



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA**

**IMPLEMENTACION DEL SISTEMA MONOPULSO DE
RADAR Y CENTRO DE CONTROL PARA EL DESARROLLO DE
LA NAVEGACION AEREA GUATEMALTECA**

**Jorge Mario Hernández Rivas
Asesorado por: Ing. Rudy Napoleón López Taracena**

Guatemala, mayo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**IMPLEMENTACION DEL SISTEMA MONOPULSO DE RADAR Y CENTRO DE
CONTROL PARA EL DESARROLLO DE LA NAVEGACION AEREA
GUATEMALTECA**

TRABAJO DE GRADUACION
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
POR

JORGE MARIO HERNANDEZ RIVAS

ASESORADO POR ING. RUDY NAPOLEON LOPEZ TARACENA
AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO EN ELECTRONICA

GUATEMALA, MAYO DE 2004

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPLEMENTACION DEL SISTEMA MONOPULSO DE RADAR Y CENTRO DE CONTROL PARA EL DESARROLLO DE LA NAVEGACION AEREA GUATEMALTECA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 28 de septiembre de 2000.

Jorge Mario Hernández Rivas

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A El encomendé mis pasos.

**A MIS PADRES Y
HERMANOS**

Por su apoyo y su enseñanza con el ejemplo.

A MI TIA

Porque nunca escatimo esfuerzos en ayudarme.

A MI NOVIA

Analía Asselborn.

A MIS CATEDRATICOS

Por su infatigable labor.

**A MIS AMIGOS Y
COMPAÑEROS
DE TRABAJO**

Por ser eso.

INDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCION	XXIII

1. HISTORIAL, EVOLUCION, Y ESPECIFICACIONES DE UN SISTEMA DE RADAR

1.1 Historia	1
1.1.1 Funcionamiento básico	4
1.2 Evolución	7
1.3 Especificaciones de un sistema de radar	10
1.3.1 Ecuación del radar	11
1.3.2 Conceptos básicos	13
1.3.2.1 Distancia radar	13
1.3.2.2 La dirección radar	15
1.3.2.3 Duración del pulso	15
1.3.2.4 Distancia mínima absoluta	16
1.3.2.5 Longitud de onda	16
1.3.2.6 Números de ecos por blancos	17
1.3.2.7 Área radar	19
1.3.2.8 Fluctuaciones de la sección radar	20
1.3.2.9 Señal mínima detectable	21
1.3.2.10 Probabilidad de falsas alarmas	22
1.3.2.11 Período de falsas alarmas	22
1.3.2.12 Número de falsas alarmas	23
p l. 1.3.2.13 Probabilidad de detección	23

1.3.2.14 La atenuación y la reflexión	23
1.3.2.15 Diagrama de cosecante cuadrado	24
2. PRINCIPIOS Y FUNCIONAMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE RADAR	
2.1 Principios	27
2.2 Funcionamiento de los sistemas de radar	29
2.2.1 Radar primario convencional ASR, antena y especificaciones	30
2.2.1.1 Especificación de los diferentes bloques del sistema de radar primario	31
2.2.1.1.1 Antena	31
2.2.1.1.2 Duplexor	38
2.2.1.1.3 Transmisor	41
2.2.1.1.4 Receptor	43
2.2.1.1.5 Procesador de señal	47
2.2.1.1.6 Extractor-combinador y procesamiento de dato radar	49
2.2.1.2 Efecto doppler	51
2.2.1.3 Canal meteorológico	54
2.2.1.4 Video crudo	55
2.2.1.5 Elección de la banda de trabajo	56
2.2.1.6 Características importantes para un radar	57
2.2.1.7 Monitorización remota	58
2.2.2 Radar secundario convencional SSR, antena y especificaciones	59
2.2.2.1 Principios generales	59
2.2.2.2 Interrogaciones y respuestas	61
2.2.2.3 Frecuencias y alcances	65

2.2.2.4	Especificación de los diferentes bloques del sistema de radar secundario.	66
2.2.2.4.1	Sincronizador	68
2.2.2.4.2	Codificador	68
2.2.2.4.3	Transmisor	70
2.2.2.4.4	Duplexor y conmutador de SLS	70
2.2.2.4.5	Antenas	71
2.2.2.4.6	Receptor	75
2.2.2.4.7	Extractor	77
2.2.2.5	Respondedor	79
2.2.2.5.1	Receptor	80
2.2.2.5.2	Decodificador	81
2.2.2.5.3	Codificador	82
2.2.2.5.4	Transmisor	82
2.2.2.6	Cobertura del radar secundario	83
2.2.2.6.1	Enlace tierra/aire	83
2.2.2.6.2	Enlace aire/tierra	84
2.2.2.7	Detección de blancos	85
2.2.2.7.1	Sistema ideal de radar secundario	85
2.2.2.7.2	Sistema real de radar secundario	85
2.2.2.8	Problemas del radar secundario SSR	87

3. ESTUDIOS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN SISTEMA DE RADAR Y CENTRO DE CONTROL

3.1	Datos generales	91
3.1.1	Nombre de la estación	91
3.1.2	Tipo de sistema	91
3.2	Descripción física	92
3.2.1	Datos cartográficos	92

3.2.2	Disposición del emplazamiento	93
3.2.3	Aspecto y características del terreno	95
3.2.4	Datos meteorológicos	96
3.3	Evaluación de las características de propagación	97
3.3.1	Sistemas involucrados	97
3.3.2	Evaluación técnica	98
3.3.3	Determinación del ángulo de apantallamiento	98
3.3.4	Estudio de la lobulación vertical	100
3.3.5	Extensión del clutter	101
3.3.6	Comparación de datos	102
3.3.7	Comparación de diagramas operativos	102
3.4	Acceso al sitio y transporte	102
3.4.1	Calles de acceso	102
3.4.2	Acceso ferroviarios, marítimos, o aéreos	103
3.4.3	Acceso a dependencias de la administración local	103
3.4.4	Acceso a las comodidades para técnicos	103
3.5	Estado real	104
3.5.1	Extensión en área de la tierra escogida	104
3.5.2	Mejoramientos requeridos	104
3.5.3	Propiedad de la tierra	104
3.5.4	Descripción de mejoras del terreno	105
3.5.5	Descripción de requerimientos adicionales	105
3.6	Utilidades	105
3.6.1	Energía eléctrica	106
3.6.2	Agua	106
3.6.3	Sanitarios	106
3.6.4	Comunicaciones	106
3.7	Datos Adicionales	106

4. DESCRIPCION Y VENTAJAS DEL NUEVO SISTEMA DE RADAR MONOPULSO (MSSR)

4.1	Introducción.	107
4.2	Técnica monopulso.	107
4.2.1	Concepto	107
4.2.2	Patrones de recepción	108
4.2.3	Principios de la detección monopulso	109
4.2.4	Ventajas comparativas	113
4.3	Descripción general del sistema monopulso	113
4.3.1	Sistema monopulso MSSR	113
4.3.2	Diagrama de bloques del sistema	116
4.3.3	Antena	120
4.3.4	Diagramas de radiación	125
4.3.5	Sistema de arrastre (SAAR-20W)	128
4.3.6	Interrogador radar secundario monopulso	132
4.3.6.1	Control relé y alimentación (CRA)	139
4.3.6.2	Sistema de relojería central horaria (SRCH)	140
4.3.6.3	Unidad de puentes y acopladores (UPA)	142
4.3.6.4	Modulo de fuentes de alimentación (MFA)	144
4.3.6.5	Modulo transmisor (MTX)	144
4.3.6.6	Modulo de conmutación y test (MCT)	150
4.3.6.7	Modulo receptor (MRX)	155
4.3.6.8	Extractor monopulso (EXT)	163
4.3.7	Unidad de control y supervisión (UCS)	174
4.3.8	Sistema de comunicaciones radar (SCR)	180

5. CALIFICACION E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE RADAR MONOPULSO Y CENTRO DE CONTROL	
5.1 Introducción	185
5.1.1 Ventajas del nuevo sistema	189
5.2 Especificaciones y procesos para la calificación del sistema	190
5.2.1 Procesos para la calificación del sistema	190
5.2.1.1 Metodología de calificación	190
5.2.1.2 Matriz de cumplimiento	193
5.2.1.3 Matriz de evaluación	193
5.2.1.4 Matriz de puntaje	194
5.2.1.5 Matriz de comparación	194
5.2.1.6 Matriz porcentual final	194
5.2.2 Especificaciones técnicas generales del sistema de radar	194
5.2.2.1 Especificaciones radar primario ASSR	194
5.2.2.2 Especificaciones radar secundario MSSR	195
5.3 Implementación y descripción general de equipos de centro de control del nuevo sistema de radar estado sólido monopulso	196
5.3.1 Implementación o Arquitectura del Sistema del Centro de Control	196
5.3.2 Descripción del Equipamiento del Centro de Control	202
5.3.3 Planos descriptivos de los centros de control y cabeceras Radar	208
CONCLUSIONES	215
RECOMENDACIONES	217
BIBLIOGRAFIA	219

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Retorno de energía por reflexión	3
2	Diagrama básico de un radar de impulsos	5
3	Señal mínima detectable	21
4	Diagrama de radiación ideal	26
5	Diagrama de radiación de cosecante al cuadrado	26
6	Información básica de un radar	28
7	Diagrama funcional en bloques de un radar primario	30
8	Cobertura de un sistema de radar primario	32
9	Configuración de un receptor Superheterodino	44
10	Esquema del un sistema de radar secundario y respondedor	60
11	Pulsos de interrogación	62
12	Pulsos de respuesta	63
13	Diagrama de bloques de un radar secundario convencional	67
14	Sistema convencional de antenas	72
15	Diagrama de radiación del canal suma	73
16	Diagrama de radiación del canal omnidireccional	74
17	Diagrama de radiación del canal diferencia	74
18	Curva STC	76
19	Ilustración de una carga en inicio y final de un plot	78
20	Equipo denominado respondedor	79
21	Disposiciones de los emplazamientos	94
22	Disposiciones de los emplazamientos	94

23	Disposiciones de los emplazamientos	95
24	Efecto de apantallamiento de absorción por terreno	96
25	Efecto de apantallamiento sobre cobertura	99
26	Efecto de apantallamiento por obstáculo	99
27	Efecto de la lobulación sobre la cobertura radar	100
28	Efecto de clutter sobre la cobertura	101
29	Principio de Interferometría	109
30	Sistema de alimentación para una antena de un lóbulo principal	110
31	Representación gráfica de dos medias antenas	111
32	Determinación de la dirección del ángulo de llegada	112
33	Calculo del ángulo de referencia con respecto al eje óptico	112
34	Diagrama del sistema monopulso MSSR	115
35	Diagrama en bloques del sistema monopulso MSSR	116
36	Figura de una antena Open Planar Array (LVA)	122
37	Elementos de RF que componen una antena LVA	123
38	Diagrama de radiación del canal omnidireccional en coordenadas polares	126
39	Sistema de arrastre de la antena	129
40	Diagrama de bloques del sistema de arrastre	131
41	Sistema Interrogador de un MSSR	134
42	Diagrama de bloques de un interrogador	137
43	Sistema receptor de relojería 488GPS	140
44	Unidad de puentes y acopladores, UPA	143
45	Panel frontal del conjunto de integración de RF	145
46	Modulo de fuentes de alimentación, MFA	148
47	Descripción general del modulo de transmisión	149
48	Modulo de conmutación y test, MCT	152
49	Modulo receptor, MRX	157
50	Descripción general del modulo receptor	161

51	Extractor monopolso	164
52	Diagrama de bloques del extractor monopolso	168
53	Configuración general de un sistema de comunicación radar, SCR	183
54	Arquitectura del sistema AirCon2,000	200
55	Arquitectura del sistema AirCon2,000 sin simulador	201
56	Plano del centro de control La Aurora, Guatemala	210
57	Plano de la cabecera de radar, Concepción Palencia	211
58	Plano del centro de control Tikal, Santa Elena Petén	212
59	Plano de la cabecera de radar, Cerro Niktun, San Andrés Petén	213

TABLAS

I	Descripción de los dispositivos de potencia para radares	42
II	Perdida de detección de aeronaves	88
III	Errores de decodificación por interferencias de respuestas	89
IV	Problemas relativos a efectos multisenda	90
V	Capacidades del sistema operacional	205

GLOSARIO

A#	Simbología para tarjetas del extractor
A/D	Convertidor analógico digital
ACARS	Sistema de reportes y direcciones de comunicaciones de aeronaves (Aircraft Communications Addressing and Reporting System)
Acimut	Angulo
ACO#	Simbología para acopladores
ACP	Cambio de posición acimutal (Azimut Change Position)
AFTN	Red de telecomunicaciones fijas aeronáuticas (Aeronautical Fixed Telecommunication Network)
ARP	Pulso de referencia acimutal (Azimut Reference Pulse)
ASR	Radar de vigilancia para aeropuertos (Airport Surveillance Radar)
AST	Asterix
Asterix	Formato de comunicación en una trama HDLC para la transmisión de blancos, plots, y pistas
ATC	Control de trafico aéreo (Air Traffic Control)
ATCRBS	Nombre alternativo para SSR usado en los USA
ATCRBS	Sistema de aviso de radar para control de trafico aéreo (Air Traffic Control Radar Beacon System)
ATG	Generador de transito aéreo (Air Traffic Generating)
BITE	Equipo de test en formación (Built in Test Equipment)
BST	Trigger interno

BYP	By-pass
C#	Simbología para capacitores
Campo eléctrico	Espacio en que actúan fuerzas sobre cargas eléctricas
Campo magnético	Espacio en el que aparecen fuerzas debidas a imanes
CC	Centro de control
CCR	Compresor de comunicaciones radar
CFAR	Razón constante de falsas alarmas (Constant False Alarm Rate)
Clutter	Reflexiones o ecos de energía
CR	Cabecera radar
CRA	Control de relé de alimentación
D#	Simbología para diodos
D/A	Convertidor digital analógico
DBM	Sistema de gestión de datos de adaptación
DDE	Formato de comunicación de 8 bits para la transmisión de blancos y plots
DME	Equipo medidor de distancia para aeronaves (Distance Measuring Equipment)
Doppler	Efecto de choque y rebote
DRF	Sistema de Grabación/Reproducción de datos (Data Recording and Playback Facility)
EEM	Energía electromagnética
ETCR	Equipo terminal de comunicaciones de cabecera radar
ETRR	Equipo terminal de comunicaciones del centro de control
EXT	Extractor
F#	Simbología para filtros
FA	Simbología para fuentes de alimentación
FAA	Administración de aviación federal de los Estados Unidos (Federal Aviation Administration, USA)

FDD	Sistema de presentación de datos de vuelo (Flight Data Display)
FDP	Sistema de tratamiento de datos de vuelo. (Flight Data Processing); TPV
FIR	Información regional de vuelos (Flight Information Region)
Gest	Mensaje de gestión de radar
GPS	Sistema de Posicionamiento global (Global Position System)
GTC	Compuerta de tiempo de control (Gate Time Control)
HD	Disco duro (Hight Disk)
HDLC	Control de conexión de datos en alto nivel (Hight Level Data Link Control)
ICAO	Organización de Aviación Civil Internacional (International Civil Aviation Organization)
IF	Frecuencia intermedia (Intermediate Frequency)
IFF	Identificación de amigo o enemigo (Identification Friend o Foe)
IISLS	Supresión mejorada de lóbulos laterales a la interrogacion (Improve Interrogation Side Lobe Suppression)
ILS	Sistema de aterrizaje por instrumentos (Instrument Landing System)
ISLS	Supresión de lóbulos laterales a la interrogación (Interrogation Side Lobe Suppression)
J#	Simbología para conectores
LAN	Red de área local (Local Area Network)
LASS	Sistema satelital de area local (Local Area Satelital System)
LAT	Latitud
LONG	Longitud

LVA	Antena de apertura vertical grande (Large Vertical Aperture)
MCT	Módulo de conmutación y test
MDS	Señal mínima detectable (Minimum Detection Signal)
MFA	Módulo fuente de alimentación
MHZ	Megahertz
MN	Millas náuticas
MOTIF	Entorno gráfico del sistema operativo UNIX
MRX	Modulo receptor
MSAW	Alerta de altitud mínima de sector (Minimum Safe Altitude Warning)
MSSR	Radar de vigilancia secundario monopulso (Monopulse Secondary Surveillance Radar)
MTBF	Mínimo tiempo entre fallas (Mean Time Between failures)
MTCA	Alerta de conflicto a medio plazo (Medium Term Conflict Alert)
MTD	(Moving Target Detection "Primary Radar")
MTI	Indicador de blanco en movimiento (Moving Target Indicator)
MTL	Nivel mínimo de disparo del respondedor (Minimum Triggering Level)
Mto	Mensaje de mantenimiento de equipos no radar
MTTR	Mínimo tiempo para reparar (Mean Time To Repair)
MTX	Modulo transmisor
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
P,INT	Puerta de interrogación
PLOTS	Conjunto de información relativa a los blancos

PPI	Pantalla indicadora de Posicionamiento del blanco (Plan Position Indication)
PRF	Pulso de frecuencia repetida (Pulse Repetition Frequency)
PSR	Radar de vigilancia primario (Primary Surveillance Radar)
PT#	Simbología para potenciómetros
PV	Plan de vuelo
QNH	Unidad de medida de la presión barométrica para estimar la altitud de la región
Rack	Gabinete para equipo
Radar	Radio detección y alcance (Radio Detection and Ranging)
RAM	Memoria de acceso al azar (Random Access Memory)
RAW	Alarma en Peligro de áreas restringidas (Restranged Area Warning)
RDP	Sistema de tratamiento de dato radar (Radar Data Processing); TDR
RPT	Radar Pre-Trigger externo
RRS	Respondedor radar secundario
RSLs	Supresión de lóbulos laterales a la recepción
S#	Simbología para salidas de drivers
SAW	Oscilador de onda de superficie
SCM	Servidor de canales de mantenimiento
SCR	Sistema de comunicación radar
SDD	Sistema de presentación de datos de situación aérea (Situation Data Display)
SGR	Sistema de presentación gráfico
SID	Salida normalizada por instrumentos (Standard Instrument Departure)

SIF	Selector de identificación futura (Selective Identification Feature)
SIM	Sistema de simulador
SLG	Sistema local de gestión
SLS	Supresor de lóbulos laterales (Side Lobe Supresion)
Smin	Señal mínima detectable
SPI	Pulso de identificación especial (Special Position Identification Pulse)
SRCH	Sistema de relojería central horario
SRG	Sistema remoto de gestión
SSR	Radar de vigilancia secundario (Secondary Surveillance Radar)
Stagger	Trigger constante o pseudoaleatorio con una secuencia de períodos diferentes
STANAG	Patrón pactado (Standardization Agreement)
STAR	Llegada normalizada por instrumentos (Standard Arrival)
STC	Control de sensibilidad de tiempo de detección (Sensitive Time Control)
STCA	Alerta de conflicto a corto plazo (Short Term Conflict Alert)
SWC	Perdida por fluctuación del tipo de blanco para el estudio de la cobertura (Swerling Key)
TB-#	Simbología de identificación de regleta
TCP/IP	Protocolos de comunicación estándares
TDR	Tratamiento de datos radar
TPV	Tratamiento de planes de vuelo
TR#	Simbología para transistores
Trigger	Pulso de sincronismo
U#	Simbología para la identificación de circuitos específicos
UAST	Igual que CCR (Compresor de comunicaciones radar)

UCS	Unidad de control y supervisión
UNIX	Sistema operativo utilizado por el sistema
UPA	Unidad de puentes y acopladores
UTC	Tiempo universal coordinado (Universal Time Coordinated)
UTS	Unidad de test y supervisión
VHF	Frecuencia muy alta (Very High Frequency)
VOR	Alcance de alineamiento angular omnidireccional de alta frecuencia (Very high Frequency Omnidirectional Range)
WASS	Sistema satelital de área extensa (Wide Area Satelital System)
X25	Protocolo de enlace entre cabecera radar y centro de control

RESUMEN

Este trabajo describe al radar y su funcionamiento; también describe las facetas para su buena cobertura con técnicas de emplazamiento y la nueva técnica monopolso para un mejor rendimiento y facilidad de manejo para las personas encargadas de dicho control.

Las nuevas técnicas, tanto en conocimientos de emplazamiento como en monopolso, llevaran a un futuro no muy lejano el de interconectar satelital mente todos los radares del área para así componer un espacio aéreo global. Un ejemplo claro son las pruebas satelitales EGNOS/Galileo desarrolladas por la comunidad europea que al unirse con el GPS de Estados Unidos tendrán un margen de visión del 95%.

Tratando de dar una idea a todo estudiante o profesional del principio básico de un sistema de radar, sus partes y todas las técnicas a tomar en cuenta para su buena implementación y así lograr un rendimiento adecuado a nuestras necesidades.

Encontrar la importancia de actualizar los sistemas de control así como conocer la diferencia y ganancia que obtenemos al actualizar y modernizar los sistemas actuales.

Estudiar la diferencia entre un sistema de radar primario y secundario, así como la diferencia que existe en los equipos instalados en el centro de control y las cabeceras radar a implementarse.

Las ideas futuristas de un nuevo aeropuerto contemplan sistemas de radioayuda más precisos y confiables apoyando todas las nuevas ventajas de infraestructura que se desarrolle. Un sistema de radar monopulso según las técnicas de emplazamiento bien establecidas ayudarán a escoger el lugar idóneo así como los buenos rendimientos técnicos a obtenerse en un sistema de radar acorde a las nuevas recomendaciones de organismos internacionales de las cuales Guatemala es miembro.

El mejoramiento de los sistemas de radioayuda principalmente el sistema de radar, ofrece fiabilidad tanto nacional como internacional a la seguridad aeroportuaria que puede presentar un aeropuerto. Todo mejoramiento en un aeropuerto trae beneficios al país y lo coloca en punta a la par de los mejores aeropuertos del mundo.

Si nuestro país es actualizado en estos sistemas, será tomado en cuenta en futuros sistemas globales de control que será el próximo paso a seguir en esta carretera del continuo desarrollo tecnológico.

OBJETIVOS

- **General**

Ofrecer una nueva alternativa de seguridad, control y rendimiento en el aire como del personal en tierra encargado de la vigilancia y cumplimiento de los planes de vuelo y la información suministrada por el sistema de radar moderno.

- **Específicos**

1. El evaluar su factibilidad técnica y económica para nuestro medio en el área metropolitana y departamental que incluya la cobertura de radar.
2. El conocer las diferencias limítrofes entre el proceso electrónico del nuevo sistema monopulso y los sistemas de radares convencionales anteriores.
3. El demostrar la seguridad y efectividad de la automatización aérea.
4. Servir de orientación para ingenieros y técnicos aeronáuticos, con el fin de prepararlos al desarrollo de la tecnología en sus respectivos campos.

INTRODUCCION

El continuo desarrollo de la navegación aérea trae muchos retos en mejoras de equipos de radioayuda y de control de tránsito aéreo. Una de estas facetas llevó a Guatemala a preocuparse por su espacio aéreo y por el desarrollo de sus vías aéreas, y así pretender cubrir un mejor campo de acción en lo que a seguridad aérea concierne para un mayor desarrollo del país en el ámbito económico y turístico.

El contenido final de este trabajo llevará al lector a familiarizarse con los principios básicos del funcionamiento de un radar, cuenta con capítulos donde se escriben reseñas informativas de los avances tecnológicos que han sufrido los radares, y un entendimiento mejor de lo que en si es un sistema global de radar y todo lo que se debe tomar en cuenta en el momento de instalarlo.

La implementación de dos centro de control, dos cabeceras radar, una red de microondas de siete saltos, dos sistemas de meteorología, un radar primario y dos secundarios dan la pauta del tamaño de proyecto que Guatemala implementa para colocarse a la altura de muchos países a la vanguardia de control de tránsito aéreo.

Los procesamientos de datos, procesamientos de planes de vuelo, grabaciones de voz y datos, y una infinidad de información adicional ayudan al controlador a tener una mejor visión y un mejor rendimiento de su trabajo, sin mencionar las ventajas que trae a nuestro país el poder dar una seguridad en nuestro espacio aéreo y subir de categoría en un futuro próximo.

1. HISTORIAL, EVOLUCION, Y ESPECIFICACIONES DE UN SISTEMA DE RADAR

1.1 Historial

El concepto de radar a variado en muchos factores y nombres, ya que se tienen notas relacionadas con los primeros sistemas de radar usados en la antigüedad. Algunos de estos relatos nos llevan a la Edad de Piedra donde utilizaban un sistema muy funcional el cual consistía en coordinar información de una montaña a otra por medio de señales audibles o visibles para avisar la presencia de un enemigo, o para la caza.

Desde los antiguos cavernarios, hasta el inicio del siglo XX el sistema era utilizado como medio de vigilancia, protección o caza. Incluso se realizaron fortificaciones en lugares elevados para tener una mejor visión de barcos (Piratas) que se aproximaban a las costas tales como el Castillo de San Felipe; el cual era una protección de los Bucaneros que amenazaban las costas.

Luego se implantó la luz con faros la cual ayudaba a tener una mejor visibilidad en la noche cubriendo mayores distancias.

Todo esto ha llevado a mejorar este método de observación y vigilancia, fue hasta el inicio de los años cuarenta con la Segunda Guerra Mundial por la utilidad de las ondas sonoras que toma el nombre de radar.

P1.

El saber de la proximidad de algo nos brinda un mejor manejo de la situación a futuro, factor importante que llevó a mejorar tal sistema que con el pasar de los años fue tomando funciones más elementales y precisas para las necesidades fueron apareciendo.

En la Segunda Guerra Mundial, los alemanes bombardeaban constantemente Inglaterra de ese modo empezaron los ingleses a idear algo para su detección en el espacio y protegerse de los aviones enemigos aun fuere de noche. La constante comunicación de sitios de vigilancia vía radio indicaban la presencia vía visual o audible de las naves enemigas hasta que comenzaron a darse cuenta que sufrían interferencias en las comunicaciones poco antes de aparecer las naves enemigas; esto llevo al estudio de las ondas hertzianas y su eco al chocar con los objetos (Efecto Doppler); de allí se iniciaron los primeros radares, lanzando ondas hertzianas o electromagnéticas que luego eran detectadas como ecos reflejados en osciloscopios rudimentarios de la época, calculando el tiempo de regreso del eco podían calcular la distancia de los aviones.

Esto era ventajoso pero también carecía de precisión y exactitud, ya que podían ser aviones amigos o enemigos o simplemente ecos de superficies en el camino de las ondas hertzianas. Posteriormente, se implantaron equipos de identificación en los aviones amigos para un mejor control.

La palabra radar es una contracción de la expresión Inglesa “Radio Detection And Ranging” (radio detección y alcance). El radar es, por lo tanto, una aplicación de los principios de las ondas de radio para detectar objetos que no pueden ser observados visualmente y obtener su dirección, distancia y elevación.

La detección se realiza mediante la reflexión, pasiva para un radar primario o activo para un radar secundario, de la energía electromagnética utilizada por el radar. La determinación de la dirección y la distancia a la que está situada la aeronave, con respecto al emplazamiento de la estación de radar (ubicación de emisiones de energía electromagnética), precisaría la medida de las coordenadas en un sistema tridimensional, esto es: distancia, ángulo acimutal y ángulo cenital.

Para ello se usa la capacidad de respuesta del objeto a detectar, es decir, el retorno de energía por reflexión pasiva sobre el blanco o bien por la reacción activa del objeto el cual genera la señal de respuesta cuando incide la señal electromagnética del sensor radar. En uno u otro caso, la detección se manifiesta por el retorno de energía electromagnética según figura.

Figura 1. **Retorno de energía por reflexión**



Para la localización se utiliza las propiedades directivas y telemétricas de la energía electromagnética. La propiedad directiva: se basa en la facultad de concentrar la propagación de la energía en un ángulo sólido muy pequeño y de forma que la respuesta que se reciba proceda de la dirección en que se oriente el ángulo sólido de propagación. Por el contrario, la cualidad telemétrica se entiende como la propiedad dinámica de propagación de la energía la cual obedece a una ley espacio-tiempo conocida y por la que se calcula la distancia en función del tiempo que transcurre entre el transmisor (TX) del radar y la recepción (RX) de la respuesta, activa o pasiva, del avión.

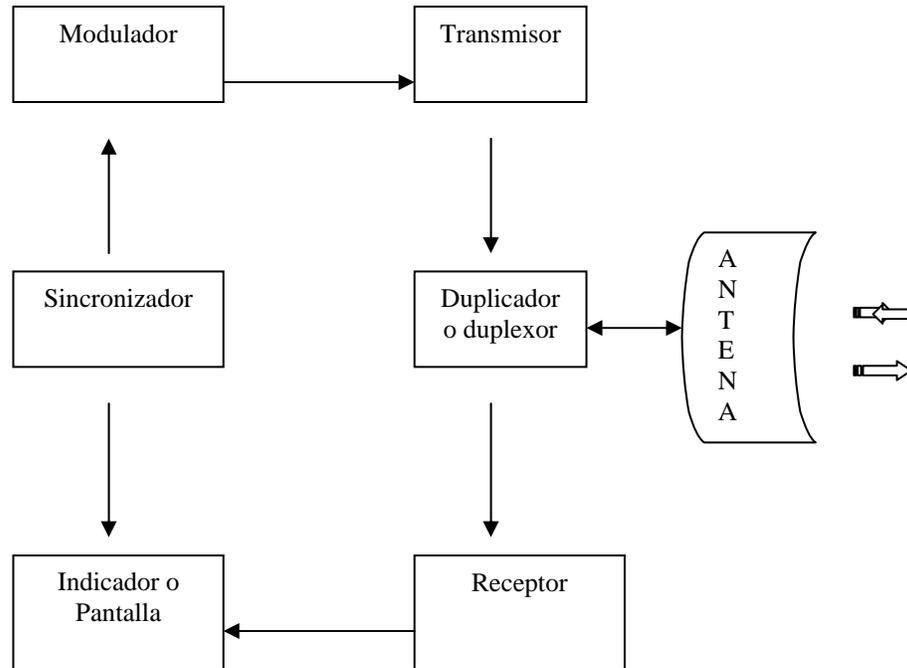
La energía de interrogación que se transmite en los radares empleados en la navegación aérea es de impulsos. En éstos se mide cronométricamente, por medios electrónicos, el intervalo que pasa entre el envío del impulso de interrogación y la recepción del impulso de respuesta.

1.1.1 Funcionamiento básico

El sistema nervioso es el sincronizador el cual fija el origen de tiempos y controla al modulador y al indicador. A cada impulso de disparo, Trigger, del sincronizador se hace reaccionar al modulador y este excita al transmisor el cual genera un impulso de energía de RF. Por otra parte, el indicador comienza a medir tiempos hasta que le llega la respuesta.

En la figura 2 se presenta un diagrama básico de un radar de impulsos; así podrá ver los bloques básicos de los que consta el sistema.

Figura 2. Diagrama básico de un radar de impulsos



El impulso de energía de RF del transmisor alimenta a la antena, en la disposición de antena de transmisión, lo cual lo transforma en energía electromagnética y se propaga en el espacio en un ángulo sólido muy estrecho en la dirección en que en cada momento este orientada. Cuando el impulso de energía electromagnética incide, en su trayectoria de propagación, en un obstáculo parte de esta energía se refleja, en el caso de que el blanco disponga de determinados medios adecuados para ello, responde a su vez con energía electromagnética en forma de impulsos.

Estas últimas señales son respuestas activas (secundario). Las respuestas, tanto activas (secundario) como pasivas (primario), llegarán a las antenas en los períodos de actuación en la disposición de recepción.

En ellas se transforma la energía electromagnética en energía eléctrica y es enviada al receptor y una vez tratada convenientemente es presentada en el indicador o pantalla. El retardo en tiempo entre la interrogación y la respuesta es función de la distancia a la que se encuentra el blanco.

Como la transmisión dura solamente el tiempo correspondiente a la anchura del impulso que se transmite y la recepción comienza después de la transmisión, se utiliza solamente una antena para la parte transmisora y la receptora efectuándose la conmutación por medios electrónicos. La orientación de la antena, en los sistemas de control civil, es de tipo dinámico de carácter giratorio a velocidad angular constante. El giro de la antena estará sincronizado con el sistema de presentación de las respuestas en la pantalla.

El radar primario está basado en la detección y proceso de la señal de radio frecuencia reflejada por un objeto que ha sido iluminado o impactado por la señal emitida por el propio radar. La detección del eco indica, en primer lugar, la presencia de un objeto. Por otra parte, el tiempo transcurrido desde la emisión de la señal y la recepción del eco proporciona una medida de la distancia y, por último, la posición de la antena en el instante de la recepción indica el acimut del blanco. En consecuencia, se dispone de información de la presencia de un blanco y de la posición en planta del mismo, en coordenadas θ, α .

El radar secundario consiste en la emisión de ciertas señales de interrogación que provocan la generación de algunas señales de respuesta, emitidas por un equipo llamado respondedor, instalado en la aeronave. Las señales de respuesta, captadas y procesadas, proporcionan la detección del blanco y la posición en coordenadas θ, α así como la identidad de la aeronave y su altitud, codificadas.

1.2 Evolución

La evolución en los sistemas de radar han variado significativamente al pasar de los años y su utilidad.

Tanto el radar básico de detección conocido como radar primario como el radar secundario, han evolucionado en su tecnología, pero este último ha sufrido una mayor evolución en su aspecto funcional.

La facilidad de colocar un respondedor en el avión dio la pauta a un radar, el cual pregunta de igual forma que el radar primario con la diferencia que no recibe ecos si no una respuesta específica del equipo instalado a bordo de la nave. A este sistema de radar es conocido como radar secundario; el cual es el de mayor evolución por su importancia. Por esto, un sistema de radar comprende de dos sistemas conjuntos y sincronizados los cuales ayudan a la detección y la identificación de los blancos, llamados primario y secundario; respectivamente.

Durante la segunda guerra mundial, el sistema de identificación amigo-enemigo (IFF), que posteriormente se mejoró con la posibilidad de identificación selectiva (IFF/SIF), dio lugar al actualmente llamado radar secundario. El radar secundario se denomina en ingles "Secondary Surveillance radar" y las siglas correspondientes, SSR, son frecuentemente utilizadas en todos los idiomas.

El origen se halla en los sistemas IFF (Identification Friend or Foe) denominado Mark I, desarrollado en 1940 en Inglaterra para uso de identificación militar; básicamente, consiste en la adicción de un equipo respondedor en la nave de forma que responda a las interrogaciones de un radar secundario.

En este se reciben los ecos normales de un avión no-colaborador y un eco amplificado cuando el avión esta dotado del respondedor, ya que éste genera un pulso en idéntica frecuencia, lo cual nos indica que es un avión colaborador.

La identificación se lograba comparando visualmente la intensidad de los retornos. Los equipos IFF Mark II, se desarrollan en 1942 en Inglaterra y en 1943 en suma Estados Unidos en la generación de IFF Mark III que operaba en la banda 157 Khz. –187 Khz.

Al final de 1953 y durante 1944, se crea el proyecto IFF Mark V a través de un consorcio (UNB) que engloba a Estados Unidos, Inglaterra y Canadá.

Se establece una normalización de frecuencia: 950 Mhz para interrogación y de 1,150 Mhz para respuesta. Desaparece la interrogación por impulso único y se permite tres modos (1, 2 y 3) dependiendo de la separación de los pulsos transmitidos (3, 5 y 8 microsegundos respectivamente).

La respuesta era un tren de impulso tipo Morse. El proyecto IFF Mark V, acabo con la II Guerra Mundial en 1945.

Entre 1950 y 1957, se trabaja en la reordenación de los anteriores trabajos. Se establece como frecuencia de interrogación y respuesta 1,030 y 1,090 Mhz respectivamente. Los modos de trabajo siguen siendo múltiples (de nuevo 1, 2 y 3) y se especifican como el sistema SIFG (Selective Identification feature) y se genera el sistema Mark X (SIF).

El sistema IFF Mark X (SIF) está vigente hoy en día en equipos en servicio activo con usos similares. En 1969 se especifica este sistema en la ordenación OTAN, según la norma STANAG 5017.

Las respuestas enviadas desde el respondedor, son una combinación de pulsos que permiten 32, 64 y 4,096 códigos diferentes para los modos 1, 2 y 3 respectivamente.

En 1953, el Departamento de Defensa de Estados Unidos ofrece el IFF Mark X (SIF) para uso civil como un sistema común para control de tráfico aéreo. Los esfuerzos combinados de organizaciones civiles y militares producen el ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System). Al incluir un modo que codifica la altitud del avión se produce, por primera vez, un sistema cuyas entradas permiten dar el Control Aéreo la posición tridimensional de un avión.

El sistema se implanta en los Estados Unidos en el comienzo de los 60's. En 1967 aparece como obligatorio el uso de los respondedores para los aviones operando en el sistema de control de tráfico aéreo por encima de 18,000 pies. El sistema ATCRBS aparece recomendado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en su anexo 10 de Normas y Métodos de 1,962, con la denominación SSR (Secondary Surveillance Radar).

Los sistemas militares posteriores son compatibles con el SSR y dan lugar al IFF Mark X, y el IFF Mark XII que incluye un modo con funcionamiento criptográfico, según se especifica en la norma STANAG 5017, edición 3 de la OTAN.

Actualmente, los sistemas de radar secundario establece la compatibilidad de uso civil-militar mediante interrogaciones en seis modos 1, 2, 3/A, B, C y D.

El modo se asocia a la separación de los impulsos P1 y P3 que se explican con mayor detalle en el siguiente capítulo al igual que el denominado P2, que permite a los respondedores no contesten a interrogaciones sobre lóbulos secundarios ya que distinguen, en este caso, la menor amplitud de P1 respecto a P2. (capítulo II, pagina 61)

Las respuestas del respondedor, corresponden a la presencia o ausencia de hasta 13 pulsos enmarcados en otra pareja de pulsos (F1 y F2) cuya separación fija de 20.3 microsegundos marca la presencia de una respuesta válida.

El control de tráfico aéreo a través de su radar SSR interroga en forma intercalada una secuencia de modos disparo a disparo. Un modo es de identificación (modo 3/A) y el otro es de Altitud (modo C).

1.3 Especificaciones de un sistema de radar

Básicamente, un sistema de radar está conformado por: 2 radares (un primario y un secundario), un sistema mecánico de rotación y 2 antenas. También como equipo de control de tránsito aéreo, grupos electrógenos, sistemas auxiliares y equipos de comunicación. Todo esto repartido en un centro de control y una cabecera radar.

1.3.1 Ecuación del radar

El alcance teórico máximo de un radar en el espacio libre puede ser calculado en función de los parámetros siguientes: potencia transmitida, señal mínima detectada por el receptor, ganancia de la antena y tamaño del blanco.

A continuación será hallada una expresión que liga los parámetros antes indicados y que puede considerarse como una expresión aproximada del alcance del radar.

Supongamos un radar situado en un punto 0 del espacio libre. Si el radar emite una potencia P y la radiación es omnidireccional, en un punto alejado una distancia R , se tendrá una densidad de potencia $P/4\pi R^2$, puesto que la potencia se habrá distribuido según una esfera con centro en el emisor y radio R .

Si la emisión se hace direccional mente con ganancia G , en el punto situado a distancia R se tendrá como valor de la densidad de potencia, $(P.G)/4\pi R^2$.

Supongamos que en el punto anterior existe un objeto de superficie σ , entonces la densidad de potencia que recibe dicho objeto será $P.G \sigma/4 \pi R^2$. Si suponemos que esta potencia es radiada omnidireccionalmente, en el punto 0, se tendrá una densidad de potencia $P.G \sigma/(4 \pi R^2)^2$. La potencia total que captara la antena situada en 0, cuya área efectiva llamaremos A , será $P.G \sigma.A/(4 \pi R^2)^2$.

Es decir, la señal captada por el radar S , viene expresada por:

$$S = \frac{P \cdot G \cdot \sigma \cdot A}{(4\pi)^2 \cdot (R^2)^2}$$

Si la distancia R aumenta, el valor de la señal recibida disminuirá, de forma que la distancia o alcance máximo del radar será el correspondiente para el valor de la señal mínima detectable.

Por tanto se puede escribir que:

$$(R^2)^2_{\max} = \frac{P \cdot G \cdot \sigma \cdot A}{(4\pi)^2 \cdot S_{\min}} \quad (1)$$

Puesto que en los radares modernos la antena emisora es la misma que la receptora se puede escribir que la ganancia en emisión es la misma que en recepción: $G_t = G_r = G$ y análogamente el área efectiva: $A_t = A_r = A$, quedando como expresión del alcance máximo la ecuación número (1).

Si se tiene en cuenta que el valor de la ganancia de la antena viene expresado por:

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad \text{donde } \lambda \text{ es la longitud de onda.}$$

La ecuación (1) se podrá expresar, sustituyendo G, en esta forma:

$$(R^2)^2_{\max} = \frac{P \cdot \sigma \cdot A^2}{4\pi \cdot \lambda^2 \cdot S_{\min}} \quad (2)$$

(2) = Ecuación del radar en función del área efectiva y longitud de onda.

o bien sustituyendo $A = (G \lambda^2)/4\pi$

$$(R^2)^2_{\max} = \frac{P \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot S_{\min}} \quad (3)$$

(3) = Ecuación del radar en función de la ganancia y longitud de onda.

La ecuación radar pone de manifiesto los parámetros que intervienen en cálculo del alcance, sin embargo, éste no puede ser calculado más que aproximadamente a partir de la ecuación hallada anteriormente. Ello se debe a que las pérdidas del sistema radar, y por otra a los factores aleatorios que se hacen presentes tanto en el valor del área radar, como en el de la señal recibida mínima, S_{min} . Por último, la ecuación radar en la práctica no se aplica en el espacio libre y deberán ser tenidos en cuenta los factores atmosféricos y terrestres que afectan a la propagación de las señales.

1.3.2 Conceptos básicos

A continuación presentamos algunos conceptos que se deben tener para el buen entendimiento de los capítulos siguientes.

1.3.2.1 Distancia radar

Las características telemétricas del radar se basan en el conocimiento de la ley espacio-tiempo de propagación de la energía electromagnética. Esta energía se propaga según trayectorias y leyes del movimiento que dependen de las condiciones del medio de propagación, definidas a estos efectos por su permeabilidad magnética (μ) y su constante dieléctrica (ϵ). Las trayectorias dependen del índice de refracción (n) del medio, siendo:

$$n^2 = \mu r \cdot \epsilon r = (\mu/\mu_0)(\epsilon/\epsilon_0)$$

donde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ henrios/metro y $\epsilon_0 = (1/36\pi) \times 10^{-9}$ faradios/metro, permeabilidad magnética y constante dieléctrica del espacio libre. ($E = \times 10$)

En cuanto a la velocidad de propagación, su valor está también determinado por la permeabilidad magnética y constante dieléctrica del medio en que se realiza la propagación.

$$C^2 = 1/(\mu\epsilon) \quad \text{Velocidad de Propagación}$$

Obsérvese que la velocidad de propagación en el espacio real esta relacionada con la del espacio libre por el índice de refracción (n) según la formula:

$$C = C_0/n$$

C_0 = velocidad de propagación en el espacio libre = $3 \cdot 10^8$ m/s.

Las trayectorias de propagación serán rectilíneas únicamente cuando sea constante el índice de refracción del medio (medio homogéneo e isótropo), siendo también constante en este caso la velocidad de propagación.

Todo ello conduce a que la distancia radar solamente se determinará en forma aproximada, si se conoce el tiempo de propagación.

De aquí, que la distancia radar (x) se calcula mediante la formula:

$$x = (C_0/2)t$$

ya que el camino (x) se recorre dos veces, una por la interrogación y otra por la respuesta,

Aplicando el valor de C_0 y expresando como es usual el tiempo en microsegundos, resulta que la conversión de tiempos radar en distancias radar se realiza a razón de 150 metros por microsegundos. Este valor es el que se toma para la calibración de los indicadores de radar.

1.3.2.2 La dirección radar

Las características directivas del radar se basan en el empleo de antenas muy directivas, capaces de concentrar la energía electromagnética en un ángulo sólido muy pequeño.

El comportamiento de una antena, en cuanto a la distribución de la energía electromagnética en el medio de propagación, se define por su función de ganancia, de la forma $g(\theta, \alpha)$ que expresa para cada dirección representada por los ángulos acimutal (θ) y cenital (α), el valor relativo de la intensidad de radiación (U), y consecuentemente, la energía que responde a la dirección considerada.

1.3.2.3 Duración del pulso (τ)

La elección de la duración del pulso está condicionada por dos aspectos que, hasta cierto punto, son contradictorios.

Si el pulso de radiofrecuencia tiene una amplitud máxima fijada de antemano, la energía contenida en el pulso será directamente proporcional a su duración. En consecuencia, para obtener alcances elevados el valor de τ deberá ser grande.

Por otra parte, la resolución en distancia o poder separador del radar es tanto mejor cuanto más estrecho sea el pulso, ya que para que sean distinguidos entre sí dos objetos, es necesario que entre ambos exista una separación en distancia superior a $\tau (C/2)$.

En la práctica los dos condicionantes anteriores se compaginan bastante bien ya que en radares de alcance máximo reducido, generalmente es necesaria una buena resolución, mientras que en radares de largo alcance la resolución puede no tener demasiada importancia. No obstante, cuando se desea reducir la duración del pulso en radares de alcance máximo elevado, se recurre a la técnica de la compresión de impulsos.

1.3.2.4 Distancia mínima absoluta

Otro aspecto en el que influye la duración del pulso es en la distancia mínima a que el radar puede detectar un objeto. En efecto, aunque exista un buen aislamiento entre emisor y receptor, por ser elevada la energía transmitida no se puede evitar la saturación del receptor durante la transmisión del pulso; es decir, el radar permanece “ciego” durante este tiempo τ , lo que en términos de distancia radar equivale a $d = \tau(c/2)$. Cualquier objeto a una distancia del radar inferior a: $d = \tau (c/2)$ no podrá ser detectado.

1.3.2.5 Longitud de onda (λ)

La elección de la frecuencia portadora es un dato de gran interés. Si prescindimos de factores como la atenuación atmosférica, ruido, etc. Tome nota de las siguientes consideraciones:

- a. Suponiendo la ganancia de la antena constante, $G = \text{cte}$, tendremos que a mayor λ , habrá mayor alcance y mayor área efectiva, es decir, una antena de dimensiones mayores con los inconvenientes que ello puede acarrear.
- b. Si se supone el área constante, tendremos que, disminuyendo la λ , el alcance máximo aumentará y también aumentará la directividad o ganancia de la antena. Según esto sería interesante una λ pequeña.
- c. Si se supone fijado el alcance máximo, y el resto de los parámetros de la ecuación radar (2) se deduce que $A/\lambda = \text{cte}$; o bien de la ecuación radar (3) $G\lambda = \text{cte}$.

Estas expresiones ponen de manifiesto que a mayor λ mayor tamaño de antena y menor ganancia; y viceversa, a menor λ menor tamaño de antena y mayor directividad.

1.3.2.6 Numero de ecos por blanco [H]

La anchura del haz está relacionada, por una parte, con la resolución en acimut. Asimismo, la anchura del haz es función de los impactos o pulsos de radiofrecuencia que recibirá un blanco puntual cuando la antena lo ilumine al girar.

Si el haz de la antena fuese infinitamente estrecho, el blanco recibiría solo un impulso y el eco correspondiente a este impulso sería tan breve que no llegaría a impresionar la retina del observador.

Por éstas y otras razones, se hace necesario que cada blanco iluminado por el radar reciba de 10 a 20 impactos de energía (Principio de la técnica de ventana deslizante). El número de estos impactos será proporcional al tiempo de duración de una vuelta de antena, a la frecuencia de repetición de pulsos (PRF) y a la anchura del haz, es decir:

$$H = \frac{(\text{PRF}) \beta}{360 w} = \frac{(\text{PRF}) \beta}{6 (\text{RPM})}$$

donde, (PRF) = frecuencia de repetición de pulsos
t = tiempo requerido por la antena para dar una vuelta completa
 β = anchura horizontal del haz, en grados
(RPM) = revoluciones por minuto
w = revoluciones por segundo

Si se desea aumentar el valor de (H) sería necesario aumentar alguno de los parámetros que intervienen en la expresión anterior, pero esto lleva consigo ciertas limitaciones:

Si se aumenta el PRF, es tanto como disminuir el tiempo (t) del intervalo del sistema, lo que acortaría en tiempo de recepción de ecos y por consiguiente el alcance teórico del radar.

Si se aumenta el ángulo β , se perderá en cuanto a poder separador en acimut.

Si decrece (w); es decir, si crece la duración de una revolución de antena tendremos, una cadencia de renovación de la información recibida más baja, lo que puede motivar, si el blanco varía rápidamente de posición, que sea perdido desde una pasada de antena a la siguiente.

1.3.2.7 Área radar

El valor del área del objeto, que aparece en la ecuación del radar, no coincide con el valor real del área de la sección recta del blanco, como podría suponerse.

En efecto la energía de vuelta por un objeto no es directamente proporcional al área del mismo si no que depende también del material, forma y actitud, o ángulo con que es visto, así como de la longitud de onda de la radiofrecuencia con que es iluminado, polarización, etc.

El área radar de un objeto, σ , será el área de la sección recta de un cuerpo ideal, perfectamente reflector omnidireccionalmente, que envía sobre el radar la misma densidad de potencia que el objeto real iluminado.

La relación entre la sección radar del blanco y la longitud de onda es de suma importancia en la elección de la frecuencia de trabajo de un radar, en función de los objetos que se desee que detecte. Así, la frecuencia para detectar lluvia u otros fenómenos meteorológicos deberá ser mas elevada que la frecuencia para detectar grandes aeronaves.

Tome nota que el tamaño de σ , crece rápidamente al aumentar la frecuencia. Esta es la llamada zona de Raileigh.

También tenemos la zona óptica, que es cuando el σ se aproxima al área real del objeto; y la zona llamada de Mie o de resonancia, en la que hay fuertes oscilaciones en el valor de la sección radar en función de la longitud de onda.

Potencia recibida sobre el área radar = Potencia total reflejada.

En radares destinados a detectar aeronaves será perjudicial (en principio) la detección de los fenómenos meteorológicos y, en consecuencia, la frecuencia escogida deberá ser tal que las gotas de lluvia correspondan a la zona de Raileigh, presentando de esta forma una débil sección radar. Para los radares meteorológicos, por el contrario, deberá escogerse frecuencias elevadas.

1.3.2.8 Fluctuaciones de la sección radar

La sección radar que un blanco complejo presenta en cada pulso, puede variar sensiblemente al cambiar la actitud del blanco. En la ecuación radar para el cálculo del alcance máximo se deberá considerar el valor de σ como una variable aleatoria y calcular el valor medio de esta.

Swerling, estudió y calculo las perdidas por fluctuación para diversos blancos y estableció la distribución de probabilidad de σ ; según cuatro modelos de fluctuación.

SWC = Modelo 00 = blanco no fluctuante para prueba

SWC = Modelo 01 = blanco fluctuante de barrido “jets”

SWC = Modelo 02 = blanco fluctuante desde aviones a misiles

SWC = Modelo 03 = similar al modelo 01 pero militar

SWC = Modelo 04 = reflectores grandes, radares militares, similar al modelo 02 para aviones grandes.

1.3.2.9 Señal mínima detectable

Si se observa en un osciloscopio, la salida del amplificador de frecuencia intermedia (hasta este punto el receptor se puede considerar como lineal) se tendrá una representación semejante a la figura No.3, causada por el ruido electrónico y por alguna señal superpuesta sobre ese ruido.

Figura 3. **Señal mínima detectable**



Si se fija un nivel de tensión V_t y se considera que los valores que superen dicho umbral corresponden a señales procedentes de blancos, y los que no lleguen al umbral son exclusivamente ruido, se tendrá que, entre las tensiones consideradas como señales puede haber alguna que en realidad sea ruido solo y por tanto es una falsa señal que se denomina falsas alarmas.

Asimismo, entre las tensiones inferiores al nivel puede haber alguna correspondiente a un blanco y que se considera como ruido; es decir, se pierde. Como consecuencia, puede tener un cierto número de señales perdidas y ello da lugar al concepto de probabilidad de detección.

Naturalmente, si el valor de V_t se reduce, aumentara la posibilidad de falsas alarmas y al mismo tiempo aumentara la probabilidad de detección, pues será menor el número de señales perdidas. El umbral de decisión se puede fijar electrónicamente o puede ser dependiente de la observación de una persona.

Se llama señal mínima detectable a la entrada del receptor (S_{min}) a aquella señal mínima que es capaz de ser detectada entre el ruido, o lo que es lo mismo, aquella que sobrepasa el umbral, a la salida del receptor. Se considera como salida del receptor a la salida del amplificador de frecuencia intermedia.

1.3.2.10 Probabilidad de falsas alarmas

Se llama probabilidad de falsas alarmas a la probabilidad de que niveles o picos de ruido superen un nivel definido o umbral.

1.3.2.11 Período de falsas alarmas

Se llama " T_n " al tiempo transcurrido entre dos falsas alarmas consecutivas, se define como período de falsa alarma a la duración media de estos tiempos.

1.3.2.12 Número de falsas alarmas

Se define el número de falsas alarmas como la cantidad total de decisiones que se pueden producir en un período de falsas alarmas.

1.3.2.13 Probabilidad de detección

Se llama probabilidad de detección a la probabilidad de que la envolvente de la combinación de señal y ruido, a la salida del detector, sobrepase un nivel preestablecido.

1.3.2.14 La atenuación y la reflexión (Clutter)

La atenuación o absorción de energía depende de la frecuencia utilizada y de la composición y presión atmosférica. Físicamente, la atenuación se puede explicar como una absorción de energía por parte de las moléculas de la atmósfera que cambian la posición de los electrones a órbitas de mayor energía. Posteriormente, los electrones vuelven a sus órbitas estables desprendiendo de nuevo energía en todas direcciones.

Hay que tener en cuenta que en el caso del radar la absorción ocurre tanto en el camino de ida como en el de vuelta de la radiofrecuencia.

Las reflexiones o ecos de energía (Clutter) son causados por cuerpos que se interponen en el camino de las ondas electromagnéticas; tanto fenómenos atmosféricos como objetos físicos tanto en tierra como en aire.

Para evitar los ecos producidos por la lluvia, nieve, etc., se utiliza polarización circular en la antena. Con dicha polarización se obtiene una atenuación de 30 db. en los ecos procedentes de objetos simétricos, como son las gotas de lluvia, copos de nieve, etc.

El resto de los objetos no simétricos sufren también una atenuación media aproximada de 3 db., por lo que no es aconsejable utilizar polarización circular más que cuando es absolutamente necesaria. La polarización lineal vertical es la más utilizada para nuestros sistemas de radar.

En resumen, la polarización circular es empleada para eliminación de ecos atmosféricos pero con una reducción de cobertura de nuestro sistema.

Mientras que los ecos no atmosféricos son eliminados con otras técnicas de filtros que veremos en los próximos capítulos.

13.2.15 Diagrama de cosecante al cuadrado

En un diagrama ideal, la potencia emitida sería distinta según el ángulo que se considere. Para cualquier ángulo inferior a α , la potencia será casi la misma ya que el rectángulo ideal tiene base, R_{max} , muy superior a la altura, H , y por tanto las distancias, R_1 , serán casi iguales. Para ángulos mayores que α , las distancias R varían sensiblemente y las potencias transmitidas en las direcciones correspondientes también deberán variar.

Para conseguir que un objeto que se dirige hacia el radar a altura constante refleje la misma potencia en toda su trayectoria la ganancia de la antena, o forma del haz, deberá cumplir una cierta ley que vamos a deducir.

La potencia de la señal recibida en el radar es según la ecuación del radar:

$$S_{min} = K [G^2/(R^2)^2]$$

Siendo K = constante de Boltzman = 1.38E-23 julios/grado
despejando la ganancia:

$$G^2 = [Pr.(R^2)^2]/K$$

Dado que $R = H \operatorname{cosec} \alpha$, quedara:

$$G^2 = (Pr/K)[(H \operatorname{cosec} \alpha)^2]^2$$

Puesto que deseamos que Pr sea constante, para H constante, se tendrá:

$$G^2 = K' (\operatorname{cosec}^2)^2 \alpha$$

y

$$G = K' \operatorname{cosec}^2 \alpha$$

Un diagrama que cumpla esta relación entre ganancia y ángulo de radiación se llama de “cosecante al cuadrado” y sería el ideal.

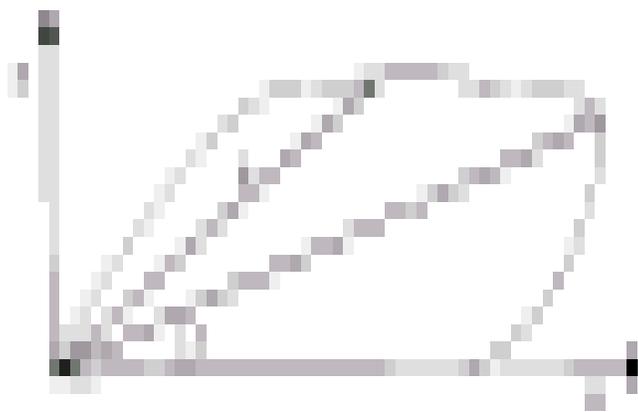
La primera limitación que se encuentra en los diagramas reales es la existencia de un cono de silencio de eje vertical que pasa por la antena, y ángulo de 50 grados aproximadamente.

Otra limitación aparece al deformarse el diagrama de radiación teórico al situar la antena a una altura determinada sobre el suelo. A continuación aparece la figura 4. (diagrama de radiación ideal) , y figura 5. (diagrama de radiación de cosecante al cuadrado) para una mejor comprensión.

Figura 4. Diagrama de radiación ideal



Figura 5. Diagrama de radiación de cosecante al cuadrado



2. PRINCIPIOS Y FUNCIONAMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE RADAR

2.1 Principios

Los sistemas radar se clasifican comúnmente en dos grandes grupos, según el carácter de las respuestas. Hemos dicho que la respuesta del blanco puede ser pasiva o activa, en atención a lo cual el radar se clasifica en:

- Radar primario
- Radar secundario

Los sistemas primarios (PSR) se caracterizan por su respuesta pasiva, por reflexión directa de la energía en el blanco, sin exigir cooperación alguna del objeto a detectar y localizar. Esta respuesta es una réplica de la interrogación y no contiene otra información que la proporcionada por el nivel de la señal, cuya existencia concreta prueba la presencia del objeto reflectante, así como por el retardo en tiempo respecto de la interrogación, que permite calcular la distancia (propiedad telemétrica). En los sistemas primarios se realiza la detección y localización indiscriminadamente, sin posibilidad de obtener información cualitativa del blanco. La información básica que proporciona un radar primario es: rango o distancia, acimut o ángulo, Información meteorológica, y video.

Los sistemas secundarios (SSR) se caracterizan por exigir cooperación activa del blanco en la respuesta.

La señal de respuesta no es precisamente una replica de la interrogación y puede contener, como de hecho contiene, información adicional cualitativa, además de la existencia de la respuesta (detección) y de las características telemétricas y directivas análogas a las de los radares primarios (localización).

La detección y localización son discriminadas (necesidad de que el blanco pueda y quiera responder), permitiendo obtener otros datos adicionales sobre el objeto a detectar y localizar. La información básica que proporciona un radar secundario es: rango o distancia, acimut o ángulo, altitud, códigos, video, y otros datos.

Figura 6. **Información básica de un radar**



Frente a las evidentes ventajas de los radares primarios sobre los secundarios en cuanto a que los primeros no precisan de cooperación alguna del blanco (circunstancia que tiene carácter determinante en la detección y localización de blancos manifiestamente “no cooperativos”, como en las aplicaciones de la defensa aérea), son igualmente evidentes las mayores posibilidades de los radares secundarios en cuanto a su capacidad de información, al costo inevitable de exigir la dotación a bordo del equipo de respuesta y de limitar la detección a los blancos así dotados. De aquí que ambos sistemas (primario y secundario) sean complementarios y no excluyentes.

En este capítulo se describirán los sistemas de radar (primario y secundario), utilizados en los servicios de control de Tránsito Aéreo; indicando en cada caso la capacidad total del sistema.

2.2 Funcionamiento de los sistemas de radar

El funcionamiento de un radar puede variar por muchos factores y/o necesidades que valla a satisfacer. Después conocer el funcionamiento del radar primario, secundario o ambos, se obtiene una mejor idea del tipo de radar a utilizar.

Tipo de radar por su cobertura y ubicación

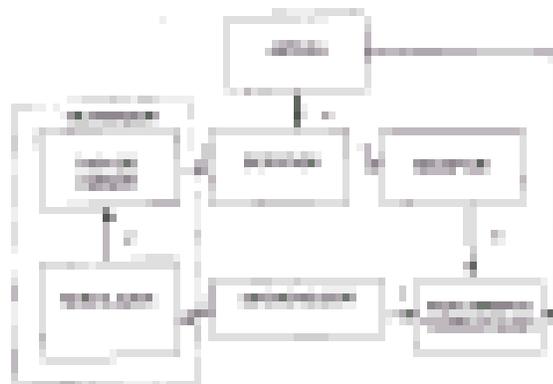
- AREA TERMINAL: radares para áreas terminales con una cobertura de 5 millas náuticas, instalados sobre torres de control, con una rotación constante de antena entre 40 y 60 revoluciones por minuto, se coloca en aeropuertos con mal tiempo o muchas pistas, y son del tipo primario (ASR o PSR).

- APROXIMACION: radares de aproximación con una cobertura entre 30 y 80 millas náuticas para Primario y 250 millas náuticas para secundario (SSR), instalados en cualquier punto del aeropuerto entre 0 y 10 millas náuticas, con una rotación constante de antena entre 12 y 15 revoluciones por minuto.
- CONTROL DE RUTA: radares de control de ruta con una cobertura de 250 millas náuticas para secundario y más de 80 millas náuticas para primario, se recomienda trabajar solo con secundario, se colocan a mas de 30 millas náuticas, y posee una rotación constante de antena entre 6 y 7.5 revoluciones por minuto.

2.2.1 Radar primario convencional ASR, antena y especificaciones

A continuación mostramos la figura 7, la cual muestra un diagrama básico en bloques de un sistema de radar primario y sus especificaciones a cada bloque para un mejor entendimiento del mismo.

Figura 7. Diagrama funcional en bloques de un radar primario



2.2.1.1 Especificación de los diferentes bloques del sistema de radar primario

2.2.1.1.1 Antena

La ganancia de una antena esta estrechamente ligada al tamaño de esta. Para conseguir diagramas de radiación directivos con anchos de haz del orden de unos pocos grados debemos utilizar estructuras eléctricamente grandes en relación con la longitud de ondas de trabajo, lo que puede conseguirse mediante una de las dos soluciones siguientes:

- a. Agrupar varias antenas elementales de tal manera que sus diagramas se combinen para aumentar la radiación de potencia en ciertas direcciones del espacio y disminuirla en otras. Es lo que se conoce como antenas de tipo array o agrupación de antenas utilizadas principalmente en radares secundarios.
- b. Introducir una estructura que conforme o focalice la energía radiada por una fuente primaria en una dirección específica del espacio. Este tipo de estructuras se denomina reflectores siendo uno de los más utilizados el de forma parabólica para los radares primarios.

En aplicaciones de ATC (Control de Transito Aéreo) dedicado a aproximación las antenas Array no son las más apropiadas. Pese a la disminución del coste de los desplazadores de fase y de los conmutadores de haz, estas estructuras siguen siendo caras. Además, el requerimiento implícito de cobertura en los 360° de acimut requeriría una geometría cilíndrica o un mínimo de tres agrupaciones planas orientadas a varias direcciones.

En segundo lugar, en un radar de aproximación no interesa una exploración 3D sino que lo que se pretende es conocer la distancia y la posición acimutal del blanco. En este caso, es preferible el uso de antenas basadas en una fuente primaria más un reflector.

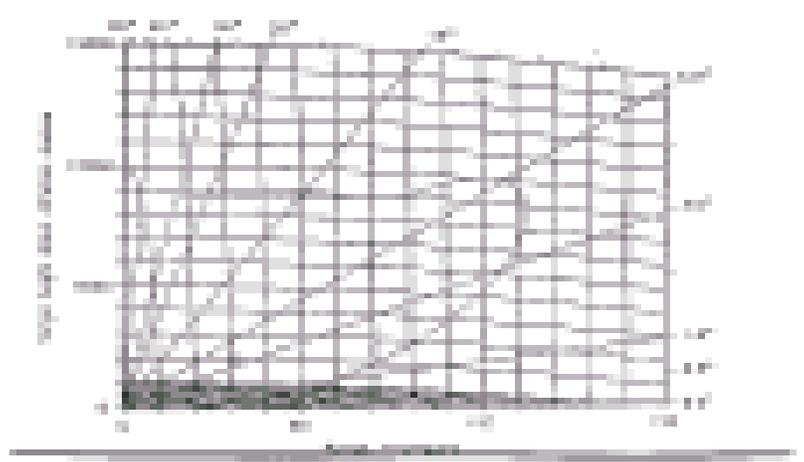
La cobertura requerida en sistemas radar de vigilancia sigue habitualmente el tipo de contorno de la figura anterior. Esta cobertura se puede obtener mediante un diagrama de radiación del tipo cosecante cuadrada en elevación. Con un diagrama de radiación de antena de este tipo, se consigue en un cierto margen de elevación que el radar reciba una potencia constante para un blanco que mantiene una altura constante con independencia de su distancia radar.

La expresión analítica para la ganancia de la antena con un diagrama de este tipo es:

$$G(\theta) = \frac{G(\theta_1)(\csc^2 \theta_2)}{\csc^2 \theta}$$

donde θ_1 y θ_2 son los límites del diagrama en cosecante.

Figura 8. Cobertura de un sistema de radar primario



El valor máximo de ganancia se sitúa entre los 33 y 34 db en banda S (ver página #57 apartado sobre bandas de frecuencia). Este parámetro es inversamente proporcional a los anchos de haz en acimut (1.5°) y en elevación de la antena (3° a 4.5°). A su vez los anchos de haz son inversamente proporcionales a las dimensiones de la antena. Estas suelen ser típicamente de unos 5 metros de ancho y de 1.5 a 3 metros de alto.

Este diagrama permite obtener una potencia constante de un blanco que se acerque al sistema sin variar su altura. Esto es así porque la ganancia de la antena esta compensando el factor $1/(R^4)$ que aparece en la ecuación de la potencia recibida. En efecto, observamos la proporcionalidad $G(\theta) = K \cdot \text{csc}^2\theta$ y como $\text{csc } \theta = R/h$ (donde h es la altura y R es la distancia que separa al blanco de las antenas) entonces:

$$G(\theta) = KR^2/h^2 = \text{Ganancia Recibida}$$

En la ecuación de la potencia recibida interviene dos veces la ganancia de la antena (transmisión y recepción). Por lo tanto, la distancia R aparecerá elevada a la cuarta de tal manera que se compensa la atenuación del espacio libre. Señales procedentes de distancias mas cortas no son amplificadas de la misma manera que señales lejanas.

La técnica empleada mas comúnmente para conseguir el diagrama cosecante cuadrada es la de reflector parabólico deformado o de corte abrupto. Este tipo de reflector mantiene la forma de una parabólica en la parte superior mientras que se confiere una curvatura superior a la normal en la parte inferior de tal manera que la onda electromagnética se refleja, en esa zona de la superficie del reflector, siguiendo una dirección con elevación superior a la del eje focal de la parábola.

Además, se puede aprovechar la ventaja de la forma del reflector para situar el alimentador fuera del haz reflejado de tal manera que se evite el efecto del bloqueo.

Para evitar una pérdida de cobertura en ángulos elevados producida por el diagrama cosecante cuadrada, la solución que se adopta es la de incluir un segundo haz cuyo eje está dirigido hacia valores de elevación grandes. Esto se conoce técnicamente como Low Beam (con una altura de radiación de 60,000 pies) y High Beam (con una altura de radiación de 100,000 pies pero menos cobertura en millas náuticas). De este modo se mejora la cobertura sin aumentar la potencia radiada.

La polarización habitualmente utilizada en radar de vigilancia es lineal vertical y horizontal. Son las polarizaciones de la antena para las cuales los blancos presentan una mayor radiación. En presencia de ruido atmosférico y sobre todo en caso de lluvia es preferible el uso de polarización circular. Esta provoca un rechazo del orden de 20 dB del retorno de la lluvia. Sin embargo, la polarización circular lleva también asociada una pérdida en el retorno del blanco de alrededor de 3 db.

Por eso se suele dotar al sistema de un conmutador de polarización para permitir un funcionamiento con máxima sensibilidad cuando no se requiere un rechazo de la respuesta de la lluvia. Este conmutador, muy frecuentemente será mecánico, y debe poder ser activado por algún dispositivo electromecánico, de manera que el tiempo que el radar no este operativo se reduzca al mínimo.

El tiempo de conmutación debe ser del orden de 1 seg. o menor, de forma que no interrumpa la operatividad del radar durante mas de una vuelta de antena.

Para obtener una polarización circular, el polarizador, conectado a la bocina de alimentación del reflector, ha de dividir el campo linealmente polarizado en dos componentes, horizontal y vertical, y seguidamente introducir un desfase eléctrico de 90° entre ellas.

El sistema de conexiones de RF consiste en varias secciones de guías, coaxiales, filtros, acopladores y conmutadores situados entre el sistema de antena y los sistemas transmisor y receptor. La función básica de esta etapa es la de guiar el pulso de RF hasta la antena y los subsiguientes ecos de RF desde la antena al receptor.

El núcleo del sistema de conexiones esta constituido por guías de onda, debido a su capacidad inherente para el transporte de la potencia. Estas guías se presurizan inyectando aire seco a una presión de alrededor de 1 bar por encima de la presión atmosférica.

La junta rotatoria tiene como función la de transmitir la señal radar por las guías de onda en RF a través de la interfaz entre las partes fijas y las partes rotatorias de la estructura de la antena. También, fuera de las guías, permite el transporte de la señal hasta los alimentadores de antena y el polarizador, así como la transmisión, a través de un anillo deslizante de la alimentación y de las señales de control para el funcionamiento del polarizador.

Situado normalmente debajo de la junta rotatoria y unido a ésta mediante alguna pieza metálica, como puede ser un eje extendido, se halla el generador de pulso de acimut. La conexión de RF entre partes fijas y partes rotatorias se suele hacer a través de transiciones de guía de onda/coaxial de alta potencia.

También la antena debe proporcionar la posibilidad de variar el ángulo de elevación del reflector y el alimentador (Tilt de la Antena). De esta manera, se puede aumentar la elevación del eje del haz en situaciones en las que haya obstáculos importantes en el entorno del radar.

También es interesante poder utilizar ángulos de inclinación negativos en caso de que el radar este emplazado en altitudes sustancialmente mayores que la de las pistas del aeropuerto y sus zonas de entrada y salida. El margen típico de variación del ángulo de inclinación va de -2° a 7° en incremento máximo de 0.5° .

La estructura metálica que sostiene a la antena influye en el diagrama de radiación de esta. Esto se debe a que una fracción de la energía es radiada por la bocina en direcciones diferentes a la del reflector con lo cual se pueden producir reflexiones en el soporte. Normalmente, las estructuras tienen una altura entre 10 y 20 metros según sea la necesidad, y así aumentamos la cantidad de lóbulos de la antena y disminuimos la cantidad de nulos.

En la misma sección donde se hallan los motores que producen los movimientos en acimut de la antena, se incorpora un equipo que permite la desaceleración de la rotación. Existen varios tipos de sistemas que difieren sobre todo en la forma de activación. El freno de fricción activado por un solenoide empieza a funcionar de manera automática cuando se desconecta la alimentación y para de funcionar cuando esta se vuelve a conectar.

Junto con este tipo de freno se suele incluir un sistema de activación manual consistente en un disparador accionado por el operador mediante una palanca. Por último, el freno también puede ser disparado de manera eléctrica a través de un conmutador de control.

Teniendo en cuenta la proximidad de la instalación del radar a las pistas del aeropuerto en algunos casos, la antena deberá estar provista de luces de señalización.

Las fuerzas principales a las que esta sometida una antena es el viento, el hielo, la vibración y la aceleración.

El reflector de la antena puede estar construido con planchas metálicas conformadas, sin embargo con el objetivo de reducir su peso y la carga al viento con frecuencia se utilizan superficies realizadas con mallas o varillas metálicas, metal perforado, etc.

El transductor de posición, el cual se ocupa de registrar la información de la posición acimutal de la antena que recibe el nombre de azimuth change position, ACP. Constantemente ofrece a su salida información sobre la posición acimutal de la antena, en forma digital. La resolución dependerá de las características del sensor empleado y del número de bits empleados en su codificación. En los sistemas llamados convencionales emplean 12 bits para 4,096 posiciones por vuelta, mientras el nuevo sistema a implementarse posee 14 bits que suponen una resolución de 0.02° o bien 16,384 posiciones por vuelta. La necesidad de una resolución tan elevada viene dada por la presencia de la antena del radar secundario, cuyas medidas de acimut son mucho más precisas que las del PSR cuando esta dotado de un subsistema monopolso (MSSR).

El sensor utilizado tradicionalmente para conocer la posición acimutal de la antena era el sincro basado en un sistema de bobinas unidas físicamente tanto a la parte fija como a la parte giratoria del engranaje, y alimentadas por una tensión senoidal. La información sobre la posición se obtenía midiendo el desfase entre las tensiones de salida, parámetro que varía en función del acoplamiento entre las bobinas.

Tanto en el caso de los codificadores ópticos como en el caso de los sistemas de bobinas se incluye una señal de referencia del paso por una cierta posición (ARP = Azimuth Reference Pulse), que consiste en la emisión de un pulso por cada giro de la antena.

Generalmente, toda antena es alineada al norte magnético, el cual sufre una declinación magnética entre este y oeste. Esta declinación es mínima pero ya los equipos tanto en tierra como en aire regulan constantemente este factor. Lo ideal sería ajustar nuestra antena con el norte geográfico el cual es fijo.

2.2.1.1.2 Duplexor

Es el dispositivo que permite a una única antena servir como transmisora y como receptora. Sus funciones son, por una parte, conmutar alternativamente la antena entre la salida del transmisor y entrada del receptor con las mínimas pérdidas posibles. Por otra parte, deberá proteger al receptor de posibles daños causados por una potencia excesiva durante la transmisión. En el momento de la recepción, el nivel de la señal recibida depende en gran parte de la distancia recorrida por esta, se suele incluir un subsistema STC (Sensitivity Time Control) de ganancia o atenuación variable en función del retardo transcurrido desde el momento de la emisión.

De esta manera se evitan la saturación del receptor causados por ecos cercanos. El control de la sensibilidad debe tener en cuenta también los ecos fuertes provenientes de blancos indeseados llamados *clutter* (suelo, montañas, pájaros, mar, etc.).

El duplexor posee un dispositivo llamado el circulador, construido a partir de ferrita. Este material no es isotópico, es decir, no tiene las mismas propiedades en todas las direcciones del espacio. Por lo tanto, la dirección hacia la que se transmite la energía varía en función de cual sea la parte del circuito en la que incide la señal. Existen circuladores de tres puertas, pero para conseguir un mejor aislamiento entre el transmisor y el receptor se suelen diseñar con cuatro puertas, conectando en una de ellas una carga adaptada. El circulador proporciona típicamente un aislamiento del orden de 20 dB, valor insuficiente para un sistema radar. Es necesario, pues, incluir un circuito protector del receptor.

El receptor de un sistema radar es un circuito extremadamente sensible lo que no-solo obliga a protegerlo de los altos niveles de potencia en RF provenientes del transmisor sino que además debe ser protegido de la señal proveniente de otros equipos de radar cercanos y de la señal reflejada en la antena a causa de una inadaptación entre esta y la línea de transmisión. En algunas ocasiones, el duplexor no cumple por sí solo con esta función.

En el caso del circulador, el peligro es constante, independientemente de sí el radar está conectado o no. Todas las señales provenientes de la antena llegan al receptor sea cual sea su nivel. Así pues habrá que incluir algún tipo de protección adicional.

Esta protección ha sido llevada a cabo habitualmente mediante tubos de gas contruidos en guías de onda. Los tubos modernos son sistemas pasivos, que no requieren una alimentación externa. Están diseñados de tal manera que presentan unas pérdidas de inserción bajas cuando la señal de entrada esta por debajo de un cierto nivel. La envolvente del tubo se llena con una mezcla de gas formada habitualmente por un elemento radiactivo y un agente disipador de electrones. En cuanto a la señal de RF supera el umbral, electrones liberados por el elemento radioactivo son acelerados y provocan la descarga del gas dentro del tubo.

Las pérdidas en los circuladores pueden llegar a 1 dB. El valor global de pérdidas del duplexor no deberá superar el de 1.5 dB, ya que éstas pérdidas son sumadas al factor de ruido global del sistema.

Tras el pulso transmitido, el receptor debe estar, en breve lapso, preparado para recibir señales procedentes de blancos. Es por ello que el tiempo de recuperación, que incluya el tiempo de conmutación del duplexor con el de recuperación del amplificador de bajo ruido (saliendo de la saturación) debe estar limitado.

La recomendación supone un tiempo de recuperación máximo de unos 6 microsegundos, la adecuada es la de 5 microsegundos.

2.2.1.1.3 Transmisor

Existen dos filosofías diferentes en el diseño de transmisores:

La primera de ellas consiste en utilizar un oscilador que genere directamente la señal de RF con el nivel de potencia requerido a la salida. El magnetrón es el ejemplo mas claro y es uno de los dispositivos que más se ha utilizado desde la aparición de los sistemas radar (actualmente El Aeropuerto La Aurora posee este tipo de dispositivo en su radar).

La segunda posibilidad consiste en generar la señal de RF a bajo nivel requerido a través de una o varias etapas amplificadoras. Algunos de los amplificadores más comunes son los Klystron, TWT (tubos de onda progresiva), y de estado sólido (para el nuevo sistema de radar).

En la tabla I, se presentan algunas características importantes de los siguientes dispositivos.

- Magnetrón (oscilador de potencia)
- Klystron (amplificador de potencia)
- TWT (tubo de onda progresiva, y amplificador de potencia)
- Estado Sólido (amplificador de potencia)

Tabla I. Descripción de los dispositivos de potencia para radares

Dispositivo	Potencia	Voltaje	Emisión rayo X	Ancho banda	Corriente usada	Vida útil	Eficiencia □%	Mantenimiento	Costo
Magnetrón	Media 500 kw	10 Kv.	NO	Medio Bajo	Media 1 mAmp.	1 a 2 Años	+ Efic	(+ -) Bueno	+ Bajo
Klystron	+Alta 1 mega w	100 Kv.	SÍ	Bajo	Menor 1 mAmp.	3 a 4 Años	Media Efic	Complejado	Caros
TWT	Alta 100 kw	30-40 Kv.	SÍ	Alto	Baja 1 mAmp.	3 a 4 Años	Efic	Complejado	Caros
Estado sólido	+Baja 20- 30kw	50 v.	NO	Medio alto	+Alta 1 20 Amp.	+ Alta	Media baja	(+) Fácil	+ Caro

El circuito modulador es el encargado de controlar el funcionamiento pulsado del amplificador de potencia. Este circuito es el que marca la cadencia con la cual se emiten los pulsos PRF (Pulse Repetition Frequency). Para el caso de estado sólido no es necesaria la existencia de un modulador pues estos amplificadores pueden funcionar de manera pulsada (clase C) por sí solos.

El período de repetición de pulsos (PRI) es el intervalo temporal que transcurre entre la emisión de dos pulsos consecutivos. Su inversa es la frecuencia de repetición de pulsos (PRF).

Para el nuevo sistema se da el hecho de tener duraciones del pulso elevadas, típicamente de 100 μ s, implica que la distancia ciega del radar puede ser del orden de 15 km, intolerable en aplicaciones de radar de aproximación.

La solución implantada para el nuevo sistema consiste en intercalar un pulso corto (del orden de $1 \mu\text{s}$), para cubrir las distancias cercanas al radar en las que no será necesario un valor elevado de la energía, y un pulso de compresión para conseguir el alcance máximo. Con estos valores, y a partir de la ecuación del radar (Capítulo 1, Pag 11) es inmediato demostrar que si la potencia transmitida y el pulso principal (de $100 \mu\text{s}$) se diseñan para cubrir una distancia de entre 60 y 80 MN, entonces el pulso corto ($1 \mu\text{s}$) abarca sin ningún problema los 15 km. de zona ciega. Se ha tenido en cuenta que la potencia de pico de ambos pulsos es la misma.

2.2.1.1.4 Receptor

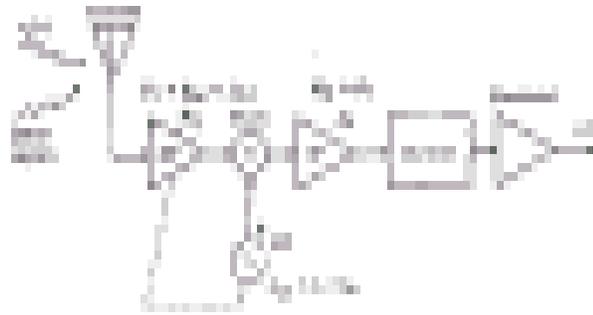
En el caso de un receptor radar es muy importante, pues, que la primera etapa consista en amplificar la señal. Ese primer amplificador debe tener, como se ha venido comentando, un factor de ruido bajo.

En las características de un sistema radar ofrecidas por el fabricante suele aparecer, además, del factor de ruido global del receptor, el factor F_1 correspondiente al amplificador de bajo ruido. Se debe intentar, igualmente, limitar al máximo el camino entre la antena y el primer amplificador. De esta manera se reduce la atenuación introducida por las guías de onda y dispositivos asociados, normalmente menores de 0.5 db al valor de pérdidas.

Por tanto, de manera global se puede considerar que el factor F_1 (factor de ruido debido a las pérdidas) adopta un valor de 2 db, para temperaturas habituales.

En la figura 9 se muestra la configuración de un receptor superheterodino del cual se hablara con frecuencia.

Figura 9. Configuración de un receptor superheterodino



Al leer las especificaciones de un fabricante en lo que al parámetro F (Factor de Ruido) se refiere hay que tener en cuenta la siguiente consideración: los receptores de los sistemas radar incluyen habitualmente un circuito STC (Sensitivity Time Control) que introduce una atenuación variable de la señal. Por lo tanto el valor del factor de ruido global también varía dependiendo de cuál sea el valor de esa atenuación. El fabricante suele proporcionar el valor de F para un valor de 0 dB en la atenuación. Se tendrá que comprobar que eso sea realmente así antes de evaluar las prestaciones de un receptor en cuanto al ruido.

Las características de los amplificadores y otros circuitos que integren el bloque receptor, como pueden ser los filtros y los mezcladores, dependen de las características de los transistores utilizados como los fets (Transistores de efecto de campo), etc.

Se puede considerar al circuito STC como un atenuador variable situado en la cadena del receptor. Su objetivo es el de proteger a éste de posibles saturaciones causadas por ecos provenientes de objetos situados cerca del sistema. Además, el circuito STC es la compensación del factor RE^{-4} (R elevada a la menos cuatro) que es parte de la potencia recibida.

En los sistemas radar de control aéreo es habitual incluir un STC programable por celdas de resolución. El concepto es que el radar opera en un lugar determinado con un entorno caracterizado por una cierta orografía. Esto quiere decir que el clutter proveniente de ese entorno (montañas, mar, edificios...) no va a cambiar. Por lo tanto, el procesador puede establecer un mapa de clutter que permita aumentar la atenuación en la señal proveniente de las celdas críticas, es decir, aquellas para las que la potencia reflejada por el clutter es superior.

Los blancos indeseados (clutter) pueden ser dependiendo del tipo de blanco:

Clutter puntual: pájaros y otros animales (ángeles); construcciones próximas, más pequeñas que la celda de resolución.

Clutter superficial: suelo circundante al sistema radar; orografía circundante, mar; en el caso de estar próximo.

Clutter volumétrico: puede ser natural: lluvia, nieve, nubes, o provocado con tiras metálicas.

También debe tomarse en cuenta el ancho de banda del receptor, ya que debe ser lo suficientemente grande como para poder procesar correctamente los ecos recibidos y, sin embargo, lo más pequeño posible para reducir el ruido y otras interferencias que lleguen al receptor.

La etapa que determinará el ancho de banda total del receptor es la de frecuencia intermedia (IF) puesto que el ancho de banda de esta etapa es menor que el de cualquier componente de la cadena receptora.

La detección de blancos móviles exige coherencia de fase para llevar a cabo la separación espectral entre blancos y blancos indeseados (*clutter*). La señal de FI, después de ser amplificada, se filtra y se convierte a banda base mediante un demodulador en fase y cuadratura (I/Q). Este consiste típicamente en dos mezcladores que realizan el producto de la señal recibida con dos muestras del oscilador desfasadas 90° . Se conserva de esta manera la información sobre la fase.

La calidad de la demodulación I/Q esta condicionada por la exactitud del desfasaje de 90° entre los dos canales. Otros factores importantes serán la igualdad de ganancias de ambos canales y la linealidad del proceso.

El convertidor analógico digital (A/D) instalado en el receptor tiene como función tomar muestras de la señal analógica recibida para obtener valores binarios, aptos para el procesado y manipulación mediante técnicas digitales.

El receptor superheterodino (Figura 9, página 41, "receptor estándar") de un radar ATC actual estaría compuesto de una primera frecuencia intermedia, típicamente alrededor de los 30 mhz, y una segunda IF que se situaría cerca de los 2.5 mhz, siendo el ancho de banda de los ecos de 1 mhz aproximadamente.

En este punto podríamos aplicar ya una conversión A/D (a una frecuencia de 5 mhz), de forma que la extracción de los canales I y Q se llevaría a cabo en un formato totalmente digital, evitando las distorsiones y desacoplos entre canales.

Con el objetivo de aumentar los parámetros de disponibilidad del sistema, se recomienda la utilización de dos receptores completos duplicados, entre las etapas de radiofrecuencia y el procesador digital de la señal. De esta forma, durante el periodo normal de funcionamiento se podrá recibir información simultanea procedente de los dos haces de la antena. Además, en caso de perdida de un canal de recepción aseguramos un mantenimiento de operatividad total.

2.2.1.1.5 Procesador de señal

Las misiones del procesador de señal son tres:

- Compresión del pulso recibido
- Tratamiento anti-blanco indeseado (anti-clutter)
- Detección de la señal

La señal de entrada al procesador puede ser la salida del demodulador coherente I-Q si la compresión de pulso se realiza en el receptor de manera analógica, (el sistema actual por trabajar con un oscilador de potencia Magnetron es imposible la compresión de pulsos), o bien la salida del conversor Analógico/Digital situado en la ultima etapa del receptor si es que la compresión de pulsos se realiza de forma digital, con un procesador numérico.

La técnica de compresión de pulsos básicamente consiste en la transmisión de un pulso largo codificado y procesado mediante un filtro adaptado del eco recibido para obtener finalmente un pulso suficientemente estrecho, para satisfacer las especificaciones de resolución en distancia. El principal motivo de su aplicación estriba en que proporciona una solución al conflicto de requerimientos simultáneos entre alta resolución y amplia cobertura con potencias transmitidas de pico moderadas.

Algunas ventajas de la compresión de pulsos son: El uso más eficiente de la potencia disponible en el transmisor radar, incremento en la capacidad de discriminación del sistema, y la reducción de la vulnerabilidad respecto a ciertos tipos de señales interferentes.

El compresor digital de los pulsos radar se sitúa en la primera etapa del procesador de la señal, a la salida de los convertidores A/D.

Se puede observar como los sistemas digitales procesan la información proveniente de los canales en fase (I) y en cuadratura (Q) de la señal recibida, la cual se traslada a banda base y se convierte en formato digital mediante los circuitos A/D.

La salida $v(t)$ de ambos tipos de compresores constituirá la señal de entrada para las posteriores etapas del procesador (MTI, MTD, CFAR...) que se explicaran en capítulos posteriores.

La elección del valor de la relación de compresión de pulsos, debe hacerse de acuerdo con el resto de parámetros del sistema.

Por lo anterior, es más aceptable la situación generada si aumentamos la potencia transmitida P_i y disminuimos la relación de compresión. En estas condiciones, el alcance del pulso corto aumenta y la zona ciega disminuye.

Por lo expuesto anteriormente la compresión de pulsos es una técnica vinculada tanto al empleo de transmisores de estado sólido como de tubos.

2.2.1.1.6 Extractor-combinador y procesador de datos radar

Cuando ya se ha producido el proceso de detección, las características de la señal del radar han cambiado radicalmente. Lo que antes había sido una señal digital (o analógica) de un cierto número de bits pasa ahora a ser una señal de presencia no presencia. Es por ello que la salida del detector sea, esencialmente un mapa de unos y ceros, según el detector haya considerado que en esas celdas existe o no un blanco de interés.

En este punto la señal radar pasa a denominarse datos radar, y de ello se hablara a continuación. Cabe decir que la carga computacional se ha reducido bastante y, por lo tanto, la cantidad de operaciones realizables sobre los datos radar puede crecer, para velocidades constantes de calculo de los procesadores. Hay casi tantas técnicas de extracción, procesado de datos radar, combinación, como fabricantes de equipo.

El extractor genera a partir de la señal detectada los plots, que no es más que el conjunto de informaciones relativas a los blancos identificados como tales por el detector.

El estándar ASTERIX (Formato de transmisión de datos), define cuáles deben ser estas informaciones y el formato que se debe dar a éstas.

Los radares primarios de AENA (Asociación Española de Navegación Aérea) como por ejemplo, deben tener la posibilidad que la salida de datos siga tanto el estándar ASTERIX como el estándar DDE (estándar o formatos de mensajes). No obstante la generación del plots debe incluir todos los datos que requiere ASTERIX y luego, en su caso, ser transformada a formato DDE que difiere del anterior por carecer de su hora de detección.

En el proceso de extracción del plots intervienen mas funciones. Así, a la salida del proceso de señal existe una gran diferencia entre la resolución en distancia y acimut.

Para cumplir los requisitos de EUROCONTROL (Centro de Control de la navegación aérea Europea), es necesario aumentar esta resolución. Dos técnicas son las más empleadas, aunque sólo la primera se emplea en radares primarios.

- Técnica de ventana deslizante.
- Técnica monopulso.

La técnica de ventana deslizante identifica todos los ecos proporcionados por el detector sobre un mismo blanco y obtiene el centroide de masas, obteniendo por tanto la posición de éste con una mayor precisión. Existen diferentes técnicas encaminadas a corregir la ausencia de detección o la presencia de falsas alarmas, debidas al ruido o al blanco indeseado (*clutter*).

La técnica monopulso es empleada en radares secundarios, SSR. Estos radares trabajan en frecuencias alrededor de 1 Ghz, lo cual implica que su antena posee un diagrama de radiación con un mayor ancho de haz a 3 db en acimut.

Dadas las características de los radares primarios empleados en ATC el proceso de extracción esta vinculado al de combinación con los datos del secundario. El combinador de datos de dos radares (primario y secundario) colocados y correlados (las antenas giran solidariamente sobre el mismo eje físico) trabaja a partir de los plots generados por ambos sensores. Se considera que el procesado de datos local no es un procesado multiradar sino monoradar.

Los sistemas compuestos de un PRS y un SSR habitualmente están sincronizados en PRF. Esto es conveniente desde el punto de vista de eliminar posibles saturaciones debidas a recepciones cruzadas indeseadas.

Las operaciones básicas del combinador son las siguientes:

- Correlación de *plots*.
- Fusión de datos.

2.2.1.2 El efecto *doppler*

Es un desplazamiento frecuencial provocado en la radiación emitida o dispersada por un móvil. En el caso de un sistema radar, el desplazamiento Δf se puede calcular como:

$$\Delta f = \frac{2 v r f_0}{c}$$

donde “fo” es la frecuencia portadora del sistema radar, “vr” la componente radial de la velocidad del blanco y “c” la velocidad de propagación de la luz.

En las frecuencias empleadas en ATC (banda S, hasta 3 Ghz) el desplazamiento es del orden de 20 Hz/(m/s) para $f_0 = 3 \text{ Ghz}$. Este desplazamiento *doppler* se mantendrá al realizar la demodulación coherente, respecto de la frecuencia cero. El procesado de señal se realiza sobre esta señal I-Q denominada envolvente compleja de la señal de FI. Se trata ya de señales en banda base, pero que incluyen la amplitud y fase de la señal de FI.

El blanco indeseado procedente de la reflexión en el suelo, en el mar y en la topografía cercana, así como en las edificaciones próximas presenta una distribución espectral de potencia relativamente estrecha, centrada en la frecuencia nula. Debido a esta propiedad es posible reducir los efectos del clutter con filtros que rechazan la energía centrada en la frecuencia cero, pero dejan pasar los ecos que presenten un desplazamiento Doppler mayor provenientes de blancos con velocidades radiales no nulas. A este tipo de procesadores se les denomina MTI (Moving Target Indicator).

Las componentes rechazadas por el MTI pueden, sin embargo ser almacenadas para confección de un mapa de blancos indeseados. Este mapa incluiría información sobre los blancos fijos, que puede ser empleada, además de por el procesador también por el subsistema STC, a fin de establecer la curva de sensibilidad del receptor en función no solo de la distancia sino también de ciertos sectores del área de cobertura donde aparezca clutter de gran potencia.

No obstante, la reducción de clutter proporcionada por el MTI puede ser insuficiente en el caso de que nos encontremos en presencia de lluvia, cuyos ecos presentaran un cierto desplazamiento *doppler*, o blanco indeseado estático intenso, debido a su ensanchamiento espectral. Contribuyen a este ensanchamiento el tiempo de observación, limitado por el giro de la antena, y las velocidades radiales de los extremos de la antena respecto de la zona iluminada.

Los procesadores *doppler* pulsados están formados esencialmente por un banco de filtros centrados en diferentes frecuencias que van desde la frecuencia nula hasta el valor de la PRF, a cuya salida obtendremos de manera separada los ecos provenientes de blancos con diferentes velocidades radiales.

El subsistema de tratamiento anti-clutter incluirá tanto un MTI como un procesador Doppler pulsado, no pudiendo prescindir del primero debido a la gran magnitud de los ecos provenientes de blancos fijos. Un procesador así recibe el nombre de Moving Target Detector (MTD).

De todo lo anterior hace necesario considerar al radar como un sistema muestreador, con una frecuencia de muestreo igual a PRF, para cada celda de distancia. Al tratarse de un proceso muestreado en el tiempo, el espectro frecuencial de la señal digital resultante es periódico con periodo igual a la velocidad de muestreo, esto es, PRF. Esto supone que, si el eco de un blanco presenta un desplazamiento Doppler igual al valor de la PRF, será tratado por el procesador como si su velocidad radial fuese nula. Esto da lugar al fenómeno de las velocidades ciegas, que son aquellas que producen un desplazamiento Doppler igual a un múltiplo entero de PRF y que por lo tanto el MTI no puede diferenciar del blanco indeseado fijo.

Una ligera variación de la PRF del sistema hará que una velocidad ciega deje de serlo; por ello se realiza un staggering de PRF (escalonamiento de PRF), esto es, se varía continuamente la PRF empleada. Esto se consigue variando el intervalo entre pulsos entre una serie de valores. El efecto global es que la primera velocidad ciega se presenta a un valor mucho mayor que la correspondiente al valor de PRF media.

Habitualmente, será necesario trabajar con staggering con objeto de alejar la primera velocidad ciega del MTI y eliminar los blancos de segundo retorno. Para ello, puede subdividirse el número de pulsos por exploración en dos o más CPIs (Coherent Processing Interval) con diferente PRF (frecuencia de pulso repetitivo).

2.2.1.3 El canal meteorológico

Proporciona los datos para la realización de un mapa meteorológico, análogo al mapa de clutter fijo, que incluye datos sobre vientos, precipitaciones, etc. Por ello, emplea un cancelador de blancos falsos, así como un integrador temporal.

Toda esta información es recogida en el mapa meteorológico y es actualizada de forma dinámica a cada giro de antena. Esto permite presentar al usuario los datos de tiempo atmosférico, pero también proporcionar información al detector de señal, necesaria para realizar su función.

En el ámbito de la detección automática en las falsas alarmas aparecen los subsistemas basados en técnicas CFAR (Constant False Alarm Rate), cuyo concepto básico es el siguiente: el voltaje de una celda de resolución es comparado con un conjunto de otras celdas, denominadas celdas de referencia; si la tensión de la celda bajo test es similar” a las de las celdas de referencia, se realiza una decisión de blanco ausente; si la tensión es mayor, se realiza una decisión de blanco presente.

Existen varios métodos de conseguir este conjunto de celdas de referencia. La elección del método dependerá del tipo de entorno en el que opere el radar. Se clasifican en CFAR espaciales y temporales.

Las CFAR espaciales consisten en el promedio, dentro de un mismo barrido, de las celdas adyacentes a la celda bajo test, para determinar el umbral óptimo.

Las CFAR temporales es una técnica muy adecuada a las aplicaciones de ATC ya que compara la celda bajo test con los valores obtenidos en barridos anteriores de la antena. De esta manera el sistema será capaz de eliminar el clutter de suelo (topográfico) que, esencialmente no varía en el tiempo.

2.2.1.4 Video crudo

A la salida del subsistema detector, se obtiene una salida del denominado vídeo crudo. Esta señal incluye los pulsos de sincronismos con los instantes de emisión y los ecos detectados con su correspondiente retardo.

El video crudo es básicamente una señal de monitorización y diagnóstico del sistema radar, aunque algunos operadores definen la opción de poder utilizarla en las consolas de control en casos de duda sobre la operación correcta del extractor y etapas subsiguientes.

2.2.1.5 Elección de la banda de trabajo

El cuadro de asignación de frecuencias propone tanto la banda L como la S para los radares de vigilancia en aeropuertos. En el pasado era la banda L la elegida en la mayor parte de los casos. Actualmente, la elección de la banda S tiene como principales características las siguientes:

- Tamaño de la antena reducido (aprox. 5.6 x 2.3 m).
- Disponibilidad de componentes en estado sólido para transmisor y receptor.
- Gran ancho de banda disponible (2700-2800 Mhz frente a 1300-1350 Mhz) para banda L.

A pesar de ello, la banda S presenta mayores pérdidas de propagación en el espacio libre, mayor atenuación atmosférica y por hidrometeoros. Además, durante mucho tiempo no ha estado disponibles dispositivos de estado sólido que fuesen capaces de generar la suficiente potencia para actuar como transmisores, restringiéndose a tecnología de magnetrón y tubos.

No obstante la posibilidad de emplear transmisores modulares y técnicas de compresión de pulsos minimizan estas aparentes desventajas, si se desea emplear estado sólido.

Bandas de frecuencia:

- Banda L = de 1 a 2 Ghz
- Banda S = de 2 a 4 Ghz (Para radares primarios de 3.1 a 3.3 o de 2.7 a 2.9 Ghz)
- Banda C = de 4 a 8 Ghz
- Banda X = de 8 a 12 Ghz
- Banda K = de 12 a 24 Ghz, etc.

2.2.1.6 Características importantes para un radar

La calidad de los datos recibidos por un radar primario de aproximación se expresa mediante las siguientes características:

- Precisión
- Resolución

La **precisión** en la posición es el nivel máximo de error entre la posición del blanco detectada por el sensor y su posición real en el instante de la detección. Puede dividirse en precisión en distancia y en acimut.

La precisión en distancia, es indicada por el radar cuando mide correctamente el tiempo de intercepción como de regreso.

La precisión en acimut, se logra cuando más sea fino el haz y cuando más generador de pulsos tengamos.

La **resolución** es la capacidad del sensor para discriminar entre dos aeronaves muy próximas (close proximity), diferenciándolas como blancos separados. Dos aeronaves se encuentran en aproximación cerrada (close proximity) cuando su separación en distancia y acimut se encuentren dentro de los límites estipulados internacionalmente.

La resolución en distancia, es la distancia mínima que debe existir entre dos blancos próximos de sección recta similar sobre el mismo radial para poder ser separados por el radar. El poder discriminador del radar aumenta si el ancho de pulso es pequeño.

La resolución en acimut, no es más que la separación angular necesaria para distinguir dos blancos próximos equidistantes, y se corresponden directamente con los anchos de haz de la antena. El poder discriminador del radar con igual altitud y distancia y diferente acimut varía según el tamaño del ancho del haz de la antena.

2.2.1.7 monitorización remota

Además de las actuaciones que se puedan realizar sobre el radar en el propio emplazamiento, el sistema debe proveer un subsistema de monitorización remota. Este subsistema debe permitir la supervisión, interacción y control total del sistema.

El sistema debe incluir un par de subsistemas monitores que permitan el control en todo momento del radar.

Uno de ellos debe estar dedicado a mantenimiento, situado en el emplazamiento del radar, y el otro a control, situado en el centro de control del aeropuerto.

2.2.2 Radar secundario convencional SSR, antena especificaciones

2.2.2.1 Principios generales

El radar secundario a diferencia del primario depende para su utilización del equipamiento de las aeronaves con un correspondiente respondedor.

El equipo en tierra consta de un sincronizador y un codificador que originan los pulsos de radiofrecuencia radiados por las antenas direccional y omnidireccional de que consta un radar secundario, en la frecuencia portadora de interrogación de 1030 Mhz.

Las señales recibidas en el respondedor de a bordo darán origen a la emisión, por parte de este respondedor, de un tren de pulsos en la frecuencia portadora de respuesta de 1090 Mhz. Este tren de pulsos codificados, o respuesta, contiene la información de identidad o altitud de la aeronave.

A continuación, en la figura 10, se muestra un esquema básico en bloques de un sistema de radar secundario y respondedor.

Figura 10. Esquema del sistema de radar secundario y respondedor



2.2.2.2 Interrogaciones y respuestas

El radar secundario emite unas señales que presentan una petición de información a las aeronaves que están dentro del espacio cubierto por el radar. Estas señales, llamadas interrogaciones constan de un par de pulsos rectangulares de radiofrecuencia cuya separación determina un modo de operación. Los pulsos de interrogación se denominan P1 y P3.

Cada pulso tiene una duración de 0.8 microsegundos y la separación entre ambos puede ser de 3, 5, u 8 microsegundos, según se trate de los modos 1, 2 ó 3 (Figura 11 y 12). Estos modos son de utilización militar. Los modos A, B, C, y D corresponden a separaciones de 8, 17, 21 y 25 microsegundos, siendo estos modos los establecidos por la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI).

Los modos A y B se utilizan para obtener respuesta que contengan la identidad de la aeronave, el modo C es utilizado para obtener la altitud del vuelo, y en cuanto al modo D, aun no ha sido definida su utilización.

Como puede observarse los modos 3 y A son idénticos por lo que, tanto la aviación militar como la civil pueden contestar a él, facilitando la identificación de cualquier aeronave interrogada.

Figura 11. Pulsos de interrogación

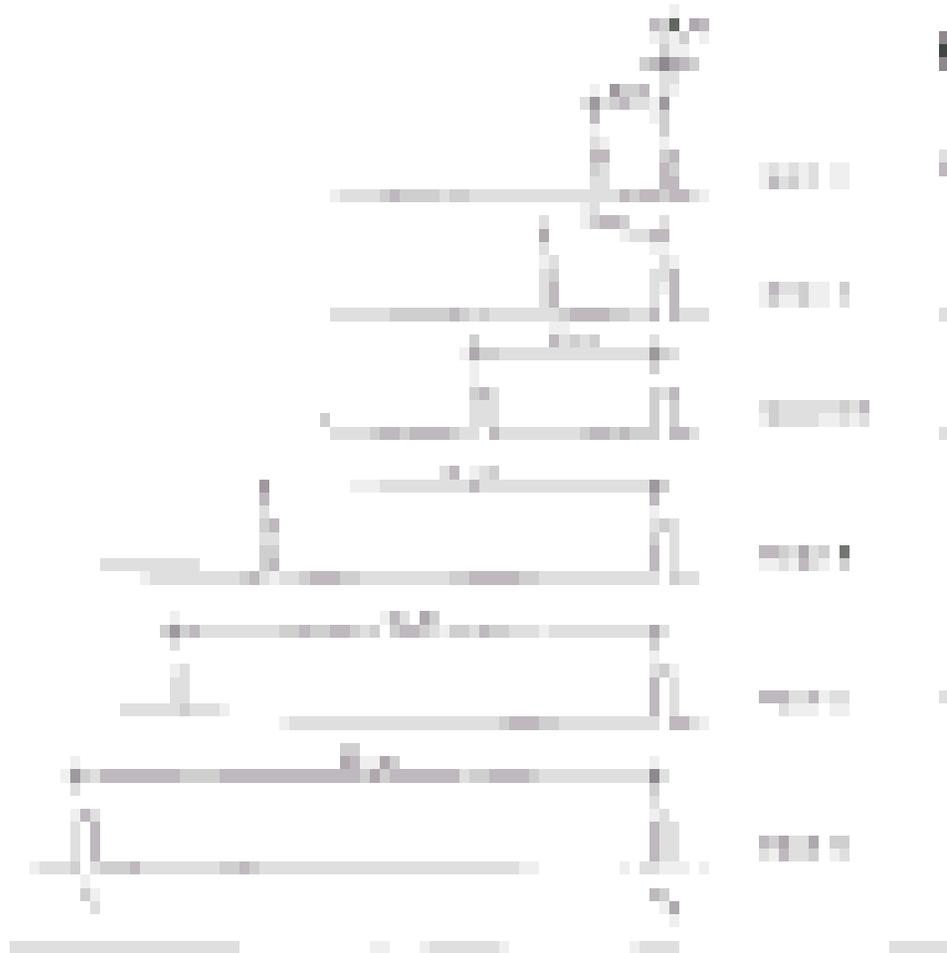


Figura 12. Pulsos de respuesta



El pulso P2 es de las mismas características que los P1 y P3; y se sitúan siempre dos microsegundos después del P1.

Como ya se ha indicado, el respondedor envía las respuestas que se emiten en frecuencia de 1090 mhz y constan siempre de, al menos, dos pulsos separados 20.3 microsegundos y llamados pulsos de encuadramiento, F1 y F2 (Figura 12). Entre estos pulsos de encuadramiento pueden incluirse hasta doce pulsos denominados A1 A2 A4 B1 B2 B4 C1 C2 C4 D1 D2 D4 con los que se puede formar, con cada tres, un número en el sistema binario octal. Así pues, si están presentes los doce pulsos se tendrá el código 7777, siendo él numero total de códigos posibles de 4,096.

Entre los pulsos A4 y B1 hay un espacio que permitiría introducir un pulso llamado X y que, por ahora, no se utiliza. La duración de cada pulso es de 0.45 microsegundos y la separación entre ellos, incluyendo X, es de 1.45 microsegundos.

A 4.35 microsegundos después de F2 puede aparecer un pulso llamado de identificación (SPI: Special Pulse Identification) que se genera al pulsar el piloto el mando correspondiente y que produce en la pantalla de presentación de datos una indicación especial.

Por ejemplo, cambia intermitentemente el tamaño de los caracteres del código presentado. La presencia del pulso de identificación dura de 20 a 30 segundos, desapareciendo automáticamente. La función de este pulso es identificar una aeronave entre dos que responden con el mismo código. A bordo de la aeronave tenemos el IDENT que es la versión del SPI solamente que en vuelo.

La utilización de los códigos por cada aeronave corresponde a normas de operación establecidas por los distintos centros de control de la circulación aérea, bajo cuya responsabilidad esta el espacio aéreo. Universalmente, se utiliza el código 7700 para indicar emergencia general, el código 7600 indica emergencia en comunicaciones y el código 7500 se utiliza en casos de secuestro aéreo.

Existen otros códigos especiales como: código 2000 para la solicitud de asignación de código, el código 1215 de búsqueda satelital de emergencia, el código 1200 código no decodificado del 2700, y el código 2700 del respondedor para navegación comercial.

Las respuestas al modo C de altitud, se generan automáticamente al estar asociado el respondedor al altímetro del avión. Las respuestas de altitud se forman con los pulsos F1, F2 y los pulsos intermedios contienen la información de altitud en niveles separados cada 100 pies y en código Gray. Este código, al cambiar un solo pulso (bit) entre un nivel y el siguiente, permite detectar fácilmente posibles errores.

2.2.2.3 Frecuencias y alcances

Todos los radares secundarios, según especifican el anexo X de OACI, utilizan en interrogación la frecuencia portadora de 1030 Mhz. En recepción la frecuencia utilizada es 1090 mhz.

La utilización de las frecuencias anteriores, por todos los radares, tiene una indudable ventaja al no ser necesario el cambio de sintonía en el respondedor, sin embargo, es origen de la aparición de numerosas respuestas asíncronas, conocidas por “fruta” (o “fruit”) en el lenguaje aeronáutico. Estas interferencias se originan por que un respondedor contesta a todas las interrogaciones que le llegan procedentes de los varios radares cercanos. Todas estas respuestas, en la frecuencia 1,090 Mhz son asimismo captadas por todos los radares que están en la cobertura del respondedor. Para cada radar las únicas señales útiles serán las sincronizadas con su propia interrogación, mientras que las demás deberán ser rechazadas por un equipo adicional llamado defruiter (eliminador de respuestas asíncronas).

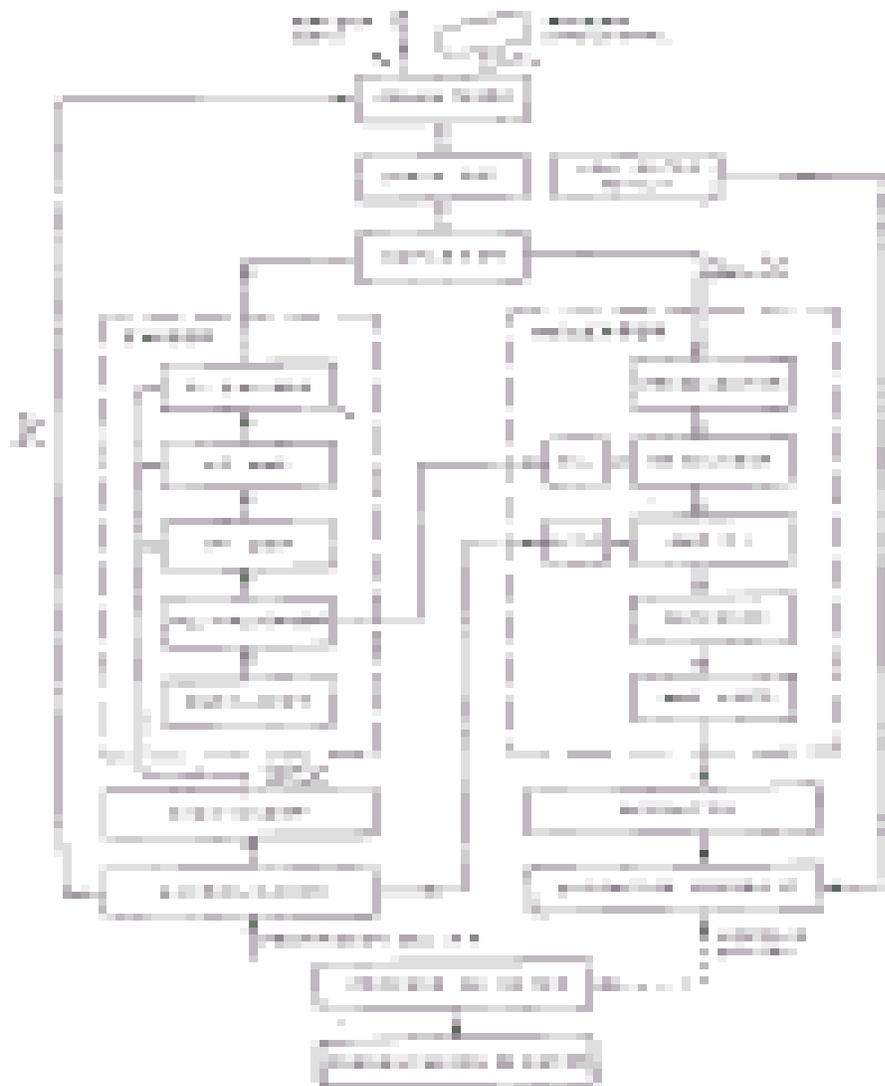
La potencia transmitida es del orden de 1 Kw., según el anexo X de OACI, llegando usualmente, los distintos equipos a alcanzar potencias de 2 Kw. o superiores. Por otra parte la sensibilidad del receptor, medida en términos de “señal mínima detectable” (MDS) y según el mismo anexo, debe ser de -88 dbm. Considerando los valores señalados de potencia transmitida y sensibilidad del receptor, el alcance máximo del radar secundario es superior a las 200 MN.

2.2.2.4 Especificación de los diferentes bloques del sistema de radar secundario

Un sistema completo de radar secundario comprende los equipos de tierra, interrogador-receptor, procesador de datos y presentación, y los respondedores de a bordo que estén bajo el radio de acción del interrogador-receptor.

Generalmente, se denomina radar al conjunto de subsistemas formado por el transmisor (o transmisores). Casi siempre se incluye como radar alguna parte de los equipos de proceso de señales y otras veces se incluye todo el tratamiento de datos y la presentación.

Figura 13. Diagrama de bloques de un radar secundario convencional



2.2.2.4.1 Sincronizador

El sincronizador es la unidad que produce los disparos de sincronismo que determinan la frecuencia de repetición de interrogaciones (PRF) y el sincronismo con el radar primario asociado, si lo hubiese.

El disparo de sincronismo puede originarse internamente en el sincronizador o recibirse del exterior, generalmente el radar primario asociado es el que ha de mantener el sincronismo. En los casos en que el radar primario sea de menor alcance que el secundario será preciso dividir el PRF del primario para obtener los pulsos de disparo del secundario con una frecuencia submúltiplo.

El pre-disparo del radar secundario ha de generarse aproximadamente 50 microsegundos antes del disparo del primario o tiempo-cero.

2.2.2.4.2 Codificador

El codificador producirá a partir del pre-disparo, los pulsos correspondientes a los modos de interrogación.

A partir del pre-disparo, el modo de interrogación producido, no es siempre el mismo. Generalmente, se programa una cierta alternancia o entrelazado de modos, de manera que la aeronave conteste de diferente forma, ya sea con una clave de identificación, ya sea de altitud, o bien, con una clave militar. Es habitual utilizar en radares de aproximación el entrelazado XXY (por ejemplo AAC) y en ruta un entrelazado XYXZ (que puede ser ACA2). En ocasiones, cada dos o tres vueltas de antena se alterna un entrelazado programado (por ejemplo, en una vuelta se emite ACC y en otra AAA).

Es de notar que el modo A debe presentarse en mayor proporción que los demás del entrelazado, ya que corresponde a la identificación y servirá para validar la presencia de blanco en el exterior.

Como ya se ha dicho, las interrogaciones se forman con los pulsos, denominados P1 y P3, cuya separación constituye el modo de interrogación (Figura 10). La duración de cada pulso es de 0.8 microsegundos siendo los tiempos de subida y bajada de 0.1 microsegundos según se especifica en el Anexo X de OACI.

Además de los pulsos P1 y P3 el codificador genera el pulso P2, retrasado dos microsegundos respecto a P1 y con las mismas dimensiones que este. La función del pulso P2, también llamado de Control, es la de eliminar la interrogación que producirían los lóbulos laterales si no existiera la función llamada de supresión de lóbulos laterales o SLS (Side Lobe Supression).

Diferentes tipos de supresión:

Supresión de la respuesta:

- a. Si es detectada una interrogación, donde; la amplitud del pulso P2 es mayor a la amplitud del pulso P1, el respondedor no responde a la interrogación. En este caso, el respondedor ha detectado que la interrogación forma parte de un lóbulo lateral y permanece insensible para toda interrogación durante 35 microsegundos.
- b. Si es detectada una interrogación, donde; la amplitud del pulso P2 es menor a la amplitud del pulso P1, entre 0 db y 9 db, el respondedor puede o no, responder a la interrogación.

- c. Si es detectada una interrogación, donde; la amplitud del pulso P2 es menor a la amplitud del pulso P1, mas allá de 9 db, el respondedor va ha responder a la interrogación. Después de transmitir la respuesta, el respondedor aplica un periodo de supresión de entre 25 y 125 microsegundos.

Esta última inhibición de la respuesta se conoce como tiempo de recuperación y obedece a la necesidad de evitar el sobrecalentamiento del transmisor; permitiendo la disipación del calor generado y la recuperación de la fuente de alimentación del respondedor.

2.2.2.4.3 Transmisor

El transmisor genera, a partir de los pulsos de modo recibidos del codificador, los pulsos de radiofrecuencia que han de ser emitidos por las antenas.

Un oscilador produce la señal portadora a la frecuencia de 1,030 Mhz. Esta señal se modula por los pulsos P1, P2 y P3 y se amplifica hasta un máximo de 2,000 watos. El Anexo X de OACI recomienda que la potencia radiada no deba ser superior a la estrictamente necesaria para cubrir el área prevista en cada emplazamiento del radar. Esto evitará interrogar a aeronaves excesivamente alejadas y reducirá las interrogaciones reflejadas.

2.2.2.4.4 Duplexor y conmutador de SLS

Las señales producidas en el emisor han de ser encaminadas a las antenas y al mismo tiempo ha de aislarse convenientemente el receptor de forma que dichas señales no penetren en el receptor ya que la elevada potencia de los pulsos transmitidos deteriorarían las primeras etapas de recepción.

Esta función la realiza el duplexor que puede ser un elemento de ferrita o bien un circuito que conmute el transmisor o el receptor a la antena mediante una puerta que habilita el paso uno u otro.

El conmutador de SLS es un circuito que encamina los pulsos P1 y P3 para ser emitidos por el diagrama direccional mientras que el pulso P2 es enviado al canal correspondiente a la emisión omnidireccional.

Cuando el radar está dotado de la función supresión de lóbulos laterales con interrogación mejorada (IISLS), entonces es preciso dividir la potencia del pulso P1 en dos pulsos P'1 y P''1 y distribuirlos, respectivamente, por ello habrá que disponer de un duplexor que divida la potencia de P1 y los correspondientes controles para encaminar cada una de las señales P'1 y P''1 por las vías y en los momentos oportunos.

2.2.2.4.5 Antenas

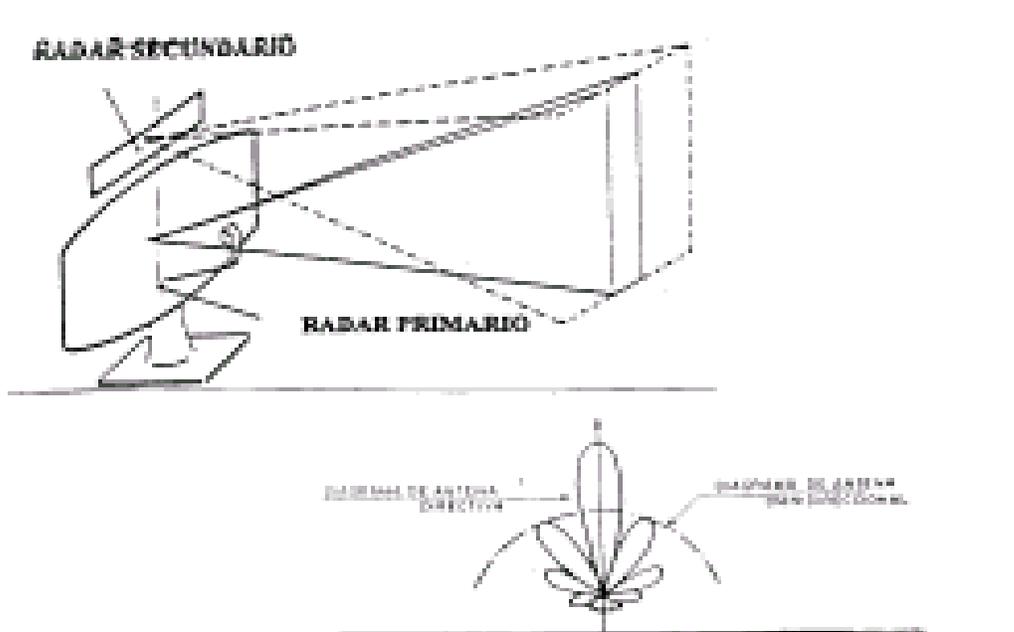
Los pulsos de interrogación han de radiarse de una forma directiva (canal suma = Σ , para transmisión y recepción) ya que la posición de la antena al recibirse la respuesta, por el mismo haz de radiación, determinará la posición del blanco en acimut. En consecuencia, el diagrama horizontal de radiación deberá ser estrecho con un ángulo aproximado de 2.5° y los lóbulos laterales de dicho diagrama deberán estar 25 db, aproximadamente, por debajo del principal. La polarización es siempre vertical.

La antena de tipo “abanico” (fan-beam), también llamada de “artesa” ha sido la más utilizada hasta los años 70, consta de ocho elementos radiantes alineados sobre un soporte de nueve metros, aproximadamente. El diagrama vertical es de 40° a 50° de anchura.

Otro tipo de antena muy utilizado en los Estados Unidos en asociación con radares primarios de banda L es la denominada NADIF.

Las antenas anteriormente descritas han de ser complementadas con una antena que produzca un diagrama horizontal de radiación omnidireccional (canal Omni = Ω solo para recepción) y por la cual se emita el pulso P2, para la función SLS. Esta antena debería instalarse en el eje de giro de la antena direccional, pero frecuentemente se sitúa sobre la barandilla de la torre de antenas o sobre la antena del secundario. (Sistema convencional de antenas Figura. 14).

Figura 14. **Sistema convencional de antenas**



Actualmente, los nuevos equipos de radar secundario se instalan con antena de gran apertura vertical LVA (Large Vertical Aperture) (También denominadas Open Planar Array: OPA).

Estas antenas constan de una formación de dipolos dispuestos en filas y columnas cuya alimentación está controlada en fase y amplitud mediante una matriz y es capaz de producir un diagrama suma (Σ), otro diferencia (Δ) y un diagrama de control, omnidireccional (Ω). Tome en cuenta que para una LVA tenemos tres canales y el único para recepción es el canal diferencia, mientras que los otros dos son tanto de recepción como de transmisión en diferencia con el sistema de antenas convencional. Estas características serán ampliadas en el nuevo sistema monopulso de radar en los siguientes capítulos. En las figuras 15, 16, y 17 se muestran los diagramas de radiación de los canales.

Todos estos diagramas permiten utilizar las antenas LVA en los radares secundarios monopulso. En los radares secundarios convencionales se utiliza el diagrama suma, para emitir los pulsos P1 y P3 y el diagrama de control, para la función SLS. El diagrama diferencia, puede ser utilizado eventualmente en la función denominada supresión de lóbulos laterales en recepción, RSLs. Una ventaja adicional de las LVA es la forma del diagrama vertical que proporciona una casi nula radiación por debajo de la horizontal.

Figura 15. **Diagrama suma**

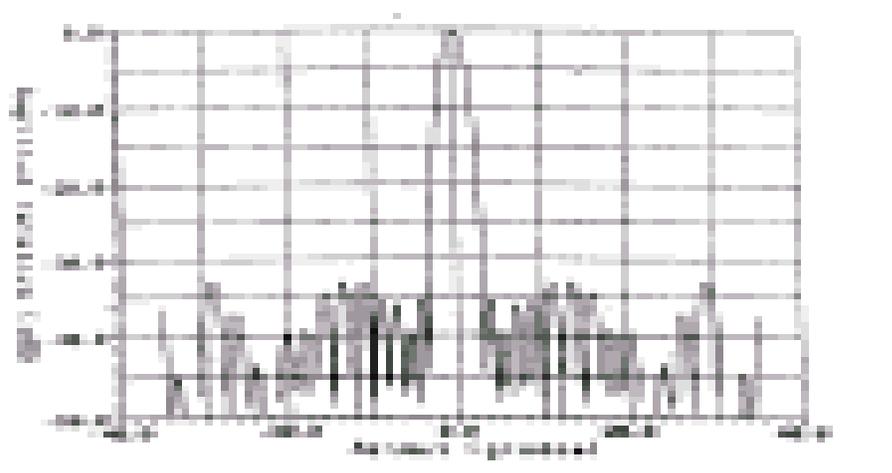


Figura 16. Diagrama omnidireccional

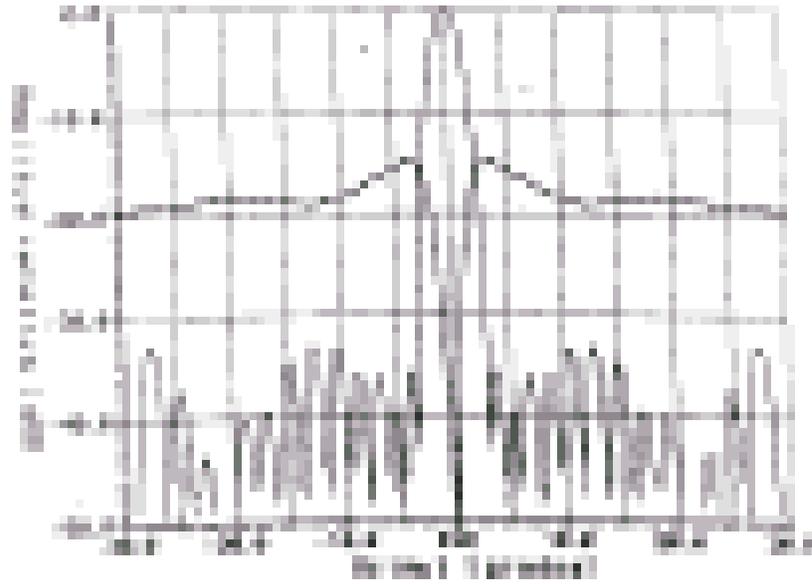
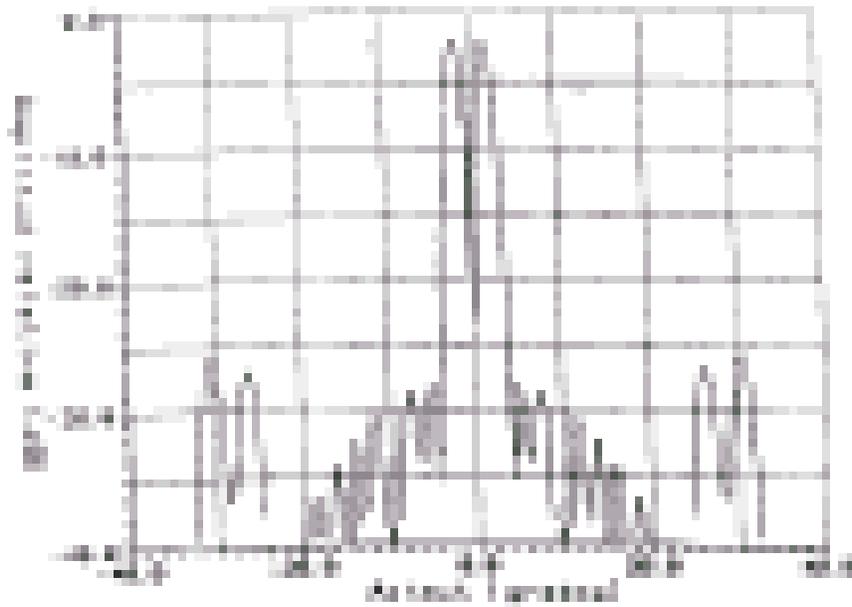


Figura 17. Diagrama diferencia



La antena direccional del radar secundario se instala sobre la antena del radar primario, cuando en la estación existen ambos, o sobre un pedestal que permita la rotación en 360 grados acimutales.

El pedestal que permita el paso de las señales desde la parte fija del mismo a la móvil, mediante la correspondiente junta rotatoria y estará dotado de cojinete, engranaje y motores necesarios para el giro.

Asimismo, asociado al pedestal existirá (en caso de no haber radar primario) un sistema que genere y envíe los datos de posición acimutal de la antena al sistema de proceso de datos e indicadores.

2.2.2.4.6 Receptor

El receptor del radar secundario debe detectar las señales de respuesta procedentes de los respondedores y amplificarlas hasta el nivel necesario para su procesado y todo ello sin distorsiones y conservando al máximo la forma de los pulsos.

El receptor puede tener como primera etapa un amplificador de radiofrecuencia de bajo nivel de ruido.

Las características principales del receptor son: superheterodino, frecuencia de oscilador local, 1,030 Mhz; frecuencia intermedia, 60 Mhz; amplificador de frecuencia intermedia dotado de un control de ganancia en función del tiempo, GTC (también llamado STC: "Sensitivity Time Control"); salida del amplificador de video de 2.5 a 4 volteos.

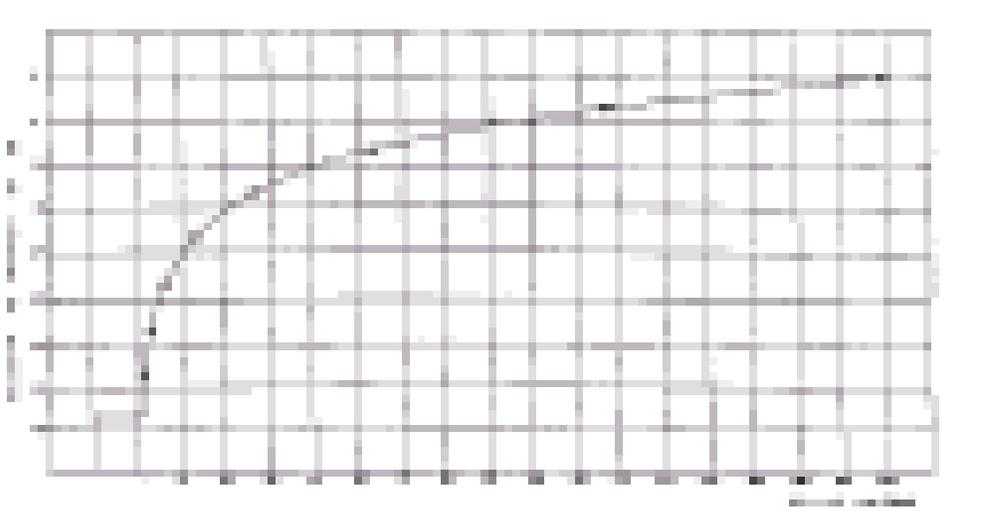
La sensibilidad o “señal mínima detectable”, MDS ha, de ser de -88 dbm, según OACI.

Otro concepto es la sensibilidad tangencial que representa el nivel de señal de entrada que produce a la salida de vídeo un nivel de señal igual al nivel de ruido.

Existe otro concepto de sensibilidad: “Sensibilidad Digital”. Es el nivel de señal requerido a la entrada del receptor para que en la salida de vídeo cuantizado, o digital, el número de pulsos se haya reducido a la mitad del número de pulsos a la entrada.

El receptor se desensibiliza durante la emisión de los pulsos P1, P2 y P3, volviendo a continuación a recuperar su sensibilidad máxima a menos que se le aplique en el amplificador de frecuencia intermedia la polarización variable que genera una ley de sensibilidad creciente y que se ha denominado curva STC. (Figura 18.)

Figura 18. **Curva STC**



La curva STC se inclina 15.36 microsegundos después del flanco anterior de P3 y se puede ajustar su origen a un nivel entre -10 y -55 db por debajo de la ganancia normal del receptor. Los problemas de exceso de señal pueden ser corregidos, en numerosos casos, mediante el ajuste de la sensibilidad con la curva STC. Antes de recurrir a modificar la curva STC es importante que la operación SLS o IISLS sea optimizada.

2.2.2.4.7 Extractor

El extractor de datos o digitalizador es la unidad que, a partir de las señales asíncronas, genera un mensaje digital que contiene información de distancia, acimut, altitud e identidad del blanco. También puede contener información auxiliar como: correlación con datos de radar primario, paridad, etc. Este mensaje se denomina generalmente "Plot".

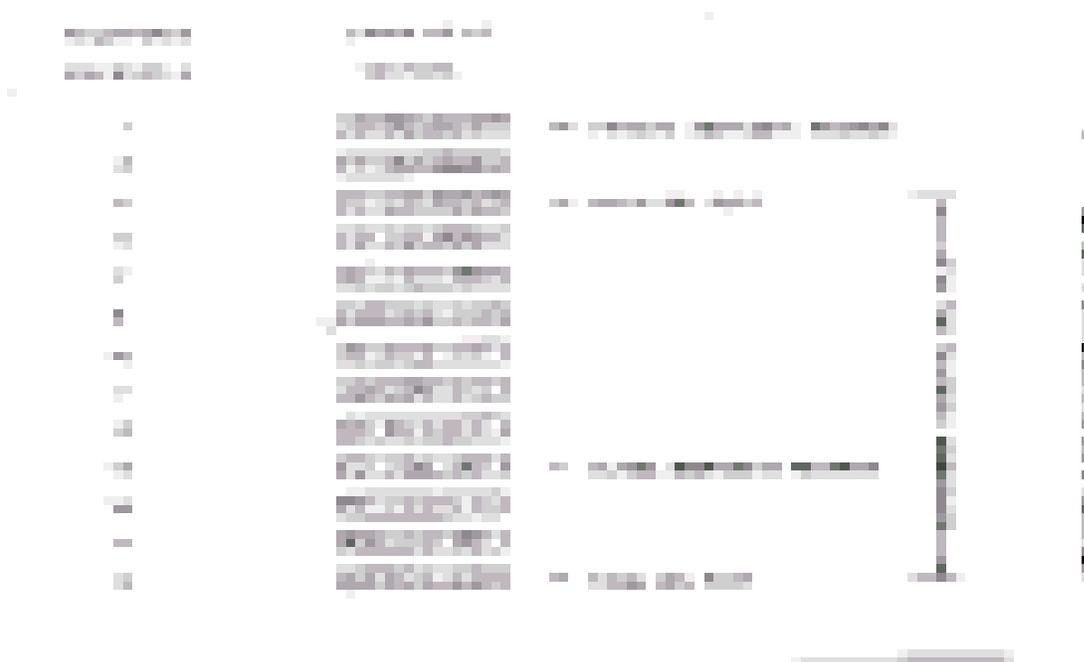
El extractor realiza varias funciones antes de producir el mensaje de salida, entre las que se pueden citar: supresión de respuestas asíncronas, si no las ha eliminado el circuito correspondiente (Defruiter), eliminación o indicación de situaciones de solape de respuestas (Garbling), combinación de respuestas en un solo mensaje (Plot), eliminando las posibles carencias de respuestas, supresión de respuestas falsas causadas por lóbulos laterales y reflexiones.

Si bien la realización práctica de un extractor puede responder a distintos tipos de diseño, los extractores más comunes corresponden a la técnica llamada de ventana deslizante.

La unidad denominada extractor de plot realiza la función de extracción propiamente dicha. Consiste en la comprobación de la existencia de un blanco a una determinada distancia y en un determinado acimut.

Esta comprobación se realiza por el método de la ventana deslizante. Este método consiste en crear una ventana electrónica que explora en una determinada célula de distancia la presencia de respuestas al modo A. La ventana deslizante consta de un determinado número (n) de posiciones. Cada vez que aparece una respuesta al modo A, a una distancia determinada la ventana carga un uno (1) y un cero (0) en caso de que en la recurrencia correspondiente no aparezca ninguna respuesta. Los unos y ceros se van desplazando por las posiciones de la ventana hasta ir saliendo de ella. El criterio de extracción tiene dos fases, la primera establece la iniciación del Plot cuando se ha cumplido una existencia mínima de ceros y unos en la ventana; por ejemplo, cuando hay por primera vez tres unos se establece el inicio. La terminación del plot debe atender a otro criterio; por ejemplo, que disminuya por debajo de un mínimo el número de unos. La figura 19, ilustra un ejemplo de la carga, inicio y final de un plot.

Figura 19. **Ilustración de una carga en inicio y final de un plot**



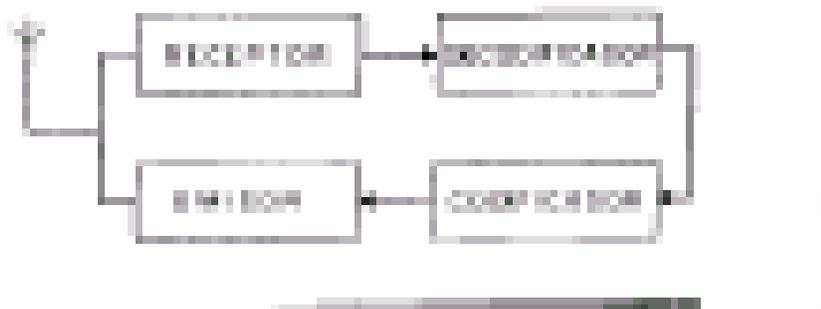
Este hecho es el que ha movido al desarrollo de los sistemas de radar secundario de la técnica de ventana deslizante, a la técnica monopulso para la extracción de plot. Dicha técnica proporciona una gran exactitud en la posición de acimut obtenida.

Por último, la unidad denominada generador de plots tiene como función la de asociar los códigos de identificación y altitud y con todos estos datos formar el mensaje digital que ha de ser enviado a los subsistemas de tratamiento y presentación de datos.

2.2.2.5 Respondedor

Como se ha dicho anteriormente, el radar secundario como sistema se completa con el equipo de a bordo de la aeronave, que después de recibir las interrogaciones de equipo de tierra, emite las respuestas que proporcionan la posición del avión y los códigos de identificación y altitud. El equipo de a bordo, generador de respuestas es denominado respondedor o en ingles transponder. (Figura 20)

Figura 20. **Equipo denominado respondedor**



Las partes de un respondedor se describen a continuación

2.2.2.5.1 Receptor

El receptor del respondedor debe detectar las señales de interrogación procedentes del equipo de tierra y amplificarlas hasta el nivel necesario para su procesado.

Las características principales del receptor son: superheterodino, frecuencia del oscilador local, 1,030 Mhz; frecuencia intermedia, 60 Mhz; control del número de respuestas, circuito discriminador de anchura de pulsos, circuito discriminador de amplitud y SLS, amplificador de video y circuito de control de salida de vídeo al decodificador.

En relación con la sensibilidad del receptor se define como nivel mínimo de disparo del respondedor, MTL, (minimum triggering level) el nivel de entrada de pulsos de interrogaciones correctas a la cual se genera el 90% de respuestas. Se entiende por interrogaciones correctas aquellas en las que los pulsos P1 y P3 con de la misma amplitud y P2 no es detectado. El valor de la sensibilidad o MTL deberá estar entre -69 dbm y -77 dbm, que será el nivel de las señales en el extremo próximo a la antena de la línea de transmisión que une aquella con el receptor.

Cuando el número de interrogaciones recibidas por el respondedor es muy elevado y en consecuencia el número de respuestas se aproxima al máximo tolerado por el transmisor, el circuito limitador del régimen de respuestas desensibiliza el receptor con objeto de que éste no capte aquellas de menor intensidad y que proceden de radares mas alejados.

La sensibilidad del receptor se reduce más a 3 db y se produce cuando el número de respuestas se aproxima al 90 por ciento de un límite ajustable y que suele ser de 1,200 respuestas por segundo.

Muchos respondedores están dotados de un control manual que permite, mediante un conmutador seleccionar alta o baja sensibilidad. Moderadamente, esta posibilidad está siendo eliminada de los respondedores.

2.2.2.5.2 Decodificador

El decodificador deberá, a partir del vídeo recibido del receptor, permitir al codificador generar la respuesta correspondiente al modo detectado por el decodificador. Por tanto, el decodificador tiene que determinar el modo de interrogación recibido mediante la medida de la separación de dos pulsos consecutivos, 8 ó 21 microsegundos según se trate del modo 3/A ó el modo C, respectivamente.

Para realizar la función de identificación del modo, el respondedor cuenta con un circuito principal para el modo A y otro circuito principal para el modo C, además, dispone de otros dos circuitos secundarios para cada uno de los modos.

Al llegar un primer pulso de interrogación a cada uno de los circuitos principales, se inicia el proceso de decodificación del modo. Al llegar un segundo pulso, y dependiendo de su separación respecto al anterior, se completa la decodificación en uno de los circuitos, inhibiéndose el otro durante 35 microsegundos, al mismo tiempo, se envía al codificador la orden de generar la respuesta correspondiente al modo identificado.

2.2.2.5.3 Codificador

La función del codificador es producir los grupos de pulsos que compondrán las respuestas y que modularán la radiofrecuencia del transmisor.

Al codificador llegan, del decodificador, las señales que indican el modo de la interrogación detectada por el receptor.

Si se trata de un modo de identificación (por ejemplo el modo 3/A) la respuesta contendrá el código previamente seleccionado manualmente. Si se desea que la respuesta contenga también el pulso especial de identificación, SPI, este habrá de ser seleccionado manualmente mediante, el mando correspondiente.

Si el modo de interrogación recibido es el modo de altitud, C, entonces la respuesta se configurara a partir de los datos de altitud que automáticamente envía el altímetro cuando no existen datos de altitud la respuesta será 0000.

2.2.2.5.4 Transmisor

El transmisor genera, a partir de los pulsos de respuesta recibidos del codificador, los pulsos de radiofrecuencia que han de ser emitidos por la antena omnidireccional.

Un oscilador produce la señal portadora a la frecuencia de 1,090 Mhz. Esta señal es modulada por los pulsos de respuesta y amplificada hasta el nivel adecuado.

La potencia transmitida, medida en el extremo de la antena de la línea de transmisión que une dicha antena con el transmisor, será de 51 dbm, por lo menos, para aeronaves que operen a niveles superiores a 15,000 pies, y de 48.5 dbm, por lo menos, para aeronaves que operen en niveles inferiores.

La potencia transmitida nunca será superior a 57 dbm. Para una mejor aclaración, el respondedor responde a 500w primeramente y alternativamente en zonas de muchos radares a 250w. El alcance varía según la potencia del respondedor.

2.2.2.6 Cobertura del radar secundario

2.2.2.6.1 Enlace tierra/aire

El alcance teórico calculado para la interrogación del radar secundario puede verse modificado por el suelo y los objetos existentes en las inmediaciones del emplazamiento del radar. En efecto, el diagrama de radiación puede presentar una Lobulación vertical (formación de lóbulos por efecto del suelo) más o menos acusada, lo que dará lugar a zonas de pérdidas de blancos y zonas de mayor alcance en las que pueden aparecer blancos de segunda vuelta. Asimismo, la curvatura terrestre y las elevaciones y edificaciones próximas al radar producirán sombras en determinadas zonas. Por último, las características de los alrededores pueden producir reflexiones, es decir, desviaciones en la trayectoria de las señales de interrogación dando lugar a falsos blancos.

El margen de ganancia del enlace tierra/aire para un respondedor situado a la distancia máxima será nulo ya que por definición, el alcance máximo corresponde a la señal de interrogación mínima recibida en dicho respondedor.

Como consecuencia de todo lo anterior, el enlace tierra/aire debe ser comprobado y ajustado mediante un vuelo de prueba del radar.

2.2.2.6.2 Enlace aire/tierra

Un margen importante antes de continuar es el denominado margen de ganancia que no es mas que la diferencia entre el nivel de señal recibido realmente y el nivel de señal mínimo necesario para la detección.

El margen de ganancia para el enlace aire/tierra con respecto al respondedor situado a la distancia máxima será positivo, en principio, ya que la sensibilidad del receptor de tierra es superior a la del respondedor (-85 dbm y -69 dbm, respectivamente). El valor mínimo del margen de ganancia aire/tierra deberá ser, al menos, de 6 db. Si una aeronave se acerca radialmente hacia el radar, el margen de ganancia aire/tierra aumentará en 6 db cada vez que la distancia se divida por dos.

Asimismo, el margen de ganancia del enlace tierra/aire aumentará en la misma proporción.

La falta de ajuste de la sensibilidad en el receptor del equipo de tierra puede dar lugar a diversos problemas:

- a. Pérdida de Blancos, si la sensibilidad es demasiado reducida
- b. Blancos Falsos, pulsos de anchura superior a la normal
- c. Blancos Partidos, si la señal tiene un nivel excesivo

2.2.2.7 Detección de blancos

2.2.2.7.1 Sistema ideal de radar secundario

Un sistema de radar secundario se compone del interrogador-receptor y antenas del equipo de tierra (radar secundario), el respondedor de a bordo y los sistemas de proceso y presentación de datos.

El sistema ideal de radar secundario será aquel que presente la información de cada una de las aeronaves dotadas de respondedor que están en el espacio de cobertura del radar, con precisión en la posición y exactitud en los códigos de identificación y altitud, evitando falsos blancos.

2.2.2.7.2 Sistema real de radar secundario

El funcionamiento de un sistema de radar secundario no corresponde necesariamente a las características expuestas para un sistema ideal. Diversos factores tales como las características físicas del emplazamiento del interrogador-receptor, número de radares secundarios trabajando en el área, ajustes de los equipos, etc.; modificaran los resultados obtenidos, influyendo en la precisión, decodificación, etc.; y siendo necesario, en determinados casos, buscar un compromiso entre las ventajas e inconvenientes que se producen en el sistema.

Entre los factores que hay que considerar por su influencia en la detección y presentación de blancos hay que citar los siguientes.

- a. **Interrogaciones por vuelta.** El número de interrogaciones por vuelta depende de la frecuencia de repetición (PRF) y de la anchura del haz de la antena direccional, pero el tamaño del haz, a su vez, depende de los niveles de potencia transmitidos por las antenas Omni y direccional.

- b. **Longitud del blanco.** Está el número formado por respuestas que debe emitir un respondedor en una pasada de antena. La longitud del blanco depende de las potencias emitidas por las antenas Omni y direccional, la curva STC, el emplazamiento del radar, la actitud (o posición respecto al radar) de la aeronave, así como la distancia y altitud de la misma.

- c. **Confiabilidad del blanco.** Se llama confiabilidad del blanco a la probabilidad de obtener una respuesta del respondedor cuando se emite una interrogación. La confianza depende de: la potencia de la interrogación, la frecuencia de repetición, los diagramas de antenas, la sensibilidad del respondedor, la utilización de SLS o IISLS, las características del sistema de supresión del respondedor y, por último, el número y situación de los radares secundarios de la zona.

- d. **Entrelazado.** El radar secundario generalmente, interroga en el modo de identificación 3/A y en el modo de altitud C. La secuencia con que se producen estas interrogaciones se denomina entrelazado.

- e. **Respuestas asíncronas.** Se llaman respuestas asíncronas a aquellas que llegan al radar secundario pero que han sido originadas por interrogaciones procedentes de otros radares.

- f. **Influencia del emplazamiento.** La situación geográfica del radar, la altura sobre el suelo e inclinación de la antena direccional y las estructuras y obstáculos próximos pueden dar lugar a espacios ciegos por apantallamiento y por lobulación vertical del diagrama de radiación. Por el contrario, pueden obtenerse falsos blancos por efecto de las interrogaciones reflejadas.

2.2.2.8 Problemas del radar secundario “SSR”

Los sistemas de radar secundario pueden producir y presentar datos correspondientes a blancos, cuya posición real en el espacio no corresponde con la posición en que aparecen en el indicador. Estos falsos blancos son presentados frecuentemente, al mismo tiempo que los blancos verdaderos situados en el acimut y distancia correcta.

Los problemas característicos del enlace entre los equipos de tierra y en barco son:

- La falta de detección de aeronaves.
- Los errores de decodificación por interferencias de respuestas.
- Los errores de decodificación por multisenda.
- Las insuficiencias inherentes del sistema.
- Otros problemas.

Tabla II. **Perdida de detección de aeronaves**

<i>DENOMINACION</i>	<i>IDENTIFICACION</i>	<i>MOTIVO</i>	<i>SOLUCION POSIBLE</i>
Obstáculos en la línea vista	Zonas ciegas en el radar	La EEM es obstaculizada	Reubicación de la estación SSR
Alcance óptico.	Distancia superior a 250 MN.	Aviones fuera del haz óptico	Mas instalaciones de SSR
Ocultación temporal de la antena	Perdida de blancos en áreas de maniobras	Antena receptora oculta a la línea vista de la antena en tierra	Reubicación o antenas duales para el respondedor
Cono de silencio	Pérdida de blancos y errores de posición en prox de estación	No llega señal a los ángulos verticales elevados	Instalar otros radares y procesamiento multirradar
Inhibición del respondedor	Perdida de blancos aleatorios	Colisión entre las interrogaciones que proceden de diferentes interrogadores.	Menos densidad de SSR ó disminuir el PRF de estaciones en áreas afectada
Lobulación vertical	Pérdida de blancos a ángulos determinados.	Nulos del diagrama de radiación vertical	Antenas de apertura amplia vertical (LVA)
Pérdidas por Tilt. (Inclinación de antena)	Pérdida de blancos a baja altura.	Falta de EEM en ángulos bajos	Realignar el ángulo de inclinación de la antena

Tabla III. **Errores de decodificación por interferencias de respuesta**

<i>DENOMINACION</i>	<i>IDENTIFICACION</i>	<i>MOTIVO</i>	<i>SOLUCION POSIBLE</i>
Respuestas falsas. (Fruit)	Aparecen blancos con variación de la distancia y códigos. Distancia errónea y acimut correcto	Aeronaves en zonas cubiertas por varios radares	Comparando las distancias de todas las respuestas recibidas eliminando aquellas con grandes diferencias. Equipo defruiter y calibrar el PRF
Garbling (Solapamiento), proximidad entre naves	Respuestas con error de código	Solapamiento del intervalo de tiempo de acceso correspondiente a varias respuestas	Inst. radares de buena resolución en distancia y ángulo. Tener un buen procesamiento de datos
Partición de respuestas al revés (Split)	Blancos próximos con los mismos códigos	Estrategia de extracción de plots del procesador de video	Cambiar criterio de extracción de plots Activar el I/P = SPI
Respuestas de segunda vuelta	Blancos próximos con el mismo código que otros más distantes	Recepción de respuestas de la interrogación anterior	Disminuir el PRF o reajustar la curva STC

Tabla IV. **Problemas relativos a efectos multisenda**

<i>DENOMINACION</i>	<i>IDENTIFICACION</i>	<i>MOTIVO</i>	<i>SOLUCION POSIBLE</i>
Anillos. (Ring-Around)	Anillos concéntricos en pantalla con vídeo bruto.	Interrogación y recepción por los lóbulos laterales.	SLS, Disminución de potencia, ajuste de curvas STC.
Reflexiones por lóbulos secundarios	Blancos falsos en posición que no corresponde a ninguna aeronave	* Presencia de reflectores en el entorno de la estación	* ISLS, RSLS, materiales absorbentes, y ajuste sectorial de potencia
Reflexiones por lóbulo principal.	Blancos falsos en el mismo acimut	*	*

Muchos de estos problemas son insignificantes con el empleo de la técnica monopulso. El radar secundario convencional ha abierto la posibilidad posterior a la mejora con la técnica monopulso a un sistema de interrogación selectiva con un enlace de datos entre el equipo de tierra y el de a bordo, llamado modo S.

3. ESTUDIOS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN SISTEMA DE RADAR Y CENTRO DE CONTROL

3.1 Datos generales

En el momento que se inicia el estudio de emplazamiento primeramente y para mejor control y clasificación, hay que tomar en cuenta que nombre se le dará a la estación para una mejor descripción y el tipo de sistema que será instalado para tener una mejor idea del lugar adecuado y el fin que persigue para un mejor rendimiento.

3.1.1 Nombre de la estación

El nombre que reciba el sistema de radar puede dividirse en centro de control y estación radar, es decir cabecera radar (ubicación de Antena) y esto conformara en sí el sistema de radar. Comúnmente, la estación recibirá el nombre del lugar escogido. Normalmente, así se nombran a menos que exista alguna estación existente en el mismo lugar o si por algún motivo se nombrara con un nombre propio.

3.1.2 Tipo de sistema

Según las necesidades a cubrir, así debe ser el tipo de sistema a instalar, tomando en cuenta una visión futurista en la rama o el proyecto a considerar. El tipo de sistema escogido será clave para un estudio del emplazamiento del mismo y todas las condiciones que éste conlleve.

3.2 Descripción física

La descripción física de la región escogida para un emplazamiento persigue como fin primordial, el identificar datos de interés como lo son los datos cartográficos, las disposiciones del emplazamiento en esa área, las características del terreno, y los datos meteorológicos normales de esa región.

3.2.1 Datos cartográficos

Lo primordial en todo estudio sobre emplazamiento es la recopilación de información ya existentes o actualizarla mediante algunos métodos. Los mapas disponibles es el primer paso para conocer el área o región posible según las características funcionales que queremos nos dé el sistema radar.

Además de los mapas obtenemos información de las cartas aeronáuticas, cartas de triangulación, y otros tipos de cartas.

Al poseer toda esta información se debe de hacer un reconocimiento aéreo y terrestre para conocer el lugar y darle una categoría (un porcentaje de fiabilidad a todas nuestras necesidades) que posteriormente será comparado con otros lugares visitados.

Para todo reconocimiento deben ser tomadas las coordenadas precisas por medio de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para así conocer las latitudes y longitudes exactas de la región y comparar con los parámetros de eficiencia que el fabricante del sistema de radar nos proporcione para conocer el rendimiento del sistema en esa área.

Teniendo las coordenadas y un reconocimiento visual conjuntamente con mapas tendrá datos importantes, como la elevación del emplazamiento sobre el nivel del mar, dato muy importante para la efectividad del trabajo del radar y todas las pendientes máximas y mínimas colindantes a nuestra área de emplazamiento.

3.2.2 Disposición del emplazamiento

Un factor importante de la descripción física del lugar es la disposición del emplazamiento, el cual cubre mapas topográficos, mapas de contorno, fotografías, descripciones de fotografías, y panorámicas del lugar escogido para el emplazamiento.

Con los mapas topográficos podemos elaborar los estudios respectivos y buscar las mejores áreas tanto para la torre de antena y el área recomendada para edificios. Los mapas de contorno nos ayudan a tener una mejor visión del área a cubrir con una recomendación de un radio de 300m y se podrá sacar gracias a un teodolito y una brújula la carta del perfil del terreno. Las fotografías ayudan a tener una mejor idea del lugar teniendo que sacar fotografías aéreas, filmaciones de video, y fotografías generales del sitio escogido. Otro dato importante será el de recabar una descripción fotográfica total de cualquier estructura existente en las inmediaciones del sitio; es recomendable que no exista ninguna estructura cercana. Y por último, la panorámica del sitio, fotografías tomadas desde el punto donde estará el foco de la antena; se acostumbra tomar fotografías con referencia al norte en un trípode y giro de 30° a 45° para cada foto hasta conformar la panorámica de la antena.

Figura 21. Disposiciones de los emplazamientos



Figura 22. Disposiciones de los emplazamientos

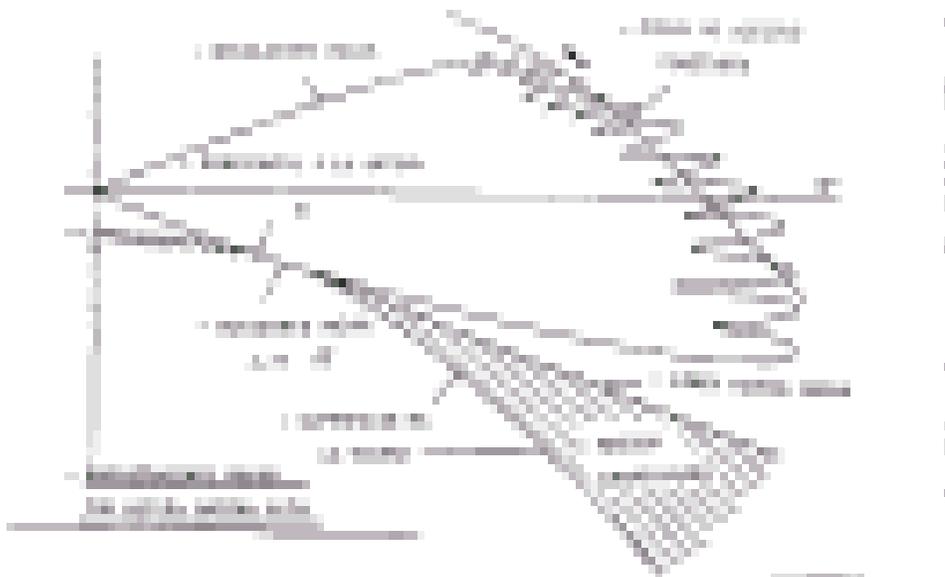
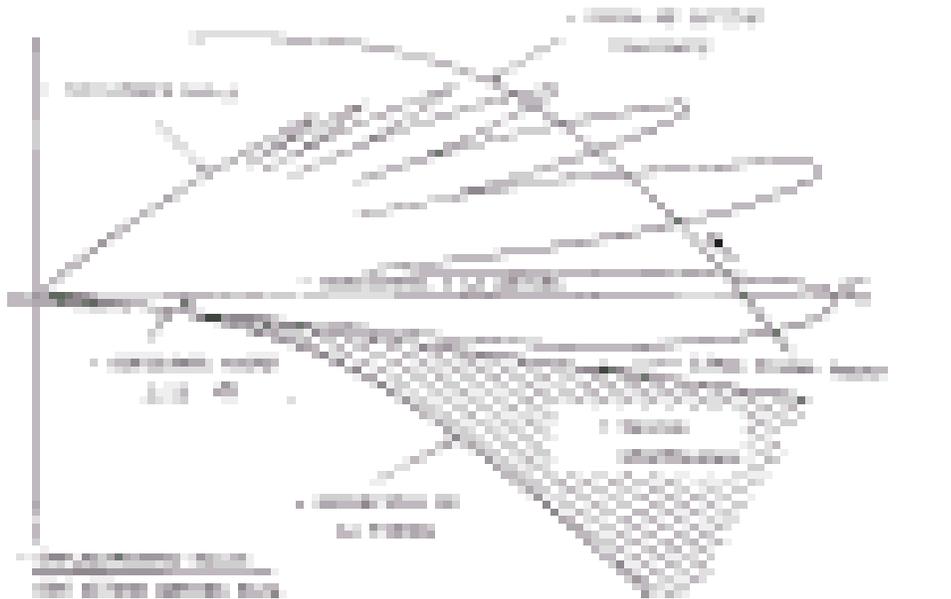


Figura 23. Disposiciones de los emplazamientos

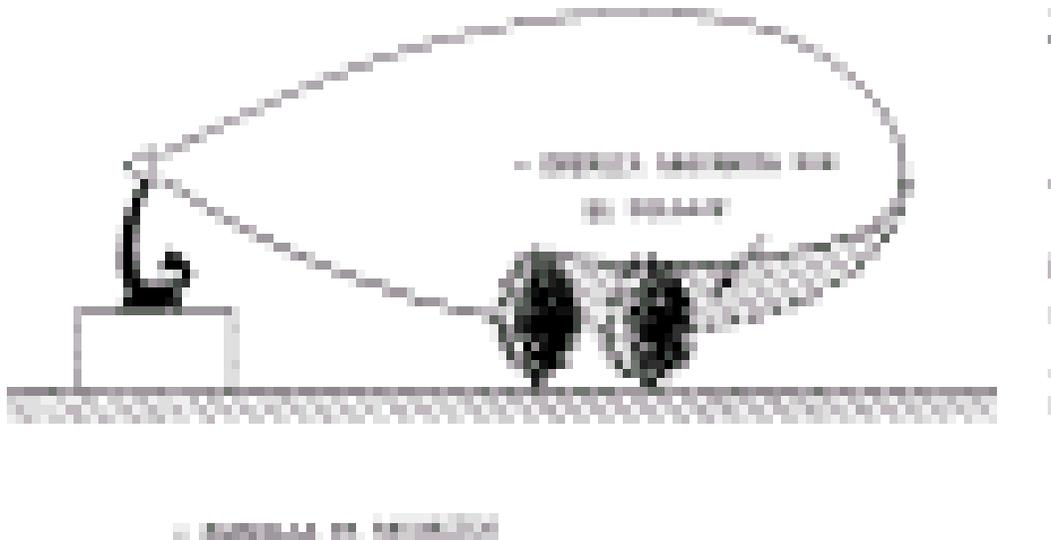


3.2.3 Aspectos y características del terreno

Entre los aspectos y características del terreno por considerar son: la descripción general del suelo, información de reconocimientos del suelo, y características distintivas de áreas.

En la descripción general nos basamos en estudios profesionales de las condiciones del suelo y observaciones geológicas. Todo lo anterior está basado gracias a información obtenida a partir del reconocimiento geodésico del lugar, y así, terminar el área de operaciones, el área de la torre de antena radar, los caminos de acceso y algo muy importante a tomar en cuenta a futuro como lo serán las áreas de futuras expansiones.

Figura 24. Efecto de apantallamiento de absorción por terreno



3.2.4 Datos meteorológicos

El clima en el lugar del emplazamiento tiene mucha importancia para el buen funcionamiento de nuestro radar. Los datos meteorológicos obtenidos de un servicio meteorológico, de una evaluación meteorológica en el sitio, y observaciones narrativas; coadyuvarán a conocer mejor el clima persistente en aquella región.

Los datos obtenidos del servicio meteorológico nos ayudaran a conocer: temperaturas promedios y extremas, precipitaciones fluviales promedio y extremas, humedad, nieve, escarcha y condiciones de congelamiento, direcciones del viento, velocidades promedio y extremas del viento, y un perfil estacional (perfil climático de cada una de las estaciones).

Posteriormente, tenemos una evaluación meteorológica en el sitio, la cual, se basa en información obtenida de fuentes locales como de observaciones directas en el sitio. Por último, se tienen las informaciones narrativas de las influencias de las condiciones climáticas sobre: las construcciones, sistemas operativos, y personal.

3.3 Evacuación de las características de propagación

En el momento de escoger un sitio para el emplazamiento, debemos de evaluar las características de propagación que nos brinde el sitio escogido. Entre los factores que se deben tomar en cuenta tenemos: saber qué sistemas involucrados tendremos, evaluaciones técnicas de rendimiento del sistema en fábrica que cumplan nuestras expectativas en el sitio, determinarse los ángulos de apantallamiento, un estudio de la lobulación vertical, extensión del clutter, comparación entre datos de mapas y datos en el campo, y comparaciones entre cobertura real y los requerimientos necesarios.

3.3.1 Sistemas involucrados

Conociendo las características descritas para un radar primario y un radar secundario en el capítulo anterior, podemos tomar una evaluación adecuada del buen rendimiento de estos sistemas.

De igual forma tenemos en algunos casos enlaces de fibra óptica y microondas para el manejo de comunicaciones (dato de voz) y datos radar que complementan una mejor interconexión con otros sistemas afines para el buen funcionamiento. Y por último, podemos citar otros sistemas como lo serian los grupos electrógenos (donde incluimos todo lo que involucra subestaciones eléctricas, transformadores, UPS's, plantas de emergencia, etc.), sistemas contra incendios, sistemas de aire acondicionado, etc.

3.3.2 Evaluación técnica

Debemos considerar dos factores en la evaluación técnica de las características de propagación del sistema; el primero sería la descripción del terreno, y la segunda sería la altura efectiva de la antena.

- a. Un reconocimiento evaluativo para tener una descripción del terreno a los fines de propagación de nuestro sistema.
- b. Constatar la altura efectiva de la antena de radar para una evaluación técnica de propagación con respecto a la altura de la antena más el terreno y altura de la antena más la elevación sobre el nivel del mar.

3.3.3 Determinación del ángulo de apantallamiento

Se podrá tener un calculo del posible ángulo de apantallamiento de nuestro sistema tomando en cuenta: los datos obtenidos en el sitio, cartografía, fotografías panorámicas, diagramas de visibilidad, formulas, etc. Todo ello para tener un margen comparativo con los datos del fabricante del sistema a emplazar.

Figura 25. Efecto de apantallamiento sobre cobertura

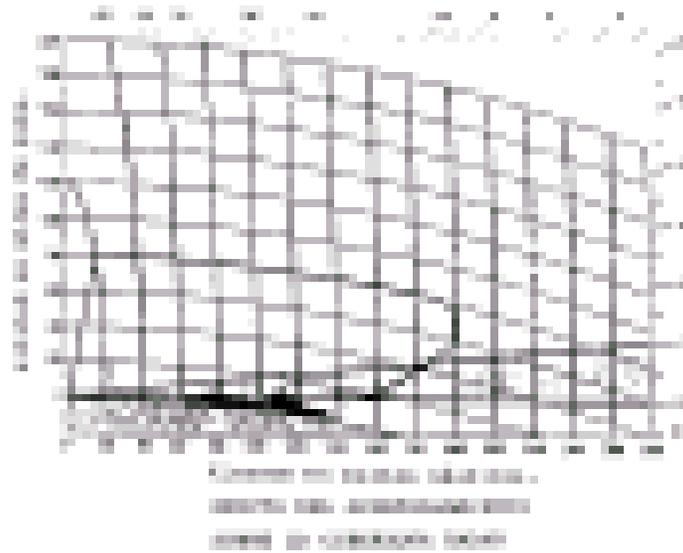
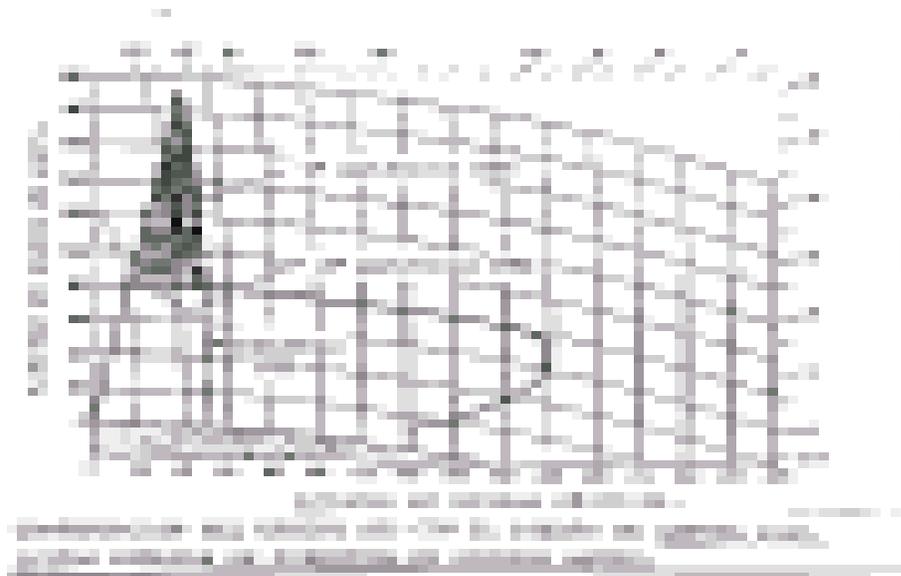


Figura 26. Efecto de apantallamiento por obstáculo

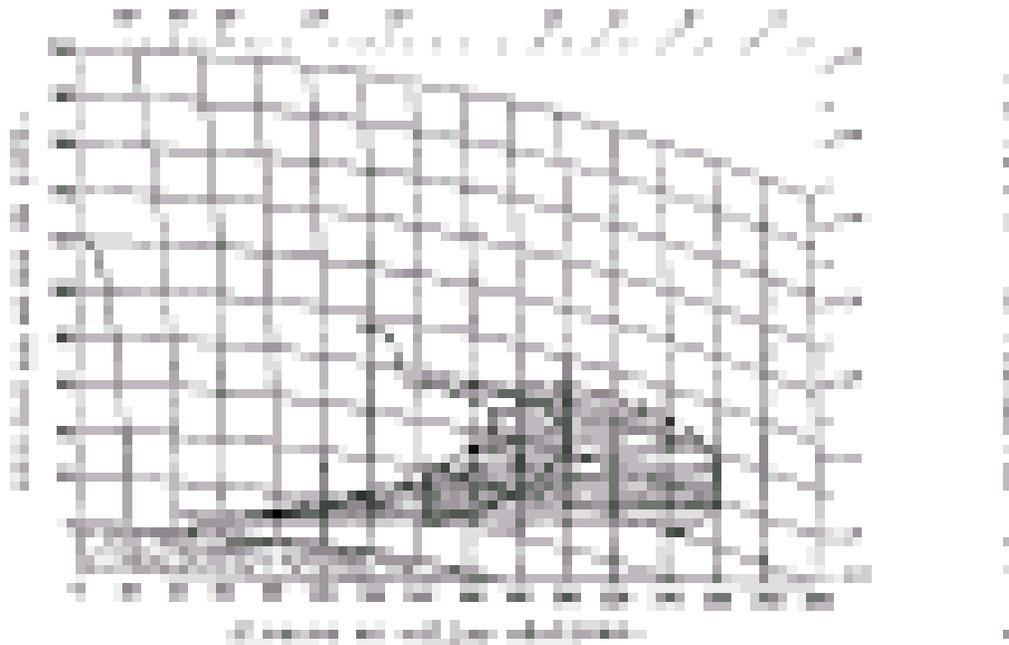


3.3.4 Estudio de la lobulación vertical

Teniéndose todas las especificaciones de la antena a instalar en nuestros sitios propuestos como emplazamiento podemos hacer el estudio de la lobulación vertical apoyándonos en: el calculo de la extensión y ángulo de elevación para los dos primeros nulos, considerando los ángulos de inclinación de antena sugeridos y la descripción del terreno en función de la rugosidad, y las cualidades de absorción de energía electromagnética.

En la figura 27 presentamos un ejemplo típico del efecto de la lobulación sobre la cobertura radar.

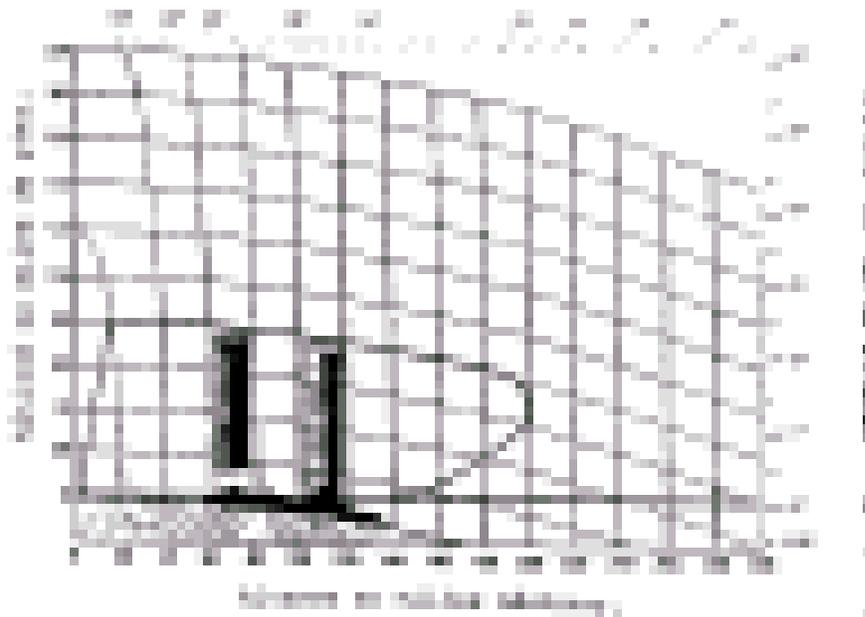
Figura 27. **Efecto de la lobulación sobre la cobertura radar**



3.3.5 Extensión del clutter

Sobre la base del posible lugar del emplazamiento hay que considerar los efectos actuales como futuros de clutter en la región y su extensión. Hay que considerar los posibles clutter como lo son los terrestres y los marinos. En la figura 28 se ejemplifica del efecto de clutter terrestre sobre la cobertura.

Figura 28. **Efecto de clutter sobre la cobertura**



3.3.6 Comparación de datos

En este proceso no es más que la comparación de los datos derivados de mapas y las observaciones realizadas en el campo.

3.3.7 Comparación de diagramas operativos

En este proceso se comparan los diagramas de cobertura reales con los requerimientos.

3.4 Acceso al sitio y transporte

Un factor importante del sitio escogido será el acceso de entrada para la facilidad y rapidez en el momento de la llevada de materiales de construcción de la obra, traslado del equipo, y el transporte que se tiene en el sitio para el movimiento del personal que será encargado de la construcción del edificio y la implementación de los equipos.

3.4.1 Calles de acceso

Al escoger un posible sitio, se debe de analizar las calles de acceso, ya que por ser lugares remotos no están asfaltadas y son calles muy angostas; y si se tiene suerte serán calles de terrasería. Se deben identificar los caminos que comunican el sitio a rutas primarias, y una disponibilidad de transporte comercial.

La infraestructura vial será un factor a tomar en cuenta, ya que si el lugar presenta mal acceso se deberá integrar al precio del proyecto la reparación, ampliación, y si fuere posible la pavimentación del acceso al sitio escogido.

3.4.2 Acceso ferroviario, marítimos, o aéreos

Todo acceso al sitio debe ser importante, ya que será un lugar logístico de suma importancia y el tener alternativas de acceso por alguna emergencia ayuda a dar más seguridad y confiabilidad al sistema. También debe tomarse en cuenta las consideraciones climáticas relacionadas con el acceso.

3.4.3 Acceso a dependencias de la administración local

Se debe tener acceso fácil a todas las dependencias administrativas locales para tener una mayor fluidez en aspectos de licencias de construcción de la obra, vecinales, caminos, energéticos, servicios básicos esenciales, etc.

3.4.4 Acceso a las comodidades para técnicos

Se debe de considerar el acceso a las comodidades destinadas al personal operativo y técnico, estas comodidades podrían ser desde un buen lugar de descanso, lugares cercanos para comprar comida, seguridad, instalaciones sanitarias, equipamiento básico para calentar o enfriar alimentos, etc.

Estas comodidades destinadas para el personal operativo y técnico varían según sea el caso, ya que para una cabecera radar las comodidades se reducen al personal de guardianía que permanece en el lugar 24 horas y el personal técnico que es esporádico en el lugar. Caso particular en el centro de control donde la comodidad se hace igual para técnicos y personal operativo de turno.

3.5 Estado real

El estado real se refiere en si a la situación del lugar virgen, como lo sería la extensión real del terreno, los posibles mejoramientos que tiene, situación del propietario actual, existen escrituras de propiedad, esta o no habitado el lugar, si posee energía eléctrica y que capacidad, agua potable, algún tipo de construcción, etc.,.

3.5.1 Extensión en área de la tierra escogida

Se debe de tomar en cuenta que extensión es necesaria para el edificio y torre de antena (cabecera radar), o simplemente edificio y torre de control (centro de control). Se debe recomendar lugares planos ya que si son faldas de montañas los trabajos aumentan y por consiguiente el costo.

Con un previo estudio y planos de lo que se construirá se podrá calcular si el terreno escogido cumple con la necesidad de extensión requerida.

3.5.2 Mejoramientos requeridos

Todo mejoramiento que requiera la extensión de tierra elegida trae consigo un mayor costo y mayor tiempo de trabajo. Se dicen costos menores si el punto escogido trae una efectiva cobertura del sistema y llena todas las expectativas técnicas.

3.5.3 Propiedad de la tierra

El saber o conocer al propietario es un paso muy importante en el momento de la negociación.

Los datos del propietario y/o agente/representante facilitan el trabajo administrativo, ya que se tienen los datos verídicos de la situación legal del terreno. Se conocerá también la utilización corriente del terreno, ó sea si se mantiene ocupado (por sus dueños o alquilado) o libre.

3.5.4 Descripción de mejoras del terreno

Debe darse una descripción de todas las mejoras que tenga el terreno, que en nuestros fines sean de ventaja o de ahorro de costos. Por ejemplo, que tenga agua, energía eléctrica, calles de acceso fácil, teléfono, etc,.

3.5.5 Descripción de requerimientos adicionales

Debemos de considerar y tomar nota de todas las necesidades que faltan en el terreno ya que todo ello llevara a un mayor costo. Por ejemplo, que necesite introducir agua potable, acometidas eléctricas, reparación de calles de acceso, líneas telefónicas, etc.

3.6 Utilidades

Las utilidades necesarias para un centro de control y cabecera radar para un cumplimiento de eficiencia y aprobación de sitio de radar, debe de comprender entre otras razones de energía eléctrica, agua, sanitarios, comunicaciones, etc.

3.6.1 Energía eléctrica

Se debe conocer la empresa generadora y sus normas; los puntos de acometidas que serán necesarios; confiabilidad del servicio eléctrico en esa región; y que capacidad de servicio puede prestar la empresa generadora.

3.6.2 Agua

Se debe conocer la empresa que brinda el servicio; los puntos de conexión más próximos; que capacidad de servicio posee; disponibilidad del vital líquido en esa región; y un análisis del agua.

3.6.3 Sanitarios

Se debe identificar si en la región existe tratamiento de aguas servidas, espacio para desperdicios y desechos, plantas de tratamiento, o simplemente posos sépticos.

3.6.4 Comunicaciones

Se debe de conocer si en la región existe disponibilidad de líneas telefónicas comerciales y la calidad de las mismas para la transmisión de datos.

3.7 Datos adicionales

Se incluye en esta categoría toda información que afecte la selección del sitio y que no este contemplado en los puntos anteriores. Se recomienda hablar con las personas del lugar para encontrar datos adicionales.

4. DESCRIPCION Y VENTAJAS DEL NUEVO SISTEMA DE RADAR MONOPULSO (MSSR)

4.1 Introducción

La técnica convencional o de ventana deslizante fue sustituida por una técnica más precisa y exacta llamada técnica monopulso que revolucionó los sistemas de radar secundario MSSR.

A continuación se describe a la técnica monopulso y seguidamente haremos una descripción del sistema de radar secundario monopulso a implementarse.

4.2 Técnica monopulso

4.2.1 Concepto

El término Monopulso se deriva de la capacidad para determinar la dirección de llegada de una señal de radar recibida, usando sólo un pulso de dicha señal.

Para propósito de detección de radar secundario de vigilancia MSSR, esto significa que es posible efectuar una determinación de acimut para cada uno de los pulsos de respuesta del respondedor.

4.2.2 Patrones de recepción

Un sistema SSR monopulso requiere de la aplicación de dos patrones diferentes para la elaboración de la información direccional de las señales recibidas:

- a. Un patrón suma, utilizado para la transmisión de los pulsos de interrogación P1-P3 y la recepción de los pulsos de respuesta del respondedor.
- b. Un patrón Diferencia, utilizado sólo en la recepción, para propósitos de generación del valor angular de incidencia (Técnica de Interferometría).

Los patrones de suma y diferencia se muestran en las figuras 15 y 17 del capítulo 2.

Aun cuando en un sistema SSR monopulso se utiliza el patrón de control omnidireccional SLS, el patrón SLS no tiene relación con las técnicas de determinación de acimut. Tome nota que en un sistema monopulso el patrón omni es utilizado en la transmisión y recepción, mientras que en el sistema convencional era solamente de transmisión.

Anteriormente, el método común para determinar el acimut de un blanco de radar secundario consistía en: señalar primero la dirección en que se detectaba el inciso de una serie de respuestas, y luego la dirección en que se dejaba de recibir la secuencia. El acimut del blanco se estimaba como el punto medio entre ambas direcciones. (amplitud)

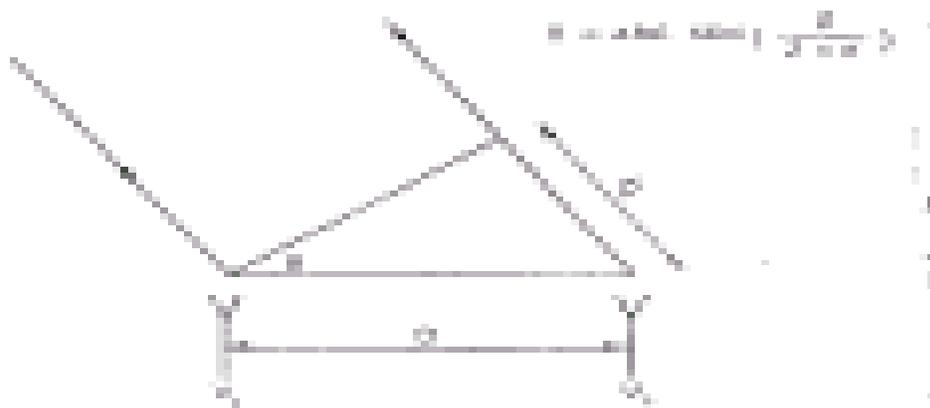
En un sistema de radar SSR monopulso, la detección de cada pulso de respuesta produce una medición de su dirección de llegada. Por lo cual, cada pulso recibido indica la dirección del origen de la señal. El receptor monopulso alimenta a un equipo extractor, el cual determina el acimut de un blanco a partir de la asociación de múltiples mediciones precisas de dirección.

La diferencia fundamental de la técnica monopulso radica en que las decisiones de extracción ya no se efectúan sobre series de respuestas completas, sino que lleva este proceso a un nivel de análisis de pulsos individuales.

4.2.3 Principios de la detección monopulso

La técnica monopulso aplica principios de Interferometría (radiogoniometría). Esto significa que el ángulo de arribo de una señal es determinado por la medición del retardo de fase entre dos puntos separados (los extremos de antenas). Las dos señales estarán en fase cuando la dirección de incidencia coincida con el eje central de la antena, y en retardo relativo de fase entre dos puntos, conociéndose como el principio de Interferometría.

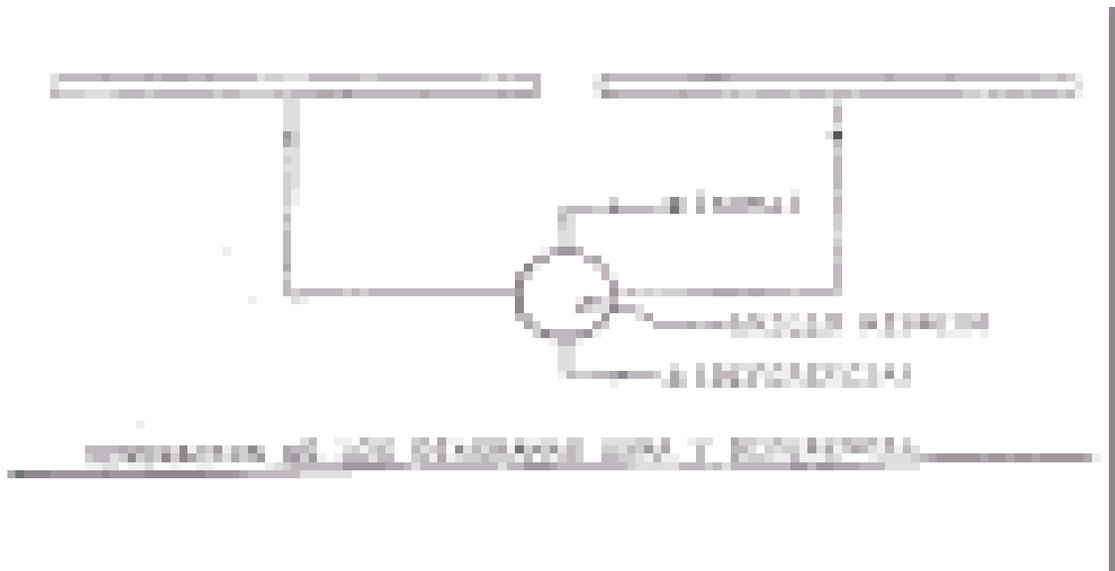
Figura 29. Principio de interferometría



Una función importante del MSSR es la recepción de los datos de respuesta de una aeronave en una manera que minimice la interferencia causada por respuestas de otras aeronaves. Para esto se requiere del uso de una antena con un lóbulo principal de alta ganancia y de baja presencia de lóbulos laterales. Un sistema monopulso utiliza una antena de este tipo con dos centros de fase para el uso de Interferometría.

La figura 30 muestra un sistema de alimentación simplificado para el tipo de antena mencionado. La distribución de amplitud a través de la apertura horizontal esta diseñada para producir un estrecho haz de alta ganancia con lóbulos laterales reducidos. Conceptualmente, este método de alimentación horizontal se divide eléctricamente en dos partes iguales y es recombinado en un anillo híbrido (o dispositivo similar). La salida suma del anillo híbrido produce el haz de alta ganancia original pero la salida diferencia produce una función separada.

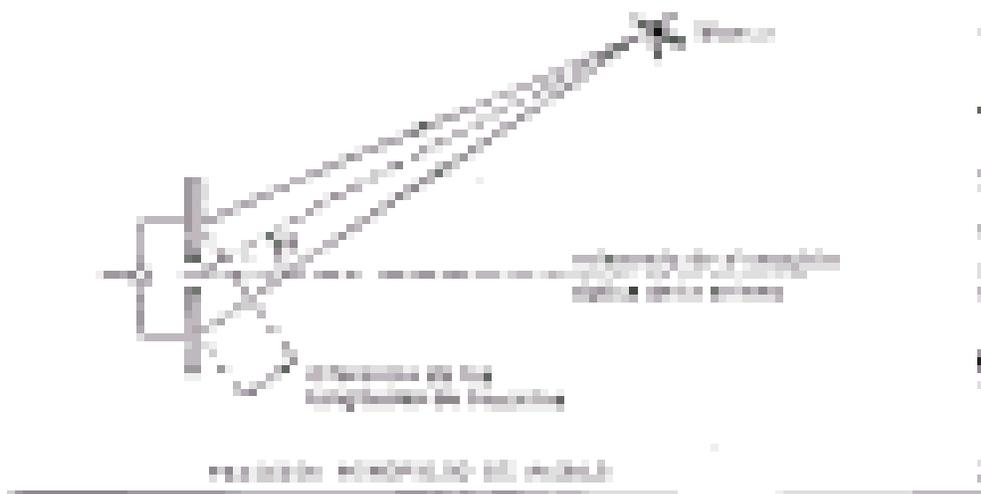
Figura 30. **Sistema de alimentación para una antena de un lóbulo principal**



Las señales de ambas mitades de antena son tomadas por el anillo híbrido para producir el vector suma y el vector diferencia de las dos señales. Cuando la dirección de incidencia de la señal este alineada con el eje central de la antena (eje óptico), las salidas de ambas mitades de antena estará en fase y se producirá la máxima señal suma y una señal diferencia igual a cero. Fuera del centro habrá una diferencia finita de fase entre las señales de las dos mitades de antena, de modo que la salida suma es reducida y la salida diferencia es finita.

Las dos medias antenas de la figura 31, pueden considerarse en la practica como dos antenas separadas. En este caso, ambas forman un interferómetro, y las señales que reciban desde cualquier ángulo tendrán magnitudes iguales. Sin embargo, las dos señales presentaran entre sí una diferencia relativa de fase que estará determinada por la distancia extra que la señal deba recorrer hasta la antena distante.

Figura 31. **Representación gráfica de dos medias antenas**



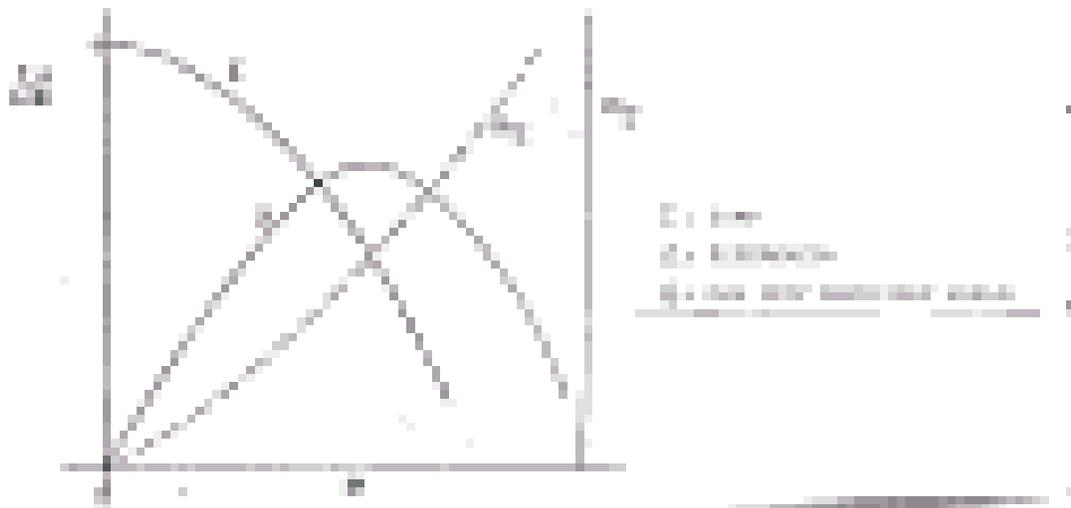
En la figura 32 se observa mediante los diagramas de suma y diferencia, que la medición de la relación entre las salidas de la recepción suma y la recepción diferencia indica la dirección del ángulo de llegada de la señal.

Figura 32. **Determinación de la dirección del ángulo de llegada**



En la figura 33 se observa la relación en amplitudes para calcular el ángulo de referencia con respecto al eje óptico (OBA = off boresight angle), como función de la razón entre: la amplitud de señal diferencia y la amplitud de la señal suma.

Figura 33. **Calculo del ángulo de referencia con respecto al eje óptico**



4.2.4 Ventajas comparativas

La técnica monopulso ofrece numerosas ventajas sobre los sistemas de ventana deslizante, tales como:

- Información posicional de aeronaves con una alta precisión (acimut y rango).
- Menor numero de respuestas requeridas para validar un blanco (validación a partir de 2 respuestas máximo)
- Tratamiento efectivo de respuestas en situaciones de sobreposición (Garble) y entrelazado (Interleave).
- Alta capacidad de eliminación de respuestas de fruta (Fruit); ó sea dos radares muy cercanos.
- Por reflexiones en el área se piensa en muchos aviones “Efecto Ring Around”.
- Partición de las respuestas “Split”.

4.3 Descripción general del sistema monopulso

4.3.1 Sistema monopulso MSSR, (Modelo: IRS 20 MP/L)

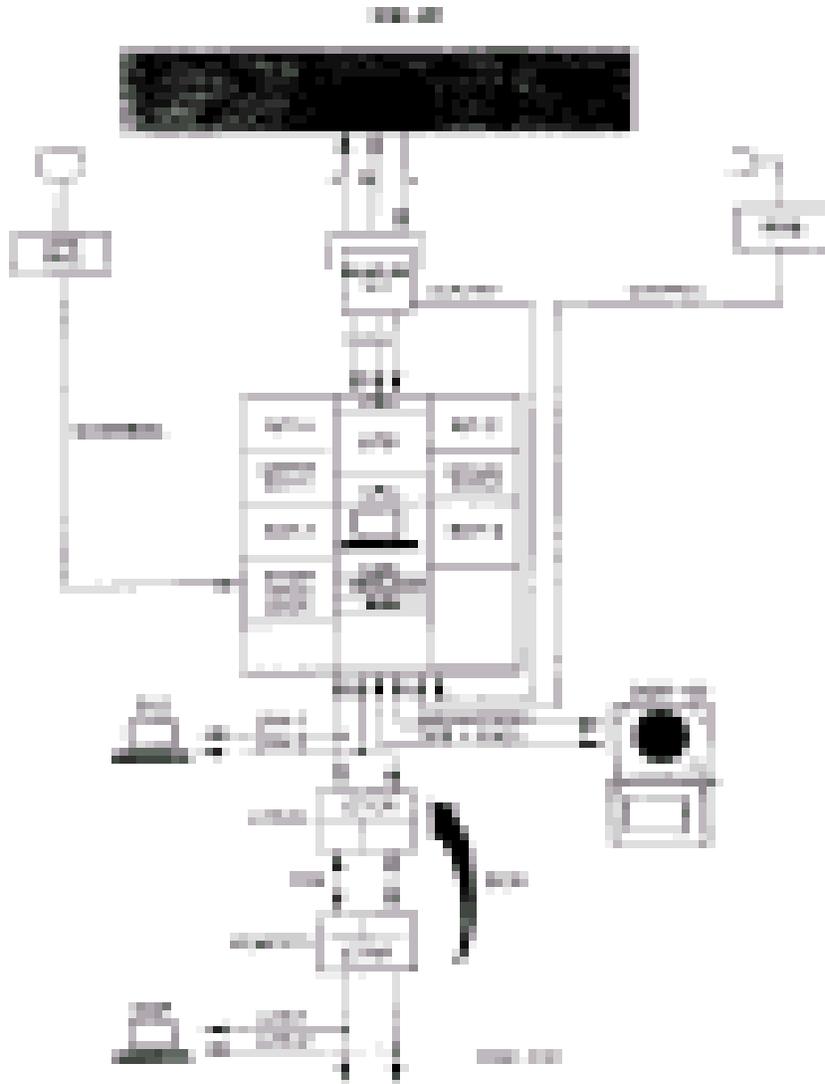
El sistema radar secundario monopulso tiene como fin la transmisión-recepción de interrogaciones-respuestas empleando la técnica monopulso. El vídeo obtenido es procesado para extraer de él la información sintética correspondiente a cada blanco (distancia, acimut, posición angular, códigos de identificación especial, etc.). Esta información es formateada para poder ser usada por el sistema de proceso de datos en los formatos DDE y Asterix.

La configuración del sistema es de canal doble, de tal forma que un canal se encuentra operativo mientras que el otro esta en reserva activa, produciéndose la conmutación automática, en caso de presentar anomalías el canal operativo.

El sistema está formado por los siguientes bloques:

- 1 antena, (Open Array) **CSL-M**
- 1 sistema de arrastre, (Pedestal) **SAAR-20W**
- 1 interrogador radar monopulso
 - 2 módulos fuentes de alimentación **MFA**
 - 2 módulos transmisores **MTX**
 - 2 módulos conmutador y test **MCT**
 - 2 módulos receptores **MRX**
 - 2 módulos extractores **EXT**
 - 1 unidad de test y supervisión **UTC**
 - 1 unidad de puentes y acopladores **UPA**
 - 1 unidad de control y supervisión **UCS**
 - 1 conjunto de relé y alimentación **CRA**
 - 1 conjunto mecánico y cableado del rack
- 1 sistema de relojería central horaria **SRCH**
- 1 sistema local de gestión **SLG**
- 1 sistema de comunicaciones radar **SCR** (Local y Remoto)
- 1 sistema remoto de gestión **SRG**
- 1 sistema de presentación gráfico **SGR-100**
- 1 respondedor radar secundario **RRS**

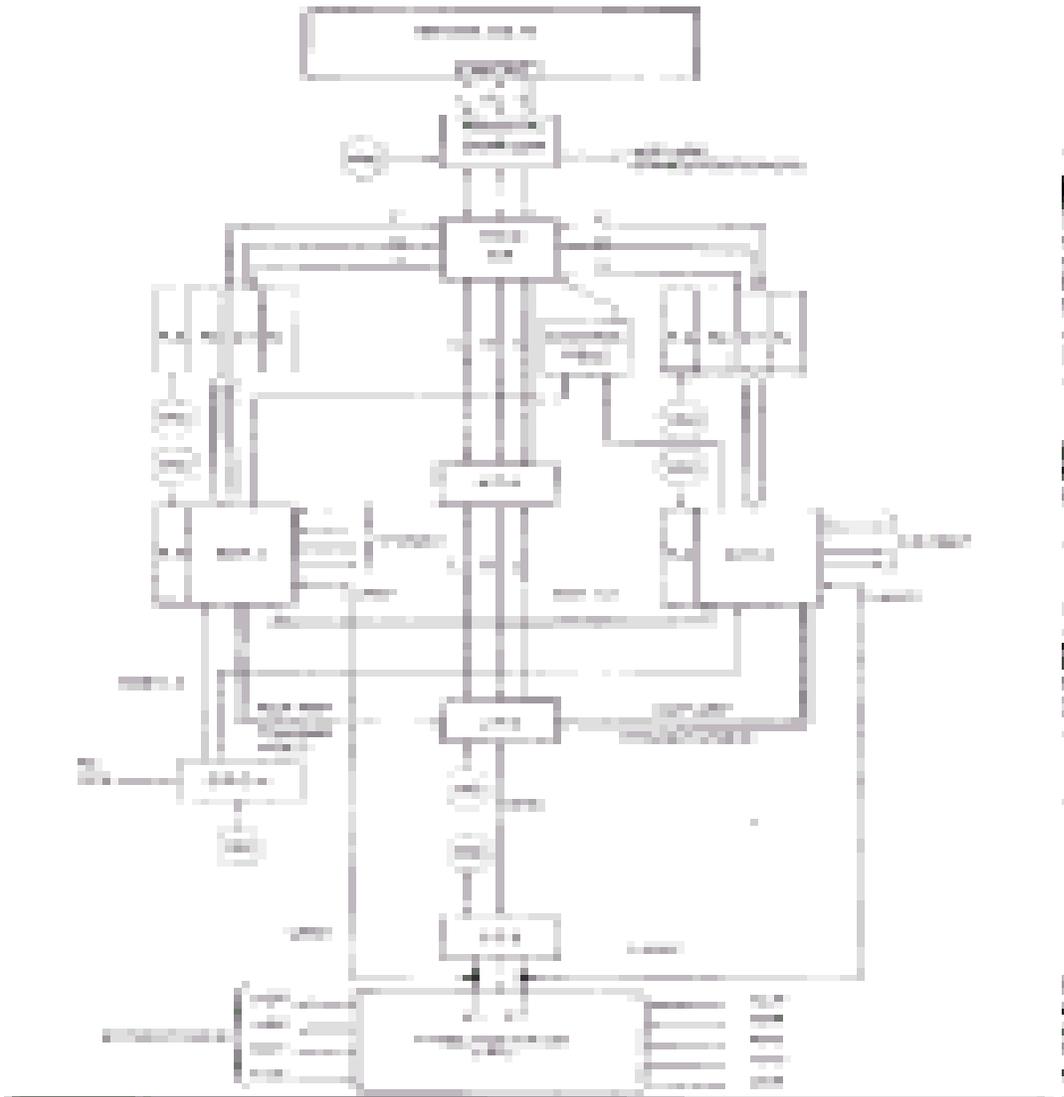
Figura 34. Diagrama del sistema monopulso MSSR



4.3.2 Diagrama de bloques del sistema

Los pulsos P1, P2, y P3 del extractor, modulados a 1030 Mhz, en el transmisor del canal seleccionado, son enviados al módulo de conmutación y test correspondiente, en donde son separados P1 y P3 al canal Σ y P2 al canal Ω y mediante el relé de RF llegan a la antena para su transmisión. Ver figura 35 de un diagrama más descriptivo de bloques.

Figura 35. Diagrama en bloques del sistema monopulso MSSR



Un sistema de arrastre dotado de junta rotatoria, permite el giro de la antena y el paso de la energía de radiofrecuencia de la parte fija a la giratoria. También proporciona las señales de sincronismo ACP y ARP.

Por medio de los tres canales, el receptor operativo efectúa la detección de señales de vídeo sometidas a la supresión de lóbulos laterales en recepción RSLs (mediante los canales suma y omnidireccional) y a la obtención del Error de puntería que proporciona información sobre desviación entre la dirección del eje de la antena y la dirección de recepción de los pulsos de la respuesta (mediante los canales suma y diferencia).

Después de realizadas las funciones para la detección del video el módulo receptor entrega a los dos extractores cuatro señales de video:

- Video crudo suma, procedente de la demodulación de RF (Σ)
- Video crudo omnidireccional, procedente de la demodulación de RF (Ω)
- Video crudo diferencia, procedente de la modulación de RF (Δ)
- Video crudo monopolso, procedente de la modulación de RF (del Σ y Δ)

Con estas señales los extractores realizan un análisis exhaustivo de las respuestas, pudiendo determinar el acimut del blanco con una sola respuesta y permitiendo separar los pulsos correspondientes a respuestas solapadas mediante el análisis de las correspondientes amplitudes de los videos y los valores de su error de puntería. Estas características permiten reducir el número de respuestas necesarias para la detección de un blanco.

Ambos extractores monopolso debidamente sincronizados incorporan procesos adicionales no incluidos en un extractor convencional:

- Seguimiento local de blancos que permite confirmar los códigos de una vuelta a la siguiente lo que permite la mejora.
- Adquisición de blancos, mediante el análisis de posiciones futuras, es decir mediante procesos de tracking.
- Eliminación de blancos reflejados según un mapa de reflejos previamente generado por el extractor.
- El codificador de interrogación provee los pulsos necesarios para las interrogaciones en todos los modos SIF (1, 2, 3/A, B, C y D).
- Entrelazado de hasta 4 modos de interrogación, alternando el tercero y cuarto para cada vuelta de antena.
- PRF seleccionable externo, o interno variable.
- Función de Stagger, seleccionable.
- Inhibición de interrogación, por *software* o *hardware*.
- Programación de entrelazado, de modos de interrogación, zonas de silencio, función GTC, potencia de transmisión y PRF por sectores, mediante mapa programado previamente.
- Se dispone de un generador de blancos de test para chequeo continuo del sistema con la posibilidad de presentación o no por pantalla. Este blanco será programable en código, distancia y acimut dentro de la cobertura del radar.

Una vez determinada la presencia de blanco, se procede a generar un mensaje por blanco y vuelta de antena en el que se determina la distancia, acimut, códigos SPI y emergencias de acuerdo con dos tipos de formatos, DDE y Asterix.

La salida de datos de los blancos, se realiza por medio de dos líneas de la red LAN. La LAN-1 esta conectada al extractor1, enviando la información DDE1, DDE2, Asterix y la LAN-2 esta conectada al extractor2 enviando también información DDE1, DDE2 y Asterix.

En la información Asterix, el blanco además de su propia información incluye el dato de la hora universal UTC con que se detectó.

Existen salidas en series de datos DDE1, DDE2 para la presentación del Sistema Gráfico, y otras aplicaciones (módems) en las cuales el reloj es externo pudiéndose seleccionar la opción de reloj interno del extractor.

La unidad de control y supervisión UCS, realiza el control de los dos canales, evaluando los fallos de cada uno y determinando de una manera automática o manual cual es el operativo, además supervisa las comunicaciones con el resto de las unidades.

La UCS, selecciona los modos de funcionamiento de los canales Operativo, Reserva, Test y Mantenimiento.

La unidad de control relé y alimentación CRA, selecciona sobre la antena un canal, según la orden recibida de la UCS. El canal no seleccionado, queda conectado a cargas artificiales contenidas en la unidad de puentes y acopladores UPA, la cual permite conectar a la UTS, para realizar chequeos sobre el sistema, para facilitar al personal de mantenimiento, conocimiento del estado del mismo.

También existen las unidades de sistema local de gestión SLG, sistema remoto de gestión SRG, servidor de canales de mantenimiento SCM, sistema de comunicaciones radar con gestión SCR, interconectado entre ellos mediante las redes LAN 1 y 2.

El envío de datos desde la cabecera radar y el centro de control, se realiza mediante dos líneas X.25.

Tanto la UCS como las SLG y SRG mantienen una gestión de menús-ventanas comunes, pertenecientes al sistema radar monopulso, de tal manera que cuando esta habilitada la función Local, los menús activos son los de la UCS quedando SLG y SRG para la presentación de información del estado del sistema.

En esta situación (Local) si la UCS se apaga el control del sistema lo asume el SLG. El sistema SRG adquiere el control, cuando la función seleccionada es remoto, quedando las unidades UCS y SLG solo para la presentación de información, del estado del sistema.

4.3.3 Antena

La antena Open Planar Array, figura 36 es utilizada para radiar pulsos de interrogación y recibir pulsos de respuesta del blanco interrogado. Está formada por una serie de dipolos dispuestos físicamente en el frontal de unas columnas radomizadas que a su vez, están posicionadas verticalmente, consiguiendo mediante el acoplamiento de estos dipolos, los diagramas de radiación deseados SUMA, DIFERENCIA y OMNIDIRECCIONAL o SLS.

Los canales Suma y Diferencia, están ajustados en fase para el correcto funcionamiento de la función monopulso.

Entre las columnas, se encuentran distribuidos un conjunto reflector sintonizado, cuya misión es formar un plano de forma que la mayor parte de la energía radiada por la antena, se distribuya en el espacio frontal de la misma.

Todos los cables de interconexión, tienen conectores tipo N-Machos por ambos extremos, mientras que el resto de elementos contiene conectores tipo N-Hembra.

Para la inclinación de la columna trasera, hay un elemento independiente de ajuste, dentro de un rango de inclinación.

A la entrada de cada canal existe un filtro cuyo fin es aislar las radiaciones captadas por la antena proveniente de otros sistemas, los tres filtros, son intercambiables.

Los distintos elementos de RF que componen la antena, figura 37, se encuentran unidos mediante el correspondiente cableado y son:

- 1 Matriz y submatriz
- 12 Distribuidores, 3:3
- 2 Distribuidores, 4.68:1.81
- 2 Distribuidores, 3.42:2.63
- 34 Columnas 10 dipolos
- 3 Filtros

Todas las columnas son iguales y poseen 10 dipolos, formando un array (arreglo) plano de 330 dipolos distribuidos en 16 columnas a cada lado mas una columna central, y una columna posterior también con 10 dipolos.

Las columnas están protegidas de la humedad mediante un recubrimiento (radomo), multicapa de fibras de Levlar y Tedlar.

Figura 36. **Figura de una antena open planar array (LVA)**

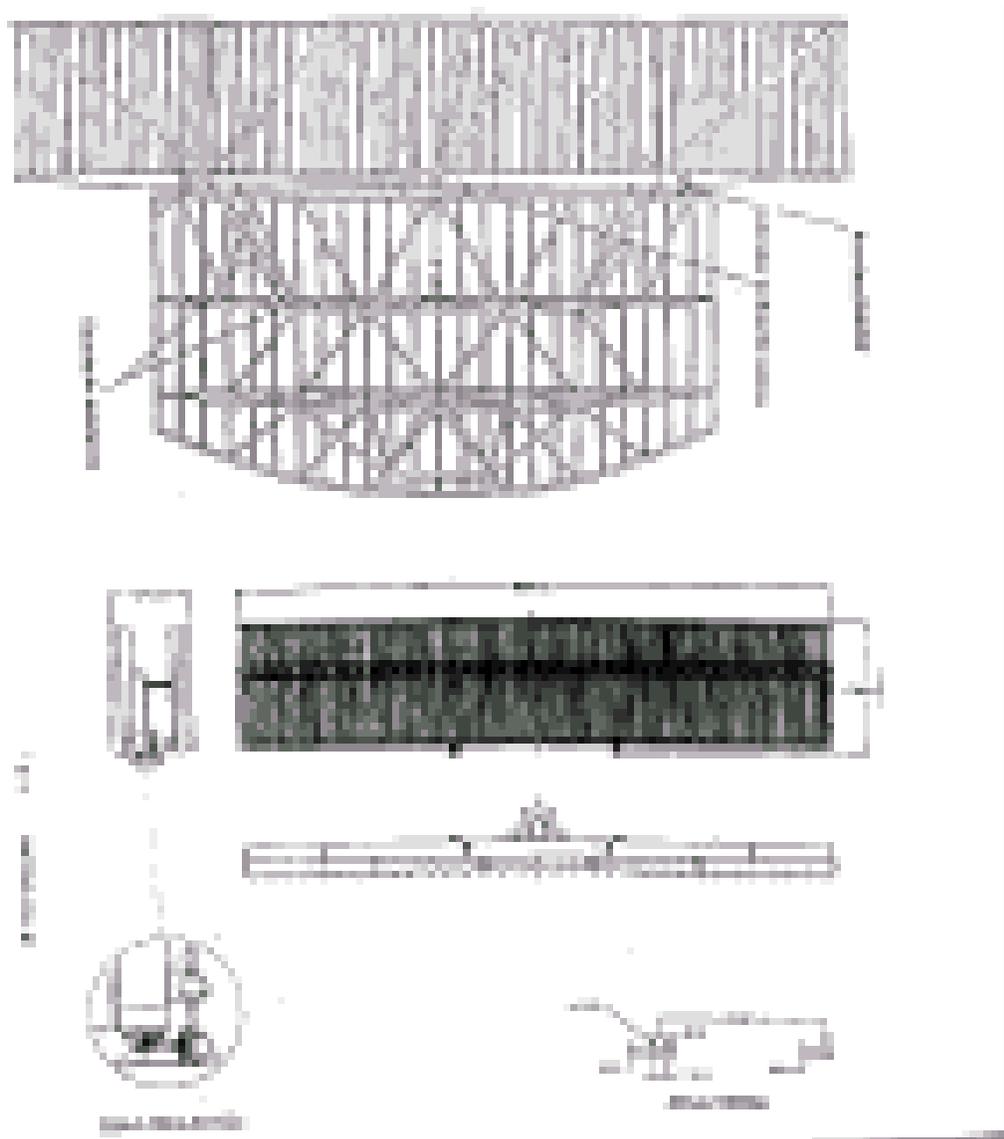
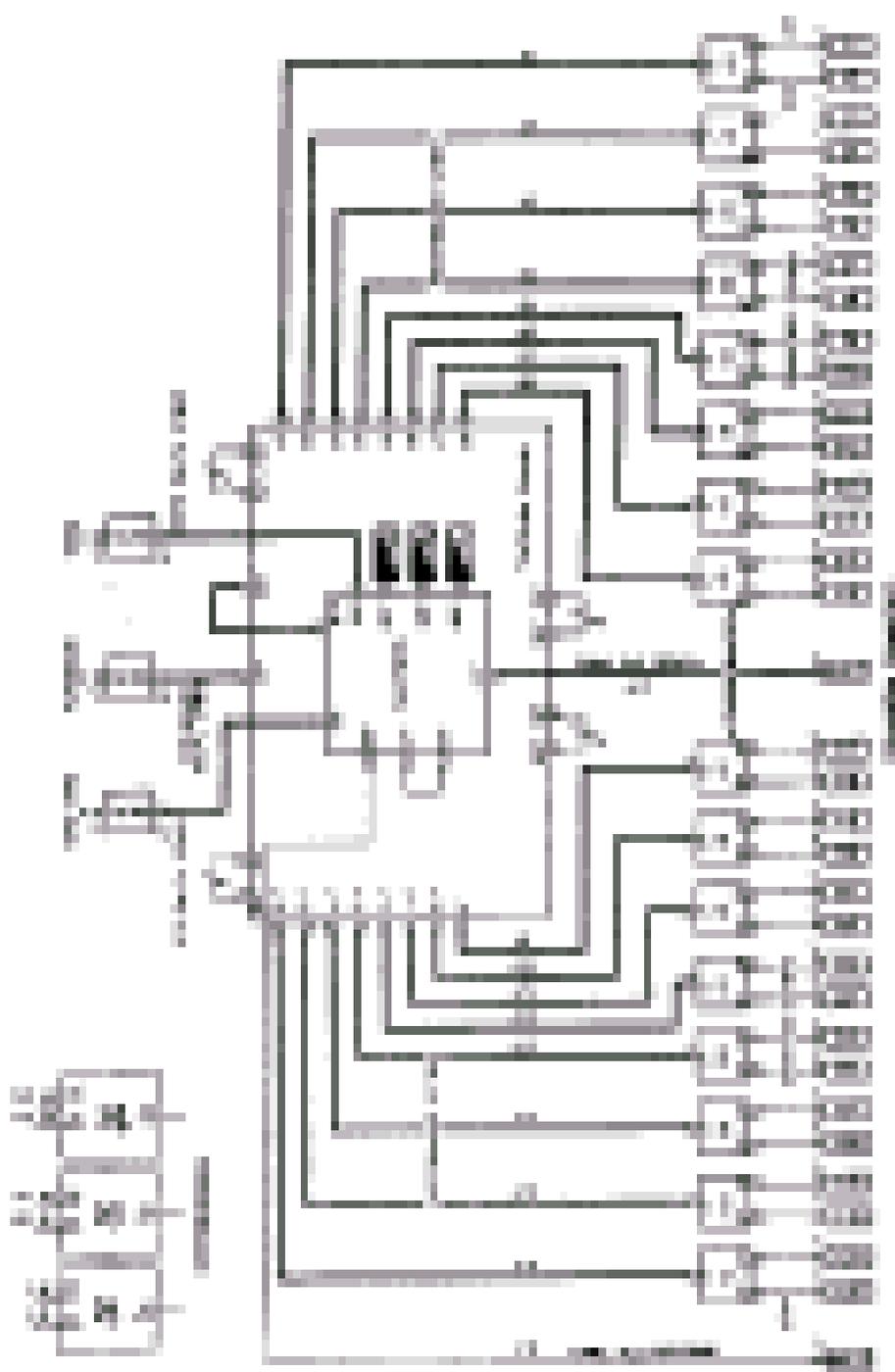


Figura 37. Elementos de RF que componen una antena LVA



Para alimentar las 32 columnas frontales se utilizan 16 distribuidores, cuatro de ellos desbalanceados para suavizar la amplitud de los lóbulos laterales de los diagramas suma y diferencia.

La distribución de la excitación en los dipolos de cada columna, se realiza partiendo de una entrada común J1 de tipo N-Hembra y una red ramificada de potencias, en las que la amplitud de cada dipolo se consigue mediante divisores Wilkinson y la fase por la longitud apropiada de las líneas de alimentación, utilizando tecnología Strip-Line.

La consecución de los tres diagramas de radiación horizontales de radiación simultáneamente suma, diferencia y omnidireccional, la realiza la Matriz, situada en la parte posterior central de la antena, en la que se obtiene la combinación en transmisión y la separación en recepción de las señales que constituyen cada canal.

La matriz principal, está formada por un conjunto de repartidores asimétricos y 8 distribuidores de anillo híbrido de 180° . Estos híbridos de dos entradas y dos salidas aisladas, cuando se aplica una señal Suma a la entrada, las señales de salida, son iguales en amplitud y fase, pero si se aplica la señal Diferencia las señales de salida son iguales en amplitud, pero desfasadas 180° .

Existen cuatro cables (denominados como “cable interno Matriz”) que están dedicados al ajuste de fase del canal Diferencia.

La matriz tiene 16 salidas (J1 – J16) que alimentan a los distribuidores, que hay antes de las columnas.

La matriz está formada por una matriz principal y una submatriz, ésta última permite la utilización de la columna frontal para los canales suma y omnidireccional conjuntamente, así como la utilización de las columnas frontales (con un nivel de alimentación mas bajo) para el canal omnidireccional.

Se tiene un cable interno, denominado cable interno submatriz cuya longitud, regula el balance de señal entre la columna frontal central y la columna posterior, así como tres cargas de 50 ohmios para adaptar las salidas libres de los cuatro Híbridos -180° utilizados.

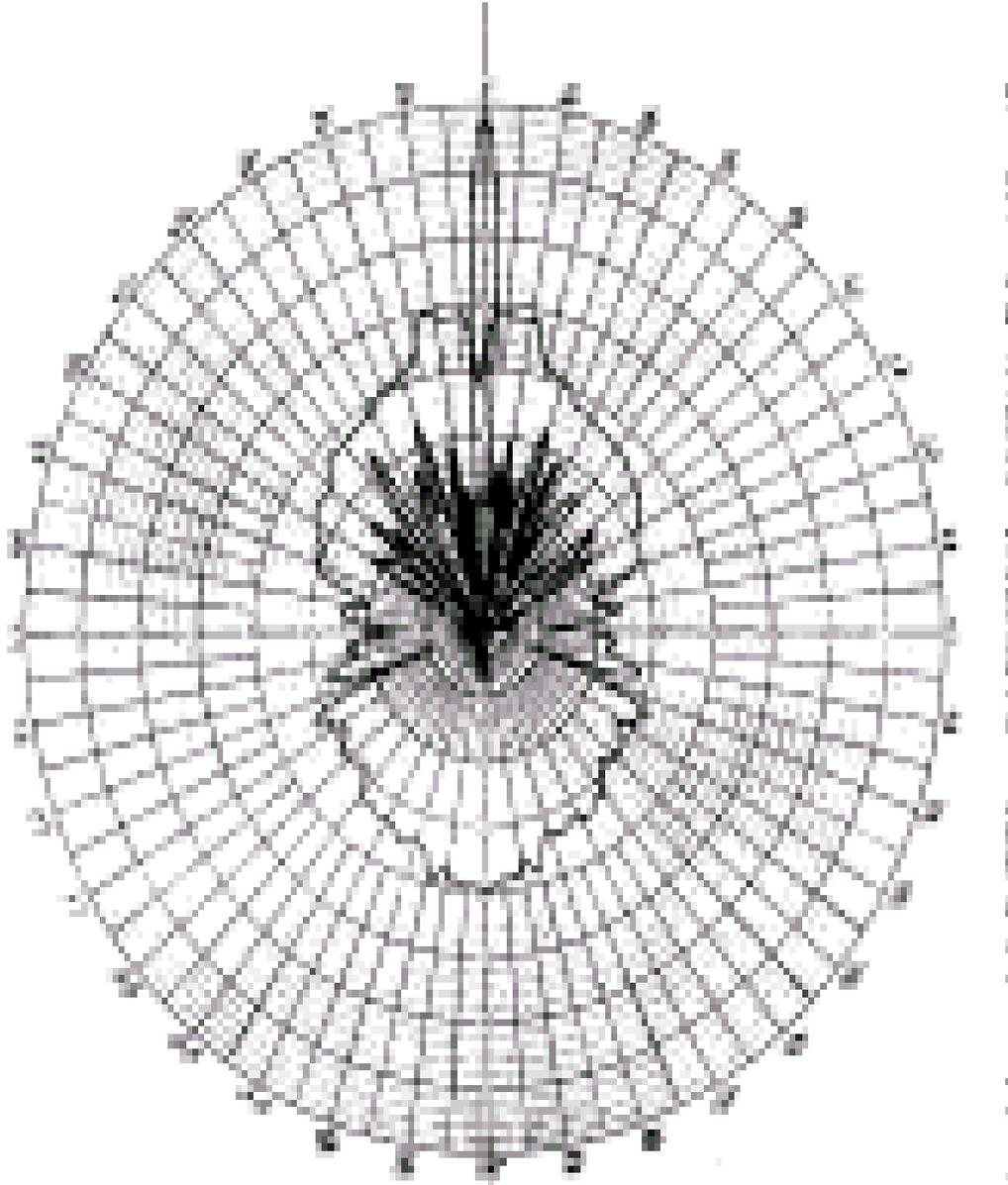
4.3.4 Diagramas de radiación

El diagrama de radiación omnidireccional, se forma principalmente por medio de las columnas central y posterior, con el objeto de conseguir un diagrama de radiación más ancho que envuelve a los diagramas suma y diferencia. A su vez, para lograr una mejor potencia radiada en la dirección del lóbulo principal Suma.

El canal omnidireccional (ver capítulo 2, figura 16, Pag. 74), es utilizado para la transmisión del pulso de interrogación P2 y así realizar la función ISLS (Supresión de lóbulos secundarios en interrogación) realizando el respondedor la comparación de niveles de los pulsos P1 y P2.

Dicho canal es utilizado en recepción (en un sistema convencional no existe la recepción en este canal únicamente en un sistema monopulso) para que, en combinación con el canal suma realice la función RSLS (Supresión de lóbulos secundarios en recepción) comparándose los niveles de señal recibidos por cada canal (Suma y Omni), para cualquier respuesta que no provenga en la dirección principal (diagrama suma).

Figura 38. Diagrama de radiación del canal omnidireccional en coordenadas polares



Los diagramas de radiación suma y diferencia horizontales se forman alimentando cada una de las 32 columnas, dos a dos (las cuales contienen 10 dipolos), por medio de divisores Wilkinson asimétricos. Los cables que unen las salidas de los divisores con las entradas de las columnas, así como los que alimentan los divisores, están ajustados en fase.

Es decir, el canal suma esta formado por todas las columnas frontales (excepto la posterior para un total de 33 columnas), el canal diferencia por las columnas frontales (excepto la columna frontal y posterior para un total de 32) y el canal omnidireccional por todas las columnas (columna central-frontal a 180° , así será el canal que utiliza las 34 columnas).

El canal suma (Ver capítulo 2, figura 15, pag 73), es utilizado para la transmisión de los pulsos de interrogación P1 y P3 y en la recepción de los pulsos de respuesta junto con F1 y F2. Proporciona un diagrama acimutal directivo y con un nivel de lóbulos secundarios muy bajos al objeto de interrogar y recibir respuesta de aquellos blancos situados solamente en el haz principal y cuando un blanco se encuentre en un lóbulo secundario, sea interrogado con un nivel muy bajo y su posible respuesta se reciba también con un nivel de energía muy bajo.

El canal diferencia (Ver capítulo 2, figura 17, pag 74), es utilizado solo en recepción para la función monopulso que en combinación con el diagrama directivo del canal suma, obtiene una información mas precisa del ángulo acimutal del blanco interrogado.

4.3.5 Sistema de arrastre

El sistema de arrastre SAAR-20W, soporta e imprime un movimiento de rotación a la antena, en el sentido horario a una velocidad angular constante y tiene por objeto permitir el giro de la antena los 360° de acimut, para hacer todo el barrido que permite la cobertura radar.

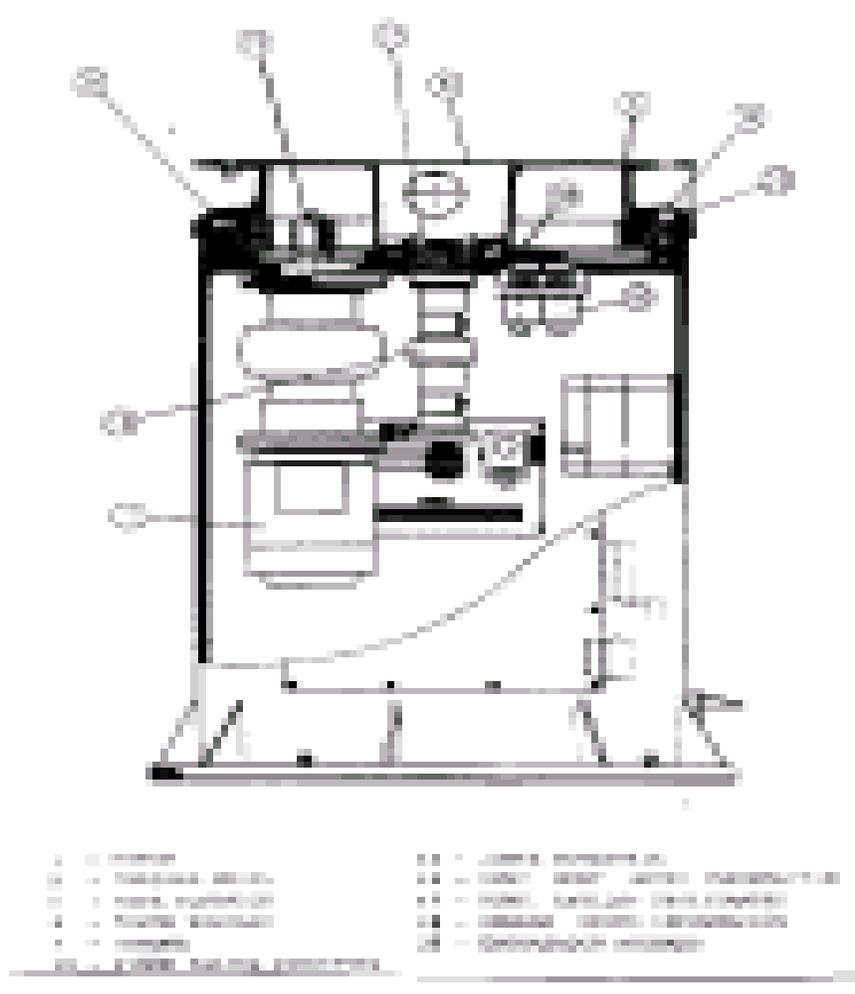
Está formado por una mesa giratoria, montada sobre un rodamiento y todo ello soportado en su base por un cilindro de fundición de aleación ligera que debe estar anclado suficientemente seguro para que sea capaz de soportar los esfuerzos debidos al propio movimiento así como a los de fenómenos atmosféricos. (Ver figura 39)

El sistema de arrastre incorpora en su lateral una puerta atornillada que permite su acceso a su interior en el que se encuentran los siguientes elementos:

- Motor
- Caja reductora
- Control y variador de velocidad
- Junta rotatoria y anillos deslizantes
- Codificadores

En la parte inferior esta dispuesta una placa con los conectores útiles en la interconexión con el resto de las unidades, así como un interruptor de seguridad.

Figura 39. Sistema de arrastre de la antena



En la figura 40 se muestra el diagrama de bloques de operación del sistema; se diferencian tres bloques principales:

- a. **El sistema de transmisión de movimiento:** consta de un conjunto electromecánico, formado por un grupo motor-reductor con freno incorporado, el rodamiento, el laberinto y el piñón de arrastre.

- b. **El motor trifásico, tipo jaula de ardilla** opera con una tensión controlada por el Variador de velocidad angular constante. El control, se realiza gracias a un método de modulación por ancho de impulsos, el cual varía la frecuencia de entrada de 50 Hz, y la adapta a la frecuencia necesaria para la velocidad de giro programada.

- c. **La caja reductora**, está formada por un sistema de dos trenes de engranajes cilíndricos con una reducción de 10.5 entre el eje de salida y el eje de entrada y esta se mantiene engrasado de por vida.

El sistema de transmisión de información angular: consiste en dos codificadores, montados en la parte superior (fija), accionados por un sistema de engranajes que se acoplan a la mesa giratoria, con una relación 1:1, que actúan sobre unos discos, los cuales por un procedimiento electro-óptico generan dos salidas digitales, cada codificador los cuales están formados por señales digitales bipolares (+/-) consistentes en dos trenes de impulsos de 4,096 pulsos desfasados noventa grados, para conseguir los 16,384 pulsos ACP'S y un pulso de referencia cero, para el ARP.

El sistema de transmisión de energía y radiofrecuencia: para la transmisión de energía eléctrica, se utilizan tres anillos de aleación de plata dura, con dos escobillas cada una de aleación de grafito; los cuales permiten el paso de la corriente de la parte fija a la parte móvil, para suministrar energía eléctrica a los distintos elementos que se instalen en la antena, (balizas etc...) con un voltaje máximo admisible de 600VAC a 10Amp.

4.3.6 Interrogador radar secundario monopulso

El sistema interrogador esta formado por un rack que soporta físicamente las unidades y cableados, distribuidos en tres posiciones según se representa en la figura 41.

- Parte izquierda: Canal 1 y SRCH.
- Parte central: UCS, UTS, UPA, CRA.
- Parte derecha: Canal 2.

El rack izquierdo, además del canal 1, contiene el sistema de relojería central horario SRCH, lo componen dos relojes patrones unidades 482, y una unidad de conmutación automática 487, que supervisa las anomalías y el estado de sendos relojes patrones conectados, además de la antena y receptor GPS-(488) que están físicamente ubicados fuera del rack interrogador.

Tanto el canal 1 como el canal 2, contiene un modulo extractor con una fuente de alimentación propia y un conjunto de 14 tarjetas, de las que la 2, 3, 12, 13, y 14 están para utilizaciones futuras.

También existe la interface, formada por una placa frontal de puntos de test e indicaciones así como el módulo fuente de alimentación MFA del R/T, el módulo receptor MRX, módulo de conmutación y test MCT, y el módulo transmisor MTX.

En la parte central se encuentran las unidades ya mencionadas.

El control de relé de alimentación CRA que se utiliza para el encendido de cada una de las partes del rack, y el control de relé de radiofrecuencia.

La unidad de puentes y acopladores UPA, mediante la cual se canaliza la energía de RF del canal de reserva hacia la UTS o hacia cargas artificiales. La unidad de test y supervisión UTS, que permite realizar chequeos sobre el sistema para analizar el estado de operatividad del mismo además de facilitar las tareas de mantenimiento.

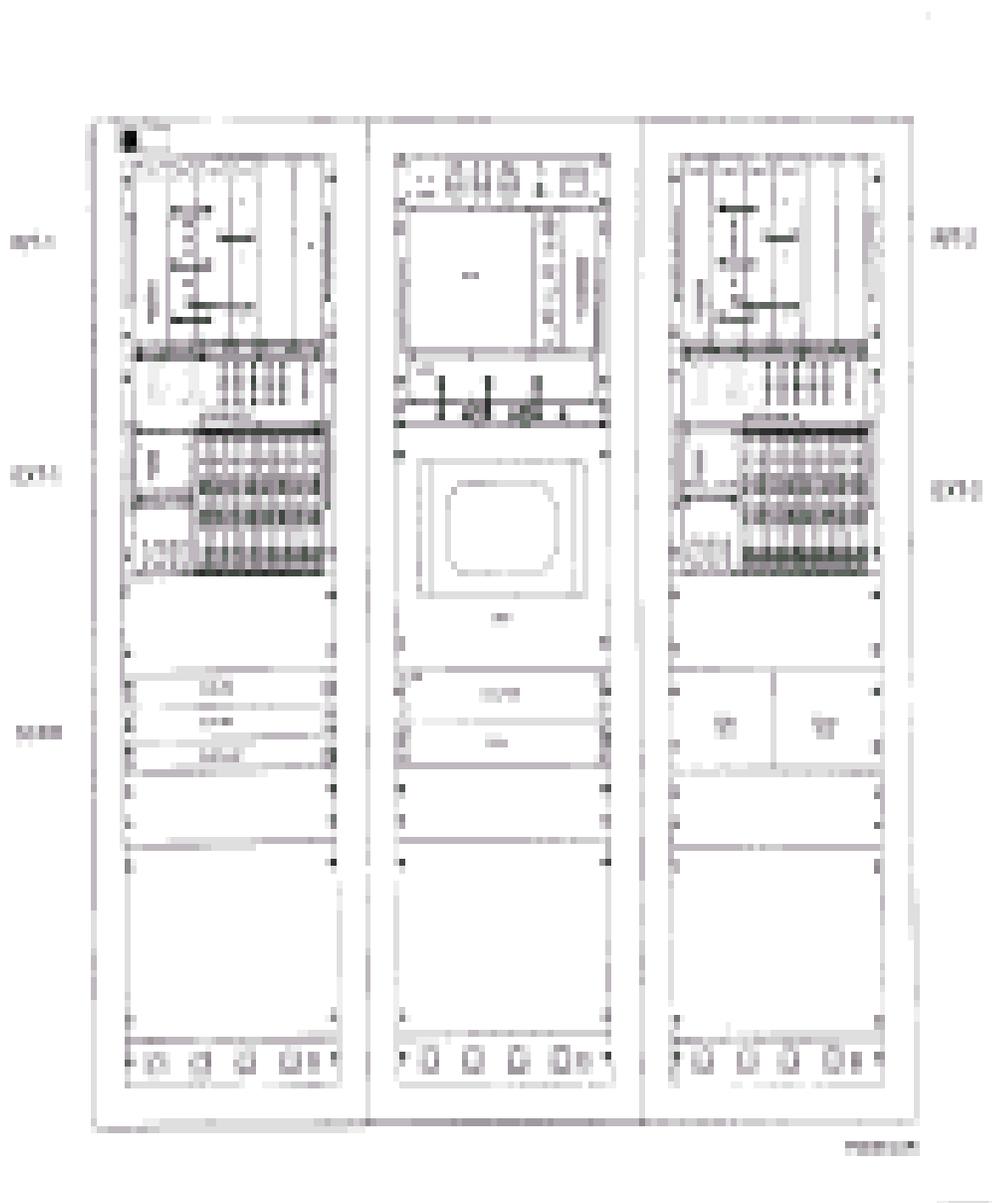
Esta unidad tiene en su panel frontal puntos de test leds indicativos para distintas tensiones utilizadas, así como los controles de anchura y desplazamiento de los pulsos que genera, realizándose todo el control de su funcionamiento desde la unidad UCS.

La unidad de control y supervisión UCS, mediante el sistema de ventanas, controla las unidades asociadas y supervisa todo el sistema, evaluando fallos de cada uno de los canales y determina cual es el canal operativo.

Presenta las distintas unidades del sistema de una manera gráfica y mediante un código de colores el estado de cada uno de ellos operativo, reserva, test, mantenimiento así como distintas situaciones de fallos.

Desde esta unidad por medio de un ratón, permite la programación de todos los parámetros, el modo de funcionamiento de cada uno de los canales, y la línea LAN activa.

Figura 41. Sistema interrogador de un MSSR



En la figura 42 se muestra el diagrama de bloques del interrogador. Del cual explicamos algunas facetas importantes del funcionamiento.

A partir de un trigger interno BST, se genera el extractor operativo, y que a su vez sincroniza al canal de reserva, se genera la base de tiempo del sistema, proporcionando las órdenes de control y pulsos de interrogación que necesita el receptor-transmisor (operativo) para que los pulsos de interrogación puedan ser radiados al espacio a través de la antena.

El receptor-transmisor, recibe señales del espacio procedentes de un blanco, las convierte en frecuencia intermedia y realizando un primer tratamiento, las procesa para generar los cuatro videos crudos (video suma, video omnidireccional, video diferencia, video monopulso) necesarios para que el extractor monopulso pueda extraer una información y adaptarla convenientemente para su posterior transmisión.

Los módulos extraíbles que estructuran el receptor-transmisor monopulso son:

- MFA módulo fuente de alimentación
- MTX módulo transmisor
- MCT módulo de conmutación y test
- MRX módulo receptor

El módulo transmisor, amplifica la señal del oscilador local (1030 Mhz) modulada por las interrogaciones, hasta obtener el nivel de potencia seleccionado, entre cuatro niveles posibles.

Los pulsos transmitidos pasan al modulo de conmutación que envía P1 y P3 a la antena Suma y el P2 a la antena Omnidireccional.

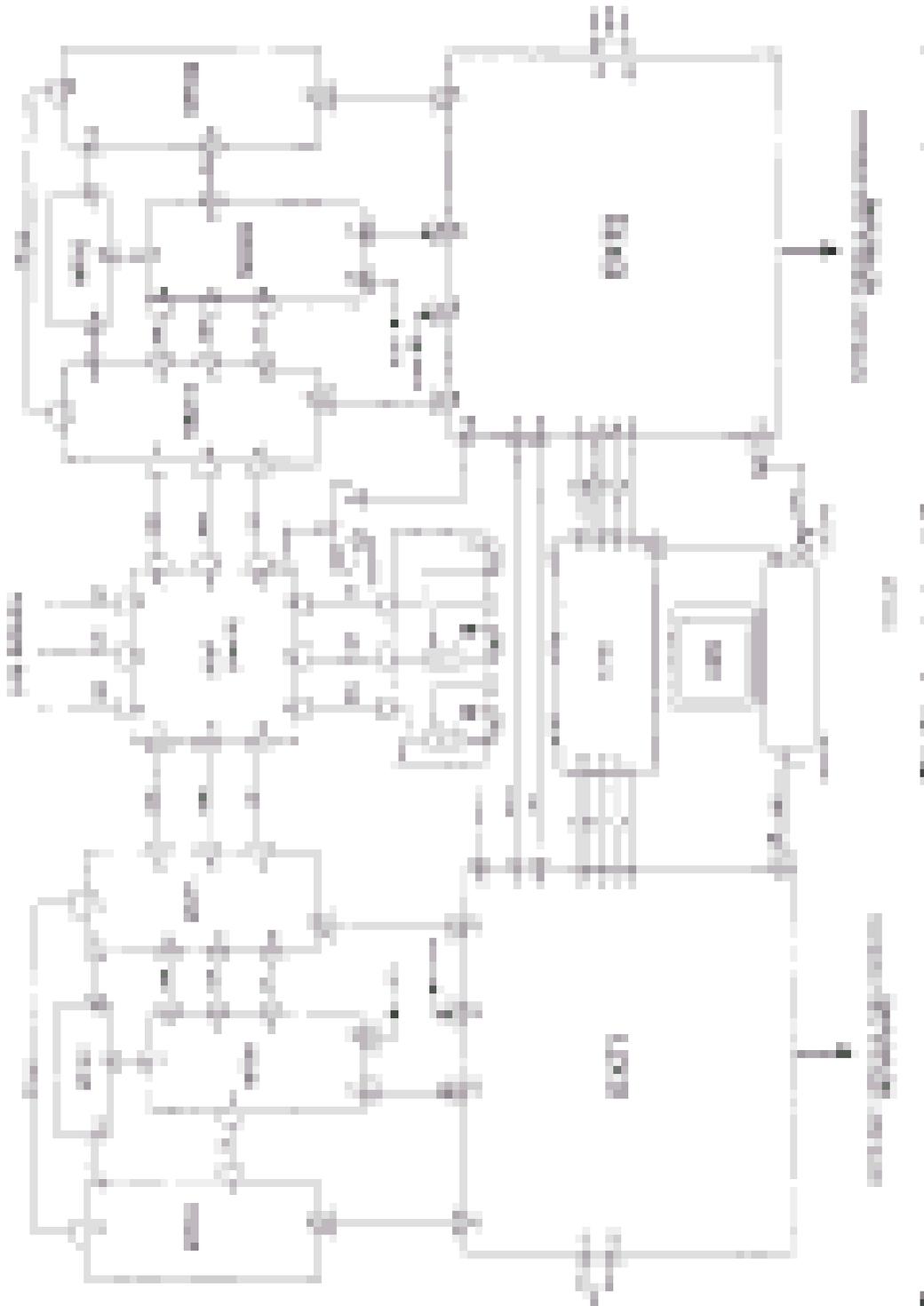
Esta unidad de conmutación es controlada por las órdenes procedentes del extractor para interrogar y también ISLS para los tres estados de conmutación: transmisión suma, transmisión omnidireccional y recepción. Además incorpora acopladores direccionales en los caminos del Suma y omnidireccional para detectar la potencia incidente y reflejada de cada uno de ellos, que permiten realizar un control de funcionamiento del sistema transmisor.

En recepción, se reciben respuestas a 1090 Mhz por los tres canales y se convierte a frecuencia intermedia (60 Mhz), usando el mismo Oscilador Local que el transmisor.

Los canales suma, omnidireccional y diferencia son detectados y amplificados logarítmica mente, obteniéndose señales de video obtenidas que son llevadas a los dos extractores para su posterior tratamiento.

Por otra parte, la unidad receptora combina adecuadamente las señales recibidas por los canales suma y diferencia obteniendo, tras una detección de fase, una señal monopulso, cuya tensión es proporcional al error de puntería o ángulo de llegada de la respuesta con respecto al eje de la antena. El signo de esta señal indica si el blanco se encuentra a la derecha o izquierda del eje de la antena.

Figura 42. Diagrama de bloques de un interrogador



Después del tiempo de recepción, se comprueba el correcto funcionamiento del receptor, mediante una señal de prueba, que modula un oscilador de prueba a 1090 Mhz alojado en la unidad de conmutación y test.

También se permite la modulación de dicho oscilador mediante señales externas como es la respuesta de test RTEST.

El extractor utiliza una fuente de alimentación propia, suministrando las tensiones de +5, +12, -12 VDC necesarias para su funcionamiento y se dividen en dos bloques llamados *hardware* y *software*.

El *hardware* realiza el tratamiento de las señales en tiempo real, tal como medidas de tiempos, anchuras y sincronismos así como los controles necesarios para el receptor-transmisor, niveles de potencia, curvas GTC y función RSLs entre otros.

El *software* realiza un tratamiento sobre datos almacenados en memoria, formateando en memoria, formateando los resultados obtenidos y preparándolos para el envío a otras unidades. Este proceso se realiza con una sola tarjeta CPU, identificada como procesador.

Para la comprobación del funcionamiento de estos bloques encadenados se utiliza un BITE (Built In Test Equipment = Equipo de test en formación). Este blanco de test, que se genera bajo petición del procesador, es inyectado en el receptor en radiofrecuencia, siguiendo el curso normal de una respuesta. Al final, el procesador comprueba la coincidencia del blanco de test recibido frente al enviado.

El sistema utiliza un reloj maestro, que se repartirá a los diversos módulos *hardware*; esto hace que las diferentes señales sean sincronas, dando una mayor exactitud al proceso.

4.3.6.1 Control relé y alimentación (CRA)

Desde esta unidad, se controla el relé de radiofrecuencia y se distribuye la tensión de alimentación a cada una de las partes del rack.

En el panel posterior, existen tres conectores, dos de ellos J1 y J2, para señales de entrada y J3 para señales de salida. Por una parte, se controla el relé de RF mediante el relé RL-1 (Switch), indicándose el estado de los canales mediante D1 y D2 (leds).

El relé de RF, en estado de reposo habilita las señales de RF del canal 1 hacia la Antena. Por otra parte, la tensión de alimentación (380 VAC más neutro y tierra) que llega al rack, por el panel posterior, se distribuye mediante una regleta que llamaremos TB-1 a cada una de las tres partes del rack; izquierda, central y derecha, con una tensión de 220 VAC, una fase más neutro.

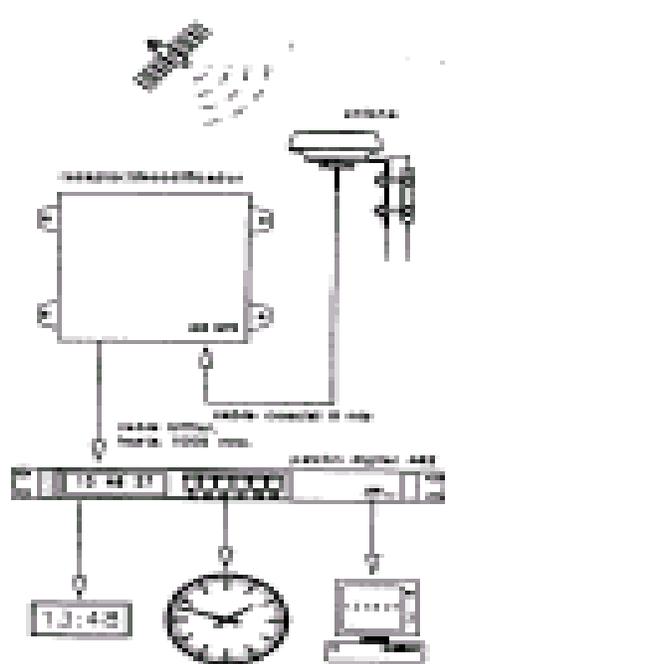
Además, está la llave de seguridad que controla el giro de Antena con su indicador. Un contador horario indica el tiempo de funcionamiento del sistema. En el panel frontal existen tres interrupciones de alimentación, el primero, para la parte izquierda del rack (canal 1, reloj 1 y controlador de relojes); el del centro para el cuerpo central del rack; y el tercer interruptor (derecho) para el canal 2 y reloj 2.

4.3.6.2 Sistema de relojería central horaria (SCRH).

Está basado en el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), que es un sistema compuesto por 24 satélites que se desplazan en 6 órbitas casi circulares, cuyos planos orbitales tienen la misma separación con respecto al Ecuador. Los satélites transmiten con alto grado de precisión información para la navegación, a una frecuencia de 1,575.42 mhz que cualquier receptor GPS puede utilizar para identificar su posición y la hora exacta en toda la superficie terrestre.

El receptor GPS calcula la información para determinar su distancia respecto a distintos satélites, y puede entonces, mediante un proceso de triangulación, calcular su propia posición junto con la hora local exacta. El sistema receptor 488GPS está diseñado para permitir la sincronización automática de los relojes patrón serie 482 a la señal GPS. (Ver figura 43)

Figura 43. Sistema receptor de relojería 488GPS



El área de ganancia de la antena está concebido para una recepción total por su parte esférica superior, disminuyendo en bajas elevaciones. Transmite las señales GPS recibidas y recibe alimentación de 5 VDC del modulo receptor/decodificador, mediante un cable RG58 de 6 metros de longitud, debiéndose instalar en cualquier lugar con visión suficiente al cielo.

El módulo receptor/decodificador contiene un receptor avanzado de seis canales en paralelo, una fuente de alimentación y una interface de comunicaciones controlado por microprocesador.

El 488GPS esta diseñado para auto inicializarse sin intervención de un operador. Una vez alimentado, el receptor comienza su búsqueda de satélites disponibles. Tras conseguir comunicarse, con tres satélites, el equipo calcula con precisión la fecha y hora a partir de la información recibida.

Cuando la información horaria es disponible y exacta, el módulo receptor/decodificador transmite señales de sincronización cada minuto utilizando un código directamente interpretable por un reloj patrón de la serie 482.

El código provee información de hora UTC y fecha, y puede transmitirse mediante un par sin apantallar hasta 1000 metros de distancia.

El reloj patrón serie 482 convierte automáticamente la hora UTC a hora local si previamente se programa el desplazamiento horario.

En este sistema, se utilizan dos unidades 482, que proporcionan dos señales de reloj independientes, y a través del conector de salida de 25 pines (RS 232) se envían al módulo de conmutación automática 487, que es un sistema supervisor, y con la posibilidad de modificar manualmente la selección uno de dos modelos 482, utilizados como principal y de reserva respectivamente, en una central horaria.

En la unidad CRA, se encuentran los interruptores de encendido y apagado del SRCH, según se especifico en el inciso 4.3.6.1.

Siempre que se encienda la unidad 487, habilita como señal de reloj de salida (hacia los Extractores) la del reloj que no tenga “error” en caso de que ninguno de ellos tenga error, selecciona por defecto la del reloj patrón 1. Cuando se apaga la unidad 487, se selecciona el reloj patrón 2.

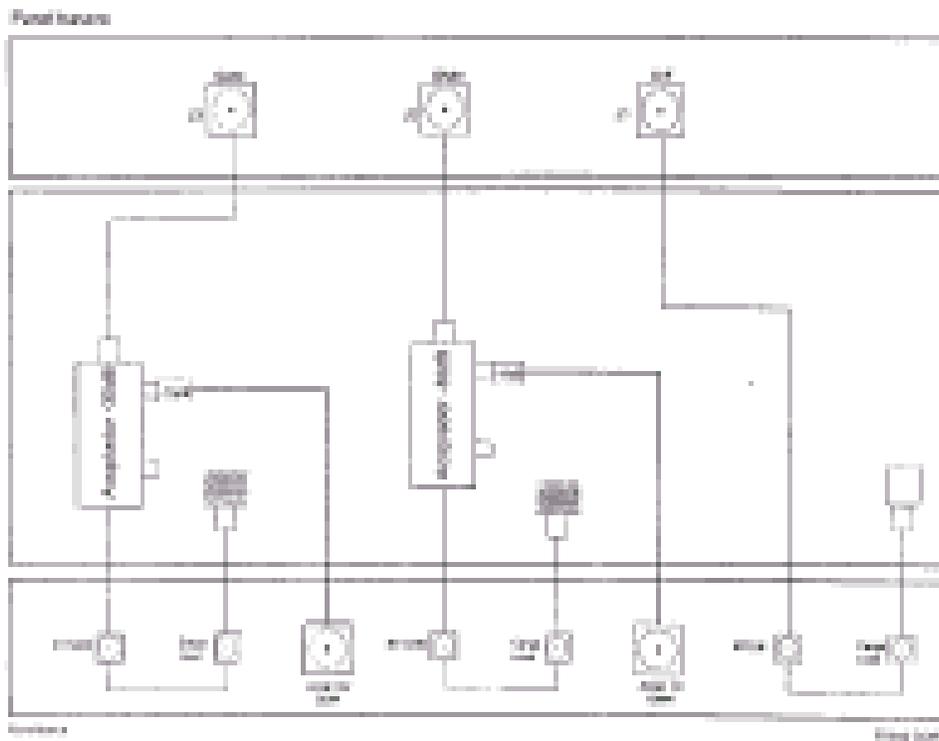
4.3.6.3 Unidad de puentes y acopladores (UPA)

Esta unidad (figura 44) es la encargada de encaminar las señales de radiofrecuencia del canal de reserva bien hacia la UTS o bien hacia unas cargas artificiales, mediante tres puentes situados en el panel frontal intercambiables.

En el caso de que el transmisor de reserva se ponga en situación de mantenimiento, se puede transmitir, y los puentes dirigen la señal de P1, P3 por el canal suma y P2 por el canal omnidireccional hacia las cargas artificiales de 50 ohmios mediante unos acopladores bidireccionales de -30 db, que junto con un atenuador de -10 db, se obtiene por el panel frontal de la unidad una muestra de cada una de las señales, para poder medir la potencia del transmisor.

En el caso de que el receptor de reserva esté en situación de mantenimiento y los puentes de la UPA conectados a la UTS (canales suma, omni y diferencia), se pueden realizar medidas de sensibilidad, RSLs y GTC, entre otras. También sirve esta unidad, para que en el caso de que no exista la UTS en el sistema, cerrar el circuito de radiofrecuencia del transmisor de reserva hacia las cargas artificiales, por medio de los puentes.

Figura 44. **Unidad de puentes y acopladores (UPA)**



4.3.6.4 Modulo de fuentes de alimentación (MFA)

Este módulo (figura 46) contiene cuatro fuentes de alimentación, de tal manera que a partir de una entrada de tensión (220 VAC) por el conector J4 del panel posterior, proporciona las tensiones de +50, +5, +15, -15 VDC, son distribuidas a los tres módulos restantes por los conectores J1, J2, J3 también del panel posterior.

Aunque el resto de los módulos utilizan otras tensiones, cada modulo genera las suyas necesarias a partir de las ya mencionadas. Esto facilita la reparación individual de cada modulo ya que con una sola fuente de alimentación de laboratorio se puede generar las demás tensiones, no siendo necesaria una F.A. especial que contenga todas las tensiones del RTM (Unidad que integra los cuatro módulos: MFA, MRX, MCT y MTX).

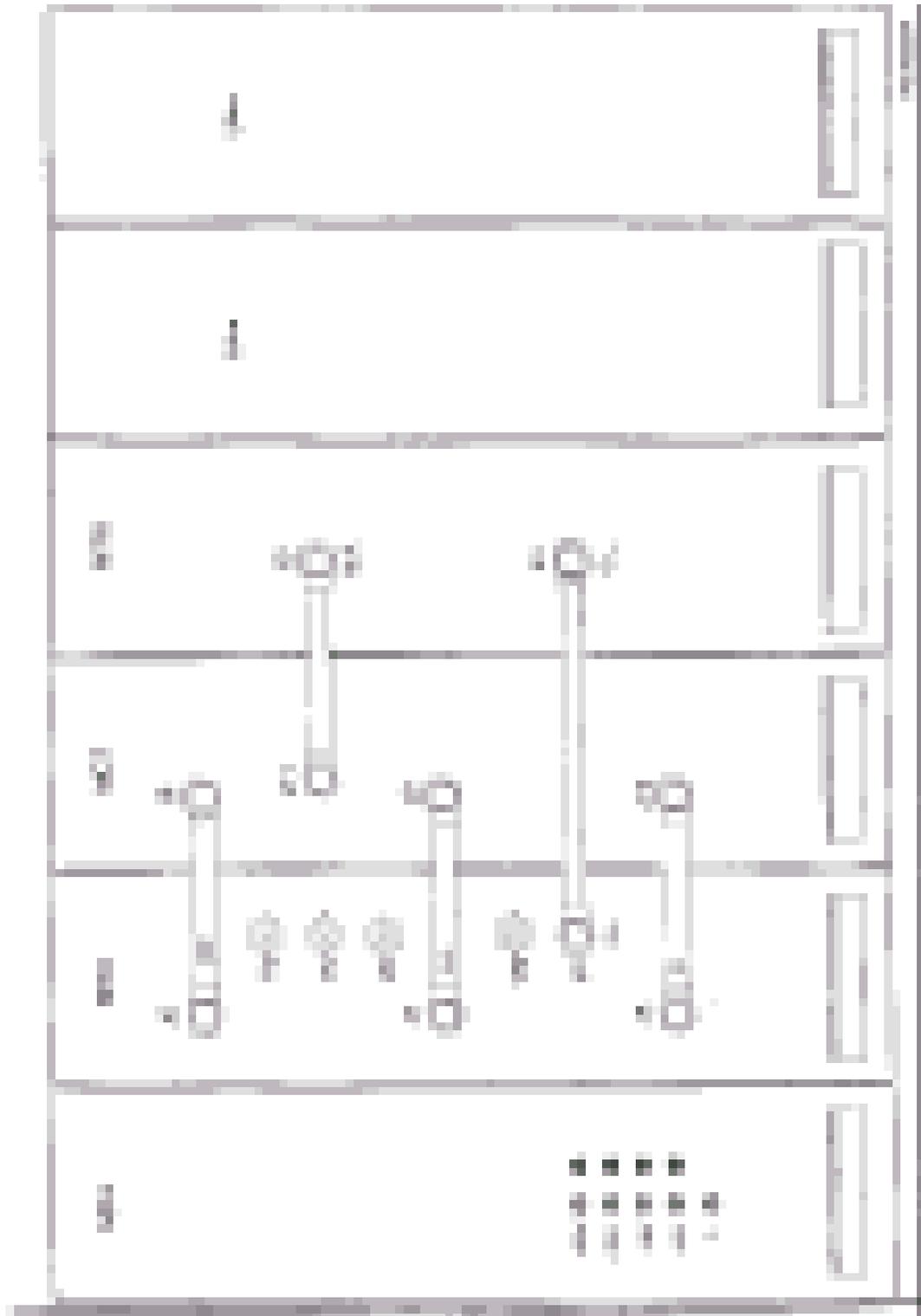
4.3.6.5 Módulo transmisor (MTX)

En este módulo (Figura 47) se recibe la señal del oscilador local a 1030 mhz por el conector J4 del panel frontal, procedente del receptor y se entrega al módulo MCT la señal en RF de los pulsos de interrogación ya modulados, por el conector J3 también del panel frontal.

El módulo transmisor a su vez, consta de las siguientes partes:

- Un modulador-excitador
- Un control de potencias y tensiones
- Un divisor-combinador
- Cuatro módulos de potencia (iguales)

Figura 45. **Panel frontal del conjunto de interrogación de RF**



En el modulador, la señal de RF del oscilador local, es modulada a bajo nivel por los pulsos de interrogación procedentes del extractor y pasan al MTX por el conector J1 del panel posterior, obteniendo a su salida una señal de RF pulsada. Esta señal, se lleva al excitador que eleva el nivel de potencia hasta 175W consiguiendo un nivel adecuado para una correcta excitación de los módulos de potencia.

El divisor de potencia divide la señal del excitador en cuatro señales iguales que son amplificadas por los módulos de potencia y que se combinan en el circuito combinador para conseguir una señal pulsada de RF de 2.5 KW aproximadamente.

La tarjeta de control de potencia permite la desconexión de 1, 2 ó 3 módulos de potencia controlados por las órdenes del selector de potencia SELPOT-1-2-3-4, consiguiendo una reducción de potencia de 2.5, 6 y 12 db respectivamente.

Descripción general:

En el modulador, la entrada del oscilador local, es atenuada, para conseguir una buena adaptación y para ajustar la potencia de señal al nivel requerido para las etapas amplificadoras.

Internamente el modulador posee dos transistores (TR5 y TR6) que amplifican la señal del oscilador local (1030 Mhz), durante la modulación de los pulsos de interrogación para proporcionar una potencia de salida de 4 vatios.

Los pulsos de interrogación (procedentes del extractor), llegan a la tarjeta de polarización del modulador, y a través de dos redes diferentes se aplican simultáneamente a las bases de dos transistores internos (TR2 y TR4) que están en cascada con otros dos (TR1 y TR3), respectivamente. Durante la modulación de los pulsos, los transistores (TR2 y TR4) se encuentran en corte y los transistores internos (TR1 y TR3) funcionan en saturación.

La tensión existente en los emisores de TR1 y TR3, son ajustables con P1 (para ajuste de anchura de pulso) y P2 (para amplitud máxima del pulso) respectivamente y se aplica a las bases de los transistores de radiofrecuencia TR5 y TR6 del modulador.

El excitador contiene tres etapas amplificadoras clase C. Mientras tanto en la entrada del módulo, un atenuador sirve como aislamiento entre el modulador y el excitador.

La potencia del modulador, debidamente atenuada, es amplificada suavemente por el transistor TR7, que eleva el nivel de potencia a 4 vatios. El transistor TR8 a 35 vatios y el transistor TR9 proporciona un nivel de potencia a la salida del excitador de 175 vatios.

Todas las etapas amplificadoras, están adaptadas en entrada y salida a 50 ohmios. Los condensadores electrolíticos C21, C25 y C28, son los encargados de proporcionar la corriente necesaria a los transistores durante el pulso.

Figura 46. **Módulo de fuentes de alimentación (MFA)**

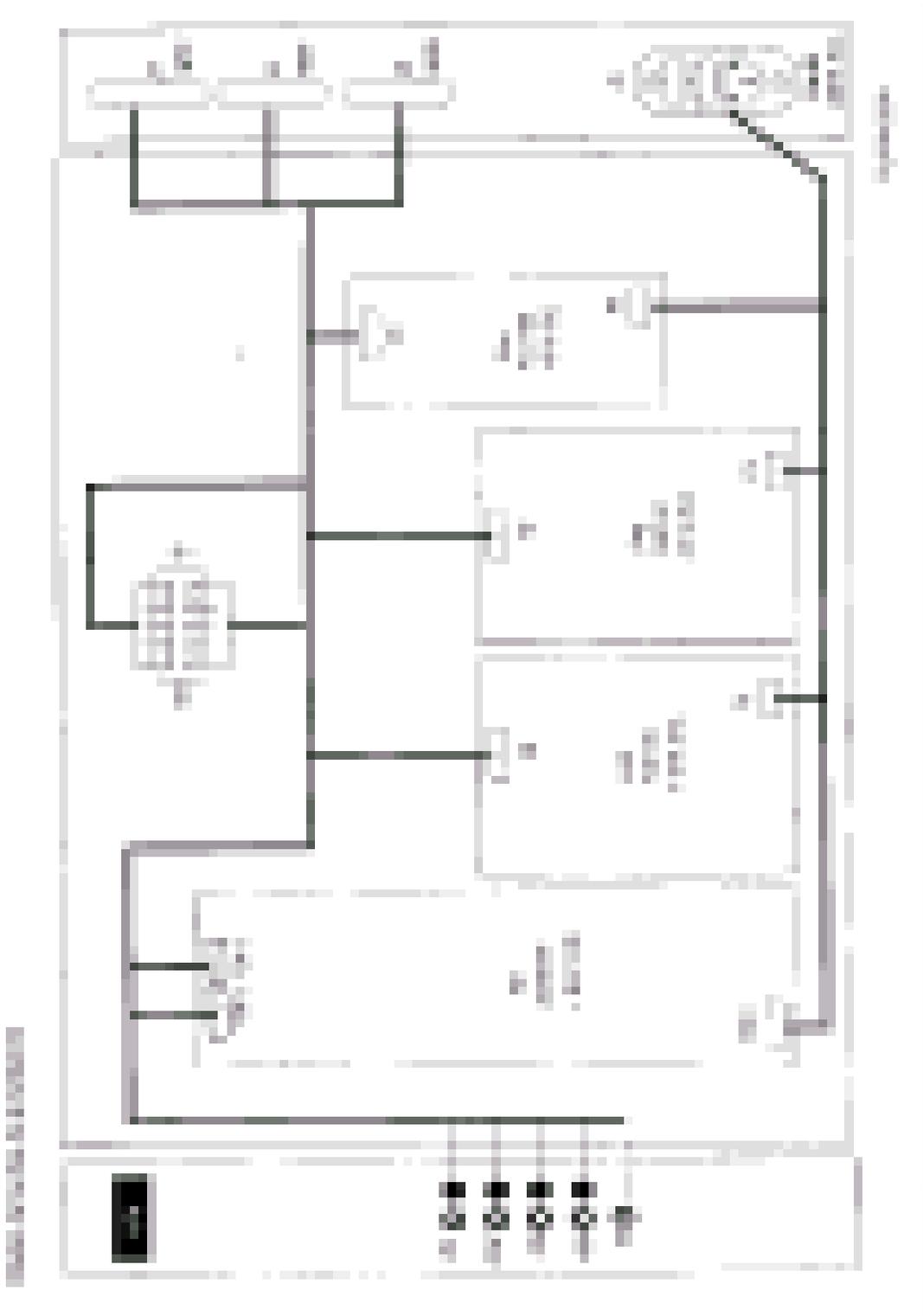
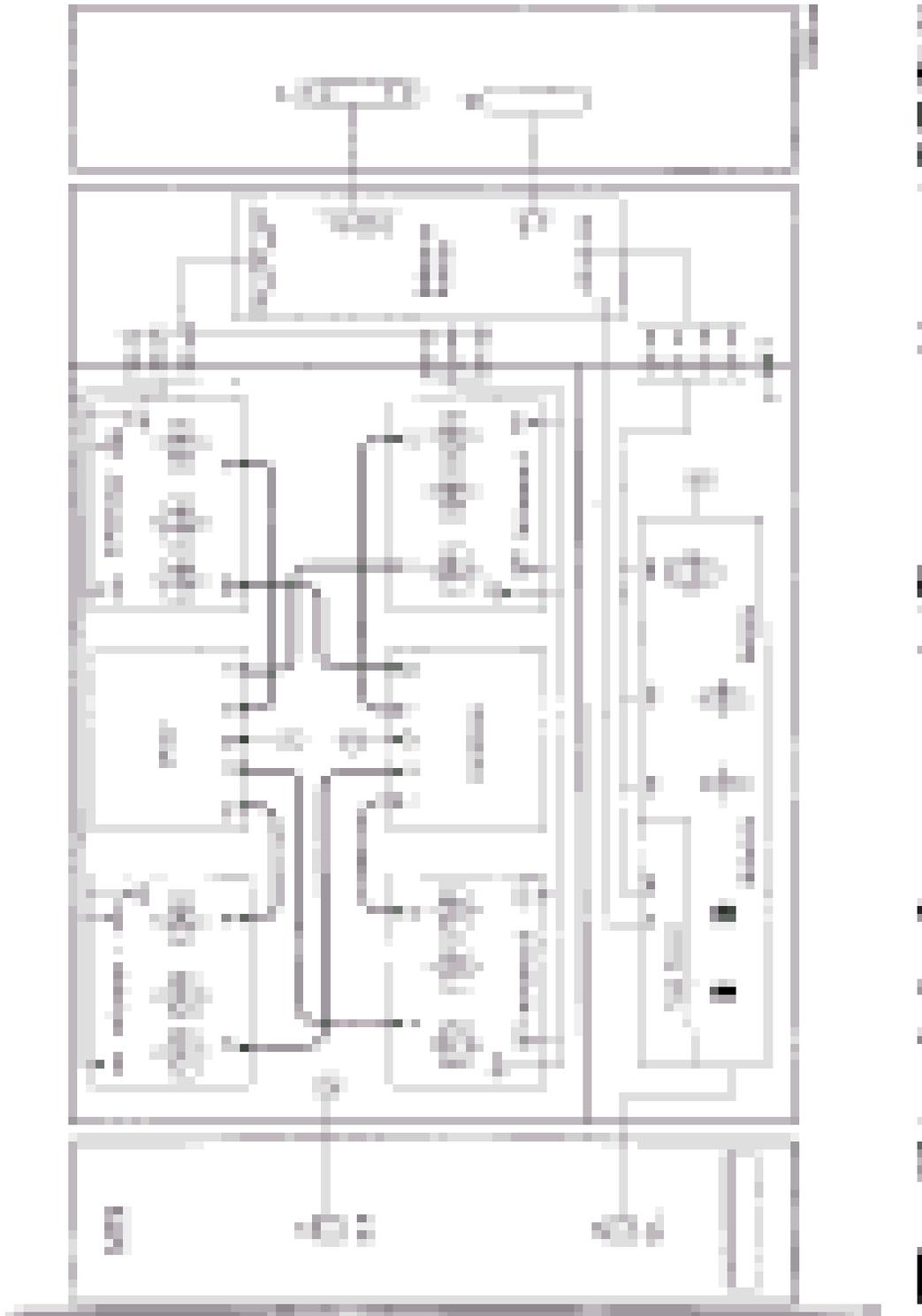


Figura 47. Descripción general del módulo de transmisión



Divisor-combinador: El divisor y el combinador son dos circuitos eléctricamente idénticos que contienen cada uno de ellos tres híbridos *branch-line*.

El divisor separa el pulso de 175 vatios del excitador en cuatro niveles de aproximadamente 35 vatios, que se aplican a la entrada de los módulos de potencia.

Cada una de las cuatro entradas del combinador recibe aproximadamente 750 vatios de los amplificadores de potencia, que se combinan para formar un pulso de 2,500 vatios.

Cuando el transmisor funciona en los modos Potencia Alta, Media y Baja, donde 1, 2 ó 3 módulos de potencia se encuentran desconectados, parte de la potencia del resto de los módulos se disipa en las cargas internas del combinador debido a la falta de simetría en el proceso de combinación.

4.3.6.6 Modulo de conmutación y test (MCT)

En este módulo, (figura 48) se recibe la señal de los pulsos de interrogación P1, P2, P3, modulados a 1,030 Mhz, procedentes del transmisor por el conector J11 del panel frontal y son encaminados hacia la antena, separando P1 y P3 por el canal Suma y P2 por el canal omnidireccional (conectores J5 y J4 respectivamente del panel posterior de la unidad), en el periodo de transmisión.

Durante la recepción, se reciben las señales procedentes de la antena por los conectores J4, J5 y J6 (canales omnidireccional, suma y diferencia) y se envían al módulo receptor por los conectores J8, J9 y J10 del panel frontal.

El módulo conmutador y test, consta a su vez de las siguientes partes:

- Una unidad entrada-salida
- Un oscilador de test
- Una tarjeta de drivers
- Dos acopladores direccionales (Σ , Ω)

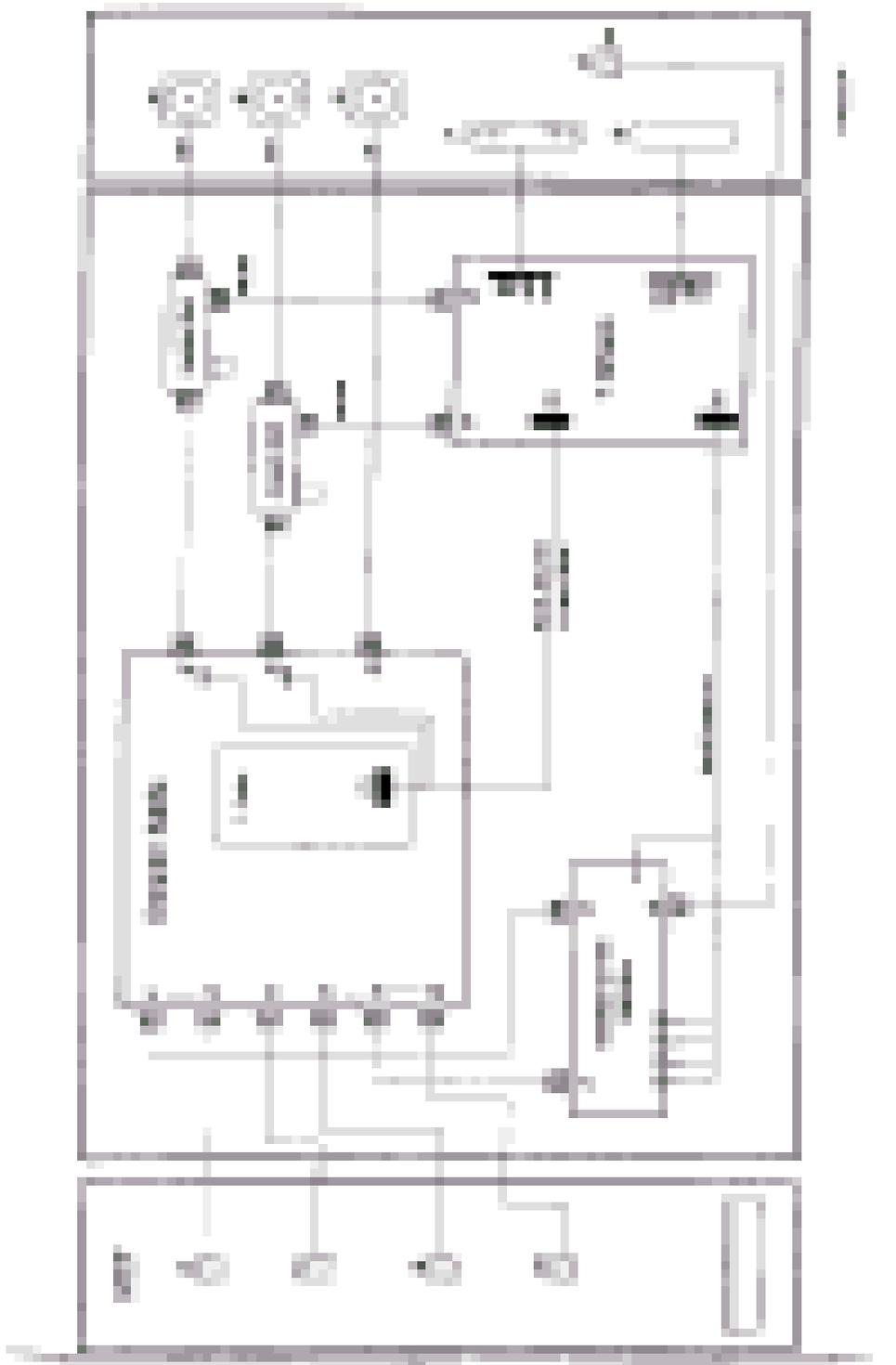
Unidad de entrada-salida: la unidad de entrada-salida, tiene como misión, conmutar la señal del transmisor en transmisión y recibir respuestas para el receptor, utilizando la misma antena para ambas funciones (TX y RX).

Para controlar estas funciones, se utiliza una Tarjeta de Control a cuyo conector P1, llegan las señales: Puerta de Interrogación (P,INT) y Puerta de Control P2 (P,ISLS).

La señal P,INT controla los diodos PIN para cada canal en las situaciones de transmisión/recepción y la señal P,ISLS controla la situación para transmitir P1 y P3 por el canal Suma y P2 por el canal Omnidireccional.

Para mantener la igualdad de fase necesaria entre los canales suma y diferencia, se han igualado las longitudes físicas de las líneas. Para eliminar el nivel de armónicos y espúreos radiados de la unidad de entrada-salida, disponen de tres filtros pasabanda uno para cada canal. El filtro del canal diferencia, por el cual no se transmite potencia, tiene por objeto mantener la igualdad de fase con el canal suma.

Figura 48. **Módulo de conmutación y test (MCT)**



Para disponer de información de la potencia incidente en antena, de los canales suma y omnidireccional se han implementado detectores de potencia. La detección se realiza con los diodos *Schotthy*, tomando muestras de las señales (incidentes) mediante acopladores direccionales de pequeño acoplo. La señal detectada se filtra con un condensador y se envía a la tarjeta de Drivers.

Para disponer de información de la potencia reflejada por la antena, los canales Σ y Ω , se han implementado dos acopladores direccionales de 30 db, fuera de esta unidad de E/S.

Oscilador de test: el oscilador de test, básicamente es un oscilador SAW (oscilador de onda de superficie) que suministra señales pulsadas a la frecuencia de 1090 Mhz con una potencia de 7 dbm.

El nivel de potencia de la salida del canal suma, es de 16 dbm superior a la salida del canal omnidireccional, para que en el proceso de video, el extractor no elimine las respuestas de chequeo por comparación RSLs. Estas señales se aplican a los receptores suma, diferencia y omnidireccional mediante acopladores direccionales dentro de la unidad de entrada-salida y permiten realizar en el procesador de vídeo un chequeo completo de la unidad receptora.

La inyección de la señal de prueba en los canales suma y diferencia se realiza a través de una única entrada. Esta configuración tiene por objeto mantener la misma fase en la señal inyectada en ambos canales, independientemente de la longitud del cable de unión al oscilador de test.

La señal de prueba se reparte por igual hacia los acopladores direccionales de los canales suma y diferencia mediante un divisor Wilkinson. Con una línea de $\pi/4$ se desfasa 90° la señal de prueba diferencia para que se pueda realizar la detección monopulso en la unidad receptora.

Existe una salida J3 que se eleva hasta el conector J7 del panel superior del modulo, cargada con 50 ohm para facilitar las tareas de mantenimiento. También tenemos las salidas J1 y J2 necesarias para alimentar las entradas de chequeo de los tres canales.

Tarjeta de drivers: la tarjeta de drivers, contiene como su nombre lo indica todos los drivers necesarios para las señales de salida y entrada al módulo de conmutación y test que se realiza por el conector J1 del panel posterior al modulo.

Recibe por el conector de la tarjeta P2, las señales de potencia incidente omnidireccional y suma ya detectadas en la unidad de entrada-salida y sus niveles pueden ser ajustados mediante unos potenciómetros internos (PT6 y PT14) respectivamente, antes de que salgan del módulo por medio de los drivers (LH-0033).

Por otra parte, las señales de potencia reflejada, también de las señales Suma y Omnidireccional que se obtienen de los acopladores direccionales (ACO-1 y 2), son detectadas mediante algunos diodos internos (D1 y D2) ajustándose su nivel con los potenciómetros internos (PT5 y PT13) respectivamente, antes de pasar por los drivers (LH-0033) en su camino hacia el exterior del módulo.

Las señales pulso de test, P.INT, P.ISLS, son recibidas por circuitos integrados del modelo 7414 para su posterior utilización. Finalmente, un conjunto de reguladores, proporcionan las tensiones necesarias para el resto de las unidades del módulo, a partir de las tensiones suministradas por el MFA de +50, +15,-15,+5 VDC. De la tensión +50 V, se obtiene la de +50 y -100 VDC; de las de +15 y -15V se obtienen las de +12 y -12 VDC y de la de +5, la de +5 VDC.

4.3.6.7 Módulo receptor (MRX)

En este módulo (figura 49) se reciben las señales de los pulsos de las respuestas, moduladas a 1090 Mhz, procedentes del módulo MCT por los conectores J6, J7, J8 del panel frontal correspondiente a los canales omnidireccional, suma y diferencia respectivamente, que una vez filtradas, demoduladas y amplificadas, se envían a los dos extractores como señales de vídeo crudo, mediante los conectores J1 y J2 del panel posterior.

Mediante el conector J9 del panel frontal la señal de RF a 1030 Mhz que procede del oscilador local es enviada al módulo MTX. También en el panel frontal están los puntos de test para cada uno de los videos, suma, omnidireccional, diferencia y monopulso.

El módulo receptor consta de las siguientes unidades:

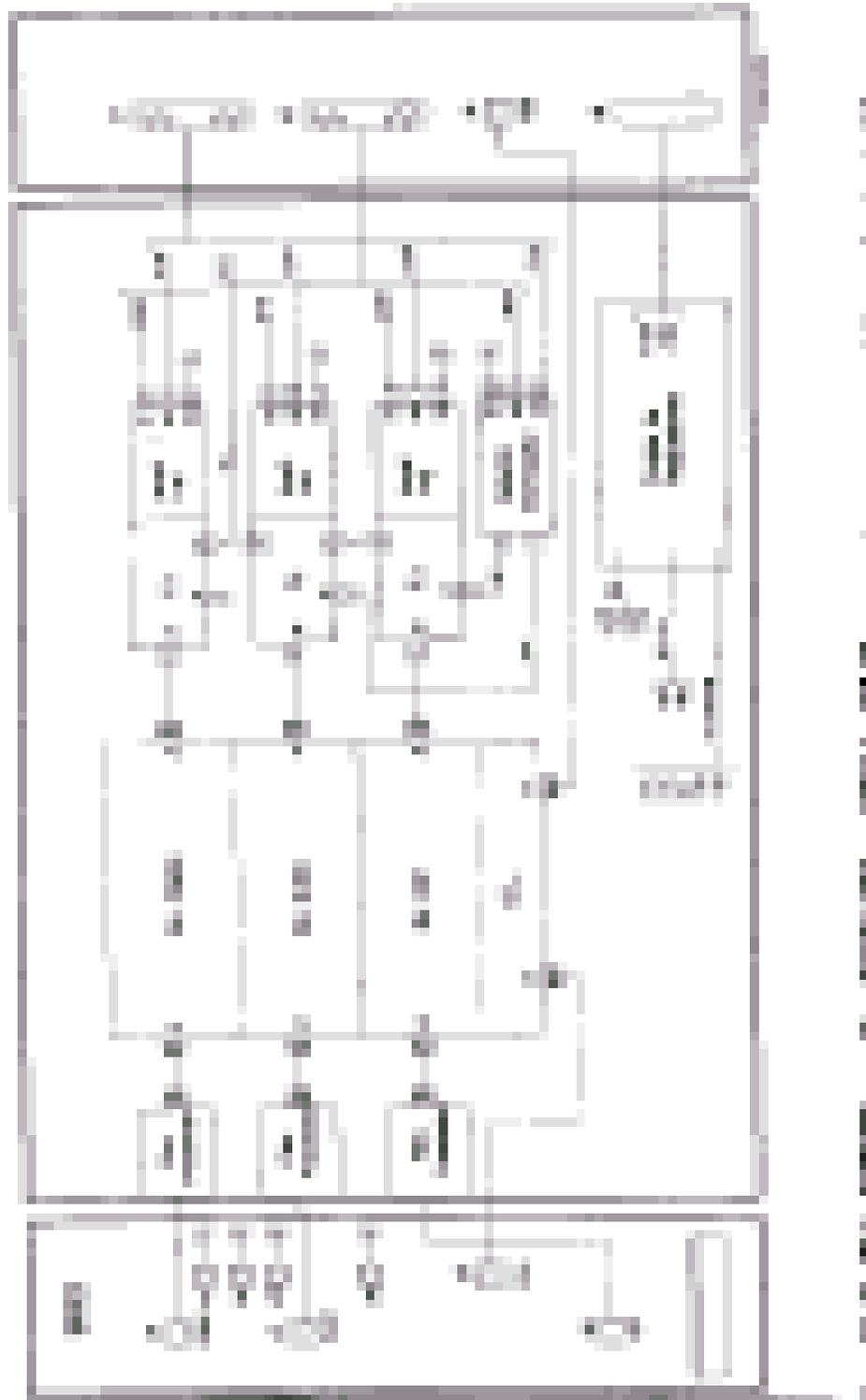
- Tres filtros preselectores.
- Una placa de RF; para los tres canales de recepción más el oscilador local.
- Tres placas de frecuencia intermedia y amplificadores logarítmicos.
- Un detector monopulso.
- Una tarjeta de reguladores de tensión.

Filtros preselectores: los filtros preselectores son filtros electromecánicos a cavidad con cuatro resonadores. Su función es la de permitir el paso de la señal de 1090 Mhz, eliminando otras señales tales como la del propio transmisor y otros radares que podrían dañar al receptor.

A la frecuencia del transmisor, 1030 Mhz y la Frecuencia Imagen, 970 Mhz, este filtro proporciona un rechazo superior a 70 db. Su ancho de banda a 3 db es de 20 mhz y sus pérdidas de inserción de 0.6 db.

Para los canales suma y diferencia la respuesta en fase de estos filtros está ajustada.

Figura 49. Módulo receptor (MRX)



Receptor: el receptor amplifica las tres señales de RF Σ , Ω , y Δ (a 1090 Mhz), las filtra, y las demodula pasándolas a frecuencia intermedia (60 mhz) utilizando el mismo oscilador local que el transmisor (1030 Mhz). El oscilador local mencionado está físicamente ubicado en el receptor.

Consta de tres canales básicamente idénticos, uno para la señal omnidireccional, otro para la señal suma y otro para la señal diferencia, estando estos dos últimos ajustados en fase.

Cada canal, está constituido por un amplificador de RF, un filtro de frecuencia imagen y un mezclador. El amplificador de RF es un circuito híbrido de banda ancha con una ganancia de 16 db y una figura de ruido de 3.1 db.

El filtro de frecuencia imagen permite el paso de la frecuencia del receptor 1090 mhz, consiguiendo una mejora del factor de ruido del receptor de aproximadamente 3 db. El filtro es sintonizable mediante un condensador variable.

El mezclador utilizado (SRA-5) es del tipo doblemente balanceado. La inyección del oscilador local a los canales suma y diferencia se realiza a través de una única entrada de oscilador local y mediante un divisor Wilkinson.

Oscilador local: el oscilador local, es un oscilador SAW que suministra una señal de 1030 mhz con una potencia de 7 dbm. Esta frecuencia es ajustable mediante un potenciómetro (P1) en un margen de 300 Khz. aproximadamente. Este ajuste es necesario para llevar el oscilador a la frecuencia de 1,030 +/- 0.2 mhz, especificada para el transmisor.

A la salida del oscilador, un acoplador direccional de -20 db, proporciona dos salidas. La salida atenuada se lleva al conector J5 y al panel posterior cargada con 50 Ohm, para tareas de mantenimiento. La salida directa del acoplador se lleva a un amplificador que proporciona la potencia de 13 dbm necesaria para excitar al Transmisor y a los Mezcladores del Receptor.

La potencia se distribuye a las salidas mediante híbridos (Branch-line), obteniéndose 10 dbm para el oscilador local suma/diferencia y 7 dbm para el oscilador local omnidireccional y el transmisor, respectivamente.

Frecuencia intermedia y amplificador logarítmico: las señales de frecuencia intermedia (60 mhz) que proporciona el receptor para los canales omnidireccional, suma y diferencia, llegan a tres placas iguales por el conector J5, para detectar los videos y una vez amplificados, se distribuye cada señal mediante drivers cuyas salidas S1, S2 y S3 (de cada vídeo) se envían al panel frontal así como a los conectores J1 y J2 del panel posterior del módulo y de aquí a los dos extractores.

Estas placas tienen otra salida J4, que se utilizan en el canal suma y diferencia como entradas de señal al detector monopulso P4 y P5 para su proceso.

Internamente, posee un atenuador fijo que tiene como función compensar la desigualdad en amplitud que se produce a la unidad de Entrada-Salida debida a que la atenuación que presenta cada canal es distinta. De esta forma se igualan en ganancia los tres canales, desde las entradas hasta las salidas de FI. También tenemos el filtro de FI (F1), es del tipo L-C con siete resonadores y tiene como misión proporcionar la selectividad del receptor.

Tenemos también internamente el atenuador controlado en tensión U10 (G1) es un circuito integrado híbrido a diodos PIN con un margen de atenuación de 20 db. El atenuador es controlado por un linealizador U9 (LG1), cuyo objeto es linealizar la respuesta de los atenuadores en función de la tensión de control GTC. La señal GTC permite realizar la función ganancia controlada en el tiempo, de RF, en un margen de 20 db.

Los atenuadores de los canales suma y diferencia son controlados por un único linealizador para mantener un buen acople de amplitud y fase.

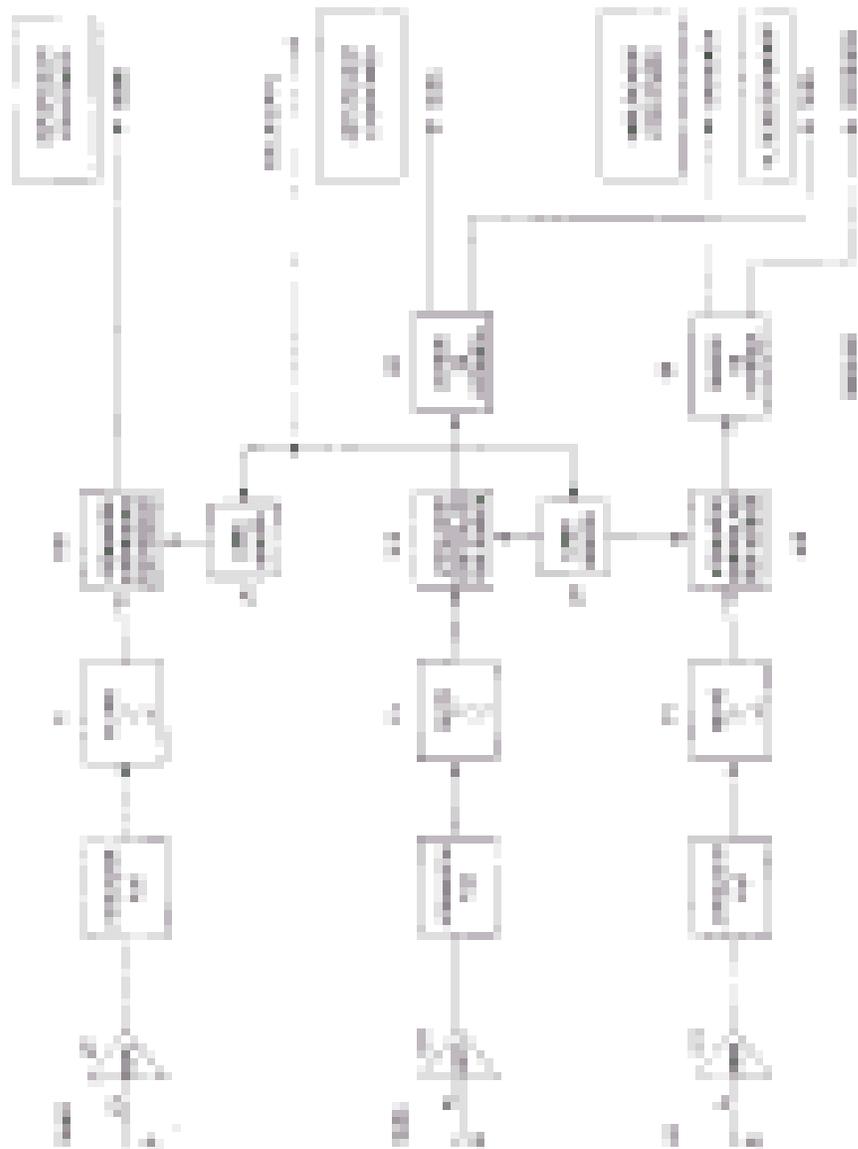
Para alimentar desde el canal suma al amplificador logarítmico y al detector monopulso, su salida se realiza con un divisor de potencia U8 (PSC-2-IW). El canal diferencia contiene otro divisor de potencia U8, para acoplar en fase con el Suma y obtener también dos salidas, una para el amplificador Logarítmico y la otra para el Detector Monopulso.

Detector monopulso: las señales de 60 mhz de los canales suma y diferencia se aplican al detector monopulso (Figura 50) que extrae la información del error de puntería de la antena con respecto al ángulo de llegada de la señal de RF.

Al combinador le llega las señales de los receptores suma y diferencia. La señal del receptor diferencia está en fase o en contrafase con respecto al suma, dependiendo de sí el ángulo de llegada de la señal se encuentra a la izquierda o a la derecha del eje de la antena.

La señal del receptor suma se divide en dos señales en el circuito U7, ambos en fase y una se combina en el circuito U4 con la señal del receptor diferencia, saliendo ambas señales desfasadas. Para mantener el acople en fase, todas las señales deben pasar por los mismos circuitos.

Figura 50. Descripción general del módulo receptor



Las señales Σ , $(\Sigma - j\Delta)$, $\Delta - j\Sigma$) se llevan a los desfasadores controlados por tensión constituidos por los circuitos U9, U2, U6, los varicaps y los condensadores. Variando la tensión de los varicaps con los potenciómetros PT3, PT2, PT1, se cambia la fase de inserción de los circuitos U9, U6 y U2, respectivamente. Mediante estos desfasadores se puede realizar un ajuste fino de las características de fase de las señales suma, combinación suma/diferencia y combinación diferencia/suma.

Para un correcto funcionamiento de los amplificadores limitadores, las salidas se realizan a través de los amplificadores híbridos de banda ancha U1, U5 y U8.

La función de los amplificadores limitadores es conseguir que al detector de fase le lleguen señales de amplitud constante, independiente de la potencia de entrada al detector monopulso. De esta forma la detección de fase no se ve afectada por las variaciones de amplitud, y su salida es únicamente función de la diferencia de fase entre la señal combinada suma/diferencia. (Como amplificadores limitadores se utilizan circuitos integrados SL532)

El principio de funcionamiento de las cadenas limitadoras es el siguiente: si la señal es de amplitud pequeña, es el último amplificador limitador U8 el encargado de mantener el nivel, proporcionando el resto de amplificadores la cadena de ganancia necesaria; si la señal aumenta, empieza a limitar también los amplificadores limitadores U7, U6, U5, U4, sucesivamente.

La entrada de la cadena limitadora esta adaptada a 50 Ohm, y la salida se realiza a través de un amplificador *buffer* U1 (SL560), y del transistor U4 (2N4427) que tiene por objeto adaptar la impedancia de salida del limitador a la impedancia de entrada del detector de fase.

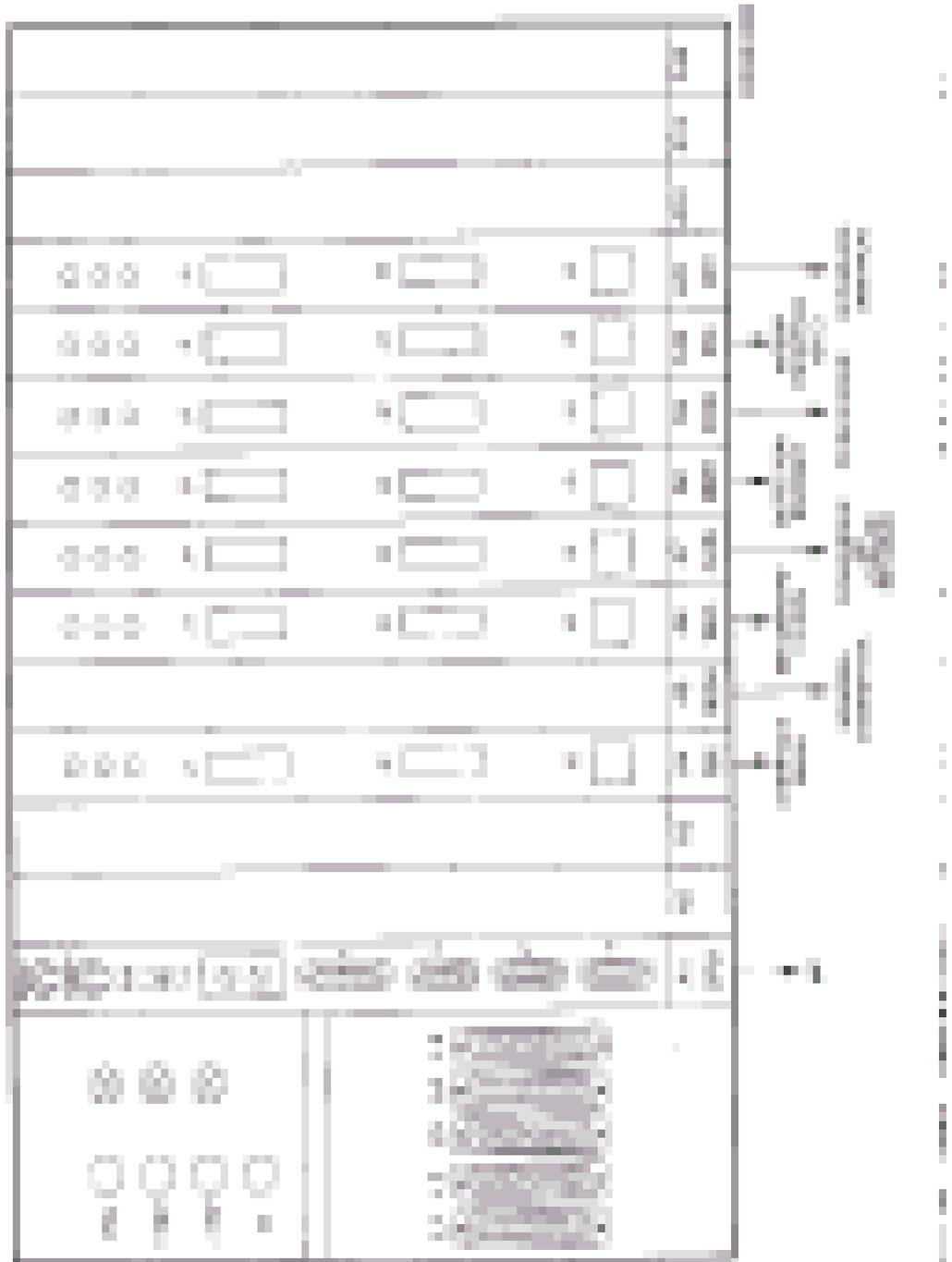
El detector de fase A3 consta de un desfasador de 90° U3, de dos mezcladores doble balanceado U4, U1 y de un amplificador de vídeo U2. Los mezcladores reciben las señales suma desfasada, combinación suma/diferencia, suma y combinación diferencia/suma y da una salida de video que es proporcional al coseno de la diferencia de fase entre ellas. El amplificador de vídeo U2 (SL541) fija un nivel de video adecuado que sirve de entrada a tres drivers U6, U7 y U8, cuyas salidas corresponden con S1, S2 y S3 utilizadas para el proceso y punto de test del panel frontal. (A la salida del amplificador U2 existe un punto de test interno P4)

4.3.6.8 Extractor monopulso

A continuación se describe el funcionamiento de esta unidad así como los distintos elementos que la componen físicamente en la figura 51.

- Un conjunto fuente de alimentación.
- Un panel frontal salida de datos radar.
- Un conjunto de tarjetas:
 - A1 – procesador
 - A2, A3 – reserva
 - A4 – interface serie
 - A5 – memoria compartida
 - A6 – secuenciadores y fifos (memoria)
 - A7 – convertidores analógico-digital y línea de retardo digital
 - A8 – detector de *bracket*
 - A9 – codificador de interrogaciones
 - A10 – interface del receptor
 - A11 – interface
 - A12, A13 y A14 – reserva

Figura 51. Extractor monopulso



Esta unidad cuyo diagrama de bloques es el de la Figura 52, genera a partir de las señales de trigger externo o interno (RPT ó BST respectivamente), los pulsos de interrogación junto con las señales de control para el módulo transmisor (MTX), señales de control para el módulo de conmutación y test (MCT) y señales de control para el módulo receptor (MRX).

Todas estas señales, se generan a partir de un PRF seleccionable (mediante menú del terminal de la UCS), el cual puede generar un trigger “constante”, o bien “pseudoaleatorio”, con una secuencia de periodos diferentes, ajustables entre 50 y 450 Hz y que se denomina STAGGER.

Con las señales de video suma, video omnidireccional, video diferencia y vídeo monopulso procedentes del módulo receptor (MRX), debidamente procesadas, se detectan las respuestas que identifican a un respondedor, determinando su distancia y su posición angular (suministrada por los pulsos de referencia de posición de antena ACP y ARP) proporcionando un conjunto de datos que se almacenan en una memoria la cual el procesador genere como resultado un blanco con su información asociada de distancia, acimut, código y altura, en el formato de transmisión requerido DDE ó Asterix para su posterior utilización (sistema de presentación o sistema multiradar).

Las interfaces externas del extractor están implementadas en varias tarjetas:

- A1 - CPU (Conexión a lan ethernet para control del extractor y envío de datos radar).
- A4 - Interface de líneas serie (Transmisión de datos radar y supervisión del extractor).

- A9 - Codificador de interrogación (Control del MTX y del MCT en transmisión).
- A10 - Interface con el receptor (Recepción de videos, control del MRX y del MCT en recepción).
- A11 - Interface general (Entradas y salidas de sincronismos, transmisión de videos, etc.).

El extractor monopolso, funciona con un reloj maestro de 20 mhz (generado en la tarjeta A11) que se reparte al resto de las tarjetas del extractor (un reloj independiente para cada una de ellas), de forma que las señales entre las diferentes tarjetas sean sincronas lo que proporciona una gran fiabilidad al proceso. Este reloj no es utilizado por el procesador (A1-CPU) ya que no tiene exigencias de sincronismos con relación a los procesos en tiempo real. Esta tarjeta dispone de un reloj propio para su funcionamiento.

Descripción funcional básica del extractor monopolso: en el aspecto funcional, el extractor monopolso se divide en dos procesos principales:

- 1) Sincronización e interrogación.
- 2) Detección y tratamiento de blancos.

El primer proceso corresponde a la sincronización del extractor con los módulos y equipos a los que está conectado, (antena, otro extractor, un radar primario, etc.) en cuanto a la generación de señales que controlan los tiempos de transmisión y recepción, y a la generación de las señales de interrogación.

Para realizar estas funciones, se utilizan las siguientes tarjetas:

- A11 – Interface, que principalmente adapta el trigger externo de radar Primario (RPT) y proporciona las señales de posición angular de antena (ACP's y ARP's) permitiendo el ajuste de éste último para toma de referencia al norte. También genera la señal de reloj maestro a 20 mhz.

- A9 – Codificador, que principalmente genera el trigger de secundario (BST) y señales requeridas por el transmisor, como son los pulsos de interrogación.

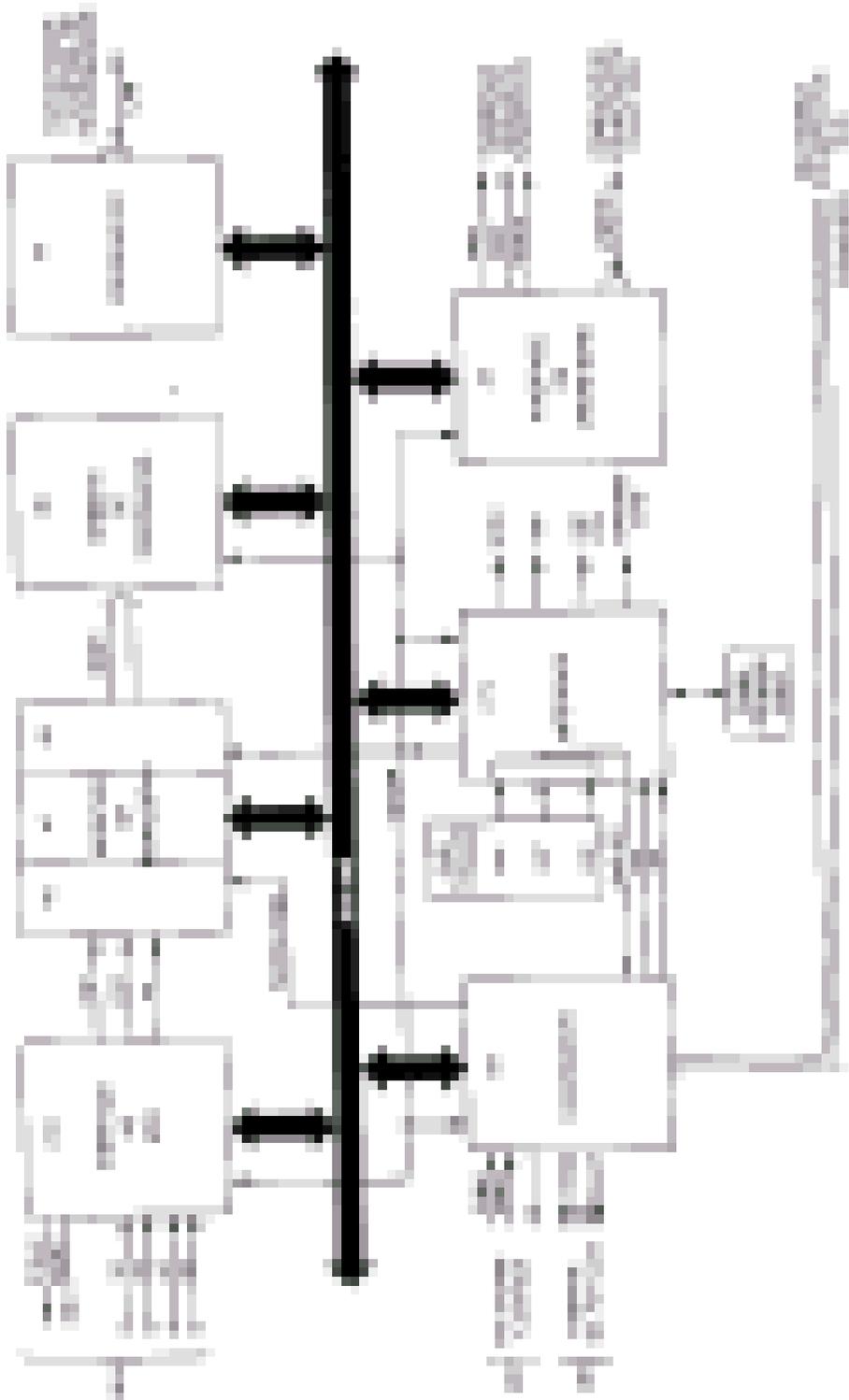
Después de que el receptor realiza el tratamiento de las respuestas de un blanco, proporciona pulsos de video crudo a la tarjeta A10, interface del receptor, donde son normalizados, para posteriormente aplicarles las funciones GTC y RSLs.

El segundo proceso (detección y tratamiento de blancos), se puede dividir a su vez en dos bloques: *hardware* y *software*. El punto donde se realiza ésta partición está en función de la velocidad necesaria, costo y estado actual de la tecnología.

El primero de ellos realiza la función de detección de respuestas (implementado fundamentalmente en *hardware*), que corresponde al tratamiento de los videos de señal recibidos en tiempo real.

Una vez declarado el bracket, (es decir identificación F1 y F2) se leen las posiciones de los contadores de acimut del eje de la antena y de la distancia, de manera que por cada Bracket detectado se almacena la siguiente información de la respuesta: distancia de la respuesta, acimut del eje de la antena en el momento de la detección, muestras del vídeo crudo de cada uno de los posibles pulsos de la respuesta e información del modo de interrogación y flags.

Figura 52. Diagrama de bloques del extractor monopulso



El procesador, (A1) mediante análisis, extrae de la información recibida lo siguiente: código de la respuesta (incluido el SPI = pulso de identificación especial) distancia de la respuesta, acimut de la respuesta, confianza para cada uno de los pulsos de la respuesta e información adicional de flags relativos a la detección realizada.

El valor de acimut de la respuesta se extrajo corrigiendo el acimut del eje de la antena, mediante el valor óptimo del video monopulso, y dicho valor óptimo es la media de los valores de los videos Monopulsos de los pulsos de alta fiabilidad.

La conversión de video monopulso a valor angular para corregir el acimut se realiza mediante una tabla de conversión video-acimut previamente almacenada en el extractor.

El cálculo o calibración de la curva monopulso óptima se realiza automáticamente en el Extractor monopulso mediante análisis estadístico. En el terminal asociado a la UCS, se puede acceder al menú de generación, cálculo y manejo de la curva monopulso de cada extractor, prosiguiendo un nuevo proceso *software* que calculara la nueva curva monopulso, y será advertido una vez el proceso estadístico converja y su variación sea menor que una cota establecida. A partir de dicho momento se puede sustituir una curva por otra y evaluar sus mejoras.

La correlación vuelta a vuelta se realiza para eliminar datos de blanco falsos como las reflexiones. Se genera automáticamente un mapa, adaptado en áreas con reflejos. Se obtienen los datos tanto de los blancos eliminados por considerarlos reflejos como la situación y características de los reflectores localizados.

En el terminal asociado a la UCS, se accede al menú de generación, cálculo y manejo de la información disponible en relación con los reflejos, y se puede lanzar un proceso de cálculo de los reflejos, recalcular bien en la zona con reflejos, o bien en la zona sin reflejos, o bien en su totalidad.

Asimismo, se dispone de una salida en la que se puede seleccionar que se disponga de los blancos que han sido eliminados por considerarlos reflejos. El proceso *hardware* del extractor, en cuanto a la detección de respuestas, esta basado en el funcionamiento de las siguientes tarjetas:

- A8 – Detector de bracket
- A7 – Convertidor A/D y líneas de retardo
- A6 – Secuenciadores y fifos
- A5 – Memoria compartida

El detector de respuestas tiene por misión el tratamiento de las señales de video crudo, video error de puntería y vídeo normalizado; para obtener un conjunto de muestras digitales de las señales de video crudo y video error de puntería correspondientes a una única respuesta.

Por esta razón, el video normalizado se utiliza para detectar la existencia de pulsos de bracket (F1 y F2), medir la anchura de los pulsos y comprobar la existencia o no de los pulsos correspondientes al código de la respuesta (en la tarjeta A8, detector de bracket). El video crudo y error de puntería, sin embargo, se utilizan para medir y comparar las amplitudes relativas de los pulsos de las diferentes respuestas recibidas y, así, poder determinar el código de la respuesta y discriminar mejor su procedencia.

El video error de puntería se utiliza principalmente para obtener una mejor precisión en la posición angular del blanco ya que aporta una información de error angular entre el apuntamiento actual de la antena y el acimut real del blanco en cada respuesta de éste.

La función de medida de las amplitudes del video crudo y error de puntería, se realiza mediante dos convertidores A/D en la tarjeta A7. A continuación, estas muestras se introducen en sendos registros de desplazamiento (Tarjeta A7), para mantener el sincronismo entre el video normalizado y las muestras adquiridas (video crudo y error de puntería).

El video normalizado se irá almacenando en su propio registro de desplazamiento (tarjeta A8 y detector de bracket) de forma sincrona con las muestras del video crudo y error de puntería. En unas salidas paralelas de este registro, separadas en el tiempo $20.3 \mu\text{s}$, se conectan sendos decodificadores que detectarán la presencia de los pulsos F1 y F2 generando así un impulso de *bracket*.

Finalmente, existe un circuito capaz de eliminar los *brackets* asíncronos provocados por interferencias externas, fruta, etc., antes de ser enviados como video *bracket* a una pantalla tipo PPI (en la tarjeta A8 Detector de Bracket).

El segundo bloque (*software*) corresponde ya a un tratamiento sobre datos almacenados en memoria y realiza las funciones de: proceso de respuestas (determinación de su código y posición), detección de blancos (asociación de respuestas para formar blancos y correlación de blancos con pistas y otros blancos) y formateado de blancos (paso a formatos DDE y Asterix), realizándose todo ello en la tarjeta A1- procesador.

El proceso de respuesta recoge la información de una respuesta que el *hardware* habrá dejado en memoria y la procesa para obtener, a su finalización, una información de los pulsos que componen esa respuesta (existencia o no de los pulsos y un código de confianza de todos, exista o no, alta o baja), así como una palabra de flags inherentes a cada respuesta y dos palabras más, de distancia y acimut.

Este proceso es muy rápido, no tanto por alta velocidad-media de llegada de respuestas como por la capacidad para procesar picos de cantidad de respuestas recibidas, además de procesar y discernir entre respuestas conflictivas, teniendo en cuenta que, para un mayor número de casos detectables, (por falsas respuestas) inducirán a un proceso más lento.

El proceso de detección de blancos, tiene como función principal, la de agrupar respuestas procedentes del proceso de detección de respuestas, formando blancos en proceso y la de validar dichos blancos, después de haber eliminado las respuestas asíncronas conforme con su historia anterior en caso de existir; la de almacenarlos a disposición del proceso de formateo, para su transición a los centros de presentación radar.

La detección de los blancos, se realiza mediante la tarea de Iluminación, pero también existen otras como seguimiento, generación de reflectores, test y comunicación con el exterior.

La tarea de test se orienta a la comprobación del funcionamiento en distintas situaciones y básicamente son:

- **Test inicial**, que realiza una comprobación general al producirse un reset.
- **Test periódico**, que realiza una comprobación de los indicadores de fallo.
- **Blanco de test**, que se ejecuta cuando se activa desde el exterior.

La tarea de comunicación con el exterior, actúa cuando el programa detecta la solicitud de tal comunicación, mediante una línea "LAN", desde la unidad de control y supervisión, UCS.

Para la comprobación del funcionamiento de estos bloques se utiliza un BITE (Built In Test Equipment) que incluye la generación de un blanco de test que, generado bajo petición del procesador A-1, es inyectado en el receptor en radiofrecuencia, siguiendo el curso normal de una respuesta. Al final, el procesador comprueba la coincidencia del blanco de test recibido frente al enviado.

El proceso formateador de blancos, adapta los datos (de los blancos) de salida del extractor, a una serie de formatos de transmisión normalizados, para poder ser tratados en el proceso multiradar del control de tráfico aéreo, o bien, para una presentación sintética en consola PPI de un proceso monoradar.

La información de cada blanco, es formateada en este sistema y sale de la siguiente manera:

- Salida por UCS, los blancos en ASCII, para su presentación en terminal
- Salida por línea serie, los blancos por seis líneas:
 - DDE-1, información de blancos y plots
 - DDE-2, información de blancos y plots
 - Asterix-1, información de blancos, pistas y plots
 - Asterix-2, información de blancos, pistas y plots
 - Reflejos-1, información de blancos reflejados
 - Reflejos-2, información de blancos reflejados
- Salida por LAN, los blancos en formato DDE (1 y 2) y los blancos con pistas en formato asterix. El formato DDE, esta compuesto por 8 bits de inicio que son ceros lógicos.

Seguidamente, tenemos una unidad de mensaje que estará subdividida en siete bytes. El primer bit de cada byte será el bit de marca y será siempre 1.

Mientras tanto, en formato Asterix, los mensajes se transmitirán en una trama HDLC (High Level Data Link Control).

4.3.7 Unidad de control y supervisión (UCS)

La unidad de control y supervisión, UCS, controla los parámetros operativos del radar y supervisa el buen funcionamiento del mismo.

La UCS está desarrollada bajo el entorno gráfico MOTIF, sistema operativo UNIX.

La interface gráfica consta de botones, menús, campos de edición, campos de selección y ventanas gráficas en color que permiten la introducción de los parámetros deseados, de una forma rápida, cómoda y segura.

La Unidad de Control y Supervisión (UCS) presenta sobre el monitor tres áreas diferenciadas:

- Botones de la zona superior
- Área central de presentación de diagramas gráficos
- Botones de la zona inferior

El operador efectuara las acciones sobre la UCS actuando sobre el teclado y él ratón. La introducción de datos se realiza en muchos casos mediante una ventana de selección.

La Ventana de selección está compuesta por dos zonas:

- Una lista de valores o selecciones, con la barra espaciadora
- Zona de edición del valor numérico (puede no estar presente)

En la ventana de selección, el operador podrá seleccionar por medio del ratón el valor deseado de la lista, o bien introducir mediante edición sobre la zona de edición el valor numérico deseado.

A través de la ventana de selección, se pueden conmutar los bloques de los canales (R/T y Extractor) en función del estado, adquiriendo un color significativo.

- Operativo: verde.
- Reserva: amarillo.
- Test: azul.
- Mantenimiento: morado.

En el caso de que algún elemento del canal falle o no se detecte, el bloque correspondiente tomará el color en función del siguiente criterio de fallos:

- Verde: elemento en buen estado.
- Naranja: elemento degradado.
- Rojo: elemento con fallo.
- Blanco: elemento no detectado.

La posición más importante de los botones de nuestra UCS es la inferior, pues las otras posiciones nos llevan a chequeos de ventanas de los diferentes módulos del sistema.

Los botones de la parte inferior permiten visualizar los parámetros de control de los extractores en su estado operativo, mantenimiento y test.

Los elementos que componen la parte de los botones inferiores son: barra de selección canal, interrogación, trigger, alcance, stagger, RSLS, ISLS, reflejos, GTC, potencia, PRF, modos, sectores mapa, único/mapa, sectores blanking, datos líneas serie y blanco de test.

Barra de selección canal: barra horizontal que permite seleccionar el canal. La selección de canal que se puede realizar con esta barra es: canal operativo, canal mantenimiento y canal test.

Interrogación: la orden de interrogación es gestionada desde dos lugares del radar:

- Un interruptor situado en el panel frontal del canal.
- El botón de la UCS situado en la zona de parámetros de control.

Trigger: La señal de trigger puede ser generada de forma interna u obtenerse externamente a través de la interface RPT. Estas posibilidades son seleccionables desde el panel de la UCS (interno o externo).

Alcance: utilizando este campo se programa desde la UCS el alcance del radar. El parámetro Alcance esta relacionado con el parámetro PRF, por eso al introducir un valor que no sea coherente con el otro campo, aparece un mensaje en la zona de mensajes de los botones superiores indicando el valor máximo permitido.

Stagger: la función stagger puede ser habilitada o deshabilitada utilizando el ratón sobre el botón stagger. Habilitar esta opción significa que el Extractor determina el valor de stagger a aplicar en cada interrogación. Para conseguir el estado deseado se pulsa el botón Stagger tantas veces como sea necesario.

RSLs: la función RSLs se utiliza para la supresión de lóbulos laterales en recepción y es posible habilitarla o deshabilitarla utilizando el botón RSLs y seleccionar el estado deseado.

ISLS: la función ISLS tiene la misma utilidad que RSLs pero en interrogación y su selección se realiza de la misma forma.

Reflejos: la aparición de blancos falsos debido a reflexiones, tanto de las interrogaciones como de las respuestas, puede inducir a errores. Para eliminar este tipo de datos se utiliza la función reflejos que puede ser habilitada o deshabilitada desde la UCS.

GTC: la aplicación de la GTC es seleccionable desde el panel de la UCS mediante un botón que se activa o se desactiva con el ratón.

Habilitar la función GTC requiere programar una curva de GTC para aplicar a las señales correspondientes. Estas curvas son seleccionadas en esta zona de parámetros de control. Pulsando con el ratón sobre el campo GTC aparece una ventana de selección donde se edita el valor de la curva deseada.

Potencia: el nivel de potencia utilizado para la interrogación se establece en el campo de los botones inferiores mediante una ventana de selección. Al pulsar el botón potencia aparece una ventana sin campo de edición con valores seleccionables (baja, media, alta y muy alta).

PRF: el valor del PRF, frecuencia de repetición de pulsos, se establece en este campo. Pulsando PRF aparece una ventana de selección donde se edita o elige el valor deseado. Recordemos que el PRF está relacionado con el alcance.

Modos: los modos de interrogación se programan mediante una ventana que aparece al pulsar el botón izquierdo del ratón sobre el campo de edición modos. La primera opción en la ventana ofrece un entrelazado (simple, doble, triple, y mixto), posteriormente ingresar el tipo de modo en el entrelazado escogido.

Sectores mapa: la programación de sectores con los datos de potencia del transmisor, curva GTC, tabla de modos, etc. Se realiza desde la UCS presionando el botón sectores mapa. El panel de edición de sectores de mapa tiene varias zonas: sectores programados, botones de acciones sobre sectores, edición sectores y botones de acciones sobre ventana.

Único/mapa: estos botones están estrechamente relacionados con el descrito anteriormente de sectores mapa ya que sirve para determinar si los valores de cada uno de los parámetros a los que hacen referencia deben ser tomados por defecto, único, o utilizando los sectores programados, mapa.

El botón puede seleccionar dos modos: único (valores por defecto) y Mapa (valores del sector que pueden ser activo o inactivo).

Sectores blanking: de la misma forma que se programan los sectores en la ventana de sectores mapa se programan los sectores blanking; se utiliza una ventana de las mismas características con diferentes campos de edición.

De esta forma, el sector se puede determinar mediante acimut inicial, acimut final y la activación del sector.

Datos líneas serie: las interfaces externas DDE1, DDE2, AST1 y AST2 contienen los datos DDE y Asterix. La velocidad y las líneas serie de salida son configurables desde los botones del panel de la UCS.

Blanco de test: el radar ofrece la posibilidad de generar blancos de test para el chequeo continuo del sistema. Estos blancos serán programables en código, distancia y acimut dentro de la cobertura del radar.

La configuración de los parámetros del blanco de test se realiza con los botones situados bajo el indicador blanco de test en el panel de la UCS (estado, SPI, código, distancia, acimut y ancho).

4.3.8 Sistema de comunicaciones radar (SCR)

El propósito del sistema de comunicaciones radar es establecer, de forma redundante, los enlaces de datos entre las cabeceras radar (CR) y los centros de control (CC).

Los flujos de datos a transmitir se dividen en dos categorías: datos radar y datos de gestión y mantenimiento.

Los datos radar son flujos unidireccionales desde la CR al CC y los datos de gestión y mantenimiento son flujos bidireccionales entre CR y el CC.

Los datos radar son: asterix, DDE1 y DDE2. Su origen es el radar monopulso y en concreto sus extractores.

Cada extractor puede generar los tres flujos de datos, según la configuración del radar, e inyectarlos en las LAN, el Extractor 1 en la LAN1 y el Extractor 2 en la LAN2.

Los datos de gestión y mantenimiento son:

- Datos de gestión del radar, dos flujos de datos (Gest1 y Gest2).
- Datos de mantenimiento de otros equipos no radar de la CR, dos flujos de datos (Mto1 y Mto2).

Subdivididos en sistema remoto de gestión (SRG) en el CC y el Sistema local de gestión (SLG) en la CR.

Los datos de gestión son generados, en la CR, por la UCS/SLG para ser enviados al SRG en el CC, y en el CC, son generados por la SRG para ser enviados a la CR.

Los datos de mantenimiento son inyectados en las LAN por el SLG, que recopila la información de los equipos no-radar de una CR, par ser enviada al centro del CC donde es recogida por el SRG. Desde el CC, el SGR, envían las órdenes de mantenimiento a la CR.

El SCM/M (Servidor de canales de mantenimiento) podrá ser sustituido, dependiendo de las necesidades de cada instalación, por otras cuyas interfaces se adapten mejor a los equipos no-radar y que tenga dos interfaces LAN.

En el CC los datos de mantenimiento, en lugar de ser transformados por el SCM en canales serie, podrán ser recogidos de las LAN por la computadora encargada de las funciones de control y supervisión de los equipos no-radar de la CR.

El enlace previsto para los radares tiene un ancho de banda de 19,200 bps, usa un protocolo X25 y utiliza la red REDAN. Están previstos dos enlaces por motivos de redundancia.

Los mensajes Gest y Mto se envían con una periodicidad de 1 mensaje/segundo y tiene una longitud máxima de 64 bytes.

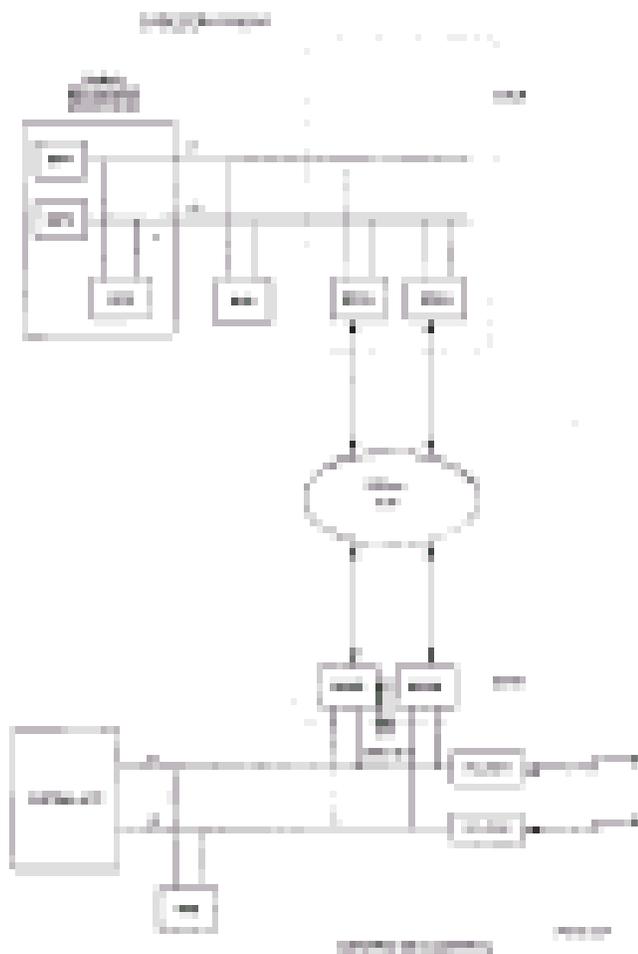
En la CR las interfaces del sistema de comunicaciones son dos LAN con el Radar y el SLG. En el CC existen las siguientes interfaces:

- Una doble LAN, donde están presentes todos los datos, asterix, DDE1, DDE2, Gest1, Gest2, Mto1 y Mto2.
- Dos líneas serie con DDE1 y DDE2.

También es posible conectar una CR a dos CC para tener los datos radar en ambos centros conectando cada enlace X25 a uno de ellos. La redundancia se consigue uniendo los CC entre sí por medio de los routers (rutas).

En la figura 53, se muestra la configuración general de un sistema SCR para la interconexión de una CR a un CC.

Figura 53. Configuración general de un sistema de comunicación radar (SCR)



5. CALIFICACION E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE RADAR MONOPULSO Y CENTRO DE CONTROL

5.1 Introducción

El actual sistema de radar del aeropuerto La Aurora es un radar marca Elta/Cardion que fue instalado en 1978 y con más de 20 años de operación y diseño antiguo, que actualmente tiene limitaciones técnicas. Este radar primario (Elta) y Secundario (Cardion) tiene una cobertura de 70 millas náuticas.

Desde 1995 se principio a planificar la instalación de un nuevo sistema de radar para la República de Guatemala. En diciembre de 1997 se invitó a varias empresas extranjeras a cotizar un sistema de radar de acuerdo a los términos de referencia que elaboró la Dirección General de Aeronáutica Civil.

En junio de 1998 se seleccionó entre cuatro empresas (Indra, Thomson, Alenia, y Northrop Grumman) que presentaron oferta a la empresa Indra Sistemas para proveer e instalar un moderno sistema de radar.

En julio de 1998 la empresa Indra Sistemas inicio la construcción de los edificios para Instalar los nuevos sistemas. En enero del 2000 se término la construcción de los nuevos edificios siendo los siguientes:

Ciudad de Guatemala, aeropuerto Internacional “La Aurora”

- Torre de control de 34 metros de altura
- Centro de control
- Edificio de cabecera radar de Concepción/Palencia.

Ciudad de Santa Elena, Petén, Aeropuerto Anacleto Maza Castellanos

- Centro de control
- Remodelación de edificio de cabecera radar de San Andrés Petén
- Remodelación de torre de control

En enero de 2000 se inició la extensión de líneas eléctricas de alta tensión y acometidas eléctricas para centros de control, cabeceras radar y sitios de enlaces de microondas.

Además, se inicio la instalación de equipos en los diferentes sitios. El sistema de radar de la República de Guatemala está conformado por los siguientes sistemas:

Aeropuerto La Aurora

Sitio cabecera radar Concepción Palencia

- Sistema de radar primario y radar secundario monopulso
- Consola de mantenimiento radar
- Sistema de control y supervisión
- Sistema local de gestión
- Sistema contra incendios
- Sistemas auxiliares: UPS, grupos electrógenos, sistema de aire acondicionado, etc.

Centro de control La Aurora

- Sistema de simulador radar
- Sistema AFTN
- Sistema de comunicaciones
- Sistema de meteorología
- Equipos de centro de control (pantallas de radar, procesamiento de planes de vuelo, procesamiento de datos radar, etc.)
- Grabación y reproducción de datos radar
- Sistema contra incendios
- Sistemas auxiliares: UPS, grupos electrógenos, aire acondicionado, etc.

Torre de control

- Consolas de comunicaciones y meteorología
- Consolas de planes de vuelo
- Consola de monitor radar

Aeropuerto Anacleto Maza Castellanos

Sitio cabecera radar San Andrés Petén

- Sistema de radar secundario monopolso
- Consola de mantenimiento radar
- Sistema de control y supervisión
- Sistema local de gestión
- Sistema contra incendios
- Sistemas auxiliares: UPS, grupos electrógenos, sistema de aire acondicionado, etc.

Centro de control Anacleto Maza Castellanos

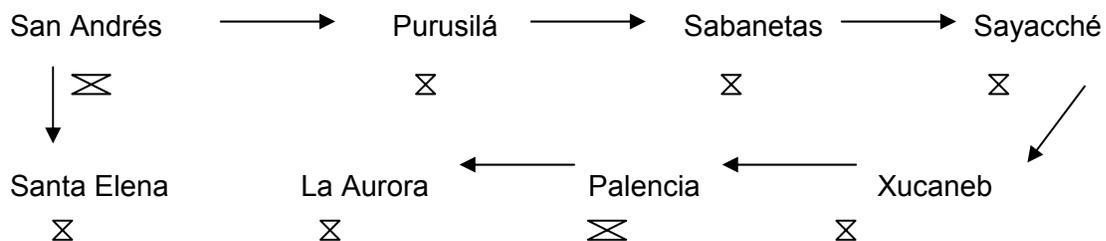
- Terminal AFTN
- Sistema de comunicaciones
- Sistema de meteorología
- Equipos de centro de control (pantallas de radar, procesamiento de datos radar, procesamiento de planes de vuelo, grabación y reproducción de datos radar)
- Sistema contra incendios
- Sistemas auxiliares: UPS, grupos electrógenos, sistema de aire acondicionado, etc.

Torre de Control

- Consolas de comunicaciones y meteorología
- Consolas de planes de vuelo
- Consolas de monitor radar

También forma parte de este proyecto un moderno sistema de enlace de microondas que permitirá transmitir información de datos radar, datos meteorológicos y voz (comunicaciones) entre los dos Aeropuertos (La Aurora y Anacleto Maza Castellanos) más importantes de la República de Guatemala.

Saltos de microondas



5.1.1 Ventajas del nuevo sistema

Los nuevos sistemas de radar y equipos periféricos permitirán prestar mejores y mayores servicios de control de tránsito aéreo en la República de Guatemala, porque son sistemas modernos que tienen mayor precisión, mejor resolución y mayor cobertura.

Con los nuevos sistemas de radar se tendrá una cobertura de 250 millas náuticas, es decir, se tendrá más del 350% (3 veces y media) de la cobertura del sistema por reemplazar.

Se tendrá una grabación de video de todas las posiciones de control; es decir que en caso de algún incidente se tendrá grabación de voz y video para realizar la investigación de un accidente aéreo.

Cada aeronave tendrá un código de identificación. Esto permitirá el control de la aeronave sin error de identificación. El nuevo sistema dispone de alarmas MTCA, MSAW, RAW, STCA, que alertan al piloto de la aeronave y al controlador cuando se entra en conflicto de separación entre aeronaves o entre una aeronave y un obstáculo en tierra.

La nueva torre de control del aeropuerto La Aurora tiene una altura de 34 metros lo que permitirá que el control de aeródromo tenga una mejor visibilidad del entorno del aeropuerto, pista de taxeo, y pista principal de este aeropuerto.

5.2 Especificaciones y procesos para la calificación del sistema

5.2.1 Procesos para la calificación del sistema

Pasos a seguir:

1. Metodología de calificación
2. Matriz de cumplimiento
3. Matriz de evaluación
4. Matriz de puntajes
5. Matriz de comparación
6. Matriz porcentual final

5.2.1.1 Metodología de calificación

OBJETIVOS: definir normas básicas y establecer los lineamientos, mecanismos y sistemas de evaluación de las ofertas.

COMISION EVALUADORA: la comisión evaluadora será designada por la comisión de proyectos y estará conformada por representantes de las áreas de radar y comunicaciones. Las reuniones de la comisión evaluadora se efectuaran continuamente, durante todo el tiempo requerido, hasta la obtención del informe final de evaluación.

METODOLOGIA DE EVALUACION: cada factor tendrá un puntaje máximo que se repartirá entre los subfactores, de acuerdo con su importancia. De existir algún incumplimiento menor y que fuese aceptado por la comisión, se le asignara el mínimo puntaje.

La comisión evaluadora elaborará un informe final de evaluación, en el donde se incluirán las evaluaciones parciales de cada sistema y donde figuraran los puntajes otorgados, relacionados con la parte técnica.

El plan de trabajo para la evaluación incluirá:

- Lectura y familiarización con la documentación
- Elaboración de los cuadros de evaluación
- Consolidación de los resultados
- Elaboración del informe final de evaluación

La evaluación de las propuestas serán divididas en módulos contemplando:

- Obras civiles
- Capacitación
- Tiempo de entrega
- Oferta económica
- Sistemas del centro de control
- Sistemas radar primario/secundario
- Sistemas en otros sitios
- Sistemas auxiliares
- Sistemas de comunicación (VHF, radio enlaces y sistemas satelitales).

Cada ítem será calificado según el cumplimiento de las bases, atribuyéndosele uno de los siguientes pesos o punteos:

- Cero (0) al que no cumpla con el requerimiento.
- Uno (1) al que lo cumpla mejor.
- (0.75), (0.5) y (0.25) a los subsiguientes.

Según la gravedad del incumplimiento la oferta podría ser descalificada.

Solamente se calificara a las diferencias existentes entre los parámetros presentados, y no se le asignará ningún puntaje cuando los parámetros sean iguales.

SISTEMAS DE EVALUACION: el sistema de evaluación estará compuesto por módulos de la siguiente manera.

- Modulo I. Comprende los aspectos considerando las obras civiles.
- Modulo II. Comprende los aspectos considerando la Capacitación.
- Modulo III. Comprende los aspectos considerando los tiempos de entrega.
- Modulo IV. Comprende los aspectos considerando la oferta económica.
- Modulo V. Comprende el cumplimiento de los requerimientos de la base técnica de los sistemas del centro de control.
- Modulo VI. Comprende el cumplimiento de los requerimientos de la base técnica del sistema de radar primario/secundario.
- Modulo VII. Comprende el cumplimiento de los requerimientos de la base técnica de los sistemas de otros sitios.
- Modulo VIII. Comprende el cumplimiento de los requerimientos de la base técnica de los sistemas auxiliares.
- Modulo IX. Comprende el cumplimiento de los requerimientos de la base técnica de los sistemas de comunicación.

CRONOGRAMA DE TRABAJO PROPUESTO: con fechas programadas y con propuestas ya existentes.

- Definición del plan de trabajo y elaboración de la metodología de evaluación.
- Lectura y familiarización con las propuestas (A,B,C,D, etc).
- Elaboración del informe teórico de evaluación.
- Integración de los informes de obras civiles, capacitación, tiempo de entrega, etc.
- Consolidación con la evaluación económica y elaboración del informe final de evaluación.

5.2.1.2 Matriz de cumplimiento

Se construyen tablas con los factores que se solicita sean cumplidos, ubicando casillas para cada empresa que oferte. Los factores deben adaptarse a las necesidades o requerimientos de la entidad.

Algunas tablas especifican el volumen, capítulo y número de página donde la oferta explica de dicho cumplimiento para tener una mejor referencia en casos de dudas.

5.2.1.3 Matriz de evaluación

Tabla en la cual se le asigna una casilla de peso, asignándole un valor máximo de donde se pueda partir un puntaje en importancia. Cada puntaje según su importancia llevara un valor asignado no mayor que uno (1) o según sea su importancia.

5.2.1.4 Matriz de puntaje

Tabla con un peso sobre el factor; se evalúa el puntaje sobre el peso asignado.

- Obra civil
- Capacitación: radar primario/secundario, simulador, etc.
- Tiempo de entrega
- Oferta económica
- Parte técnica
- Sistema centro de control y comunicación.

5.2.1.5 Matriz de comparación

Tabla con peso y factores donde se compara con experiencia del fabricante, antena, transmisores, receptores, radar secundario, procesador, generador de pistas, monitoreos, etc.

5.2.1.6 Matriz porcentual final

Esta es una tabla final donde se presentan los porcentajes finales para cada empresa.

5.2.2 Especificaciones técnicas generales del sistema de radar

5.2.2.1 Especificaciones radar primario ASSR

A continuación presentamos una serie de especificaciones técnicas, las cuales nos darán un mejor enfoque de las características del radar primario.

1. Frecuencia en banda S de 2.7 a 2.9 Ghz
2. Cobertura de 80 MN, naves de 2 mt² a distancia de 70 MN o más y a un nivel de vuelo de 35,000 pies.
3. Cobertura de altitud mayor a 50,000 pies a 30°.
4. Resolución en distancia menor a 250 m (RMS).
5. Resolución acimutal menor a 3°.
6. Precisión en distancia menor que 150 m.
7. Precisión acimutal menor que 0.25°.
8. MTBF mayor que 40,000 hrs. con canal doble.
9. MTTR igual o menor que 30 minutos.
10. Disponibilidad con doble canal mayor que 99.80%.
11. Rango de temperatura (interior a -10°C + 50°C)
(exterior a - 15°C + 55°C)
12. Humedad relativa (interior entre 5 y 95%)
(exterior entre 5 y 100%)
13. Confiabilidad: sistemas redundantes
14. Antena tipo high beam y low beam, reflector parabólico, etc.

5.2.2.2 Especificaciones radar secundario MSSR

A continuación presentamos una serie de especificaciones técnicas, las cuales nos darán un mejor enfoque de las características del radar secundario.

1. Frecuencia de TX 1,030 Mhz +/- 3.5 y RX 1,090 Mhz +/- 5Mhz.
Cobertura de 250 MN
3. Cobertura de altitud mayor a 50,000 pies a 30° o más
4. Resolución en distancia menor que 100 m
5. Resolución acimutal menor que 0.2°
6. Precisión en distancia menor que 50 m

7. Precisión acimutal menor que 0.10°
8. MTBF igual o mayor que 40,000 hrs. con canal doble
9. MTTR igual o menor que 30 minutos.
10. Disponibilidad con doble canal mayor que el 99.80%
11. Rango de temperatura (interior a $-10^\circ\text{C} + 50^\circ\text{C}$)
(exterior a $-15^\circ\text{C} + 55^\circ\text{C}$)
12. Confiabilidad: sistemas redundantes
13. Antena tipo LVA, tipo open planar array.
14. Reporte de falsos blancos, menor que uno por barrido.

5.3 Implementación y descripción general de equipos de centros de control del nuevo sistema de radar estado sólido monopulso

Los nuevos sistemas de radar se apoyan en la tecnología de las computadoras, las cuales por su fácil manejo y acceso han revolucionado todo este campo.

5.3.1 Implementación o arquitectura del sistema del centro de control

El sistema AirCon 2000 representa la última generación en arquitecturas basadas en sistemas abiertos para el proceso y la presentación de datos de radar y planes de vuelo. El *software* de aplicación está basado en sistemas instalados en España, Canadá, Alemania, Noruega, Holanda e India. Este sistema se caracteriza por proporcionar una alta disponibilidad, gracias a la utilización de elementos redundantes en un entorno distribuido y a la utilización de equipos comerciales altamente fiables y de gran penetración en el mercado.

El sistema operativo empleado es el UNIX System V Release 4, disponible en el mercado y ampliamente extendido, incluyendo protocolos de comunicaciones estándares TCP/IP.

El sistema AirCon 2000 proporciona todas las funciones requeridas por un moderno sistema de control de tránsito aéreo. Sus principales componentes son:

- a. **Red de Área Local (LAN).** Utilización de una red LAN redundante que posibilita las futuras ampliaciones del sistema, en la que se utiliza un protocolo de comunicaciones estándar.
- b. **Compresor de Comunicaciones Radar (CCR=UAST).** Centraliza las comunicaciones radar del sistema con el exterior, tanto en modo principal como en modo alternativo (Bypass) en caso de fallo de éste.
- c. **Sistema de Tratamiento de Datos Radar (TDR).** Basado en la utilización de computadoras redundantes, realiza la recepción y proceso de los datos primarios, secundarios y meteorológicos provenientes de las cabeceras radares, fusionando la información para producir una imagen coherente del espacio aéreo para ser presentada a los controladores.

Realiza también funciones de vigilancia de la separación mínima entre las aeronaves e integra la información radar con la del plan de vuelo a fin de efectuar un seguimiento preciso de los mismos.

- d. **Sistema de Tratamiento de Planes de Vuelo (TPV).** Basado en la utilización de computadoras redundantes, realiza la gestión de los planes de vuelo generados en el sistema o provenientes de fuentes externas, incluyendo el plan de vuelo repetitivo (RPLs), valida las entradas de información de vuelo, calcula la progresión de los vuelos y mantiene informado a los controladores mediante presentación en pantallas e impresión de fichas.

- e. **Sistema de Grabación/Reproducción de Datos (DRF).** Basado opcionalmente en la utilización de computadoras redundantes, lleva a cabo la grabación continua de datos de pista, planes de vuelo y acciones del controlador para permitir una posterior reproducción y análisis.

- f. **Sistema de Presentación de Datos de Situación Aérea (SDD).** Presentación de datos radar y de planes de vuelo, en las pantallas del controlador también información relevante para el control como mapas geográficos, aerovías, datos meteorológicos, etc.

- g. **Sistema de Presentación de Datos de Vuelo (FDD).** Presentan información sobre planes de vuelo, no soportando la presentación de datos sobre situación aérea, y permiten a los operadores realizar operaciones sobre los planes de vuelo y otros datos significativos.

- h. **Supervisión.** Realiza una supervisión continua del funcionamiento en tiempo real y permite la gestión de la configuración de los elementos del sistema averiados o que no funcionen.

- i. **Sistema de Gestión de Datos de Adaptación (DBM).** Proporciona los medios necesarios para la creación y modificación de bases de datos de adaptación para situar al sistema en su entorno geográfico y así optimizar la eficiencia del mismo.

- j. **Sistema Simulador (SIM).** Proporciona un entorno replica al operacional para entrenamiento de controladores o el análisis de nuevos procedimientos operacionales, soportando la gestión y el mantenimiento de ejercicios y sesiones de la librería de simulación.

- k. **Posición de Piloto Instructor.** Permite la selección de escenarios de entrenamiento, el control de la sesión y el control de las aeronaves simuladas de forma interactivas, incorporando asimismo la capacidad de preparación de ejercicios.

Figura 54. Arquitectura del sistema AirCom2000



Figura 55. Arquitectura del sistema Aircom2000 sin simulador



5.3.2 Descripción del equipamiento del centro de control

A continuación se presentan las especificaciones, donde se describe básicamente los equipos instalados en las diferentes áreas que comprende el sistema, así como planos de ubicación al final del capítulo de los diferentes CC, CR, posiciones de control, torre, etc.

Sala de equipos:

- 2 compresores de comunicación radar (Pentium 200 Mhz, 32 de RAM, 1.2 Gb HD, controlador de comunicación radar RDC, y doble controlador Ethernet.)
- 2 procesadores de tratamiento de Dato Radar (TDR), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, y accesorios)
- 2 procesadores de tratamiento de planes de vuelo (TPV), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, interface RS232, Interconexión con red AFTN, y accesorios)
- 1 estación de grabación y reproducción de datos (DRF), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, 2 unidades de cintas DAT 4mm, y accesorios)
- 1 una posición de supervisión técnica, (Sun Ultra 10 System de 333 mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, y accesorios)
- 1 una posición de supervisión radar (SDD), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, y accesorios)

Sala de control en ruta (ACC) y aproximación (APP)

- Cuatro (4) posiciones de controlador radar (SDD), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, tarjeta gráfica stars (2048 x 2048 pixeles), monitor Raster de 20"x20" Sony DDM2801/CU, dos de las posiciones tendrán así mismo conectada una impresora de tiras de vuelo IER-512, y accesorios)
- Una (1) posición de datos de vuelo (FDD), (Sun Ultra 10 System de 333 mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, impresora láser, y accesorios)
- Una (1) posición de controlador radar en entrenamiento (SDD), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, tarjeta gráfica stars (2048 x 2048 pixeles), monitor Raster de 20"x20" Sony DDM2801/CU, y accesorios)

Simulador de entrenamiento

- Un (1) procesador de generación de tráfico aéreo (ATG), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, y accesorios)
- Un (1) procesador de tratamiento de dato radar (TDR), y de supervisión técnica de la partición de simulación, (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, y accesorios)
- Un (1) procesador de tratamiento de planes de vuelo (TPV), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, interface RS232, y accesorios).

- Una (1) estación de grabación y reproducción de datos (DRF), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, 2 unidades de cinta DAT 4mm, y accesorios)
- Una (1) posición de piloto instructor, (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, y accesorios)

Torre de Control

- Una (1) posición de controlador radar de torre (SDD), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, impresora de tiras de vuelo IER-512, monitor de 21" Barco TCD321, y accesorios).
- Una (1) posición de datos de vuelo (FDD), (Sun Ultra 10 System de 333 Mhz, 128 de RAM, 9 Gb HD, doble controlador Ethernet, impresora láser y accesorios).

Para el aeropuerto Anacleto Maza Castellanos, el centro de control de Santa Elena Petén posee las mismas características en equipo que el antes mencionado, solamente que sin el simulador y menos dos posiciones en sala de control de ruta. Ver figuras 54 y 55 para una mejor comparación.

Prestaciones del sistema:

La arquitectura del sistema propuesta permite asegurar las capacidades listadas en la tabla V. No obstante, la mayoría de los parámetros son fácilmente incrementables mediante las adecuadas expansiones de memoria, disco, líneas radar, etc.

Tabla V. **Capacidades del sistema operacional**

No	PARAMETRO	CAPACIDAD
01	Parámetros del espacio aéreo <ul style="list-style-type: none"> • Plano de trabajo (millas náuticas) • Punto de tangencia (LAT/LONG) • Centro del plano del sistema • Techo máximo en 100 de pies • Tamaño de la rejilla del sistema (KM) 	1024 x 1024 1 cualq. LAT/LONG 999 4x4
02	Parámetros del proceso de datos radar <ul style="list-style-type: none"> • Número de estaciones radar y adyacentes • Rejilla multiradar (KM) • Pistas monoradar (por estación radar) • Pistas multiradar • Contornos meteorológicos • Blancos radar no asociados por radar y vuelta de antena • Respondedores fijos por radar • Zonas QNH para corrección de modo C • Zonas de filtros para reflejos • Área de mínima altitud de seguridad (MSAW) • Parejas en conflicto a corto plazo (STCA) 	6 24x24 256 256 256 256 2 10 5 24 40
03	Planes de vuelo <ul style="list-style-type: none"> • Planes de vuelo repetitivos • Planes de vuelo (FPLs) 	10,000 2,000
04	Aerodinámica de aeronaves <ul style="list-style-type: none"> • Clases de aeronaves • Tipos de aeronaves 	100 500

05	Parámetros de conversión de ruta	
	• Fijos (radioayuda / puntos geográficos)	1,000
	• Rutas ATS	300
	• Aeródromos internos	50
	• Procedimientos SID/STAR	150
06	Modelo Meteorológico (Vientos en vuelo)	
	• Zonas de viento	12
	• Capas de viento	10
07	Grabación legal	
	• Grabación a corto plazo, y reproducción inmediata	24
	• Grabación a largo plazo (cinta)	ilimitada
08	Presentación en posición de control	
	• Colores utilizados	16
	• Mapas globales (adaptados)	50
	• Mapas locales (dinámicos) por posición	4
	• Líneas acimut - distancia (por posición)	16
09	Conexión AFTN	
	• Mensajes AFTN recibidos por día	4,320
	• Mensajes AFTN enviados por día	4,320
10	Librería de ejercicios	
	• Posición de preparación / planificación de ejercicios	>1
	• Grupos de datos de adaptación seleccionables	3
	• Ejercicios preparados	50
	• Vuelos / Planes de vuelo por ejercicio	250
	• Blancos meteorológicos por ejercicios	10
	• Mensajes ATS por ejercicio	200
	• Acciones automáticas de piloto por ejercicio	200
	• Sensores radar por ejercicio	8

11	Sesión de entrenamiento	
	• Líneas radar	6
	• Vuelos simultáneos controlados por piloto	15
	• Vuelos simultáneos activos pilotados	130
	• Vuelos pasivos	250
	• Blancos meteorológicos	10
	• Mensajes ATS generados	sin limite
	• Acciones automáticas de piloto	200
12	Datos específicos de entorno	
	• Procedimientos de patrones de espera	50
	• Pistas por aeródromo	8
	• Procedimiento de ILS por pista	1
	• Procedimiento de aproximación frustrada por pista	1
	• Tipos de aeronaves	1,000
	• Grupos de Características de aeronaves	250

5.3.3 Planos descriptivos de los centros de control y cabeceras radar

Centro de control del Aeropuerto Internacional La Aurora

Sala # 0: Sala de acceso y visita

Sala # 1: Sala de control de equipos contra incendios y control de accesos

Sala # 2/3 y 6B: Jefatura de navegación aérea y operaciones

Sala # 4: Sala técnicos de radar

Sala # 5: Sala de usos múltiples

Sala # 6A: Sala AFTN

Sala # 7: Sala técnicos de telecomunicaciones

Sala # 8: Jefatura radar

Sala # 9: Sala de descanso

Sala # 10: Cocina-comedor

Sala # 11: Servicio masculino

Sala # 12: Servicio femenino

Sala # 13 y 14: Dormitorio y bodega de tránsito aéreo

Sala # 15: Sala de tableros y UPS's

Sala # 16: Bodega departamento de radar

Sala # 17: Sala de aire acondicionado

Sala # 18: Sala técnica

Sala # 19: Sala control radar

Sala # 20: Sala de simulador

Cabecera de radar Concepción Palencia

Sala #1: Sala de equipos radar

Sala #2: Sala de tableros y UPS's

Sala #3: Sala de aire acondicionado

Sala #4: Baño

Sala #5 y #6: Sala de grupos electrógenos y de transformación

Centro de control del Aeropuerto Internacional de Tikal en Petén

Sala #1: Sala técnica

Sala #2: Sala de técnicos de telecomunicaciones

Sala #3: Sala de control radar

Sala #4: Sala de jefatura de radar

Sala #5: Sala de AFTN

Sala #6: Sala de controladores

Sala #7: Sala de UPS's

Sala #8: Control de accesos, y control de equipo contra incendios.

Sala #8A: Sala de visitas

Sala #9: Sala de tableros

Sala #10: Jefatura de tránsito aéreo

Sala #11: Sala de aire acondicionado

Sala #12: Sala de técnicos de radar

Sala #13: Servicio femenino

Sala #14: Cocina comedor

Sala #15: Servicio masculino

Cabecera de radar Cerró Niktun en San Andrés Petén

Sala #1: Sala de equipo radar

Sala #2, y #3: Dormitorios

Sala #4: Bodega

Sala #5: Baño

Sala #6: Sala de UPS's

Sala #7 y #8: Sala de grupos electrógenos, tableros y de transformación

Figura 56. Plano del centro de control La Aurora, Guatemala

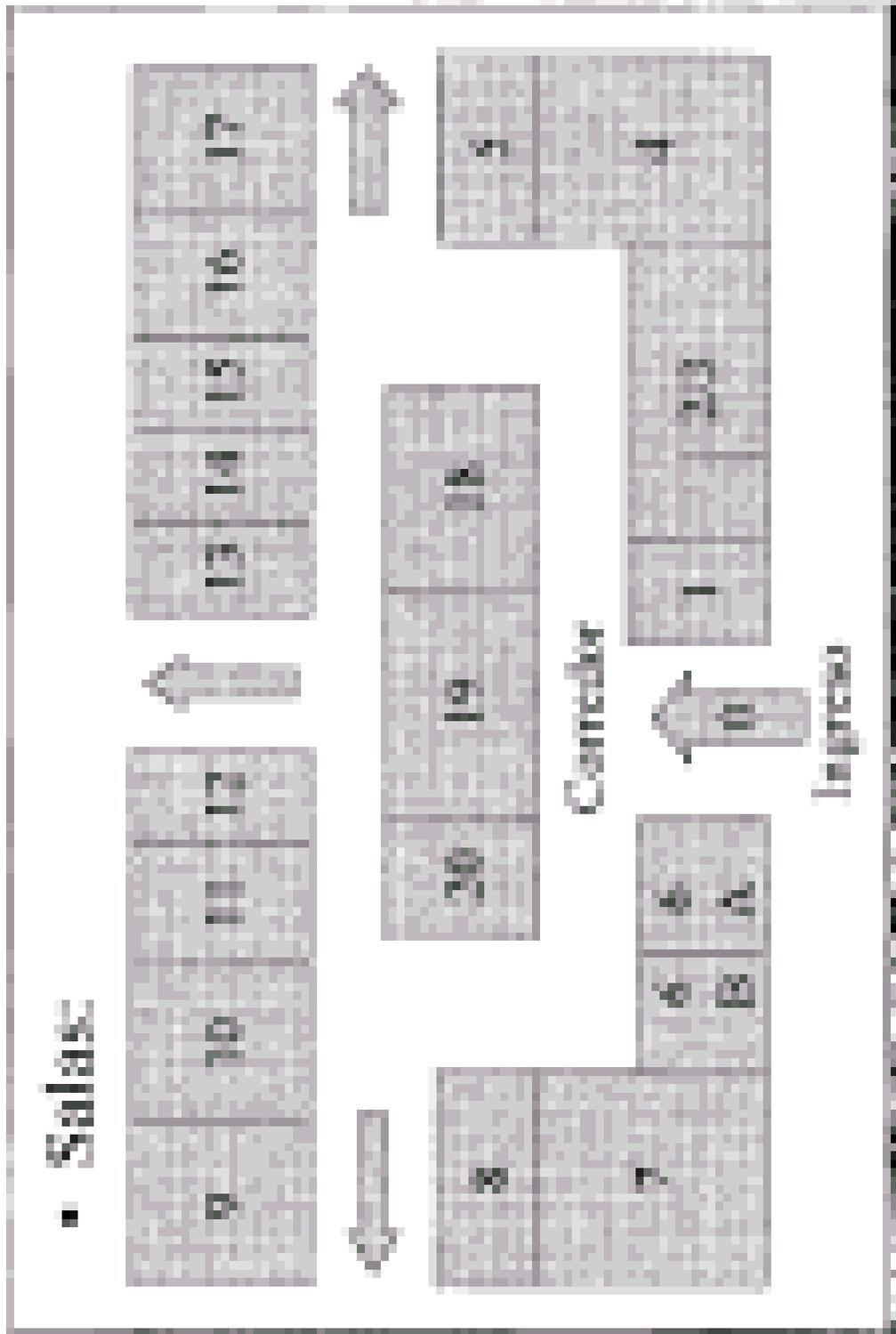


Figura 57. Plano de la cabecera radar, Concepción Palencia

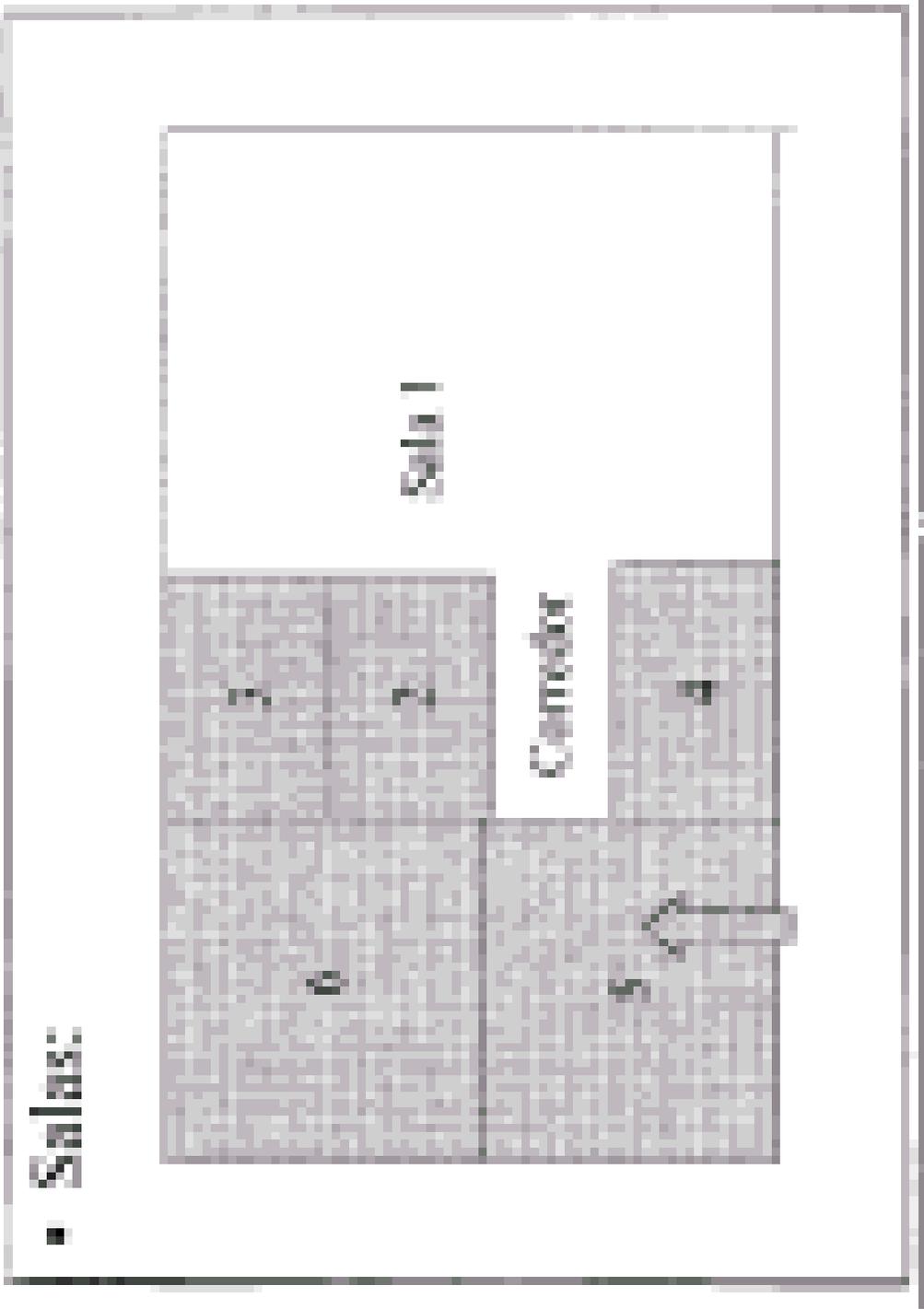
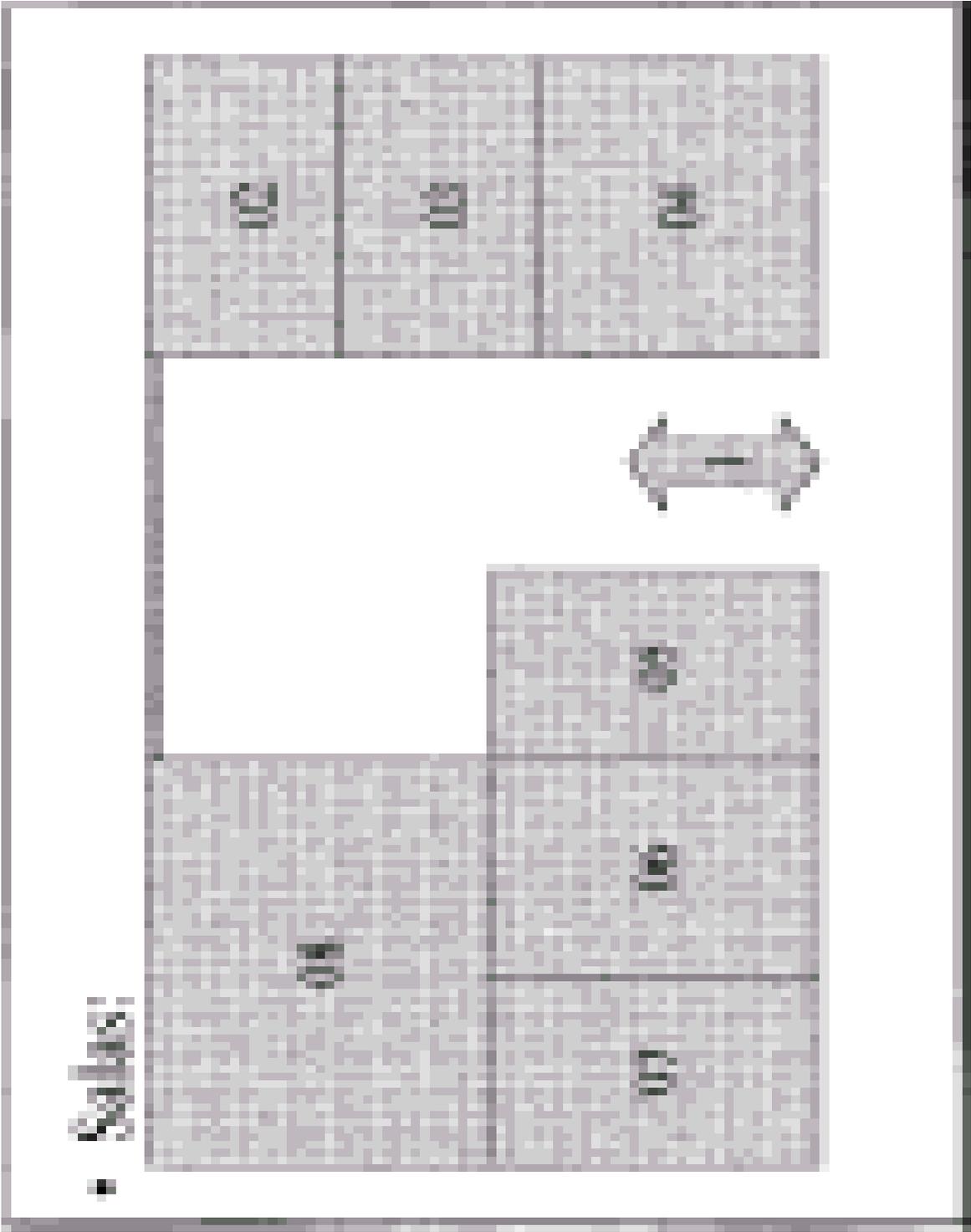


Figura 58. Plano del centro de control Tikal, Santa Elena Petén



Figura 59. Plano de la cabecera de radar, Cerro Niktun San Andrés Petén



CONCLUSIONES

1. Este trabajo de graduación introduce al principio del sistema de radar enfocado a la realidad nacional con práctica en el desenvolvimiento de la instalación, ajuste, calificación y puesta en marcha.
2. El nuevo sistema implementado llena todas las expectativas estudiadas para Guatemala con capacidad de interconectar cinco radares más en el futuro.
3. Los sistemas computarizados agilizaron el trabajo y dieron mayores márgenes de campos de acción, se pueden actualizar funciones a nuestras necesidades.
4. El continuo desarrollo de nuestro país dio la pauta a llevar a cabo este proyecto tomando en cuenta nuestra ubicación estratégica, y lo importante en aspecto de puerto de importación/exportación y de turismo.
5. El sistema cumple todas las expectativas para las necesidades de Guatemala con las siguientes características: cobertura total del territorio, altura de detección mayor a 35 mil pies, y altura mínima a nivel de pista de 4800 pies.

6. El estudio adecuado del emplazamiento dará como resultado el mayor aprovechamiento del sistema sin importar características del equipo ni fabricante.
7. La calificación adecuada del equipo que llene nuestras necesidades con un enfoque a futuro, dará como resultado una buena inversión.
8. Algunas de las ventajas obtenidas con el sistema monopulso en comparación con un sistema convencional son: mejor exactitud del blanco relacionado con su ubicación, altitud, velocidad, código, plan de vuelo, y distancia.
9. Identificar el principio básico de un sistema de radar ayudara a entender su funcionamiento, parámetros a seguir para un buen emplazamiento, poder cotizar entre radares de diferentes marcas para una buena calificación, y lograr una buena implementación de un sistema de radar.

RECOMENDACIONES

1. Promover con todas las instituciones no gubernamentales la importancia de estos proyectos que traerán mejoras a Guatemala, abriendo las puertas para la comercialización y crecimiento turístico.
2. Los estudios de emplazamiento pueden variar según los modelos de radar, así que se recomienda tener presente el tipo y características del sistema por implementar.
3. Tomar en cuenta los gastos de infraestructuras, calles de acceso, energía eléctrica, agua potable, y demás necesidades esenciales para el buen desenvolvimiento del lugar; además del gasto real del sistema, su implementación, equipamiento, y entrenamiento del personal a su cargo.
4. Se debe mantener una buena seguridad ante conflictos internos o externos que haga peligrar su buen funcionamiento. Porque una estación de radar es un punto estratégico tanto civil como militar.
5. Implementar un simulador para el área técnica, que facilite la práctica y reparación de posibles problemas del sistema sin alterar el funcionamiento del sistema en marcha.
6. Implementar una bodega con repuestos, copia de respaldo (Back-up) de programas e instaladores del *software* del sistema.

7. Proporcionar las herramientas de trabajo adecuadas a los técnicos de turno, tanto en el centro de control como en cabecera radar; por cualquier eventualidad de reparación o mantenimiento del sistema.
8. Coordinar revisiones quincenales o semestrales según sean necesarios y sus respectivos mantenimientos; tanto preventivos como correctivos para asegurar que el sistema funcione correctamente.

BIBLIOGRAFIA

1. **Antenas de radar**; Resumen ECAA, Ilopango, El Salvador: S.E, 1999.
2. **ASR - 10SS "Radar Maintenance Course"**; Student Guide Book 1 and 2, Raytheon Systems, Canadá: S.E, 1999.
3. **Conceptos y principios básicos de radar**; S.P, S.E, S.F.
4. **Conceptos y principios básicos de radar y su emplazamiento**; Notas básicas del curso de radar secundario ECAA, Ilopango, El Salvador. S.E, S.F.
5. **Curso de introducción a la instalación del sistema de tráfico aéreo**; Indra Sistemas, España: S.E, S.F.
6. **Especificaciones de radares primarios de aproximación**; Resumen ECAA, Ilopango, El Salvador: S.E, 1999.
7. **Fundamentos para la calificación del sistema de radar Elta/Cardion**; DGAC, Guatemala: S.E, 1978.
8. **Introducción al radar secundario**; Resumen ECAA, Ilopango, El Salvador: S.E, 1999.
9. **Maintenance training course hardware overview ASR-10SS**; Raytheon Systems, Canada: S.E, 1999.
10. **Mantenimiento básico de dispositivos basados en solaris**; Indra Sistemas, España: Ed/Rev 1, 12 de Octubre de 2001.

11. **Manual sobre sistemas del radar secundario de vigilancia;** Resumen general OACI, Guatemala: Primera Edición, 1997.
12. **Primary surveillance radar "CMS User's Guide";** Raytheon Systems, Canada: S.E, 1999.
13. **RF safety training;** Raytheon Systems, Canada: S.E, 1999.
14. **Sistema de automatización y simulador de entrenamiento "Especificaciones Técnicas";** Indra Sistemas, Torrejón de Ardoz Madrid, España: S.E, Enero 1999.
15. **Sistema de radar primario ASR-10;** Raytheon Systems, Canadá: S.E,1999.
16. **Sistema de radar secundario monopulso;** INDRA, España: S.E,1999.
17. **Telecomunicaciones aeronáuticas;** Anexo 10, Sistema de Radar de Vigilancia y sistema Anticolisión"; Organización de Aviación Civil Internacional (OACI): Segunda Edición del Volumen IV, Julio 1998.

P 220.