

Tema 11

RADAR SECUNDARIO Modo S



Radar Modo S

El radar Modo S (Selective) es una evolución del radar secundario monopulso que utiliza sus mismas frecuencias de interrogación y recepción. La evolución consiste en la utilización de interrogaciones/respuestas codificadas y una dirección única de 24 bits para cada blanco lo que asegura que las transmisiones sean únicamente decodificadas por el blanco deseado. Además proporciona detección y corrección de errores en los datos transmitidos.

En una estación modo S además de este tipo de interrogaciones y respuestas, también se producen interrogaciones y respuestas SSR convencionales, lo cual permite recibir no solo blancos equipados con transpondedores modo S, sino también blancos equipados con transpondedores modo A/C.

Radar Modo S

Entre otra información, el radar Modo S es capaz de extraer los siguientes datos:

- Identificación del blanco (Modo A).
- Altitud presión del blanco, con resolución de 100ft o de 25ft en el caso de que el blanco esté equipado con un transpondedor modo S.
- Datos derivados del blanco, conocidos como DAPs (Downlinked Aircraft Parameters). Estos datos, tales como altitud seleccionada, velocidad, etc. ayudan a dar un mejor servicio a los sistemas ATM y mejorar la información proporcionada a los controladores.

Radar Modo S

Ventajas:

- Los datos enviados contienen códigos para el chequeo de la integridad.
- Puede posicionar dos blancos diferentes situados en la misma localización.
- Proporciona resolución en altitud de 25 pies en lugar de 100 pies.
- Proporciona información de la actitud del blanco (velocidades y rumbo).
- También opera con blancos modo A/C.

Inconvenientes:

- Únicamente es aplicable a aeronaves equipadas con transpondedores Modo S.
- Es tecnológicamente más complejo.
- Dependiente de la aviónica que suministra datos extra.

Radar Modo S

Debido a sus capacidades de interrogación dirigidas a una única dirección, el FRUIT y las respuestas solapadas se reducen en una gran medida eliminándose las reflexiones. Otra ventaja es que cada aeronave tiene una dirección de 24 bits exclusiva (mientras conserve la misma matrícula) por lo que se solucionan los problemas de cambio de código A a lo largo de un vuelo.

El transpondedor modo S juega además un papel primordial en los sistemas ACAS (Airborne Collision Avoidance System) y otros sistemas como el ADS-B y la multilateración. Estos últimos sistemas basan su funcionamiento en la transmisión de mensajes espontáneos modo S, conocidos como Short Squitters y Extended Squitter.

Radar Modo S

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.

Interrogación Modo S

Las interrogaciones en Modo S se realizan modulando a la portadora de 1030 MHz. con una secuencia de pulsos (P1, P2, P3, P4, P5, P6), las características de la modulación son las siguientes:

- 1) Los pulsos P1 y P3 de 0.8 μ seg. de duración son idénticos a los utilizados en modo A y C, modulándose en OOK.
- 2) El denominado pulso P6, es en realidad una secuencia de pulsos que modulan a la portadora en fase diferencial DPSK a un régimen de 4 Mbit/seg. Existen dos tipos de pulsos P6, los cortos de 16.25 μ seg. (56 bits) y los largos de 30.25 μ seg. (112 bits).
- 3) El pulso P4 puede tener una duración corta 0.8 μ seg. o larga 1.6 μ seg.
- 4) La interrogación de llamada A/C/S consta de los pulsos P1, P3 y P4 largo. Dependiendo de la separación de pulsos P1 y P3, los transpondedores de Modo A/C responderán con una respuesta A o C, mientras que los transpondedores en Modo S responderán con una respuesta S.

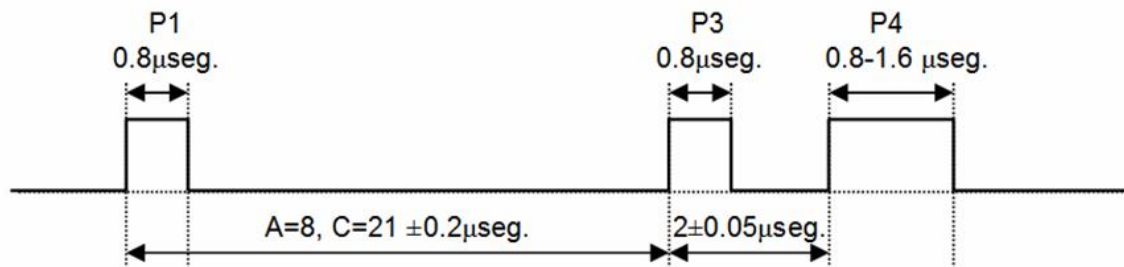
Interrogación Modo S

- 5) La interrogación de llamada A/C consta de los pulsos P1, P3 y P4 corto.
- 6) Los intervalos de tiempo entre los pulsos P1, P2 y P3 son los mismos que para el SSR convencional, siendo el intervalo entre el pulso P3 y P4 de $2 \pm 0.05 \mu\text{seg}$.
- 7) La interrogación en Modo S esta formada por los pulsos P1, P2 y P6.
- 8) La primera inversión de fase del pulso P6 se produce a $1.25 \mu\text{seg}$. de su inicio (se la denomina inversión de fase síncrona), $0.5 \mu\text{seg}$. después de la primera inversión comienzan a transmitirse los elementos (bits) que tienen una duración de $0.25 \mu\text{seg}$.
- 9) El pulso P5 se transmite $0.4 \mu\text{seg}$. antes de producirse la inversión síncrona. Cuando la interrogación se recibe a través de lóbulos secundarios, el pulso P5 será de mayor amplitud al P6, produciendo un enmascaramiento en la inversión de fase síncrona y anulando, consiguientemente, la información contenida en P6.

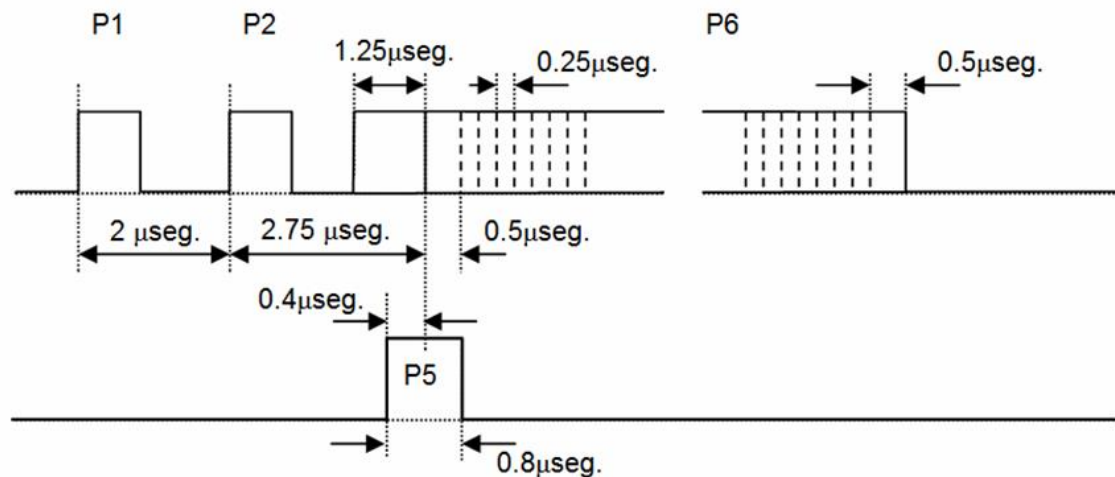
Interrogación Modo S

- 10) La interrogación ó enlace ascendente, propiamente dicho, consta de los pulsos P1,P2 y P6, emitidos por la antena directiva, mientras que el pulso P5, emitido por la antena omnidireccional tiene por objeto evitar la respuesta de las aeronaves que reciban la interrogación a través de los lóbulos laterales.
- 11) El pulso P2, situado a $2\mu\text{s}$ después de P1, que se emite por la antena directiva, evita que respondan los transpondedores convencionales iluminados por el lóbulo principal, al considerar éstos que se trata de interrogación por lóbulos secundarios, al ser la amplitud de P2 igual a la de P1.
- 12) Cuando la interrogación se recibe a través de lóbulos secundarios, el pulso P5 será de mayor amplitud al P6, produciendo un enmascaramiento en la inversión de fase síncrona y anulando, consiguientemente, la información contenida en P6.

Interrogación Modo S



a) Llamada Modo A/C/S



b) Interrogación Modo S

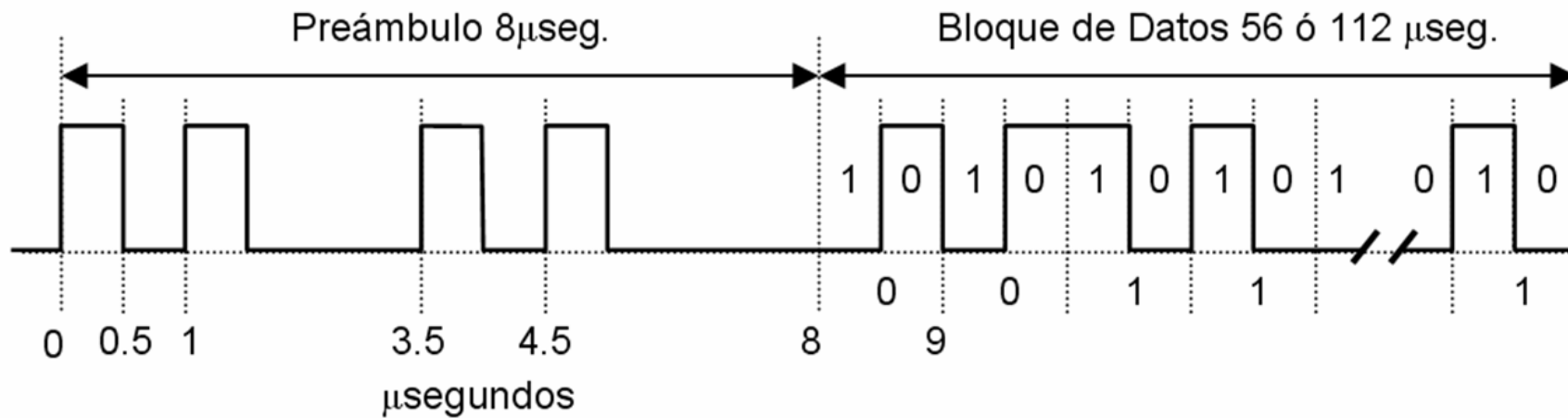
Respuesta Modo S

La frecuencia de las respuestas Modo S (enlace descendente) es de 1090 ± 3 MHz, utilizando polarización vertical. Las respuestas constan de un preámbulo y un bloque de datos. El preámbulo está formado por un bloque de 4 pulsos separados, mientras que el bloque de datos se genera mediante una modulación binaria de pulsos en posición (PPM) a un régimen de 1Mbit/seg.

Los pulsos del preámbulo tienen una duración de $0.5 \mu\text{seg.}$ y están separados 1, 3.5 y $4.5 \mu\text{seg.}$ respectivamente.

El bloque de datos de respuesta comienza $8 \mu\text{seg.}$ después del flanco de subida del primer pulso del preámbulo y consta de un paquete de 56 o 112 intervalos de $1 \mu\text{seg.}$ de duración (formatos corto y largo). Dependiendo del valor del bit a transmitir ("1", "0") se transmitirá un pulso de $0.5 \mu\text{seg.}$ de duración, en la primera o segunda mitad del intervalo. La geometría de los pulsos es la misma que la definida para los Modos A y C y la tolerancia de todos los pulsos en posición es de $\pm 0.05 \mu\text{seg.}$

Respuesta Modo S



Estructura de las Señales Modo-S

El intercambio de información entre interrogadores y transpondedores modo-S se hace a través de los enlaces ascendente y descendente, en paquetes de 56 ó 112 bits, según sean de formato corto ó largo.

Cada bloque de información, correspondiente a una interrogación ó respuesta, está ordenada en campos y subcampos, a cada uno de los cuales se le asigna un tipo diferente de información.

La OACI ha previsto hasta 25 formatos diferentes, tanto en interrogaciones como en respuestas. Sin embargo, hasta el momento, solo han sido asignados 8 formatos de interrogación y otros tantos de respuesta.

Formato de mensajes ascendente UF

Format No.	UF							
0	00000	3	RL:1	4	AQ:1	18	AP:24	.... Short air-air surveillance (ACAS)
1	00001	27 or 83				AP:24		
2	00010	27 or 83				AP:24		
3	00011	27 or 83				AP:24		
4	00100	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	AP:24	.... Surveillance, altitude request	
5	00101	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	AP:24	.... Surveillance, identity request	
6	00110	27 or 83				AP:24		
7	00111	27 or 83				AP:24		
8	01000	27 or 83				AP:24		
9	01001	27 or 83				AP:24		
10	01010	27 or 83				AP:24		
11	01011	PR:4	IC:4	CL:3	16	AP:24	.... Mode S only all-call	
12	01100	27 or 83				AP:24		

Formato de mensajes ascendente UF

13	01101	27 or 83					AP:24		
14	01110	27 or 83					AP:24		
15	01111	27 or 83					AP:24		
16	10000	3	RL:1	4	AQ:1	18	MU:56	AP:24	... Long air-air surveillance (ACAS)
17	10001	27 or 83					AP:24		
18	10010	27 or 83					AP:24		
19	10011	27 or 83					AP:24		
20	10100	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	MA:56	AP:24	... Comm-A, altitude request	
21	10101	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	MA:56	AP:24	... Comm-A, identity request	
22	10110	27 or 83					AP:24		
23	10111	27 or 83					AP:24		
24	11	RC:2	NC:4	MC:80			AP:24	... Comm-C (ELM)	

Formato de mensajes descendente DF

Format No.	DF							
0	00000	VS:1	7	RI:4	2	AC:13	AP:24	.... Short air-air surveillance (ACAS)
1	00001	27 or 83					P:24	
2	00010	27 or 83					P:24	
3	00011	27 or 83					P:24	
4	00100	FS:3	DR:5	UM:6	AC:13	AP:24	.... Surveillance, altitude reply	
5	00101	FS:3	DR:5	UM:6	ID:13	AP:24	.... Surveillance, identity reply	
6	00110	27 or 83					P:24	
7	00111	27 or 83					P:24	
8	01000	27 or 83					P:24	
9	01001	27 or 83					P:24	
10	01010	27 or 83					P:24	
11	01011	CA:3	AA:24			PI:24	.... All-call reply	
12	01100	27 or 83					P:24	

Formato de mensajes descendente DF

13	01101	27 or 83					P:24		
14	01110	27 or 83					P:24		
15	01111	27 or 83					P:24		
16	10000	VS:1	7	RI:4	2	AC:13	MV:56	AP:24 Long air-air surveillance (ACAS)
17	10001	CA:3		AA:24		ME:56		PI:24 Extended squitter
18	10010	27 or 83					P:24		
19	10011	27 or 83					P:24		
20	10100	FS:3	D:5	UM:6	AC:13	MB:56	AP:24	.... Comm-B, altitude reply
21	10101	FS:3	DR:5	UM:6	ID:13	MB:56	AP:24	.... Comm-B, altitude reply
22	10110	27 or 83					P:24		
23	10111	27 or 83					P:24		
24	11	1	KE:1	ND:4	MD:80	AP:24	.... Comm-D (ELM)	

Características Modo S

- ❑ **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.

Características Modo S

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.

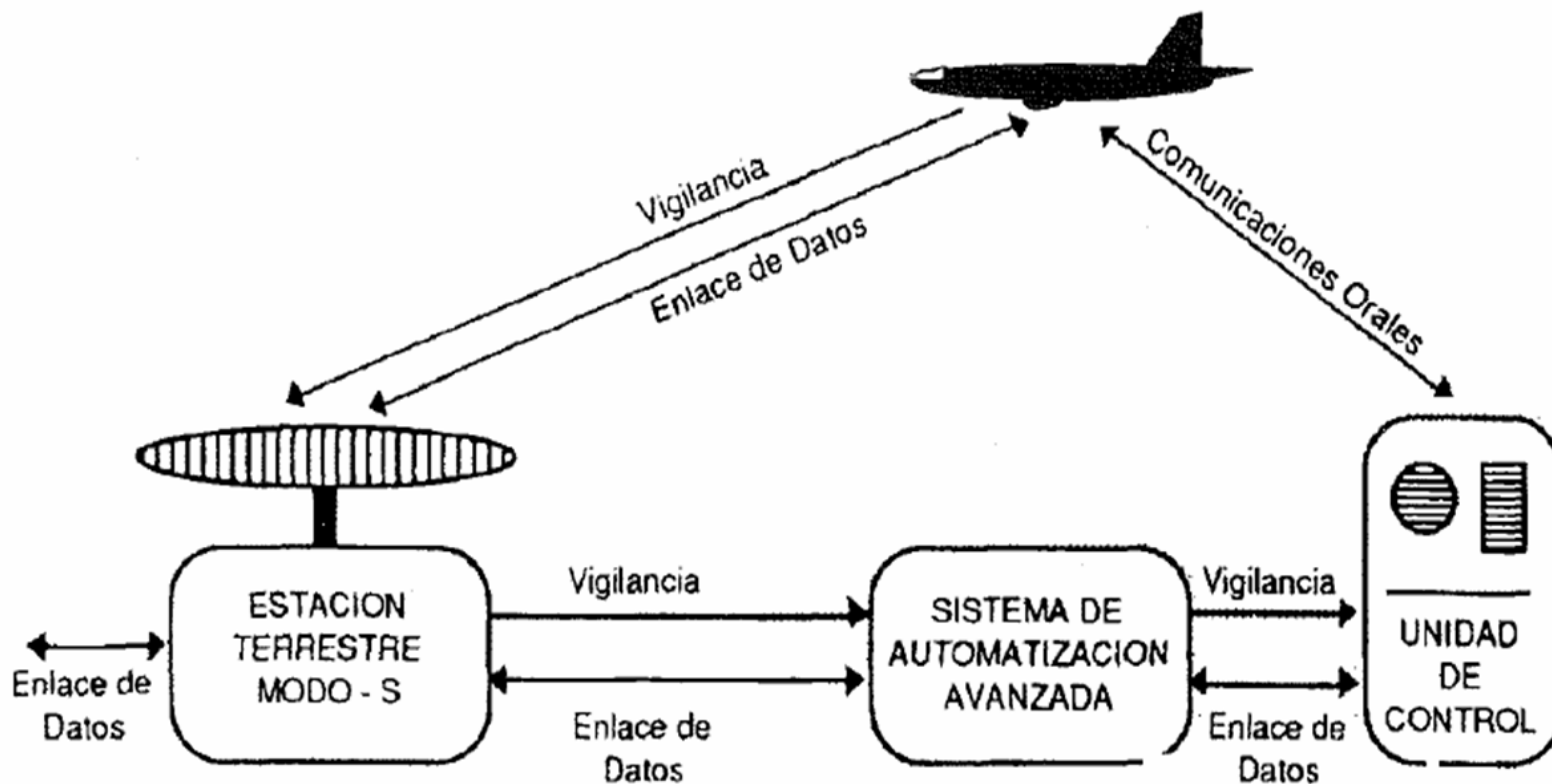
Si por alguna razón una aeronave dejase de recibir interrogaciones de llamada selectiva por un período de 18 segundos, cualquier bloque existente se invalidará, de manera que la aeronave, podrá ser readquirida por adquisición normal Modo S.

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.

Esquema SSR Modo S



FLUJO DE INFORMACION

Capacidades de los Transpondedores

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).

Resumen SSR Modo S

- 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 (address), 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.

Limitaciones SSR Modo S

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:

- ❑ 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 seg. 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.
- ❑ Tiene un tiempo muy limitado (aproximadamente 32 miliseg. 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.
- ❑ 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.
- ❑ 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.