, y cuatro en España por ISEL-PESA). Los programas para la gestión de mensajes en tierra y presentación de mensajes ADS en una pantalla radar fueron desarrollados por CESELSA. Además se utilizó un simulador de terminal de aeronave fabricado en España que permitía la

simulación de hasta 40 aeronaves. Este terminal enlazaba vía satélite con los centros ATC, fue muy utilizado, especialmente por Eurocontrol en sus simulaciones oceánicas, que incluían ADS e intercambio de mensajes digitales controlador-piloto.

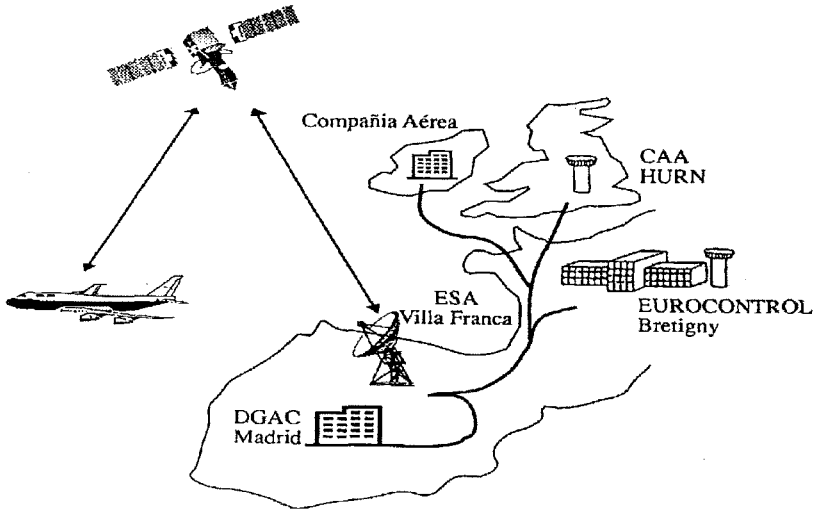


Figura 7-19

Los objetivos comunes de los participantes en el experimento PRODAT-ATS eran, entre otros, los siguientes:

- Ensayar aplicaciones ATS, teniendo en cuenta los requisitos que un sistema que proporcione vigilancia independiente automática e intercambio de mensajes digitales controlador-piloto debía cumplir.
- Contribuir al estudio y definición de un sistema de enlace de datos para móviles aeronáuticos, teniendo en cuenta las necesidades ATS presentes y futuras.
- Evaluar las posibilidades de presentación de la información procedente de la vigilancia dependiente automática (ADS) y de los mensajes digitales intercambiados entre el piloto y el controlador.

El programa PRODAT fue pionero en experimentar, vía satélite, la vigilancia dependiente automática y el intercambio de mensajes ATC, realizándose multitud de vuelos, incluidos uno al Polo Norte. Gran parte de la tecnología desarrollada y evaluada en este programa, y en especial la aviónica, ha sido la base del desarrollo del actual sistema SMAS adoptado por la OACI.

El 24 de octubre de 1988, la Dirección General de Aviación civil Española, utilizando el sistema PRODAT, logró controlar, mediante mensajes digitales, un avión Jetstream: despegó de Biggin Hill (Reino Unido) y, después de una escala técnica en Nantes (Francia), aterrizó en el aeropuerto de Madrid-Barajas, siendo este el primer vuelo controlado por un centro de control de tránsito aéreo mediante un enlace de datos por satélite. Una vez que la aeronave penetró en la región de información de vuelo (FIR) española, todos los mensajes relativos a autorizaciones de ruta, descenso y aproximación, guía vectorial radar e información meteorológica, le fueron transmitidos desde el Centro de control de tránsito aéreo de Madrid, exclusivamente mediante el enlace de datos digitales por satélite PRODAT/PROSAT, hasta situarlo a 4.000 pies en el localizador de la pista 33 de Barajas. No se utilizaron comunicaciones voz en ningún sentido, ni siquiera para confirmar las autorizaciones de control, aunque el avión permaneció constantemente en contacto radar.

2. **Pacific Engineeting Trials (PET).**

   Realizado en cooperación entre la Civil Aviation Authority (CAA) Australiana, el Civil Aviation Bureau (JCAB) Japonés y la Federal Aviation Administration (FAA) de los Estados Unidos. Con independencia de estos proyectos varias administraciones están realizando o piensan realizar, individualmente, ensayos y experimentos en relación con el ADS. Entre éstos cabe destacar el Sistema Oceánico de Presentación y Planificación (ODAPS) de los Estados Unidos y las experiencias Canadiense, Japonesa, Portuguesa y Francesa.

7.1.16. Ventajas y repercusiones operacionales

Los sistemas ATC basados en ADS presentan grandes beneficios a corto plazo, en entornos no-radar, debidos a mejoras en la vigilancia y las comunicaciones, proporcionando un aumento de la seguridad de las aeronaves. El controlador puede seguir sobre una pantalla el movimiento de la aeronave en tiempo real observando las desviaciones sobre la ruta autorizada. (Figura 7-20).

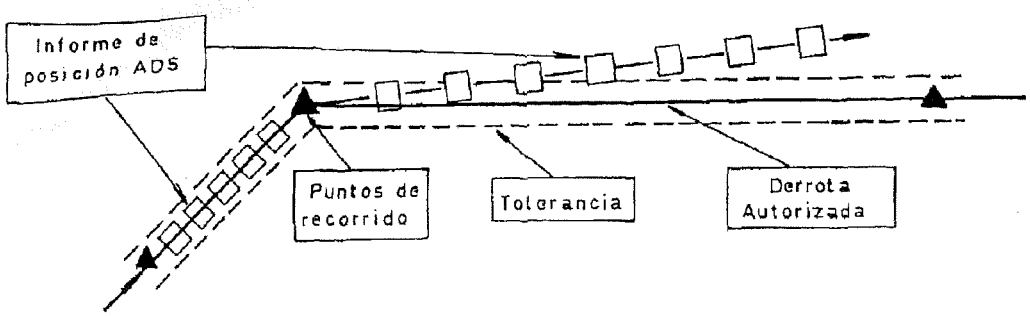


Figura 7-20. Control de conformidad al plan de vuelo y detección de errores.

A largo plazo y con un ambiente ADS generalizado, el mejor conocimiento de la posición de la aeronave y de su aptitud permite un control más efectivo de la progresión del vuelo y por lo tanto una mejor gestión del espacio aéreo.

Un ATC basado en ADS proporciona las siguientes mejoras en vigilancia y comunicaciones:

- **Vigilancia:**

  Conocimiento más exacto y continuo de la posición de la aeronave.

  Capacidad de identificar las desviaciones respecto al perfil de vuelo autorizado (a través del procesamiento de los informes ADS conexos).

  Capacidad de predicción de la trayectoria de la aeronave lo que facilita la posibilidad de predecir y evitar situaciones potencialmente peligrosas (resolución de conflictos).

- **Comunicaciones Piloto – Controlador.**

  Reducción del desfase de tiempo en las comunicaciones piloto – controlador, mejorando la integridad de estas.

  Posibilidad de descargar las comunicaciones orales de los mensajes rutinarios utilizando el enlace de datos.

Las aeronaves equipadas con ADS que operen en un entorno ATC basado en ADS obtienen beneficios inmediatos gracias a una mayor protección frente a errores de navegación (introducción incorrecta de puntos de recorrido).

Un sistema ATC basado en ADS proporciona a los controladores la posibilidad de satisfacer peticiones de los usuarios respecto a:

- Facilitación de trayectorias más eficientes.
- Respuesta más rápida a las solicitudes del piloto.

Se consigue un mejor aprovechamiento del espacio aéreo, al aplicar separaciones más reducidas entre aeronaves.

Las separaciones entre aeronaves en ruta sobre el Océano Atlántico actualmente son:

- **Separación Longitudinal** para aeronaves en la misma ruta, misma dirección y mismo nivel, 10 minutos.
- **Separación lateral** para aeronaves en rutas paralelas y al mismo nivel, 60 millas náuticas. (Figura 7-21).

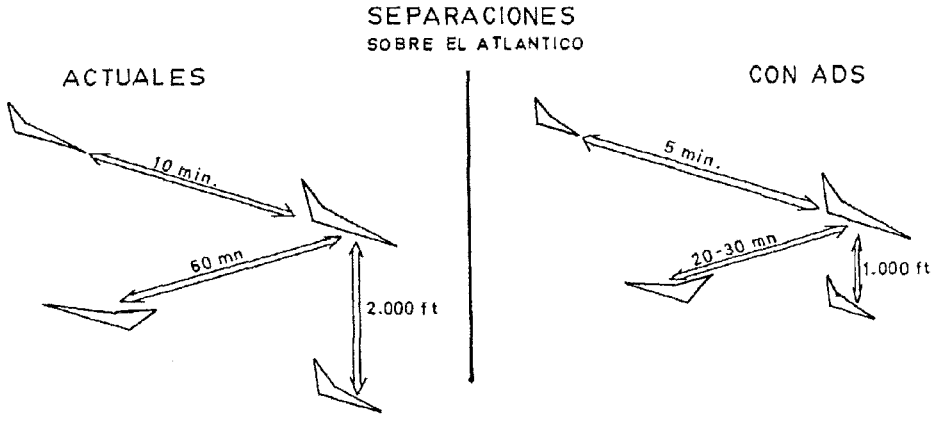


Figura 7-21

Para aeronaves con una velocidad de crucero de alrededor de 480 kts, 10 minutos de separación en tiempo representan 80 millas náuticas. Con ADS se consiguen separaciones de 20 ó 25 millas.

El resto de las separaciones podrían reducirse igualmente, consiguiendo así aumentar la capacidad del espacio aéreo si la definimos como el número de aeronaves por unidad de tiempo en un área determinada.

7.1.17. Inconvenientes y Soluciones

Con ADS no se detectan divergencias en la ruta debidas a información errónea procedente del equipo de navegación de la aeronave. Si la posición que transmite la aeronave no es la correcta, nos encontramos con el mismo problema del control de procedimiento en que la posición notificada por el piloto era errónea. Actualmente se está imponiendo el uso civil del sistema GPS, que ha sido desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD), su actual propietario, para el uso en su ejército. Al ser el sistema GPS el medio más exacto y fiable visto hasta el momento y al no estar codificada su señal de navegación, la fabricación de equipos receptores y su empleo por mar, tierra y aire en el mundo civil, surgió espontáneamente.

Al no haberse acordado con el DoD el empleo de la señal de navegación GPS para uso civil, razones de estado podrían hacer que los Estados Unidos en un momento determinado la degradaran, codificaran o incluso hicieran desaparecer para ponerla en el aire de nuevo cuando les interesara, sin tener en cuenta las consecuencias que ello pudiera tener. Este es un riesgo que no puede correr un sistema de navegación para uso de los servicios de tránsito aéreo internacionales; motivo por el cual Europa está desarrollando su propio sistema de navegación basado en satélites, el sistema ENSS. (Figura 7-22). [INE-98].

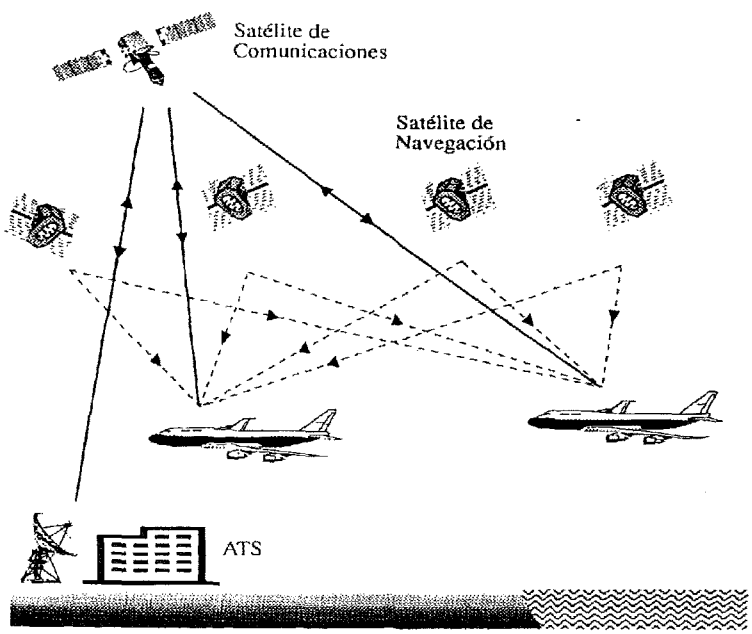


Figura 7-22

Solución a los inconvenientes.

Para conseguir que la posición sea lo más fiable posible se han previsto cuatro medidas tácticas, que pueden complementarse entre sí y una medida estratégica:

1. **Medidas Tácticas:**

a) Dotar a los satélites de comunicaciones de la red Inmarsat de un transpondedor GPS. Al ser sus órbitas mucho más altas (22.300 millas náuticas) que las de los satélites Navstar del sistema GPS (12.000 millas náuticas), estarían más tiempo sobre el horizonte visible que estos últimos y actuarían como comprobadores de la integridad de la señal de navegación GPS.

b) Emplear la técnica GPS diferencial ó DGPS, que consiste en la instalación de un receptor GPS de referencia (con capacidad de transmisión) sobre la superficie terrestre, en una situación de coordenadas conocidas. El receptor de referencia recibe la señal de navegación de los satélites, obtiene una posición y la compara con su situación verdadera. El error[11] que pueda existir se transmite a cualquier otro receptor GPS que se encuentre en el área, pudiendo este último usar ese mensaje de error para corregir sus soluciones de posición. [MARI-94]. Dada la enorme distancia entre los satélites en el espacio y los receptores en tierra, los errores que calcula el receptor de referencia tienen prácticamente el mismo valor en un radio de 100 kilómetros.

c) Combinar el GPS de 24 satélites con el sistema soviético GLONASS de 21 satélites. Esto daría un total de 43 satélites de navegación, con lo que siempre habría suficiente número de satélites sobre el horizonte visible de cualquier aeronave, para obtener una señal de navegación fiable.

d) Contrastar la posición del GPS con el sistema de navegación inercial de abordo (INS), las aeronaves que utilizan ambos sistemas, en las que el GPS corrige los errores producidos en el INS, obtienen una exactitud en la navegación, que hasta ahora no se había conseguido.

[11] El error calculado con un receptor DGPS o de referencia es el sumatorio de todos los errores posibles del sistema GPS: reloj del receptor, reloj atómico del satélite, posición del satélite y retardo ionosférico o troposférico.

2. **Medida Estratégica:**

   La creación del consorcio internacional apolítico que, de la misma forma que Inmarsat gestiona los cuatro satélites de comunicaciones, se hiciera cargo y gestionara los satélites de navegación Navstar propiedad de los Estados Unidos que proporcionan la señal de navegación GPS, sería la solución a la permanencia de la señal de navegación en el aire; independientemente de avatares políticos que nada tienen que ver con la seguridad, el orden y la rapidez del tráfico aéreo transoceánico que se persigue con ADS.

A este respecto es necesario decir que durante la 38ª sesión del Subcomité de Seguridad de la Navegación de la Organización Marítima Internacional, celebrada del 29 de Junio al 3 de Julio de 1992, el representante de los Estados Unidos informó acerca de las fechas de operatividad de los satélites (finalizando su lanzamiento en 1993), que a partir de entonces el GPS estaría disponible para todos los usuarios en el mundo entero, sin que el gobierno de los EEUU cobre precio alguno durante al menos los 10 primeros años tras la entrada en servicio.

7.1.18. Participación de España en ADS

Denominada ECA Estación de control ADS-SSR, todas las aeronaves que vienen de o se dirijan hacia América sobrevolando España son controladas por los ACC de Madrid y Canarias, teniendo que emplear control de procedimiento en cuanto se alejan de la cobertura SSR del territorio nacional.

Cuando el ADS se implante en Europa, los ACC de Madrid y Canarias dispondrán de este sistema, con el que se sustituirá la vigilancia de procedimiento, para ello se ha desarrollado el ECA, cuyas siglas corresponden a Estación de Control ADS-SSR, es un proyecto de la Dirección de Sistemas e Instalaciones de AENA, su realización completa de dos años de duración, fue adjudicada por AENA a la empresa INDRA en septiembre de 1996. Una versión inicial/provisional, ha sido ya desarrollada. Dicha estación, como continuación de las pruebas de ADS Europa comunicó con éxito con las aeronaves ADS Europa. La facilidad y rapidez con la que ECA fue conectada a la red de pruebas impresionó al consorcio ADS Europa y a Eurocontrol. Durante dos semanas (23 al 27

de febrero y 9 al 13 de marzo de 1998) varias aeronaves fueron seguidas por ECA en sus vuelos por todo el mundo.

Los objetivos generales que se pretenden analizar son:

a) Implantar y evaluar la filosofía, algoritmos y funciones. Evaluar la ADS, la integración ADS-SSR, las CPDLC, y otras aplicaciones del enlace de datos, en un entorno ATC automatizado, utilizando tanto datos reales como simulados.
b) Desarrollar y evaluar procedimientos operacionales y requisitos para la ADS, para la integración ADS-SSR, para las CPDLC, y otras aplicaciones del enlace de datos.
c) Experimentar y evaluar la generación y transmisión automática de mensajes CPDLC y otros mensajes del enlace de datos.
d) Participar en pruebas ADS y CPDLC con tráfico real utilizando enlaces de datos SATCOM y VHF.
e) Familiarizar a los controladores aéreos y técnicos de Aena con las nuevas aplicaciones CNS/ATM, y
f) Validar y refinar las actuales especificaciones de ECA con objeto de evolucionar hacia un sistema operacional fiable, totalmente probado y validado, que más tarde se integrará en el sistema SACTA.

7.1.19. El ADS en Europa

En 1994, la Dirección General XIII de la Comisión Europea realizó una petición de ofertas relativas a estudios y experimentos en la que se incluía la Tarea 3.5 titulada Acción exploratoria sobre la Vigilancia Dependiente Automática para la Gestión de Tráfico Aéreo. El objetivo principal de esta tarea era "obtener resultados demostrativos pre-operacionales con objeto de diseminarlos entre la comunidad del transporte aéreo" y se subdividía en las siguientes acciones:

1. Identificar cualquier tipo de problemática en los estándares existentes.
2. Proponer las consecuentes mejoras a dichos estándares.
3. Valorar la calidad del servicio existente para aplicaciones ADS.
4. Identificar técnicas para presentación de datos ADS que pudiesen ser útiles a los controladores.

5. Proporcionar datos para estudios coste-beneficio sobre la implantación de la ADS y las comunicaciones por satélite.
6. Poner los resultados de las pruebas a disposición de los Estados Europeos con objeto de apoyar el desarrollo de procedimientos ATC operacionales que permitan obtener el máximo partido posible de la función ADS.

Las dos primeras acciones resultaban de lo más apropiado, ya que por aquel entonces los SARPs (estándares) provisionales de la OACI estaban ya bastante desarrollados y necesitaban ser validados. En respuesta a todo ello, los Servicios Nacionales de Tránsito Aéreo del Reino Unido (NATS), la Dirección de la Navegación Aérea Francesa (DNA) representada por Sofréavia, y el Laboratorio Nacional Aeroespacial de Holanda (NLR), acordaron formar un consorcio denominado **ADS Europa** y presentar una propuesta para la realización de la Tarea.

Ya que ni los estándares OACI sobre ADS ni sobre ATN (SARPs) se habían completado en el momento del comienzo del proyecto, éste se basó en especificaciones lo más próximas posibles a lo que, parecía, serían los estándares finales OACI. Se reconoció que, aunque la implantación resultante ADS Europa sería algo provisional, representaba un paso importante hacia el sistema final OACI. Los estándares utilizados fueron:

1. Características ARINC 745-2 para ADS, 30 de Junio de 1993.
2. Estándares de performance operacional mínimos para equipo ADS de a bordo: RTCA/Do-212, octubre 1992.
3. Borrador de SARPs OACI sobre ATN: versión 0.0, 30 agosto de 1994.

La configuración inicial de ADS Europa incluía:

- Dos segmentos de Tierra ATC (ATCGS) con capacidad para gestionar contratos ADS y procesar, presentar y analizar los datos. Las ATCGSs se encontraban situadas en el Centro de Desarrollo de Gestión del Tránsito Aéreo de Bournemouth, en el Reino Unido, y en el Centro de Estudios de la Navegación aérea (CENA) de Toulouse, en Francia.

- Dos routers (encaminadores) ATN:
  - Un TAR (Router ATN de pruebas) desarrollado por Eurocontrol y situado en Bournemouth.
  - Una versión específica del router Eur ATN desarrollada por Sofréavia y situada en CENA, Toulouse.
- Dos redes públicas de datos X.25 – Servicios red mundial telefónica Británica (GNS) y la red TRASPAC de Telefónica Francesa.
- Dos estaciones terrestres de tierra (GES) para comunicaciones por satélite:
  - Una GES de la telefónica Británica situada en Goonhilly, Reino Unido, dotada con dos antenas, una apuntando al satélite de Inmarsat AOR (E) y la otra al AOR (W).
  - Una GES de la telefónica Francesa situada en Aussaguel, dotada de dos antenas, una apuntando al satélite de Inmarsat AOR (E) y la otra al satélite de Inmarsat IOR.
- Los satélites de Inmarsat AOR(E), AOR(W) y IOR.
- Doce aeronaves equipadas con FMS y Satcom.

El diseño del sistema ADS Europa permitía que cualquiera de los dos ATCGSs pudiese intercambiar mensajes ADS con cualquiera de las doce aeronaves y viceversa utilizando cualquiera de las dos GES. Como resultado de la cooperación con dos consorcios proveedores de servicios satélite (Satellite Aircom y Skyphone), se conectaron al sistema durante las pruebas las siguientes GESs adicionales: Eik (Noruega), Sentosa (Singapur), Weir (Canadá), Perth (Australia) y Niles Canyon (California). Esto permitió también acceder al satélite de Inmarsat situado en el Pacífico (POR), completándose así la cobertura mundial, con excepción de los Polos.

El primer vuelo de ADS Europa que fue seguido y grabado tuvo lugar el 4 de enero de 1996, un KLM en vuelo de Amsterdam a Tokyo fue seguido durante dos contratos periódicos independientes de dos horas, uno establecido por el ATCGS de Bournemouth y el otro por el de Toulouse. Multitud de vuelos posteriores permitieron al sistema ADS ser utilizado en diferentes rutas y recoger una cantidad considerable de datos. A finales de octubre de 1996, el centro de Toulouse había grabado 4.703 horas de

datos ADS correspondientes a 553 sesiones de pruebas útiles para análisis. Una cantidad similar de datos grabó el ATCGS de Bournemouth.

7.1.20. Resultados de las pruebas

1. **Éxito en la entrega de mensajes:**

   El porcentaje de mensajes entregados con éxito mejoró según las pruebas iban progresando y el sistema iba siendo mejorado. A finales de 1996, se consiguió un porcentaje de éxito en la entrega de mensajes de aproximadamente el 98 por ciento.

2. **Demora en la entrega de mensajes:**

   - Dos factores afectan a los tiempos de entrega de mensajes aire-tierra: el tipo de canal satélite (R ó T) utilizado para el envío del mensaje desde la aeronave a tierra, y la velocidad de transmisión de datos del canal (600 bps ó 10.5 Kps). El canal R es más rápido que el canal T. Si un mensaje tiene menos de 32 octetos de longitud, es automáticamente enviado a través del canal R. Si el mensaje tiene más de 32 octetos, se envía a través del canal T.

   - La demora media habida en una sola dirección (aire-tierra) en la entrega de un mensaje a velocidad de 600 bps fue del orden de 6 segundos para el canal R, y de 12 segundos para el canal T. A 10.5 Kps la demora en el canal T fue de unos 10 segundos. El tiempo total medio de ida y vuelta (tierra-aire-tierra) transcurrido desde que una Petición de contrato Periódico ADS era enviada a una aeronave por un ATCGS hasta el acuse de recibo correspondiente a tal petición era recibido en dicha ATCGS fue de unos 22 segundos.

3. **Intervalo de notificación (tiempo entre informes ADS)**

   Aunque se consiguió un intervalo de 10 segundos entre informes ADS durante períodos relativamente cortos, el intervalo más corto que se pudo conseguir de manera sostenida durante las pruebas fue de 15 segundos. Esto nos da una idea de la velocidad de actualización ADS que se puede conseguir mediante enlaces satélite.

7.2. EQUIPOS EN EL ÁMBITO MARÍTIMO

Los equipos son considerados como las ayudas a las tareas y misiones de los operadores, en consecuencia, deben concebirse para permitir a estos realizar lo mejor

posible su función de alcanzar los objetivos fijados para el VTS, de allí derivan las características técnicas demandadas para los equipos:

a) Deben ser sofisticados, pero en función de las necesidades (p.e., no es necesario llevar la sofisticación del alcance y de precisión de las estaciones radar más allá de las necesidades expuestas por el estudio de la cobertura del VTS).
b) No es necesario prever tratamientos demasiado sofisticados de la información que se mostrarían inútiles, o no explotables, en el caso del VTS considerado.

Los equipos que se enumeran a continuación, se encuentran en su totalidad o en parte, en las instalaciones:

-Equipos de recepción de datos: primero, los radares que siguen siendo el equipo base de detección, después, las estaciones radiogoniométricas, los equipos de vigilancia por televisión, los receptores de datos náuticos y meteorológicos, etc.

-Equipos de comunicación: radio VHF, radiotelex, teléfono, telex, fax, red informática convencional, etc.

-Equipos de tratamiento de datos, de visualización y de difusión de los resultados del tratamiento.

-Equipos de desvío de los datos, puesto que los destinatarios están situados en otro lugar distinto del centro de explotación.

Un elemento importante, que condiciona el trabajo de los operadores, es la elección de tipo de visualización de los datos radar, después de su tratamiento. Las imágenes radar pueden ser representadas en "vídeo bruto" utilizando directamente la información en coordenadas polares, tal y como son suministradas a la salida del radar. Las imágenes son entonces visualizadas sobre pantalla tipo PPI, observables en sala oscura o semioscura. Este tipo de presentación, es cada vez menos utilizado en los centros de control, salvo para mantenimiento de los equipos. Se prefiere la presentación denominada de "pleno día".

Desde 1973, el centro de control del Puerto de Le Havre fue equipado con una visualización de este tipo, las coordenadas polares de la imagen radar son transformadas

en coordenadas cartesianas, permitiendo que luego esta imagen radar pueda ser observada como una imagen de televisión clásica. Esta transformación de imagen se efectúa digitalizando el vídeo, los datos radar brutos son tratados en un módulo de extracción y entregado bajo forma digitalizada a los conjuntos de visualización.

Los datos de vídeo digitalizado o semi-bruto, permiten recrear la imagen radar bruta sobre la pantalla gráfica de las consolas. Esta presentación de vídeo digitalizado se corresponde con el deseo de los operadores, principalmente de aquellos en los centros de control portuario, pues ello les da la impresión de masa de los buques que pueden confundir con las dimensiones del eco radar del blanco.

El módulo de extracción permite igualmente calcular, a partir de puntos de muestra alrededor del eco de un objeto, las coordenadas de un punto característico, de determinar el eje del eco, a fin de permitir al calculador asociado efectuar todos los cálculos útiles de navegación de los buques (posición, rumbo, velocidad, CPA) con respecto a otros objetos fijos o móviles.

La información aparece sobre las pantallas bajo forma sintética de símbolos, de vectores, de líneas de navegación, etc. y de indicaciones en caracteres alfanuméricos. La digitalización presenta la ventaja de poder ser transmitida en banda estrecha por línea telefónica, lo que disminuye, en gran medida, el coste de dilación de la información radar.

7.2.1 El Radar como sistema de a bordo y VTS para evitar los abordajes

En los pasados 40 años, el radar fue la más significante herramienta anticolisión desarrollada para el uso a bordo de los buques. Ha sido efectivo, pero, no ha sido infalible y las colisiones han continuado ocurriendo en buques equipados con radar. Algunos de estos abordajes a veces son denominados como "colisiones asistidas por radar" [IGAG-75]. La "Safe Board" en su estudio "Study of Collisions of Radar-Equipped Merchant Ships and Preventive Recommendations", analizó a fondo este problema y concluyó que una falta de entendimiento del movimiento relativo, fallos en

el punteo, fallo o incapacidad para interpretar, o evaluar los datos generados por el radar, falta de mantener una constante guardia de radar, y la velocidad inadecuada fueron los factores casuales encontrados más frecuentemente. Estos factores indican una necesidad de un mejor entrenamiento y, quizás de mayor importancia, la necesidad de reconocer las limitaciones humanas de los marinos. Hoy en día, el Oficial de Guardia está agobiado con más y más responsabilidades de toma de decisiones, y normalmente tiene menos tiempo para reunir y evaluar los datos, para tomar una posterior decisión.

El mismo proceso histórico, que aún persiste hasta nuestros días, se manifestó con el ARPA por todo ello, el cumplimiento estricto del Reglamento vuelve a adquirir toda su importancia.

Dentro de los pasados años, un considerable tiempo y medios han sido gastados en el desarrollo de lo que se denomina comúnmente "sistemas para evitar los abordajes". Estos sistemas presentan un potencial excelente para la resolución de los problemas básicos del Oficial de Guardia. Ellos pueden reunir y evaluar la información pertinente exacta y rápidamente, así como suministrar los datos necesarios al Oficial de Guardia para tomar una correcta y oportuna decisión para garantizar la seguridad en la navegación de su buque.

La sofisticación de estos sistemas varía desde un dispositivo de punteo mecánico básico, a un sistema completo que tiene una potente computadora capaz de realizar otras tareas a bordo además de la navegación, (como pueden ser la información de viento, corrientes, olas, profundidad bajo la quilla, vector de velocidad verdadera) (Figura 7-23) [SCHU-92]. En dicha figura se observa en la parte inferior indicación de posición del timón, a la derecha revoluciones de la hélice y la velocidad. En cuanto a los ecos de otros buques, muestra el vector de su velocidad.

Sin embargo, los componentes primarios de la mayoría de estos sistemas, son un radar para suministrar los datos de entrada del eco puro, una computadora para analizar y procesar los datos, y algún tipo de pantalla para presentar los datos de salida deseados al Oficial de Guardia.

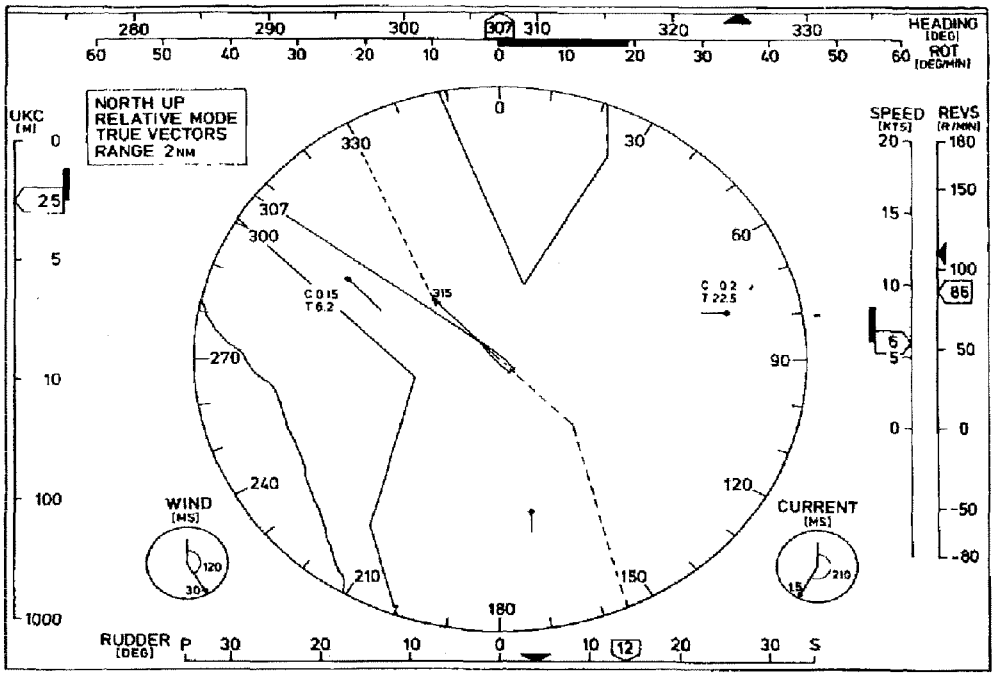


Figura 7-23

Actualmente, un gran número de sistemas está siendo desarrollado y examinado, la mayoría de los sistemas (todos los que incorporan un ordenador) mantiene un seguimiento automático de los ecos. El número de ecos que pueden ser seguidos varía de siete a más de sesenta. Muchos de los sistemas son capaces de seguir y exponer de treinta a cuarenta ecos. La mayoría de los sistemas requiere una adquisición manual de los ecos. Algunos de los sistemas utilizan la adquisición automática. La ventaja de la adquisición automática es que alivia al operador radar de la necesidad de hacer la valoración previa de la amenaza de cada eco en su presentación radar para determinar que objetivos desea él que sean seguidos, mejorando en gran medida la ergonomía o relación hombre-máquina (ploteo manual de ellos).

Cuando hay una gran cantidad de ecos en su pantalla, la adquisición automática previene la posibilidad de que un eco amenazante sea pasado por alto por el operador. Por otro lado, hay algunas desventajas potenciales de la adquisición automática. Una es la determinación de qué ecos seleccionar. Ya que hay un límite para el número total de ecos que pueden ser seguidos y expuestos, se deben establecer algunos criterios de

selección de los ecos. La selección podría ser en base a los ecos más próximos al propio buque, aquellos con el índice de aproximación más rápido, sólo los buques que se aproximan, o aquellos con un rumbo de abordaje, o cercano al abordaje.

Pueden haber diferencias de opinión en lo que deberían ser los criterios de selección de ecos. También la discriminación de ecos puede ser difícil. No se quiere seguir un objeto de la costa, un objeto fijo en el agua, o cualquier otro eco que no sea un buque como si fuera un eco de buque. Otra posible desventaja está en la alta densidad del tráfico, ya que la pantalla puede estar demasiado confusa.

Algunas pantallas presentan los ecos de los vectores añadidos que indican la velocidad y rumbo del eco. Una, que suministra una impresión separada de los datos del eco, indica su identificación próxima a cada eco, pero presenta los vectores de rumbo y velocidad, solamente si se le requiere. La mayoría suministra datos numéricos del eco, automáticamente, o a solicitud. Algunos suministran los datos del eco sobre la pantalla principal, considerando que las otras tienen teletipo separado. Los datos normalmente suministrados del eco son: distancia, demora, rumbo, velocidad, hora del CPA (Closest Point of Approach) y distancia al CPA.

Otros sistemas usan un concepto de área de peligro en lugar de datos CPA. Sus pantallas muestran una figura elíptica en el final de la línea de derrota proyectada del eco, que define el área de peligro de abordaje. El tamaño del área de peligro está determinado por la exactitud del radar, la precisión del ordenador en la estimación del rumbo y velocidad del objeto y la distancia mínima seleccionada por el operador. Con el concepto de área de peligro, un operador puede seleccionar cualquier rumbo que no cruce el área de peligro del eco para evitar el abordaje. El operador puede situar el cursor sobre cualquier nuevo rumbo propuesto para verificar si tal rumbo evita todas las áreas de peligro del eco.

Aquellos sistemas que suministran datos CPA tienen también simuladores de maniobra. Esta capacidad permite al operador seleccionar un nuevo rumbo y/o

velocidad, para introducirlos en el sistema, y obtener una visión acelerada que mostrará el efecto de la maniobra propuesta relativa a todos los ecos.

Uno de los problemas de la mayoría de estos sistemas es el de obtener una exacta y razonable velocidad del buque propio. Algunos utilizan lecturas de las r.p.m. o corredera, ninguna de las cuales es extremadamente exacta. Un sistema Doppler determinaría la velocidad del buque propio exactamente; sin embargo es muy costoso.

Los diferentes sistemas incluyen numerosos tipos de alarmas visuales y sonoras, para alertar al operador. Dependiendo del sistema en particular, el criterio del intruso puede ser seleccionado por el operador, por medio del uso de los anillos de distancias, hora o distancia al CPA, o un área de peligro del eco. Algunos sistemas tienen alarmas que son activadas cuando hay una predicción de abordaje, o cuando un nuevo eco aparece en la pantalla. Algún sistema tiene una alarma para indicar un cambio de rumbo del eco y avisar de la aproximación a un peligro para la navegación.

La mayoría de los sistemas dan tanto una presentación del movimiento verdadero como del relativo, a elección del operador. La opción usual de los modos es proa arriba o norte arriba; sin embargo, algunos tienen solamente una opción de rumbo arriba. Algunos displays son réplicas del campo PPI de radar; otros están alargados, facilitando una mayor cobertura por la proa y menor por la popa. Un elemento común es el descentrado. Algunos sistemas presentan la tierra, y alguno también presenta bajos y obstrucciones.

La variedad de los sistemas y características que están operativos y en estudio a bordo de los buques, indican una necesidad para la determinación de algunos criterios básicos o especificaciones.

La siguiente es una lista sugerida de los criterios mínimos para un sistema radar de a bordo, para prevenir los abordajes:

1. Una comunicación efectiva de radio puente-puente.
2. Un competente y bien entrenado oficial de guardia.

3. Un radar seguro.
4. Una representación o presentación visual que presente claramente y sin ambigüedades la siguiente información:
   a) Las posiciones de los ecos y peligros a la navegación provenientes desde el radar.
   b) El rumbo verdadero, velocidad, distancia, demora, distancia al CPA, y hora del CPA de los ecos; y
   c) Posiciones proyectadas del propio buque y demás buques; o una indicación de una maniobra libre apropiada; indicar regiones prohibidas de maniobra, relativa a otros buques.
5. Adquisición de ecos manual o automática, o ambas.
6. Alarmas automáticas de audio y visuales para identificar los ecos amenazantes o situaciones peligrosas.
7. Identificación de ecos efectiva.
8. Controles variables para el establecimiento del criterio de amenaza.
9. Evaluación de la maniobra de prueba.
10. Una variedad de escalas de distancias seleccionable.
11. Capacidad de todas las operaciones meteorológicas.
12. Capacidad para ser dominado rápida y fácilmente por un oficial de guardia cualificado.

Estos criterios sugeridos están básicamente auto-explicados. Sin embargo, se debería hacer énfasis sobre la necesidad de una presentación no ambigua de los datos que necesita el oficial de guardia para tomar las decisiones racionalmente. También es de gran importancia el requisito de que el sistema debe ser fácilmente entendido y rápidamente dominado por el oficial de guardia. También, el sistema debe ser lo suficiente comprensivo para facilitar datos más útiles para evitar los abordajes que los proporcionados por un radar común, pero no debería ser tan sofisticado que un oficial de guardia, con experiencia y conocimientos medios, tenga dificultades para usarlo.

Además conviene mencionar la carta náutica electrónica, copia fiel de la carta oficial elaborada por la institución hidrográfica, encuentra una aplicación inmediata al

integrarse con la señal del radar. La integración se consigue por "sobreimpresión" de imágenes "cruda" y "sintética". (Figura 7-24).

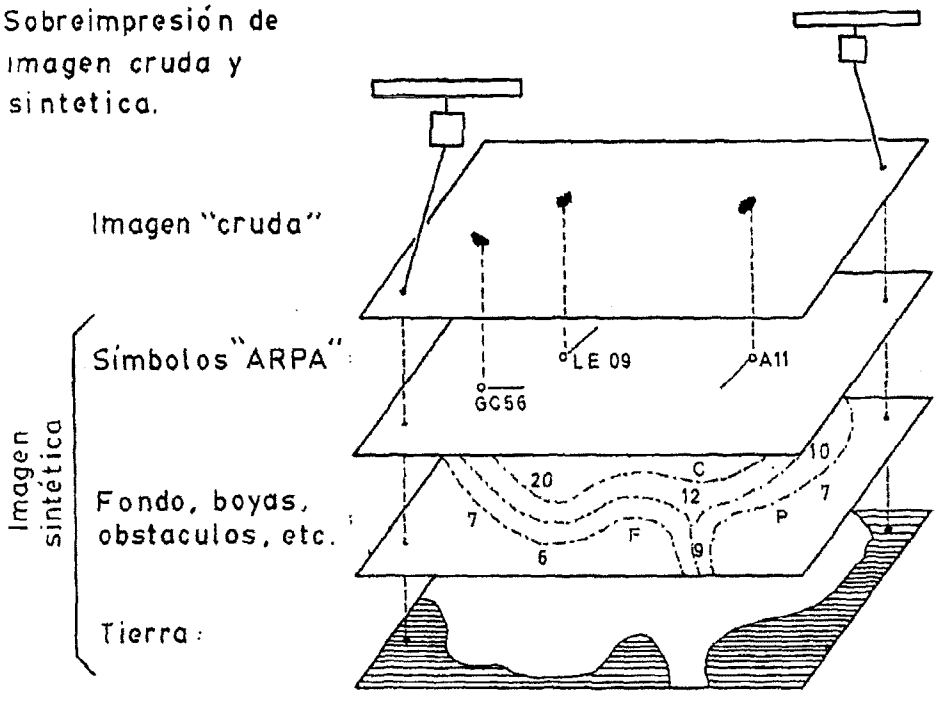


Figura 7-24

Imagen cruda es la que proporciona el radar por reflejo de las ondas de radiofrecuencia, y la imagen sintética es todo lo demás: caracteres alfanuméricos, gráficos, líneas y colores. La presentación no necesita ser redonda, empleándose el formato rectangular, con lo que imitación de la carta náutica tradicional es perfecta.

7.2.2 El radar más allá del horizonte

Principalmente hay dos formas para explorar más allá del horizonte mediante el radar operando con las frecuencias en HF (3 a 30Mcs.), una es mediante la *onda celeste* reflectada por la ionosfera, con un alcance de 5.000 kms. o más, pero con el inconveniente de una "zona muerta" de los primeros centenares de kilómetros. Tiene principalmente su aplicación en defensa y debido a su alto coste operativo no se desarrolla para aplicaciones de VTS.

La segunda forma es el llamado *onda de superficie* (o tierra) siendo el adecuado para la vigilancia de la zona económica exclusiva (EEZ). En esta técnica las ondas de radar se propagan por encima de la superficie marítima con un alcance normal de 400 kms. en modo de corto alcance, los blancos se detectan desde unos 10 kms. de la antena. En modo de largo alcance los blancos se sitúan con una precisión de 8 kms. [ANSE-98].

7.2.3. Radar secundario

El radar secundario, (respuesta activa de un equipo respondedor inducida por una interrogación), vimos la gran importancia que tiene para el sistema aéreo, no se usa para la vigilancia del tráfico en la mar. No obstante, su implantación, a bordo de los buques es fácil, existiendo la voluntad de su progresiva instalación. Existen variantes de nuevo diseño como es el:

- *Transpondedor por radio:* actualmente poco conocido, las pruebas las efectúa la British Telecom y el laboratorio de física y electrónica TNO, creando lo que se ha venido a llamar el ARIS (Automatic Reporting and Identification System). Posiblemente la IALA proponga su uso.
- *Baliza Radar (Radar Beacon – Racon)* empleada para permitir la identificación de buques faro, boyas y puntos de la costa. En la carta náutica vienen indicadas de la siguiente forma:

  Racon D (3 & 10 cm), lo que quiere decir que en la pantalla de radar se observarán unos trazos formando la letra B del alfabeto Morse en la demora del punto donde está instalado el Racon y naciendo del mismo, en los radares de banda S y X (Figura 7-25).

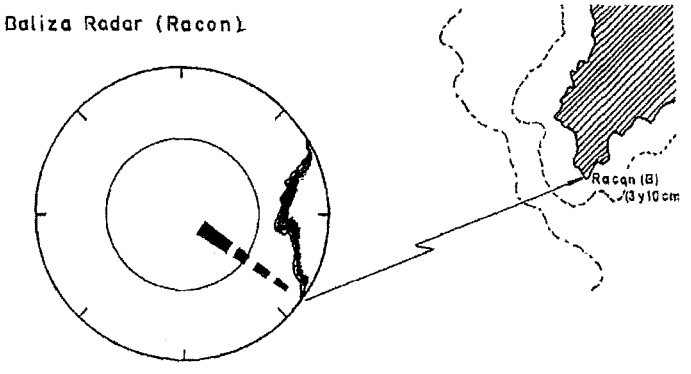


Figura 7-25

- *Respondedores Radar para embarcaciones de supervivencia* (Survival Craft Radar Transponders o RESAR), empleados en las operaciones de búsqueda y salvamento. Tal y como se ha diseñado el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (SMSSM), opera en la banda X (9.300 a 9.500 khz), el RESAR proveerá el método principal de localización de embarcaciones de supervivencia en la mar. Una vez activado el RESAR pasa a modo de espera, hasta que es interrogado por un radar como puede ser el de un buque o aeronave de rescate, entonces el RESAR envía una señal que aparece en la pantalla como una línea de 12 puntos que da la demora y la distancia a que se encuentra la embarcación de supervivencia, con una separación entre el primero y el último de 8 millas. Lleva incorporada una batería capaz de funcionar durante 96 horas, el alcance al ser interrogada por radares marinos debe de ser como mínimo de 10 millas, siempre que la altura de la antena radar sea mayor de 15 metros. En los radares a bordo de una aeronave con potencia de cresta de salida de 10 kw. deberá de ser hasta 30 millas en vuelos a 2.500 metros. Dispone de un avisador visual/acústico que servirá tanto de autotest como para dar aviso a los ocupantes de la embarcación de supervivencia.

7.2.4. Especificaciones técnicas y operativas del sistema del control marítimo

El conjunto de requisitos y funciones que realiza el sistema se pueden enumerar como sigue:

7.2.4.1 Generales:

- **Presentación y Supervisión de la Navegación.**

La función de presentar y supervisar en la Navegación facilita al operador la información radar necesaria para realizar la vigilancia y supervisión de la Navegación en su zona de responsabilidad. Como mínimo incluye las siguientes ayudas para la prevención de accidentes:

a) Aviso de peligro de colisión entre buques.
b) Entrada de buques en zonas de peligro.
c) Vigilancia de canales de acceso a puerto, fondeaderos y sus enfilaciones.
d) Vigilancia de garreo de boyas y buques fondeados.

Cuando el sistema de control detecte algunas de las anteriores circunstancias, genera las correspondientes alarmas acústicas y luminosas.

- **Operaciones de Salvamento y Emergencia.**

  El sistema permite definir y consultar datos de Salvamento y Emergencia, tales como:

  - Denominar unívocamente cada operación
  - Incluir texto descriptivo
  - Edición de zonas de salvamento
  - Definir blancos especiales (explorador), haciendo a continuación el seguimiento y dibujo de la zona que ha podido observar en el transcurso de la operación.
  - Medios de salvamento y su estado operativo
  - Medios de salvamento de reserva y tiempo para estar operativo
  - Cooperaciones con medios marítimos y aéreos pertenecientes a otras
  - instituciones.

- **Almacenamiento y Consulta de la Información.**

  El Subsistema realiza el almacenamiento de la información que se considera imprescindible, para su consulta de forma que se asegure su consistencia y fiabilidad.

  La información almacenada contiene lo siguiente:

  - Datos Radar ("Plots", trazas, seguimiento blancos, etc.)
  - Incidencias de Navegación
  - Registro de buques
  - Identificación de buques (historial del buque en la zona de responsabilidad del CCS)
  - Bases de datos de buques
  - Operaciones de Salvamento
  - Operaciones de Lucha contra la contaminación
  - Configuraciones del Sistema
  - Bases de datos de explotación
  - Alarmas

- **Generación de Estadísticas e Informes.**

  También es destacable que el sistema mantiene y genera, bajo petición, un conjunto de Estadísticas sobre:

  - Tráfico Identificado
  - Tráfico no Identificado
  - Tráfico por tipo de buque
  - Tráfico por tipo de carga
  - Densidades de Tráfico, generales y zonales
  - Incidencias de Navegación
  - Operaciones de Salvamento
  - Operaciones contra la Contaminación

  Las consultas se realizarán entre dos fechas dadas y se podrá realizar especificando cualquier característica de los registros.

- **Reproducción de situaciones de tráfico.**

  Existe una función que permite reproducir un escenario radar con trazas adquiridas y grabadas en disco o cinta. La información que recuperará serán los datos que se representan en la Estación de Trabajo y alarmas, pudiendo ser seleccionados por intervalos programables, en los que también podrá variarse el grado de avance y retroceso. La presentación así obtenida se reproduce en papel, globalmente o buque a buque, en cualquier instante.

7.2.4.2. Gestión de radar:

- **Tratamiento de datos radar.**

  El Sistema recibe del Procesador de Datos radar la información de "Plots" y Trazas y realizará la adquisición automática y posterior seguimiento de hasta 200 blancos. Se dispone de medios ajustables de correlación, seguimiento inercial y cancelación manual de blancos.

- **Recepción de vídeo crudo o digitalizado.**

  Se encaminará a cada consola el vídeo crudo o digitalizado sobre el que se superpone la información sintética.

- **Telecontrol y Supervisión Radares.**

  Desde las Consolas el operador podrá modificar algunos parámetros de funcionamiento de los radares, que serán:

  - Encendido y Apagado Radar
  - Modificación Sensibilidad frente al "Clutter"
  - Cambio de transceptores radar
  - Modificación de la configuración

  Asimismo se recibe información del estado de los equipos que compongan el subsistema radar.

7.2.4.3. Gestión de Gonios:

- **Tratamiento de Datos goniométricos.**

  El sistema recibe información de marcaciones goniométricas provenientes de los gonios locales o remotos, realizará el seguimiento de los blancos detectados y presenta las líneas de demora en la pantalla de tráfico.

- **Telecontrol y supervisión Gonios.**

  Desde las Consolas se pueden controlar remotamente los goniómetros, para lo cual se enviarán comandos y recibirán señales de estado Se envían las siguientes órdenes:

  - Selección de los canales que operarán en VHF.
  - Apagado/Encendido Remoto.

  Se recibe la siguiente información de los goniómetros:

  - Avería del equipo
  - Apagado
  - Modo Local
  - Pérdida de comunicación con el equipo

7.2.4.4. Gestión de Comunicaciones:

- **Telecontrol y Supervisión Equipos radio VHF.**

  El Subsistema realiza el control de los Equipos de Radio, tanto locales como instalados en las Estaciones Remotas. Para ello lleva a cabo las siguientes funciones:

a) Telecontrol y Supervisión de Equipos de Radio VHF SMM, SMA y SMT. Permite desde las Consolas enviar a los Equipos de Radio VHF de las estaciones remota y locales, los siguientes comandos:

- Cambio de Canal
- Activación/Desactivación del Filtro de "Squelch"
- Apagado/Encendido Remoto
- Asignación de función operativa (Llamada Selectiva Digital (LSD), audio, etc.)
- Y recibe de los equipos información de:
- Avería del equipo
- Apagado
- Modo Local
- Pérdida de Comunicaciones con el equipo

b) Telecontrol y Supervisión de Equipos de Radio MF. Permite desde las Consolas, enviar a los equipos de Radio de MF locales los siguientes comandos como mínimo:

- Cambio canal
- Asignación de Frecuencia a Canal
- Activación/Desactivación de Filtro de "Squelch"
- Apagado/Encendido Remoto
- Conexión/desconexión de Telex Marino
- Cambio de Modulación
- Conexión/desconexión de llamada/selectiva

Se recibe la siguiente información de los Equipos:

- Avería del equipo
- Apagado
- Modo Local
- Pérdida de Comunicación con el equipo

c) Telecontrol y Supervisión de Equipos de Radio Telex y radio LSD. Desde las Consolas se puede enviar a los equipos de radio locales el siguiente comando:

- Apagado/Encendido remoto

El Subsistema recibe, la siguiente información:

- Avería del equipo
- Apagado

- **Mensajería Equipos radio.**

Independientemente de lo anterior y, únicamente, para los equipos de radio, el sistema de control realiza funciones de Mensajería de Equipos Radio, para lo cual está conectado a los Equipos Radio-Telex y Radio-LSD.

Mediante esta función, un operador del Sistema puede, para cualquiera de los anteriores equipos, realizar las siguientes funciones:

- Transmisión de mensajes
- Edición y gestión de mensajes en los terminales auxiliares
- Recepción de mensajes

7.2.4.5. Otras funciones de gestión

- **Tratamiento de Datos Meteorológicos**

De la Estación Meteorológica se recibe y almacena:

- Temperatura ambiente
- Presión atmosférica. (Presiones máximas y mínimas en mb.)
- Velocidad y dirección del viento. (Rachas máximas con fecha, hora y dirección)

Esta información se podrá consultar y obtener estadísticas periódicas.

- **Telecontrol y Supervisión de otros Equipos**

El sistema permite controlar y supervisar desde las Consolas de operación, otros elementos y equipos tales como:

- Estación Meteorológica
- Sistemas de Alimentación:
  * Activación/Desactivación Equipo Generador
  * Alimentación con UPS
  * Estado del sistema
- Sistema NAVTEX (Solo CRCS de Palma de Mallorca)
- Control Perimetral de la instalación (sólo Estaciones Remotas)
- Detección de Incendios (sólo Estaciones remotas)

- **Ofimática y mensajería**

El Sistema de Control y Presentación está conectado a las redes de TELEX y FAX. Un usuario del Sistema puede, para cualquiera de las anteriores redes y equipos, realizar las siguientes funciones:

- Transmisión de mensajes mediante TELEX y FAX.
- Recepción de mensajes.
- Consulta de mensajes.

7.2.5. Gestión NAVTEX

Las funciones de la gestión NAVTEX son las siguientes:

A) PREPARACION DE MENSAJES NAVTEX.

El sistema permite preparar mensajes NAVTEX a partir de mensajes (generalmente en español) recibidos automáticamente por Red Telex o Modem Telefónico, o preparar mensajes NAVTEX manualmente.

La preparación del mensaje NAVTEX sigue las recomendaciones del "Manual NAVTEX IMO" y es asistida por el sistema de gestión. Permite incluir en el mensaje NAVTEX información no transmisible e información transmisible, a saber:

- Prioridad del mensaje (parámetro no transmisible): Vital, Importante o Rutinario.
- Periodicidad (parámetro no transmisible): número de veces que un mensaje se envía en periodo programado, ya sea en número de veces consecutivas o en número de veces al día.
- B1: (fijo por configuración).
- B2: cualquiera de los recomendados.
- B3, B4: según recomendación evitando usar códigos válidos.
- Primera línea de texto (fecha y hora de origen).
- Segunda línea de texto (Identidad Navarea y número consecutivo).
- Texto propiamente dicho en inglés.

B) GESTION DE MENSAJES NAVTEX

El sistema permite como mínimo las siguientes acciones sobre mensajes Navtex previamente definidos:

- Anular un mensaje rutinario
- Cambiar la periodicidad de un mensajes rutinario
- Visualizar mensajes
- Imprimir mensajes

C) DIFUSION DE MENSAJES NAVTEX

El sistema transmite mensajes NAVTEX siguiendo las recomendaciones del "Manual NAVTEX IMO" teniendo en cuenta que:

- El momento y secuencia de la transmisión viene condicionado por la Prioridad, Periodicidad, B2, B3 y B4.
- Se usa el mensaje de "Ningún mensaje por transmitir" cuando no haya mensajes.

7.2.6. Sistema de Control y Presentación

.A) Subsistema de Gestión.

El subsistema de Gestión es el encargado de procesar la información procedente del resto de subsistemas que configuran el CCS. A su vez está basado fundamentalmente en una serie de unidades de proceso comunicadas a través de una red de área local. A continuación se detallan algunos de los requisitos de sus elementos.

- Red de Área Local.

Es el soporte físico por el cual intercambiarán información los diferentes elementos del Subsistema. El protocolo que se emplee en la red, tanto a nivel físico como lógico, sigue la recomendación IEEE 802x y los programas que gestionen la red son comerciales y han sido suficientemente probados.

La red está dotada de un servidor con las características necesarias para satisfacer ampliamente sus funciones.

- Unidades de Procesamiento

Se utilizan al menos dos unidades de procesamiento que están conectadas a la red local. Cada unidad de procesamiento es capaz de absorber toda la carga del Sistema con sólo un 50% de su Capacidad de Proceso. El Sistema Operativo empleado es el UNIX. cumpliendo el máximo de estándares.

El "Software" desarrollado ha considerado los siguientes aspectos:

- Utilización de parámetros
- Facilidad de crecimiento de la estructura de datos empleados
- Programas independientes del ordenador utilizado
- Uso de metodología "top down" en análisis, diseño y desarrollo
- Programación estructurada y diseño orientado a objeto
- Acceso a las posibles Bases de Datos con un único Gestor de Bases de Datos.

- Procesador de Comunicaciones

Este elemento se encarga del manejo y gestión de los enlaces de datos que se necesitan para controlar, tanto los equipos locales, como los de las estaciones remotas, así como el enrutamiento hacia las unidades de procesamiento.

- Impresora del Sistema

La impresora se utiliza para imprimir las alarmas e incidentes marítimos y uso general del Sistema, y tiene capacidad para imprimir gráficos con alta calidad.

- "Plotter".

Trazador gráfico que acepta hojas de tipos A3/A4, configurándose automáticamente.

B) Subsistema de Presentación

El Subsistema de Presentación (SP) realiza la interfaz hombre/máquina y está compuesto como mínimo por:

- Dos consolas de Operación, cada una de las cuales dispone de:
  - Estación de trabajo para la presentación de datos radar
  - Terminal Auxiliar complementario de la Estación de Trabajo

- Una consola auxiliar, compuesta de:
  - Controles de elementos comunes
  - Mueble

La mayor parte de las funciones del sistema de Control y Presentación se realizan desde las Consolas, bien presentando información o aceptando peticiones desde ellas. Las funciones que se pueden realizar en cada una de las consolas son fundamentalmente las relacionadas con información gráfica que represente la situación de tráfico marítimo. La información que se trata y muestra sobre la pantalla gráfica es:

- Datos Radar (Blancos, "Plots" y vídeo crudo o digitalizado) con sus diferentes estados.
- Datos Goniométricos (Marcaciones y Triangulaciones) con sus diferentes estados.
- Datos Cartográficos (Digitalización de las zonas de responsabilidad del CCS).
- Zona previamente definidas
- Referencias Geográficas
- Indicaciones gráficas derivadas de la función de Supervisión y Análisis de la Navegación.
- Indicaciones gráficas derivadas de la función de Operación de Salvamento y Emergencia.

Asimismo se puede realizar el control de su propia presentación:

- Elección de la información a presentar.
- Forma de representación de los datos (blancos, etiquetas) y elementos auxiliares (trayectorias, vectores, etc.)
- Definición de zonas geográficas, símbolos cartográficos, etiquetas, leyendas, etc.

Además en la consola se presentará al operador la información relativa a la gestión de radares, comunicaciones, radiogoniómetros, meteorología, mensajería, etc.

7.2.7. Configuración de Funciones

El Sistema permite a los operadores realizar la configuración de funciones que consiste en:

a) Para las funciones que se realizan en Estaciones de Trabajo, definir en qué consola van a realizarse o si se harán en ambas.

b) Para las funciones que se realizan en Terminales Auxiliares, definir si se van a realizar en una u otra de las Consolas de Operación, o en ambas.

Esta configuración en caso de que se refiera a equipos de los que existen varios (Radio VHF, etc.), se realizará por cada equipo.

En caso de que varias Consolas puedan realizar una misma función simultáneamente y esta función esté relacionada con peticiones de Operador, el Sistema no establecerá ninguna prioridad ya que la coordinación se realiza manualmente. Las consolas pertenecientes al Sistema de Presentación están conectadas con el Sistema de Gestión a través de la Red de Área Local.

El programa que realizará el interfaz hombre-máquina esta basado en "X-WINDOWS MOTIF", para manejar objetos tales como: ventanas, botones "Software", menús desplegables, etc. Este paquete "Software" es comercial y suficientemente probado en otras aplicaciones. El sistema operativo es el UNIX, cumpliendo el máximo de estándares.

7.2.7.1. Estación de Trabajo para Representación Datos Radar

Constituye una Estación de Trabajo o procesador dedicado dentro del procesador de datos Radar. Algunas de sus características gráficas son:

- Monitor 19" con 1.280 x 1.024 pixeles.
    * Resolución 1.280 x 1.024 pixeles.
    * Representación de hasta 1,5 millones vectores/seg.
    * Número de colores simultáneos 256.
    * Alta luminosidad.

- La capacidad del equipo es la suficiente para sus funciones.
- Bola rodante para marcación gráfica con 3 teclas de captura.
- Teclado.

7.2.7.2. Terminal Auxiliar de la Consola

Lo constituye un terminal con las siguientes características mínimas:

- Memoria Principal: 8 Mbts.
- Monitor 14" y alta luminosidad.
- Resolución Gráfica: 1.024 x 768 pixeles
- Almacenamiento Masivo: 80 Mb/s
- Ratón.
- Teclado.

7.2.8.Sistema de sensores

Está constituido por los equipos que realizan la detección de ecos radar, su proceso inicial, datos goniométricos y meteorológicos, excluyéndose la presentación de los mismos que ya se ha descrito anteriormente.

Como se indicó anteriormente el sistema de sensores para cada uno de los CCS se compone de los siguientes subsistemas:

- Radar.
- Radiogoniometría.
- Meteorología.

El Radar y la Radiogoniometría están configurados de forma que se consiga cubrir las zonas de responsabilidad requerida. En cuanto a las estaciones meteorológicas están instalados exclusivamente en los CCS.

7.2.8.1. Subsistema Radar

La cobertura dentro de la cual el radar es capaz de procesar blancos se extiende sin huecos, en todos los modos de operación, sobre 360° en azimut y a una distancia

comprendida entre no menos de 150 mts. y al menos 25 millas para CRCS y 15 millas para CLCS.

Existen los diagramas de coberturas de los radares, tanto en espacio libre como en su entorno real ("Clutter" marino), para una probabilidad de detección y probabilidad de falsa alarma, con un blanco standard de 5 m^2 de sección transversal, modelo "Swerling 1" y 60 nudos de velocidad máxima.

Para los modos de operación del radar dentro del área de cobertura especificada, el radar es capaz de detectar el blanco estándar indicado en el apartado anterior con una probabilidad de detección por vuelta de antena de al menos un 50% con una probabilidad de falsa alarma no superior a 10^{-6} en áreas claras sin "Clutter".

El Radar en banda X será de doble transceptor en redundancia. Se utilizará un segundo radar de banda S o se incluirá polarización variable en el radar de banda X para mejorar la respuesta de este subsistema en condiciones meteorológicas adversas.

Los elementos que compondrán el radar serán:
- Unidad de antena
- Doble transceptor
- Procesador de datos radar
- Consola de mantenimiento

El control radar permite el mando remoto de todo el subsistema, tal y como se indicó en las Funciones de Supervisión General y Mantenimiento.

7.2.8.2. Procesador de Datos Radar

El procesador realiza las siguientes funciones:
- Filtrado de datos radar
- Procesado de datos y extracción de "Plots"
- Establecimiento de blancos y seguimiento de éstos
- Empaquetado y envío al Subsistema de Gestión y Supervisión de "Plots" y blancos

- Telecontrol y supervisión de los radares
- Envío de vídeo crudo o digitalizado
- Interfaz remota de enlace de datos normalizada a través de líneas telefónicas dedicadas.

El Procesador de Datos Radar dispone, de dispositivos de diferenciación de señales que permiten la eliminación del "Clutter" o FTC, de discriminador de ancho de impulso y correlación, así como de umbral adaptativo. Existe además un sistema con capacidad para integrar las señales de cada uno de los radares del sistema en un único entorno de Navegación.

También es posible la inhibición de la transmisión del radar en sectores determinados y se contemplan aspectos relativos a:

- STC (Sensitivity Time Control) manual y automático por sectores.
- FTC (Fast Time Control).
- "Blanking" Sectorizable.

7.2.8.3. Consola de mantenimiento

El Subsistema de Radar posee una unidad de presentación, a pie de los transceptores que se utiliza para realizar las operaciones de mantenimiento y calibración en condiciones normales. Excepcionalmente podrá utilizarse como consola de servicio en caso de emergencia. Las funciones que realiza como mínimo son:

- Presentación de vídeo crudo, "Plots" y blancos, tanto gráfica como alfanuméricamente.
- Seguimiento de blancos.
- Generación de blancos.
- Adquisición y cancelación manual de blancos.
- Activación de test de las diferentes partes del sistema y visualización de resultados.
- Visualización de los parámetros de transmisión y recepción.

- Ayudas en la presentación (marcas de distancias entre puntos, desactivado, coordenadas del cursor, etiquetas, generación de mapas, control de brillo, etc.
- Control de sectores de "blanking" y STC.
- Dispone de carta de ajuste.

La Consola de Mantenimiento dispone de un monitor de tipo "Raster" de un tamaño de "19".

7.2.9. Subsistema de Radiogoniometría

El Subsistema de Radiogoniometría se encarga de realizar las correspondientes marcaciones de las posiciones de los barcos que se encuentren en el área de responsabilidad del CCS correspondiente. Este subsistema esta basado en radiogoniómetros de VHF de 2 o más canales "escaneados".

Hay que mencionar el problema que se produce cuando por ejemplo un operador del Centro transmita por uno de los canales de socorro a los cuales están sintonizados los gonios, y por lo tanto se generan marcaciones falsas y posibles averías por lo que tienen su debida protección.

El Gonio de VHF (VDF) tiene una cobertura de como mínimo 30 millas alrededor de su emplazamiento, teniendo una probabilidad de 99% de detección de una emisión de un barco que emita con una potencia aparente de 10 w y una altura de antena del barco de 5 metros. El diseño completo de Subsistema de Radiogoniometría contempla los casos más desfavorables que puedan presentarse, en cuanto a Requisitos de Compatibilidad Electromagnética.

Los radiogoniómetros cubren la banda de VHF (118 a 174 Mhz y la frecuencia de 243 Mhz), son remotamente controlables vía RS-232 o cualquier otro "bus" normalizado. Su precisión es mejor de 1º y se complementa con un sistema radiogoniómetro VHF con un error de 0,5 para estaciones remotas con una gran cobertura.

7.2.10. Estación meteorológica

La adquisición de datos meteorológicos se efectúa exclusivamente en los CCS. Los datos que se procesan como mínimo son:

- Temperatura ambiente.
- Presión atmosférica (presiones máximas y mínimas en mb)
- Velocidad y dirección del viento.

Las informaciones que se envían al Naval Oceanographic Office para luego ser emitidas como Hydrolants/Hydropacs son recibidas desde numerosas fuentes como el Coast Guard, avisos emitidos por otras naciones, personal que navega a bordo de buques, etc.

Todas estas informaciones que pertenecen, de una forma o de otra, a la seguridad de la navegación y de la vida humana en la mar se envía a la Navigational Information Services Division donde se clasifica según su importancia. Normalmente sólo se emite aquella información que afecta a la inmediata seguridad de la navegación. [NISD-72]. Los tipos de información es muy variada y puede ir desde desastres marítimos hasta objetos peligrosos a la deriva, altura de olas, etc.

7.3. Conclusiones parciales al Capítulo

El equipamiento disponible para las funciones asignadas al controlador de tráfico aéreo, complementado en el instalado a bordo de aviones es altamente complicado y de elevada fiabilidad en la información que facilita, lo que a su vez redunda en un fuerte nivel de seguridad, no obstante, la profusa disponibilidad de equipos aportan un desequilibrio en la carga de trabajo, mayor en los controladores de tráfico aéreos.

Se ha realizado un exhausto detalle de todos los equipos disponibles actualmente en ambos tipos de control de tráfico y se han presentado los de futura implantación y desarrollo. Resulta evidente que los aspectos de control son diferentes en el alcance de sus necesidades. Si bien, la fiabilidad es compartida en grados de responsabilidad entre equipos instalados en tierra y los instalados a bordo de los aviones y de los buques, respectivamente.

El equipamiento que disponen la mayoría de controladores de tráfico marítimo tiene todavía escasa relación con los equipos instalados a bordo aunque es deseable un cambio sustancial en este sentido con el uso de los transponders.