BIBLIOGRAFÍA

Merril I Skolnik
Introduction to Radar System
Mc Graw Hill 1981

Merril I Skolnik
Radar Handbook
Mc Graw Hill 1990

Allan W Scott
Understanding Microwaves
John Wiley 1993

George Kennedy
Electronic Communication System
Mc Graw Hill 1988

Airsys Atm. Inc.
Instruction Manual
Airsys Inc. 1998

M Matrix

Curso de Radar

Danae 1981

LISTA DE TABLAS

Tabla	4 1	Modos de Interrogación	42
Tabla.	6 1	Bandas de frecuencias asignadas a comunicaciones	61
Tabla.	8 1	Amplitud y fase de antenas	123
Tabla	8 2	Amplitud y fase de antenas superior e inferior	125

LISTA DE FIGURAS

Figura	2 1	Proposito del Radar	16
Figura.	2 2	Velocidad del blanco no radial	21
Figura.	2 3	Radar C W	22
Figura.	2 4	Radar C W con amplificación de F.I.	23
Figura	2 5	Signo de velocidad radial	24
Figura	2 6	Variación de frecuencia	25
Figura.	2 7	Variación de la portadora con respecto al tiempo	25
Figura.	2 8	Radar de Frecuencia Modulada	26
Figura	3 1	Presentación de Radar de Superficie	28
Figura.	3 2	Radar de Superficie sobre torre de control	29
Figura.	3 3	Torre especial para Radar de Superficie	30
Figura.	3 4	Radar de Precisión fijo	32
Figura.	3 5	Radar de Precisión móvil	32
Figura.	3.6	Presentación de Radar de Precisión	33
Figura.	3 7	Antena de Radar de Aproximación	34
Figura	3 8	Sala de equipo	35
Figura.	3.9	Radar de Ruta Primario	36
Figura.	3.10	Antena de Radar de Ruta	37
Figura.	4.1	Principio de operación	38
Figura.	4 2	Modo de Interrogación	41
Figura	4.3	Modo de Interrogación con P2	42
Figura.	4.4	Respuesta del Transponder	44
Figura.	4.5	Organización de una estación de Radar Secundario	47
Figura.	4.6	Antena de Radar Secundario	48
Figura.	4.7	Transmisor/Receptor de un Radar Secundario	49
Figura.	5.1	Parámetros de Radar Primario	52
Figura.	5.2	Sistema típico de Radar Primario	53

Figura	5 3	Ciclo completo	54
Figura	5 4	Receptor de Radar Primario	55
Figura	5 5	Configuracion de una estación de Radar Primario	57
Figura	5 6	Tiempo de retardo entre transmisores	58
Figura	7 1	Determinacion de Azimut	64
Figura	7 2	Información de Azimut	66
Figura	7 3	Movimiento del Limacon	68
Figura	7 4	El giro del Limacon origina la modulación	69
Figura	7 5	Señal variable de 30 Hz	71
Figura.	7 6	Patron de Radiacion	71
Figura	7 7	Patron de Radiación de un par de ranuras	72
Figura	7 8	Patrón de Radiación originado por tres ranuras	74
Figura	7 9	Giro del patron de Radiación	77
Figura	7 10	Principio de operación del Tacan	91
Figura	7 11	Modulacion del Tacan	94
Figura	8 1	Planos ILS	99
Figura	8 2	Direccion eje de pista	102
Figura	8 3	Abertura de haz	103
Figura.	8 4	Porcentajes de modulacion	105
Figura.	8 5	Referencia nula	106
Figura	8 6	Combinacion de diagramas	107
Figura.	8 7	Variación total	109
Figura	8 8	Diagrama total de Radiación	110
Figura	8 9	Diagramas de Radiación	111
Figura.	8 10	Antena parabólica	113
Figura	8 11	Patrón de Radiación	114
Figura	8 12	Radiación de Clearance	115
Figura	8 13	Patrones combinados	116
Figura	8 14	Onda directa y reflejada	117
Figura.	8 15	Senda de descenso	120

Figura	8 16	Diagrama de Portadora y Bandas Laterales	121
Figura	8 17	Portadora de antena inferior	125
Figura	8 18	Diagrama de Bandas Laterales	126
Figura	8 19	Composicion de los campos con referencia nula	127
Figura	8 20	Implementacion del sistema ILS	128
Figura	8 21	Uniones Electricas(1)	132
Figura	8 22	Uniones Electricas(2)	136
Figura	9 1	Torre de Control	142
Figura	9 2	Area de Control Aerodromo	143
Figura	9 3	Control Aerodromo	145
Figura	9 4	Control Aproximacion Radar	146
Figura	9 5	Control de Aproximación no Radar	147
Figura	9 6	Control de Area	151
Figura	9 7	Centro de Control	152
Figura	10 1	Red fija de Telecomunicaciones	155
Figura	10 2	Red de estaciones Terrenas	156
Figura	10 3	Canales de Microondas	157
Figura	10 4	Estaciones Aire/Tierra remotas	158
Figura	10 5	Estaciones Aire/Tierra espacio superior	159
Figura	10 6	Estacion VOR	160
Figura	10 7	Radioayudas VOR/DME	163
Figura	10 8	Radiofaros No Direccionales	165
Figura	10 9	Antenas sistema ILS	166
Figura	10 10	Sistemas ILS	168
Figura	10 11	Sistemas de Radar Primario	170
Figura	10 12	Sistemas de Radar Secundario	171
Figura	11 1	Satelites de Comunicaciones	173
Figura	11 2	Centro de Control	174
Figura	11 3	Terminal de Trabajo	177

ANEXO 1

SISTEMAS CON FUNCIÓN MODO S

A.1 Características de las señales en el espacio de la interrogación. En los parrafos que siguen se describen las señales en el espacio que pueda esperarse que aparezcan en las antenas del respondedor

Nota: Puesto que las señales pueden ser corrompidas durante su propagación, algunas tolerancias de duracion, separacion y amplitud de los impulsos de interrogación son mas criticas.

A.1.1 Frecuencia portadora de interrogación. La frecuencia portadora de todas las interrogaciones (transmisiones de enlace ascendente) de instalaciones terrestres con funcion modo S sera 1 030 ± 0,01 MHz

A.1.2 Espectro de interrogación. El espectro de interrogación en modo S en el entorno de la frecuencia portadora no excederá de los límites especificados en la figura A 1

Nota : El espectro de interrogación en Modo S depende de los datos. La anchura máxima del espectro corresponde a una interrogación cuyos binarios son todos iguales a UNO

A1.3 Polarización. La polarización de las transmisiones de interrogación y de control sera nominalmente vertical

A.1.4 Modulación. La frecuencia portadora de las investigaciones en Modo S estará modulada por impulsos Además el impulso de datos P_6 tendrá una modulación interna de fase

			Tiempo de aumento		*Tiempo de disminución*	
Impulso	*Duración*	*Tolerancia de duración*	*Mínimo*	*Maximo*	*Mínimo*	*Máximo*
P_1, P_2, P_3, P^5	0,8	+0,1	0,05	0,1	0,05	0,2
P_4 (corto)	0,8	±0,1	0,05	0,1	0,05	0,2
P_4 (largo)	1,6	±0,1	0,05	0,1	0,05	0,2
P_6 (corto)	16,25	±0,25	0,05	0,1	0,05	0,2
P_6 (largo)	30,25	±0,25	0,05	0,1	0,05	0,2

Tabla 1 Formas de los impulsos - en Modo S y en intermodo

A.1.4.1 Modulación por impulsos. Las interrogaciones en intermodo y en Modo S constaran de una secuencia de impulsos. Los impulsos que pueden utilizarse para formar una interrogacion determinada serán denominados P_1 , P_2 ,P_3 ,P_4 ,P_5 y P_6. Las formas de los impulsos serán las definidas en la Tabla 1. Todos los valores se indican en microsegundos

Nota - Los impulsos de 8 microsegundos utilizados en las interrogaciones en intermodo y Modo S tienen una forma idéntica a la de los Modos A y C.

A.1.4.2 Modulación de la fase. Los impulsos P_6 cortos (16,25μs) y largo (30,25μs) de A 1 4 1 tendrán una modulación de fase diferencial binaria interna que consiste en inversiones de fase de la portadora de 180° a un régimen de 4 megabitios por segundo.

A.1.4.2.1 Duración de la inversión de fase. La duración de la inversión de fase será inferior a 0,08μs y habrá un avance (o retardo) uniforme de fase en toda la región de transición Durante la transición de fase no se aplicará ninguna modulación de amplitud.

A.1.4.2.2 Relación de fase. La tolerancia en relación de fase de 0° y de 180° entre "elementos" sucesivos y en la inversión de fase síncrona del impulso P_6 será de ±5°.

Nota.- En Modo S un "elemento" es el intervalo de portadora de 0,25 μs entre inversiones posibles de fase de datos

A.1.5 Secuencias de impulsos y de inversiones de fase. Las interrogaciones estarán constituidas por las secuencias específicas de impulsos o de inversiones de fase descritas en A 1 4

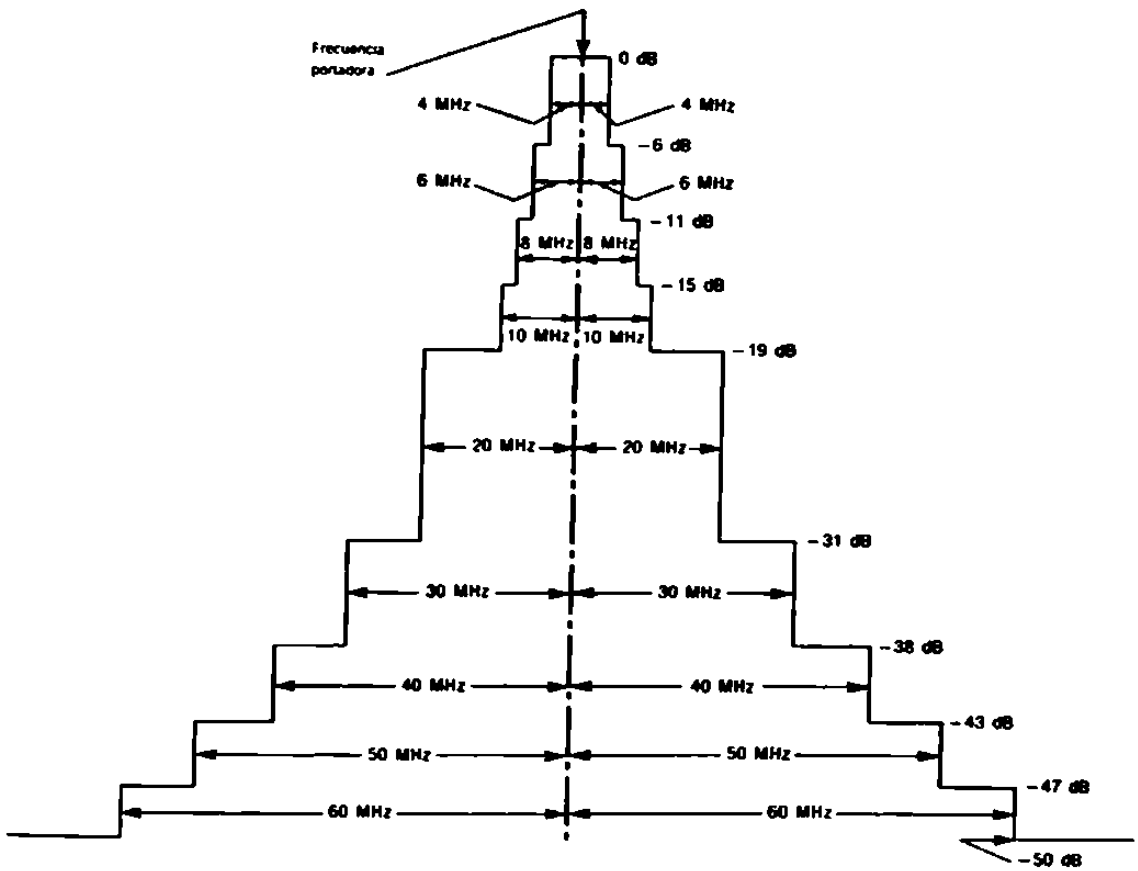


Fig A.1 Limites del espectro requerido por el transmisor del interrogador

A.1.5.1 Interrogaciones en intermodo.

A.1.5.1.1 Interrogación de llamada general en Modos A/C/S. Esta interrogación constará de tres impulsos: P_2, P_3 y P_4 largo, segun se indica en la figura A.2. Se transmitiran uno o dos impulsos de control P_2 solo, o P_1 y P_2 utilizando una configuracion de antenas separadas para suprimir las respuestas de las aeronaves que esten en los lobulos laterales de la antena del interrogador.

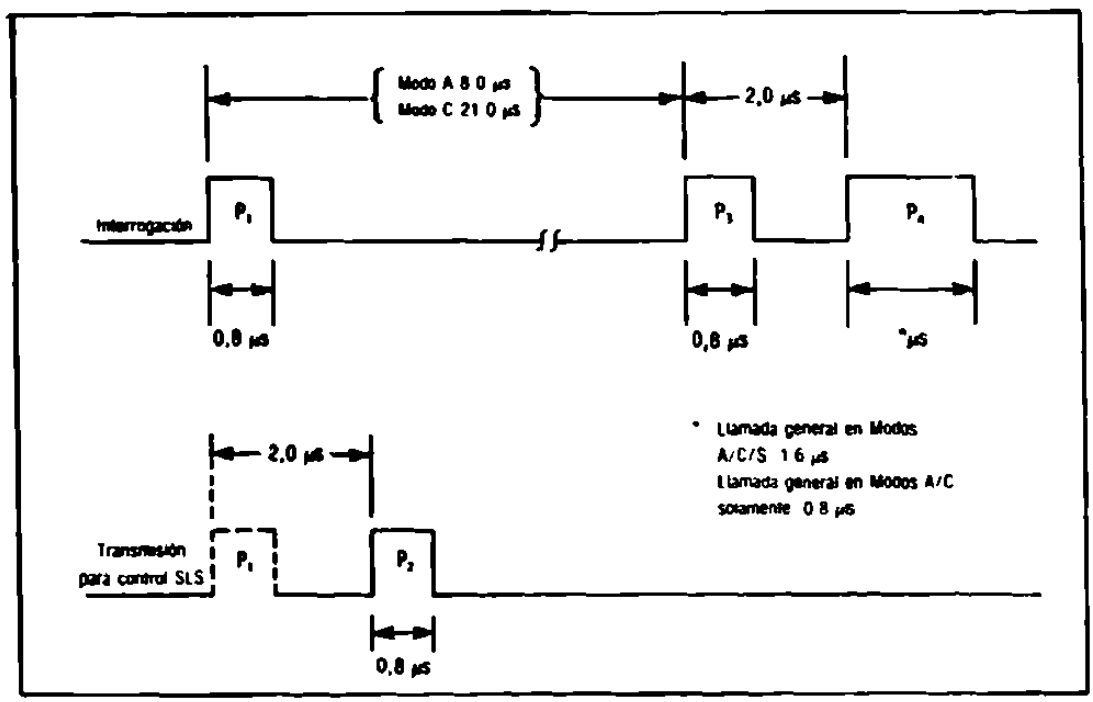


Fig A 2 Secuencia de impulsos de interrogación en intermodo

Nota - La interrogacion de llamada general en Modos A/C/S/ obtiene una respuesta en Modo A o Modo C (en función de la separación entre impulsos P_1 y P_3) a partir de un respondedor en Modos A/C, puesto que no reconoce el impulso P_4. El respondedor en Modo S reconoce el impulso P_4 y da una respuesta en Modo S. Esta interrogación puede utilizarse para conectar con una aeronave dotada de Modo S así como para vigilancia de aeronaves dotadas de equipo en Modos A/C.

A.1.5.1.2 Interrogación de llamada general en Modos A/C- solamente. Esta interrogacion sera identica a la interrogación de llamada general en Modos A/C/S, salvo que se utilizara el impulso P_4 corto

Nota - La interrogacion de llamada general en Modos A/C solamente obtiene una respuesta en Modo A o Modo C de un respondedor en Modos A/C. Los respondedores en Modo S reconocen el impulso P_4 corto y no responden a esta interrogación.

A.1.5.1.3 Intervalos entre impulsos. Los intervalos entre los impulsos P_1, P_2 y P_3 seran los mismos de A y C El intervalo entre los impulsos P_3 y P_4 será de $2 \pm 0{,}05\mu s$.

A.1.5.1.4 Amplitudes de los impulsos. Las amplitudes relativas entre los impulsos P_1, P_2 y P_3 se ajustaran a lo prescrito en capitulo 4. La amplitud de P_4 no diferirá en mas de 1dB de la amplitud de P_3

A.1.5.2 Interrogación en Modo S. La interrogación en Modo S constará de tres impulsos P_1, P_2 y P_3 segun se indica en la fig A 3.

Nota.- Al impulso P_6 le precede un par P_1–P_2 que suprime las respuestas de los respondedores en Modos A/C para evitar distorsiones síncronas debidas a la activación aleatoria proveniente de interrogaciones en Modo S. La inversión de fase síncrona de los impulsos P_6 es la señal de la temporización para la demodulación de una serie de intervalos (elementos) de 0,25 μs de duración. Esta serie de elementos empieza 0.5 μs después de la inversion de fase y termina 0.5 μs antes del borde posterior de P_6 . Cada elemento puede, o no, estar precedido por una inversión de fase para codificar sus valores binarios de informacion

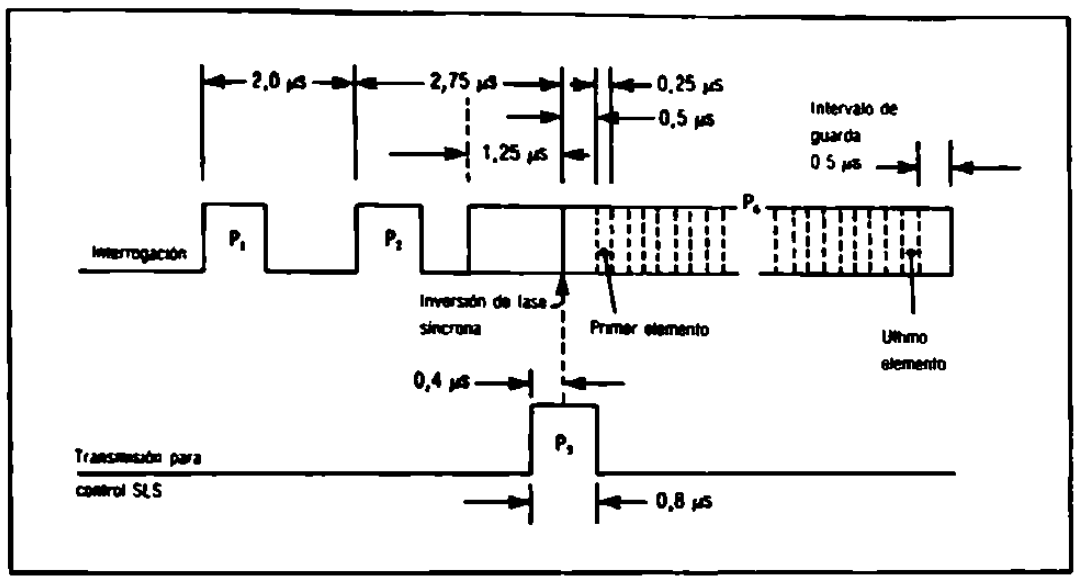


Fig A 3 Secuencia de impulsos de interrogación en modo S

A.1.5.2.1 Supresión de lóbulos laterales en Modo S. Los impulsos P_5 se utilizarán en las interrogaciones de llamada general en Modo S - solamente para evitar respuestas de las aeronaves en los lobulos laterales y posteriores de la antena. Cuando se utilicen, se transmitiran los impulsos P_5 mediante un diagrama de radiación de antenas separadas.

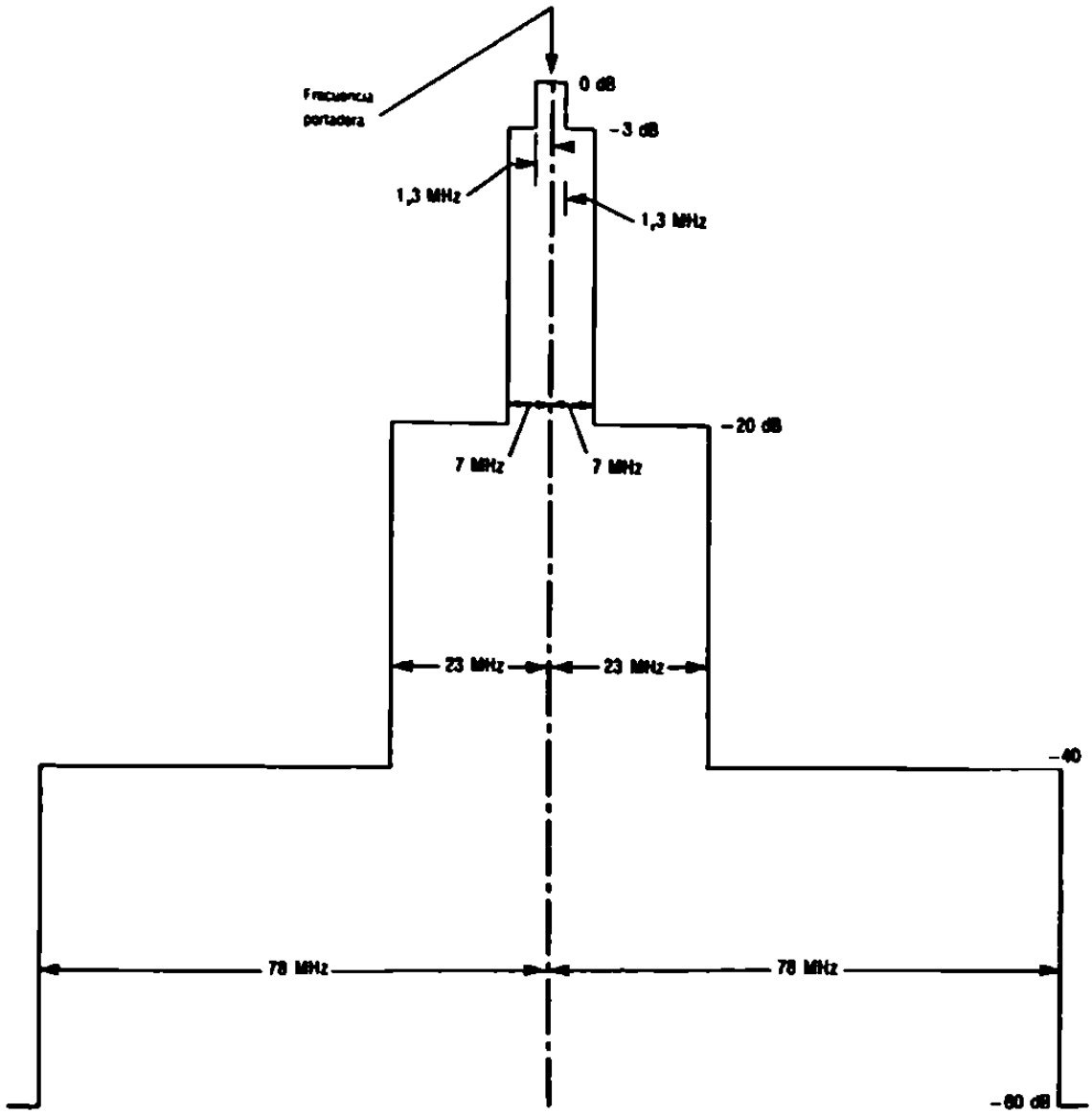


Fig A4 Limites del espectro requeridos para el transmisor del respondedor

Nota 1.- P_5 actua automaticamente Su mera presencia, si es de suficiente amplitud en el lugar de recepción, enmascara la inversión de fase síncrona de P_6 .

Nota 2 - El impulso P_5 puede utilizarse con otras interrogaciones en Modo S.

A.1.5.2.2 Inversión de fase síncrona. La primera inversión de fase del impulso P_6 será la inversión de fase síncrona. Constituirá la referencia de tiempo para las siguientes operaciones del respondedor que estén relacionadas con la interrogación.

A.1.5.2.3 Inversiones de fases de datos. Cada inversión de fases de datos solamente tendrá lugar a intervalos de tiempo (N multiplicando por 0,25) ± 0,02 μs (N igual o mayor a 2) después de la inversión de fase síncrona. El impulso P_6 de 16,25 μs contendrá como máximo 56 inversiones de fase de datos. El impulso P_6 de 30,25 μs contendrá como máximo 112 inversiones de fase de datos, él ultimo elemento, es decir el intervalo de 0,25 μs después de la última posición de inversión de fase de datos, estará seguido por un intervalo de guarda de 0,5 μs.

Nota - El intervalo de guarda de 0,5μs que sigue al ultimo elemento impide que el borde posterior de P_6 interfiera con el proceso de demodulación.

A.1.5.2.4 Intervalos. El intervalo entre los impulsos P_1 y P_2 será de 2 ± 0,05 μs. El intervalo entre el borde anterior de P_2 y la inversión de fase síncrona de P_6 estará 2,75 ± 0,05 μs El borde anterior de P_6 estará 1.25 ± 0 05 μs por delante de la inversión de fase síncrona P_5, si se trasmitiera, estará centrado en la inversión de fase síncrona; el borde anterior de P_5 estará 0,4 ± 0,05 μs por delante de la inversión de fase síncrona.

A.1.5.2.5 Amplitud de los impulsos. La amplitud de P_2 y la amplitud del primer μs de P_6 serán superiores a la amplitud de P_1 menos de 0,25 dB. Como característica exclusiva de los transientes de amplitud asociados con las inversiones de la fase, la variación de amplitud de P_6 será inferior a 1 dB y la variación de amplitud entre

elementos sucesivos de P_6 será inferior a 0,25 dB. La amplitud radiada de P_5 en la antena del respondedor será:

a) Igual o mayor a la amplitud radiada de P_6 a partir de las transmisiones de lobulos laterales de la antena que radia P_6; y

b) De un nivel inferior a 9 dB por debajo de la amplitud radiada de P_6 dentro del arco deseado de interrogación.

A.2 Características de las señales en el espacio de las respuestas.

A.2.1 Frecuencia portadora de respuesta. La frecuencia portadora de todas las respuestas (transmisiones de enlace descendente) de los respondedores con función Modo S será de 1 090 ± 3 MHz para aeronaves que no puedan volar por encima de 4 572 m (15 000 ft) y será de 1 090 ± 1 MHz para las aeronaves que puedan volar por encima de dicho nivel

A.2.2 Espectro de respuesta. El espectro de respuesta en Modo S en torno a la frecuencia portadora no excederá de los limites especificados en la fig. A.4.

A.2.3 Polarización. La polarización de las transmisiones de respuesta será nominalmente vertical

A.2.4 Modulación Las respuestas en Modo S constarán de un preámbulo y de un bloque de datos El preámbulo será una secuencia de 4 impulsos y el bloque de datos estará sometido a una modulación binaria de impulsos en posición a un régimen de datos de 1 megabito por segundo

A.2.4.1 Formas de los impulsos. Las formas de los impulsos serán las definidas en la Tabla 2 Todos los valores se indican en microsegundos.

Duración de los impulsos	Tolerancia de duración	Tiempo de aumento		Tiempo de disminución	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
0.5	± 0 05	0.05	0.1	0.05	0.2
1 0	± 0 05	0.05	0.1	0.05	0.2

Tabla 2 Forma de los impulsos de respuestas

A.2.5 Respuestas en Modo S. Las respuestas en Modo S serán las indicadas en la fig A 5 El bloque de datos en las respuestas Modo S constará de 56 o de 112 bitios de informacion

A.2.5.1 Intervalos entre impulsos. Todos los impulsos de respuesta comenzarán despues de un múltiplo definido de 0,5 μs a partir del primer impulso transmitido. La tolerancia será en todos los casos de ± 0,05 μs.

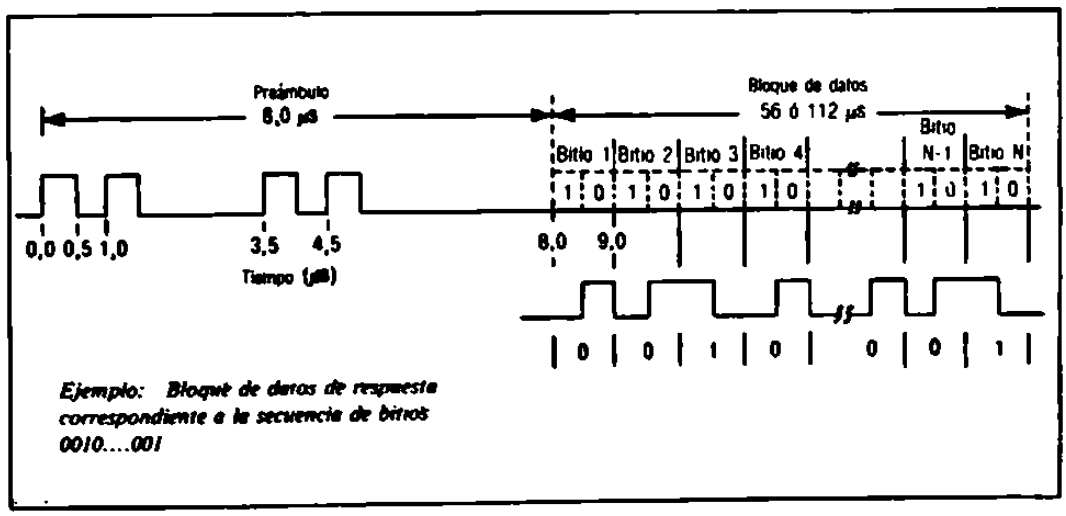


Fig.A.5 Respuesta en modo S.

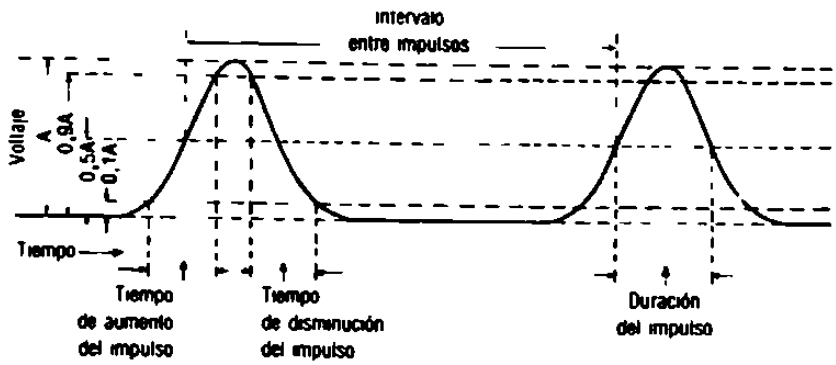
A.2.5.1.1 Preámbulo de respuesta. El preámbulo constará de 4 impulsos, cada uno de una duración de 0,5 μs. Los intervalos entre el primer impulso transmitido y el segundo, tercero y cuarto serán de 1, 3.5 y 4.5 μs respectivamente.

A.2.5.1.2 Impulsos de datos de respuestas. El bloque de datos de respuesta comenzará 8 μs después del borde anterior del primer impulso transmitido. Se asignará a cada transmisión intervalos de 56 o de 112 bitios de 1μs de duración. Se transmitirá un impulso de 0,5 μs durante la primera o segunda mitad de cada intervalo. Cuando a un impulso transmitido en la segunda mitad del intervalo siga otro impulso transmitido en la primera mitad del siguiente intervalo, los dos impulsos se combinan y se transmitirá un impulso de 1μs

A.2.5.2 Amplitudes de los impulsos. La variación de amplitud entre un impulso y cualquier otro impulso de respuesta en Modo S no excederá de 2 dB

ANEXO 2

DEFINICIONES DE LAS FORMAS DE ONDA, INTERVALOS Y PUNTOS DE REFERENCIA PARA SENSIBILIDAD Y POTENCIA DEL RADAR SECUNDARIO DE VIGILANCIA



DEFINICIONES

Amplitud del impulso A. La amplitud máxima de voltaje de la envolvente del impulso.

Duracion de la inversion de fase El intervalo de tiempo entre los puntos situados a 10° y a 170° de una inversión de fase.

Duracion del impulso El intervalo de tiempo entre los puntos 0,5A de los bordes anterior y posterior de la envolvente del impulso

Intervalo entre impulsos El intervalo de tiempo entre los puntos 0,5A de los bordes anteriores del primer impulso y del segundo.

Intervalos de tiempo Los puntos de referencia para medir los intervalos de tiempo son:

a) el punto 0,5A en el borde anterior del impulso
b) el punto 0,5A en el borde posterior del impulso, o
c) el punto a 90° de una inversión de fase.

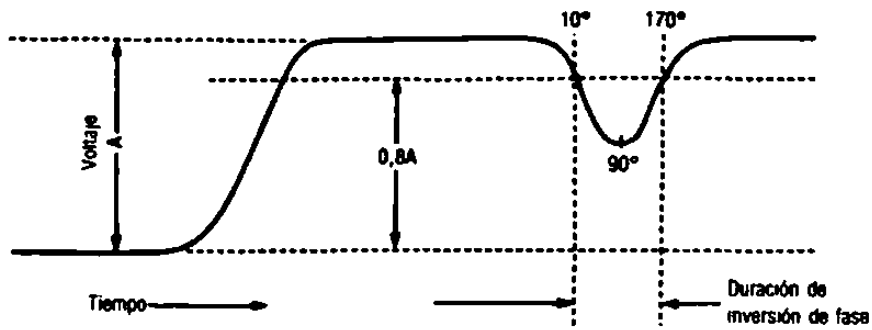
Inversión de fase. Un cambio de fase de 180° de la portadora de radiofrecuencias.

Punto de referencia para sensibilidad y potencia del respondedor. El extremo en el lado de la antena de la línea de transmision del respondedor.

Tiempo de aumento del impulso. El tiempo medio entre 0,1A y 0,9A en el borde anterior de la envolvente del impulso.

Tiempo de disminución del impulso. El tiempo medio entre 0,9A y 0,1A en el borde posterior de la envolvente del impulso.

Nota — Como aproximación del punto de 90° de la inversión de fase puede tomarse el punto de amplitud mínima de la parte transitoria de amplitud de la envolvente asociada con la inversión de fase y como aproximación para la duración de inversión de fase puede tomarse el intervalo de tiempo entre los puntos 0,8A de esta parte transitoria.



GLOSARIO

ADF	Automatic Direction Finder
ASDE	Airport Surface Detection Equipment
AFTN	Aeronautical Fixed Telecomunication Network
ATM	Air Trafic Management
ASR	Airport Surveillance Radar
CAF	Control Automático de Frecuencia
CNS	Communication Navegation Surveillance
CTA	Control de Tránsito Aéreo
CW	Continuous Wave
CWFM	Continuous Wave Frequency Modulated
DDM	DIfference Depth Modulation
DME	Distance Measuring Equipment
FAA	Federal Aviation Administration
FI	Frecuencia Intermedia
GHz	1×10^9 Hertz
GPS	Global Position System
HF	High Frequency
HZ	Hertz
IFF	Identification Friend or Foe
ILS	Instrument Landing System
IFF/SIF	Identification Friend or Foe/Selective Identification Feature
ICAO	International Civil Aviation Organization

KHZ	Kilo Hertz
MHZ	Mega Hertz (10^6 Hertz)
MN	Milla Náutica
MSRR	Monopulse Secundary Surveillance Radar
MTI	Moving Target Indication
NOTAM	Notice To Air Men
OACI	Organización de la Aviación Civil Internacional
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PSR	Primary Surveillnce Radar
RADAR	Radio Direction And Ranging
RCUR	Receiver
RDF	Radio Direction Finding
RF	Radio Frecuencia
RPF	Radio Position Finding
SENEAM	Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano
SPI	Special Position Indication
SSR	Secundary Surveillance Radar
TACAN	Tactical Air Navigation
TP	Trayectoria de Planeo
VHF	Very High Frequency Onmidirectional
VOR	Very High Frequency Onmidirectional Radio Range
W	Watt
XMTR	Transmisor

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Ing. Anibal Garza Peña

Candidato para el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD EN ELECTRÓNICA

Tesis:

TECNOLOGÍAS DIGITALES Y COMPUTACIONALES EN SISTEMAS DE RADAR Y RADIOAYUDAS PARA CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO

Campo de estudio: Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Datos personales: Nació en Congregación Arcabuz Tamaulipas el 21 de noviembre de 1952.

Hijo de. Reyes Garza Treviño y Mélida Peña Garza

Estudios: Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1974 de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista

Experiencia Docente Profesional: Maestro en el Departamento de Electrónica y Comunicaciones en la FIME desde 1974

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Ing. Azael Elicerio Morales
Candidato para el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD EN ELECTRÓNICA

Tesis:

TECNOLOGÍAS DIGITALES Y COMPUTACIONALES EN SISTEMAS DE RADAR Y RADIOAYUDAS PARA CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO

Campo de estudio. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Datos personales. Nació en General Teran N.L. el 7 de junio de 1945.

Hijo de: Manuel Elicerio Betancurt y Librada Morales de la Cerda (finada)

Estudios Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1980 de la carrera de Ingeniero en Control y Computación

Experiencia Docente Profesional: Maestro en el Departamento de Electrónica y Comunicaciones en la FIME desde 1986