
Proyectos de Gestión de Tránsito Aéreo



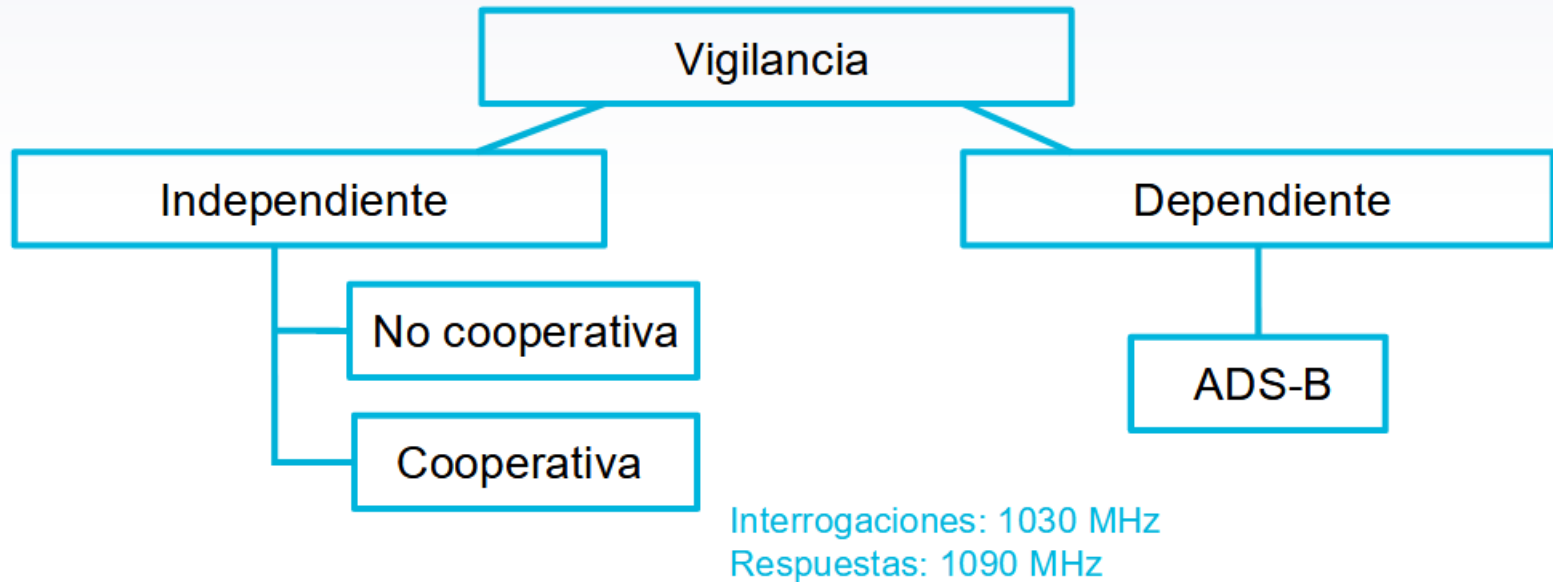
Vigilancia Secundaria. SSR+Modo S

18/09/2025

Definición de vigilancia

- Vigilancia son los medios de adquirir la posición de las aeronaves de tal forma que permitan al controlador mantener la separación mínima.*
- La red de vigilancia está formada por los medios tecnológicos que proporcionan información de posición y otros datos esenciales como información meteorológica, alerta de conflictos, predicción de trayectorias, etc.*
- Es esencial para el control del tráfico aéreo (ATC) la precisión de posición tanto en el aire como en tierra.*
- La información de posición del blanco suele estar suministrada por varias fuentes, es necesario fusionar esta información y obtener un único dato más preciso.*

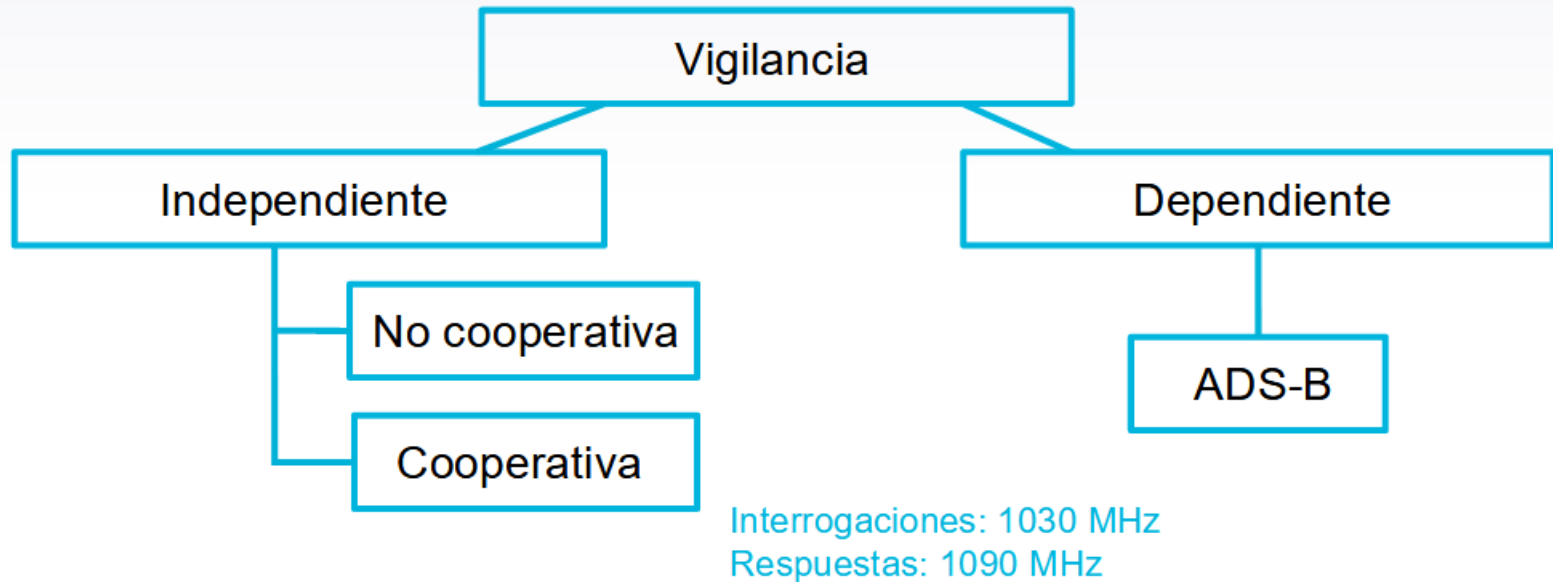
Clasificación



Independiente: La información de vigilancia no la proporciona la aeronave. La posición es calculada por el sistema de tierra.

Dependiente: La información de vigilancia la proporciona la aeronave de manera manual o automática en el caso del ADS-B.

Clasificación



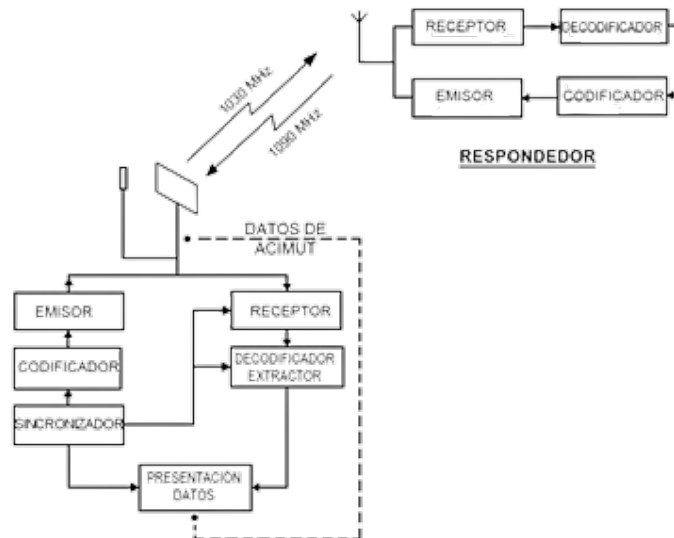
Vigilancia Independiente No Cooperativa: El sistema no necesita respuesta por parte de la aeronave. Calcula la posición a partir del reflejo de la señal enviada. Ejemplos: Radar primario (PSR), Multiestatic Primary Radar (MSPSR) o Radar de superficie (SMR).

Vigilancia Independiente Cooperativa: El sistema necesita la respuesta por parte del transponder a una interrogación. Recibe información adicional a la posición como puede ser la altitud o una identificación. Ejemplos: Radar secundario (SSR), Radar Modo S o técnicas de Multilateración

SSR CONVENCIONAL

Principio funcionamiento

1. Interrogación de la estación a 1030 MHz
2. Transponder recibe la interrogación
3. Decodifica la señal y codifica la respuesta
4. Transponder emite respuesta a 1090 MHz
5. La estación recibe el mensaje y decodifica el contenido



En la siguiente imagen se pueden observar los pulsos de la señal interrogación/respuesta de un radar secundario convencional.

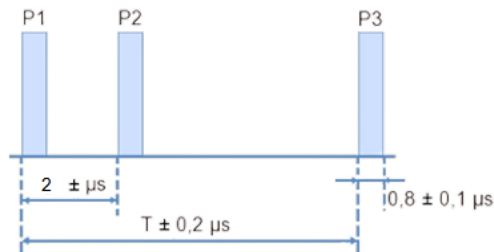
Interrogación

1030 MHz

3 pulsos, P1 y P3 definen el modo de interrogación

Modo A: Identificación ($8 \mu\text{s}$)

Modo C: Información altitud ($21 \mu\text{s}$)



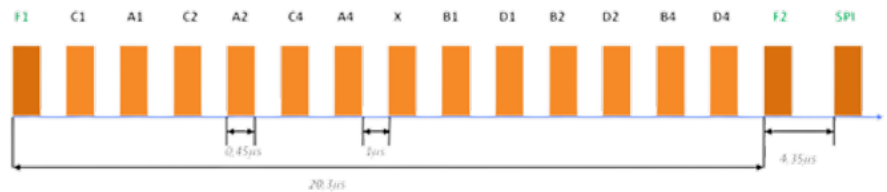
Respuesta

1090 MHz

2 pulsos de encuadre F1 y F2 separados $20,3 \mu\text{s}$

12 pulsos de información

Pulso central y pulso SPI



*El transponder no contesta si la potencia de P1 no es al menos 9 dB superior respecto a P2 (ISLS)

La información que se desea obtener se envía dentro de los 12 pulsos de información codificados en base octal (A1, A2, A4, B1, B2, B4, C1, C2, C4, D1, D2, D4). Por lo tanto se pueden obtener 4096 códigos de respuesta distintos.

La respuesta a una interrogación modo A estará formada por los dígitos ABCD ordenados alfabéticamente, el valor numérico de cada dígito está comprendido entre 0 (tres pulsos del dígito igual a 0) y 7 (tres pulsos del dígito presentes), por lo tanto, la respuesta general resultante será un valor comprendido entre 0000 y 7777. Este valor proporcionará la identificación de la aeronave.

Hay una serie de códigos reservados internacionalmente para comunicar emergencias donde el piloto no puede hacer uso de las comunicaciones de voz.

Estos son:

- 7700 emergencia general
- 7600 avería comunicación de voz
- 7500 apoderamiento ilícito
- 7777 Transponder fijo + tests

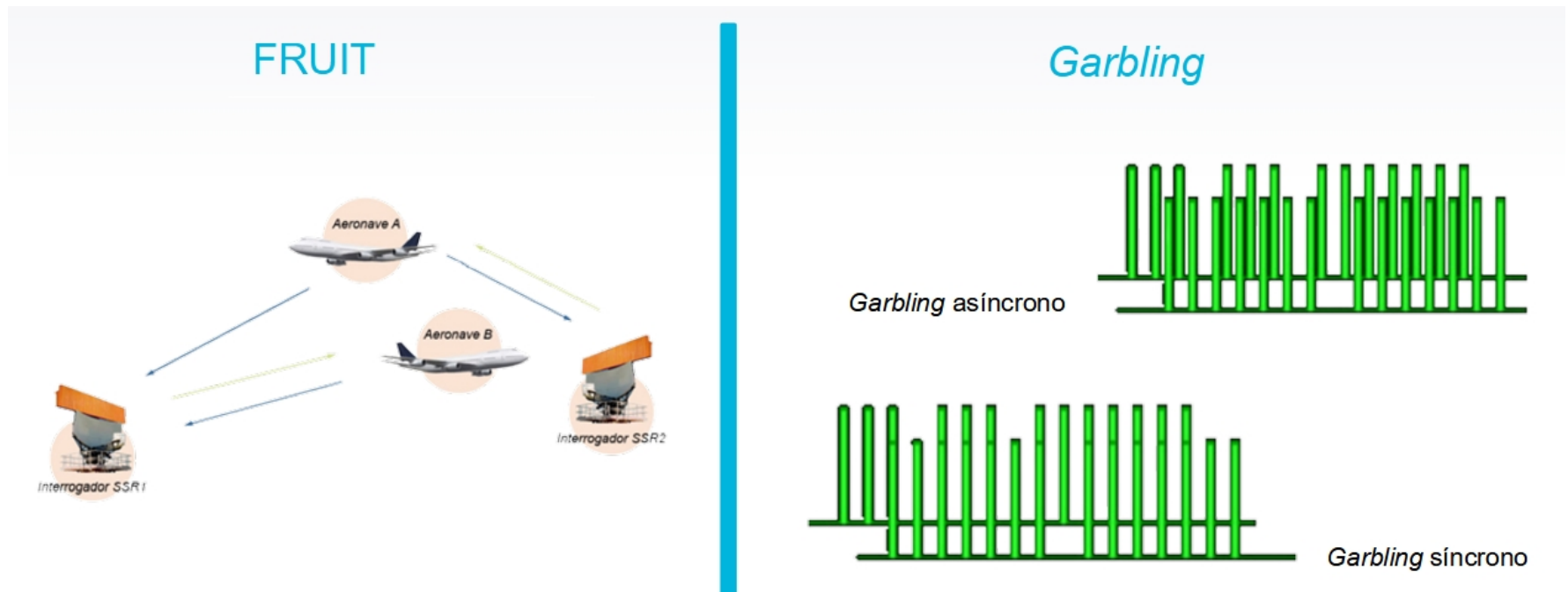
La respuesta a una interrogación modo C proporcionará la altitud barométrica y estará formada por 11 pulsos (D1 es siempre 0) de esta manera se tienen 2048 códigos para transmitir la altitud en incrementos de 100 ft en el intervalo -1.000 ft hasta 126.750 ft.

La decodificación se realiza en el orden DABC.

Limitaciones SSR

Los mensajes no contienen ningún tipo de indicativo de quién es el emisor ni el destinatario, este hecho puede ocasionar que una estación terrestre reciba respuestas a interrogaciones realizadas por otras estaciones, ya que el intercambio de interrogaciones y respuestas se hacen por las mismas bandas frecuenciales para todos los sistemas SSR.

La proximidad entre aeronaves puede provocar solapamientos entre las respuestas, llegando a mezclarse los pulsos. Dependiendo de cómo se superponen los pulsos se clasifica en asíncrono o síncrono.



MODO S

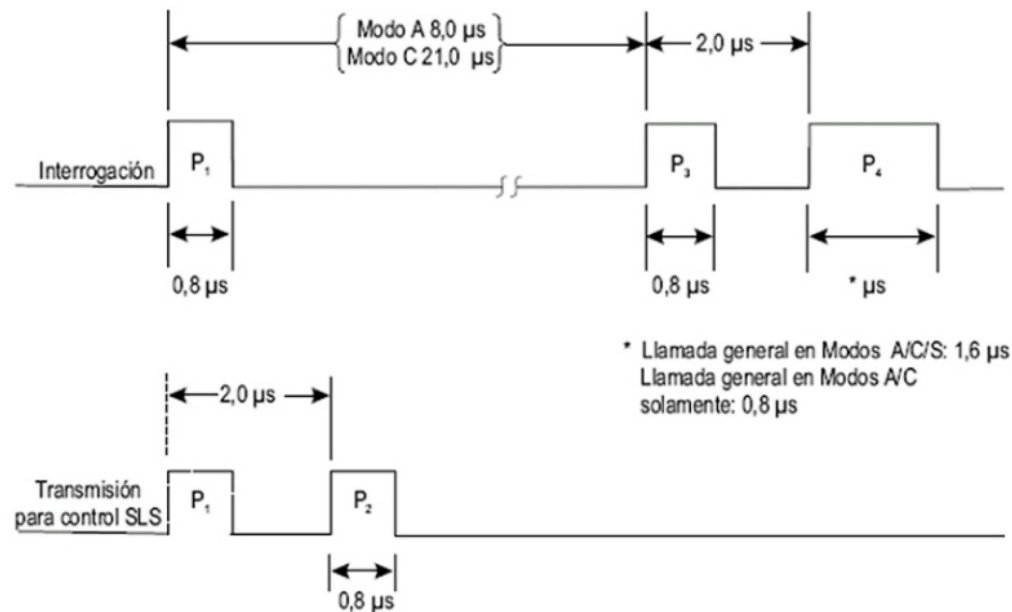
Características Modo S

- *Capacidad de interrogar selectivamente (All-call vs Roll-call)*
- *Identificación Modo S exclusiva de 24 bits (Target Address) -- 16.777.214 códigos*
- *Mayor resolución en la información de altitud (25 ft)*
- *Obtención parámetros de a bordo (DAPs) – Enhanced surveillance*
- *Códigos para el interrogador (IC)*
- *Compatibilidad sistema SSR convencional – 1030/1090 MHz*

Interrogación general (All-call)

La señal consta de los pulsos P1, P2 y P3 de forma idéntica al sistema SSR convencional

Además, se añade un nuevo pulso P4 de duración 1,6 μs emitido 2 μs después de P3 que es captado por todos los transponders. La duración de P4 puede ser también de 0,8 μs si solo se desea que contesten transponders convencionales

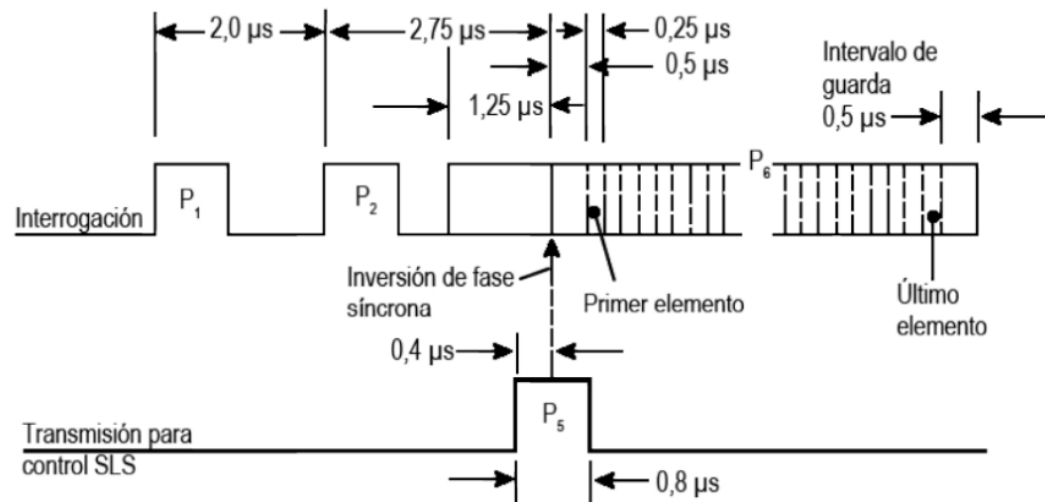


Interrogación Selectiva (Roll-call)

Esta señal contiene de nuevo tres pulsos llamados P_1 , P_2 Y P_6 . P_1 y P_2 están separados $2\text{ }\mu\text{s}$, en este caso P_2 se envía por la antena direccional al igual que P_1 y ambos de la misma amplitud.

La dirección del receptor de la interrogación selectiva se codifica dentro de P_6 y este tiene una duración que puede ser de $16,25\text{ }\mu\text{s}$ o $30,25\text{ }\mu\text{s}$ dependiendo de si se envían 56 o 112 bits de información.

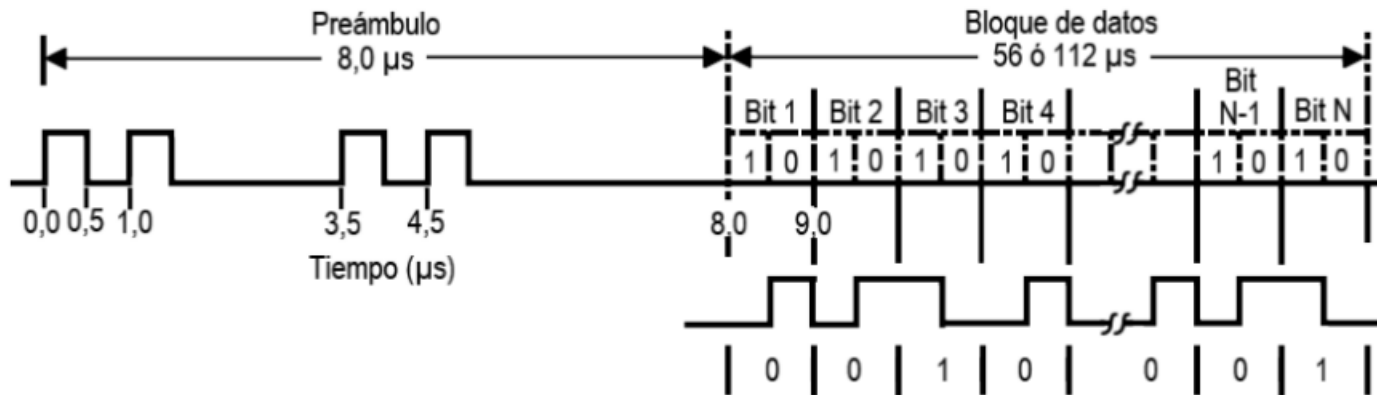
Al igual que en el modo convencional se envía un pulso (P_5) por la antena omnidireccional con la finalidad de suprimir respuestas por lóbulos laterales



Señal respuesta Modo S

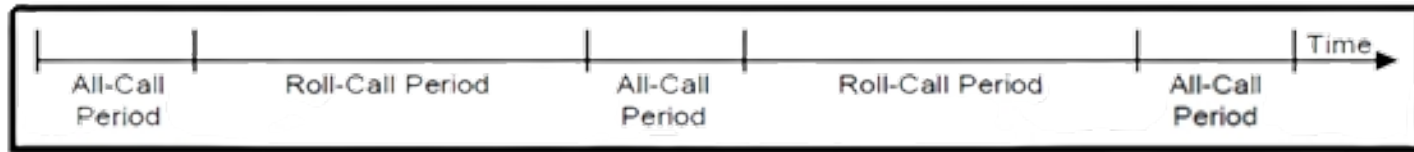
La señal está compuesta de un preámbulo de 8 μs de duración cuya finalidad es reconocer la respuesta Modo S y de un bloque de datos que consta de 56 o 112 bits de 1 μs de duración con una modulación PPM.

Las respuestas Modo S son más largas que las convencionales. En una respuesta convencional los pulsos F1 y F2 que marcan el inicio y final están separados 20,3 μs frente a los 64 o 120 μs del modo S.



Ejemplo.- Bloque de datos de respuesta correspondiente a la secuencia de bits 0010 001

Adquisició SSR Modo S



Período All-call

UF11	01011	PR:4	IC:4	CL:3	16	AP:24
------	-------	------	------	------	----	-------

DF11	01011	CA:3	AA:24	PI:24
------	-------	------	-------	-------

Período (Roll-call)

UF4	00100	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	AP:24
-----	-------	------	------	------	-------	-------

UF5	00101	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	AP:24
-----	-------	------	------	------	-------	-------

DF4	00100	FS:3	DR:5	UM:6	AC:13	AP:24
-----	-------	------	------	------	-------	-------

DF5	00101	FS:3	DR:5	UM:6	ID:13	AP:24
-----	-------	------	------	------	-------	-------

DF20	10100	FS:3	DR:5	UM:6	AC:13	MB:56	AP:24
------	-------	------	------	------	-------	-------	-------

DF21	10101	FS:3	DR:5	UM:6	ID:13	MB:56	AP:24
------	-------	------	------	------	-------	-------	-------

Adquisición SSR Modo S

El entrelazado de los modos suele ser 1:1, un intervalo para cada modo de interrogación, la durada de cada período no siempre es igual. Una ratio común suele ser $\frac{1}{3}$ del tiempo dedicado a interrogaciones generales (all-call) y convencionales mientras que se reserva $\frac{2}{3}$ para realizar interrogaciones selectivas (roll-call).

Para poder interrogar selectivamente a una aeronave se debe conocer la identificación única de 24 bits de esta. Previamente se necesita saber dicha información. Los periodos generales se utilizan precisamente para adquirir las identificaciones de las aeronaves.

El radar emite una interrogación UF11 con sus propios códigos de identificación en el interior de los campos IC y CL. Cualquier transponder en la cobertura del radar la detectará y procesará un mensaje descendente DF11 con su identificación Modo S de 24 bits y el nivel de capacidad del transponder que contesta.

La estación terrestre recibe DF11. Con la información en el interior genera una lista llamada roll-call list. donde va almacenando los datos de los mensajes DF11 de las distintas aeronaves. Cuando el período reservado para llamada general se agota, se produce el entrelazado de modo y se interroga selectivamente a las aeronaves adquiridas.

Adquisición SSR Modo S

En este intervalo el radar se dedica a interrogar individualmente a las aeronaves que están dentro de la roll-call-list completada en la llamada general. Cuando se adquiere una aeronave nueva a la lista, se bloquea y se le instruye para que no conteste a las siguientes interrogaciones generales del mismo radar mediante el campo PC de UF4/UF5; sí que contestará a llamadas generales de otro radar distinto. La finalidad es evitar el garbling síncrono entre las respuestas de las diferentes aeronaves. Este fenómeno es más probable ya que las respuestas son más largas. Además, una vez adquirida la aeronave, la información en un mensaje DF11 es irrelevante porque la información interior será siempre la misma y la estación radar ya la ha obtenido.

El radar también dedica este intervalo de tiempo a solicitar información a la aeronave. En el momento de la adquisición (DF11) conoce la capacidad de un transponder. De esta manera, puede saber qué BDS puede transmitir el transponder y si es capaz de ofrecer ELS o EHS.

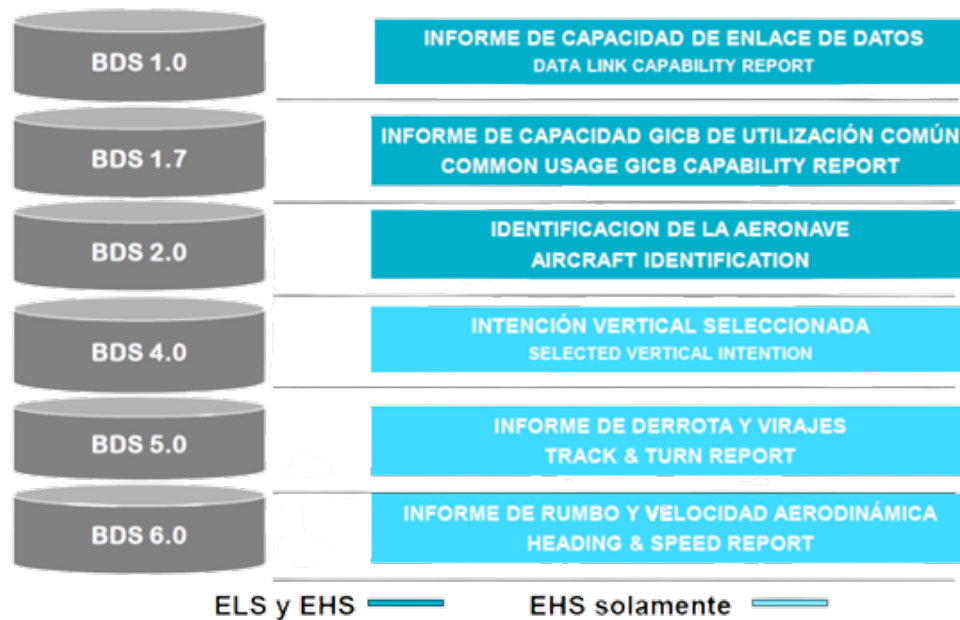
Dependiendo de estos factores y del propio radar, la estrategia en el momento de ir solicitando diferentes BDS será diferente. Es un período de tiempo donde habrá intercambio de mensajes UF4/UF5 y DF4/DF5/DF20/DF21.

Hay que recordar que la solicitud de esta información es individualizada, por lo que la estrategia será diferente para cada aeronave dentro de la cobertura del radar.

Al cambiar de nuevo de entrelazado el proceso se repite, es tiempo para interrogaciones de llamada general. La diferencia ahora recae en que habrá aeronaves que estarán bloqueadas, por lo tanto, solo se captarán nuevos blancos para añadir en la lista.

Las interrogaciones selectivas, formatos UF4/UF5, pueden solicitar paquetes de información a la aeronave llamados BDS. Estos paquetes están organizados y clasificados dependiendo de la información que contienen; se identifican con dos dígitos hexadecimales.

Los registros BDS tienen caducidad, por lo que el radar debe ir solicitando los diferentes BDS antes que se cumpla el tiempo de caducidad.



Proporciona un acceso rápido a la información sobre las intenciones verticales actuales de la aeronave.

Campos importantes que se pueden encontrar en este BDS son:

-MCP/FCU SELECTED ALTITUDE: Los datos procederán del “Mode control panel/Flight Control Unit” o un equipo equivalente.

-FMS SELECTED ALTITUDE: Los datos procederán del “Flight Management system” o un equipo equivalente.

-BAROMETRIC PRESSURE SETTING: Indica el ajuste de presión barométrica menos 800mb, se puede calcular el valor real añadiendo esta diferencia para obtener el QNH que se le ha indicado a cada aeronave.

Proporciona datos de derrota y virajes de la aeronave.

Campos importantes que se pueden encontrar en este BDS son:

-ROLL ANGLE
-TRUE TRACK ANGLE
-GROUND SPEED
-TRACK ANGLE RATE
-TRUE AIRSPEED

1	STATUS
2	SIGN 1 = Left Wing Down
3	MSB = 45°
4	
5	
6	ROLL ANGLE
7	
8	Range = [-90, +90]°
9	
10	
11	LSB = 45/256°
12	STATUS
13	SIGN 1 = West (e.g. 315 = -45°)
14	MSB = 90°
15	
16	
17	TRUE TRACK ANGLE
18	
19	Range = [-180, +180]°
20	
21	
22	
23	LSB = 90/512°
24	STATUS
25	MSB = 1 024 kt
26	
27	
28	GROUND SPEED
29	
30	Range = [0, 2 046] kt
31	
32	
33	
34	LSB = 1 024/512 kt
35	STATUS

35	STATUS
36	SIGN 1 = Minus
37	MSB = 8°/s
38	
39	
40	TRACK ANGLE RATE
41	Range = [-16, +16]°/s
42	
43	
44	
45	LSB = 8/256°/s
46	STATUS
47	MSB = 1 024 kt
48	
49	
50	TRUE AIRSPEED
51	
52	Range = [0, 2 046] kt
53	
54	
55	
56	LSB = 2 kt

Proporciona datos de rumbo y velocidad.

Campos importantes que se pueden encontrar en este BDS son:

-MAGNETIC HEADING

-IAS

-MACH

-BAROMETRIC ALTITUDE RATE

-INERTIAL VERTICAL VELOCITY

1	STATUS
2	SIGN 1 = West (e.g. 315 = -45°)
3	MSB = 90°
4	
5	
6	MAGNETIC HEADING
7	
8	Range = [-180, +180]°
9	
10	
11	
12	LSB = 90/512°
13	STATUS
14	MSB = 512 kt
15	
16	
17	INDICATED AIRSPEED
18	
19	Range = [0, 1023] kt
20	
21	
22	
23	LSB = 1 kt
24	STATUS
25	MSB = 2.048 MACH
26	
27	
28	MACH
29	
30	Range = [0, 4.092] MACH
31	
32	
33	
34	LSB = 2.048/512 MACH
35	STATUS

35	STATUS
36	SIGN 1 = Below
37	MSB = 8 192 ft/min
38	
39	
40	BAROMETRIC ALTITUDE RATE
41	
42	Range = [-16 384, +16 352] ft/min
43	
44	
45	LSB = 8 192/256 = 32 ft/min
46	STATUS
47	SIGN 1 = Below
48	MSB = 8 192 ft/min
49	
50	
51	INERTIAL VERTICAL VELOCITY
52	
53	Range = [-16 384, +16 352] ft/min
54	
55	
56	LSB = 8 192/256 = 32 ft/min