

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

"OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RADAR DEL AEROPUERTO "SIMÓN
BOLÍVAR" DE GUAYAQUIL, POR MEDIO DE LA AMPLIACIÓN DEL
RADAR SECUNDARIO".

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACIÓN: ELECTRONICA

Presentada por:

JORGE E. GARCIA T.

GUAYAQUIL - ECUADOR

1.985

ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA
Inv. No. ELEC-029

AGRADECIMIENTO

AL DR. ING. FREDDY VILLAGO Q.
Director de Tesis, por su a
yuda y colaboración para la
realización de este trabajo.



ING. GUSTAVO BERMUDEZ F.
SUB-DECANO DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA ELECTRICA.



ING. FREDDY VILLO Q.
DIRECTOR DE TESIS



ING. CARLOS JORDAN
MIEMBRO PRINCIPAL



ING. CARLOS BECERRA E.
MIEMBRO PRINCIPAL

DEDICATORIA

A MI MADRE

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



.....
JORGE E. GARCIA T.

RESUMEN

Debido al incremento del tráfico aéreo en el aeropuerto internacional "Simón Bolívar" de Guayaquil se instaló el sistema de radar de dicho aeropuerto. En la presente obra se establece los diferentes aspectos que debe cumplir una instalación de radar como ayuda de navegación.

Para el efecto la presente tesis se ha dividido en cuatro capítulos:

En el primer capítulo se describe los principios y conceptos en los cuales se fundamenta el radar con cierta orientación didáctica como libro de consulta para la materia radio navegación específicamente en el capítulo de radar de esta materia; en los dos siguientes capítulos se describe los dos subsistemas, primario y secundario, en que se subdivide el sistema de radar haciendo énfasis y una descripción detallada de las unidades más importantes y su funcionamiento como son: el magnetron, el amplificador paramétrico, etc. Finalmente en el cuarto capítulo se analiza la optimización del sistema de radar por medio de la ampliación del subsis

tema de radar secundario destacando el aumento de confiabilidad del tiempo de funcionamiento del sistema por medio de la duplicación de las unidades respectivas.

En el desarrollo de la presente tesis ha sido necesario recabar información de la biblioteca del radar del aeropuerto Simón Bolívar razón por la cual agradezco la colaboración de Aviación Civil por su contribución.

I N D I C E G E N E R A L

	<u>Pág.</u>
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	X
INTRODUCCION	17
CAPITULO I	
GENERALIDADES	19
1.1. PRINCIPIOS Y CONCEPTOS DE RADAR	22
1.2. EL SISTEMA DE RADAR: SUB_SISTEMA PRIMARIO Y SUB_SISTEMA SECUNDARIO	91
CAPITULO II	
RADAR PRIMARIO	119
2.1. EL TRANSMISOR DEL RADAR PRIMARIO	119
2.1.1. <u>El magnetron como la unidad fundamen</u> <u>tal del radar</u>	125
2.1.2. <u>El modulador de pulso</u>	145
2.2. EL RECEPTOR DEL RADAR PRIMARIO	152
2.2.1. <u>El amplificador paramétrico</u>	154
2.2.2. <u>El Indicador de blancos móviles</u>	164
2.3. LAS PANTALLAS DEL RADAR PRIMARIO	179

CAPITULO III

RADAR SECUNDARIO	185
3.1. EL INTERROGADOR DEL RADAR SECUNDARIO	188
3.2. EL EXTRACTOR DE GRAFICO # 1	201
3.3. EL PROCESAMIENTO DE DATOS DE LA AERONAVE ..	230
3.3.1. <u>El computador</u>	236
3.3.1.1. La unidad central de proce- so:	237
3.3.1.2. Los periféricos:	245
3.3.2. <u>La programación del computador</u>	255

CAPITULO IV

AMPLIACION DEL RADAR SECUNDARIO	256
4.1. VENTAJAS QUE OFRECE LA AMPLIACION PROPUESTA	269
4.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL RADAR SECUNDARIO AM PLIADO	273
4.3. EL EXTRACTOR DE GRAFICO # 2	280
4.4. LA UNIDAD DE TRANSFERENCIA AUTOMATICA	285
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	288
BIBLIOGRAFIA	289

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
CAPITULO I		
1.1.	TERMINOLOGIA DEL PULSO -----	34
1.2.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN RADAR PULSA DO (1) -----	34
1.3.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN RADAR PULSA DO (2) -----	39
1.4.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN RADAR PULSA DO (3) -----	39
1.5.	DIAGRAMA DE BLOQUES MODIFICADO -----	43
1.6.	SECUENCIA EN EL TIEMPO DE LAS FORMAS- DE ONDA DE UN RADAR DE PULSO -----	45
1.7.	PULSO DE MODULADOR OBTENIDO PRACTICA- MENTE -----	45
1.8.	REFLECTOR PARABOLICO -----	55
1.9.	RESOLUCION DE AZIMUT -----	61
1.10.	CANAL DE TRANSMISION DE DATOS -----	61
1.11.	ASPECTO DEL PULSO EN EL ESPACIO -----	65
1.12.	CONSIDERACIONES SOBRE EL BLANCO -----	65
1.13.	RESOLUCION DE DISTANCIA -----	69
1.14.	ERROR DE DISTANCIA -----	71
1.15.	CONTENIDO ARMONICO DEL PULSO -----	71

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
1.16.	FRECUENCIAS ARMONICAS (K.h.z)-----	74
1.17.	COMPARACION DE LOS ESPECTROS DE LOS - PULSOS -----	74
1.18.	MINIMA SEÑAL DISCERNIBLE -----	82
1.19.	BARRIDO DEL INDICADOR -----	82
1.20.	TIEMPO DE RECUPERACION DEL INDICADOR-	82
1.21.	TIEMPO MUERTO DEL INDICADOR -----	88
1.22.	BLANCO A DISTANCIA MENOR QUE EL TIEM PO DE RETORNO DE UN PULSO -----	88
1.23.	SISTEMA DE RADAR DEL AEROPUERTO "SI MON BOLIVAR" DE GUAYAQUIL-----	92
1.24.	SUB-SISTEMA DE RADAR PRIMARIO -----	94
1.25.	RADAR DE SERVICIO SECUNDARIO ENLACE - DE DOS VIAS -----	101
1.26.	MODOS DE INTERROGACION Y APLICACIONES	104
1.27.	PATRON DE RADIACION HORIZONTAL SSR - CON SSL USANDO ANTENA EN SUMA Y DIFE RENCIA -----	106
1.28.	TREN DE PULSOS DE REPLICAS DEL RESPON DEDOR -----	110
1.29.	PROCESADOR DE GRAFICO Y REPRESENTACION DIGITAL (ALFANUMERICA)-----	117
 CAPITULO II		
2.1.	TRANSMISOR/RECEPTOR PRIMARIO -----	120

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
2.2.	CONTROL DEL RADAR PRIMARIO -----	121
2.3.	TRANSMISOR DEL RADAR PRIMARIO -----	122
2.4.	BASTIDOR ANCILLARES -----	123
2.5.	PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE UN - MAGNETON CONSTRUIDO -----	126
2.6.	MAGNETRON PLANO -----	132
2.7.	CAMPOS ELECTRICOS RESULTANTES DE <u>FI</u> GURA 2.6.-----	132
2.8.	DIRECCIONES DEL MOVIMIENTO DE LOS - ELECTRONES EN CIERTAS REGIONES DE LA FIGURA Nº 2.6.-----	132
2.9.	UN MAGNETRON DE OCHO SEGMENTOS CON - CIRCUITO DE TANQUE SIMPLIFICADO ----	140
2.10.	CAMPOS ELECTRICOS DE R.F. PARA <u>VA</u> RIOS MODOS DE OSCILACION EN UN <u>MAG</u> NETRON DE OCHO CAVIDADES -----	143
2.11.	FORMAS SIMPLIFICADAS DE TENSION DE PULSO DE LA SALIDA R.F. -----	146
2.12.	CIRCUITO BASICO DE UN MODULADOR DE LINEA PULSANTE -----	146
2.13.	EL RECEPTOR DE RADAR PRIMARIO -----	153
2.14.	CIRCUITO TANQUE -----	157
2.15.	FORMAS DE ONDA DEL CIRCUITO TANQUE - DE LA FIGURA Nº 2.14.-----	158

<u>Nº</u>		<u>PAGS</u>
2.16.	AMPLIFICADOR DE DOS TANQUES -----	161
2.17.	FORMAS DE ONDA DEL CIRCUITO DE LA FIGURA Nº 2.16.-----	163
2.18.	PRESENTACION NORMAL DE VIDEO DE UN P.P.I. -----	165
2.19.	VISTA DE PERFIL INDICANDO BLANCOS - TIPICOS DE RADAR -----	166
2.20.	RESPUESTA DE SISTEMA DE MTI Vs.VELO CIDAD RADIAL -----	166
2.21.	DISTANCIA QUE EL AVION RECORRE EN UN INTERVALO DE PULSOS -----	169
2.22.	CIRCUITO BASICO DE IDENTIFICACION - DE ECOS DE UN MTI -----	172
2.23.	SALIDA Vs. CARACTERISTICA DE FASE RELATIVA DE DETECTOR DE FASE DE ON DA COMPLETA -----	174
2.24.	CIRCUITO BASICO PARA CANCELAMIENTO DE BLANCOS FIJOS DE MTI -----	177
2.25.	FORMAS DE ONDA MTI PARA CUATRO IN TERVALOS DE PULSO SUCESIVOS EN DI FERENTES PUNTOS DEL SISTEMA DE MTI-	178
2.26.	ILUSTRACION DE DISTANCIA INCLINADA Vs. DISTANCIA VERDADERA -----	181
2.27.	PRESENTACION DEL PPI -----	183

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
2.28.	PPI CON CURSOR -----	183
CAPITULO III		
3.1.	COMPONENTES DE UN SISTEMA SSR -----	187
3.2.	INTERVALO ENTRE PULSOS PARA MODOS DE INTERROGACION (FRECUENCIA DE TRANSMI- SION 1030 MHz)-----	189
3.3.	TRANSMISIONES CON INTERLAZAMIENTOS DE MODOS -----	191
3.4.	PROGRAMAS TIPICOS DE INTERLAZAMIENTO--	191
3.5.	PANEL DE CLAVES DE CONTROL DE MODOS --	194
3.6.	DIAGRAMA BASICO - RADAR PRIMARIO Y SSR	195
3.7.	RELACION DE DISPAROS DE RADAR PRIMARIO Y SSR -----	197
3.8.	PEDESTAL COMUN -----	198
3.9.	ELEMENTOS DE DISTANCIAS DE HAZ SSR ---	203
3.10.	HACES DE INTERROGACIONES SUCESIVAS----	204
3.11.	EXTENSION DE AZIMUT -----	206
3.12.	VENTAJA DESLIZANTE -----	209
3.13.	CONTENIDO DE LA VENTANA DESLIZANTE ---	210
3.14.	UMBRALES -----	212
3.15.	CORRELACION DE ELEMENTOS CRUZADOS ----	214
3.16.	ZONA DE FLUCTUACION -----	214
3.17.	ZONA DE FLUCTUACION N ALCANZA EL <u>UM</u> BRAL -----	218

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
3.18.	UMBRAL DE LA ZONA NO FLUCTUACION N A ZONA DE FLUCTUACION N -----	218
3.19.	RESPUESTAS ASINCRONAS -----	220
3.20.	RESPUESTAS ASINCRONAS -----	221
3.21.	INTERCRUCE -----	224
3.22.	DIAGRAMA DEL P ₈ x200 -----	226
3.23.	FORMATO FAA MODIFICADO -----	228
3.24.	PRESENTACION CODIFICADA (VIDEO DI RECTO) -----	231
3.25.	PRESENTACION DECODIFICADA -----	231
3.26.	PRESENTACION DE CODIFICADA CONVEN- CIONAL -----	235
3.27.	PRESENTACION SINTETICA DIGITAL (AL FANUMERICA) -----	235
3.28.	COMPUTADOR PDF 11/43 -----	235
3.29.		238
3.30.		238
3.31.	RADAR PANORAMICO -----	246
3.32.	UNIDAD P.P.I.-----	246
3.33.	IMAGEN DEL RADAR PRIMARIO -----	240
3.34.	IMAGEN DEL RADAR SECUNDARIO -----	249
 CAPITULO IV		
4.1.	SUB-SISTEMA DE RADAR SECUNDARIO BA SICO -----	257

<u>Nº</u>		<u>PAGS</u>
4.2.	BASTIDOR Pix 200 Nº 1-----	258
4.3.	BASTIDOR P.P.S. 200 Nº 1 -----	259
4.4.	BASTIDOR Pix 201 -----	261
4.5.	RADAR SECUNDARIO DEL AEROPUERTO" <u>SI</u> MON BOLIVAR" -----	263
4.6.	TRANSFERENCIA AUTOMATICA Nº 1 ----	264
4.7.	BASTIDOR Pix 200 Nº 2 -----	267
4.8.	BASTIDOR P.P.S. 200 Nº 2 -----	268
4.9.	BASTIDOR Pix 201 REDISTRIBUIDO ----	270
4.10.	SISTEMA DOBLE DEL RADAR SECUNDARIO SSR 200 -----	274
4.11.	INTERROGADOR Nº 1 EN LINEA CON EXT DE GRAFICO Nº 2 -----	276
4.12.	TRANSFERENCIA AUTOMATICA Nº 2 ----	278
4.13.	FUENTE DE PODER TIPO F 2329 -----	282
4.14.	PANEL FRONTAL DE LA FUENTE DE <u>PO</u> DER -----	283

I N T R O D U C C I O N

La optimización del sistema del radar del aeropuerto "Simón Bolívar" de Guayaquil, por medio de la ampliación del radar secundario, tiene por objetivo sugerir técnicas tendientes a mejorar el sistema mencionado que en la parte correspondiente a sub - sistema secundario actualmente tiene una unidad extractor de gráfico y un Procesador de Gráfico lo cual constituye un punto crítico del sistema ya que al fallar estas unidades, por ende, queda todo el radar secundario fuera de servicio y siendo que este sub-sistema proporciona la mayor cantidad de información para el control del tráfico aéreo tiene suma importancia su optimización.

La metodología consiste de lo siguiente: en el capítulo primero se da una introducción que explica el uso del radar para el control del tráfico de aeronaves, luego se pone de relieve los principios y conceptos en los cuales se basa el radar y los dos sub - sistemas existentes: Primario y Secundario. En los dos capítulos - siguientes se analiza detalladamente el radar primario y radar secundario en sus unidades respectivas; para finalmente exponer las ventajas que ofrece la ampliación

ción propuesta mediante un análisis pormenorizado de los bastidores del radar secundario actual.

Los resultados se resumen en las conclusiones y recomendaciones.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

Desde que la CAA (Commerce Air Art) fue creada en 1926 por el gobierno de los Estados Unidos, quedo establecido que la Secretaria de Comercio de los EE.UU. se encargaría de la aviación comercial en ese País.

Desde entonces se sucedieron muchos cambios en la aviación. En el comienzo, la principal necesidad era la de construir un sistema que pudiese guiar un avión con seguridad a su destino. En esa época la radio y las luces de señalización eran suficientes. En 1927 habían 17 frecuencias bajas asignadas para este fin así como señalización visual distribuídas por los Estados Unidos. Con el pasar de los años este tipo de ayudas continuo creciendo en número, así también el tráfico de aeronaves comenzó a crecer hasta el punto de generar congestionamiento en las proximidades de los aeropuertos, lo que provocó la creación de ayudas como el sistema de aterrizaje por instrumentos ILS (Instrumental Landing System) y otros.

La segunda guerra mundial aumento mucho el tráfico aé

reo, hasta el punto que las rutas aéreas se tornaron congestionadas, obligando a un control directo de tierra para evitar colisiones en el aire. Para tratar este problema más eficientemente, fue creada en 1958 la FAA, (Aeronautical Federal Agency) que absorbió a la antigua CAA. El aumento continuo de tráfico aéreo obligó a un aumento correspondiente en las ayudas a la navegación y dispositivos de control. Tal vez el dispositivo más importante para estas aplicaciones sea el Radar, que al momento es el instrumento más eficiente en las aplicaciones del control del tráfico aéreo.

Sin el Radar, el tráfico aéreo sería caótico.

La función básica del control de tráfico aéreo es brindar seguridad a los vuelos por medio de la regulación del tráfico aéreo, cuyo mayor problema es la magnitud del flujo de aeronaves. Este se ha tornado tan denso que es casi necesario mantener contacto permanente con cada avión para que se pueda garantizar seguridad en el tráfico.

En los principios de la aviación, el procedimiento usual era asignar al personal de a bordo de la aeronave la determinación de su posición. Esa información era transmitida al control en tierra, que entonces coordi

naba la posición de la aeronave con los demás aviones en las vecindades. Este procedimiento estaba sujeto a diversos errores. La precisión de la información de posición, era en la mejor de las hipótesis, aproximada, pues, se derivaba de complicados cálculos, de allí que se perdía, el tiempo que estas tomaban, el tiempo que pasaba hasta informar al control y el tiempo que el control tomaba para coordinar sus datos. Cuando, al final, el control estaba en condiciones de transmitir las informaciones al piloto, estos ya eran un tanto obsoletos y se hacía un estimado del avión en ese momento.

Este sistema funcionaba bastante bien en aquel tiempo, principalmente por los pocos vuelos y bajas velocidades de los aviones de esa época. Mientras tanto con el advenimiento de los aviones de altas velocidades, este sistema dejó de ser adecuado. Considerando las altas velocidades y el vasto número de aviones en operación en nuestros días es obvio que se necesite de un sistema que provea datos instantáneos y precisos, condiciones estas satisfechas por el Radar; como veremos en la descripción que sigue a continuación.

1.1. PRINCIPIOS Y CONCEPTOS DE RADAR

Como cualquier otra máquina el Radar tiene un principio de funcionamiento, cuyo entendimiento es de la mayor importancia para investigar los varios tipos y sus circuitos asociados.

El término Radar se deriva de la expresión "Radio Detection and Ranging". La detección se deriva de la utilización de la propiedad de reflexión de las ondas electromagnéticas, esto es, un haz de energía electromagnética es dirigida para un objeto y la energía por este reflejada indicara su presencia.

Además de detectar los objetos reflectores, la mayoría de los sistemas de radar permite obtener informaciones de distancia.

Medidas de distancia son obtenidas por un tipo de radar, el radar de pulsos, transmitiendo energía-electromagnética en la forma de pulsos cortos. Esta energía se propaga a la velocidad de la luz y será reflejada por discontinuidades en el medio de propagación. El tiempo total transcurrido desde la emisión inicial hasta la recepción de un eco

es medido y la distancia del objeto reflector de terminada por medio de esta información.

Todas las medidas de distancia de la FAA son en millas náuticas, de allí que todas las consideraciones relativas a las distancias de radar sean sobreentendidas como siendo en millas náuticas a menos que se declare las unidades que se desee usar.

El principio del radar, es un principio de reflexión o eco, donde el alcance es medido indirectamente como función del tiempo total transcurrido entre la transmisión y la recepción del eco.

1.1.1. Descripción de los Tipos de Radar

Todos los radares operan con algún tipo del principio de eco, una variedad de los métodos de transmisión y de las técnicas de medida de tiempo pueden ser utilizados, dando margen a varios tipos básicos de radar. Estos caen en dos amplias categorías: radares de onda continua y radares de pulso.

Radar de Onda Continua

Son así llamados porque los transmisores usados en estos sistemas operan casi continuamente; ya que no se tiene continuidad de transmisión. En todos los casos, las señales de Salida transmitidas por los sistemas de radar de onda continua son de baja amplitud y larga duración comparados con los pulsos rápidos y de gran amplitud de los radares de pulsos.

Probablemente la forma más simple de radar de onda continua es el radar doppler. En el sistema doppler básico, el transmisor opera continuamente en una frecuencia dada. La detección de los blancos se hace usando se el principio doppler aplicado a las ondas electromagnéticas. En un sistema de radar del tipo doppler cualquier objeto reflector moviéndose en la dirección del transmisor o alejándose de él hace retornar señales de eco de frecuencia ligeramente diferente a la transmitida debido al desvío doppler. La frecuencia transmitida y la frecuencia diferencia o frecuencia de mezcla sera una medida de la velocidad del objeto reflector. Señales de eco de blan

cos estacionarios no sufren desvios doppler, lo que significa que no son detectados.

La desventaja más importante de este radar es que no se obtiene información de distancia.

Radar de Pulso

Como su nombre lo indica, la energía transmitida por el radar de este tipo es en la forma de pulsos cortos de energía de RF (Radio Frequency), siguiendo a esta transmisión inicial, un cierto tiempo destinado a recibir cualquier señal reflejada. Cuando este período de recepción se termina, repitese el ciclo de operación. Si cualquier señal de eco es recibido en este periodo de recepción, el tiempo total entre la generación del pulso transmitido y la recepción del eco es determinado y convertido en información de distancia.

Los sistemas de radares pulsantes pueden ser divididos en dos grupos: Radares de pulso primario y Radares de pulso secundario.

Radar de pulso primario

Este nombre es dado al sistema de eco simple discutido anteriormente, en el cual el blanco refleja la energía transmitida por el sistema y el lapso de tiempo entre la transmisión y la recepción es medido y convertido en información de distancia. Se puede percibir que el radar primario no requiere cooperación del blanco a fin de detectarlo y medir su distancia. El blanco deberá ser apenas un objeto reflector lo bastante grande para devolver una señal de eco utilizable por el radar.

Una limitación del radar primario es que el no provee una identificación positiva del blanco. Por ejemplo una escuadrilla de aviones aparecería simplemente como un grupo de objetos reflectores para el radar, la distancia y la orientación estarían presentes, más ninguna identificación positiva estaría presente a menos que se consiguiese un problemático contacto de voz. Para superar este problema de identificación el radar secundario fue desarrollado para apoyar

la información del radar primario.

Radar de pulso secundario

El radar secundario es semejante al radar primario, a diferencia del hecho de que hay necesidad de instalar un equipo auxiliar en el blanco, y no se usan solamente los ecos simples.

Cuando el pulso de energía transmitido alcanza un blanco adecuadamente equipado, usando un radar secundario, un equipo especial en el blanco es disparado y transmite automáticamente una señal de vuelta para el radar que lo está interrogando. El eco simulado podrá ser presentado en el indicador de radar y obtenerse mediciones del tiempo como en el radar primario, sin embargo, el principal beneficio adquirido, es que el equipo especial en el blanco, llamado respondedor, puede ser ajustado para responder con una cierta secuencia de pulsos cuando es interrogado por la estación de tierra. De esta manera, un avión adecuadamente equipado podría tener su propio código de identifica

ción. Además, solo hay pérdida de energía en un sentido del recorrido, pues la operación del radar secundario no depende de la energía reflejada, así para una misma potencia de pulso transmitida el radar secundario tendría un alcance mayor que un radar primario.

El radar secundario por sí solo, mientras tanto, no es suficiente para el control de tráfico aéreo, primeramente porque exige equipo especial en las aeronaves y es poco probable que todas las aeronaves sean algún día así equipadas.

El radar secundario, es eficiente para propósitos de identificación. Es un equipo esencialmente secundario; su función básica será complementar la información provista por el radar primario. La filosofía actual de la FAA es obtener ventajas de los dos tipos, operando sistemas conjuntos, estos es, una instalación de radar primario operando en conjunto con una de pulso secundario y con facilidades para presentar los ecos primarios o del secundario o ambos.

Ventajas del radar de pulso

De las discusiones anteriores sobre los va-
rios tipos de radar, concluimos que solo los
radares de pulso tienen las características
y la flexibilidades necesarias para ser usa-
dos como dispositivos eficientes de control
de tráfico aéreo. Los radares doppler mos-
traron ser inadecuados para ese propósito -
por no dar informaciones de distancia.

Los radares de pulso, en cambio, pueden dar
información de distancia bastante precisa
para muchos blancos simultáneamente. El
dispositivo indicador es un tubo de rayos
catódicos que es particularmente adaptado a
las aplicaciones de control, especialmente
el del tipo de indicador de posición plana
(PPI) el cual presenta en su pantalla un ma-
pa de la región que está siendo cubierta.

Además fueron hechas mucho más investigacio-
nes de desarrollo en el campo de los rada-
res de pulso que en el de los radares de on-
da continua, lo que resultó en el estableci-
miento de técnicas de pulso y en la disponj-
bilidad de partes componentes, esto es tan

verdadero que cuando se menciona radar en la literatura relativa básicamente se sobreentiende al radar de pulso.

1.1.2. Nomenclatura FAA de los radares Primarios

Ningún sistema de radar es lo suficientemente flexible para ejercer todas las funciones de control, por esta razón, se usan diferentes sistemas; cada uno diseñado para una tarea específica. A continuación definiremos su nomenclatura:

Radar ASR

(Air Surveillance Radar) Es un radar de servicio de aeropuertos y sirve principalmente en la observación de aeronaves en operación en las proximidades de los terminales aéreos. Ellos son generalmente instalados en el propio edificio del terminal y pueden barrer una área de 50 millas a su alrededor.

Tal sistema es necesario porque los aviones tienden a agruparse en la proximidad de los aeropuertos esperando instrucciones para a

terrizar. Con un alcance de 50 millas los radares ASR pueden ser clasificados como de alcance medio. Con este sistema no se requieren medidas precisas de distancia y tampoco estimaciones groseras de distancia. De allí que la precisión de alcance de los radares ASR es calculada de tal forma que ella también puede ser considerada media, sacrificándose la precisión en favor de otras características técnicas.

Radar ARSR

(Air Route Surveillance Radar) Son usados para determinar la localización de aviones a lo largo de la ruta aérea. Son radares de alta potencia para tener gran alcance, con un máximo del orden de las 200 millas. No se tiene una precisión muy grande dándose énfasis al alcance. Los radares ARSR pueden ser localizados en lugares remotos a lo largo de las rutas aéreas. Cuando esto sucede su información es transmitida al centro de control vía microondas.

Radar PAR

(Precisión Approach Radar) Radar de aproximación de precisión, son radares de corto alcance pero muy precisos, usados como ayuda en el aterrizaje por instrumentos. Tales radares son instalados en los grandes aeropuertos y cerca de la pista. Su alcance máximo es de cerca de 10 millas.

Radar ASDE

(Airport Surface Detection Equipment) Es usado para controlar el tráfico en tierra en los grandes aeropuertos; siendo un radar de poco alcance y fabulosa resolución, pudiendo distinguir dos blancos muy próximos. El sistema opera en frecuencias bastante altas en la banda de 24000 Mhz, es interesante compararlo con las frecuencias utilizadas en los otros tipos de radar. Un cuadro con las frecuencias utilizadas en los otros tipos de radar se muestra a continuación:

Banda de Frecuencia	Frecuencia Central	Longitud de onda	Aplicaciones
L	1000 Mhz	30 Cm	Radar Secundario, y ARSR
S	3000 Mhz	10 cm	ASR
X	10000 Mhz	3 cm	PAR
K	30000 Mhz	1 cm	ASDE

1.1.3. Terminología utilizada en los Radares de Pulso

Es necesario definir algunos de los términos técnicos relativos a los pulsos, pues cualquier discusión relativa al radar se reduce al análisis de los pulsos.

Relación del Ancho del Pulso y el intervalo entre pulsos

Un sistema de radar transmite un pulso de energía en RF y recibe los ecos en un intervalo de tiempo después de la transmisión, entonces se repite el ciclo. Ver fig. 1 - 1.

Una forma más interesante de presentar la misma relación es en términos de energía, esto es, el pulso de RF tiene un valor de P_{av}

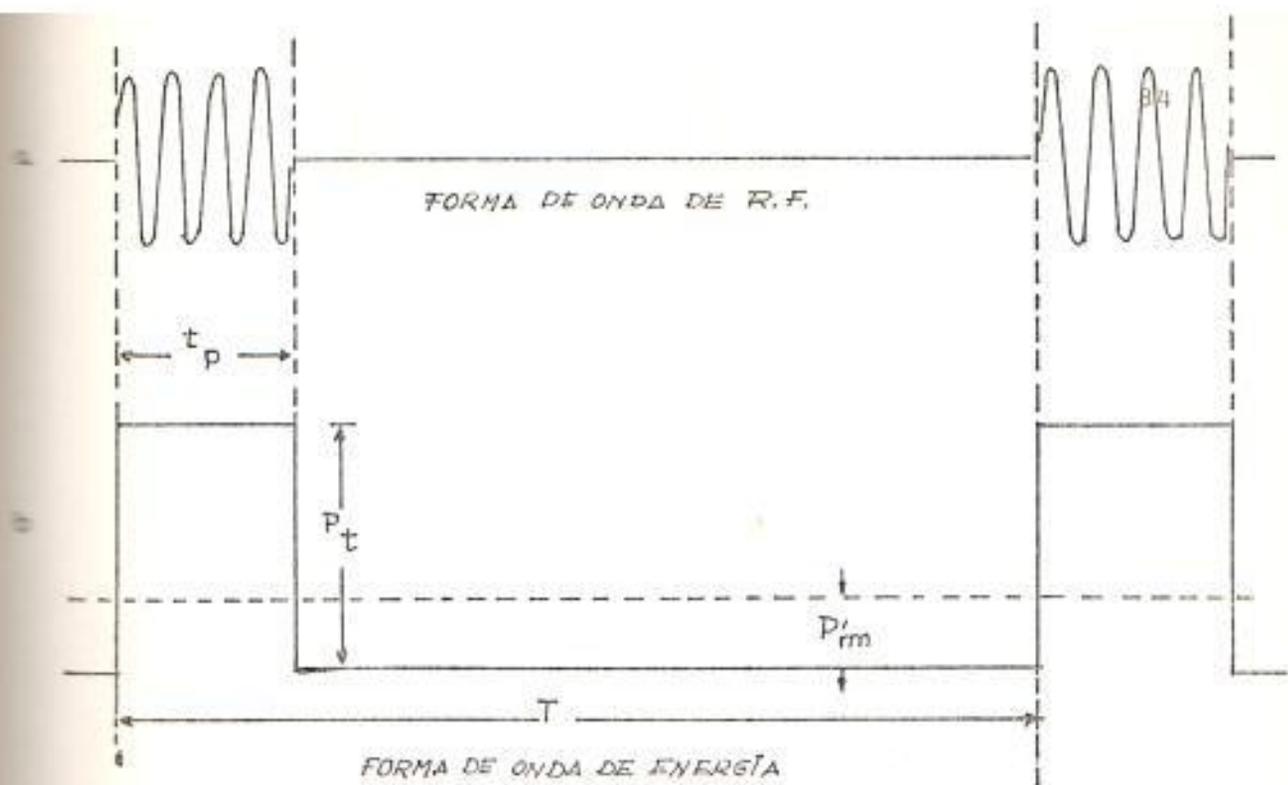


FIG # 1-1 TERMINOLOGÍA DEL PULSO

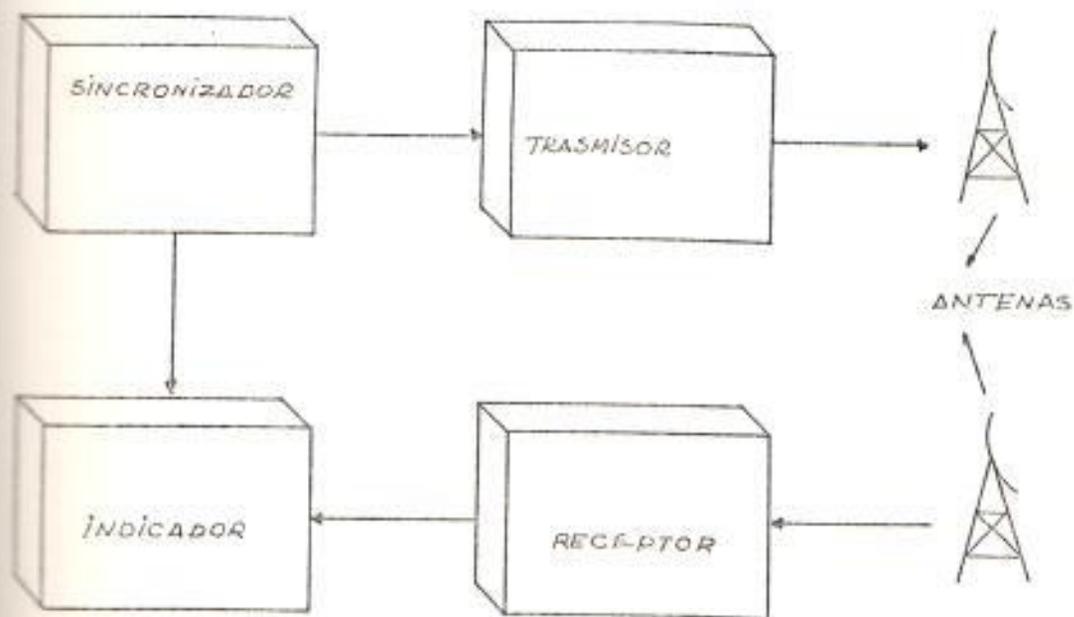


FIG # 1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN RADAR PULSADO (1)

tencia de pico que dura por cierto tiempo. Esta forma de onda de energía se indica en la fig. 1 - lb. La amplitud del pulso es representada como la potencia de pico, P_t . La duración de tiempo del pulso transmitido, o ancho del pulso, es designado por t_p . El intervalo entre pulsos, o período, es designado por T .

El número de pulsos generados por segundo se llama la frecuencia de repetición de pulsos PRF (Pulse Repetition Frequency) del sistema y es el recíproco de T .

Potencia Media, Potencia de pico y ciclo de servicio

La relación entre estos factores es muy importante en los proyectos de radar, porque las cantidades deberán ser ajustadas para ejecutar las funciones de cada sistema en particular. La potencia de pico, P_t , de un transmisor es la potencia máxima que se obtiene durante un corto lapso de tiempo.

La potencia media, P_m , de un transmisor es

simplemente la potencia que se podría obtener operando continuamente el transmisor. En la operación del pulso la cantidad de energía contenida en el pulso ($P_t \cdot t_p$) no puede exceder a la energía que se podría obtener si el dispositivo estuviese operando continuamente durante todo el periodo ($P_m \cdot T$). Es decir:

$$P_t \cdot t_p = P_m \cdot T \quad (1 - 1)$$

Esta relación puede ser presentada en forma diferente, así:

$$P_t = P_m \cdot T/t_p \quad (1 - 2)$$

La relación t_p/T se llama Ciclo de Servicio del Sistema.

$$\text{Ciclo de Servicio} = t_p/T \quad (1 - 3)$$

1.1.4. Diagrama de Bloques de un Radar

La teoría general de operación del radar impone que tal sistema requiere un transmisor

de pulsos, un receptor para recibir los ecos, un indicador para efectuar las medidas de tiempo transcurrido y presentar los ecos, un sistema de antena direccional y un sincronizador para las varias unidades. Ver fig. 1 - 2

La desventaja principal de este esquema extremadamente básico es la complejidad mecánica del sistema de antenas. Hasta aquí, el tópico principal fue dado a la medida de distancia, sin embargo, las informaciones de azimut tienen la misma importancia en las aplicaciones de control.

Obviamente obtendríamos una apreciable simplicidad mecánica si pudiesemos utilizar una antena para transmitir y para recibir en vez de intentar sincronizar y alimentar dos antenas separadas.

Tal ventaja se podría obtener usando una conmutación entre el transmisor y el receptor (el duplexador). La función del duplexador es conectar la antena al transmisor cuando se quiere transmitir y después auto

tomáticamente conectarla al receptor en el tiempo de recepción. Ver fig. 1 - 3

El transmisor más común es la válvula magnética que requiere una tensión de pulso - grande para operar adecuadamente. El sincronizador produce apenas pequeños pulsos de disparo, de manera que se requiere una etapa intermedia entre el sincronizador y el transmisor para excitar a éste último. Esta unidad básica se llama el modulador.

Además del modulador existe un enlace de datos de la antena para el indicador para dar la información de azimut. La inclusión del modulador y del canal de datos se indica en la fig. 1 - 4.

Una descripción sucinta de un ciclo de operación de este sistema es el siguiente: El proceso es iniciado por el sincronizador, que provee los pulsos distribuidos en el tiempo para el control del ciclo de operación. Estos pulsos de disparo van al modulador y al indicador. En el modulador ellos inician la generación de otros pulsos de mayor po

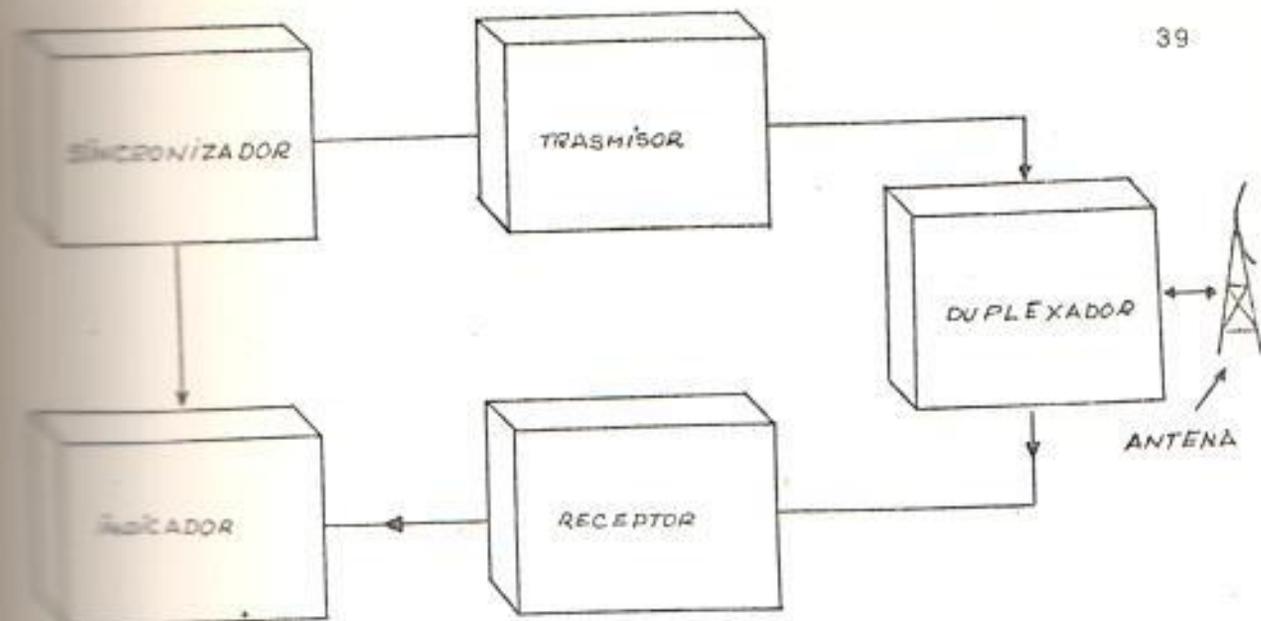


Fig. 1.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN RADAR PULSADO (2)

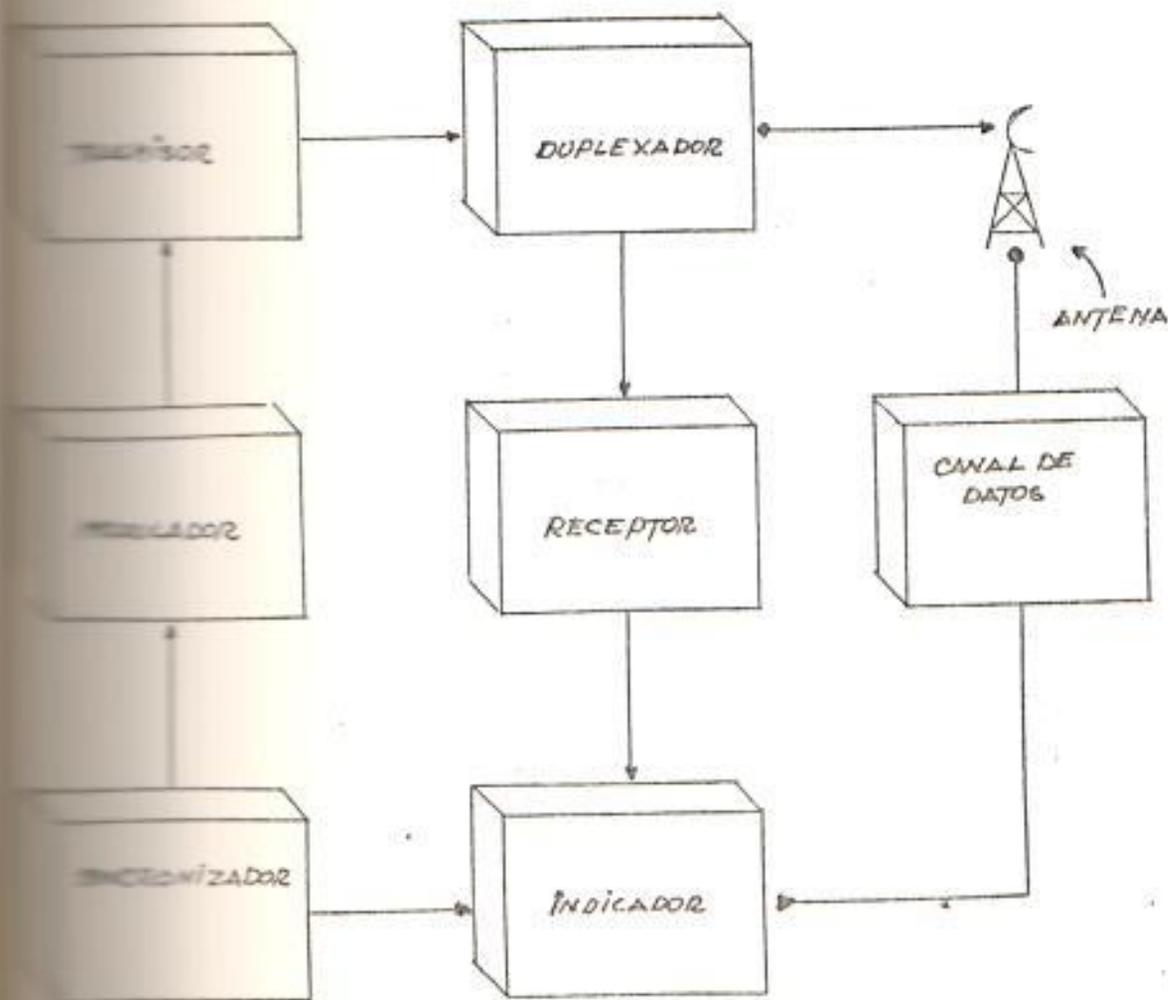


Fig. 1.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN RADAR PULSADO (3)

tencia y duración suficiente para excitar - al magnetrón. La aplicación de estos pul sos al magnetrón producen oscilaciones RF de gran potencia. La energía RF generada va para el conmutador electrónico, o du plexador, el cual, durante este tiempo esta rá en el estado adecuado al paso de la ener gía del transmisor a la antena, que la irra diará directivamente al espacio. Suponien- do que ésta energía irradiada alcance un blanco, una porción de la energía será re flejada; el sistema de radar estará entonces receptando pues el duplexador habrá sido con mutado luego de la transmisión de forma que la antena estará directamente conectada al receptor. El eco que retorna es así apli cado al receptor, que lo detectará y amplia rá hasta un nivel suficiente para operar el dispositivo de medida, el indicador.

El indicador, en realidad, tiene dos funcio nes, esto es, sirve como dispositivo de me dida del tiempo transcurrido y presenta es ta información de manera utilizable. Esto se consigue usando un tubo de rayos catódi cos, en el cual el eco es mostrado en con

junto con un barrido calibrado. El indicador tipo A es semejante a un osciloscopio . Un método común de calibración es sobreponer marcas de distancia en el barrido que indiquen distancias particulares, a 10 millas, 20 millas, etc. La distancia de un blanco podría ser estimada con precisión contando se el número de marcas desde el comienzo del barrido hasta la posición del eco en la misma.

Un tipo de indicador para fines de control de tráfico aéreo es el indicador de posición plana (PPI) que provee simultáneamente información de distancia y azimut. En un indicador del tipo PPI el barrido se inicia en el centro de la pantalla y es desplazado en el sentido del perímetro externo de la misma. El alcance es calculado de la misma forma que en el indicador tipo A. El azimut, mientras tanto, también puede ser obtenido pues se hace que el barrido gire sincronizadamente con la antena, por medio de la información del canal de datos.

Regresando al ciclo de operación, una señal

de eco es recibido y presentado en el indicador, cuyo barrido es disparado simultaneamente con el transmisor. El barrido resultante es lineal y tiene una longitud correspondiente al alcance específico.

1.1.5. Consideraciones de Funcionamiento

Los elementos básicos de un radar han sido establecidos, sin embargo, ellos no constituyen un sistema operacional de radar. En la práctica, estas unidades básicas deben ser proyectadas de forma que se complementen de la mejor manera posible para cumplir las especificaciones del radar de corto, medio, o largo alcance. La fig. 1 - 5 es un diagrama de bloques más sofisticado. La mayor diferencia estriba en la inclusión del equipo indicador de blancos móviles MTI en el circuito del receptor, la mayoría de los radares de la FAA lo tienen. Su uso permite eliminar los ecos de los blancos estacionarios (CLUTTER), que son indeseables, lo que reduce el desorden en el indicador. Como el MTI quita un poco la potencia del receptor, se toman providencias para cuando su u

1. OSCILADOR MAGNETRON

2. GUIA DE ONDAS

3. VOLTAJE DE FILAMENTO

4. TUBO TR.

5. FUENTE DE PODER

6. SWITH THYRATRON

7. AISLADOR

8. RED FORMADORA DE PULSOS

9. MEZCLADOR

10. OSCILADOR LOCAL

11. DETECTOR DE FASE

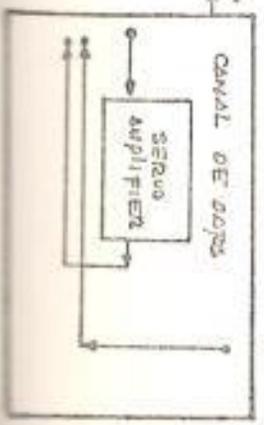
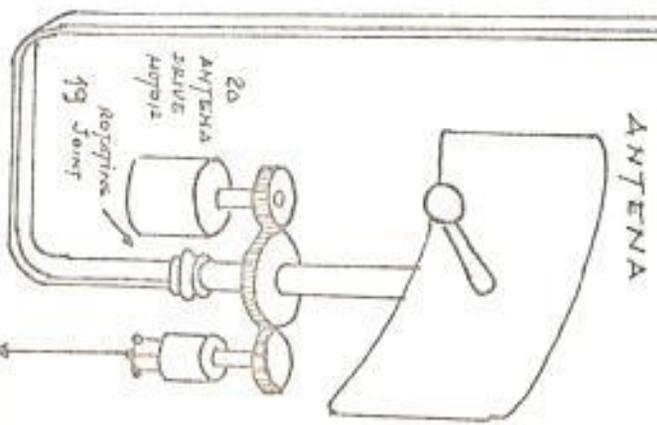
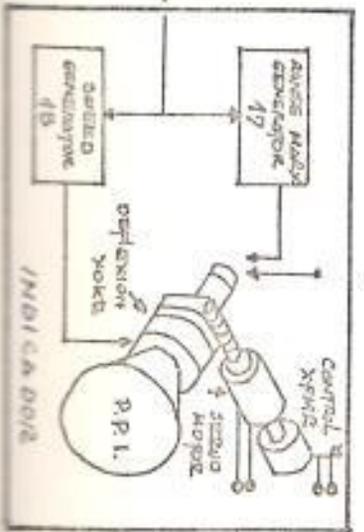
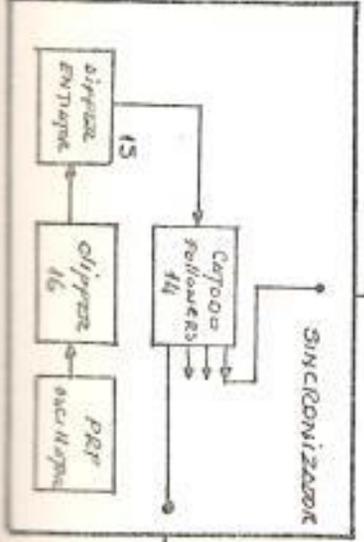
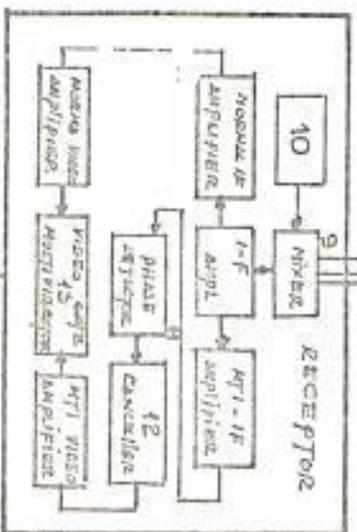
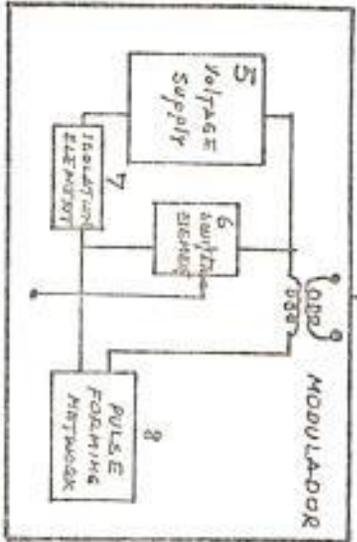
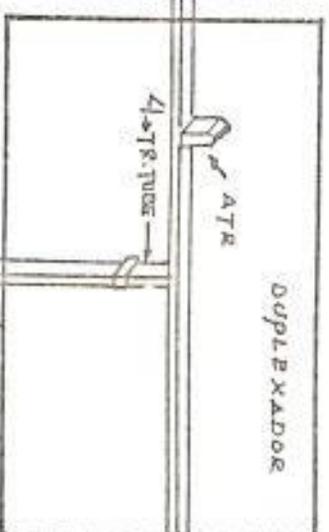
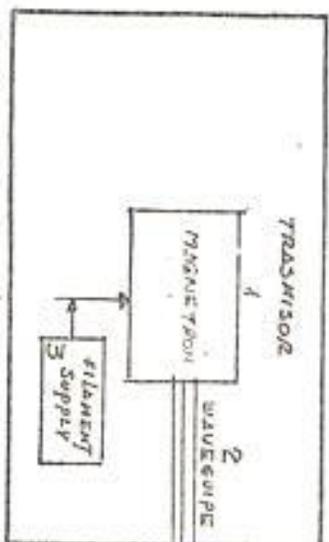
12. CANCELADOR

13. PUESTA DEL VIDEO

14. DISTRIBUIDOR DE SINCRONISMO

15. DIFERENCIADOR

16. COMPARTOR



so no es necesario, de modo que se pueda tener un receptor normal.

Un diagrama que da la secuencia de tiempos de operación de las varias unidades del radar esta en la fig. 1 - 6

Consideraciones sobre el sincronizador

Como puede ser visto en la fig. 1 - 6 el ciclo de operación es controlado por el reloj (o unidad de tiempo del sistema).

El reloj inicia la operación generando una serie de pulsos de disparo a intervalos de tiempo escogidos. El intervalo entre los pulsos T es establecido con precisión usando un oscilador muy estable como elemento básico del reloj. Basicamente, los pulsos de disparo se necesita ser enviados al modulador y al indicador, más pueden ser enviados a otras unidades básicas, dependiendo de la complejidad del sistema. Adicionalmente, funciones más especializadas, tales como la variación de la secuencia de repetición de pulsos (PRF), exigen circuitos adicionales.

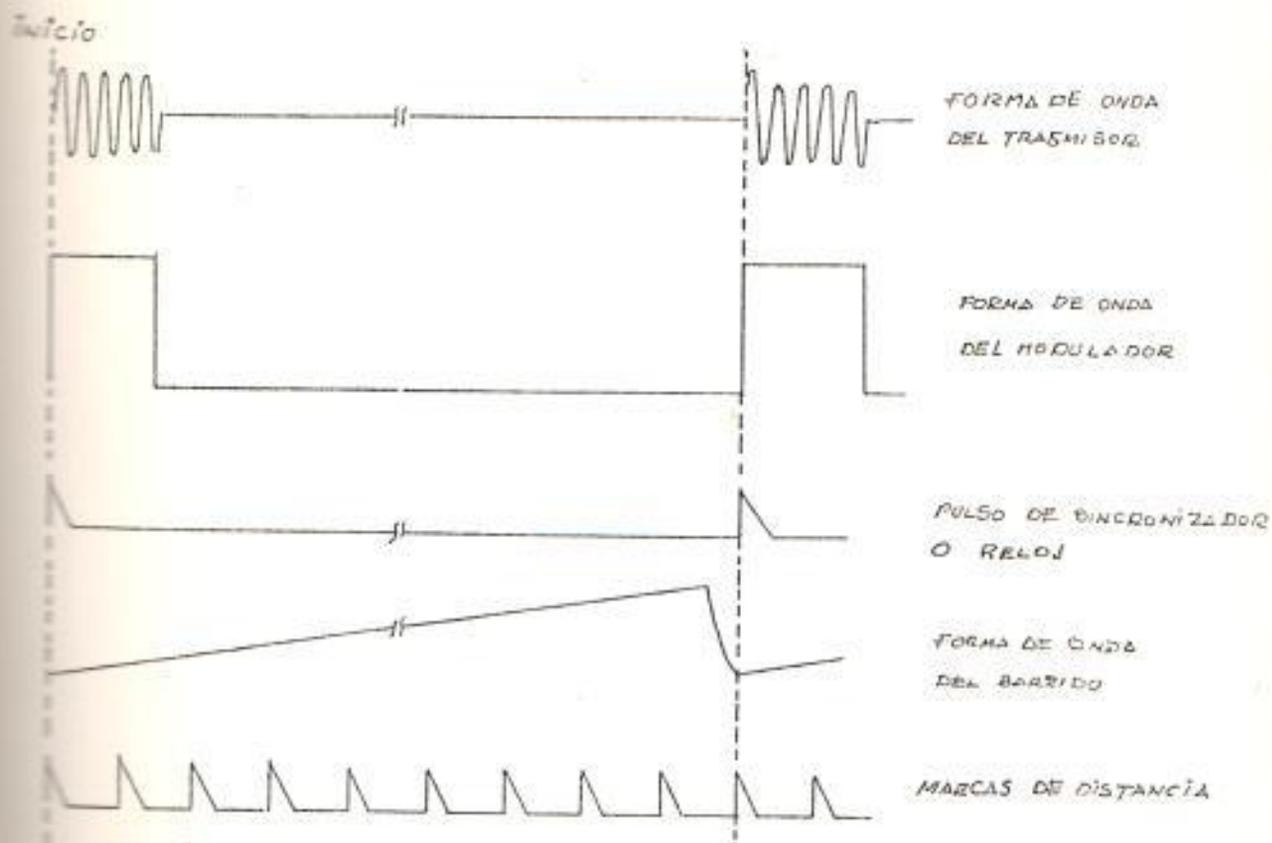


FIG #1-6 SECUENCIA EN EL TIEMPO DE LAS FORMAS DE ONDA DE UN RADAR DE PULSO

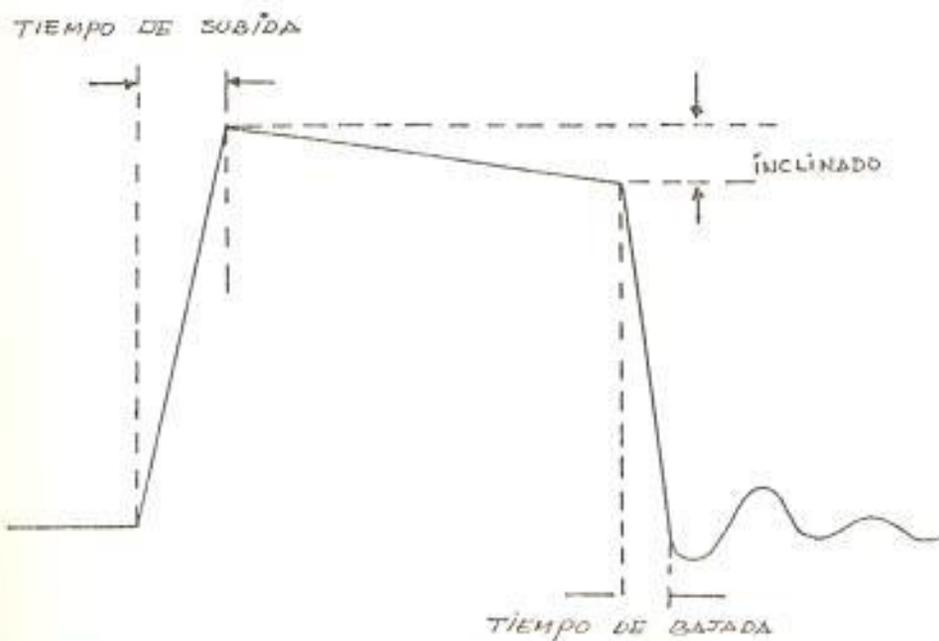


FIG #1.7 PULSO DE MODULADOR OBTENIDO PRACTICAMENTE.

Consideraciones sobre el modulador

Los pulsos del reloj inician, al menos dos acciones simultáneamente: La generación del pulso ha de ser transmitido y la activación del indicador, y que puede ser iniciado directamente por los pulsos, de menor amplitud, que el reloj provee.

Cuando el radar usa un magnetrón es necesario que se emplee un modulador, el cual funciona como una llave electrónica entre el reloj y el transmisor pues los pulsos del reloj son insuficientes para activar directamente el transmisor. Una forma común de modulador es el de la línea pulsada, o red formadora de pulso (PFN), que se encuentra en el diagrama de bloques de la fig. 1 - 5. Esta PFN es cargada por una fuente de alta potencia durante el intervalo entre los pulsos y permanece cargada hasta que la llave electrónica es disparada por el pulso de sincronización, el PFN entonces se descarga en un intervalo de tiempo determinado por su construcción y por el circuito de descarga. Esta descarga permite la creación de

un pulso con una amplitud suficiente y la duración adecuada para la operación del magnetrón.

En la práctica, el pulso producido por tal modulador no es perfectamente rectangular - sino que se asemeja al pulso de la fig. 1- 7

Notamos que el frente del pulso tiene cierta inclinación lo cual es deseable para el trabajo del magnetrón. Notamos también que el tope del pulso no es plano, esta inclinación es indeseable, pues puede provocar variaciones en la frecuencia transmitida al variar la tensión aplicada al magnetrón, de allí que se procura minimizar este efecto.

La bajada del pulso tampoco es instantánea, lo cual sería de desear, ya que este parámetro afecta el alcance mínimo que tiene el radar.

El elemento de llaveamiento es una válvula a gas llamado thyatron que tiene la propiedad de la conmutación casi instantánea.

Consideraciones sobre el Transmisor

El transmisor mas común en los sistemas de radar es el magnetrón. La característica fundamental de este es la de obtener altas potencias en RF, en la banda de microondas, durante intervalos de tiempo cortos. El magnetrón es el elemento más importante para el desarrollo del radar.

El magnetrón es energizado aplicandose el pulso formado por el modulador, este pulso tiene polaridad negativa y es aplicado al catodo del magnetrón. Su aplicación lo hace oscilar en su frecuencia de resonancia - por el tiempo que fuera aplicado. Como ya observamos anteriormente el pulso del modulador tiene un tiempo de subida lo cual es conveniente para el magnetrón que no puede iniciar sus oscilaciones instantaneamente y requiere la aplicación de una tensión gradual para que las oscilaciones se inicien. En caso de que la tensión se aplique muy rápidamente el magnetrón puede dejar de operar u operar incorrectamente, oscilando en un punto errado. Por otro lado hay que evitar un

tiempo de subida muy grande porque esto compromete la precisión de distancia. Así se usa el menor tiempo de subida para el magnetrón.

Consideraciones sobre el Duplexador

La función del duplexador es semejante a la de una llavetransmitir - recibir, esto es, el transmisor es conectado automáticamente a la antena durante la emisión y el receptor queda automáticamente conectado a la antena durante la recepción. La conmutación se realiza usándose válvulas a gas, llamadas TR. Cuando se transmite no sólo que el canal de entrada al receptor está desconectado sino que está cortocircuitado. Y en la posición de recepción, no solo el transmisor está desconectado sino que su canal está bloqueado para evitar el paso de los ecos al transmisor.

Alcance Mínimo:

Es la menor distancia a la que un blanco puede estar de la antena pa

ra ser detectado y aparecer en la pantalla del indicador, pues las medidas de distancia son hechas tomando como referencia la subida del pulso transmitido. La acción del duplexador también es iniciada en ese instante, de modo que el receptor queda efectivamente desconectado del circuito durante el tiempo de transmisión del pulso (t_p), de allí, que el ancho del pulso transmitido establece un mínimo absoluto de distancia. En otras palabras, si un blanco estuviere suficientemente próximo de una antena de radar, de tal forma que el eco volviese en un tiempo menor que t_p , tal eco no sería visto porque el receptor no estaría operando en ese momento.

Mientras tanto, la duración del pulso de transmisión, t_p , no es el único factor en un sistema de radar afectando el alcance mínimo real del sistema. El ancho del pulso es

tablecería el alcance mínimo real del sistema si el duplexador pudiese reintroducir al receptor en el sistema instantaneamente, lo cual - no sucede porque la acción de llaveamiento lo realiza una válvula a gas, que se ioniza al conectar el transmisor y se desioniza al conectar el receptor, lo que requiere - algún tiempo, de modo que el corto en la entrada del receptor es removido gradualmente y el receptor no adquiere su sensibilidad normal - instantaneamente pero si de forma aproximadamente exponencial. Así, el alcance mínimo real de un radar dependerá del ancho del pulso, del tiempo de desionización de la válvula TR y del tamaño del blanco. El tamaño del blanco se vuelve un factor importante pues un blanco - grande podría ser detectado inmediatamente después de la finalización del pulso transmitido a pesar de que su sensibilidad se encuentra reducida por efecto de la vál

vula TR, de aquí, se ve que es difícil especificar un valor exacto para el alcance mínimo del radar.

Tiempo de recuperación del Sistema:

Debido a la importancia del alcance mínimo, una evaluación de la acción del duplexador es deseable. Esta evaluación se consigue midiendo el tiempo de recuperación del sistema (SRT), el cual es medido como el tiempo que el receptor toma recuperar el 50% de su sensibilidad normal, en fórmula:

$$\text{SRT} = t_p + \text{tiempo de desionización de TR.} \quad (1-4)$$

La medida de SRT da una buena idea del estado de TR, con su aumento indicado deterioración de TR. Generalmente t_p es apenas una fracción pequeña de SRT.

Consideraciones sobre la antena

Una antena de radar es semejante a cualquier otra en sus características básicas, de irradiar o recibir electromagnética o, visto de otro modo, sirviendo para el acoplamiento de impedancias entre el sistema electrónico y el espacio. Además de eso deberá tener algunas propiedades especiales, tales como alta directividad para que se obtengan mediciones de azimut precisas y rigidez mecánica con poco peso, para que se pueda barrer rápidamente una región del espacio discutiremos las varias propiedades de abajo.

Propiedades direccionales:

Las propiedades direccionales son conseguidas construyéndose antenas de alta ganancia que irradian en una sola dirección, las cuales físicamente, pueden tomar la forma de un conjunto de dipolos montados sobre un reflector, tipo muy usado en los primeros radares, pero que

tienen la desventaja de ser poco rígidas y difíciles de construir. Un tipo más común es el de la fig. 1 - 8, constituido por una guía de onda (tipo corneta), alimentada por reflector parabólico; estando el terminal de la guía de onda localizado en el foco de la parábola, el reflector localizará la energía irradiada en un haz relativamente estrecho. La rigidez mecánica, y la simplicidad de la antena de reflector parabólico hacen de esta combinación particularmente adecuada al radar.

La antena de la fig. 1 - 8 es construida sobre un pedestal y puede girar accionada por un motor y un conjunto de engranajes. Las propiedades direccionales de una antena son función de la forma del haz que ella produce, siendo más direccional cuanto más estrecho sea el haz. El ancho del haz es generalmente definido como la separación angular entre los puntos de media potencia

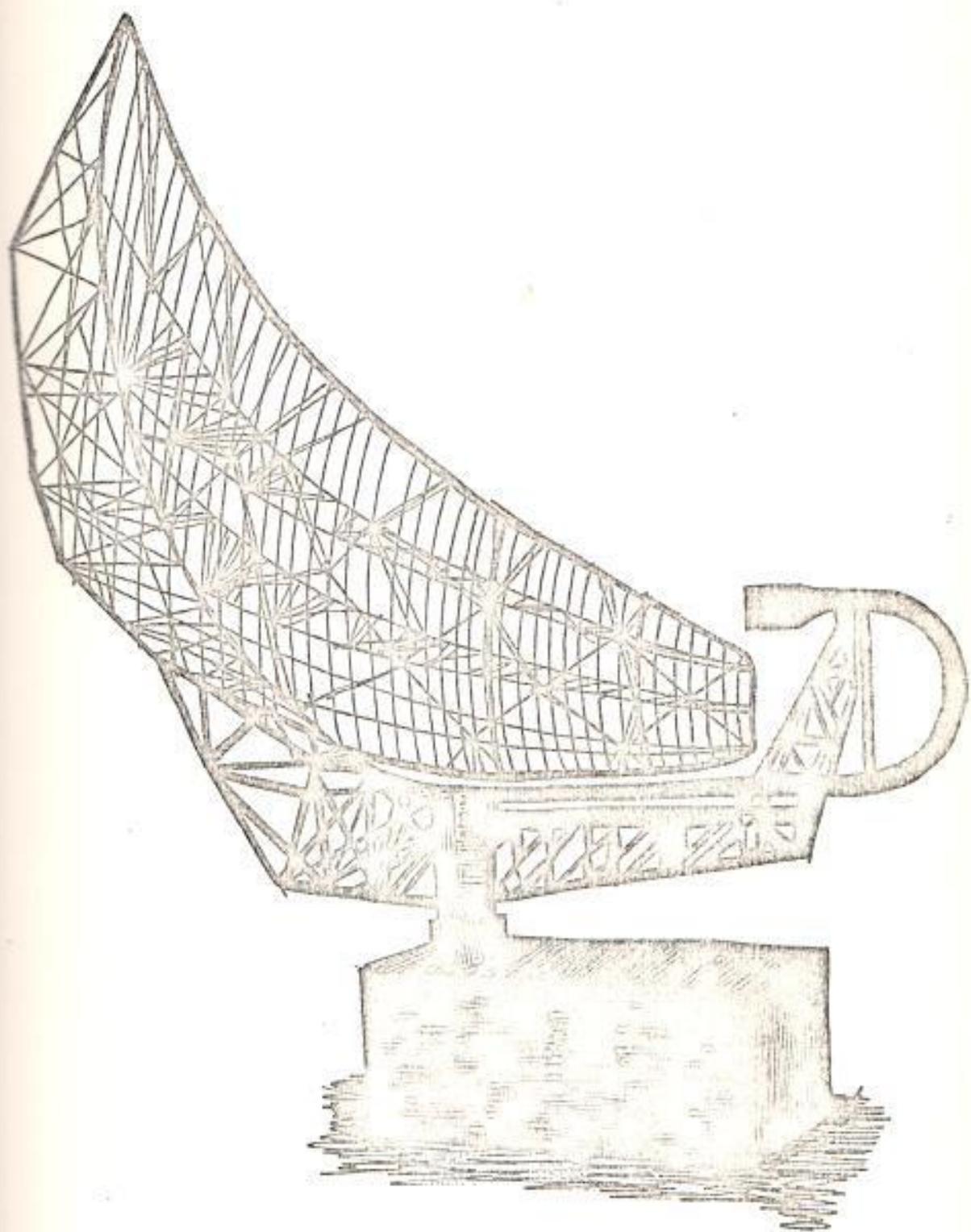


FIG # 18 REFLECTOR PARABOLICO.

del patrón de radiación de la antena; o en los puntos en que el campo eléctrico es el 70 % del campo eléctrico máximo que se produce en el eje principal del patrón de radiación.

Número de veces que un blanco es alcanzado en un barrido:

Es obvio que al menos uno de los pulsos transmitidos por la antena debe alcanzar el blanco para permitir la detección, también es obvio que la velocidad de giro de la antena afecta el proceso, igualmente existe influencia del PRF, y lógicamente el ancho del haz es factor importante en el número de veces que el blanco es alcanzado en un barrido (N_s). No es difícil llegar a una expresión de N_s como función de estos parámetros:

$$N_s = \text{PRF} \cdot \alpha / 6 \cdot \text{RPM} (1 - 5)$$

α = abertura del haz de la antena

RPM = Velocidad angular de la antena

Desde un punto estrictamente básico, puede pensarse que alcanzando un blanco una vez sería suficiente para permitir la detección pero con consideraciones de orden práctico obligan que para una detección segura un blanco sea alcanzado varias veces en un barrido de antena. El menor número aceptable va a depender de si el radar es de largo o corto alcance. El efecto de aumentar N_s es aumentar la discernibilidad del eco en el indicador tratando que la pantalla del indicador recuerde cada eco y lo sobreponga cada vez que el blanco es alcanzado para lograr la persistencia. La discernibilidad de la señal es proporcional a la raíz cuadrada de N_s , sin embargo existe una limitación por el punto de saturación del fósforo de la pantalla del indicador.

Puede parecer que los parámetros del sistema deben ser ajustados para conseguir el mayor número de de

tecciones, hasta el límite de saturación del indicador. Esto sería deseable más no es generalmente posible debido al conflicto entre los parámetros del radar. Mirando la expresión de N_s podemos observar = que el número de ecos aumentaría con el PRF, cuyo valor máximo está limitado por la longitud del barrido del indicador; por otro lado podríamos aumentar el ancho del haz irradiado, α , lo que traería dos desventajas: una, la ganancia de la antena se reduciría, lo que disminuiría el alcance máximo y otra, como veremos adelante, la resolución de azimut del sistema sería reducida. De allí, lo usual es reducir la velocidad de rotación de la antena, una vez establecidos el PRF y el ancho del haz. Sin embargo, la limitación de esto es que una velocidad muy lenta tomaría un tiempo excesivo en la región de búsqueda de blancos. Generalmente, se llega al compromiso de un número aceptables de ecos a cierta ve

locidad y con una resolución de azimuth suficiente para un sistema dado de radar.

Resolución de Azimuth:

La resolución de azimuth de un sistema de radar es la medida de su capacidad de distinguir entre dos blancos a la misma distancia, con azimuths ligeramente diferentes. El problema es básicamente el siguiente: Si dos blancos a la misma distancia con azimuths ligeramente diferentes están situados de tal forma que el haz del radar ilumina a ambos simultáneamente, ellos, aparecerán como un solo blanco en el indicador; pero si fueran iluminados individualmente aparecerían separados. Si los límites angulares del haz irradiado fueran definidos como los puntos en que la potencia irradiada cae a la mitad, el problema puede ser reducido a la for

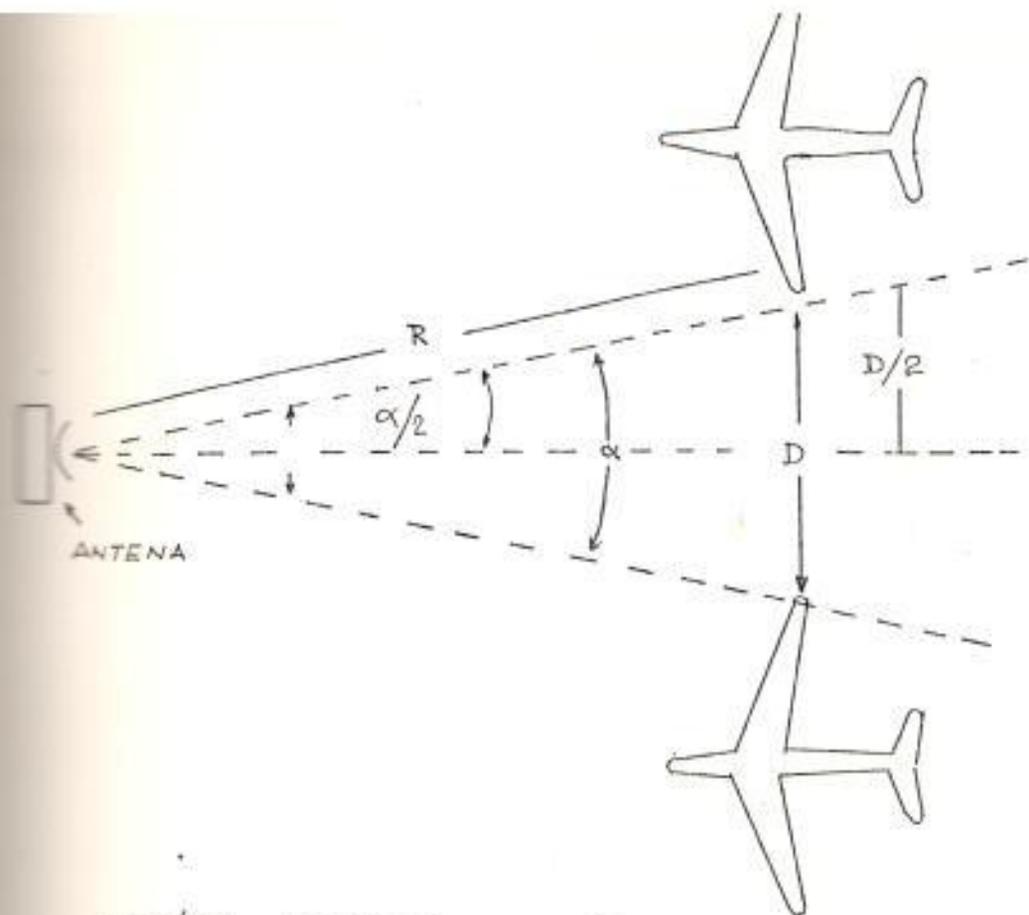


FIG # 1-9 RESOLUCION DE AZIMUT

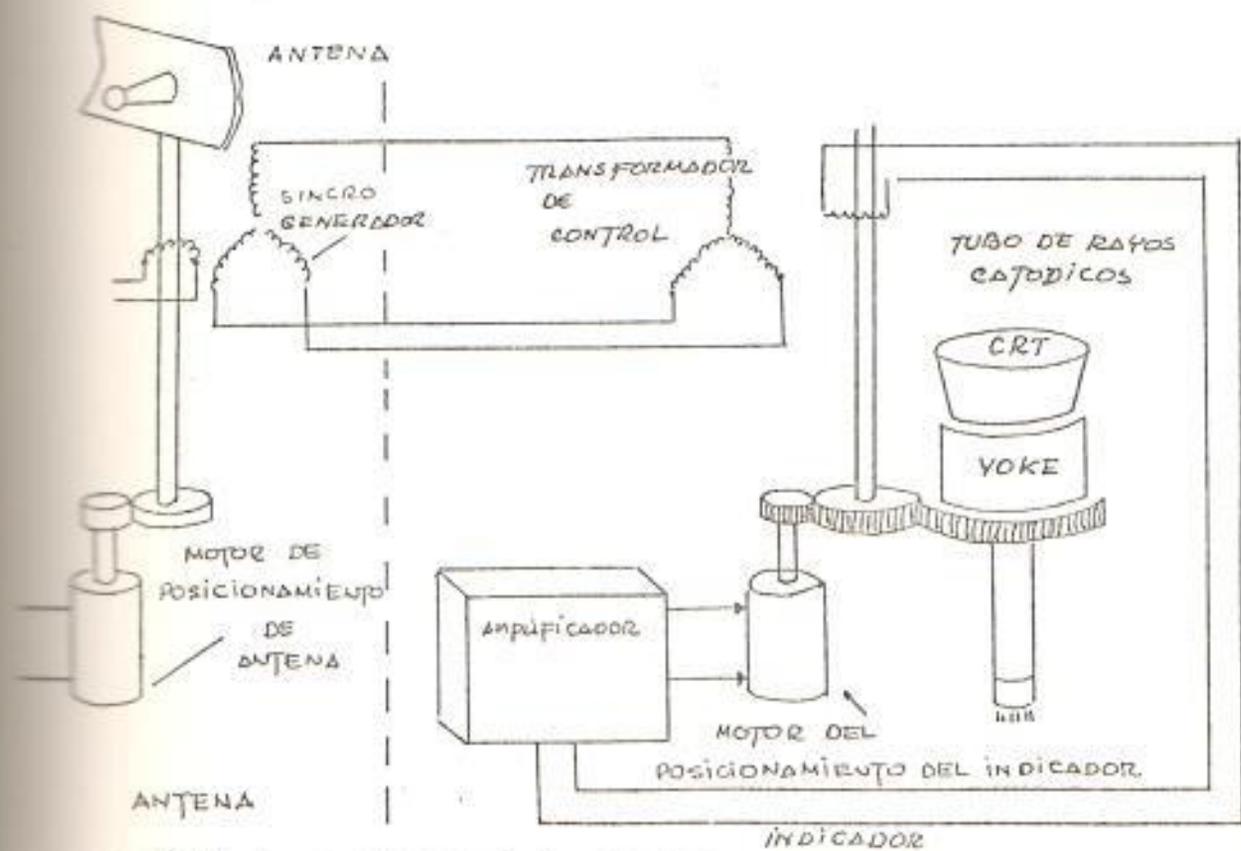


FIG # 1.10 CANAL DE TRANSMISION DE DATOS

menor que la calculada. Además de esto, el ajuste de control de ganancia del receptor, el tipo de indicador usado, y en pequeñas distancias, el tamaño del blanco afectarían las características de resolución de azimut del sistema de radar. El resultado final es que cada uno de esos factores puede sobreponerse a los demás y la expresión bastante simplificada de D, da, en la realidad una aproximación razonable de la capacidad de resolución de azimut de un sistema de radar.

Canal de datos de azimut:

Para obtenerse la información de azimut, la posición angular de la antena durante el barrido deberá ser provista al indicador, el cual generalmente se encuentra distante de la antena, de modo que una conexión puramente mecánica es impracticable. De allí que deberá haber

un canal de datos de azimut entre la antena y el indicador, uno de los métodos se ilustra en la figura 1 - 10.

Un motor mueve a la antena a la velocidad deseada, conectado al eje de la antena está el rotor del sincrogenerador. El desplazamiento del rotor a medida que la antena se mueve produce una tensión en el estator que alimenta a su vez al estator de un transformador de control en el indicador. Una tensión de error es así inducida en el rotor del transformador de control (en el caso que el rotor del transformador de control sea girado el mismo ángulo que el rotor del sincrogenerador, la tensión de error es cero) y va alimentar a un servoamplificador, amplificando entonces la tensión de error lo suficiente para operar el motor que posiciona el indicador. Existen muchas variaciones del esquema pre

sentado arriba, el cual, es posiblemente el tipo más simple utilizado en los primeros radares.

Aspecto del pulso en el espacio:

Los pulsos de energía RF irradiados por la antena pueden ser visualizados como ocupando un espacio a lo largo del camino de propagación como indica la fig. 1 - 11.

Los pulsos de energía RF son aproximadamente limitados por las líneas punteadas de la figura y que tienen las longitudes determinadas por el ancho del pulso del sistema t_p . Esta longitud afectará diversos factores característicos del radar como veremos.

Consideraciones sobre el blanco

Un resultado de la longitud de pulso en el espacio es que el blanco, cuando se ve en el indicador, aparecerá a una distancia ma

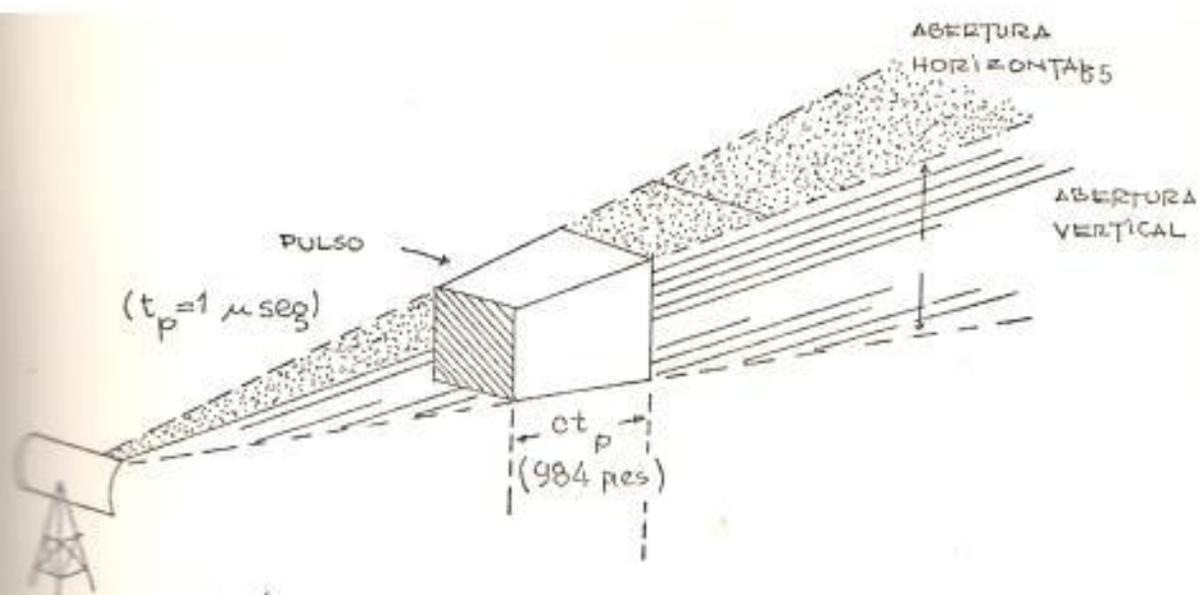


FIG # 1-11 ASPECTO DEL PULSO EN EL ESPACIO

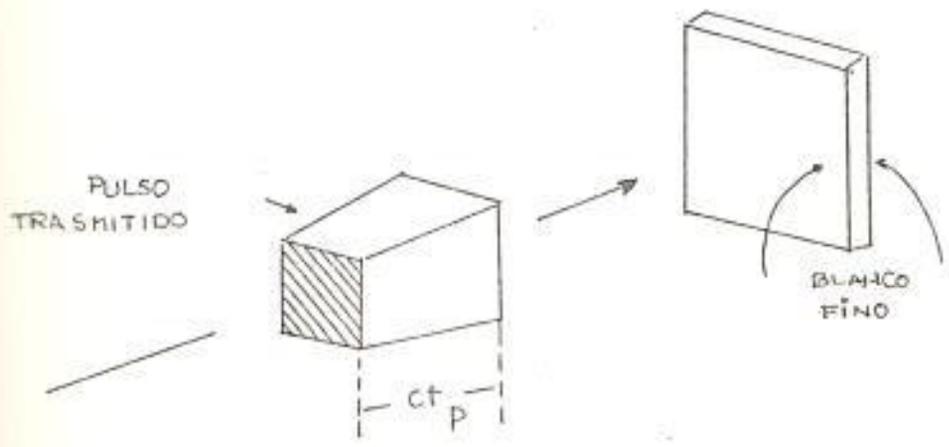


FIG # 1-12 CONSIDERACIONES SOBRE EL BLANCO.

yor de la que en realidad es. Por ejemplo, supongamos que el blanco es simplemente una hoja metálica colocada en frente de la antena como indica la fig. 1 - 12.

Para un radar con $t_p = 1$ useg. la longitud del pulso es el espacio será de 984 pies, lo cual será presentado en el indicador, más el indicador está calibrado en una base de tiempo que transcurre entre ida y vuelta, de allí que un microsegundo será presentado como 492 pies de distancia, o sea, un pulso de microsegundo alcanzando una chapa de metal será presentado en el indicador como teniendo por lo menos 492 pies. Entonces para cualquier radar, el eco recibido de un blanco será presentado en la pantalla como teniendo por lo menos la mitad de la longitud del pulso de transmisión en términos de distancia. Esto puede ser escrito de forma general como;

Magnitud Mínima de un

$$\text{eco en la pantalla} = ct_p/2 \quad (1 - 7)$$

Un blanco complejo, tal como un avión gene

ralmente aparecerá mayor en magnitud que su valor real, esto es, la señal de eco en la pantalla será $ct_p/2$ más un pequeño valor debido a la dimensión de la aeronave. El tamaño del avión es pequeño comparado con t_p .

Resolución de Distancia:

La resolución de distancia de un radar es la medida de cuanto un radar puede distinguir entre dos blancos, con el mismo azimut, pero a distancias ligeramente diferentes. Debido a la longitud del pulso en el espacio, las señales de eco de dos blancos con el mismo azimut y próximos en distancia se fundirán en un eco continuo. La menor separación en distancia que evita esta fusión y que permite la detección individual de los blancos es llamada la resolución de distancia del radar. La determinación de esta separación mínima puede ser intentada de varias formas, una es utilizando las informaciones obteni -

nidas anteriormente en las consideraciones de los blancos. Suponiendo que sea mínima, la distancia entre los blancos debe ser $ct_p/2$ o mayor para que aparezcan separados en la pantalla del indicador.

Así, dos blancos con el mismo azimut pero con distancias ligeramente diferentes podrán ser detectados separadamente solo si estuvieren a una distancia de, por lo menos, la mitad de la longitud del pulso:

$$\text{Resolución de distancia} = ct_p/2$$

(1 - 8)

Una interpretación física de este concepto se encuentra en la figura 1 - 13.

Consideraciones sobre el receptor

Nuestras consideraciones sobre el ciclo de

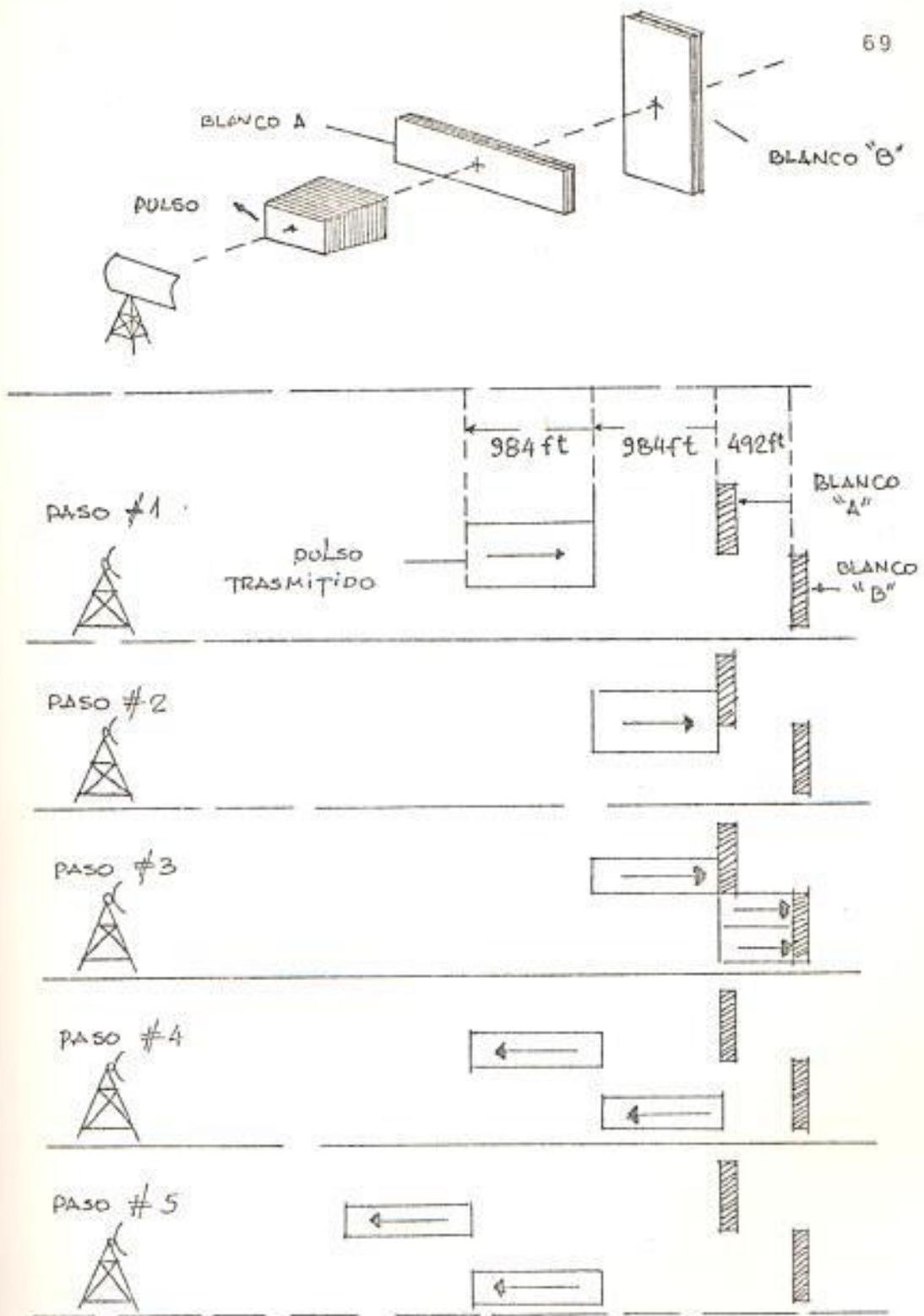


FIG # 1.13 RESOLUCION DE DISTANCIA

operación llegó al punto en que la señal de eco va alimentar la entrada del receptor del radar. La función básica del receptor es detectar la señal de eco, entendiéndose como detección la capacidad del receptor de distinguir entre la señal de eco que retorna y el ruido. La eficiencia de un receptor en particular para efectuar esta operación está dada por la sensibilidad del receptor.

Otro requisito del receptor es la amplificación. Una señal extremadamente débil de eco que alcanza el receptor debe ser amplificada hasta un nivel que permita actuar al indicador. Además esta función de amplificación y detección no debe introducir distorsión en el eco para obtener medidas precisas de distancia. Recordemos que la distancia es medida a partir de la subida del pulso de eco y que al transmitirse pulsos rectangulares, se deberá recibir pulsos rectangulares y si estos fueran distorsionados por el receptor se introducirá un error en la medida de distancia. Esto está indicado en la fig. 1 - 14.

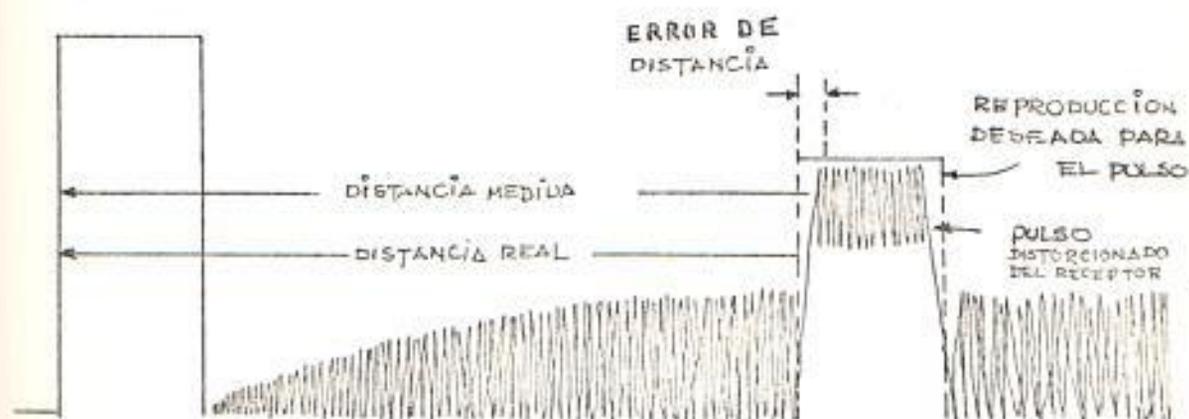


FIG # 1.14 ERROR DE DISTANCIA

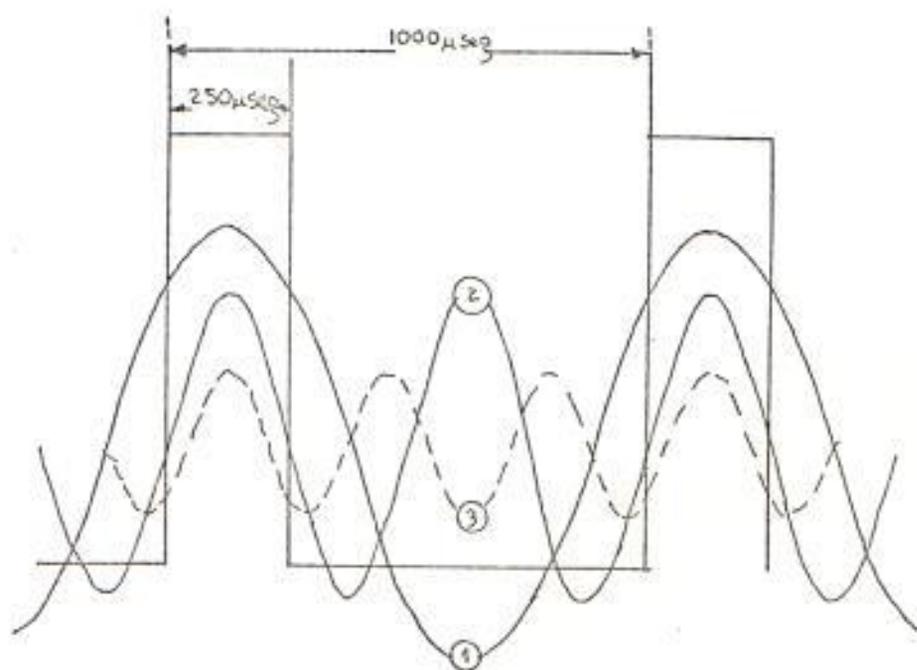


FIG # 1.15 CONTENIDO ARMONICO DEL PULSO

Uno de los mayores problemas en los receptores de radar esta en el conflicto entre estos dos requisitos básicos. Veremos que una buena reproducción del pulso requiere un receptor de banda ancha con el consiguiente menoscabo de sensibilidad.

Composición de los Pulsos:

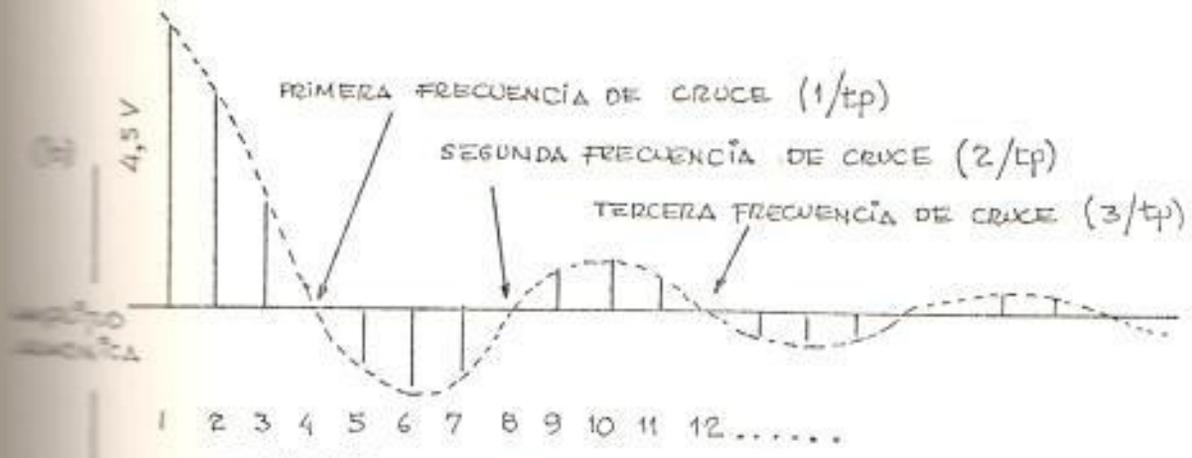
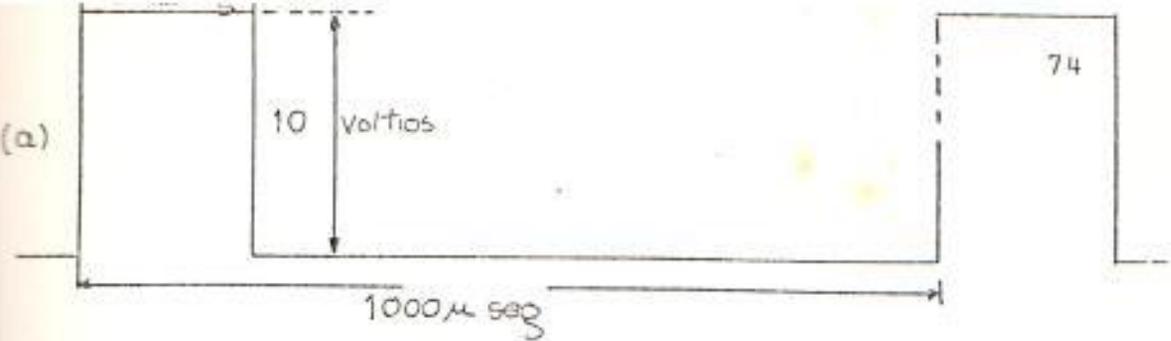
Cualquier onda periódica no senoidal esta compuesto por un número de senoides de frecuencias armónicamente relacionadas y de diferentes amplitudes. Ver fig. 1 - 15. La senoide de menor orden contenida en el pulso es de la misma frecuencia que el PRF. Solamente las tres primeras armónicas contenidas en este pulso están representadas en la figura. Todo esto se logra indudablemente por medio del Análisis de Fourier.

Reproducción de pulsos:

Es evidente que en caso que se desee amplificar un pulso, el ampli-

ficador, deberá estar en capacidad de dejar pasar todas las componentes senoidales de la señal, de modo que el pulso venga a ser reproducido fielmente a la salida del amplificador. El problema es justamente ese, de cuantas de esas - armónicas deben ser amplificadas para alcanzar un grado aceptable - de fidelidad. supongamos que se desea amplificar el pulso perfectamente rectangular de la fig. 1 -16. Por el análisis de Fourier se puede mostrar que este pulso está compuesto por infinitas armónicas, - de allí que para amplificarlo fielmente el amplificador debería pasar todas las armónicas con la misma ganancia, o en otras palabras debería tener una banda pasante infinita, lo cual técnicamente es imposible. Por esa razón, para obtener una fidelidad razonable se puede dejar pasar un número finito de armónicas, pues muchas de las armónicas tienen pequeña amplitud

(a)



FIG# 1-16 FRECUENCIAS ARMONICAS (k.h.z)

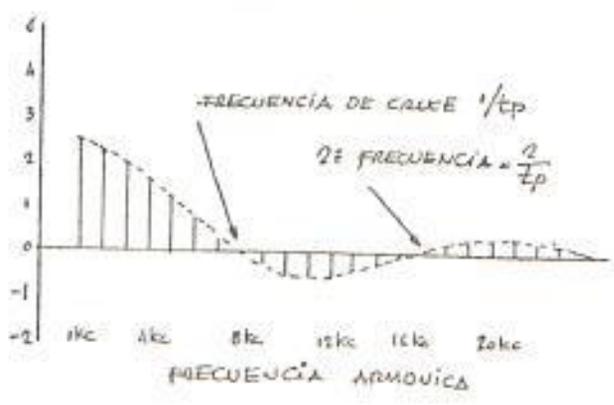
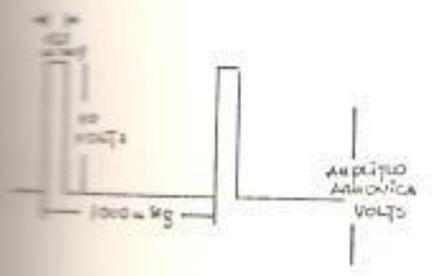
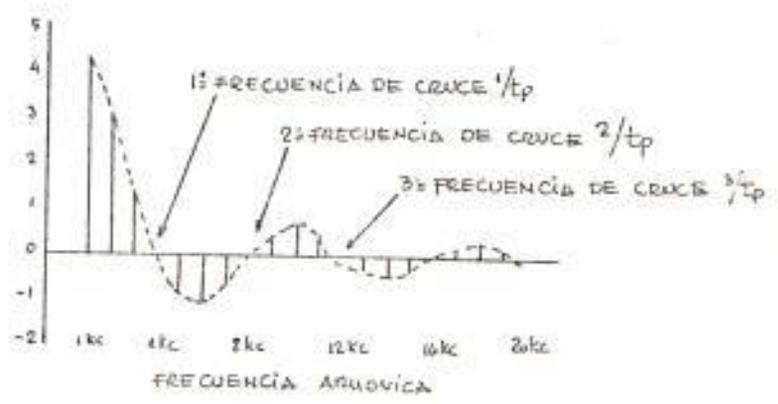
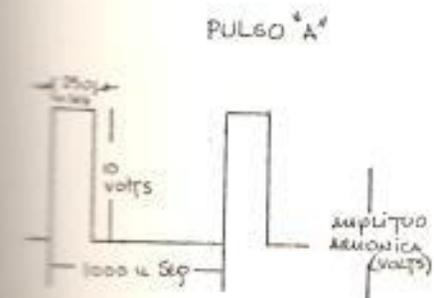


FIG. # 1.17 COMPARACION DE LOS ESPECTROS DE LOS PULSOS

y no contribuyen de manera importante en la composición del pulso. En la fig. 1 - 16b se presenta un gráfico de las amplitudes de las varias armónicas contenidas en el pulso VS las frecuencias armónicas.

Esta figura es el espectro del pulso. La envolvente del espectro está dada por $\text{sen } x/x$, más la analogía con una senoide amortiguada es la manera más fácil de memorizar. La frecuencia del primer cero del espectro (frecuencia de cruce) puede ser fácilmente determinada para cualquier pulso conociendo el inverso de t_p .

Veamos ahora el caso de dos pulsos diferentes, uno ancho y otro estrecho. El espectro de los dos pulsos se indica en la fig. 1 - 17 representados en la misma escala. Supongamos que no se requiere gran precisión en este caso y que para

el pulso A de la figura se definió que un amplificador pasando hasta la segunda frecuencia de cruce del espectro sería satisfactoria, el amplificador usado tendría entonces $2/t_p$ o 8 Khz de banda pasante, supongamos que se desea ampliar el pulso B con la misma fidelidad, o sea, permitimos que esos dos pulsos, inicialmente rectangulares, sufran la misma porción de deterioración cuando pasen por sus respectivos amplificadores. Para obtenerse la misma reproducción dejaríamos pasar hasta $2/t_p$ del pulso B que es 16 Khz. Surge aquí, otro concepto, al notar que para obtener la misma fidelidad de reproducción, el pulso más estrecho requiere más banda pasante, o sea, que es más difícil reproducir un pulso estrecho que uno ancho obteniéndose resultados comparables, debido al mayor ancho de banda requerido para el pulso estrecho. Así podríamos decir que para cierto grado de reproducción, el ancho de

banda del amplificador varía inversamente con el ancho del pulso. Este punto tiene bastante importancia en el diseño de receptores de radar, pues la calidad del pulso - reproducido y la sensibilidad del receptor son afectados por la banda pasante del mismo.

Sensibilidad del Receptor:

La sensibilidad de un receptor de radar es una medida de su capacidad de separar la señal de eco del ruido indeseable. De allí, una forma de considerar el problema es investigar inicialmente estas fuentes indeseables de ruido y deducir una expresión para sus efectos combinados.

Sabiendo el nivel de ruido que habrá en la entrada podremos tener una idea de la señal necesaria para conseguir una detección. El ruido indeseable que se puede asociar en

un receptor de radar es de dos tipos:

- 1) ruido que aparece en la entrada del receptor.
- 2) ruido producido dentro del receptor.

En las frecuencias de radar, la mayor parte de ruido en la entrada es la creada por la agitación térmica, o movimiento aleatorio de los electrones en el espacio. La antena recibe este ruido, el cual se desarrolla sobre la resistencia de radiación de la antena. Este ruido se distribuye uniformemente por toda la banda de RF; la parte que va a afectar al receptor es la correspondiente al ancho de la banda del receptor, Δf .

La potencia de ruido disponible, P_a , introducida en la entrada del receptor es:

$$P_a = K \cdot T_K \Delta f \quad (1 - 9)$$

K = Constante de Boltzmann

T_k = temperatura del espacio

Δf = Ancho de Banda del Receptor.

Es fácil percibir, entonces, que esta potencia de ruido en la entrada, P_a , determina la sensibilidad máxima del receptor; si es que no hubiesen otras fuentes de ruido la señal en la entrada tendría que tener una potencia por lo menos igual para poder ser distinguida. Sin embargo esta sensibilidad máxima no puede ser alcanzada en virtud de que el receptor mismo introduce cierta cantidad de ruido que también debe ser considerado.

El ruido que el receptor produce es debido a múltiples factores y empeora la relación señal - ruido en la salida del receptor.

El valor exacto de la degradación de una relación señal - ruido cuando esta señal y este ruido pasan

por un receptor está dada por la figura de ruido, F , del receptor. Una expresión de F , es:

$$F = \frac{\text{Pot. Señal/Pot. ruido} \mid \text{entrada}}{\text{Pot. Señal/Pot. ruido} \mid \text{salida}}$$

(1 - 10)

La menor señal de entrada del receptor tiene que sobreponerse al ruido en la entrada más el ruido generado en el mismo. Para determinar la sensibilidad del receptor precisamos conocer las características del indicador, o sea, cual es la menor señal utilizable en la salida del receptor que sea suficiente para accionar el indicador.

La respuesta va a depender del operador, del tipo de indicador, del número de veces que un blanco es alcanzado en un barrido y de otros factores que cambian de un sistema a otro. A fin de facilitar la medida de la sensibilidad del receptor es común definirse, arbitraria

mente, un valor mínimo de señal discernible (m_{ds}). Una manera muy común, de definir el MDS de un radar es como se indica en la fig. 1 - 18. Observese que la señal de salida es igual al ruido de salida. La señal puede ser fácilmente distinguida del ruido pues este último es aleatorio y la señal es relativamente estable produciéndose la sobreposición del ruido en la señal. Entonces, definiremos a la señal cuya potencia de salida es igual a la del ruido en la salida como la mínima señal discernible.

Así la sensibilidad de potencia del receptor está dada por la menor potencia de señal de entrada necesaria para producir una relación señal - ruido de 1 en la salida del receptor. Entonces la expresión de F queda:

$$F = \frac{|Potencia\ señal|}{|Potencia\ ruido|} \text{ entrada}$$

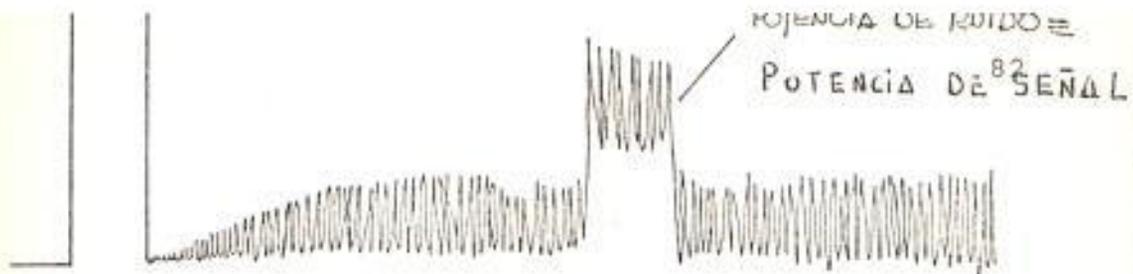


FIG #18 MINIMA SEÑAL DISCERNIBLE

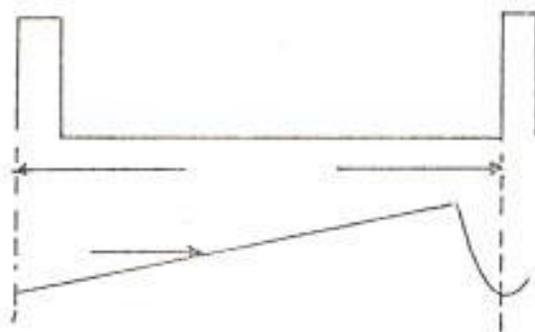


FIG #1-19 CARRIDO DEL INDICADOR

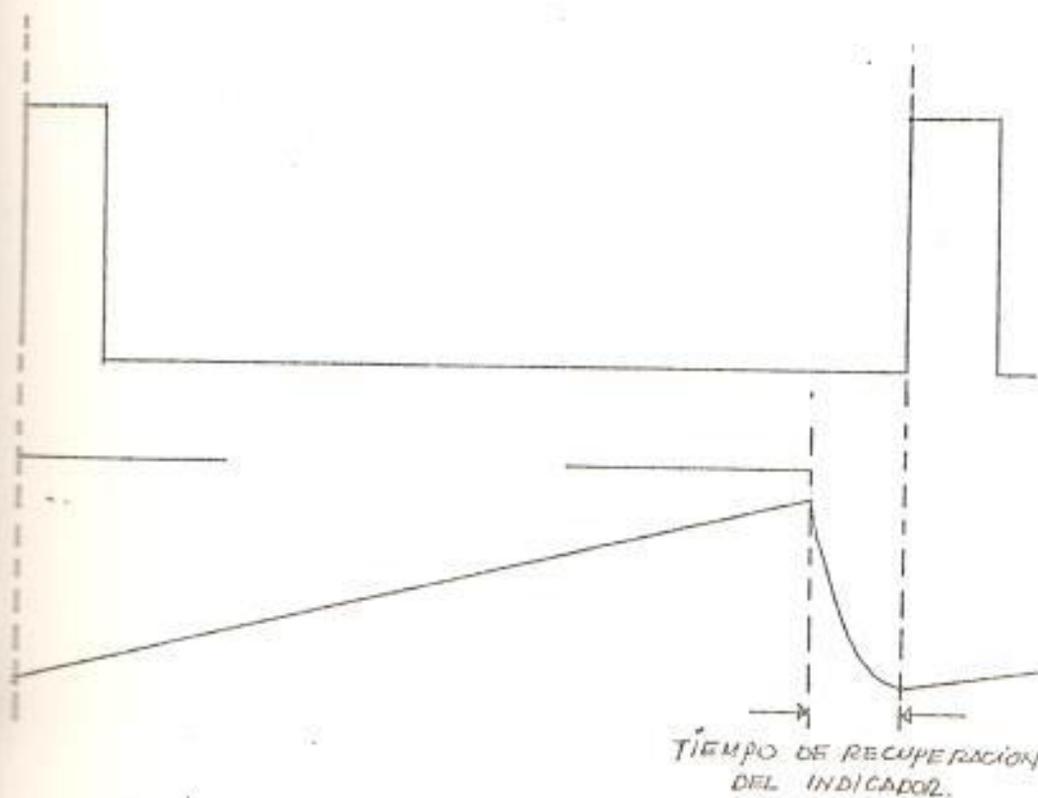


FIG # 1.20 TIEMPO DE RECUPERACION DEL INDICADOR

Por tanto, la potencia de señal de entrada deberá ser igual a la de la menor señal discernible; lo designaremos como P_r (min).

$$f = \frac{P_r \text{ (min)}}{\text{Pot. ruido entrada}} \quad (1 - 12)$$

Por Tanto:

$$P_r \text{ (min)} = F.K. T_k \Delta f \quad (1 - 13)$$

Notese que para un ancho de pulso-dado, la sensibilidad del receptor varía con el ancho de banda.

La sensibilidad del receptor puede ser mejorada reduciendo el ancho de banda del receptor pero esto implica introducir distorsión en la reproducción fiel del pulso, de allí, que debemos establecer un compromiso entre estos dos factores basado en la función específica del radar. Un radar de precisión puede sacrificar la sensibilidad del receptor en favor de la buena reproducción del pulso nece-

saría para una medida de distancia más precisa.

Recordemos que la característica de sensibilidad máxima del receptor y la banda pasante son factores relacionados entre sí. Caso se desee la mayor sensibilidad, sin mayor menoscabo de la reproducción del pulso se puede usar un receptor de radar con ancho de banda de $1,2/t_p$, o sea, para un ancho de pulso transmitido t_p , el receptor tiene su máxima sensibilidad posible para un ancho de banda de $1,2/t_p$. Esta condición es debida a la forma por la cual la energía se distribuye en el espectro sen X/X en comparación con la característica lineal del ruido. Si el ancho de banda del receptor es de 0 hasta $1,2/t_p$ nótese que en la salida, la señal crece más rápidamente que el ruido; cuando el ancho de banda aumenta por encima de $1,2/t_p$ hay el efecto contrario, por

tanto existe un ancho de banda óptimo para obtener la mínima señal discernible. Por tanto:

$$Pr(\min) = F.K.t_k \cdot \Delta f_{\text{optimo}} \quad (1 - 14)$$

$$\Delta f_{\text{optimo}} = 1,2/t_p \quad (1 - 15)$$

Consideraciones sobre el indicador

La señal de eco detectado y ampliado sale del receptor y va para el indicador, donde se hacen las medidas de tiempo transcurrido y la presentación usual del eco. En un indicador PPI, un haz de electrones es deflexionado sobre la pantalla de un tubo de rayos catódicos en un intervalo de tiempo correspondiente a cierta distancia. La deflexión de este haz será obtenida usándose un barrido lineal. El eco modulará la intensidad de este barrido y la medida de distancia será obtenida determinándose la posición del eco en el barrido. La información de azimut puede ser obtenida de la posición angular del barrido en el instante en que el eco es recibido. Una representación sim

plificada del barrido necesario para la de flexión está en la fig. 1 - 19.

Una consideración vital en el sistema de radar es "el tiempo de escucha" permitido entre pulsos. Así, el intervalo entre pulsos limita el alcance del radar y es un factor determinante del PRF máximo.

En la práctica, el barrido máximo del indicador no debe ser exactamente igual al intervalo entre pulsos, sino un poco menor, pues es preciso reservar una fracción de tiempo para que el barrido retorne a su posición de reposo para el siguiente ciclo de operación. Este tiempo, llamado "tiempo de recuperación del indicador", está presentado en la fig. 1 - 20. El mayor barrido posible será por tanto igual al intervalo entre pulsos menos el tiempo de recuperación del indicador, el cual generalmente es muy pequeño en comparación de T .

Algunos radares pueden tener varios tiempos de barrido seleccionables por el operador. Por ejemplo, si un radar tiene un alcance de

100 Mn y un blanco se encuentra a 30 MN puede ser conveniente seleccionar un barrido para esta distancia, lo que mejoraría la definición del blanco, en un proceso semejante a una ampliación fotográfica. Este barrido está indicado en la fig. 1-21. El intervalo de tiempo entre el fin de un barrido y el comienzo del próximo es llamado "tiempo muerto del indicador", siendo el tiempo de recuperación del indicador parte de este tiempo. Cuando se usa el barrido completo, el tiempo de recuperación será también el tiempo muerto.

Blancos a más de un ciclo de Operación:

Normalmente los ecos retornan en un intervalo de tiempo menor o igual a T . Ocasionalmente un eco volverá después de un intervalo mayor y pasará a constituirse en lo que se ha dado en llamar "eco de segundo ciclo" y que se muestra en la fig. 1-22. Lo que ocurrirá es que este eco se presentará en

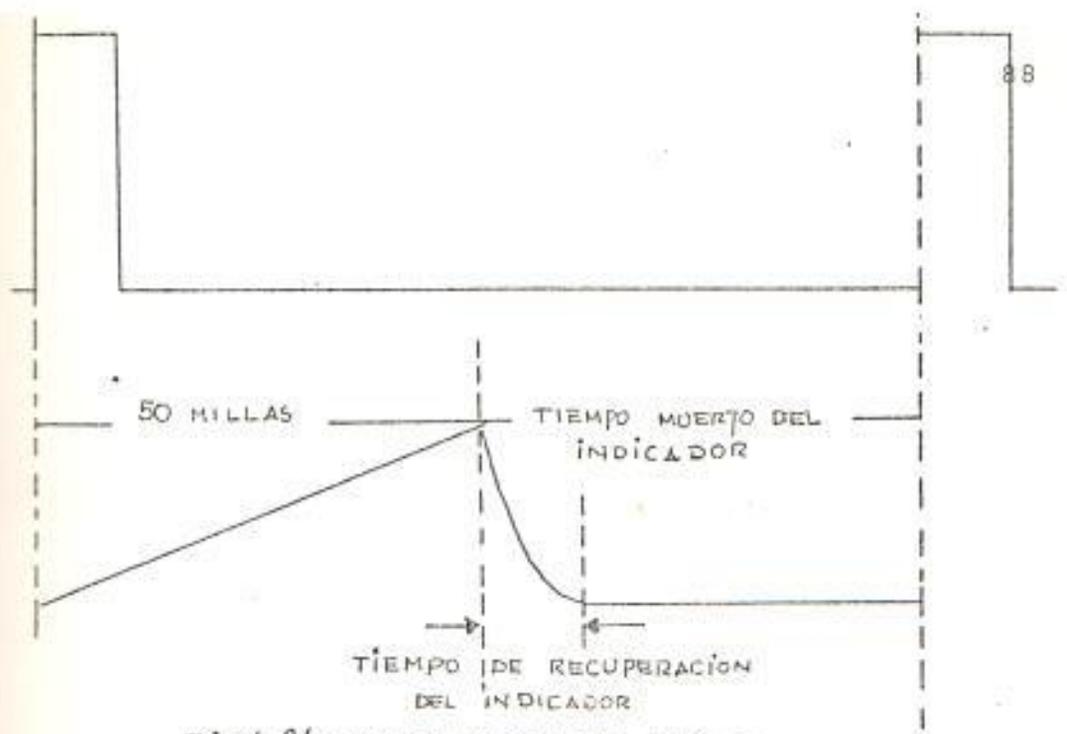


FIG 1-21 TIEMPO MUERTO DEL INDICADOR

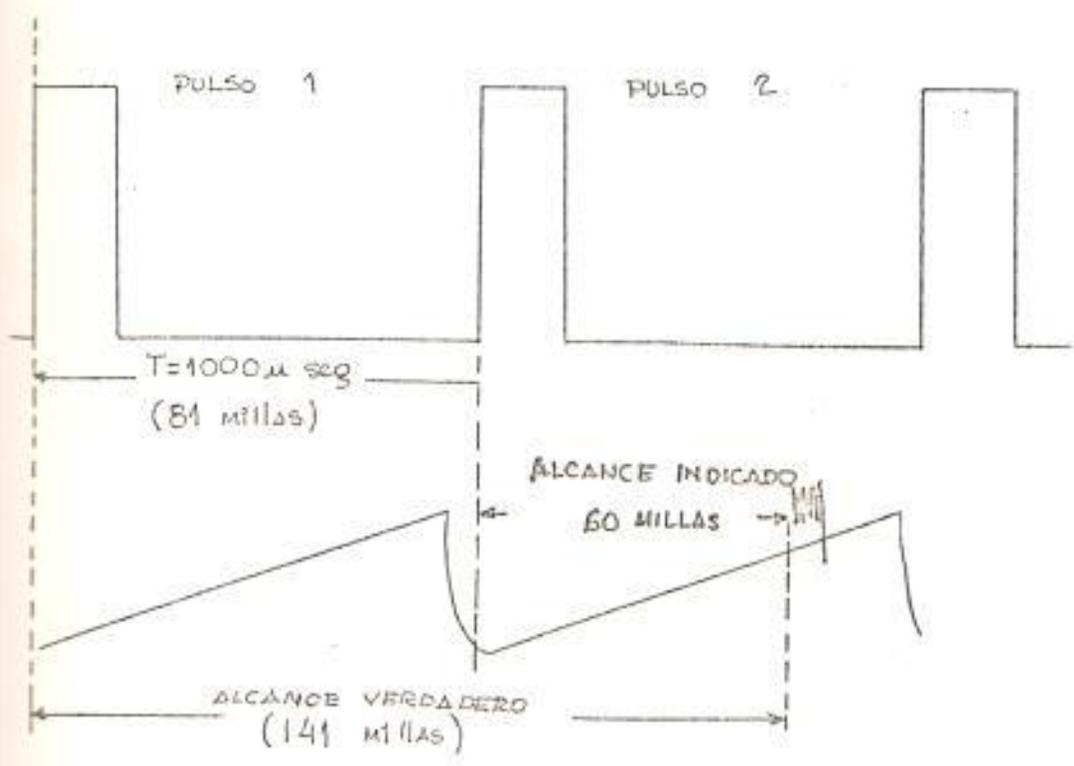


FIG # 1-22 BLANCO A DISTANCIA MENOR QUE EL TIEMPO DE RETORNO DE UN PULSO.

el indicador en el barrido correspondiente a un segundo ciclo de operación dando marcaciones de distancia del blanco incorrectas.

1.1.6. Ecuación del radar

Hemos visto y analizado los elementos básicos del radar y la determinación de distancia y azimut; existe una relación entre estos factores para determinar su influencia en el desempeño del radar.

Una forma conveniente de determinar los efectos de estos factores es considerando el alcance máximo del radar, vimos que una restricción del alcance máximo es el tiempo de recepción.

El alcance máximo de un radar definido por la potencia del eco depende de una serie de consideraciones y puede ser mejorado de varias maneras, algunas de las cuales obvias, como mejorar la potencia del transmisor o la sensibilidad del receptor o una antena de mayor ganancia, etc. Por otro lado, la influencia de otros factores tales como el

PRF, el ancho del pulso, t_p , no son tan evidentes.

La ecuación del alcance máximo conocida como ecuación del radar es la siguiente:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t \cdot G_t \cdot \lambda_o \cdot A_e}{16 \pi^2 \cdot P_r \min}} \quad (1 - 16)$$

R_{\max}	= Alcance máximo
P_t	= Potencia transmitida
G_t	= Ganancia de la antena
A_o	= Area del blanco
A_e	= Area del reflector parabólico
$P_{r\min}$	= Potencia mínima en el receptor.

1.2. EL SISTEMA DE RADAR: SUB-SISTEMA PRIMARIO Y SUB-SISTEMA SECUNDARIO.

El sistema de Radar del Aeropuerto "Simón Bolívar" de Guayaquil se encuentra instalado en el edificio terminal ocupando básicamente dos áreas conocidas como: la cabeza del radar y el cuarto de pantallas. Ver fig. 1 - 23.

Este sistema a su vez se subdivide en dos subsistemas: El sub-sistema de radar primario y el sub-sistema de radar secundario.

El sub-sistema de radar primario está compuesto de la antena, el transmisor/receptor y cuatro pantallas.

El sub-sistema de radar secundario (SSR - 200) se encuentra constituido de la antena del secundario, el interrogador/receptor, el extractor de gráfico, el procesador de gráfico y las cuatro pantallas - del primario que son compartidas por los dos subsistemas.

El sistema de Radar ha sido desarrollado por Plessey Radar C.Ltda. de Inglaterra, es un Radar del tipo

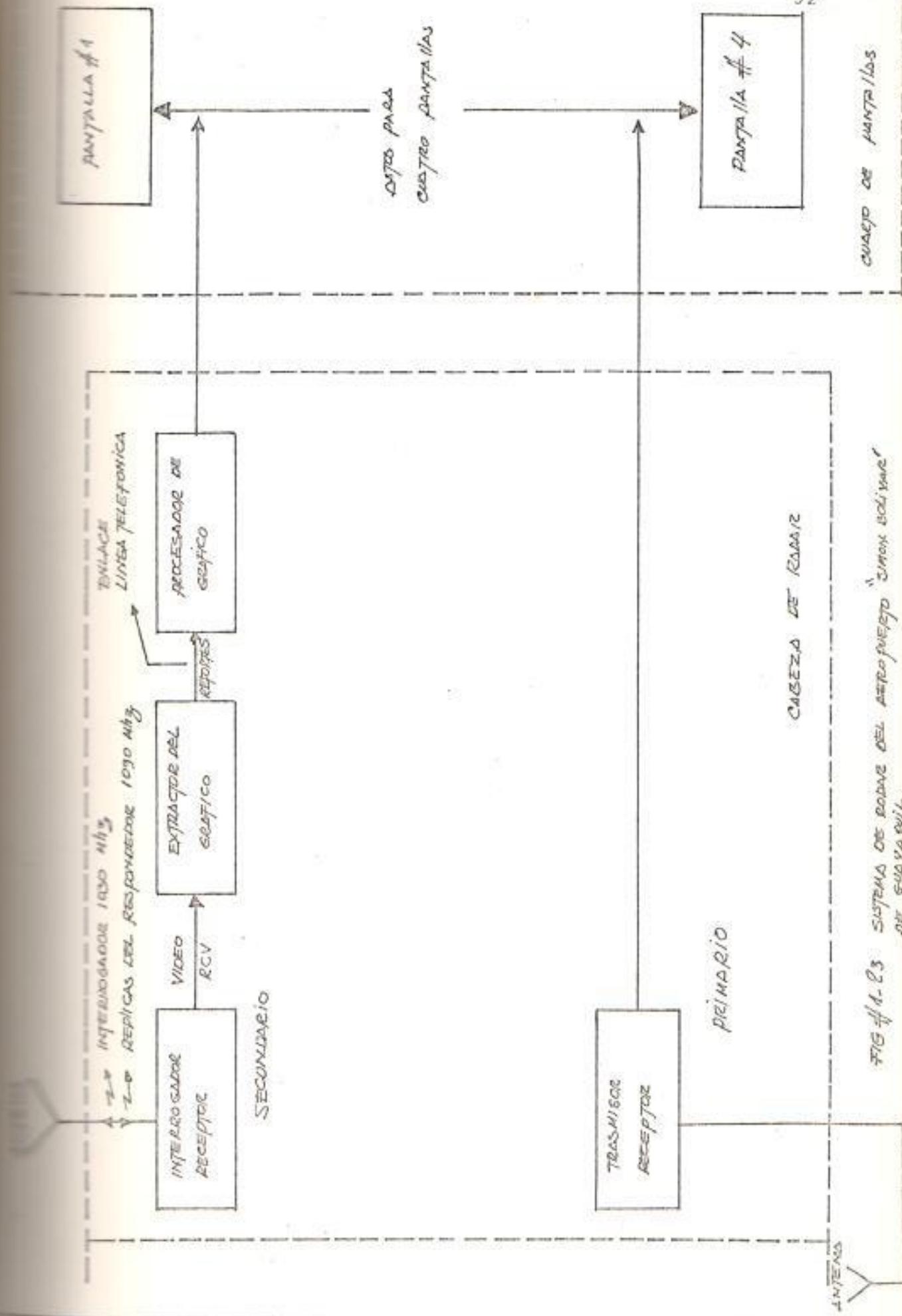


FIG #1-23 SISTEMA DE RAMA DE VIDEO DEL AEROPUERTO "SIMON BOLIVAR" DE SUYAYA PUL.

ASR para vigilancia del tráfico aéreo en la zona de aproximación del Aeropuerto "Simón Bolívar" de Guayaquil, que trabaja en la banda de frecuencias S(10 cm) y cuya denominación es Sistema de Radar AR15-2 (Airport Radar 15-2).

1.2.1. Sub-Sistema de Radar Primario

El sub-sistema primario es un radar de medio alcance, que trabaja con equipo para indicación de blancos móviles (MTI). El sub-sistema se encuentra instalados en dos sitios; en la cabeza del radar y en el cuarto de pantallas. La cabeza del radar incluye a la antena y el cuarto del transmisor. La información de Video, disparo y azimut es transmitida desde el cuarto del transmisor hasta el cuarto de pantallas - vía línea telefónica. Ver fig. 1 - 24.

El sub-sistema primario incorpora las siguientes características particulares de funcionamiento:

Antena de Doble Haz

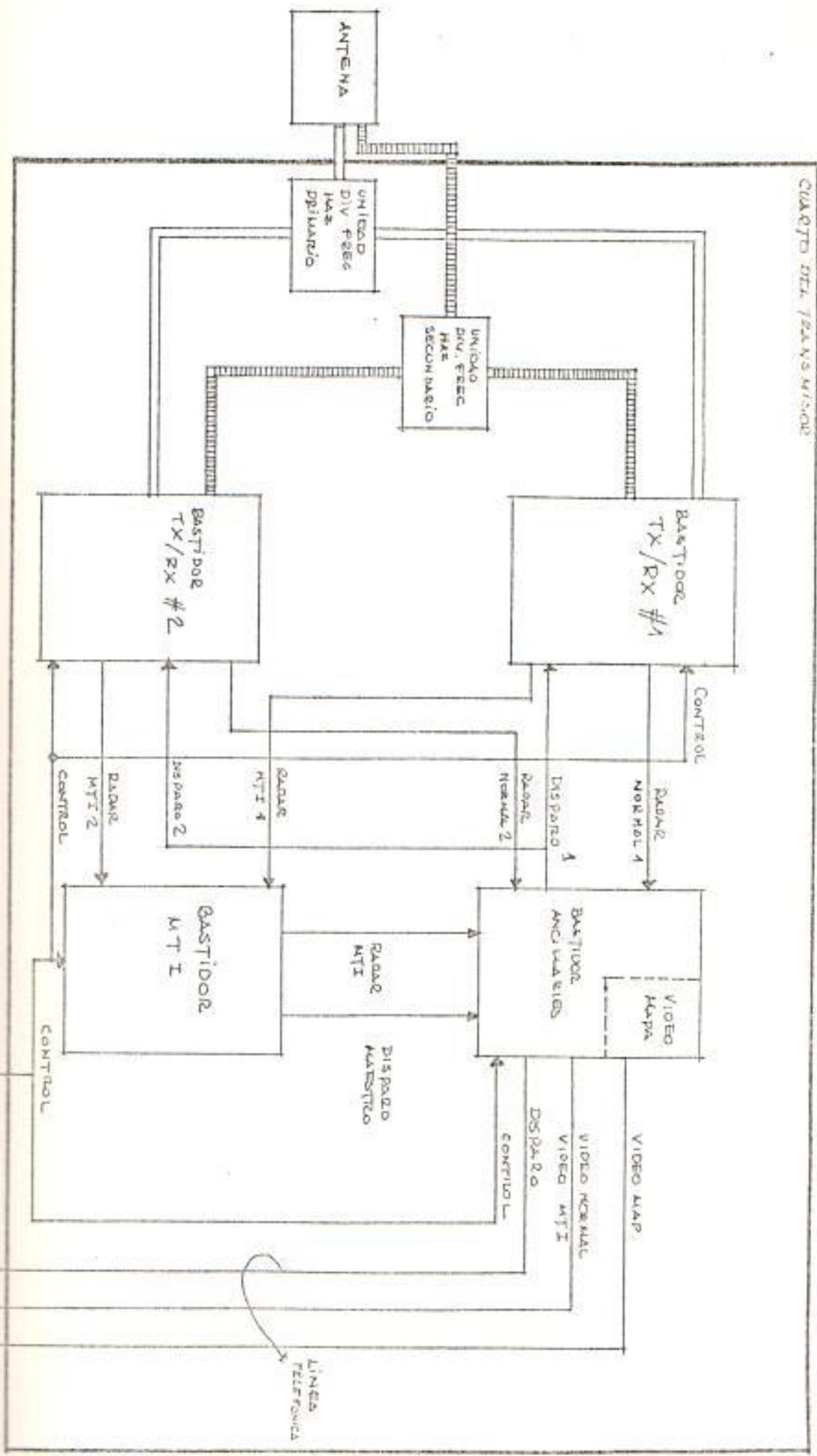
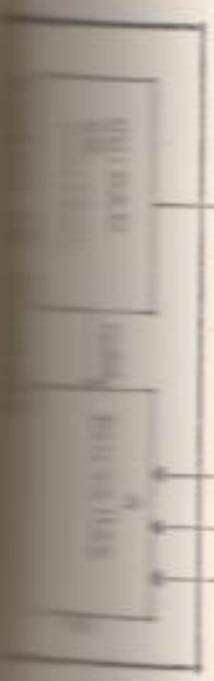


Diagram showing the internal connections of the transmitter room.



La antena de doble haz proporciona vigilancía del espacio aéreo sin presentar los ecos parásitos provenientes del terreno. Esto se consigue, empleando dos diagramas de radiación diferentes. Uno está enfocado hacia ariba para evitar completamente los ecos del terreno y el otro diagrama de radiación, es tá dispuesto para dar cobertura a bajos ángulos. Los ecos provenientes del terreno - del diagrama de radiación de ángulo bajo son suprimidos en el receptor.

Polarización Variable

La discriminación de los parásitos producidos por el clima pueden ser obtenidos variando la polarización de la onda transmitida. La polarización del haz principal se hace variar de lineal, a 45° con respecto a la horizontal, hasta circular pasando por polarización elíptica a fin de que el operador - pueda seleccionar la polarización más aconsejable a las condiciones climáticas prevalecientes. Debido a que la polarización es continuamente variable, es posible dejar los ecos de la lluvia perceptible en las panta

llas, a un nivel controlado por el operador, y una indicación de los paraderos de los centros de tormenta y áreas de clima malo.

La polarización de haz auxiliar es circular y fija. Puesto que la polarización del haz principal, para rechazo de los parásitos es también circular, la polarización del haz auxiliar es óptima para esta condición.

Diversidad de Frecuencia

Los dos canales de transmisión-recepción, operando en frecuencias diferentes son combinadas en un sistema de antena común para dar operación en diversidad de frecuencia. Esto tiene la siguiente ventaja sobre un sistema de canal sencillo:

1. Operación ininterrumpible en el evento de una falla de un canal.
2. Un incremento de cubrimiento del 15 % al 20 % con una probabilidad de 80 % en la detección.

Cualquier transmisor/receptor puede operar por sí solo para dar la actuación de un solo transmisor/receptor; mientras un transmisor está en operación, el otro puede ser chequeado sin ser desconectado del sistema. Un interruptor en la unidad de control radar permite la selección de la salida de video de cualquier receptor o las salidas combinadas de ambos receptores.

Modos de Recepción

Hay dos modos de recibir el eco producido por el blanco y estos son: El modo de Radar Normal y el modo de Radar MTI.

Modo de Radar Normal:

En el modo de radar normal la presentación de los ecos en las pantallas se realiza sin ninguna discriminación de los ecos de blancos fijos; esto es en la pantalla se verá, además de los ecos de las aeronaves, los ecos que producen las montañas, las nubes, la lluvia, etc y en general cualquier blanco que

se encuentre estacionario con relación a su distancia hasta la antena del radar. Este modo es seleccionado con tiempo claro.

Modo de Radar MTI:

En el modo de radar MTI la presentación de los ecos en las pantallas se realiza, al contrario del modo anterior, discriminando los ecos - fijos de los ecos móviles; de esta manera se evita que los ecos de blancos fijos obscurezcan a los ecos de la aeronaves que realmente son de nuestro interés. La selección de este video queda al criterio del operador, pero generalmente se lo usa cuando las condiciones del clima son malas.

Indicador de blancos Móviles

El equipo indicador de blancos móviles elimina los ecos de blancos fijos de la presentación de las pantallas. El operador de cada pantalla puede seleccionar el video de

radar normal, o, puede seleccionar el video MTI libre del ruido producido por los ecos permanentes, independientemente de la manera de operar de las otras pantallas. Esto permite al operador dirigir a la aeronave libre de obstáculos que de otra manera serían visibles.

El equipo MTI genera los pulsos de disparo maestros para los equipos transmisor, pantallas y video mapa, este último ubicado en el bastidor Ancillaries que es un equipo que hace de interface de las distintas unidades del Radar.

Mapas de Video

Los mapas de Video producen señales de video sintético, representando las características topográficas o información relacionada a las aerovías, contornos de pistas, ubicación de radioayuda, etc., los cuales pueden ser sobrepuestos a las señales de radar mostradas a un nivel controlado por el operador.

1.2.2. Subsistema de Radar Secundario

El subsistema de radar secundario está normalmente integrado al radar primario para combinar información alfanumérica en las mismas pantallas del subsistema primario.

El radar secundario básico está compuesto de una estación en tierra que interroga a las aeronaves equipadas con el respondedor. Ver figura 1 - 25.

El radar secundario ofrece muchas ventajas sobre el radar primario, el radar secundario requiere poca potencia en el transmisor de tierra puesto que la potencia de la respuesta es provista por el transmisor del respondedor; en el radar primario las montañas, lluvia, nubes, etc., del medio ambiente son mostradas en las pantallas de radar de una manera desordenada no sucediendo así con el radar secundario por obvias razones, además que la frecuencia de transmisión y recepción son diferentes: el radar secundario nos brinda la identificación y altitud de la aeronave.

Para propósitos de control del tráfico aé

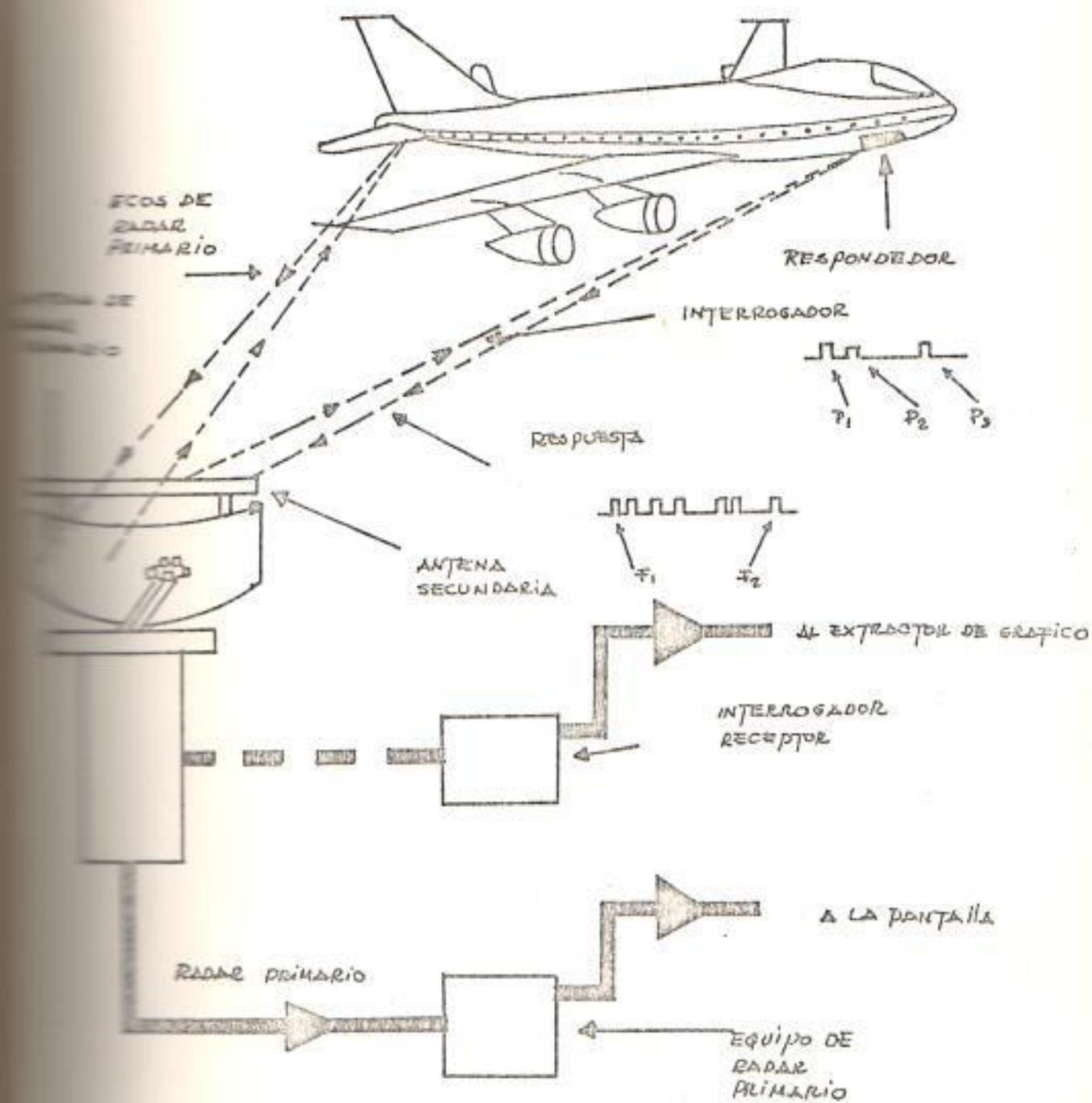


FIG # 1-25 RADAR DE SERVICIO SECUNDARIO ENLACE DE DOS VIAS.

reo ambos tipos de radar son usado en conjunto, con la antena del radar secundario montada sobre la antena del radar primario, pero girando en conjunto sincronizadamente.

Los componentes básicos del radar secundario se muestran en la figura 1 - 23, ésta ilustra que se lo puede dividir en cinco partes principales que son:

- 1. Interrogador/receptor y la antena
- 2. Respondedor de la aeronave
- 3. Extractor de gráfico
- 4. Procesador de Gráfico y,
- 5. Pantallas.

Las señales transmitidas por el radar secundario emanan de una unidad conocida como el interrogador y son radiadas por una antena común a la recepción de las respuestas de la aeronave.

Cualquier aeronave con respondedor, al recibir estas señales del interrogador, lo activa y transmite una serie de trenes de pulsos, los cuales son detectados por la unidad re

ceptora y pasados al extractor de gráfico.

La señal de interrogación es transmitida a la frecuencia de 1030 ± 0.2 Mhz. Cada señal de interrogación está compuesta de tres pulsos P_1 , P_2 y P_3 . El intervalo de tiempo entre P_1 y P_3 especifica el modo de interrogación y el tipo de información requerida de la aeronave. Ver figura No. 1 - 26 para detalles del modo y sus aplicaciones. En la figura observamos que el modo A interroga la identificación de una aeronave civil el modo C la altitud. El respondedor inicia su respuesta a una interrogación válida, 3us. después de la recepción del pulso P_3 .

Para obtener la información requerida de la aeronave es necesario interrogar al mínimo en dos modos A Y C de una manera secuencial. Cuando dos o más modos son seleccionados para transmitir de manera secuencial esto se conoce como interlazamiento de modos. En nuestro sistema el contenido del modo de la transmisión es preseleccionado en el interrogador.

La construcción de la antena secundaria es

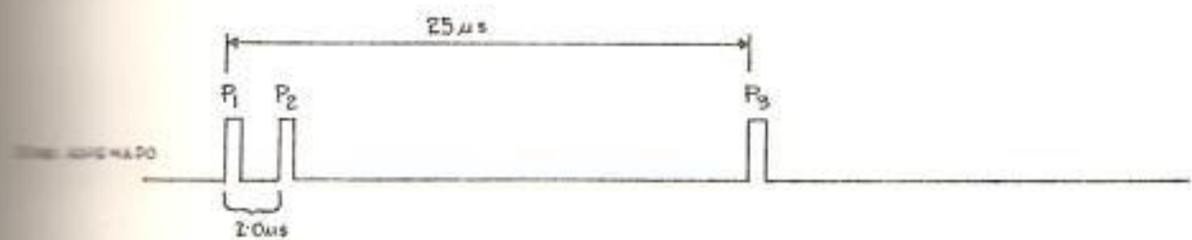
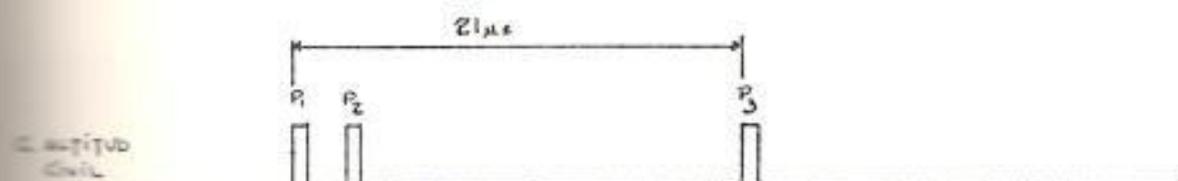
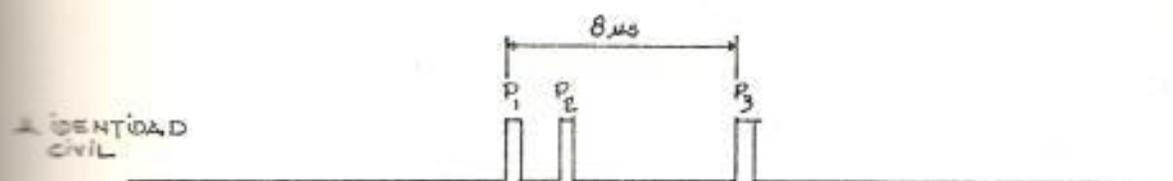


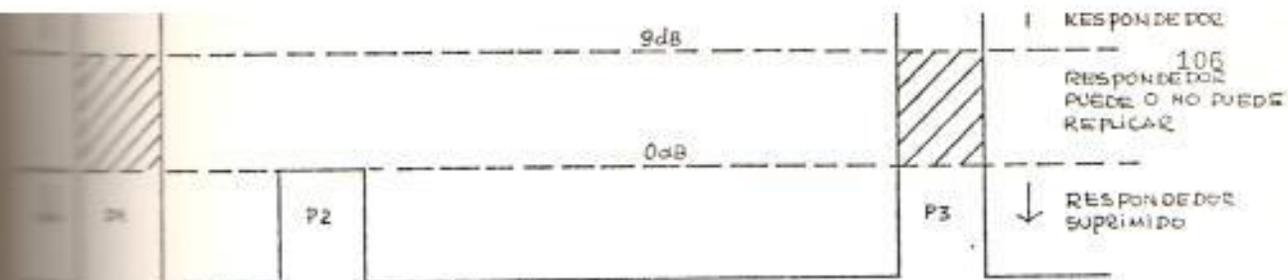
FIG #1-26 MODOS DE INTERROGACION & APLICACIONES

angosta en sentido vertical y ancha en sentido horizontal, para obtener un haz horizontal, de gran direccionalidad. Ver figura No. 1 - 27.

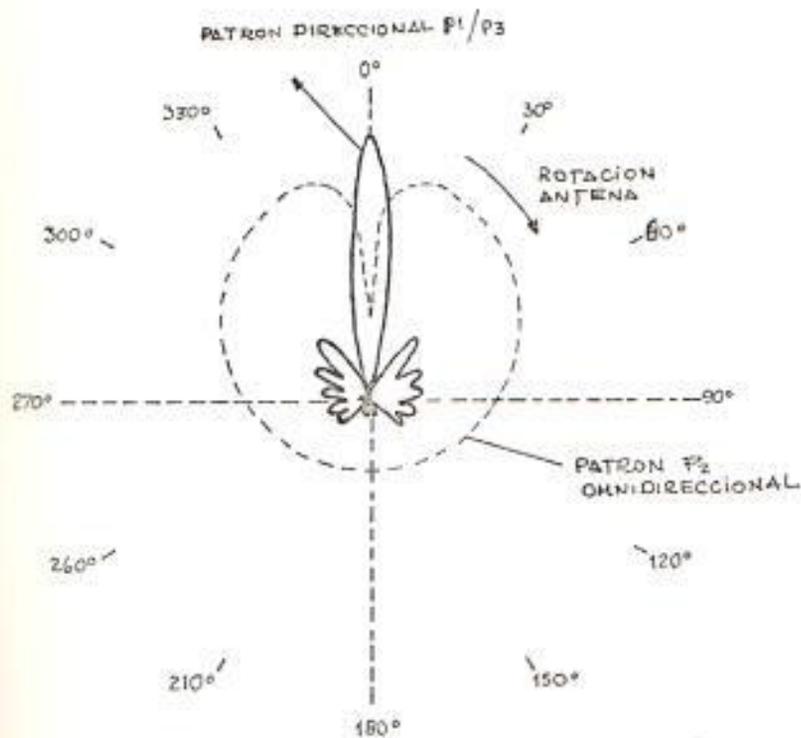
Esta figura muestra que se generan lóbulos laterales y es posible que el respondedor de la aeronave sea disparado por un lóbulo lateral en vez de lóbulo principal. Esta interferencia da respuestas extrañas en azimutos incorrectos. La interferencia se elimina usando un tercer pulso de interrogación P_2 que siempre aparece 1.95 useg. después de P_1 y que se usa este pulso de control para eliminar las interrogaciones de los lóbulos laterales.

El par de modo P_1/P_3 son radiados por medio de la antena direccional, mientras que el pulso P_2 es radiado por una antena que tiene un diafragma polar de radiación el cual es bastante cercano a un diagrama de radiación omnidireccional.

En el respondedor la amplitud relativa de P_1 y P_2 son comparadas, y si P_2 es igual o



CRITERIO PRINCIPAL DE DISCRIMINACION DE AMPLITUD DE PULSOS DEL RESPONDEDOR PARA SUPRESION DE LOBULOS LATERALES.



PATRON DE RADIACION DE ANTENA EN AZIMUT

Fig 1.27 PATRON DE RADIACION HORIZONTAL SSR CON SSL USANDO ANTENA EN SUMA Y DIFERENCIA

mayor que P_1 los circuitos de detección del modo inhiben al respondedor por 35 useg, neutralizando la interrogación.

La acción de supresión del respondedor es mantenida hasta que P_1 tenga 9 dB o más de ventaja sobre P_2 . Esta condición se establece sólo cuando la aeronave está bien adentro del haz principal.

El desarrollo de alimentador de antenas en la Banda L y técnicas de conmutación rápida de alta potencia permite ahora usar un sistema de antena electricamente dividido en 2 partes, la cual radia o en fase (suma) o contrafase (diferencia) la una con la otra.

La conmutación de la alimentación de la antena controlada desde el interrogador, hace que P_1 y P_3 sean radiadas en la configuración de suma para obtener el haz direccional. Cuando P_2 es transmitido la 2 mitades son alimentadas en el modo de diferencia, produciendo el haz requerido.

Esto asegura que la fuerza de la señal dentro del área cubierta por P_2 sea mayor que

la del máximo lóbulo lateral pero no mayor que el haz principal.

Una alternativa de radiación de P_2 es emplear un dipolo vertical separado. Ahora, ninguna conmutación se requiere pero el interrogador debe tener un alimentador RF separado transportando solo P_2 . No se usa en este sistema.

El respondedor

Se encuentra ubicado en una posición conveniente en el avión y es una sola unidad. Asociado con él está una o más antenas omnidireccionales usadas tanto para transmisión y recepción.

La respuesta a una interrogación válida es a una frecuencia de 1090 ± 3 Mhz; comprende un tren de pulsos, con una respuesta para cada interrogación. El tren de pulsos comprende 2 pulsos de forma F_1 y F_2 de 0,45 useg. cada uno espaciados 20,3 useg. El espacio entre F_1 y F_2 contienen los pulsos de información que son también de 0,45 useg. de duración, el número y la ubicación de los cua

les provee la información relevante. Ver figura 1 - 28.

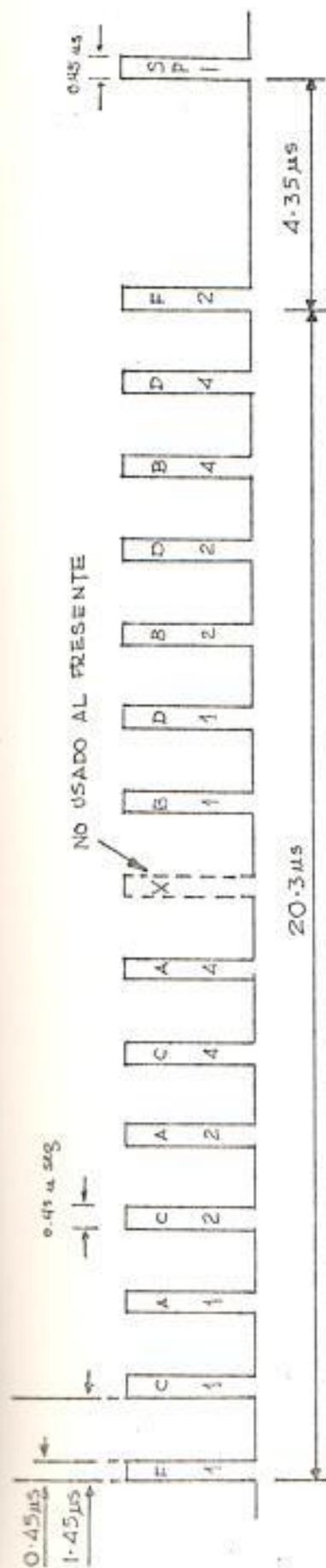
El código de la identificación para el modo de interrogación relevante es colocado en el panel frontal del piloto. Para respuestas de altura, la detección de cualquier modo C ver fig. 1 - 26 de interrogación causa que el codificador de altura coloque el código de la respuesta de acuerdo a la presión barométrica sensada por el transductor de altitud.

El extractor de gráfico, usa los pulso F_1 y F_2 para detectar una respuesta válida antes de que empiece el proceso de decodificación.

Los pulsos de Código por su presencia o ausencia representan la identificación del avión o su altura, dependiendo del modo de interrogación.

Los detalles son los siguientes:

Los 12 pulsos de Código son divididos en 4 grupos (A - B - C - D), y donde cada grupo de 3 pulsos provee un código octal. Para propósitos de identificación, cada pulso es entonces combinado para formar un número de 4



NOTAS:

1. EL TREN DE PULSOS MUESTRA TODOS LOS PULSOS DE CODIGO PRESENTES
2. TODOS LOS PULSOS SON DE IGUAL DURACION
3. LOS INTERVALOS ENTRE TODOS LOS PULSOS DENTRO DE FIG. 2 SON IGUALES
4. DICHO NO A ESCALA

FIG # 1-28 TREN DE PULSOS DE REPLICAS DEL RESPONDEDOR.

digitos octales entre 0000 y 7777 de la siguiente manera. (Ver fig. 1 - 28).

1^a digito (más significativo)=suma binaria de pulsos A
 2^a digito =Suma binaria de pulsos B
 3^a digito =suma binaria de pulsos C
 4^a digito =suma binaria de pulsos D

La construcción del Código de altitud se especifica en las tablas A y B que vienen a continuación. Aquí la transmisión de la altitud codificada es referenciada a una presión barométrica de 1013.25 mb la cual es la presión standard internacional al nivel del mar promedio.

TABLA A: INCREMENTOS DE 500 PIES

D2	D4	A1	A2	A4	B1	B2	B4	C1	C2	C4
Código de Gray de 8 bits proveyendo incrementos de 500 pies desde -100 a 126500 pies.								Código de Gray de 3 bits proveyendo incrementos de 100 pies.		
Donde: 00000000 = - 1000								Ver tabla B		
y: 10000000 = 126500										

TABLA B : INCREMENTOS DE 100 PIES

C1	C2	C4	IMPAR	PAR	
0	0	1	+ 200	-200	Cuando el número
0	1	1	+ 100	-100	total de 1's pre
0	1	0	0	0	sentes en el có
1	1	0	- 100	+100	digo de 8 bits -
1	0	0	- 200	+200	es impar, la al

tura se ajusta u
sando la columna
impar, igual si
es par.

Ejemplo: La altitud 35.200 pies se codifica
asi:

D2	D4	A1	A2	A4	B1	B2	B4	
0	1	0	0	1	0	0	0	= 35.000
				1	0	0		
				C1	C2	C4		= + 200

La señal S.P.I. (Special Position Indicator)
es un sólo pulso de 0,45 useg. que ocurre

4.35 useg., después de F2. (Ver fig. 1 -28)
El respondedor agrega este pulso a cualquier respuesta cuando es activado por el piloto bajo instrucciones del controlador; siguiendo el encendido de SPI la transmisión dura por un periodo pre-establecido entre 15 y 30 segs., y es repetible en cualquier momento.

En caso de presentarse una emergencia el piloto tiene la posibilidad de activar una señal de alerta. Esta señal de alerta es enviada continuamente substituyendo a la contestación normal del respondedor hasta que sea cancelada. Los códigos de emergencia son los siguientes:

1. Emergencia 7700
2. Falla de radio 7600
3. Especial (su significado es asignado por OACI) Organización de Aviación Civil Internacional.

Interferencias (Fruta e intercruce)

Estos son los nombres, dados a ciertas fuentes

tes de interferencias de radar secundario.
Una descripción breve sigue a continuación:

Fruta:

Esta forma de interferencia ocurre cuando el respondedor está operando dentro del alcance de 2 o más - interrogadores y responderá a todos. Así en el receptor de tierra las respuestas recibidas comprenden aquellas sincronizadas con el interrogador más las respuestas a sincronas (frutas) de los otros interrogadores.

Esta interferencia es contrarrestada por el proceso de compilación de respuesta en extractor de gráfico.

Intercruce:

Si más de un respondedor en el mismo azimut y distancia, responde a la interrogación, trenes de pulsos intercrucados son detectados en el

extractor de gráfico, Si los trenes de pulsos no están intercrucados puede producir una correcta - decodificación. Si hay intercruce no se puede decodificar.

El extractor de Gráfico

Procesa la salida del receptor del radar secundario mientras rechaza las respuestas a sincronas (frutas). El código de las coordenadas del blanco y la altura son integradas en un sólo mensaje de forma digital, donde un reporte es compilado para cada blanco por rotación de la antena. La entrada es video que requiere una banda ancha, mientras que la salida es por línea telefónica de banda angosta, siendo una señal digital.

El Procesador de Gráfico

El procesador de gráfico de radar secundario se compone principalmente de un bastidor PPS 200 que incorpora una computadora PDP 11/34 y periféricos asociados, tales como: cuatro pantallas radar con sus respectivos teclados, dos terminales de computadora, ti

po VDU, y una unidad de teletipo. Ver fig. 1 - 29.

El PPS200 se ubica en el cuarto de transmisor del radar primario y distribuye a los datos procesados hasta el cuarto de pantallas via enlace directo.

Las pantalla y los VDU se encuentran en el cuarto de pantallas, en cambio el teletipo se encuentra junto al bastidor PPS200, la función del teletipo es ingresar datos e instrucciones a la computadora o sacar impresiones de parte de la memoria; esta parte es vital para conocer y poder analizar el comportamiento, y el estado en momentos dados, de la computadora.

El PPS200 recibe los informes de los blancos desde el extractor de gráfico, efectua un procesamiento digital con el objetivo de poner los datos en forma adecuada para su presentación sobre las pantallas y tomando en cuenta, también, a los requisitos expresados por el operador a través de los VDU, y luego transmite los datos elaborados hasta

FIG # 1.29 PROCESADOR DE GRAFICO

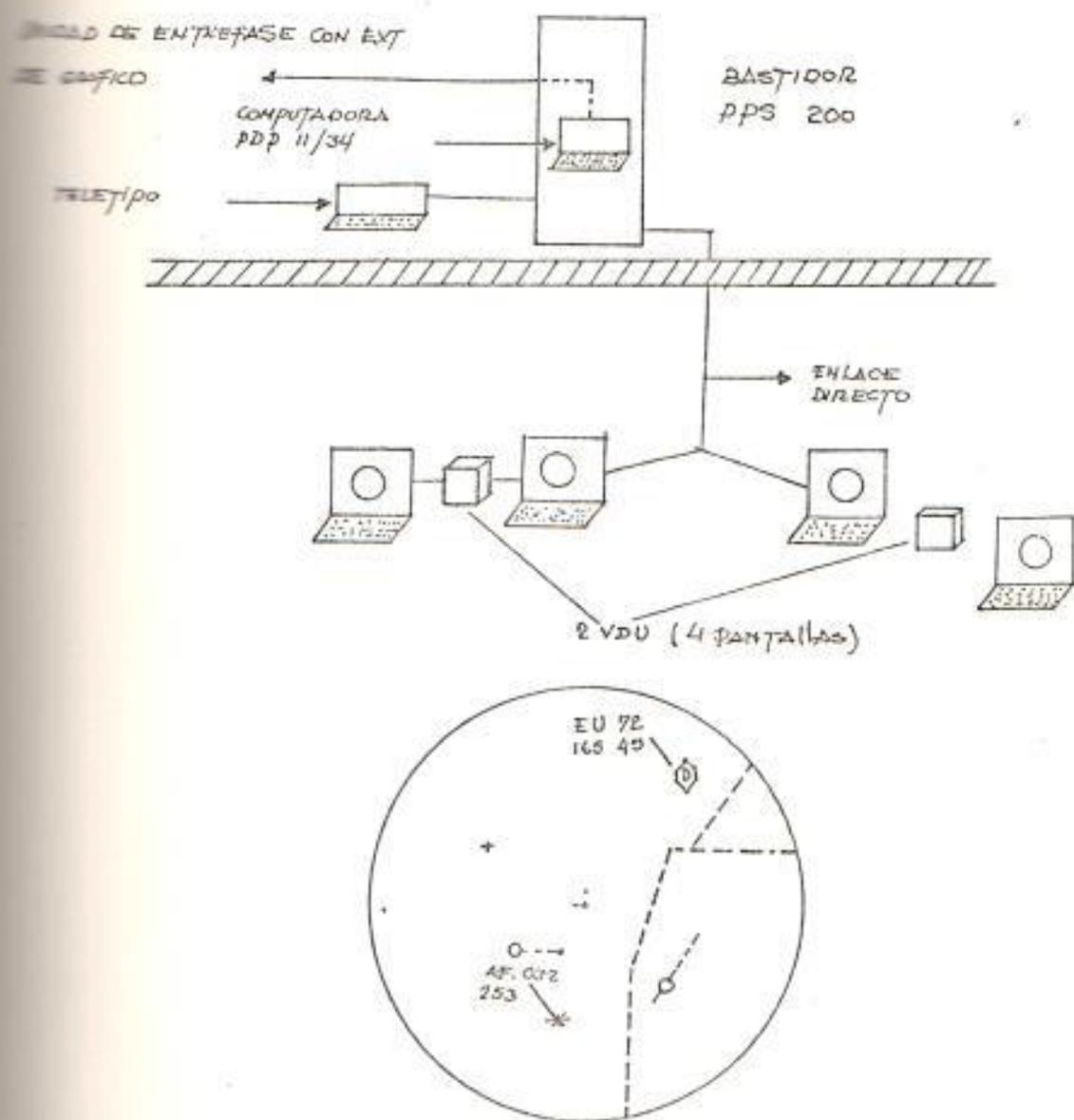


FIG # 1-29 REPRESENTACION DIGITAL (ALFONUMERKA)

cada pantalla radar. La computadora PDP 11/34 está conectada mediante unidades interface con el extractor de gráfico y las pantallas. La computadora elabora los datos para presentar la posición de cada - blanco, asociado a una etiqueta con datos alfanuméricos. Ver fig. 1 - 30.

C A P I T U L O I I

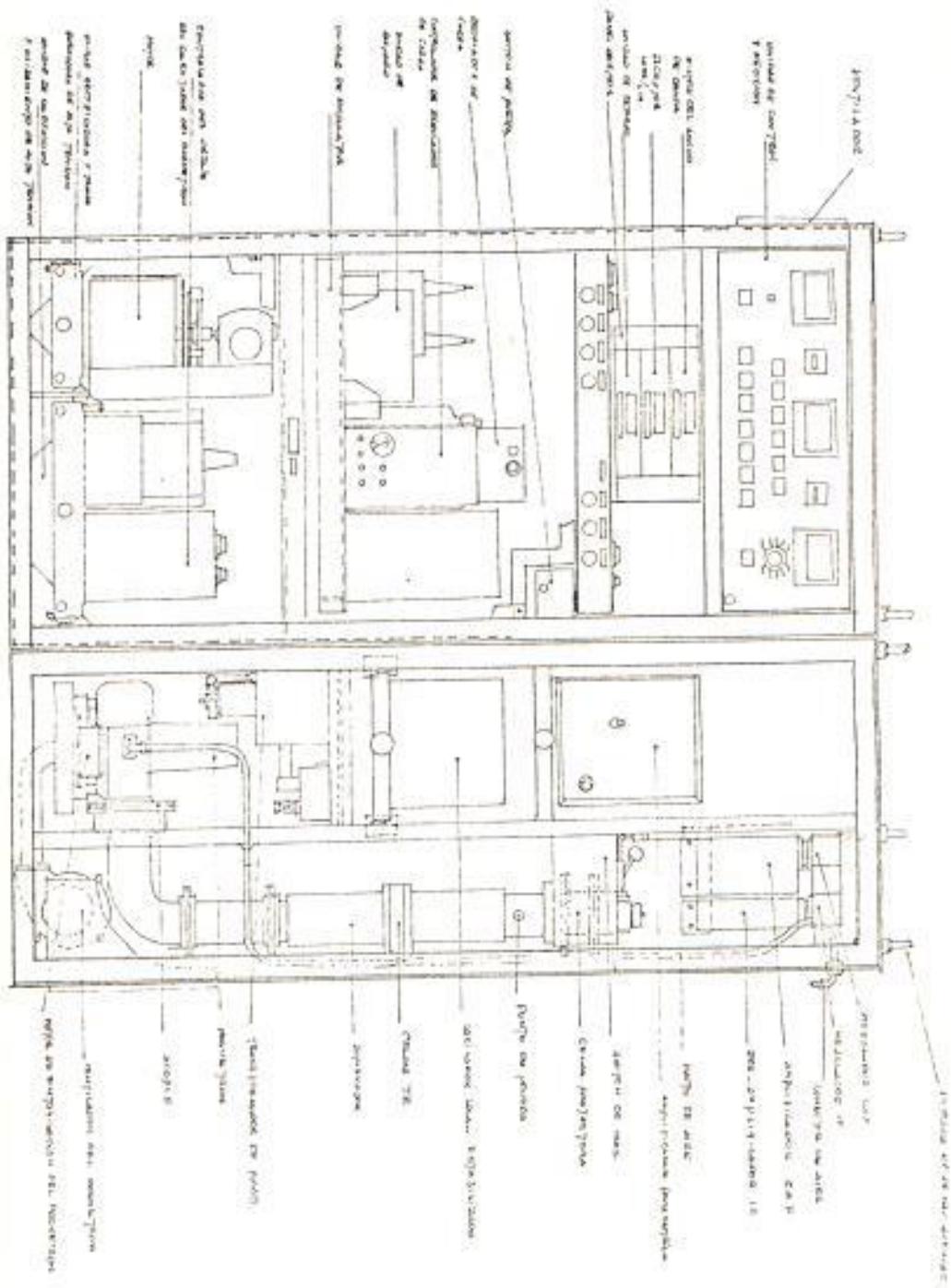
RADAR PRIMARIO

2.1. EL TRANSMISOR DEL RADAR PRIMARIO

Los circuitos de transmisión son acomodados en un solo bastidor. Ver fig. 2-1. Los switches de dos posiciones del transmisor están normalmente ubicados en la unidad de control del radar en el cuarto de pantallas. Ver Fig. 2 -2. También está previsto un panel de control en la parte frontal del bastidor.

El transmisor produce pulsos de salida de 1 useg. de duración a una potencia pico nominal de 600 kilovatios. La frecuencia de repetición de pulsos promedios es de 700 hz y puede ser uniforme o de intervalo variable. Los disparadores del transmisor son generalmente generados en el bastidor MTI. Un diagrama de bloques del transmisor primario se muestra en la fig. 2 -3 .

Una fuente de disparo de reserva está disponible en el bastidor ancillaries ver fig. 2 -4 y también la unidad de disparo del transmisor puede proveer



Plan of the building shown in the drawing.

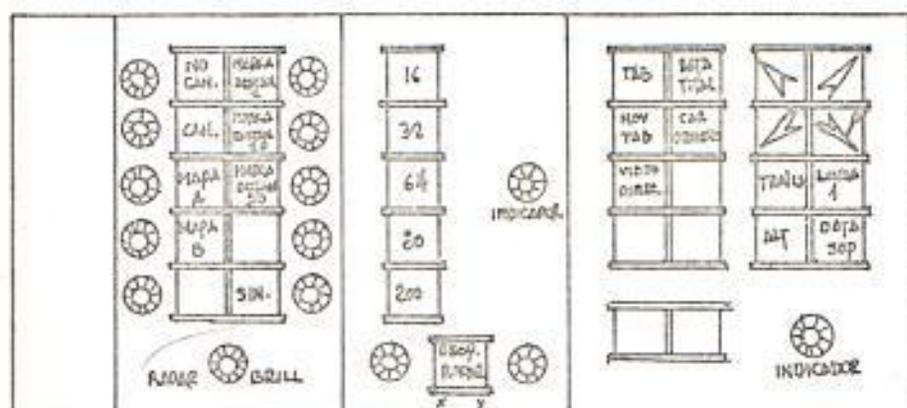


FIG # 2. 2 CONTROL DEL RADAR PRIMARIO.

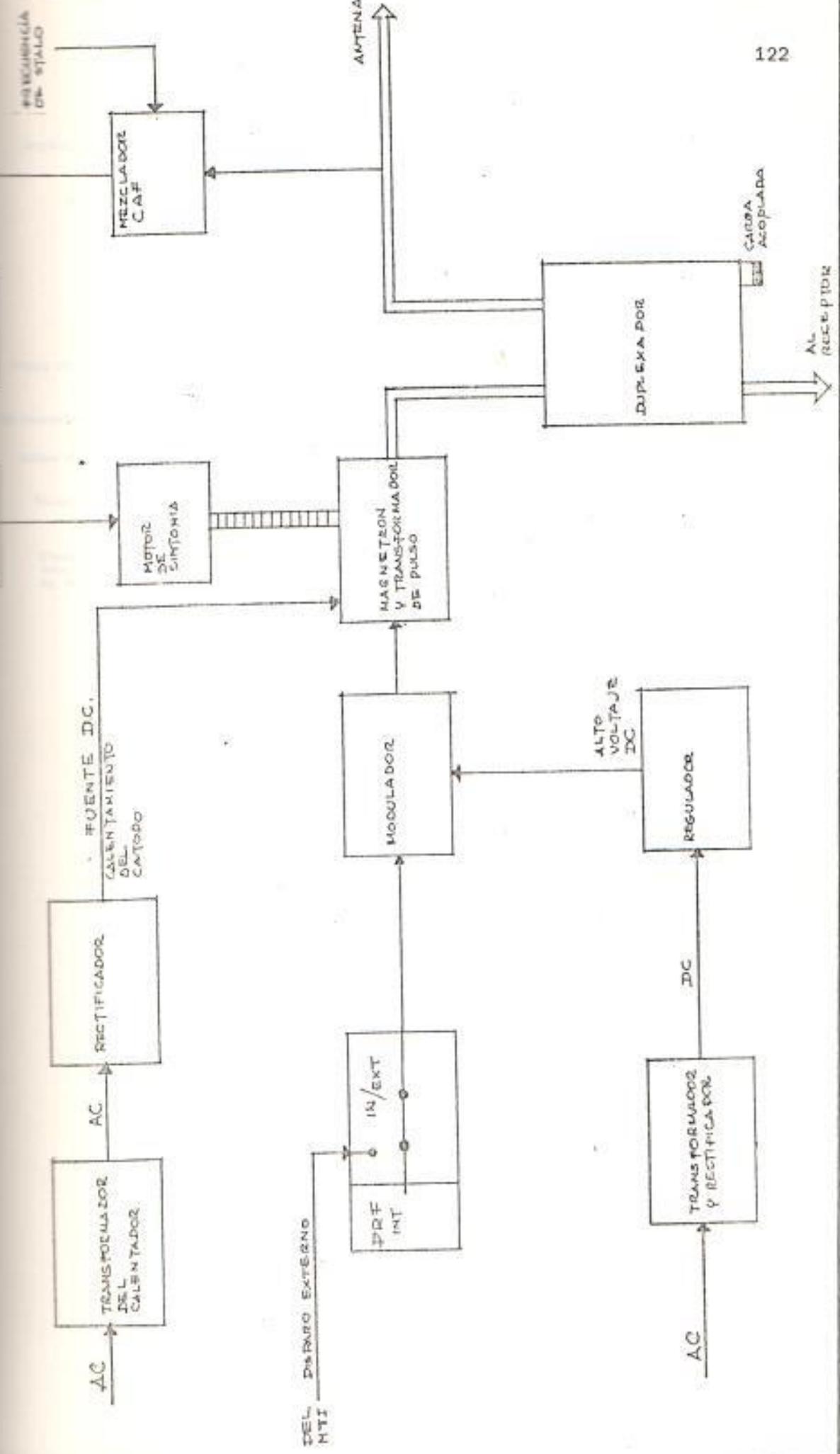


FIG. 2.3 TRANSMISOR DEL SUDAR PRIMARIO

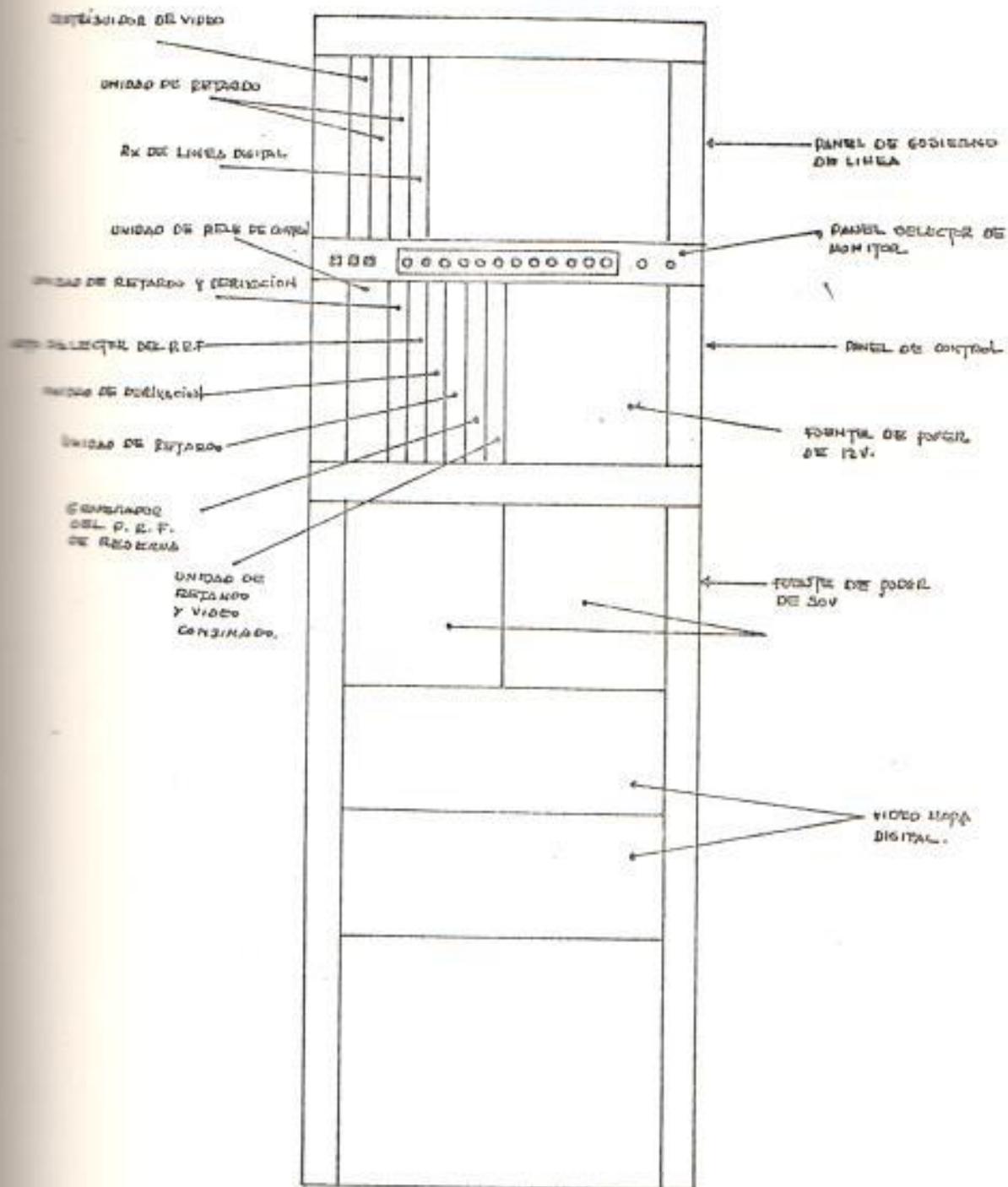


FIG 2-4 BASTIDOR ENCILLARÉS.

disparadores generados internamente. Un retardo de 2 useg. se introduce en el disparo del transmisor # 2 para evitar la transmisión simultánea de los dos transmisores y evitar el daño de las componentes de la guía de la onda debido a un nivel elevado de potencia por efecto de la combinación de las dos señales; este retardo se conoce como el retardo de diversidad.

Como osciladores del transmisor se emplean magnetrones sintonizables en frecuencias de las bandas de 2.700 a 2900 Mhz o 2900 a 3100 Mhz. Las frecuencias empleadas en los dos transmisores son determinados por los cristales provistos en los osciladores locales estabilizados (STALO) Stabilized Local Osc. del control automático de Frecuencia (CAF). Ver fig. 2-3 las frecuencias usadas son las siguientes:

Magnetrones : 2800 y 3020 Mhz

Stalos : 2850 y 3050 Mhz

El CAF se efectúa mezclando una muestra del pulso transmitido con la salida del stalo para producir una frecuencia intermedia la cual es alimentada a un discriminador por medio de un amplificador CAF. La frecuencia central del discriminador es 30 Mhz y si la salida del mezclador difiere de esta fre

cuencia, una señal de error se produce la cual controla la operación del motor de sintonía del magnetrón para corregir la frecuencia de éste. También se ha previsto sintonía manual del magnetrón.

Un duplexador protege al receptor del pulso transmitido y en la recepción del eco desvía la señal del haz principal hacia el receptor.

2.1.1. El magnetrón como la unidad fundamental del radar.

El magnetrón es una válvula en la cual los electrones se mueven bajo la influencia combinada de los campos eléctrico y magnéticos que existen en su interior. El nombre magnetrón, en el sentido normal, designa a un diodo que con auxilio de un campo electromagnético produce oscilaciones de alta frecuencia. Existen diversos tipos de magnetrón, más el que se usa en radar es el de cavidad resonante; y a menos que se indique lo contrario la palabra magnetrón se refiere a este tipo. (Ver fig 2-5).

Bajo el estímulo de la segunda guerra mun

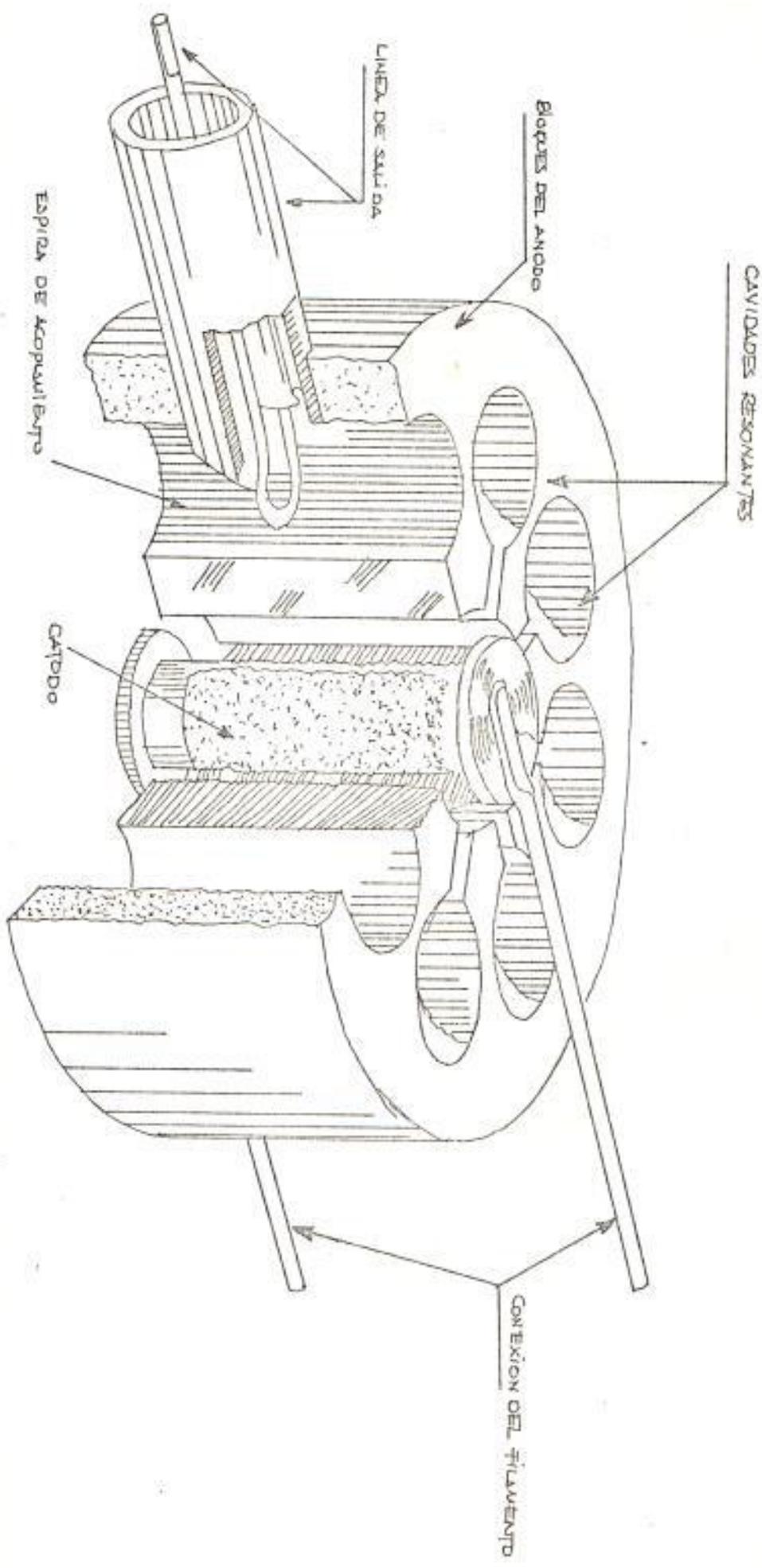


Fig. 2.5 Principales características de un horno de vacío con resonancia

dial, el desarrollo del magnetrón hizo grandes progresos. El desarrollo de los magnetrones de alta potencia fue, posiblemente, el factor más importante que hizo del radar un hecho práctico.

Rendimiento del magnetron

La eficiencia elevada del magnetrón, en la región de microondas, es debida a su alto rendimiento, salida de alta potencia y la simplicidad de los circuitos necesarios. El rendimiento que se puede obtener en los magnetrones es relativamente elevado. Fácilmente se obtienen rendimientos del orden de 50% a 80 %. Tanto el rendimiento como la vida del magnetrón mejoran con el aumento de carga, i la potencia retirada de él.

El magnetrón presenta ciertas desventajas - que deben ser conocidas, para conseguir de esta manera su mejor uso. La frecuencia del magnetrón es relativamente inestable, está sujeta a cambios por variaciones de tensión, de carga y de campo magnético y no está su

jeto al control de un cristal en forma directa. Tienen la tendencia a saltar de una banda de frecuencia a otra durante la sintonía.

Construcción del magnetrón

Todo magnetrón posee un cátodo, un ánodo y un dispositivo de acoplamiento en la salida; el cátodo es calentado indirectamente y su superficie se encuentra recubierta de óxido que proveera los electrones de conducción. El material activo del cátodo es colocado en la superficie externa de un soporte tubular. Ver fig. 2-5. El calentamiento indirecto - se realiza por medio de un filamento colocado en el interior de la estructura de soporte. El montaje del filamento se apoya y se mantiene concéntrico con el bloque del ánodo por los conductores del filamento, que son físicamente grandes con el fin de dar la necesaria resistencia mecánica.

El ánodo es manufacturado por fundición de un bloque sólido o calentamiento de segmentos prefundidos o de láminas unidas para formar

los. Los anodos poseen un número par de cavidades resonantes simétricas en torno de la circunferencia interna del ánodo cilíndrico. Las tapas de los extremos son soldadas al bloque del ánodo, por calentamiento, para cerrarlo completamente, posibilitando el establecimiento del vacío en el interior de la válvula. El acoplamiento cerrado que existe entre las cavidades adyacentes permite la extracción de la energía de cada una de ellas a pesar de que la espira de acople esté solamente en una de las cavidades. Una pieza indispensable de la estructura del cátodo está constituida por los blindajes terminales. La función de éstos es evitar que los electrones salgan del cátodo en una dirección paralela al eje del magnetrón. Los blindajes terminales son secciones cortas de diámetro ampliado situadas en la extremidades del cátodo y pueden tener su diámetro variando desde un poco mayor que el diámetro del cátodo hasta un diámetro mayor que el de la abertura del ánodo. Los blindajes terminales, operando al potencial del cátodo distorsionan el campo eléctrico entre el cátodo y las placas termina

les, de modo que todos los electrones que intentaran seguir estas líneas de campo eléctrico tendrán una componente de velocidad perpendicular al campo magnético.

Campo eléctrico y magnético del magnetron

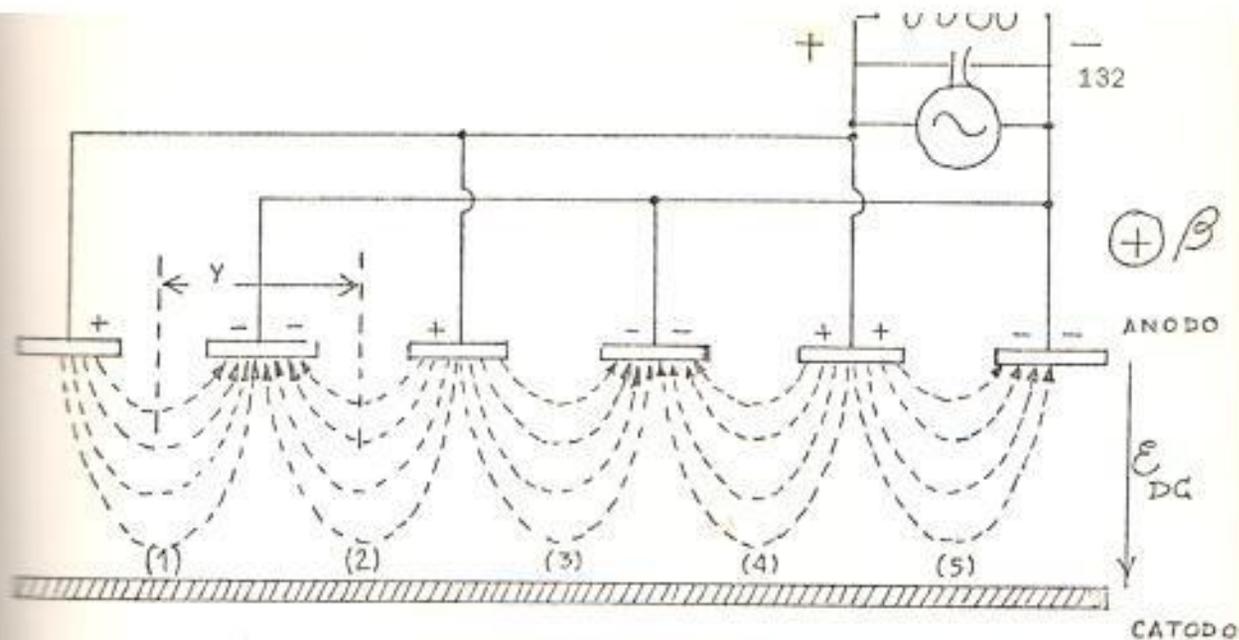
El magnetrón en funcionamiento emplea un campo magnético axial y constante, que es generalmente establecido por un imán permanente. El campo eléctrico tiene una componente continua y una componente alterna en la frecuencia de las oscilaciones de RF existentes en las cavidades.

El funcionamiento del magnetrón como fuente de oscilaciones de frecuencia de microondas depende del haber sido proyectado i operado de modo de permitir que los electrones emitidos por el cátodo absorban energía del campo continuo y lo entreguen al campo RF. Es de desear que esta transferencia de energía se pueda ejecutar con un aumento pequeño de la energía cinética de los electrones. La energía cinética que tiene un electrón se pierde al golpear el anodo.

El magnetrón plano

Para el estudio del magnetrón es conveniente considerarlo de forma plana, en el cual los electrones se mueven en trayectorias cicloidales, el paso siguiente es imaginar a este magnetrón como que es enrollado para darle la forma circular que realmente tiene. Ver figura 2 -6. El catodo es de superficie plana y el anodo es de segmentos distribuidos en un plano paralelo al catodo. Los segmentos están conectados alternadamente a los extremos de un circuito tanque que tiene una tensión de RF provista por un generador externo. La figura ilustra el campo eléctrico producido por la tensión RF, en un instante de tiempo cuando la tensión a través del circuito tanque tiene la polaridad mostrada. El campo elctrico continuo, y el magnético son considerado como uniformes y orientados como se indica.

El campo eléctrico instantaneo existente en cualquier punto será la suma vectorial de los campos continuo y RF. Estas adiciones para regiones opuestas en las aberturas entre los



1,3,5 DESACELERAN
2,4 ACELERAN

FIG # 2-6 MAGNETRON PLANO

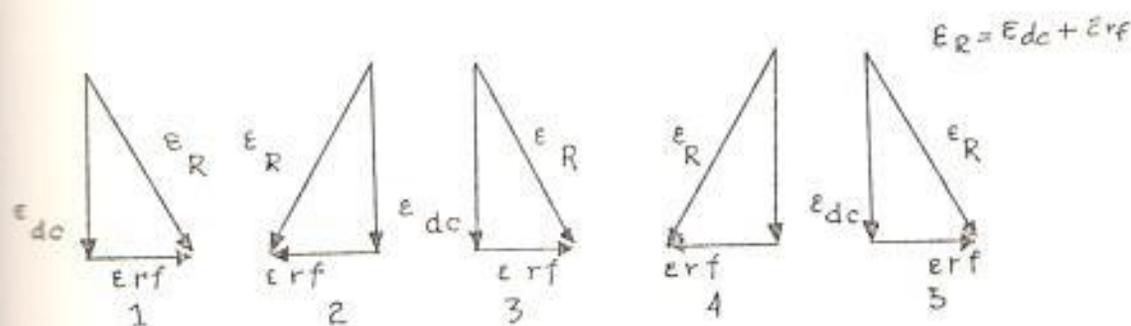


FIG 2-7. CAMPOS ELECTRICOS RESULTANTES DE FIGURA 2-6

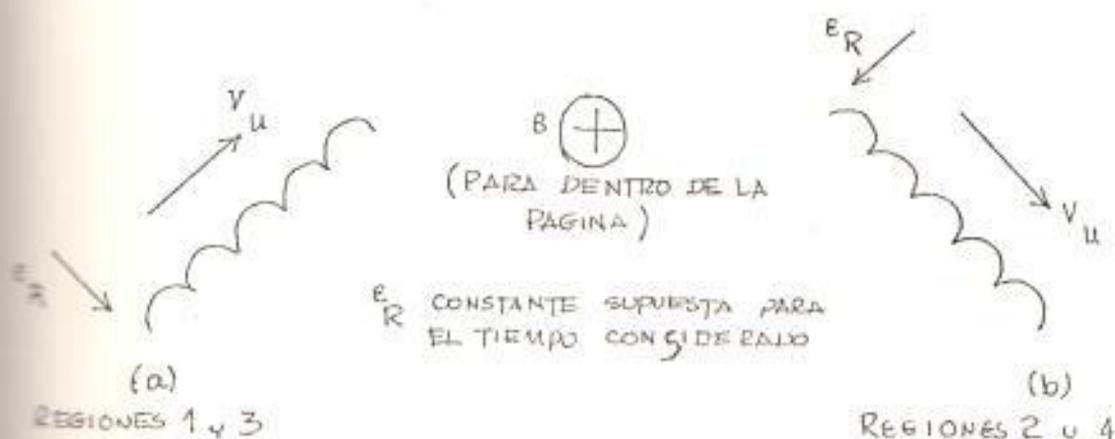


FIG # 2-8

DIRECCIONES DEL MOVIMIENTO DE LOS ELECTRONES
EN CIERTAS REGIONES DE LA FIG 2-6

segmentos están ilustrados en la fig. 2-7.

Los campos eléctrico y magnético continuo tenderán a hacer que los electrones se desplacen en dirección de izquierda a derecha. Los electrones correspondientes a las aberturas - entre los segmentos numerados 1,3 y 5 en la fig. 2-6 serán desacelerados por el campo elctrico RF y cederán parte de su energía a él. Estos electrones recuperan su energía al ser acelerados por el campo eléctrico continuo y se acercan al ánodo. Los electrones de 1,3 y 5 por consiguiente, se convierten - en buenos conversores de energía continua en RF. Las trayectorias de éstos electrones tomarán una dirección media en ángulo recto con el campo eléctrico. Ver Fig. 2-8a.

Los electrones frente a las aberturas 2 y 4 se estarán moviendo contra el campo eléctrico RF al desplazarse de izquierda a derecha, por tanto serán acelerados y retirarán energía del campo RF. Si el magnetron tiene que funcionar como oscilador, la mayoría de los electrones tienen que ser retirados de las regiones donde pueden absorber energía RF.

Los electrones que retiran energía del campo RF tienden a regresar al cátodo, pues se mueven en ángulo recto con relación al campo eléctrico resultante. Ver Fig. 2-8b.

Otro medio de retirar los electrones de estas regiones desfavorables es con relación al ajuste de fase.

La velocidad media de izquierda a derecha (V_{id}) de los electrones es:

$$V_{ID} = \frac{E}{B} \text{ dc} \left| \begin{array}{l} \text{f. eléctrica} \\ \text{f. Magnética} \end{array} \right. (2 - 1)$$

E = Campo Eléctrico

B = Campo Magnético

Esta velocidad no puede ser arbitraria, por el contrario, debe ser tal que haga los electrones avancen de una abertura a otra de modo de llegar a la segunda abertura cuando el campo RF hubiese variado de tal manera - que sea favorable a la conversión de energía continua en energía RF. Esto significa que los electrones deben avanzar de una abertura a otra, en el intervalo de tiempo - que la señal RF toma medio ciclo.

$$V_{id} \cdot 1/2f = Y \quad (2 - 2)$$

$$f = E_{dc}/2YB \quad (2 - 3)$$

f = frecuencia en hz.

Y = distancia entre dos aberturas en mts.

La ecuación (2-3) muestra que el magnetrón es un oscilador de tiempo de tránsito, pues hay un tiempo definido, $1/f$, durante el cual los electrones deben avanzar una distancia definida de izquierda a derecha que es $2Y$. Como en todos los osciladores de tiempo de tránsito, hay una condición de resonancia - que debe ser satisfecha.

$$f/V_{id} = \text{constante} = \frac{1}{2Y} \quad (2 - 4)$$

Focalización de fase

En la fig. 2 - 6 todos los electrones entre los puntos 1 y 2 sufrirán la acción de un campo eléctrico RF que tiene una componente vertical y una horizontal. La amplitud de la componente vertical varía para puntos diferentes en esta región, por eso el campo eléctrico RF tendrá siempre, en toda la región, una componente vertical de alguna amplitud, dirigida para el anodo. Este campo

Inv. No. ELEC-029

tiene sentido opuesto al del campo eléctrico continuo que está dirigido para el cátodo. La velocidad media de izquierda a derecha de los electrones en esta región será reducida, ya que el campo vertical efectivo es menor que el campo eléctrico continuo. Los electrones en la región entre los puntos 2 y 3 tendrán su velocidad aumentada por la componente vertical del campo eléctrico RF, que se suma al campo eléctrico continuo para aumentar el valor efectivo del campo eléctrico vertical en esta región.

Todos los electrones en las regiones de campo RF vertical, donde pueden cambiar energía con los campos eléctricos RF tenderán a ser retardados o acelerados, de modo que la mayoría de los electrones en el magnetrón son focalizados en nubes que se desplazan en fase con los campos eléctricos RF en una posición tal a estar aptos a convertir energía continua en RF. Los electrones en las regiones donde ellos podrían extraer energía del campo RF serán acelerados de modo que alcanzan la nube de electrones delantera o retardados de modo de ser alcanzados por la nube posterior.

Bombardeo del cátodo

Consideremos también que la componente vertical del campo eléctrico RF en las regiones desfavorables tienden a hacer que los electrones regresen al cátodo. Estos electrones de retorno son responsables del bombardeo del cátodo.

Cualquier energía cinética que el electrón posea en ese momento aparece como una combinación de energía transferida a los electrones de emisión secundaria y a la de calentamiento de la superficie del cátodo. La emisión secundaria es la principal causa de las densidades de corriente de cátodo extremadamente elevada que se observa en los magnetrones.

El calentamiento del cátodo se puede volver perjudicial ya que no puede disipar grandes cantidades de calor y además acortaría la vida útil del magnetrón. Por esta razón, desde el punto de vista de la vida del magnetrón es deseable mantener los campos RF sin alcanzar valores muy altos.

Rendimiento de los electrones

Consideremos el rendimiento de los electrones en la conversión de energía continua en la conversión de energía continua en energía RF como la siguiente relación:

$$n = \frac{\text{Energía suministrada} - \text{Pérdidas}}{\text{Energía suministrada}} \quad (2 - 5)$$

$$n = \frac{eE_{dc} - 1/2m(v)^2}{eE_{dc}} \quad (2 - 6)$$

$$v^2 = v_{id}^2 + v_{ca}^2 \quad (2 - 7)$$

n = rendimiento

E_{dc} = Campo eléctrico DC

v = Velocidad de impacto en el cátodo

v_{ca} = Velocidad del cátodo al ánodo.

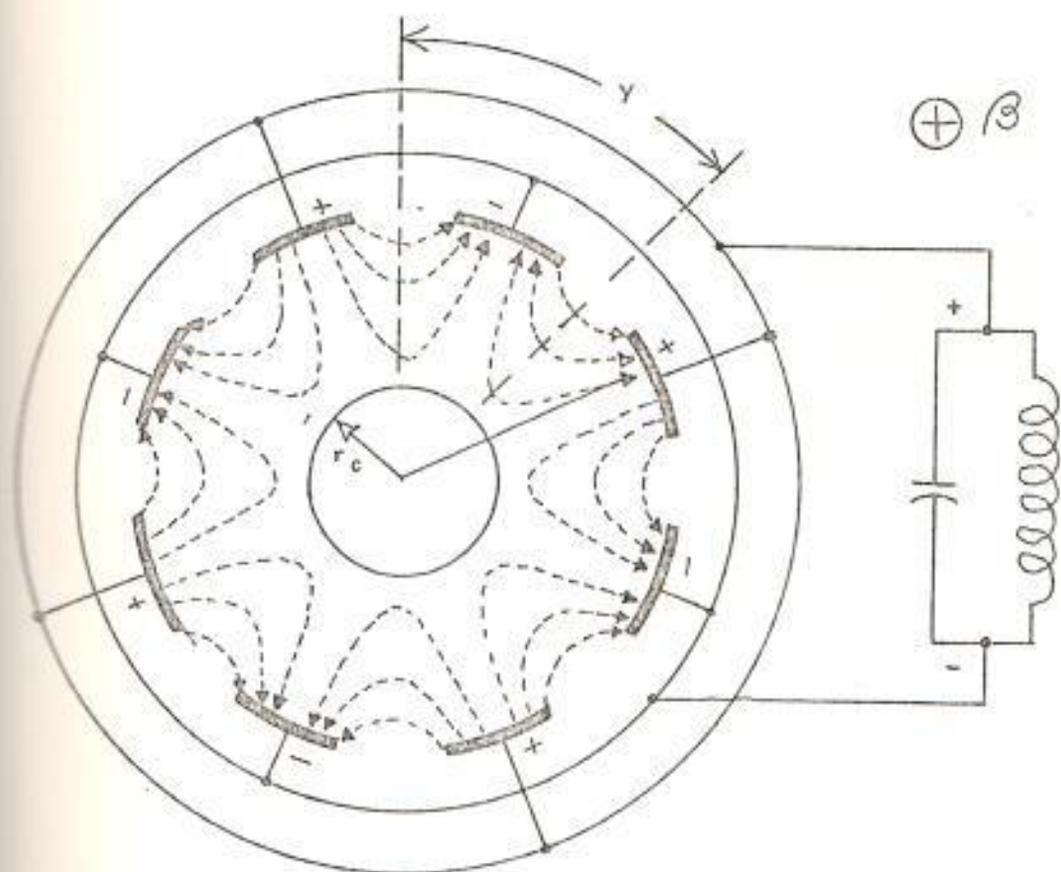
Un aumento de B obligará a un aumento de E_{dc} con el fin de mantener la velocidad de izquierda a derecha de los electrones constante, (Ecuación 2-1) por tanto las pérdidas DC permanecerán constantes, más las pérdidas - RF disminuyen siempre y cuando se mantenga un campo eléctrico RF bajo. Así, para un mejor rendimiento, como para una vida más prolongada del magnetrón se recomienda un campo RF bajo. Esto se consigue por medio de una carga alta que evita que la tensión

RF crezca demasiado.

El magnetrón Cilíndrico

Es conveniente imaginar al magnetrón cilíndrico como habiendo sido construido a partir de uno plano el cual ha sido enrollado. Ver fig. 2 - 9. La teoría exacta del magnetrón cilíndrico es más complicada que la del plano pero las ideas desarrolladas si se pueden aplicar para obtener una comprensión cualitativa de su funcionamiento.

Para la operación correcta, las nubes de electrones se deben desplazar de una abertura a otra en medio ciclo de RF. Para que todos los electrones atraviesen la misma distancia angular y en el mismo tiempo, los electrones que ocupen las posiciones más cerca del ánodo deben desplazarse con una velocidad lineal mayor que la de los que están cerca del cátodo. La velocidad lineal es determinada por la relación campo eléctrico/campo magnético. A su vez el campo eléctrico continuo depende de la tensión ánodo cátodo. Generalmente se escoge una tensión



Fig# 2. 9 UN MAGNETRON DE OCHO SEGMENTOS CON CIRCUITO DE TANQUE SIMPLIFICADO.

que proporcione una velocidad correcta para el radio medio entre ánodo y cátodo.

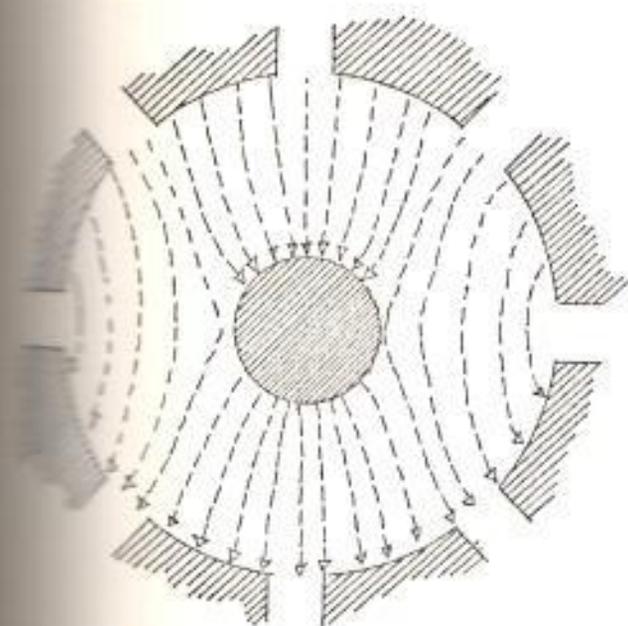
Modos de Oscilación

El número de modo "n" es empleado para identificar un grupo de configuraciones posibles para el campo RF en el magnetrón. El número de modo es el número de ciclos completos del campo RF que ocurren en un círculo que encierra al cátodo. Para el mejor funcionamiento, es de desear el modo que coloque segmentos adyacentes del ánodo en posición de fase. Este modo tendrá un número de cavidades del magnetrón y se lo denomina "Pi", ya que la separación de fase RF entre segmentos adyacentes es Pi radianes.

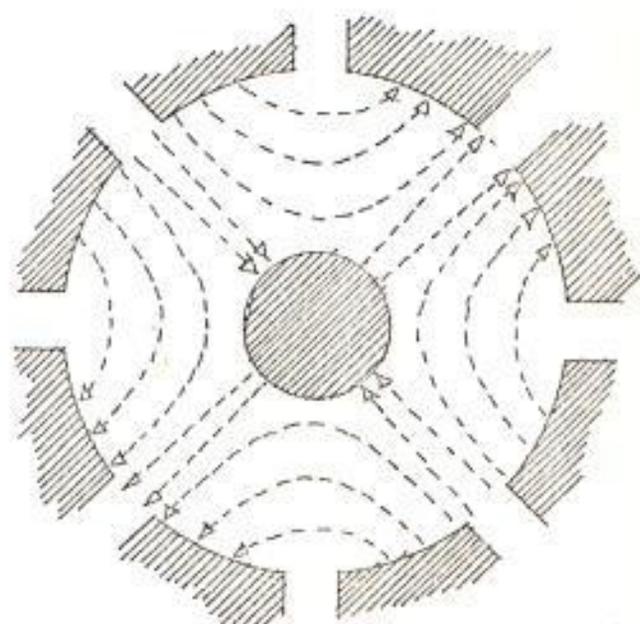
Para cada ciclo completo de variación de campo RF habrá una posición que será favorable a la conversión de energía y otra posición que será desfavorable. Los electrones se agrupan en nubes en las regiones favorables y habrá tantas nubes cuantas regiones favorables existan. Modos diferentes al Pi son indeseables, porque los campos RF queda

ría reducidos en una o más cavidades; y ya que la salida es acoplada en una sola cavidad, esto podría resultar en la retirada de menos potencia o una potencia variable en el magnetrón. Es más ya que el cambio de modo de operación es acompañado de una variación de frecuencia, no es deseable que el magnetrón cambie de modo de pulso a pulso. El establecimiento y mantenimiento del modo π se consigue con la elección de la tensión DC y del campo magnético de manera tal que la velocidad angular de desplazamiento de los electrones sea la correcta.

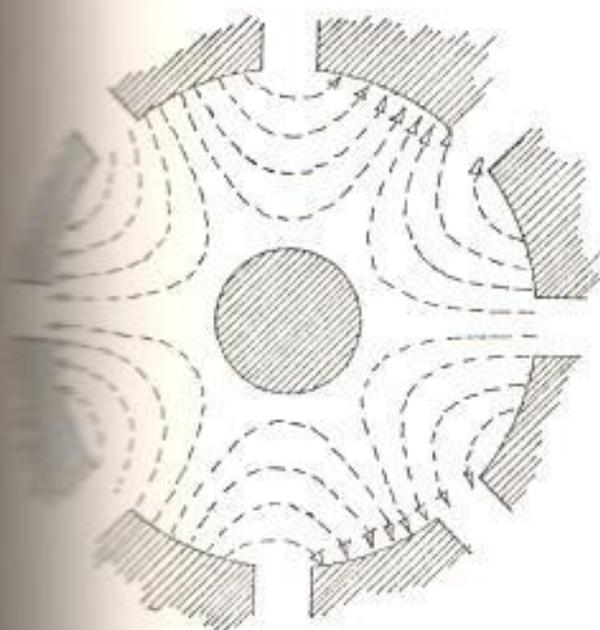
Para mantener oscilaciones del modo π (ver figura 2-10) en un magnetrón de 8 cavidades, las nubes de electrones se deben de mover de una abertura a la siguiente (una distancia angular de 45 grados) en la mitad de un ciclo RF. En este mismo magnetrón las nubes de electrones pueden mantener oscilaciones indeseables de modo 3, si se desplazaran 60 grados en mitad de un ciclo RF, en la frecuencia de las oscilaciones de este modo. Si por un momento admitimos que la frecuencia de ambos modos sea la misma, entonces un cambio -



#1 PRIMER MODO



#2 SEGUNDO MODO



#3 TERCER MODO

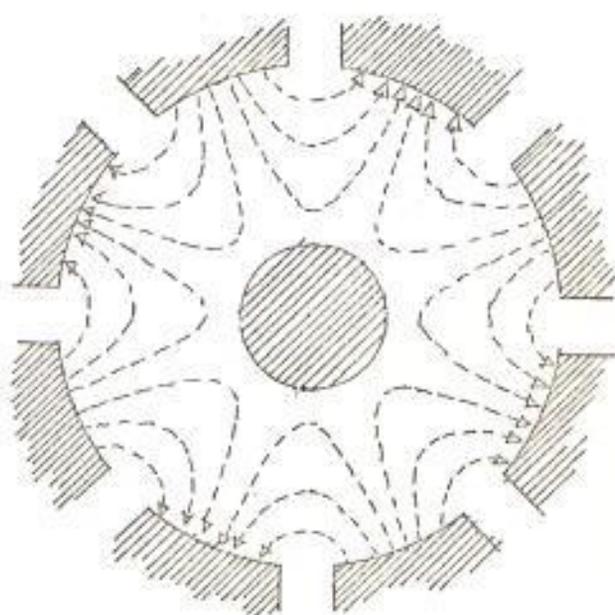
#4 MODO π

FIG # 2.10 CAMPOS ELECTRICOS DE R.F. PARA VARIOS MODOS DE OSCILACION EN UN MAGNETRON DE OCHO CAVIDADES.

del modo Pi al modo 3 exigiría un aumento de 33,3 % de la velocidad de desplazamiento de las nubes de electrones. Ahora si consideramos un magnetrón de 12 cavidades el porcentaje de variación de velocidad es 20 %. Esto indica que el aumento de cavidades no conectadas aumenta la probabilidad de las oscilaciones en modos indeseables. Pero para obtener grandes potencias se necesita de catodos grandes y por ende de anodos con gran número de cavidades. Así, se torna cada vez más difícil evitar los modos indeseables en los magnetrones que no tienen los segmentos adyacentes conectados entre sí.

Conexión de los segmentos del Magnetron

Para asegurar las Oscilaciones de modo Pi, los segmentos alternados del magnetron son conectados por puentes de hilo conductor. En vista de que los segmentos quedan al mismo potencial RF en el modo Pi y no en otros modos, su interconexión no trae ningún efecto sobre el modo Pi pero los otros modos quedan amortiguados. Al conectarse los segmentos también se aumenta el rendimiento, tornándose menos sensible a las variaciones de ten

sión, de corriente o de campo magnético.

2.1.2. El modulador de pulso

En un transmisor de radar se requiera la producción de una corta explosión de energía en un nivel alto de potencia, quedando inerte por un periodo relativamente largo mientras la energía se propaga por el espacio y su eco retorna. Esta técnica requiere el desarrollo de un generador de pulso para controlar el transmisor. Este generador de pulso en el radar es llamado el modulador. Su función es producir un pulso de tensión que se aplique al magnetrón, el cual a su vez produce el pulso de energía de alta frecuencia.

Requisitos del Pulso

El pulso provisto por el modulador debe cumplir ciertos requisitos en cuanto a su forma, potencia de pico, potencia media, frecuencia de repetición del pulso, impedancia, etc.

Ver fig. 2-11. Algunos de los requisitos más importantes ha ser considerados son: tiempo de subida, tiempo de bajada y duración del pulso.

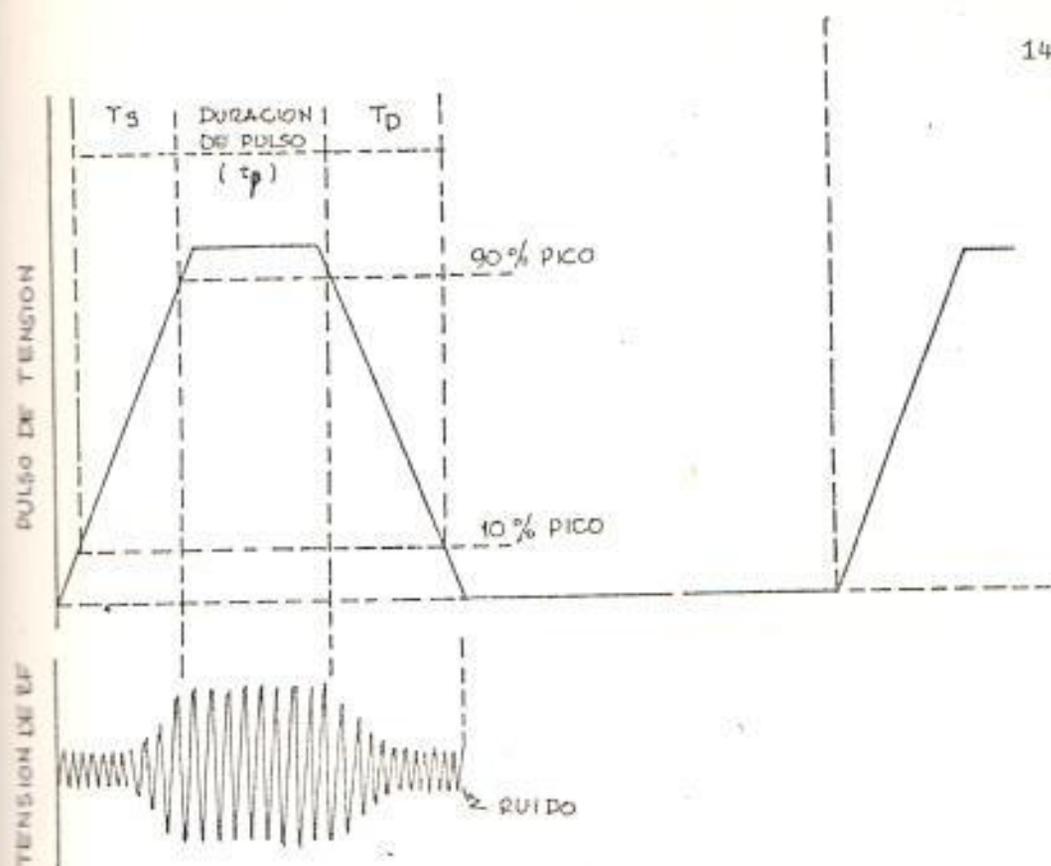


FIG # 2.11 FORMAS SIMPLIFICADAS DE TENSION DE PULSO DE LA SALIDA RF.

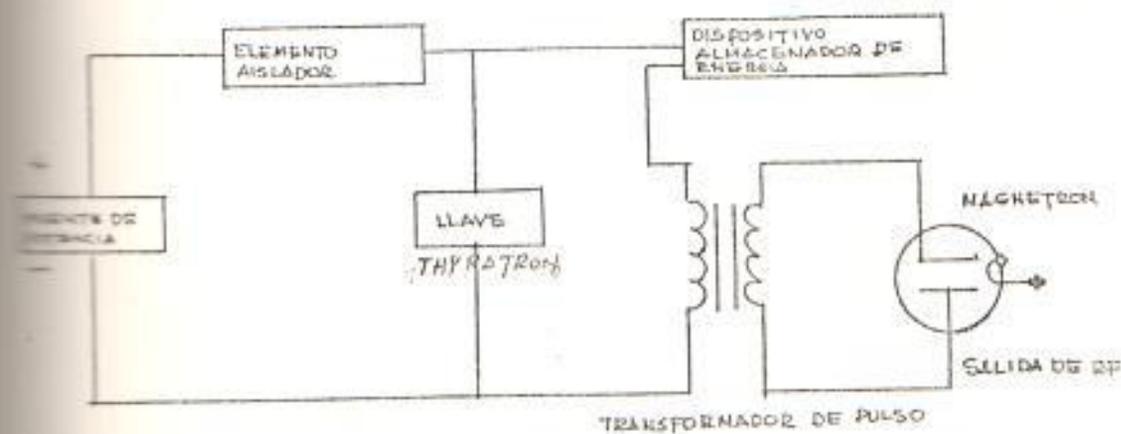


FIG # 2.12 CIRCUITO BASICO DE UN MODULADOR DE LINEA PULSANTE

El tiempo de subida se define como el tiempo necesario para que la tensión pase de 0,1 a 0,9 de su valor de pico. Es deseable tener una pendiente bien vertical, más si esto pasa, la oscilación inicial del magnetrón se dará en una frecuencia errada (ya que los electrones tienen inercia), por otro lado si ésta pendiente es pequeña la precisión de las mediciones de distancia se ve afectada.

El tiempo de bajada es el tiempo necesario para que la tensión decrezca de 0,9 a 0,1 del valor de pico. A medida que la amplitud del pulso decrece, ruido y frecuencias espurias se genera en el magnetrón. Estos espureos obscurecen los ecos débiles de blancos cercanos. Ambos tiempos son un 10 % o menos de la duración del pulso y por tanto sus efectos pueden ser despreciados. Es deseable que el pulso aplicado al magnetrón sea plano por dos razones: primero, la frecuencia del magnetrón es afectada por la amplitud de la tensión aplicada. Al variar la frecuencia del magnetrón particularmente se afecta el equipo MTI, segundo; la potencia de salida del magnetrón no será constante.

La duración del pulso, t_p , es el tiempo duran

te el cual la tensión es mantenida en algún nivel diferente del nivel de referencia. El nivel de referencia puede ser cero o algún valor DC. En radar la duración del pulso es la duración de emisión de RF útil en la salida del magnetrón. En la fig. 2-11 se ve que la RF útil se obtiene antes que el pulso DC, aplicado al magnetrón, haya alcanzado su pico. La duración del pulso es considerada - como siendo el tiempo entre los puntos de 0,9 de la amplitud de pico en las pendientes de subida y de bajada del pulso.

La potencia del pulso es el producto del pulso de tensión por el de corriente. La potencia de pico es el producto de la tensión y corriente de pico; para un pulso rectangular perfecto la potencia del pulso y la potencia de pico son iguales. Si la forma del pulso es irregular, la potencia de pico será mayor que la potencia del pulso.

La potencia media es la potencia que se entrega a una razón constante durante un período completo. Esto es:

$$P_m = P \cdot t_p / T \quad (2 - 8)$$

La razón t_p/T se conoce como el ciclo de trabajo.

El acoplamiento de impedancias entre el modulador y el magnetron es importante por dos razones. Primero: la máxima transferencia de energía se produce para esta condición y segundo: los valores relativos de las impedancias del modulador y magnetron afectan grandemente a la forma del pulso. Este acoplamiento se consigue por medio de un transformador de pulso, el cual presenta otras ventajas como elevación de la amplitud del pulso, inversión de la polaridad, aislación DC, etc. Una desventaja es que distorsiona un poco la forma del pulso.

La función básica del modulador es almacenar energía que viene de una fuente externa durante un periodo largo entre pulsos y entonces entregar esta energía en un tiempo bien corto.

Modulador de línea pulsante

Es una línea de transmisión artificial que se utiliza para almacenar energía. La línea está compuesta de una o más secciones, cada una de estas secciones compuesta de inductancias y capacitancias. Entre pulsos, la energía es almacenada en el campo eléctrico de los capacitores y durante el pulso, toda la energía almacenada es descargada. Ver fig.2-12. El elemento aislador evita que la fuente de alimentación afecte a otras partes del circuito durante el corto tiempo de pulso, más permite que la línea se cargue entre pulsos.

Entre pulsos, la línea se carga lentamente a través del elemento aislador. Durante el pulso, ella se descarga rápidamente en la carga; la descarga es esencialmente un pulso de energía, cuya duración es igual al tiempo de ida y vuelta que le toma al pulso recorrer la línea artificial. La polaridad de este pulso es tal que el magnetrón va a conducir y producir una emisión de energía RF.

Durante la carga, la razón de cambio de la

corriente a través del transformador es pe
queña, debido al periodo relativamente lar
go, y una tensión no apreciable se induce -
en el secundario del transformador de pul
so, además de que la polaridad de la ten
sión en el secundario no permite la conduc-
ción del magnetrón.

La llave en la mayoría de los radares es u
na válvula thyatron a gas de hidrógeno. Es
ta válvula puede soportar grandes corrientes
con muy bajas pérdidas.

Entre pulsos, el gas es desionizado y la -
válvula es un circuito abierto, su tensión
de disparo es suficientemente alta para so
portar tensiones ordinariamente usadas en
moduladores de radar. En un instante ade
cuado un gatillo proveniente de una fuente
externa es aplicado a la grilla del thyra -
tron lo que ioniza el gas. El gas ionizado es
un buen conductor y el camino del cátodo a
la placa practicamente se convierte en un
circuito cerrado, conectado el magnetrón al
elemento almacenador, este entonces descar
ga su energía bajo la forma de un pulso cu

yo formato es determinado por la línea y la carga. Cuando toda la energía ha sido en tregada la corriente en el thyraton disminuye produciendo la desionización del gas y así se repite el ciclo, el modulador de lí nea pulsante es usado en la mayoría de los radares de la FAA.

2.2. EL RECEPTOR DEL RADAR PRIMARIO

La señal del duplexador es alimentada al switch- de haz (Ver Fig. 2-13) que también recibe la se ñal del haz auxiliar que es seleccionada para un periodo preestablecido (15 millas Náuticas) que si gue al pulso transmitido y entonces cambia a la señal del haz principal. La señal seleccionada es pasada al amplificador paramétrico.

La salida del Amplificador Paramétrico es alimentada a un mezclador donde se mezcla con la salida del Stalo. La señal de Frecuencia Intermedia FI de 30Mhz resultante es alimentada, vía un preamplificador, al receptor de video de radar normal.

Una segunda salida FI del preamplificador es ali mentada al receptor de video de radar MTI.

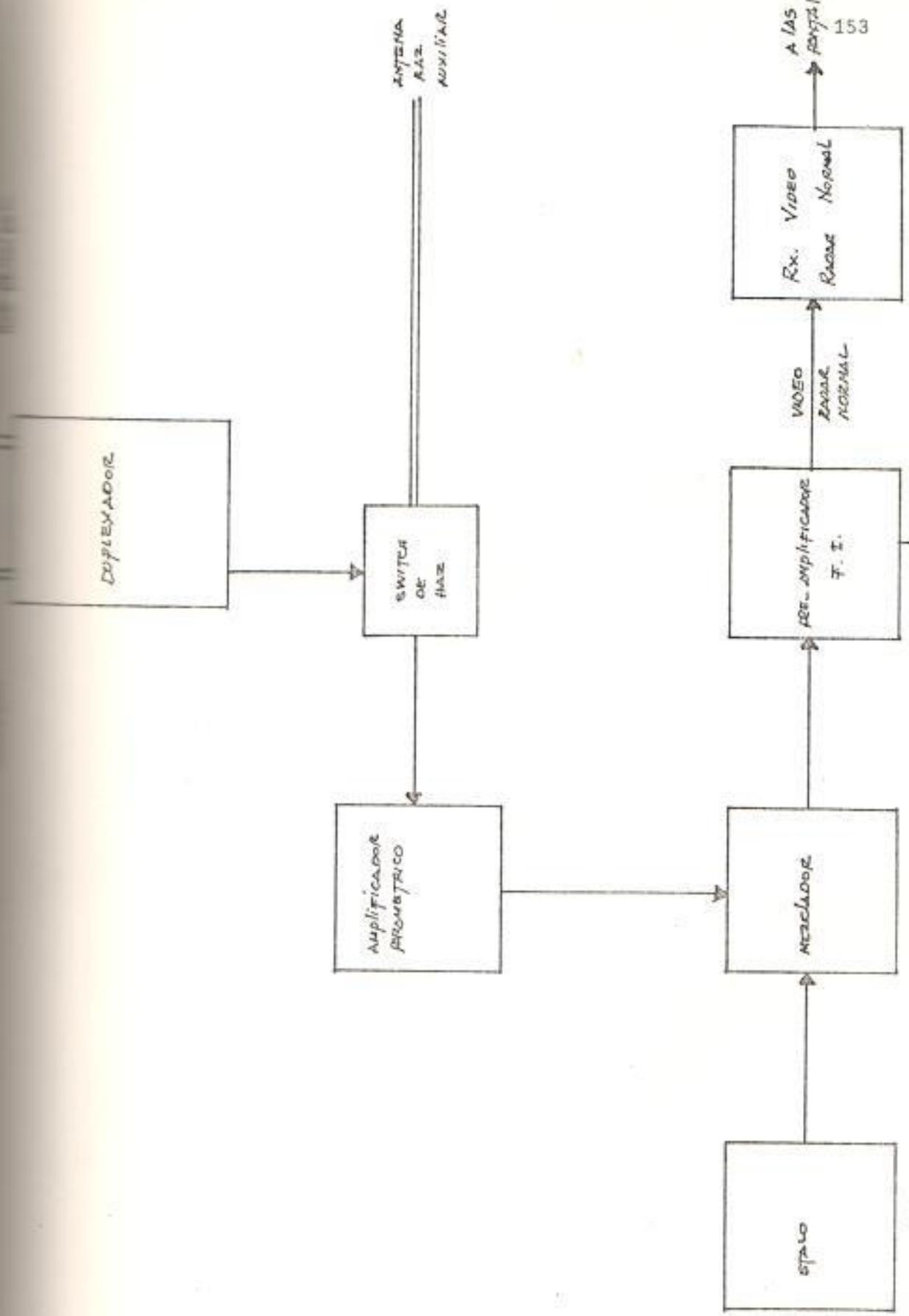


FIG # 2-13 el RECEPTOR DE RAZAR PRIMARIO

2.2.1. El Amplificador Paramétrico

La amplificación paramétrica no es un desarrollo reciente, pues data desde un poco antes de 1800.

En esa época, el principio era usualmente demostrado por algunos dispositivos mecánicos. La terminología "Amplificación Paramétrica" fue adoptada más recientemente y significa amplificación por variación de un parámetro del Circuito. El Parámetro que se hace variar es la capacitancia de un diodo varactor.

La diferencia mas significativa de los amplificadores paramétricos con los amplificadores convencionales es la fuente de energía. En un amplificador convencional se aplica una entrada AC y en la salida se recoge una señal de mayor amplitud AC. Esto es el resultado de la conversión de energía DC, suministrada por la fuente de poder, en energía AC.

En la amplificación paramétrica, la ener

gía AC de una frecuencia dada es convertida en energía AC de otra frecuencia.

El amplificador convencional es esencialmente una resistencia variable, en cambio que el amplificador paramétrico es una reactancia variable.

Principio Básico de Operación

Existen varias analogías mecánicas para auxiliar la comprensión cualitativa del principio de la amplificación paramétrica en electrónica.

Un columpio demuestra muy bien el principio. Para conservar el columpio en movimiento, o para aumentar la amplitud del movimiento, la persona tiene que elevar el centro de gravedad en el punto más alto de la excursión y gradualmente lo baja en el regreso.

Este procedimiento es usualmente llamado "bombeamiento" del columpio. En esta analogía, la persona es la bomba, esto es, la fuente de energía para aumentar la excursión.

sión, y el parámetro variado es la longitud efectiva de las cuerdas de sustentación. Hay que notar la importancia del sincronismo de la bomba para poder obtener la amplificación, se dice, en ese caso, que el bombeamiento es de "fase coherente optima" si la frecuencia de bombeamiento es exactamente dos veces la frecuencia natural de resonancia del dispositivo. La palabra optima se refiere a la fase de la bomba que da la máxima amplificación.

En el circuito tanque mostrado en la figura 2-14, supongase que el mismo ya está excitado en su frecuencia natural de resonancia, f_r , la carga en el capacitor es:

$$q = C e_c \quad (2 - 9)$$

q = carga instantanea en el capacitor.

e_c = tensión instantanea en el capacitor

La tensión a través del capacitor es senoidal como se indica en la fig.2-15a.

Si la distancia entre las placas pudiese -

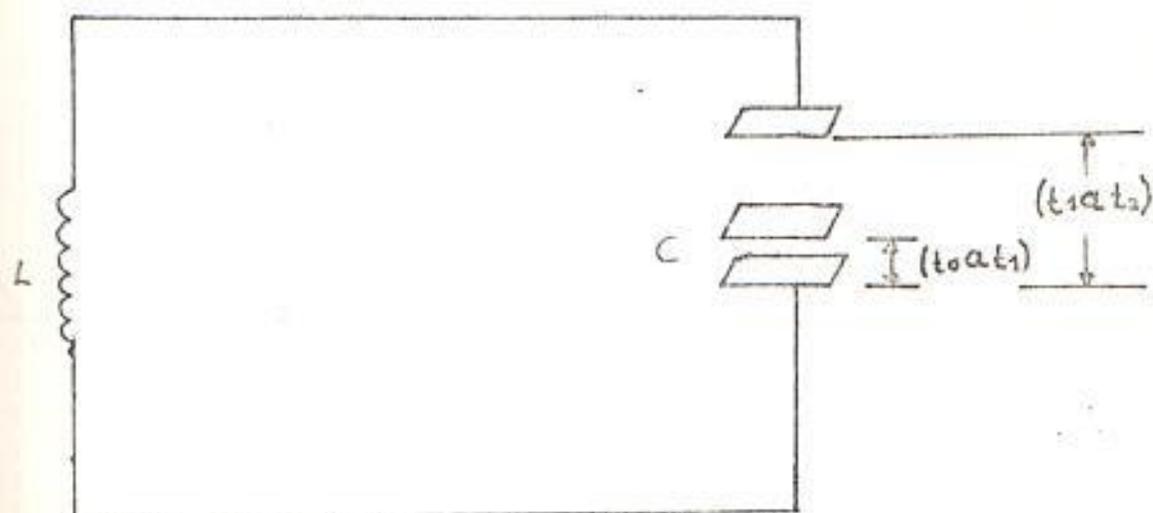


FIGURA 2.14 : CIRCUITO TANQUE

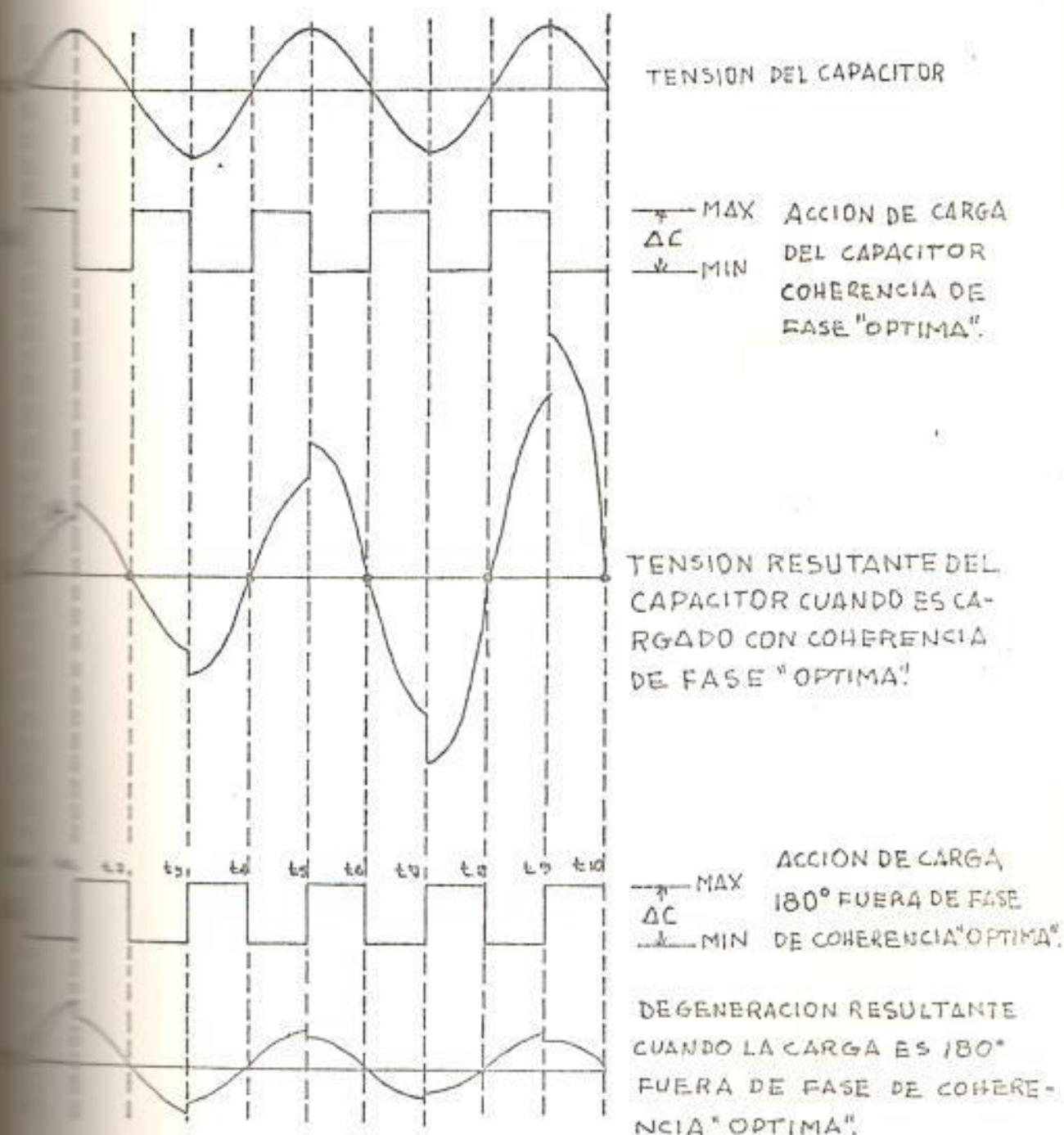


FIGURA 2-15 : FORMAS DE ONDA DEL CIRCUITO TANQUE DE LA FIG 2-14

ser aumentada, subitamente, del tiempo t_1 a t_2 , C disminuiría. De acuerdo con la ecuación (2-9), una disminución de C requiere un aumento en e_c .

La fig. 2-15c indica la variación de la tensión resultante cuando hay bombeamiento.

La acción de bombeamiento esta indicada por la forma de onda de la fig. 2-15b.

El aumento de energía resultante del aumento de tensión en el capacitor es suminis-trado por el dispositivo usado para desplazar las placas del capacitor. Se requiere trabajo en los instantes t_1, t_3 , etc., para apartar las placas del capacitor debido al campo eléctrico existente entre ellas por la presencia de la carga en C . En los instante t_2, t_4 , etc., no hay carga en el capacitor y, consecuentemente, ningún trabajo es necesario para que las placas del capacitor retornen a su posición original.

La fig. 2-15b indica que la frecuencia de bombeamiento (f_p) es el doble de la fre

cuencia de resonancia y la fase de bombeamiento en relación a f_r es optima. Si la fase de bombeamiento fuese desplazada 180 grados como se indica en la fig.2-15d, el circuito tanque cederá energía para la bomba resultando en una forma de onda decreciente indicada en la fig. 2-15e.

El problema mas evidente que se presenta en un receptor de radar es el de la fase. La fase de la señal reflejada es imprevisible. También, en el caso del receptor de radar, donde la frecuencia de la bomba será del orden de los Gigahertz, el bombeamiento tendrá que ser senoidal en vez de una onda cuadrada como ha sido idealizada hasta este momento. Estos problemas se pueden resolver con el uso de dos circuitos tanque como se indica en la fig. 2-16a, donde se supone que ya fueron excitados en sus frecuencias naturales de resonancia. La tensión a través del capacitor de acoplamiento (Diodo Varactor) es la suma de las tensiones de los dos circuitos tanques, V_s y V_1 .

La tensión en el capacitor es mostrado en

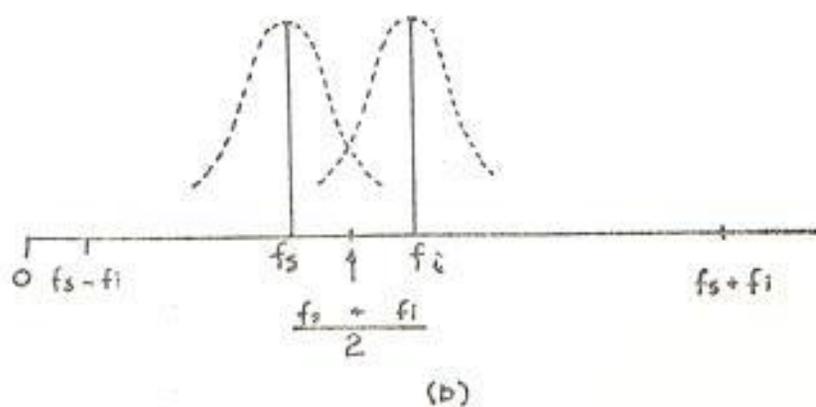
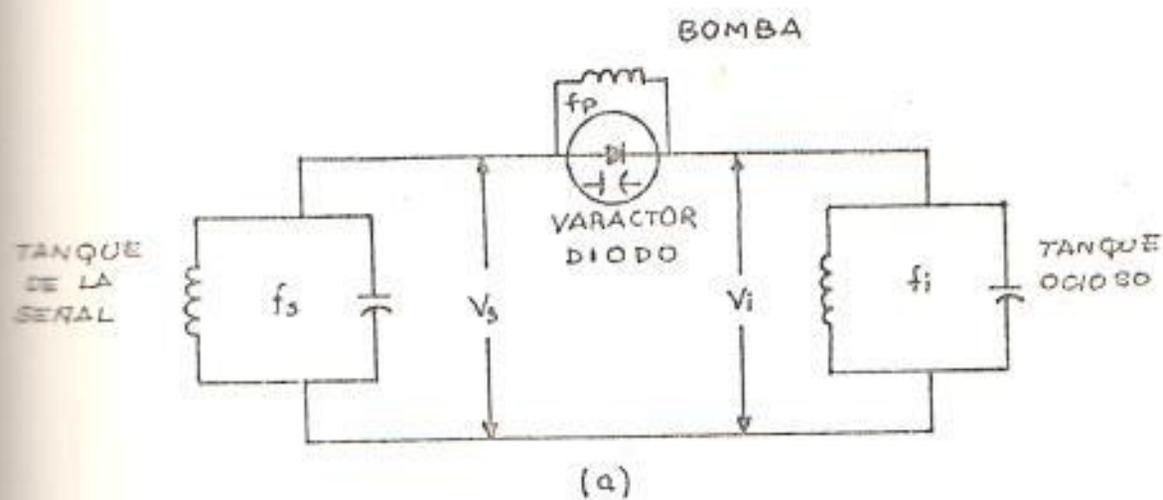


Figura 2-16 - AMPLIFICADOR DE DOS TANQUES

la fig. 2-- 17c. La fig. 2 - 16b indi
ca el espectro de las dos frecuencias.

Observemos en la fig. 2 - 17c la compo
nente alterna que tiene periodo $2/(f_s + f_i)$,
ó frecuencia de $(f_s + f_i) / 2$. En otras
palabras, es la frecuencia media entre
 f_s y f_i . Ahora, si C es bombeado co
mo se indica en la figura 2 - 17e. E
videntemente entonces, de la fig. 2-17d,
la frecuencia de la bomba puede ser es
crita como:

$$f_p = 2 \frac{f_s + f_i}{2} = f_s + f_i \quad (2 - 10)$$

La componente alterna que aparece en -
las figuras 2 - 17c y 2 - 17e se pue
de decir que es de frecuencia $1/2 f_p$.

Esta es la coherencia de fase optima
indicada en la figura 2 - 17e y como
los amplificadores paramétricos de ra
dar funcionan.

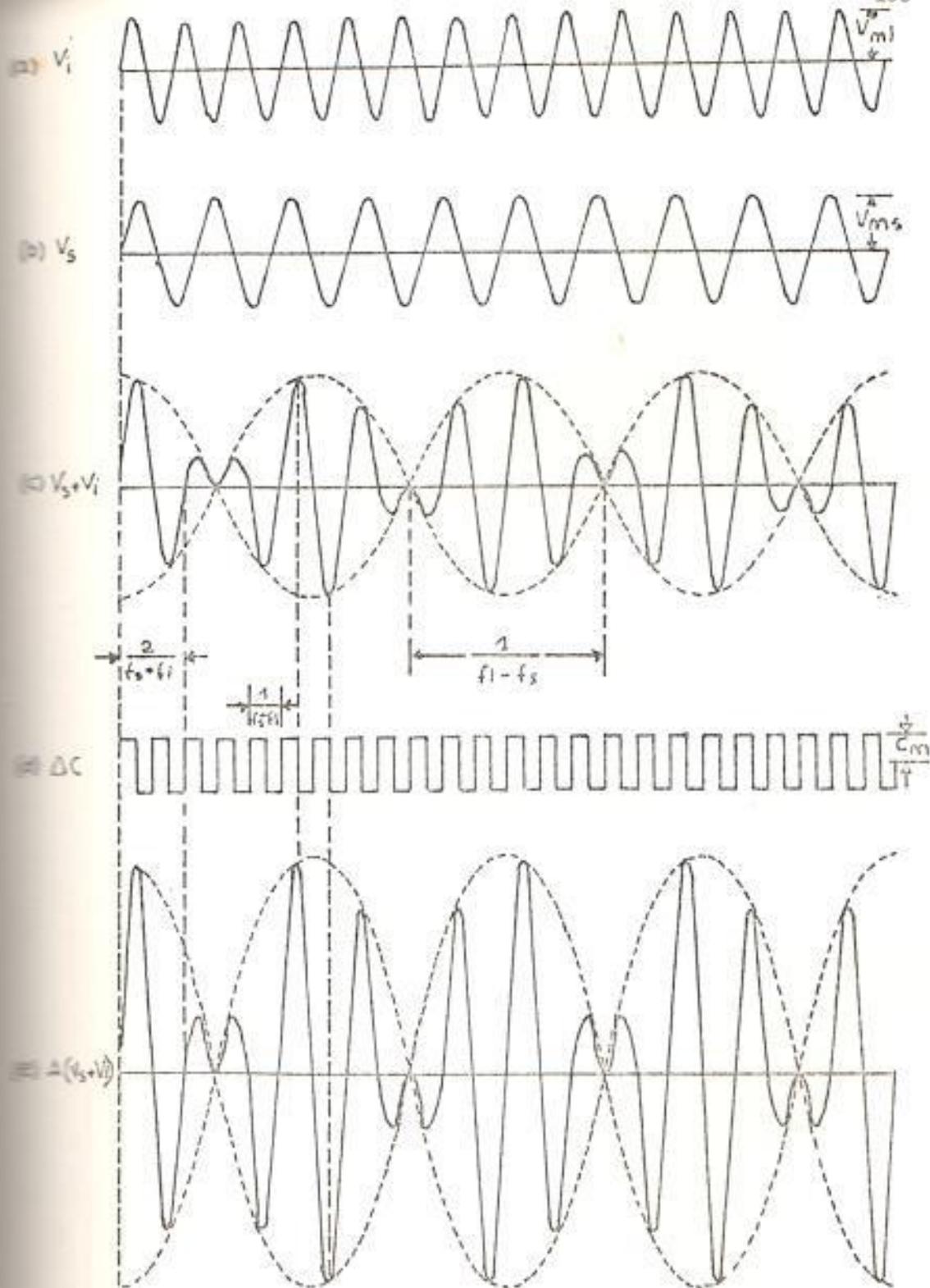


Figura 2-17 : FORMAS DE ONDA DEL CIRCUITO DE LA FIG 2-16

2.2.2. El indicador de blancos móviles

La presentación de un indicador básico de radar del tipo PPI está indicado en la figura 2-18, la cual indica todos los tipos de blanco del radar que suministran un eco razonable. Estas indicaciones de blancos muy fuertes son debidas a blancos próximos a la tierra. Estos ecos fuertes enmascaran los ecos que puedan venir de los aviones volando en esa área.

La fig. 2-19 indica algunos blancos comunes dentro del alcance del radar en cierto azimut, en este caso el operador no quiere ver los ecos producidos por los edificios o por las colinas. En cambio, él está interesado en las informaciones de los aviones A, B y C. El avión B no sería visto, pues los ecos de la ciudad obscurecerían los ecos del avión.

Podríamos eliminar los ecos de la ciudad inclinando mas la antena; los aviones A y B serían detectados mas el avión C no sería detectado, pues el haz principal de la

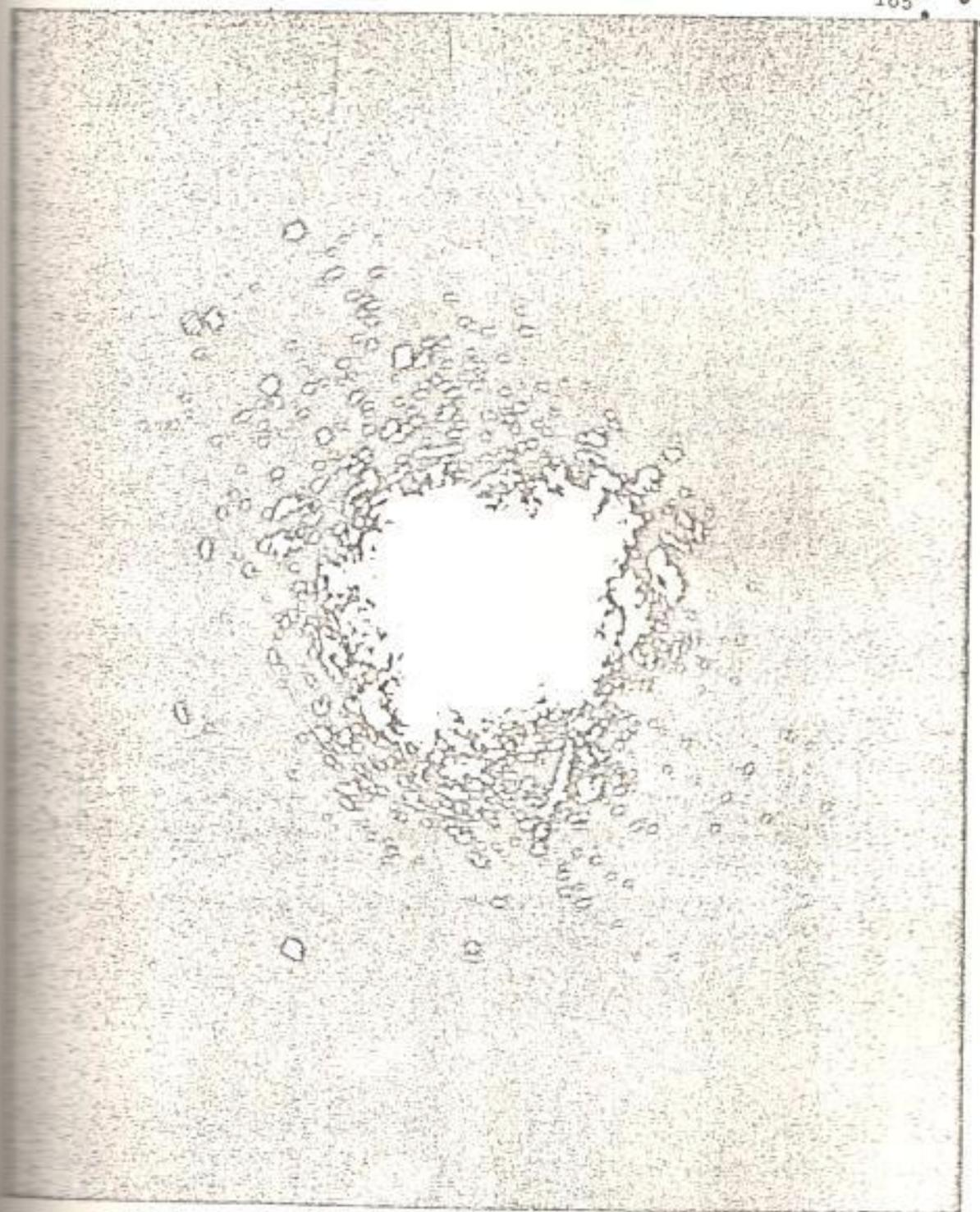
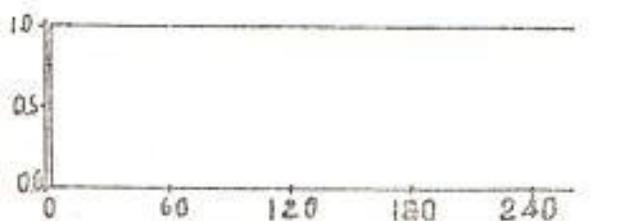


fig. 2-18: Presentacion Normal de
video de un P.P. I.



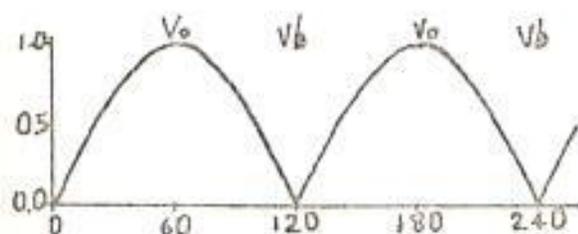
Figura 2-19 VISTA DE PERFIL INDICANDO BLANCOS TÍPICOS DE RADAR.

SALIDA VIDEO MTI



CURVA: SALIDA DE VIDEO VS VELOCIDAD PARA MTI IDEAL

SALIDA VIDEO MTI



CURVA: SALIDA DE VIDEO VS VELOCIDAD PARA MTI REAL

Figura 2-20 RESPUESTA DE SISTEMA DE MTI VS VELOCIDAD RADIAL

antena estaría orientado por encima de él. Así, inclinando la antena elimina los ecos del terreno pero al mismo tiempo reduce la cobertura en las bajas altitudes.

La solución es el equipo MTI que solamente detecta los blancos móviles.

Desventajas del MTI

La mayor desventaja del MTI es su incapacidad de presentar todos los aviones pues depende de la velocidad radial del avión. En la fig. 2-20 se indica la respuesta del MTI vs la velocidad radial de un MTI perfecto, también se indica la respuesta vs. la velocidad radial para un MTI real. En la curva de respuesta del MTI algunas velocidades producirán respuestas máximas y son llamadas velocidades óptimas, v_o . En otras velocidades específicas diferentes de cero la respuesta del MTI cae a cero, y los blancos que vuelan en estas velocidades no serán vistos en la pantalla del PPI; esas velocidades son llamadas velocidades ciegas, v_b .

Principio del MTI

Para el caso de un blanco fijo, el pulso - del radar irá de la antena hasta el blanco y retornará. Como este pulso recorre el doble de la distancia, entre la antena y el blanco, a una velocidad constante para cada intervalo entre pulsos, el tiempo de recorrido de ida y vuelta para cada intervalo será siempre el mismo; es decir, no habrá diferencia de alcance, o de tiempo - que el pulso toma en el camino de ida y vuelta, es ésta la característica que usa el MTI para separar los ecos de blancos fijos de los ecos de blancos móviles.

La fig. 2-21 presenta un ejemplo típico: un avión con velocidad radial de 550 nudos en un sistema de radar con un intervalo entre pulsos de 833 microsegundos, con un alcance inicial para el primer pulso de 10 millas.

La pequeña variación en alcance ΔD ; entre pulsos se obtiene multiplicandose la velocidad radial del avión por el intervalo en

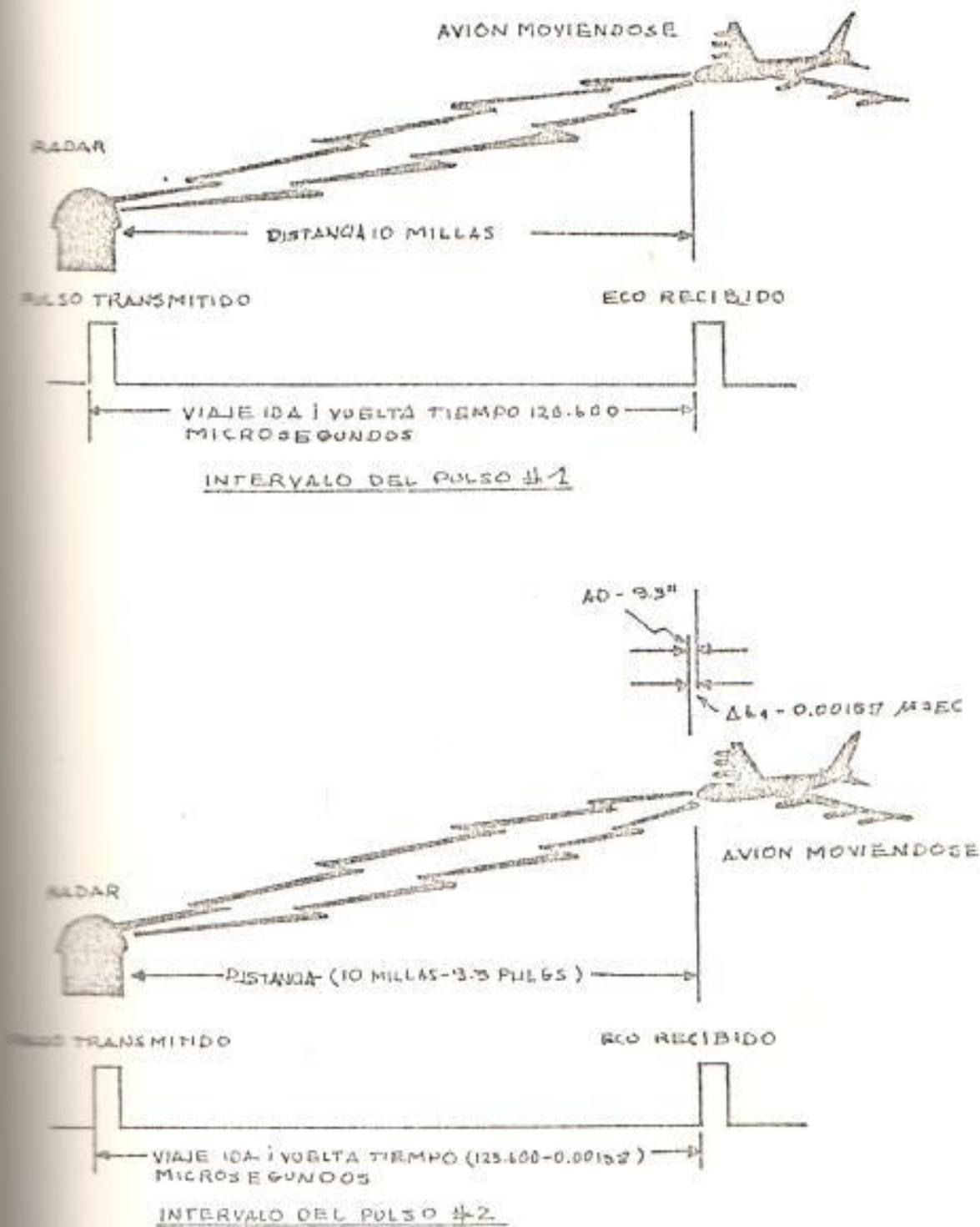


Figura 2-21 DISTANCIA QUE EL AVIÓN RECORRE EN UN INTERVALO DE PULSOS

tre pulsos, es decir:

$$\Delta D = 550(6076,1) \cdot (12) \cdot (2,54) \cdot (833 \times 10^{-6}) / 60.60$$

$$\Delta D = 23,6 \text{ cm.}$$

Esta diferencia de alcance no puede ser detectada en el indicador, Veamos ahora la diferencia de tiempo entre un pulso y otro para el recorrido de ida y vuelta del pulso. será:

$$\Delta t_1 = 2\Delta D/c = 2 \cdot (23,6) / 3 \cdot 10^{10}$$

$$\Delta t_1 = 1580 \text{ picosegs.}$$

Si el transmisor de radar tiene una frecuencia de operación de 3000Mhz, el periodo de tiempo de un ciclo en esta frecuencia es 333 picosegs. En relación a la figura 2-21, el número de ciclos de RF que ocurren en el tiempo de ida y vuelta es:

$$N = 123.600 / 333 \times 10^{-6} = 371.171,171 \text{ ciclos}$$

El tiempo de duración de un ciclo también puede ser expresado en términos de fase eléctrica como 360 grados, entonces, para un

alcance de 10 millas la fase equivalente es:

$$\begin{aligned}\phi_1 &= 371.171(360^\circ) + 0,171(360^\circ) \\ &= 371.171(360^\circ) + 61,6^\circ\end{aligned}$$

A exactamente 10 millas, el tiempo de ida y vuelta puede ser expresado como un número entero de longitudes de onda de RF más 61,6 grados de fase eléctrica.

Entonces necesitamos un proceso de marcación electrónica de los ecos, de forma que la diferencia de alcance de pulso a pulso pueda ser detectado por los circuitos del MTI.

El esquema básico de marcación de ecos de un equipo MTI está indicado en la fig.2-22. En el mismo, el oscilador de referencia de tiempo es un oscilador muy estable que tiene su fase sincronizada con la fase inicial del pulso transmitido. La fase inicial del oscilador es establecida por una señal de sincronismo proveniente del magnetron y el oscilador continua oscilando en

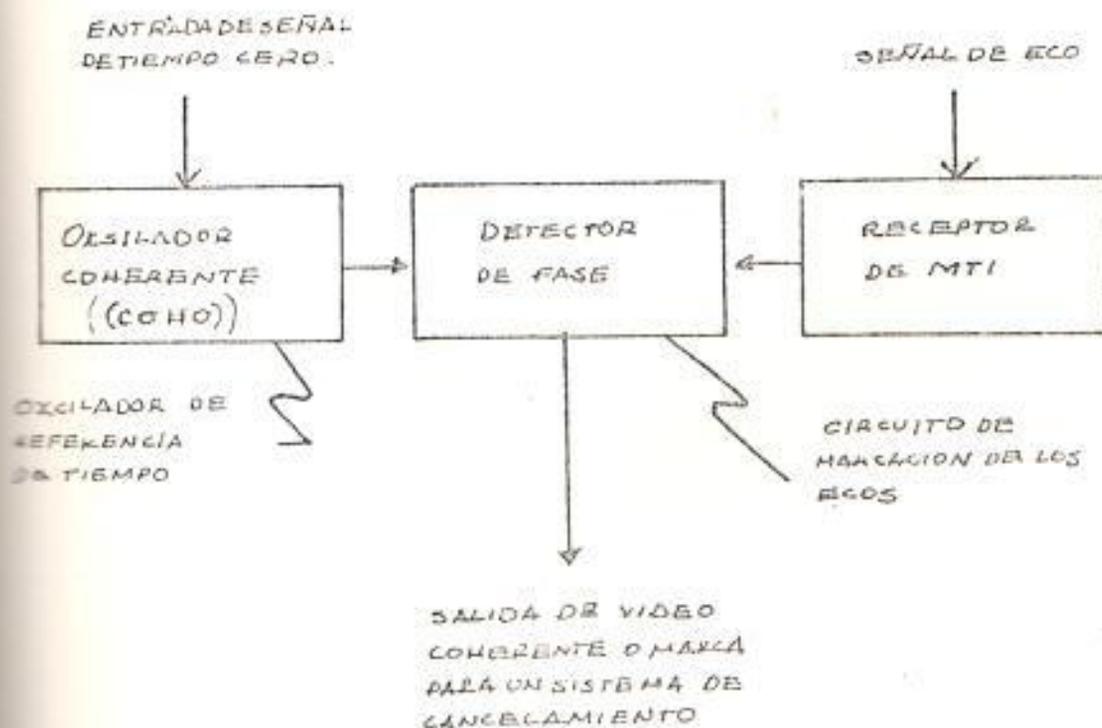


Figura 2-22 CIRCUITO BÁSICO DE IDENTIFICACIÓN DE ECOS DE UN MTI

su frecuencia propia hasta el próximo pulso del magnetrón. Durante el periodo siguiente de transmisión del radar, la fase del oscilador es de nuevo ajustada, y así con cada pulso transmitido, tratando de mantener la coherencia de la fase del oscilador con la fase del pulso transmitido, prácticamente el oscilador sustituye al magnetrón, pues éste queda desactivado después de cada pulso transmitido.

El circuito final de marcación de los ecos es un detector de fase, que produce una salida de video cuya amplitud y polaridad depende de la fase relativa de las dos señales de RF de entrada, su tensión de salida vs. la fase relativa esta en la figura 2-23. Cuando el eco llega, el detector de fase compara la fase del eco con la fase del oscilador coherente. El pulso de salida de video resultante del detector de fase tendrá una polaridad y amplitud propias, dependientes de esta diferencia de fase.

En nuestro ejemplo, la primera diferencia

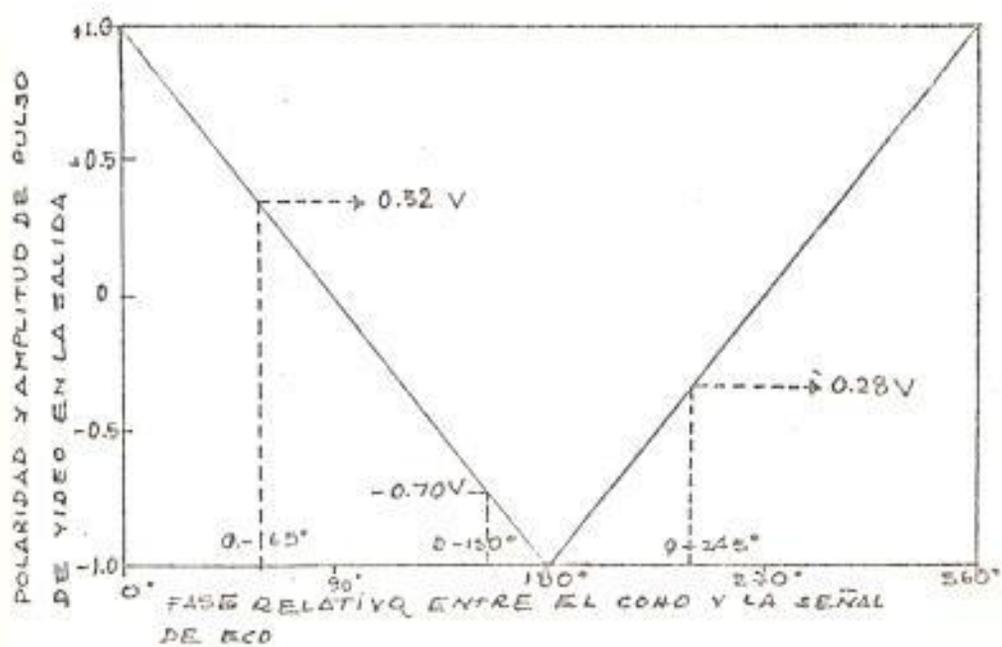


Figura 2-23 SALIDA VS CARACTERISTICA DE FASE RELATIVA DE DETECTOR DE FASE DE ONDA COMPLETA

de fase es 61,6 grados, observando en la curva del detector de fase vemos que la salida es de 0,32 voltios. Si este blanco fuera fijo, esta fase relativa produciría siempre una salida de video de 0,32 voltios.

Para el segundo pulso en nuestro ejemplo, la fase relativa es 153,4 grados, refiriendonos a la curva del detector de fase observamos que la nueva salida de video es de -0,70 voltios.

Este es el proceso básico de marcación de los ecos en los equipos MTI de la FAA.

Ahora podemos comprender porque los blancos en movimiento a velocidades ciegas no aparecen en la pantalla. Si la diferencia de fase de un blanco en movimiento es de 360 grados o un múltiplo entero de este valor, este blanco no puede ser distinguido en la pantalla. Este blanco produce un pulso de salida de video de amplitud y polaridad constantes de pulso a pulso en cualquier barrido de antena.

Los circuitos de marcación de los ecos no son necesariamente circuitos de memoria. Tan pronto un eco entra al detector de fase, el circuito lo identifica y lo envía a los circuitos de cancelamiento y espera el próximo eco para identificarlo.

La fig.2-24 presenta un diagrama de bloques simplificado de un sistema de cancelamiento. Los pulsos de video marcados provenientes del detector de fase se separan y recorren caminos diferentes.

Uno de estos caminos es a través de un canal sin retardo y es entonces aplicado a una entrada del circuito de cancelamiento de blancos fijos (es un circuito que adiciona pulsos). El otro camino de la señal coherente de video tiene un retardo igual a un intervalo entre pulsos, en nuestro ejemplo 833 microsegs. Además este canal tiene un inversor de polaridad. Estas señales tienen, entonces, su polaridad invertida y entran al circuito de cancelamiento.

La fig.2-25 indica graficamente el proce-

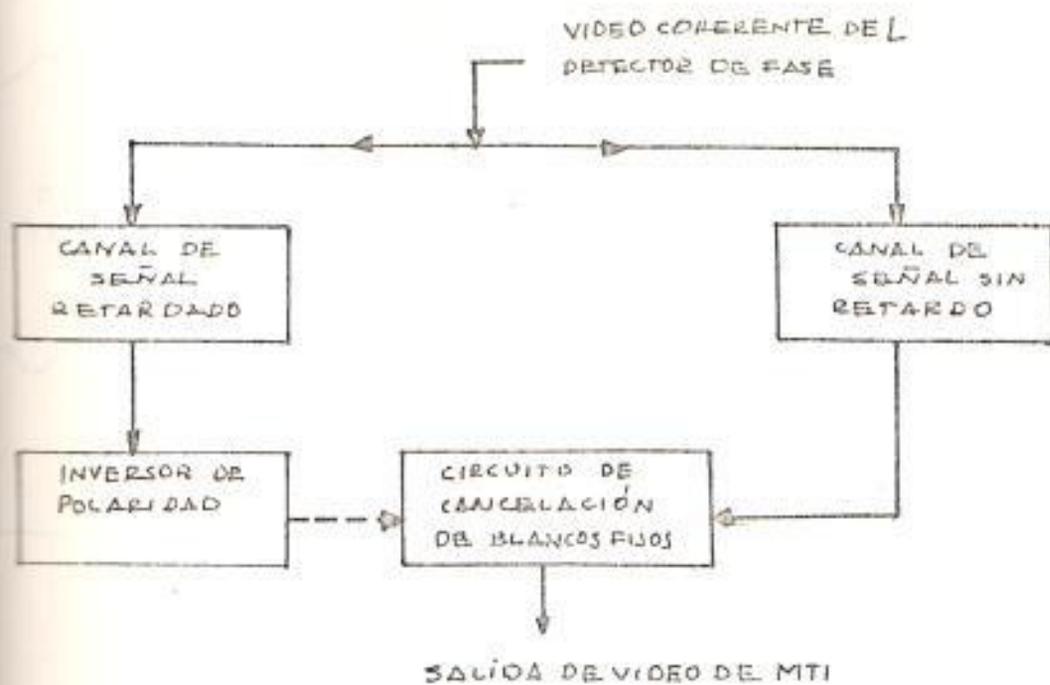


Figura 2-24 CIRCUITO BÁSICO PARA CANCELAMIENTO DE BLANCOS FIJOS DE MTI

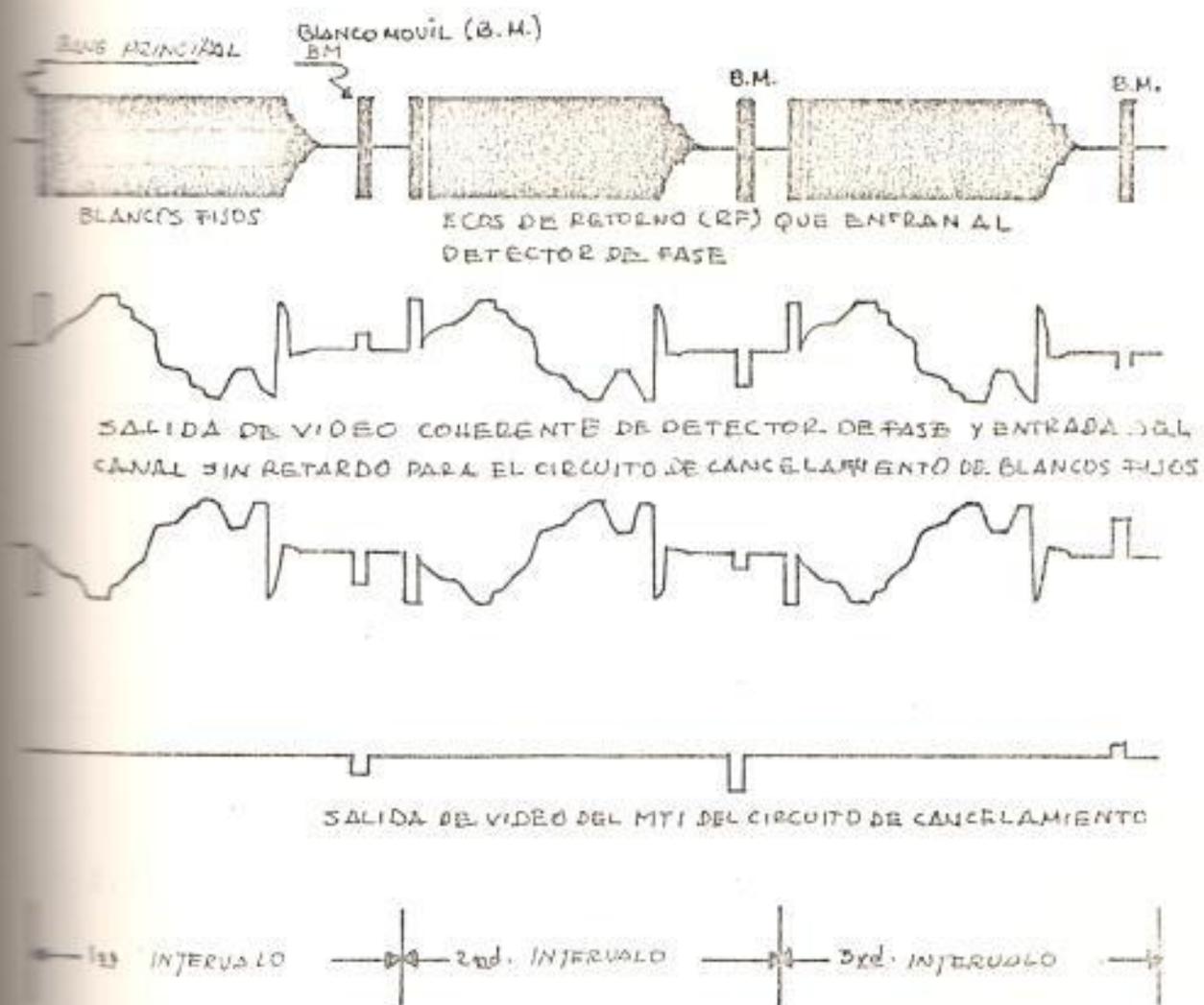


Figura 2-25 FORMAS DE ONDA MTI PARA CUATRO INTERVALOS DE PULSO SUBSISIVOS EN DIFERENTES PUNTOS DEL SISTEMA DE MTI.

so de cancelamiento para tres intervalos de pulso sucesivos de un barrido de antena.

La forma de onda del tope de la figura re presenta los ecos RF que retornan y que en tran al detector de fase. La forma de on da siguiente indica la salida coherente del circuito de cancelamiento. La tercera for ma de onda es la salida del canal retarda do en un intervalo entre pulsos y con pola ridad invertida. El cuarto gráfico indica el resultado de la suma de las señales de los dos canales; las señales de video fijo son cancelados quedando solamente los pul sos de video de los blancos móviles que van al indicador.

2.3. LAS PANTALLAS DEL RADAR PRIMARIO

Un sistema de radar tiene por finalidad medir la distancia y el azimut de un blanco. Como el pul so de radar viaja a la velocidad de la luz, la distancia a un blanco puede ser medida en términos del intervalo de tiempo que toma el pulso para viajar hasta el blanco y retornar. Este tiempo corresponde a dos veces la distancia de la antena al blanco. La distancia indicada por el radar es en línea recta. Si una aeronave esta volando a

cierta altitud, entonces la distancia indicada por el radar será mayor que la distancia verdadera, - conforme se indica en la fig. 2-26.

2.3.1. Indicador de posición plano (PPI)

El tipo más común de presentación de los ecos en radar es el del tipo PPI (Plan position Indicator). Este tipo de indicación, nos da la distancia y el azimut del blanco. El inicio del barrido en el PPI es en el centro de la pantalla, y está sincronizado con el disparo del transmisor. El tiempo necesario para que el barrido recorra desde el centro hasta el perímetro exterior - del tubo de rayos catódicos puede ser variado, y, así, el radio puede representar una gran variedad de distancias.

El barrido es girado en torno del tubo en sincronismo con el giro de la antena. Como el barrido está siempre girando debemos usar algún método para mostrar la posición del blanco. El PPI usa el método de intensidad Modulada. La intensidad del haz de electrones es aumentada y entonces aparece



Figura 2-26 ILUSTRACION DE DISTANCIA INCLINADA Y3 DISTANCIA VERDADERA

rá un punto con brillo más intenso. De esta forma tenemos la distancia y azimut indicados simultaneamente.

Marcadores de Distancia (RANGE MARKS)

La distancia de un blanco puede ser determinada más fácilmente si se muestran en el indicador puntos de referencia con distancias conocidas. Si a cada 12,35microsegundos modulamos en intensidad el haz de electrones del TRC, tendremos puntos brillantes en la pantalla, que corresponderan cada uno de ellos a una milla de distancia. Como el barrido gira, las marcas de distancia apareceran como anillos concéntricos. Ver fig. 2-27.

Cursor

Los PPI también están equipados con una manera de producir una línea de barrido que puede ser posicionada manualmente y comenzar en cualquier punto del tubo. Este artificio permite determinar el rumbo entre el blanco y cualquier punto de la pantalla.

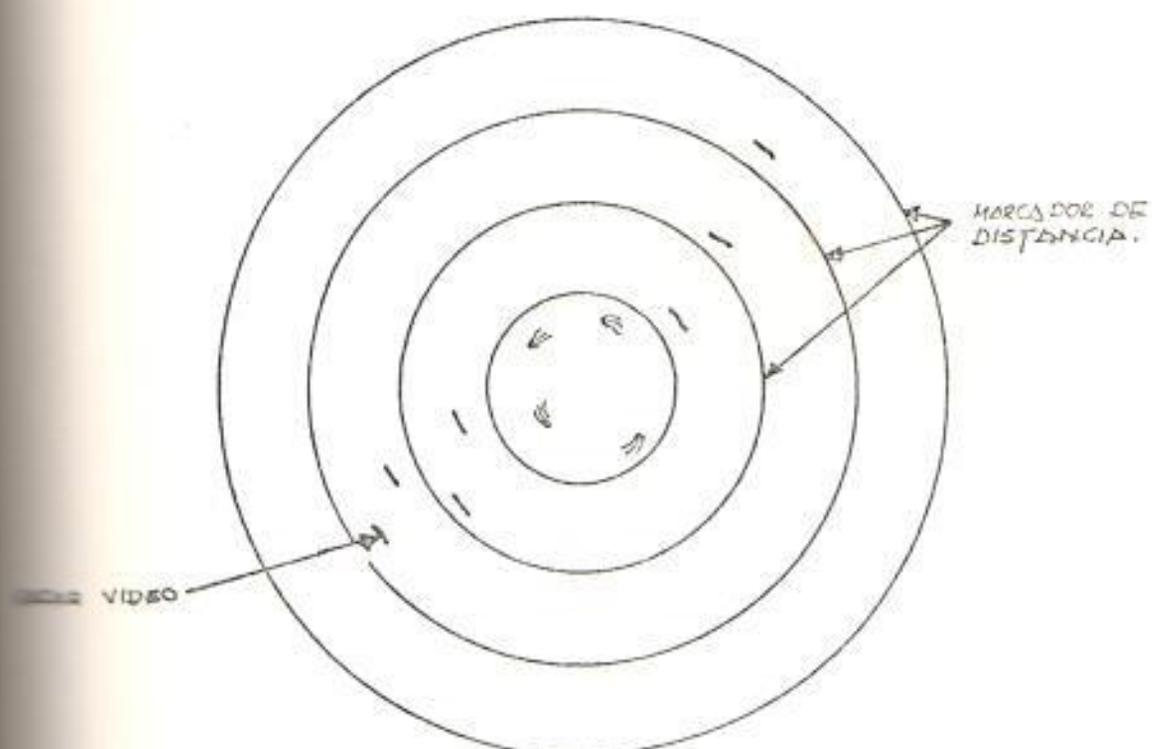


FIG # R-27 PRESENTACION DEL PPI

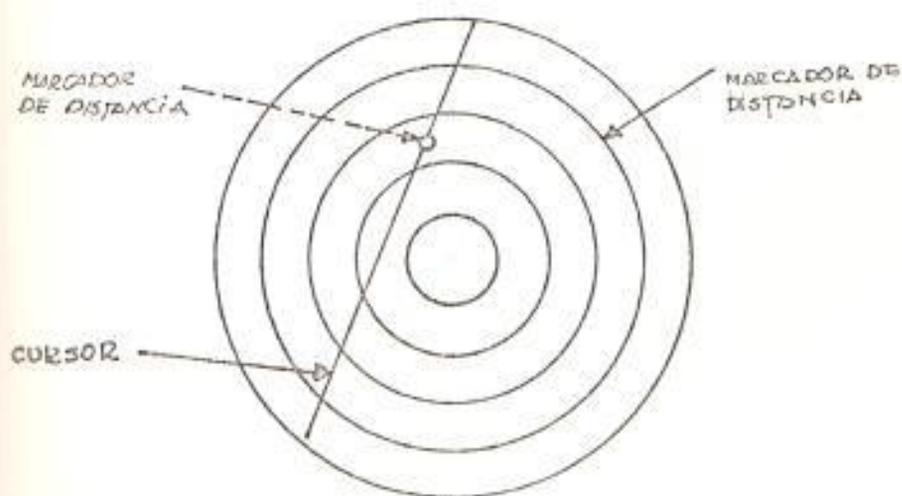


FIG # R-28 PPI CON CURSOR

Un marcador de distancia variable se incluye también en este sistema, de modo que la distancia entre dos puntos cualesquiera puede ser fácilmente determinada. Ver figura 2-28.

Video Mapa

Otros tipos de informaciones pueden ser adicionados en la pantalla. Una de ellas se llama Video Mapa, que es desarrollada electrónicamente y aparece en la pantalla como líneas y símbolos que indican la posición de aeropuertos, obstáculos, etc.

C A P I T U L O I I I

RADAR SECUNDARIO

El prototipo de los sistemas de radar secundario de vigilancia S.S.R. = Secondary Surveillance Radar usados hoy se desarrolló en los comienzos de la segunda guerra mundial, con el fin de identificar los ecos de aeronaves como amigos o enemigos. Este sistema usaba equipo en tierra para transmitir una señal de interrogación a la aeronave y un receptor/transmisor en la aeronave para transmitir una respuesta a la estación en tierra. La señal interrogadora era recibida por el receptor de la aeronave y decodificada. Si el receptor transmisor de la aeronave estaba programado para responder a esta señal de desafío, la parte transmisora del equipo enviaba una señal a la estación terrestre. Esta señal era procesada por el equipo terrestre y presentada en una pantalla radar.

Si la respuesta era satisfactoria, se asumía que la aeronave era amiga. Este equipo se llamó IFF (Identification Friend or Foe). El IFF funcionó satisfactoriamente durante ese periodo de guerra y fue una contribu

ción valiosa para el desarrollo progresivo del sistema SSR.

Los conceptos básicos de un SSR son esencialmente muy parecidos a los de un IFF de tiempo de guerra. Sin embargo, la capacidad tanto del equipo terrestre como del de a bordo han aumentado considerablemente. Esto resulta en un sistema extremadamente versátil que permite al operador radar establecer identificaciones de aeronaves en forma rápida y segura y obtener otras informaciones cuando y según las necesite.

Los componentes básicos de un sistema SSR son: (Ver figura. 3-1)

- a) El interrogador
- b) El respondedor
- c) El extractor de gráfico .
- d) El procesamiento de datos de la aeronave.

El interrogador de un SSR efectúa una serie de "Preguntas" a las que el respondedor de a bordo "contesta". Las interrogaciones desde tierra se denominan "MODOS". Las respuestas desde el aire son codificadas. La interrogación terrestre o modo es transmitida direccionalmente y la respuesta o clave es transmitida omnidireccionalmente.

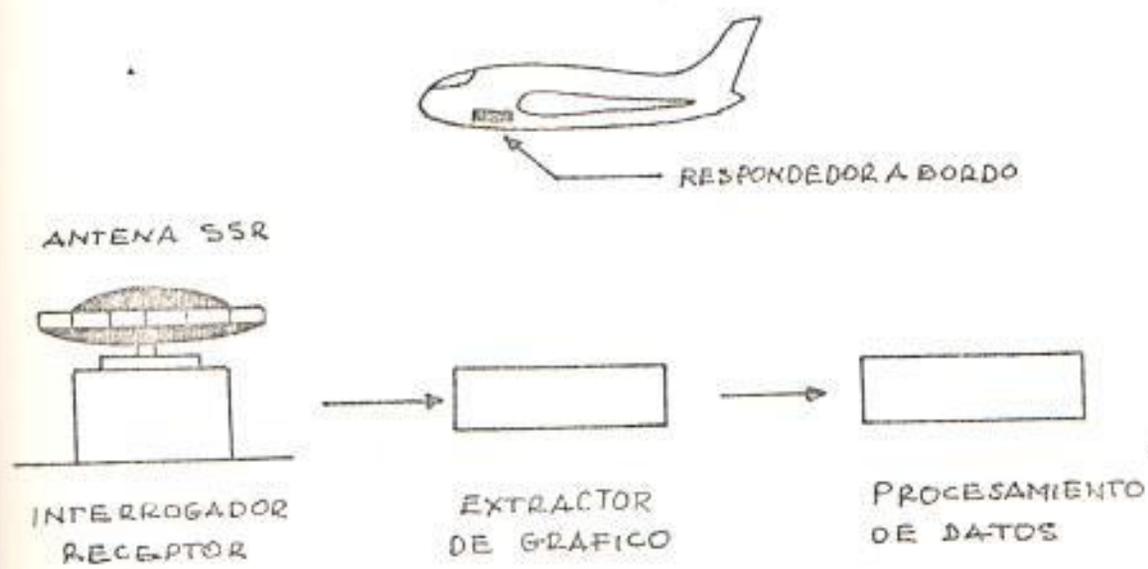


FIGURA # 3-1 COMPONENTES DE UN SISTEMA SSR

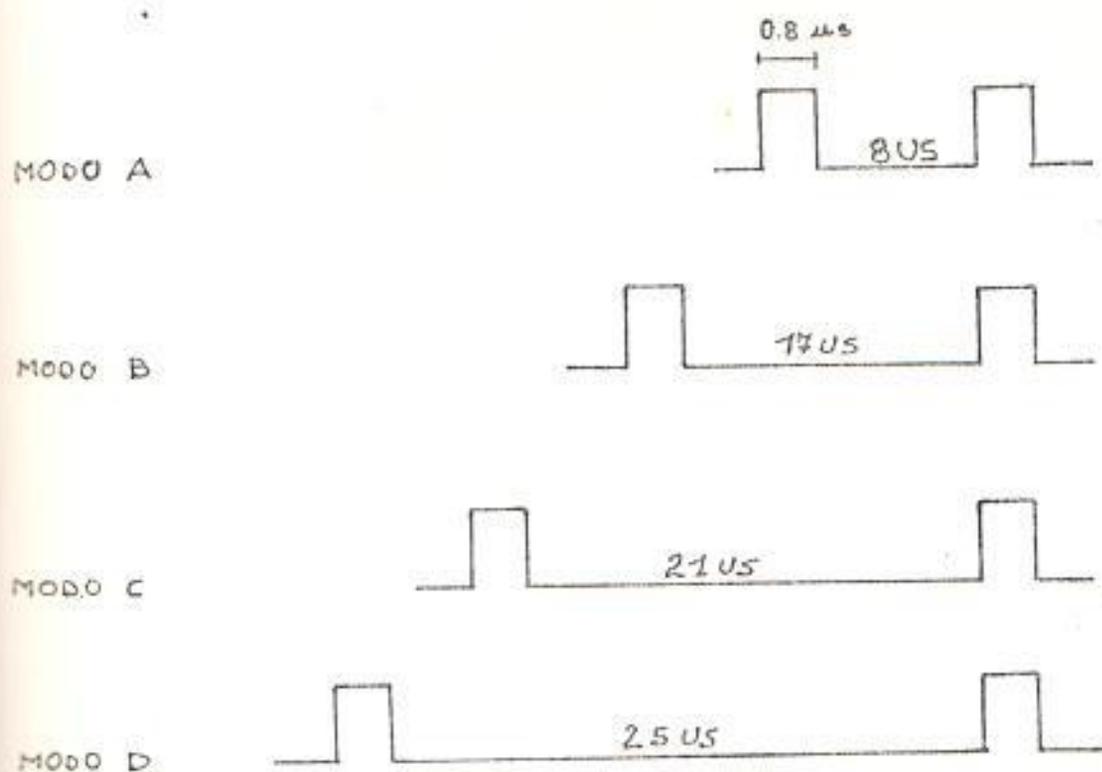
3.1. EL INTERROGADOR DEL RADAR SECUNDARIO

La función principal del Interrogador consiste en enviar transmisiones diferentes de radiofrecuencia, de acuerdo al MODO en uso. La acción del interrogador es similar a la que efectúa un transmisor de radar primario, en que ambos transmiten pulsos de energía extremadamente breves y potentes. La longitud de cada pulso del interrogador es de 0.8 us con potencias de hasta 1600 vatios. Esta potencia puede parecer pequeña si se la compara con la de un radar primario, pero debemos recordar que en este caso la energía viaja solamente en una dirección.

En ambos sistemas (Primario y Secundario) el intervalo entre transmisiones depende de la correspondiente frecuencia de repetición de pulsos, sin embargo existe una diferencia fundamental en las características de transmisión de los dos radares:

- a) El radar primario transmite pulsos individuales.
- b) Interrogaciones SSR están formadas por pares de acuerdo al modo de interrogación. Ver Fig.3-2.

La interrogación consiste en la transmisión de dos



Figura# 3-2 INTERVALO ENTRE PULSOS PARA MÓDOS DE INTERROGACION (FRECUENCIA DE TRANSMISION 1030 MHz)

pulsos llamados P_1 y P_3 . Se transmite un pulso de control P_2 inmediatamente después del primer pulso de interrogación P_1 . El intervalo entre P_1 y P_2 es de 2 μ s.

La duración de los pulsos P_1 , y P_2 y P_3 es de 0,8 microsegundos. El respondedor inicia su contestación a una interrogación válida 3,0 microsegundos después de la recepción del pulso P_3 .

En el radar secundario la frecuencia de repetición de pulsos (PRF) se denomina Frecuencia de Repetición de Interrogaciones (IRF-Interrogation Repetition Frequency).

3.1.1. Interlazamiento de Modos

Con el fin de utilizar modos distintos para distintas funciones es obvio que estos modos deben ser transmitidos separadamente entre ellos. Por lo tanto, los distintos modos deben ser transmitidos en secuencia, de acuerdo a las necesidades operacionales del operador. Esta mezcla en la transmisión de modos se conoce como interlazamiento de Modos. Ver fig. 3 -3.

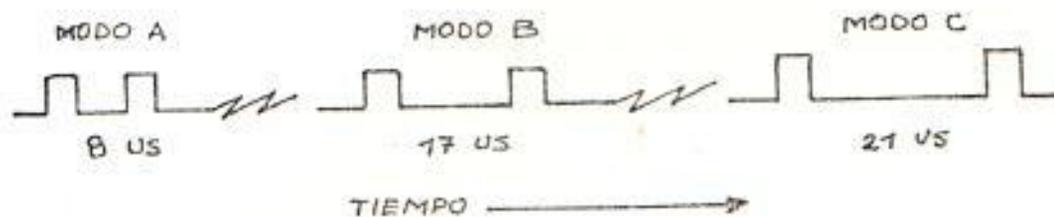


Figura #3-3 TRANSMISIONES CON INTERLAZAMIENTOS DE MODOS

POSICION DEL SWITCH DE INTERLAZAMIENTO	REVOLUCION DE ANTENA	1	2	3	4	5	6
	SENCILLO		A	A	A	A	A
DUAL		AB	AB	AB	AB	AB	AB
TRIPLE (i)		ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
TRIPLE (ii)		ABA	ABA	ABA	ABA	ABA	ABA
TRIPLE (iii)		ABD	ABD	ABD	ABD	ABD	ABD
AE (:2)		ABC	ABA	ABC	ABA	ABC	ABA
AE (:3)		ABA	ABC	ABD	ABA	ABC	ABD

Figura #3-4 PROGRAMAS TÍPICOS DE INTERLAZAMIENTO

La cantidad de tiempo de transmisión requerida por un determinado modo puede variar de acuerdo a las condiciones operacionales. Por esto, es conveniente que la programación de interlazamiento de modos sea susceptible de ser modificada de acuerdo con los requisitos operacionales en un momento dado.

En general, no es conveniente operar con un interlazamiento de más de tres modos debido a que el número de impactos por barrido, de cada modo transmitido, sería insuficiente para activar una respuesta.

De esta forma, si consideramos las transmisiones de modos como series repetitivas de diferentes transmisiones consecutivas, veremos que se puede entrelazar los modos - que deseemos, programando el transmisor para enviarlos en el orden deseado. Ver figura 3 - 4.

La selección de los modos de transmisión se hace desde el cuarto del transmisor primario, por medio del panel de llaves de control.

trol de modo. Ver fig. 3 - 5.

Se pueden seleccionar hasta tres modos para transmisión en modo entrelazado, y se puede escoger entre tres tipos de interlazo - miento en la configuración del sistema del aeropuerto "Simón Bolívar".

3.1.2. Combinación de Sistemas

Un SSR es capaz de operar independientemente, sin embargo, en la mayoría de los casos se encuentra acoplado a una estación de radar primario para proveer a este con un retorno libre de "Clutter", además de permitir una verificación mutua de la operación de los dos radares en cuanto a posición y azimut.

Para poder lograr una presentación común los dos radares están sincronizados en alcance y azimut. Normalmente el sincronizador de radar primario también envía una señal al Generador de Pulsos de Modo (GPM) - del SSR, el que a su vez activa el interrogador. Ver fig. 3 - 6.

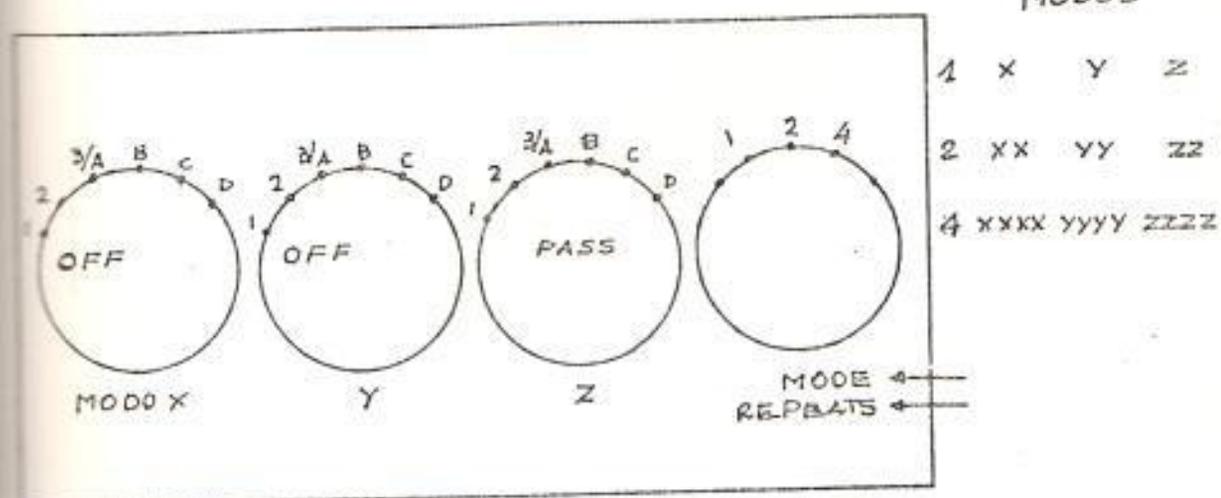


FIGURA #3-5 PANEL DE CLAVES DE CONTROL DE MODOS

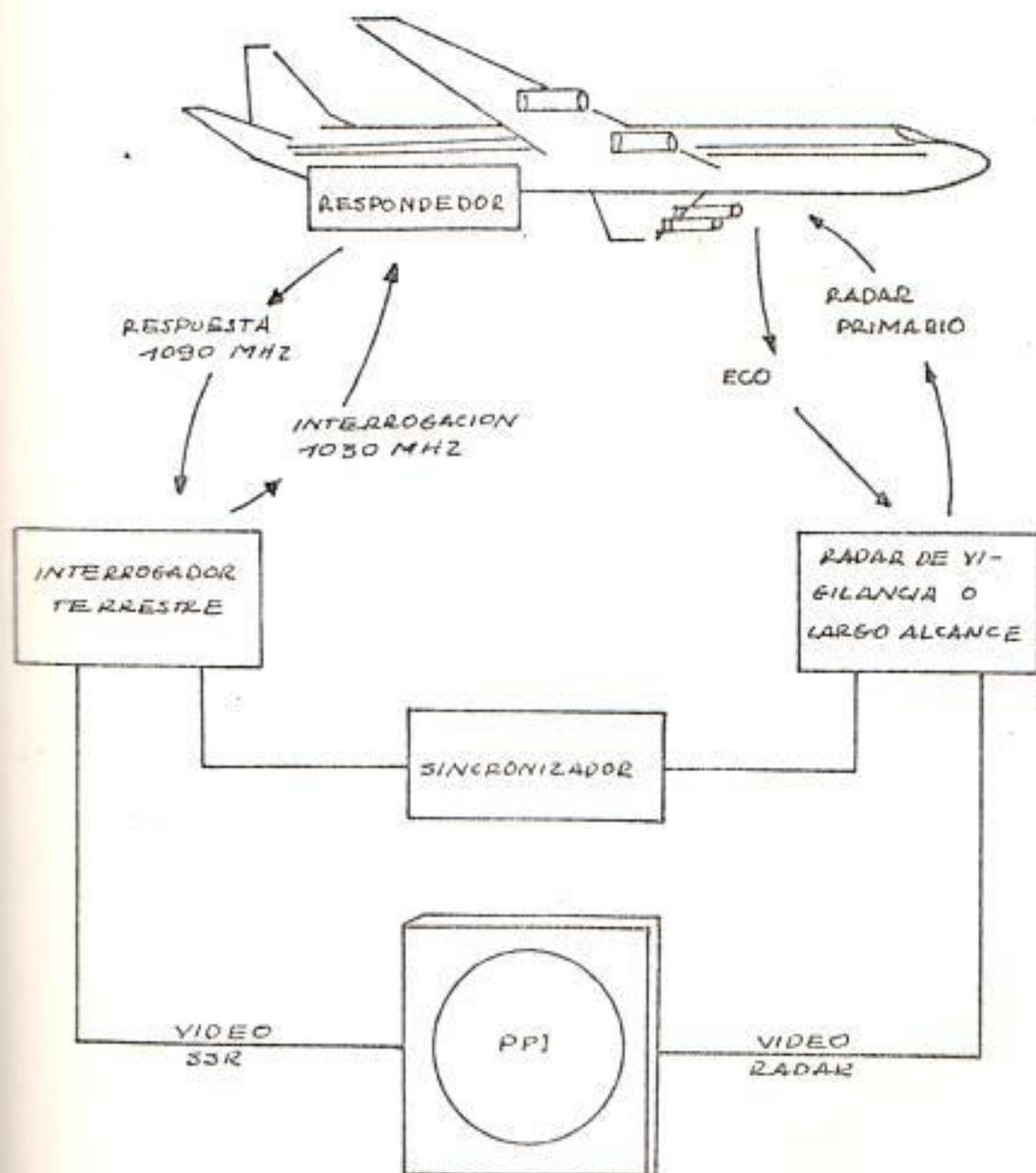


Figura #3-6 DIAGRAMA BASICO-RADAR PRIMARIO Y SSR

La correlación de alcance se logra transmitiendo la pareja de pulsos SSR un tiempo - predeterminado antes del pulso del radar - primario con el fin de compensar el tiempo de procesamiento de la señal SSR en el respondedor, en el extractor de gráfico y en el procesador de gráfico; de este modo las dos señales coinciden en tiempo en la presentación Ver Fig. 3 - 7.

Si el PRF del radar primario es alto, se puede programar el GPM para operar el interrogador una vez por cada dos pulsos de radar primario. Un par de pulsos SSR no necesariamente tiene que acompañar a cada - pulso de radar primario.

La correlación de azimut se logra, normalmente, montando la antena SSR sobre la antena de radar primario, utilizando un mismo pedestal. Ver figura 3 - 8.

Respuestas

El respondedor es el componente en la aeronave de un SSR y consiste de las siguientes

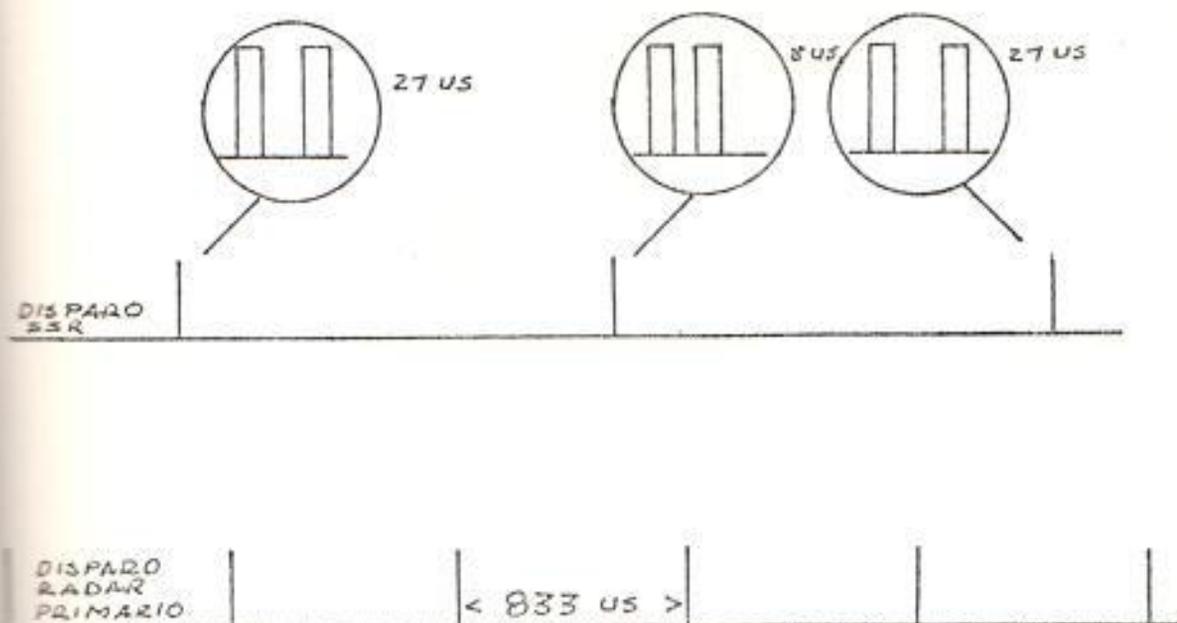


Figura #3-7 RELACION DE DISPAROS DE RADAR PRIMARIO Y SSR

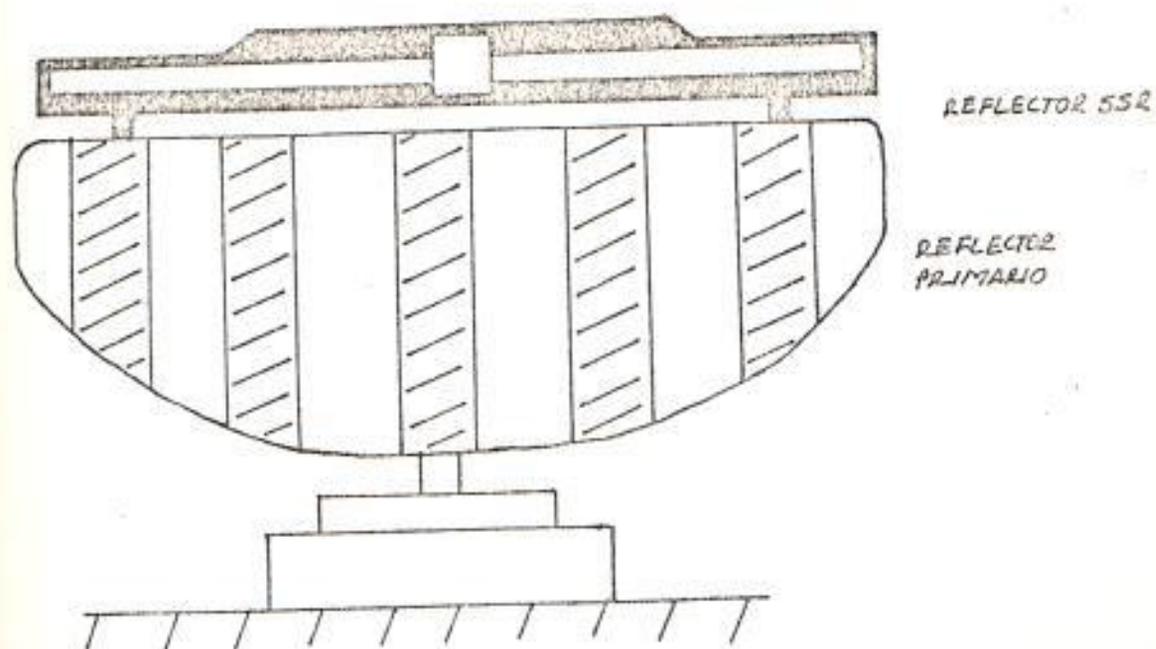


FIGURA #3-8 PEDESTAL COMUN

partes básicas: antena, receptor, unidad procesadora (decodificador y codificador), panel de control, y transmisor.

Refiriéndose a la fig. 3 - 6, la acción del respondedor consiste en captar la interrogación mediante la antena, enviarla al receptor sintonizado en 1030Mhz, pasarla al decodificador para procesar la interrogación y determinar su validez, después al codificador para construir la respuesta, de ahí al transmisor que trabaja en 1090 Mhz, el que enviará la señal de respuesta a través de la antena. El panel, de control y el transductor de altitud, determinan la respuesta (clave) que será transmitida.

El respondedor, a través del decodificador, no responderá en las siguientes condiciones:

a) a interrogaciones en las que el intervalo entre los pulsos P_1 y P_3 difieren en más de \pm lus de la separación especificada para el modo particular de interrogación. Ver Fig. 3 - 2.

b) a interrogaciones en las que el pulso de

control P_2 es igual o mayor que los pulsos P_1 y P_3 .

El respondedor contesta, transmitiendo una serie de pulsos específicos de respuesta o CLAVES. El respondedor tiene 4096 claves, con posibilidad de expandirse hasta 8192. Hay otro tipo de respondedor de 64 claves que esta cayendo en desuso.

Para facilitar el uso del SSR al personal de control de tránsito aéreo, se utilizan letras codificadas para designar en el plan de vuelo el tipo de equipo que utiliza la aeronave. Estas letras codificadas indican lo siguiente:

- N: No lleva respondedor o está fuera de Servicio.
- E: Respondedor - sin codificación
- F: Respondedor - 64 claves-modo A
- G: Respondedor - 64 claves-modos A y B.
- H: Respondedor - 4096 claves-modo A
- I: Respondedor - 4096 claves- modos A y B
- J: Respondedor - 4096 claves- modos A y C.
- K: Respondedor - 4096 claves- modos B y C.

Las respuestas de un respondedor difieren de los ecos de radar primario, en varios aspectos:

- a) La fuerza de la respuesta es independiente de la intensidad de la señal interrogadora recibida.
- b) Las interrogaciones se reciben en una frecuencia 1030 Mhz y las respuestas se transmiten en una frecuencia de 1090 Mhz.
- c) La señal de respuesta (CLAVE) es diferente de la señal de interrogación (MODO).

3.2. EL EXTRACTOR DE GRAFICO # 1

El primer papel del extractor de gráfico es validar a los blancos y determinar su posición precisa. El extractor de gráfico, PSX 200, instalado en el Aeropuerto "Simón Bolívar" utiliza la técnica de "Ventana deslizante" y la correlación de elementos cruzados para determinar con precisión las coordenadas de los blancos válidos. Estos métodos de extracción de gráficos de radar secundario van a ser analizados en sus principios básicos.

Para determinar la distancia del blanco, el haz es dividido en elementos de distancia desde el punto de referencia de la antena hasta el alcance máximo. Cada elemento representa una distancia de un cuarto de milla náutica (0,25 MN), lo que es la resolución en distancia del sistema. Ver figura 3 - 9A.

El determinar el azimut de los blancos, es un poco más difícil a causa de la forma del haz del radar secundario.

Debido a su forma cónica, cada señal de interrogación examina una sección bastante ancha. Al alcance máximo, el haz con su abertura de 4,5 grados, cubre una anchura de 15 millas náuticas, y un blanco a esta distancia dará la misma respuesta, cualquiera sea su posición angular dentro del haz. Ver fig. 3 - 9B.

Así, el azimut de un blanco no se puede determinar con precisión por una sola interrogación, y necesita varias interrogaciones sucesivas. Cada haz de interrogación se encuentra trasladado de manera angular por la rotación de la antena. Ver figura 3 - 10.

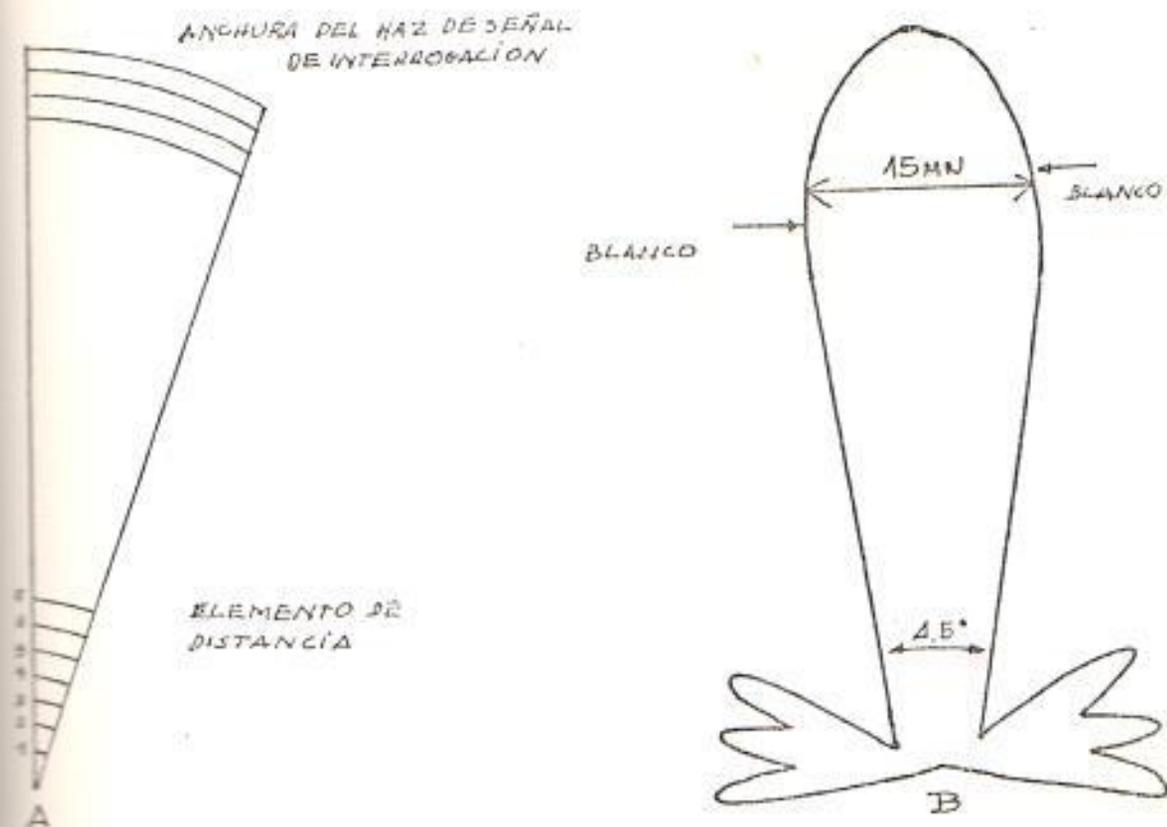


Figura # 3-9 ELEMENTOS DE DISTANCIAS DE HAZ SSR.

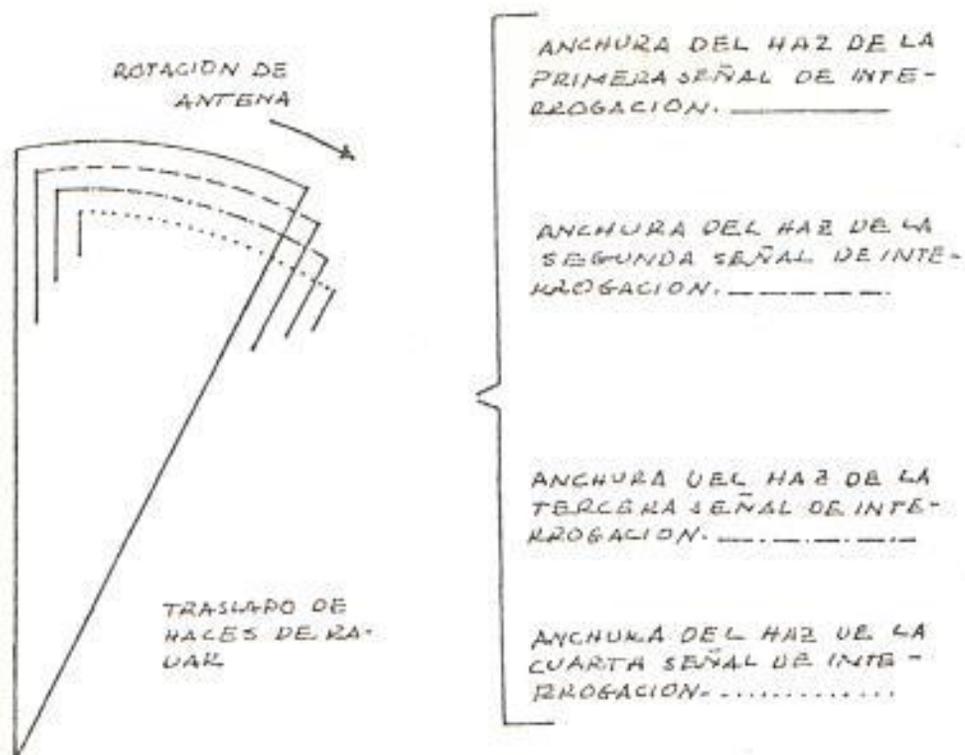


Figura # 3-10 : HACES DE INTERROGACIONES SUCE- SIVAS.

Se arregla la frecuencia de repetición de interrogaciones, la velocidad de rotación de la antena, y la anchura del haz de tal manera que cada haz de interrogación traslape largamente al precedente. Ver fig. 3 - 10.

Así se reciben respuestas de un blanco a varias-interrogaciones, por todo el tiempo que el haz pasa por el objetivo. El azimut preciso será el medio entre la posición de antena por la cual se recibe la primera respuesta de dicho blanco (azimut inicial) y la posición de antena por la cual se deja de recibir respuesta del objetivo (azimut final). El traslado angular entre estos dos azimuts se llama "extensión de azimut". Ver fig. 3 - 11.

En la fig. 3 - 11, no producen respuestas las señales A e I, pero las señales de B hasta H si provocan contestaciones. El blanco se encuentra al centro de la señal E, con azimut medio entre el azimut de la señal B y del de la señal I.

3.2.1. Ventana deslizante

Se utiliza este método para asegurar la detección de un blanco y determinar con pre

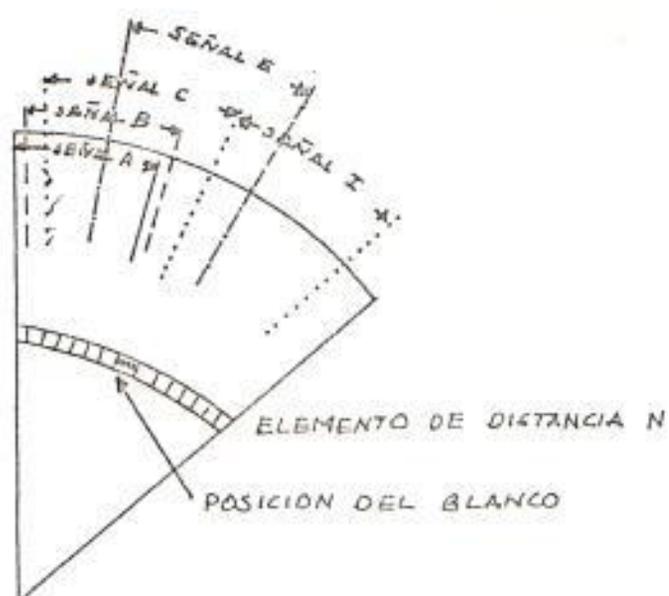


Figura # 3-11 : EXTENSION DE AZIMUT

cisión su azimut.

El procesamiento del extractor de gráfico-exige la detección de un número mínimo de respuestas (interrogación con éxito) para poder declarar con toda seguridad que detectó al blanco. Para lograr esto, el sistema registra los éxitos (o no éxitos) de las interrogaciones precedentes, dando el valor 1 a las señales con éxito y 0 a las señales sin éxito.

El sitio donde se graba esta historia de las respuestas de un blanco se llama la "Ventana deslizante". Su tamaño depende de las características del radar SSR, y corresponde normalmente al número teórico de éxitos posibles en una anchura de haz (17 en el caso del radar de Guayaquil). Al girar la antena, la ventana se desliza con ella y al sobrepasar el blanco las interrogaciones exitosas se encuentran registradas en la ventana.

Así el contenido de la ventana iniciado en cero, aumenta hasta el número total de reg

puestas y luego baja de nuevo hasta cero, ver fig. 3 - 12. Además algunas interrogaciones pueden encontrarse sin éxito al borde del haz (caso de la señal C en la figura 3 - 12).

Se puede representar en una figura el contenido (número de respuestas) de la ventana por cada señal. Ver fig. 3 - 13.

3.2.2. Umbrales

Se considera que la presencia de un blanco es válidamente establecida cuando se registra un mínimo de interrogaciones con éxito. Se fija un umbral UI (Umbral Inicial) a partir del cual se declara el blanco válido. Este umbral debe ser suficientemente alto para procurar una alta probabilidad de eliminar respuestas asincrónicas y se fija normalmente a un número ligeramente mayor que la mitad del número teórico de éxitos en una anchura de haz (UI = 9 en Guayaquil).

Cuando el umbral UI es alcanzado en la ventana deslizante, se declara el blanco válido.

SEÑAL	RESPUESTA O NO EXITO O NO	VENTANA DE 6
A	0	000000
B	1	000001
C	0	000010
D	1	000101
E	1	001011
F	1	010111
G	1	101111
H	1	011111
I	0	111110
J	0	111100
K	0	111000
L	0	110000
⋮		

Figura # 3-72 : VENTANA DESLIZANTE

CONTENIDO DE LA VENTANA

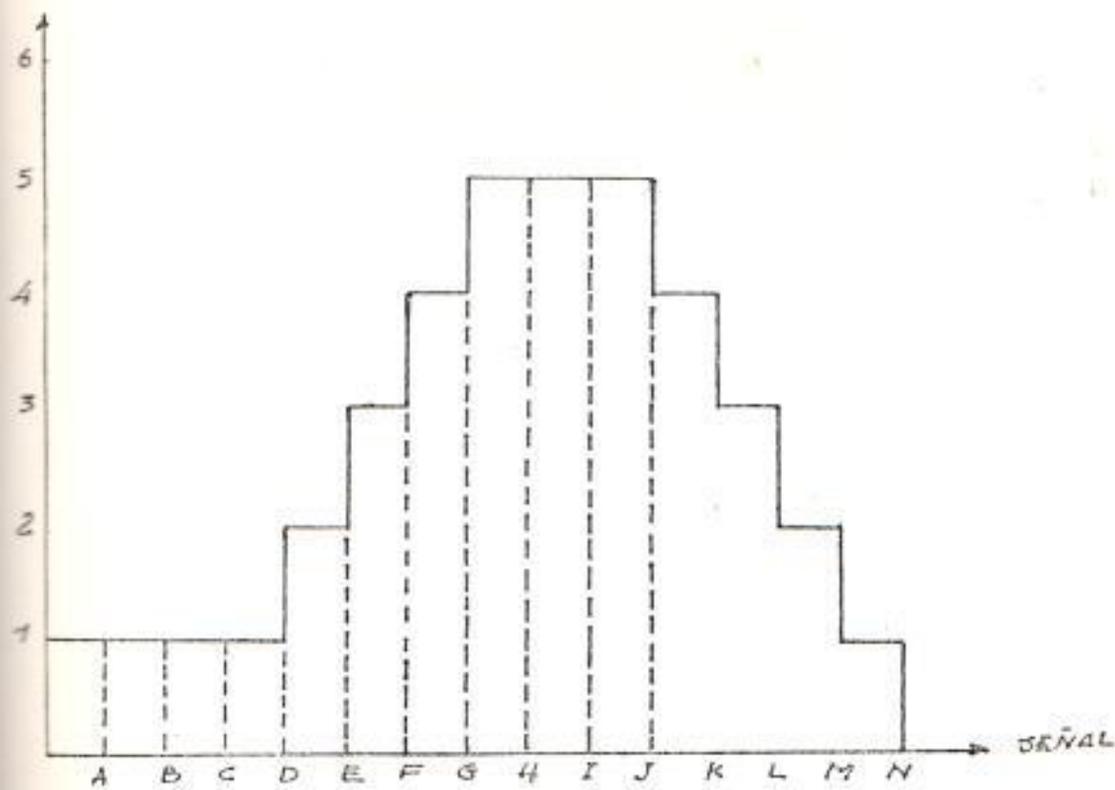


Figura # 3-13 : CONTENIDO DE LA VENTANA DESLIZANTE

do, y se registra el azimut inicial para calcular el azimut medio del blanco.

De la misma manera se fija un umbral final UF debajo del cual se considera que la presencia del blanco se terminó. Al alcanzar este punto, se registra el azimut final. Normalmente se fija UF a 2 debajo de UI (UF= 7 en el caso de Guayaquil).

Ver fig. 3 - 14.

También se define un tercer umbral UV(Umbral de validación) que permite declarar, cuando se alcanzó, la clave válida para la entrada al extractor de gráfico. Normalmente se fija UV igual a 2.

En la señal E, la clave es válida. En la señal K, el azimut inicial es registrado y, en la señal R, se alcanza UF y se registra el azimut final. En este punto, se transfieren los datos del blanco de la entrada del extractor de gráfico a la salida de él.

Cabe notar que los umbrales UI y UF determinan los azimuts inicial y final falsos,

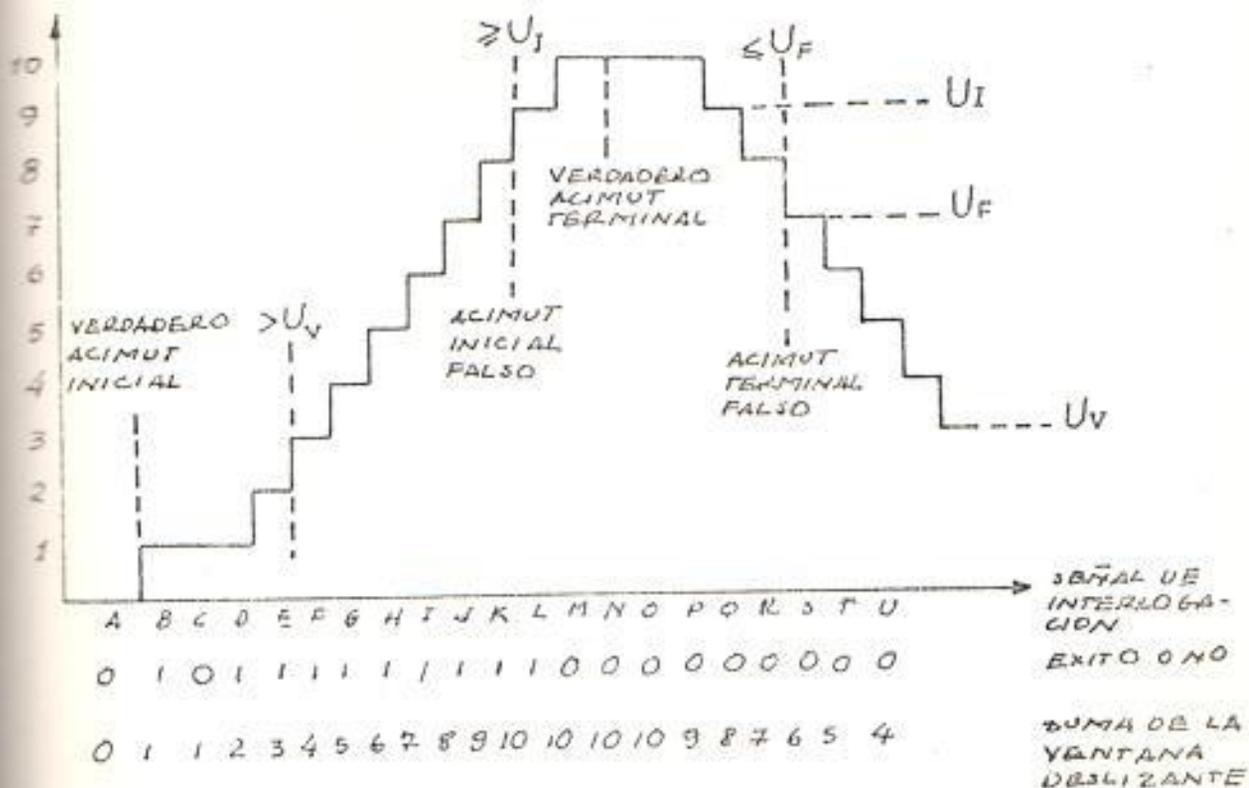


FIGURA # 3-14 : UMBRALES

ya que no son los azimuts de primera y última respuesta del blanco (señales B y M en el ejemplo de la fig. 3 - 14).

Así se necesita introducir una compensación para corregir este desfase debido al procesamiento de la ventana deslizante. Esta compensación tiene un valor fijo, y se suma con el falso azimut medio para obtener el verdadero azimut medio, considerado como el azimut del blanco.

3.2.3. Correlación de elementos cruzados

Este método de procesamiento de las claves permite eliminar la presentación de "doble blanco" o la pérdida de un blanco que se encuentra en la frontera entre dos elementos de distancia. Ver figura 3 - 15.

En esta región, la respuesta tiene igual oportunidad de ser registrada en el elemento N o en el siguiente $N + 1$. Además, ligeras fluctuaciones en el interrogador/receptor y en la generación de pulsos de reloj en el mismo extractor de gráfico, pueden aumentar la incertidumbre. Así, con

ELEMENTOS DE
DISTANCIA

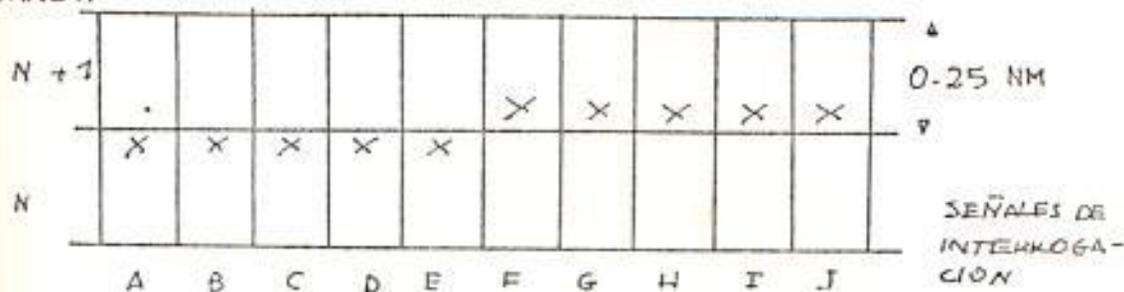


Figura # 3-15 : CORRELACION DE ELEMENTOS
CRUZADOS

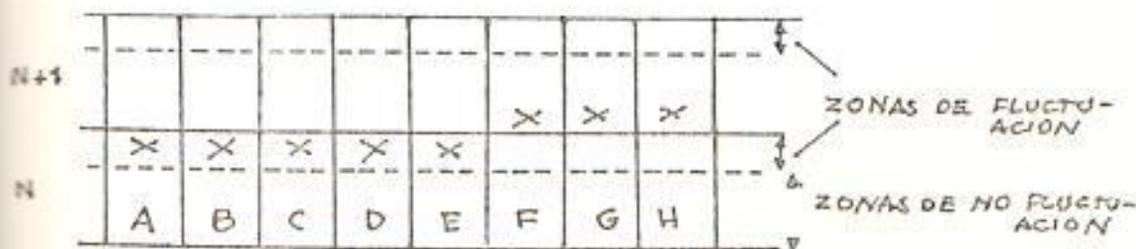


Figura # 3-16 : ZONA DE FLUCTUACION.

respuestas de un mismo blanco dispersadas entre dos elementos de distancia adyacentes, se podría obtener dos blancos trasladados, o perder totalmente este blanco, según la configuración de la dispersión y el umbral inicial UI fijado.

Por ejemplo en este caso, si UI es menor o igual a 5, se declararán dos blancos válidos, pero si UI es mayor o igual a 6, ninguna ventana deslizante alcanza este valor y se perderá el blanco.

Para resolver el asunto, se define una pequeña área (siempre más pequeña que la mitad de un elemento de distancia) en la frontera de afuera (en el sentido desde la antena hacia el máximo alcance) de cada elemento de distancia y se la llama "zona de fluctuación". Ver. Fig. 3 - 16.

Si un blanco fluctúa de la zona de fluctuación N a la zona de no fluctuación $N + 1$, la ventana deslizante $N+1$ adiciona el número de respuestas de las dos zonas. Así, en el ejemplo de la fig. 3 - 16, con un UI de

de 6 y un UF de 4, la ventana N+1 alcanza 8 y el blanco no se pierde.

Para evitar de tomar en cuenta las respuestas asincronas que podrían tener el mismo efecto que una respuesta válida trasladándose al elemento de distancia adyacente, se usa un umbral de fluctuación UJ (Umbral Jitter) fijado a 3 respuestas en la zona de fluctuación, dentro de las 5 últimas señales de interrogación. Es unicamente al alcanzar este umbral que se inicia la tomada en cuenta de las respuestas de la zona de fluctuación, y que se las adiciona en la ventana deslizando del elemento adyacente N+1. También estas respuestas siendo parte entera del elemento N, se toman en cuenta en la suma de la ventana N.

Así, en el ejemplo de la fig. 3 - 16, con una ventana deslizando de tamaño 9, la suma de su contenido para el elemento N+1, se pone así:

0	0	3	4	5	6	7	8	8	7	6	5
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Con intención de evitar los "dobles blancos" de un mismo objetivo, se necesita definir otra lógica. Esto ocurre en el caso de la fig. 3 - 17, donde el número de respuestas de la zona de fluctuación N alcanza el umbral UI.

Debido al hecho que estas respuestas están tomadas en cuenta en la ventana N+1 (a partir de la tercera), y también en la ventana N, dos blancos (uno en el elemento N o otro en N+1) serían declarados válidos.

Por esto, al alcanzar el umbral UJ (3) de respuestas de la zona de fluctuación N, el sistema, al mismo tiempo que inicia a tomar en cuenta estas respuestas para validar un blanco en el elemento N+1, impide la validación de un blanco en el elemento N, eliminando así en cierta proporción el riesgo de falsos "doble blanco".

Por fin se necesita definir un último umbral para las situaciones en donde un blanco fluctúa entre la zona de no fluctuación N y la zona de fluctuación N. Ver fig. 3-18.

ELEMENTO N+1							X	X	X				
ELEMENTO N	X	X	X	X	X	X							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I				
VENTANA N+1	0	0	3	4	5	6	7	8	9	8	7	
VENTANA N	1	2	3	4	5	6	6	6	6	5	4	

TAMAÑO VENTANA = 9
 $U_I = 6$
 $U_F = 4$

Figura # 3-17: ZONA DE FLUCTUACION N
 ALCANZA EL UMBRAL U_I

N+1							X	X	X	X			
N	X	X	X		X	X	X	X	X	X			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I				

TAMAÑO VENTANA = 9
 $U_I = 6$
 $U_F = 4$
 $U_J = 3$

Figura # 3-18: UMBRAL DE LA ZONA NO FLUCTUACION N
 A ZONA DE FLUCTUACION N.

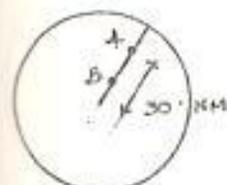
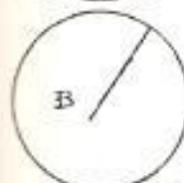
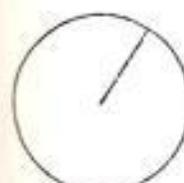
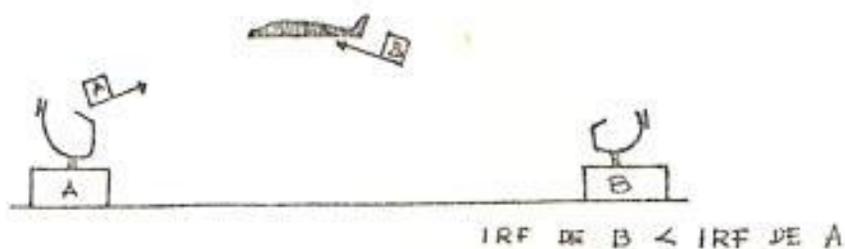
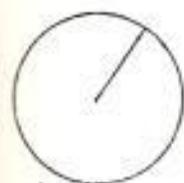
Al mandar la señal F, se alcanza UJ, lo que impediría la validación de un blanco en el elemento N (y permitiría la validación de un blanco en N + 1 con falsas coordenadas si por acaso otro blanco apareciera en este elemento), para resolver esta situación, se define un umbral de no fluctuación \overline{UJ} , fijado a tres respuestas de la zona de no fluctuación en las 5 últimas señales. Al alcanzar este umbral, no se puede validar - el umbral UJ y las respuestas de la zona - de fluctuación N se toman en cuenta unicamente en este elemento. El contenido de la ventana se pone así:

N + 1	0	0	0	0	0	1	2	3	4
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	A	B	C	D	E	F	G	H	I

3.2.4. Respuestas Asincronas

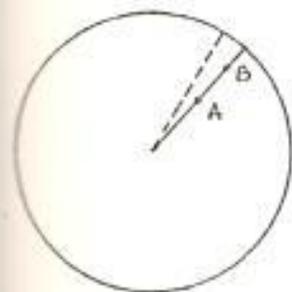
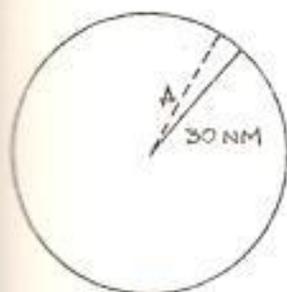
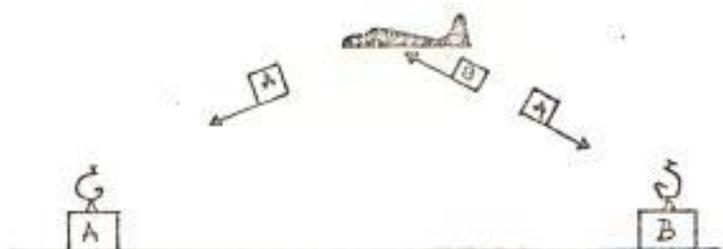
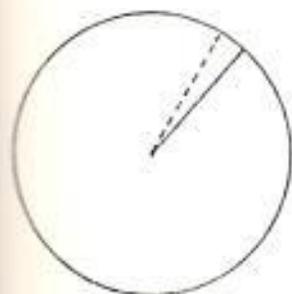
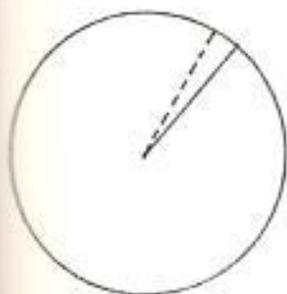
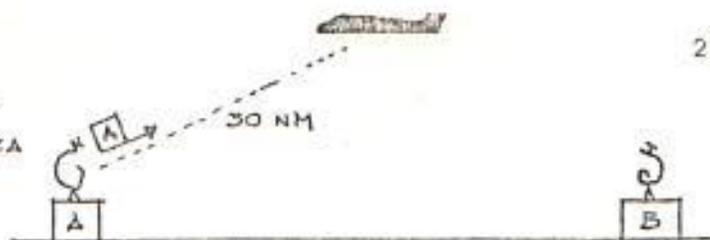
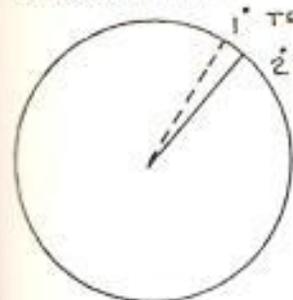
Respuestas asincronas son todas aquellas - recepciones terrestres de señales de res puestas emitidas por un respondedor que fueron iniciadas por interrogaciones de otras estaciones. Ver figs. 3 - 19 y 3 - 20.

PRESENTACION DE
LA ESTACION A



BLIP B, CAUSADO POR EL RESPONDEDOR EN RES-
PUESTA A UNA INTERROGACION DE LA ESTACION
B. BLIP A, CAUSADO ANTE UNA INTERROGACION
DE LA ESTACION A.

FIG # 3-19. : RESPUESTAS ASINCRONAS



BLANCO A PRESENTADO NUEVAMENTE A LA DISTANCIA Y AZIMUT CORRECTO. BLANCO B PRESENTADO EN AZIMUT CORRECTO, PERO A UNA DISTANCIA FALSA COMPARADO CON INDICACION PREVIA.

FIG # 3.20 : RESPUESTAS ASINCRONAS

Por ejemplo, la estación A de la figura 3-19 puede recibir una señal de un respondedor - interrogado por la estación B. Debido a que diferentes IRF, esta señal de respuesta no tiene la correcta relación de tiempo con la interrogación de la estación A y por eso decimos que no está sincronizada; el blanco será detectado en la dirección correcta, pero a una distancia falsa. Además no se puede garantizar que la aeronave estaba respondiendo al modo de interrogación que la estación A usaba en ese momento y por lo tanto, la información de clave es también inútil.

3.2.5. Eliminación de Respuestas asincronas

Con el fin de evitar que la estación A actúe sobre esta información errónea, se utiliza un dispositivo llamado "desfrutador". Este, opera sobre el principio de comparar subsecuentes respuestas respecto a la distancia; si las respuestas son iguales en términos de distancia, entonces es aceptada por el extractor de gráfico como respuesta válida. Si no son iguales, la información es rechazada.

3.2.6. Intercruce

El fenómeno de intercruce se define como - la recepción de una clave de respuesta en forma diferente a como fue originalmente transmitida por el respondedor. Ver figura 3 - 21.

Esto ocurre cuando dentro del haz de un interrogador se encuentran, en forma simultánea, dos o más aeronaves con sus respondedores en operación, a una distancia de hasta 3,6 MN (44,49us) entre ellas. En este caso, los trenes de pulsos de respuesta se sobrepondrán en la entrada del receptor y las claves se mezclarán.

3.2.7. Eliminación de Intercruce

La eliminación del intercruce, se define - como la habilidad de un circuito electrónico para reconocer una potencial mezcla de claves e inhibir la detección de una señal mezclada, con el fin de aumentar la confiabilidad en la validez de las respuestas.



TRANSMISION DE
LOS RESPONDIDORES

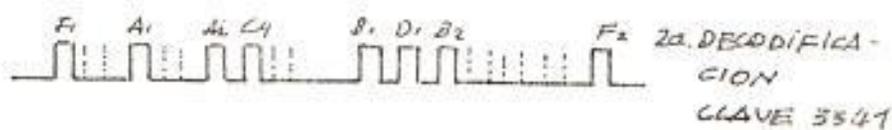
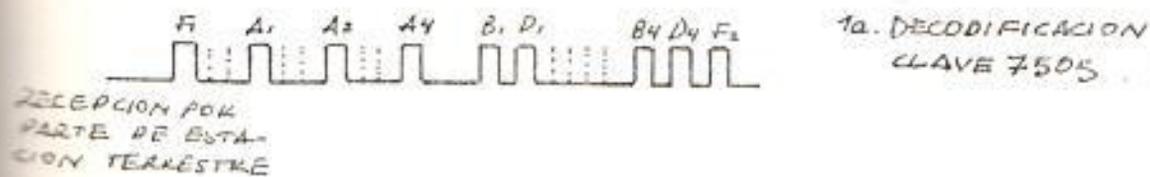


Figura # 3-21 INTERCRUCE

3.2.8. El PSX200

El extractor de gráfico PSX200 de Guayaquil tiene cuatro partes principales, y posibilidades de auto - pruebas automáticas con informes de fallas. Ver fig. 3 - 22.

El extractor de gráfico se compone de la siguiente unidades:

Módulo de radar secundario (A) - M.R.S. (A)

Módulo de radar secundario (b) - M.R.S. (B)

que contiene además su parte principal.

Módulo de azimut y distancia - M.A.D.

Módulo de salida en formato FAA modificado
M.F.S.

El MRS (A) recibe las respuestas de los respondedores, desde el interrogados/receptor, en serie. Luego descifra los modos, convierte las claves de serie a paralelo, detecta los trenes de pulsos entrecruzados, los pulsos de identificación especiales - (SPI), las claves de emergencia y por fin transmite al MRS (B) los datos de los blancos en paralelo, 68 microsegundos después del pulso F_1 .

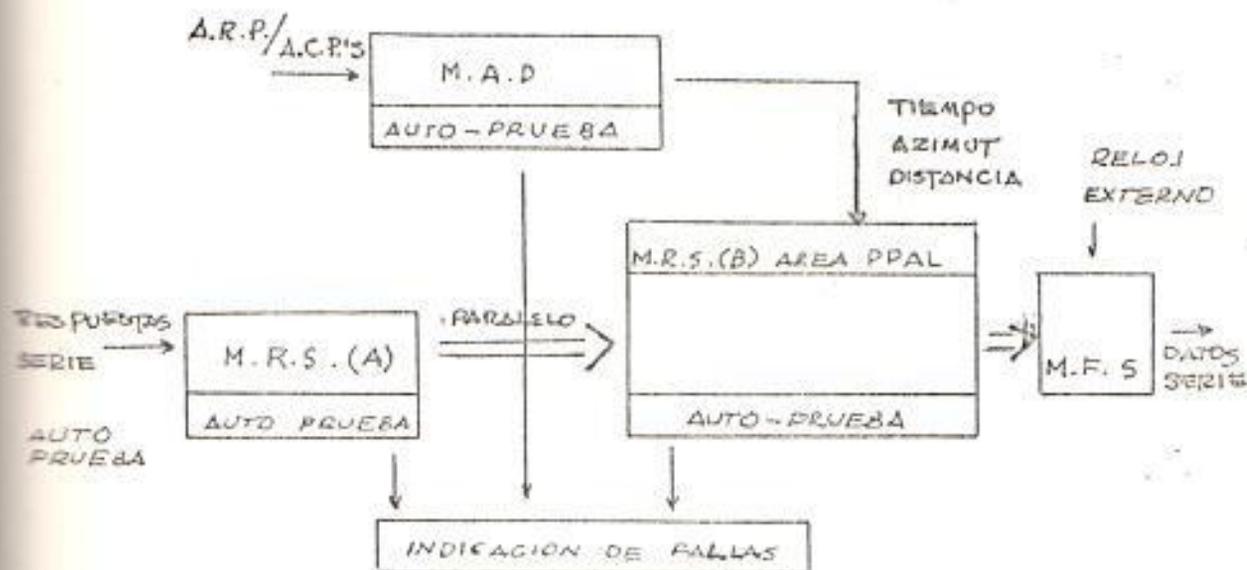


FIGURA # 3-22 DIAGRAMA DEL PSX 200

La parte principal del MRS(B) recibe los datos del MRS(A) y las señales de tiempo, azimut y distancia desde el MAD. Con esto, válida a las claves, detecta los blancos, procesa los datos de azimut y distancia - (extracción del gráfico) con las lógicas de ventana deslizando y de correlación de elementos cruzados, y genera una fila de informes de blancos para transmitirse al Procesador de gráfico. La parte de salida del MRS(B) convierte los informes de forma paralelos en formato FAA modificado para su transmisión a lo largo de un enlace de banda estrecha. Ver fig. 3 - 23.

El módulo de azimut y distancia (MAD) es el módulo de servicio del extractor de gráfico, que produce señales de tiempo y procura los datos de azimut y distancia. Desde la antena recibe los pulsos de referencia de azimut (1ARP=Azimut Reference Pulse) y de cambio de azimut (4096 ACP= azimut - change Pulses), los sincroniza y calcula el azimut de cada blanco, y luego pone este valor sobre una escala de 12 bits (que se encuentra en el elemento 3 del mensaje de salida en formato FAA modificado). Tam

ELEMENTO 1	ELEMENTO 2	ELEMENTO 3	ELEMENTO 4	ELEMENTO 5	ELEMENTO 6	ELEMENTO 7	ELEMENTO	
CONTROL	B I T	B I T	B I T	B I T	B I T	B I T	B I T	B I T
	DISTANCIA (N.M)	ACIMUT (AC.P)	TIEMPO SEGUNDO	CLAVE X	CLAVE 2	CLAVE Y (PIES)		
PRUBA	128	2048	0	A4	A4	0±, 1=-	79	0
1	64	1024	0	A2	A2	702400	80	0
1	32	512	0	A1	A1	51200	81	0
MOD0244- VE	16	256	0	B4	B4	25600	82	1
MOD0 X CLA- VE	8	128	0	B2	B2	12800	83	1
MOD0 Y CLA- VE	4	64	"X"	B1	B1	6400	84	1
SP1	2	32	4	C4	C4	3200	85	1
0	1	16	2	C2	C2	1600	86	1
7700	1/2	8	1	C1	C1	800	87	1
7600	1/4	4	1/2	D4	D4	400	88	1
1	1/8	2	1/4	D2	D2	200	89	1
0	1/16	1	1/8	D1	D1	100	90	1
PARIDAD	PARIDAD	PARIDAD	PARIDAD	PARIDAD	PARIDAD	PARIDAD	PARIDAD	PARIDAD
43	26	39	52	65	78	91		

AEP M AIRPORT GROUND EQUIP

bién se determina la distancia de cada blanco y se pone este valor sobre una escala de 12 bits que se encuentra en el elemento 2 del mensaje de salida del extractor de gráfico.

Por fin el módulo de salida acepta datos - en paralelo desde el MRS(B) y los prepara para transmitirse al procesador de gráfico, convirtiéndolos de paralelo a serie de acuerdo al formato FAA modificado, con inserción de un bit de paridad al fin de cada elemento del mensaje y además genera un elemento ocioso (idle element). Así convierte los datos de los blancos en mensajes de 7 elementos, siendo cada elemento de 12 bits más 1 bit de paridad. Cada mensaje se encuentra separado por un elemento ocioso por lo menos, y en ausencia de datos de blancos, se genera continuamente elementos ociosos.

Además el MRS contiene un área de auto-prueba que genera un blanco artificial con un azimut y una distancia fijados y permite verificar el funcionamiento del procesamiento. Si se detecta un error, un número

de dos dígitos aparece en el panel de control del MRS(B), indicando el área probable de falla.

3.3. EL PROCESAMIENTO DE DATOS DE LA AERONAVE

Existen muchos métodos de presentar la información del tren de pulsos del respondedor en la pantalla, pero básicamente la presentación de esta información puede ser de dos formas, dependiendo del tipo y programación del equipo terrestre. Estas dos formas son: La forma codificada y la forma decodificada.

Presentación Codificada

Aquellas estaciones terrestres que no poseen equipo decodificador del tren de pulsos del respondedor, presentarán las respuestas, en forma de arcos de uno o más círculos concéntricos. Ver figura 3 - 24.

La llamada presentación de video directo (Raw video), aparece como un grupo de trazos (segmentos de arco) que corresponden a los pulsos de las claves.

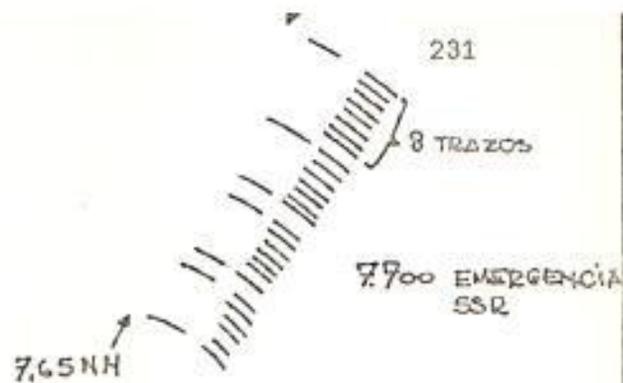
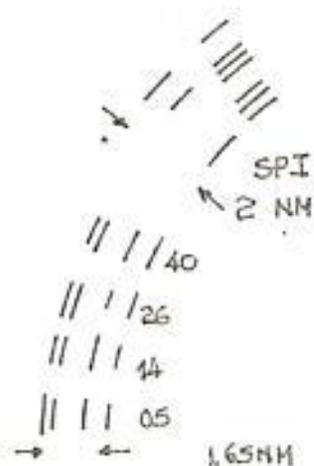


FIG # 3-24 PRESENTACION CODIFICADA (VUEO DIRECTO)

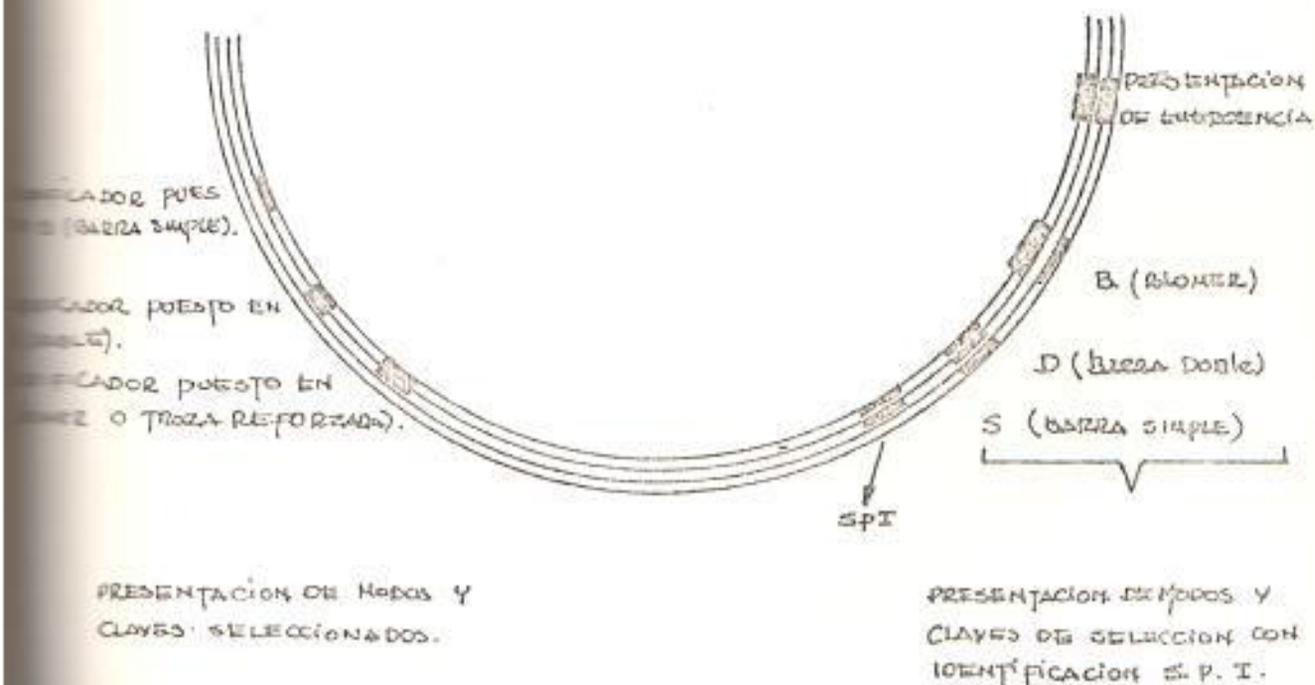


FIG # 3-25 PRESENTACION DECODIFICADA.

Cuando se utiliza el SPI, causará un trazo adicional ubicado a 0,35 MN tras el tren de pulsos en el mismo azimut.

En la presentación directa la señal de emergencia producida por un respondedor SSR, aparecerá como un tren de pulsos de 8 trazos.

Presentación Decodificada

Las señales de video directo ocupan un área bastante grande en una pantalla radar, causando así una pronta saturación de la presentación de los pulsos de las claves, particularmente cuando se hace el control a cortas distancias. En estas condiciones le resulta muy difícil al personal de tránsito aéreo identificar aeronaves u otorgar una adecuada separación.

Para obviar este problema se utilizan los decodificadores de los trenes de pulsos en el equipo terrestre. Los decodificadores fueron introducidos con el fin de optimizar el uso de los SSR; en vez de presentar los trenes de pulsos en las pantallas actúan como dispositi

vos filtradores de la información que permiten pasar solo claves específicas y presentar en forma clara y precisa las varias respuestas según lo que seleccione el controlador radar (Ver fig. 3 - 25). Esto ayuda en la vigilancia de blancos que se encuentran muy próximos entre ellos.

Los decodificadores se pueden clasificar en tres grandes tipos: Decodificadores pasivos, decodificadores activos - manuales y decodificadores automáticos (usan una computadora).

Los decodificadores pasivos utilizan "canales de decodificadores pasivos". Cada canal decodificador, puede ser programado para una determinada clave y posteriormente, pasarán solo aquellas señales que posean la clave programada y rechazando las otras claves. Por lo tanto, podemos ver que para un canal pasivo pueda presentarse un blanco en pantalla, se debe conocer la clave por adelantado. En consecuencia, los canales pasivos están asociados con "sistemas de asignación de claves" (ejemplo: por acuerdo regionales).

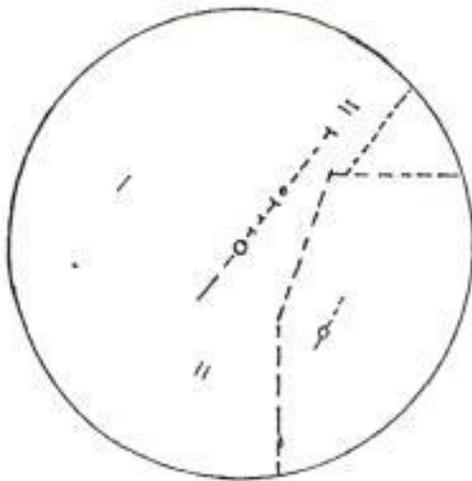
Los decodificadores activos manuales usan dispositivos de búsqueda y un panel de presentación indica la clave, o las combinaciones - en que el respondedor está transmitiendo. En este caso no es necesario conocer la clave por adelantado, pero el blanco debe ser detectado para ser analizado.

Los decodificadores automáticos leen todas las respuestas y las almacenan en forma de mensajes de blancos. El controlador puede entonces seleccionar aquellos que requiera para fines de control. Este sistema es el más sofisticado e involucra el uso de computadoras. Es el tipo de sistema utilizado en Guayaquil.

Tipos de presentación decodificada

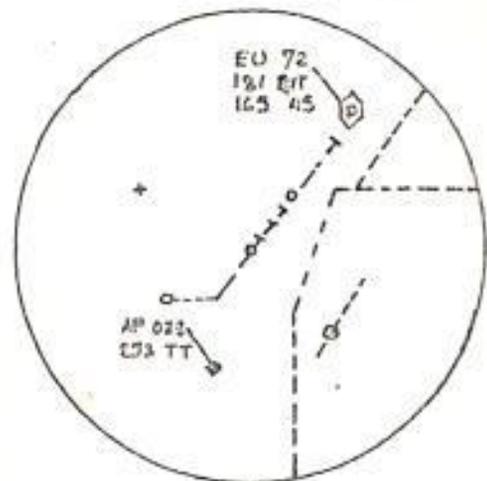
Las presentaciones SSR en pantalla son de dos tipos: La presentación convencional (ver figura 3 - 26) y presentación alfanúmerica - (Ver fig. 3 - 27).

Ambos tipos usan indicadores de posición plana-



PRESENTACION DE CODIFICADA
CONVENCIONAL

FIG # 3-26



PRESENTACION SINTETICA
DIGITAL (ALFANUMERICA)

FIG # 3-27

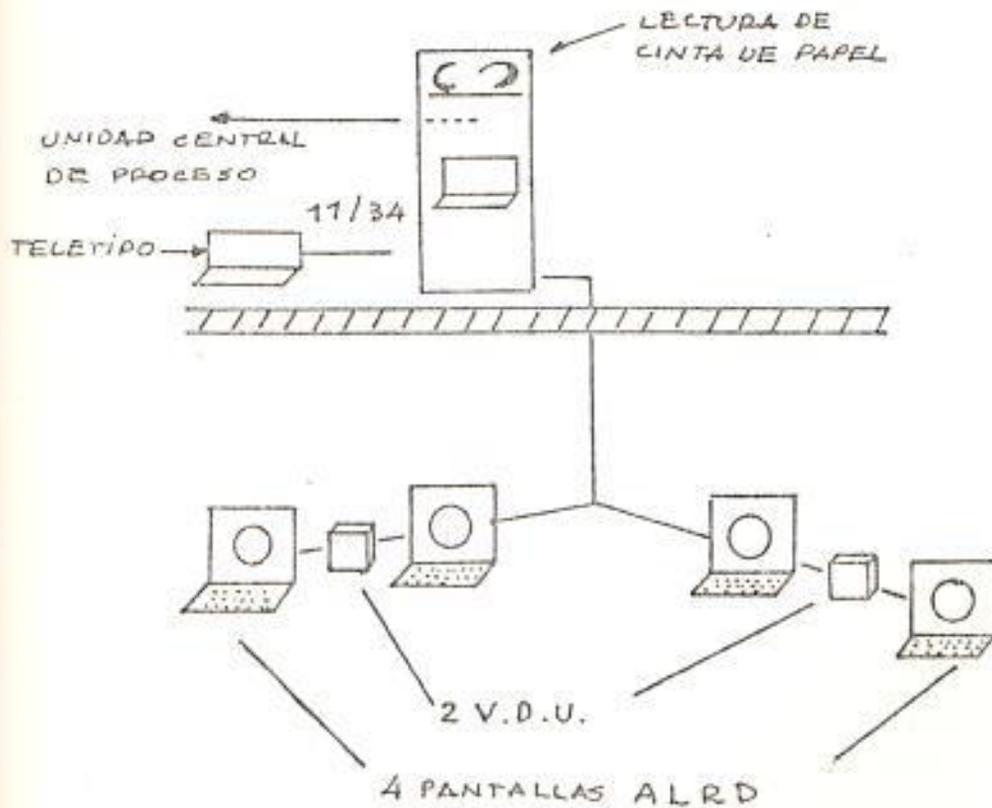


Figura # 3-28 COMPUTADOR POP 11/34

(PPI). El tipo de presentación usado por una instalación en particular, depende del decodificador en uso; presentaciones convencionales están asociadas con decodificadores pasivos y presentaciones alfanúmericas se usan con decodificadores automáticos, la diferencia fundamental entre las presentaciones es que mientras en las del tipo convencional aparecen los blancos con formas relativamente simples, en las de tipo alfanumérico, los blancos se pueden asociar con etiquetas dinámicas, las que pueden indicar la identificación y el nivel de vuelo de cada blanco en forma continua.

3.3.1. El Computador

El sistema de presentación en pantallas de Guayaquil se compone principalmente de un Computador (tipo PDP 11/34) con la unidad central de Proceso, y periféricos asociados, tales como: cuatro pantallas radar (ALDR-Autonomous Label Radar Display) que incorpora: panel de control, teclado y "bola rotatoria" (rolling ball); dos terminales de computador (VDU=Visual Display Unit), un teletipo y un lector de cinta de papel. Ver

fig. 3-28.

3.3.1.1. La unidad central de proceso:

La unidad central de proceso o Procesador recibe los informes de los blancos SSR desde el extractor de gráfico (en formato FAA modificado), efectúa un procesamiento digital con el objeto de poner los datos en forma adecuada para la presentación sobre las pantallas-ALRD y de acuerdo a los requisitos ingresados por el controlador radar por intermedio de los terminales VDU, para después transmitir los datos (via par telefónico) hasta cada pantalla ALRD.

El procesador esta conectado al extractor de gráfico y las pantallas ALRD a través de unidades de interfaces (ver fig. 3-29). El procesador elabora los datos para presentar la posición de cada blanco, asociado a una etiqueta según



Figura # 3-29

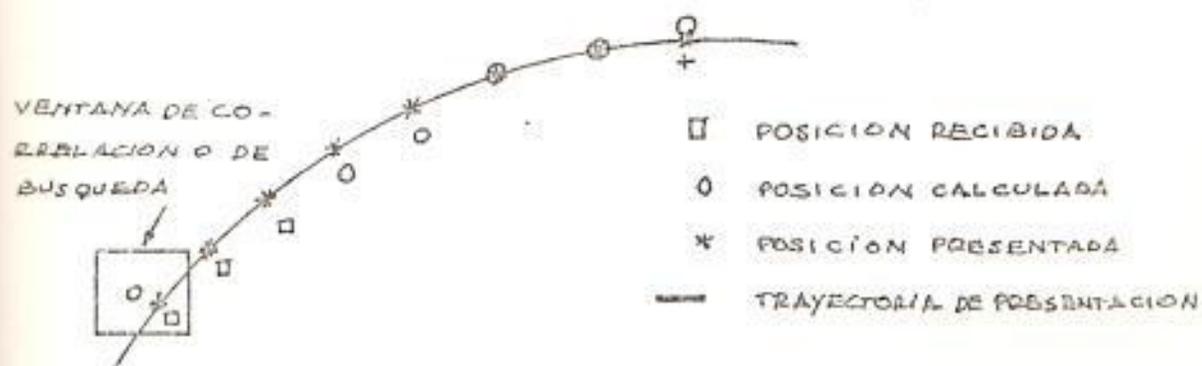


Figura # 3-30

los casos, y analiza los mandos - (instrucciones o datos) ingresados por el controlador via su terminal.

El procesador se encuentra en un bastidor con su panel de control y programación, las unidades de interface, el lector de cinta de papel y el suministro de energía.

- Un panel de interfaces abajo, para conexiones con el extractor de gráfico, las pantallas, los VDU y los varios periféricos.
- Un sistema de ventilación en la parte superior del bastidor.
- Paneles vacíos, donde pueden caber periféricos adicionales.

En la parte superior del bastidor, se ubica un lector de cinta de papel que sirve para cargar los programas operacionales en la computadora, o varios programas de prueba.

ba utilizados para verificación de los varios elementos y funciones del sistema.

Funciones del Procesador

La primera función del procesador es elaborar los datos para presentar la posición de cada blanco, asociado según el caso a una etiqueta conteniendo la clave de identificación o llamada, el nivel de vuelo, claves de emergencia, - cuando ocurran e informaciones suplementarias necesarias para un eficiente control del tráfico aéreo.

Para efectuar este procesamiento, el PDP 11/34 recopila un fichero central incluyendo todos los datos digitales recibidos y varios ficheros (o archivos) de presentación separados, uno para cada pantalla, con información filtrada - según los requisitos ingresados en

el computador. Se transmiten estos datos en forma adecuada para convertirlos en símbolos sintéti-cos y alfanuméricos.

También el procesador trata varias funciones que corresponden a instrucciones ingresados por el controlador via una pantalla o un VDU, estas funciones pueden ser:

- filtro de claves para que presenten en una pantalla específica, unicamente las etiquetas de blancos que utilizan las claves escojidas.

- filtro de sector para que presenten en una pantalla específica, unicamente las etiquetas de los blancos ubicados en un sector escogido del espacio aéreo.

- filtro de altura para que se presenten en una pantalla específica unicamente las etiquetas de

blancos ubicados entre los niveles mínimo y máximo de altura escogidos.

- corrección de altitud con el QNH
El controlador entra por el VDU el valor actual del QNH cada cierto tiempo, luego el procesador corrige con este valor la altitud de los blancos ubicados debajo de la altitud de transición (encima de esta altitud, la referencia es 1013 milibares).

- presentación en las pantallas de áreas tabulares con información de control. Existen tres áreas tabulares que presentan:
 - * La lista de las aeronaves cuyo seguimiento radar se encuentra suspendido manualmente, o fallando por falta de respuestas o por otra razón (lista C/S).

 - * la lista de las aeronaves entran

do en el sistema, desde afuera, o despegando de un aeropuerto u bicado dentro del área de control (lista I/O).

* la hora, el valor QNH, informaciones sobre los filtros escogidos para la pantalla, y mensajes del sistema, de emergencia, o notificaciones especiales ingresadas desde cualquier periférico.

- presentar sobre una pantalla - cualquiera línea entre dos puntos escogidos, estableciéndose la distancia entre ellos.

- efectuar una transferencia de control desde una pantalla a otra, cambiando la letra de referencia del controlador a cargo.

Seguimiento Radar (TRACKING)

Esta función calcula, en cada re

volución de antena, la posición - próxima de los blancos seleccionados, basándose sobre la ubicación actual, el rumbo y la velocidad - del objetivo. Así construye y se actualiza en cada revolución una trayectoria para cada blanco. Ver fig. 3-30.

Luego el sistema establece una ventana de correlación dentro de la cual va a buscar en la siguiente revolución de antena, la posición del blanco recibido via la antena y el extractor de gráfico. Ver fig. 3-1. Entonces se realiza una correlación entre la posición calculada y la posición recibida y se calcula la posición de presentación entre ambas.

En caso de falla de recepción SSR, o de respuesta inválida, se utiliza la posición calculada para colocar el blanco en la pantalla. Esto permite presentar al contro

lador una trayectoria suave sin saltos y procurar posiciones precisas de blancos casi permanentemente, aunque ocurran pequeñas fallas de recepción.

Por sus cálculos efectuados, el seguimiento radar permite además la presentación del rumbo y la velocidad de cada blanco seleccionado - en la tercera línea de la etiqueta. Se puede seleccionar hasta 15 blancos con seguimiento radar.

3.3.1.2. Los Periféricos:

Las cuatro pantallas que se encuentran en la sala de control radar son del tipo PPI (o radar panorámico) que presentan las posiciones de los blancos en el plano horizontal sobre un círculo, sin presentación de altura ver figura 3-31.

Son pantallas de tubos de rayos ca

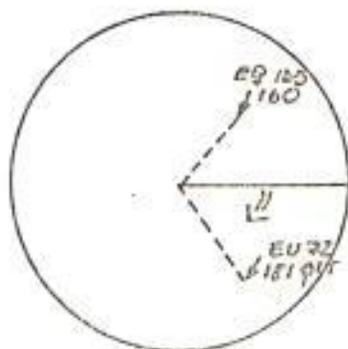


Figura # 3-31 : RADAR PANORAMICO

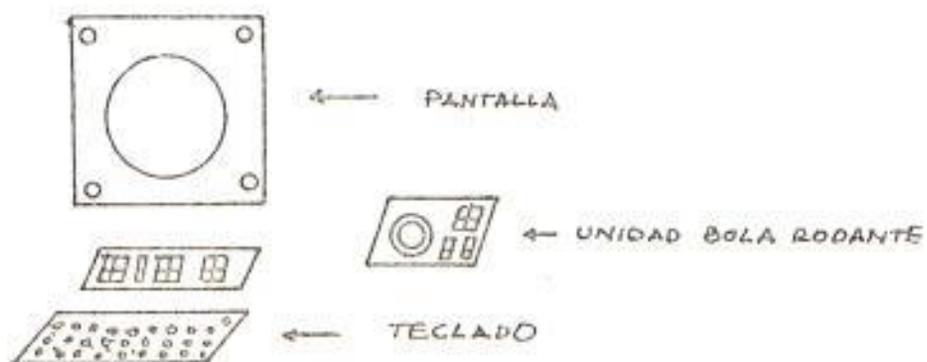


Figura # 3-32 : UNIDAD P.P.I.

tódicos de 405 milímetros de diámetro se encuentran asociados con un panel de control, un teclado y una unidad "bola rodante", que permiten al controlador escoger - la forma de presentación adecuada para su función, entrar instrucciones y mensajes en el sistema, y pedir informaciones de control. Ver fig. 3-32.

Cada pantalla ALRD acepta entradas de radar primario con datos desde la antena y señales de video, y también extrae datos SSR e instrucciones de procesamiento desde el computador, utilizandolos para generar su propia figura sintética. Estas dos imágenes radar-primario y secundario se encuentran superpuestas.

La imagen del radar primario presenta los blancos y los ecos fijos sino se dispone del equipo MTI indicador de blancos móviles. Ver

fig. 3-33.

La imagen radar secundario enseña la ubicación de los blancos válidos seleccionados por los varios filtros, con un símbolo de posición y según el caso, una etiqueta asociada. Las aeronaves en condición de emergencia, es decir con su respondedor contestando con las claves 7600 o 7700, se encontrarán parpadeando en la pantalla, para atraer la atención del controlador. Además se puede presentar en la pantalla informaciones adicionales contenidas en las áreas tabulares y cualquier línea entre dos puntos escogidos con la distancia de separación y transferencia de control entre operadores de radar. Ver fig. 3-34.

El panel de control permite al controlador ajustar la figura radar (primario y secundario) a sus requisitos. Está compuesto de va

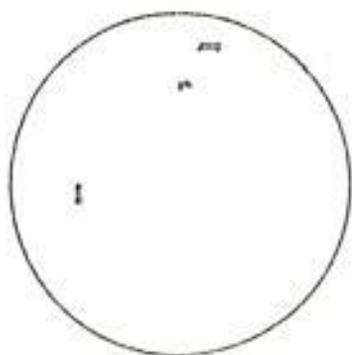


IMAGEN DEL RADAR
PRIMARIO

Figura # 3-33

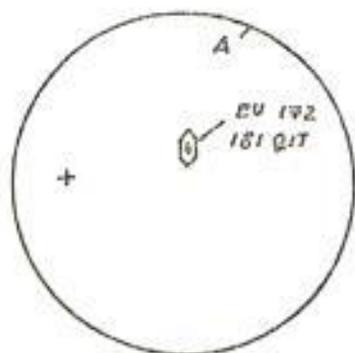


IMAGEN DEL RADAR
SECUNDARIO

Figura # 3-34

rios controles para:

- seleccionar el tipo de presentación primario (con o sin MTT).
- visualizar los mapas video.
- presentar las marcas de distancia (2, 10 y 50 millas náuticas).
- seleccionar el alcance del radar (16, 32, 64, 80 o 200 millas náuticas).
- decentrar la imagen radar.
- cambiar la presentación de los blancos y las etiquetas, variando el número de líneas por etiqueta, el tamaño de los caracteres alfanuméricos y la presencia de la trayectoria de los blancos.

Los comandos efectuados desde el panel de control por botones interruptores son convertidos en mensajes digitales para transmitirlos al computador quien se encarga de elaborar la acción requerida.

El teclado es del tipo alfanumérico y permite entrar varias instrucciones en el sistema de manera analoga al del VDU, iniciar o aceptar una transferencia de control entre controladores radar, y también, en asociación con la unidad "bola rodante", efectuar las funciones de seguimiento radar. Además se puede seleccionar la presentación de las listas C/S e I/O, y de la área de previsión (P) compuesta de dos líneas conteniendo el diálogo entre el controlador y el computador (instrucciones ingresadas, contestaciones, mensajes del sistema).

El teclado es del tipo "QWERTY" comercial universal, más algunas teclas funcionales; este teclado se ubica frente a la pantalla, conectado por un cable corto. Ver figura 3-32.

La unidad "bola rodante" se compo

ne de una esfera negra permitiendo mover sobre la pantalla un marcador, y de 8 botones interruptores para controlar varias funciones. Colocada al lado derecho de la pantalla, esta unidad permite:

- construir una línea de marcación y distancia.
- cambiar el centro de la figura radar.
- efectuar el seguimiento radar.
- efectuar la transferencia de control de una aeronave, en asociación con el teclado.
- especificar algunas instrucciones generales del panel de control para que tengan efecto sobre un solo blanco (tamaño de los caracteres, presentación de las varias partes de la etiqueta, etc).
- ubicar en cualquier sector dentro de la pantalla las áreas tabulares y la área de previsión.

Terminales VDU

Las dos unidades terminales VDU, - son periféricos que permiten dialogar con el computador. Permiten al supervisor o cualquier controlador radar ingresar instrucciones - o pedir informaciones al computador.

Los datos que se pueden ingresar, modificar, o preguntar son relacionados con:

- filtros de sector, altura y claves.
- correspondencias clave/llamada - con el fin de añadir en el sistema, informaciones conocidas sobre las aeronaves bajo control.
- QNH para corrección de altitud bajo la altitud de transición.
- hora del sistema.

El lector de cinta de papel

El lector de cinta de papel sirve para ingresar al computador el sistema operativo y los programas operativos (desarrollados en lenguaje ensamblador) y de mantenimiento de las distintas unidades del sistema.

Esta unidad es manufacturada por DEC (digital Equipment Corporation), la información se lee desde una cinta de papel de 8 canales, a una velocidad de 300 caracteres por segundo.

El Teletipo

El teletipo es el periférico que nos permite tipear información y comandos para el sistema o sacar impresiones escritas (hard copy) - de partes de la memoria de la computadora y del procesador en particular, permitiendonos analizar el funcionamiento del sistema.

3.3.2. La Programación del Computador

La programación del computador consiste del sistema operativo denominado SISTEMA DE CINTA DE PAPEL (PTS-11) que soporta el desarrollo de programas en lenguaje ensamblador. Este sistema operativo contiene un Editor, un Depurador (Debugger) de programas, un enlazador (Linker) de programas, junto con un lenguaje ensamblador.

El lenguaje ensamblador incorpora un conjunto de instrucciones que utiliza la flexibilidad de los registros de propósito general del computador PDP 11/34 para proveer alrededor de 400 instrucciones pre-alambradas. Todas las operaciones del computador son realizadas por un solo conjunto de instrucciones.

CAPITULO IV

AMPLIACION DEL RADAR SECUNDARIO

El sub-sistema de radar secundario descrito en el capítulo III consta básicamente de las siguientes unidades: la antena del radar secundario, que se encuentra montada en la parte superior del reflector parabólico del radar primario, la unidad interrogadora/receptora y el extractor de gráfico que se encuentran montados en un bastidor de 19 pulgadas que se conoce como el bastidor PIX200, el procesador de gráfico montado en su propio bastidor y las cuatro pantallas ubicadas en el cuarto correspondiente. Ver fig. 4-1, fig. 4-2 y fig. 4-3.

Esta configuración de equipos se conoce como radar secundario de un solo canal; es necesario poner de relieve que este sistema de canal simple solo tiene una unidad interrogadora/receptora, un extractor de gráfico y un Procesador de gráfico conocido como sistema de procesamiento de la información de radar secundario.

La unidad interrogadora/receptora y el extractor de gráfico son instalados en el bastidor PIX200#1, junto a

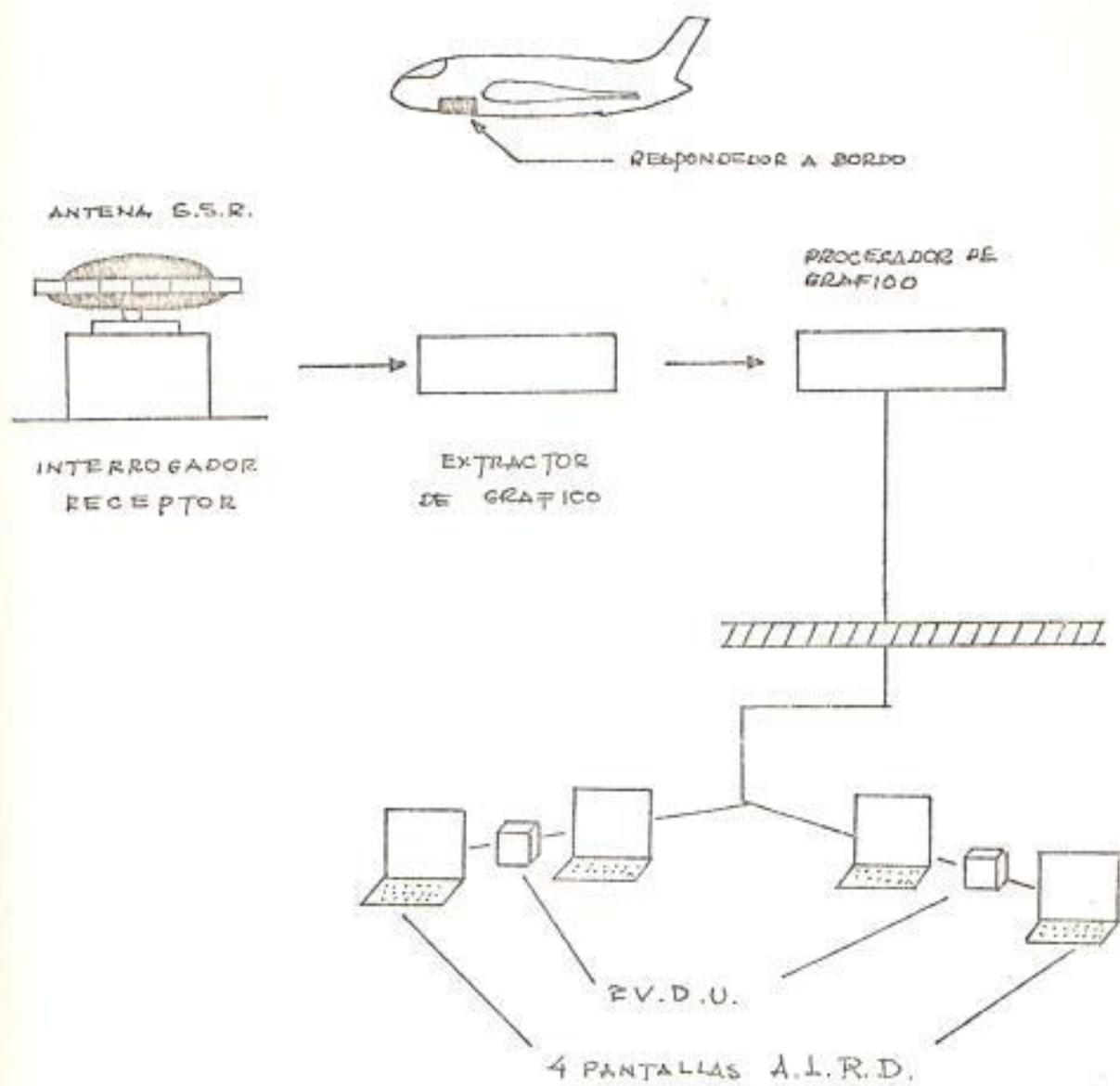


FIGURA # A.1 Sub. SISTEMA DE RADAR SECUNDARIO DIGICO

CONTROL COAX DEL ALIMENTADOR DE ANTENA

PANEL DE LAMPAS

PANEL EN BLANCO

FUENTE DE PODER
DEL EXT DE GRAFICO

INTERROGADOR #1

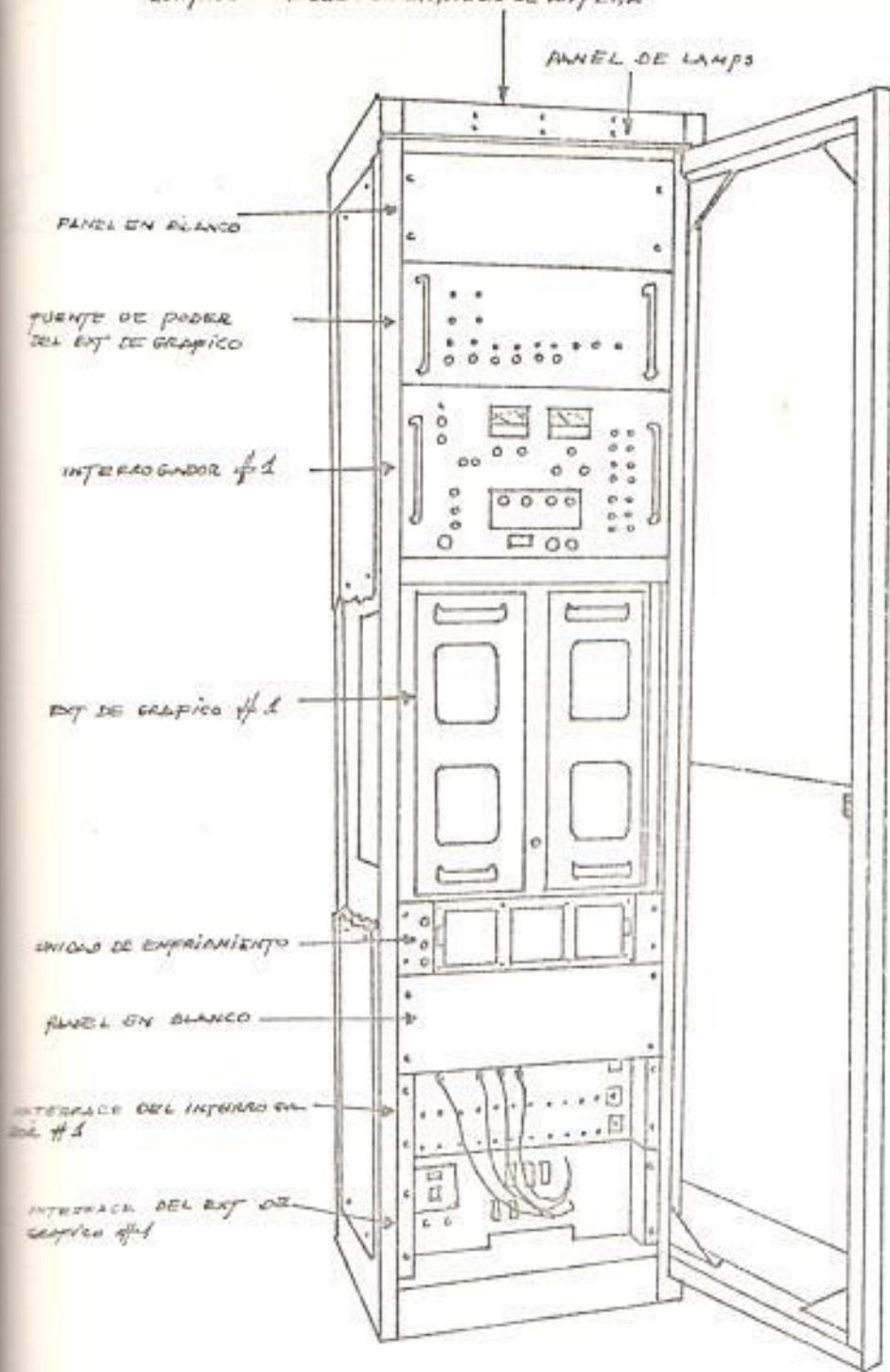
EXT DE GRAFICO #1

UNIDAD DE EMPUJAMIENTO

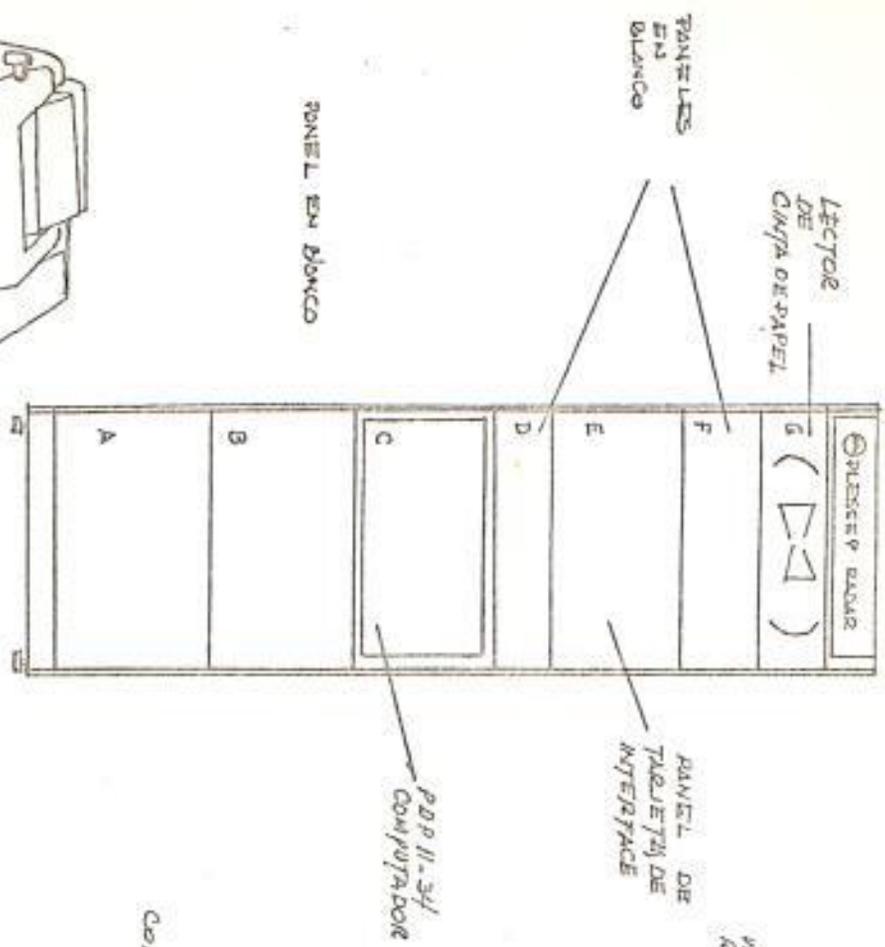
PANEL EN BLANCO

INTERFACH DEL INTERNO EN
DEL #1INTERFACH DEL EXT DE
GRAFICO #1

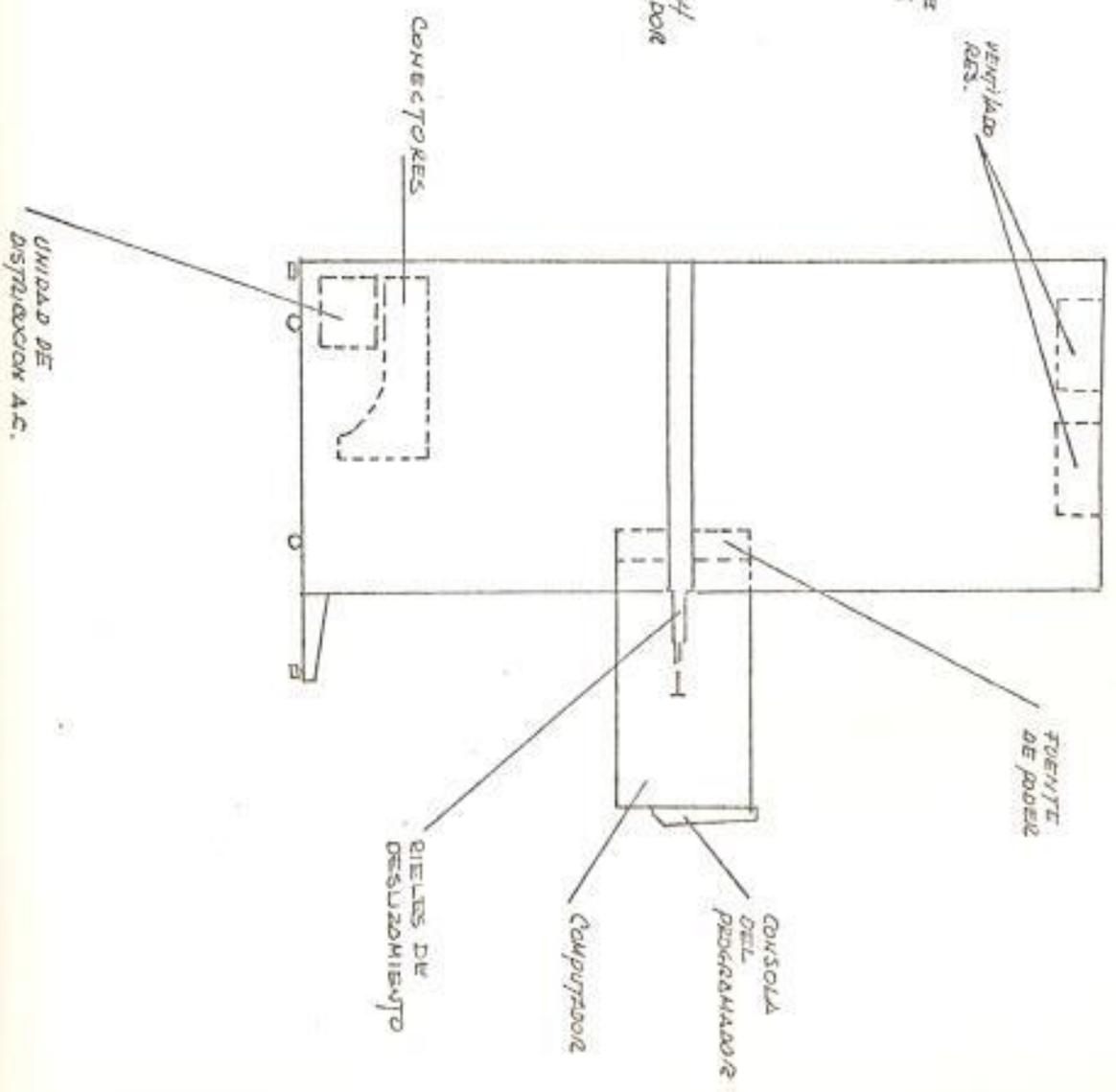
FIGURA #4-2 EXOTADOR PIX 200 #1



VISTA FRONTAL



Vista lateral



la fuente de poder del extractor de gráfico y sus correspondientes unidades de interface. Ver fig. 4 - 2.

El sistema de procesamiento de la información del radar secundario está compuesto del Computador Digital - PDP 11/34 y las pantallas del radar. El Computador - PDP 11/34 ocupa un bastidor situado en el local conocido como la sala del computador, junto al cuarto del transmisor del radar primario. Ver fig. 4 - 3. (bastidor PPS 200#1).

En este bastidor se encuentra el computador Digital PDP 11/34 con su fuente de poder incorporada en la parte Posterior del chasis del computador, el panel de tarjetas de interface con los periféricos del computador que son: 2 terminales de pantalla VDU, 4 pantallas del radar ALRD, 1 teletipo y 1 lector de cinta de papel; - en la parte inferior de este bastidor se encuentra la unidad de distribución de energía AC y en la parte superior está el lector de cinta de papel. El teletipo se instala junto al bastidor PPS200. El sistema descrito hasta aquí es un Sistema SSR 200 básico.

El radar secundario del aeropuerto "simón Bolívar" de Guayaquil consta actualmente de dos bastidores conocidos como el bastidor PIX200#1 y el bastidor PIX201. Ver fig. 4 - 2 y fig. 4 -4.

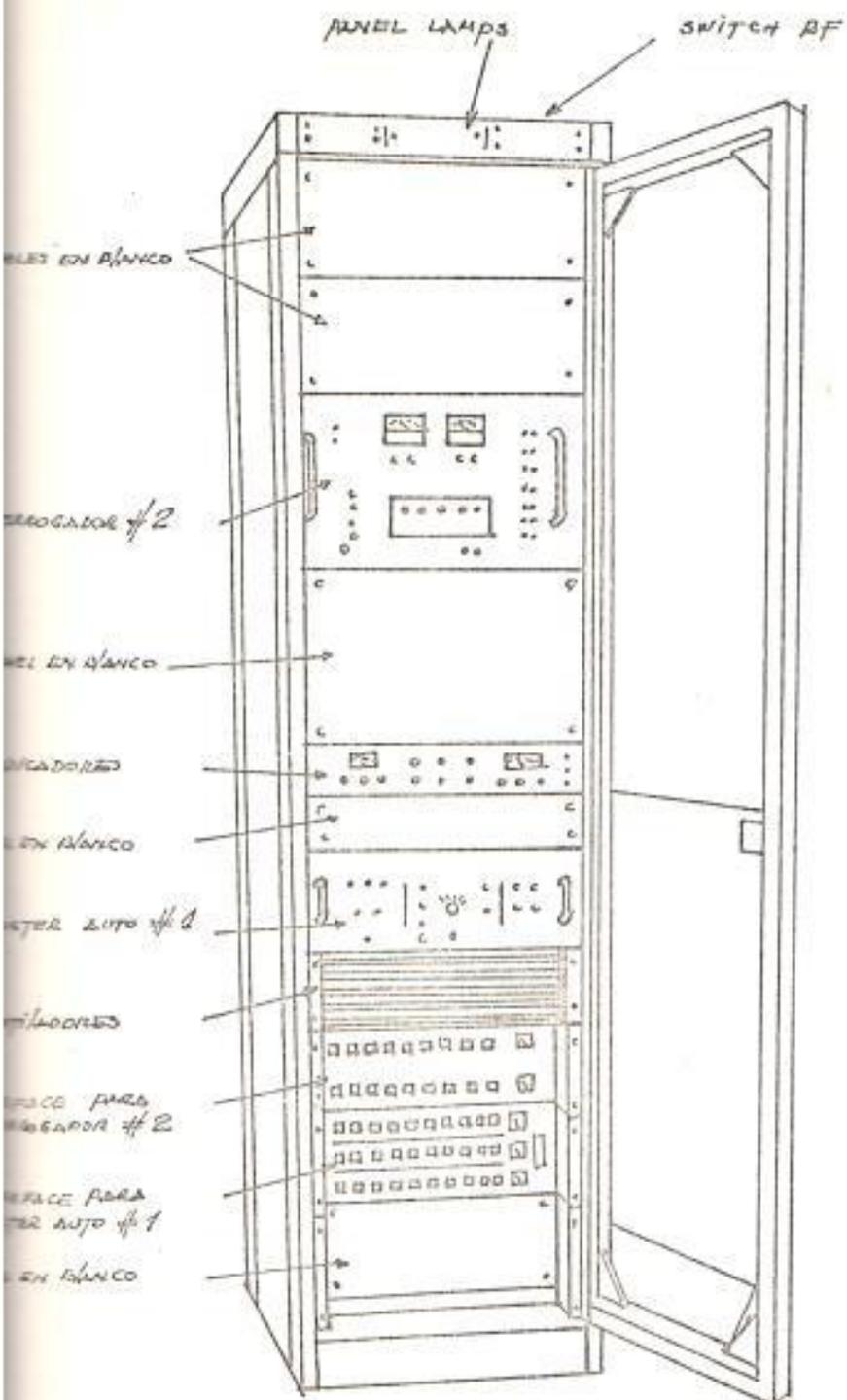


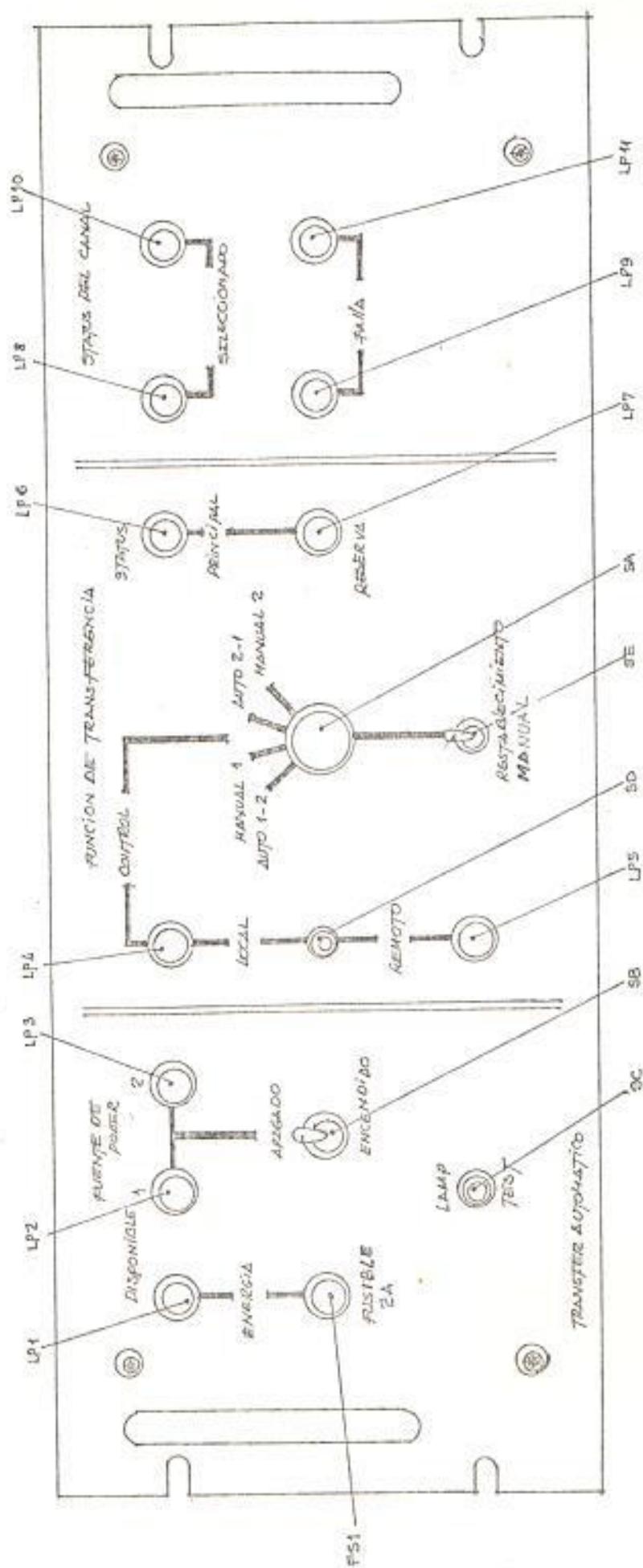
FIGURA #4-4 BASTIDOR PIX 201

Esta configuración de equipos mejora el sistema de radar secundario previamente descrito en los párrafos anteriores, gracias a la adición de un segundo interrogador/receptor, ubicado en el bastidor PIX201, el cual funciona como unidad de reserva del interrogador/receptor principal que se encuentra en el bastidor PIX200#1.

El bastidor PIX201 también contiene a la unidad de transferencia automática, que es la que realiza la transferencia automática entre las dos unidades interrogadoras/receptoras. El switch RF conecta el interrogador seleccionado a la antena. El switch incorpora una carga fantasma que permite al interrogador de reserva mantenerse en alerta. Ver fig. 4-5.

Se encuentra previsto control local de la unidad de transferencia automática. El control local se efectúa mediante switches ubicados en el panel frontal de la unidad de transferencia. Ver fig. 4-6. La posición de estos switches determina si la unidad de transferencia automática operará en el modo automático (en la posición AUTO) o si operará en el modo manual (en la posición MANUAL).

Cuando el switch está en la posición AUTO una señal de falla en el interrogador/receptor que se encuentra fun



VISTA FRONTAL

FIGURA # 4.6 TRANSFERENCIA AUTOMATICA. # 1

cionando (en línea) hace que la unidad de transferencia automática seleccione al interrogador/receptor de reserva. Si una falla ocurriese ahora con el segundo interrogador seleccionado, la unidad de transferencia automática no regresará al interrogador anterior hasta que se haya presionado el botón de restablecimiento manual.

La unidad de transferencia automática incorpora circuitos lógicos para operar relés que realizan los cambios de unidades de interrogación/recepción.

En el evento de una falla de energía en el bastidor PIX201, todos los relés de transferencia son desenergizados, sin embargo el sistema de radar secundario permanece funcionando con el interrogador/receptor del bastidor PIX200#1 en línea. Ver fig. 4-5.

El radar secundario SSR200 descrito en los párrafos anteriores constituye un sistema de un solo canal con doble interrogador/receptor; si bien la confiabilidad del equipo es alta, cuando el radar secundario se usa para control de tráfico aéreo es deseable duplicar el sistema de extracción de gráfico y el sistema Procesador de Gráfico para optimizar las disponibilidades de equipos de reserva.

La optimización que se propone es duplicar la unidad extractora de gráfico PSX200 y la duplicación del procesador de gráfico PPS200 con lo cual obtendremos un sistema doble de radar secundario.

Para el efecto se necesita incrementar la instalación actual con dos bastidores adicionales que son: un bastidor PIX200#2 y otro bastidor PPS200# 2 ver figuras 4 - 7 y 4 - 8.

En el bastidor PIX200#2 se encontrarán la unidad interrogadora/receptora # 2, existente en la actualidad, y el extractor de gráfico # 2 con sus correspondientes unidades de interface y de ventilación y enfriamiento de este bastidor. Ver fig. 4 - 7.

En el bastidor PPS200 #2 se encontrarán el computador # 2 el lector de cinta de papel #2, las unidades de interface de los periféricos y el segundo teletipo será instalado junto a éste bastidor. Ver fig. 4 - 8.

Para el caso será necesario reubicar la unidad interrogadora/receptora de reserva, que se encuentra actualmente instalada en el bastidor PIX201, e instalarla en el nuevo bastidor PIX200 # 2 y el bastidor PIX201 será utilizado para alojar a las dos unidades de trans

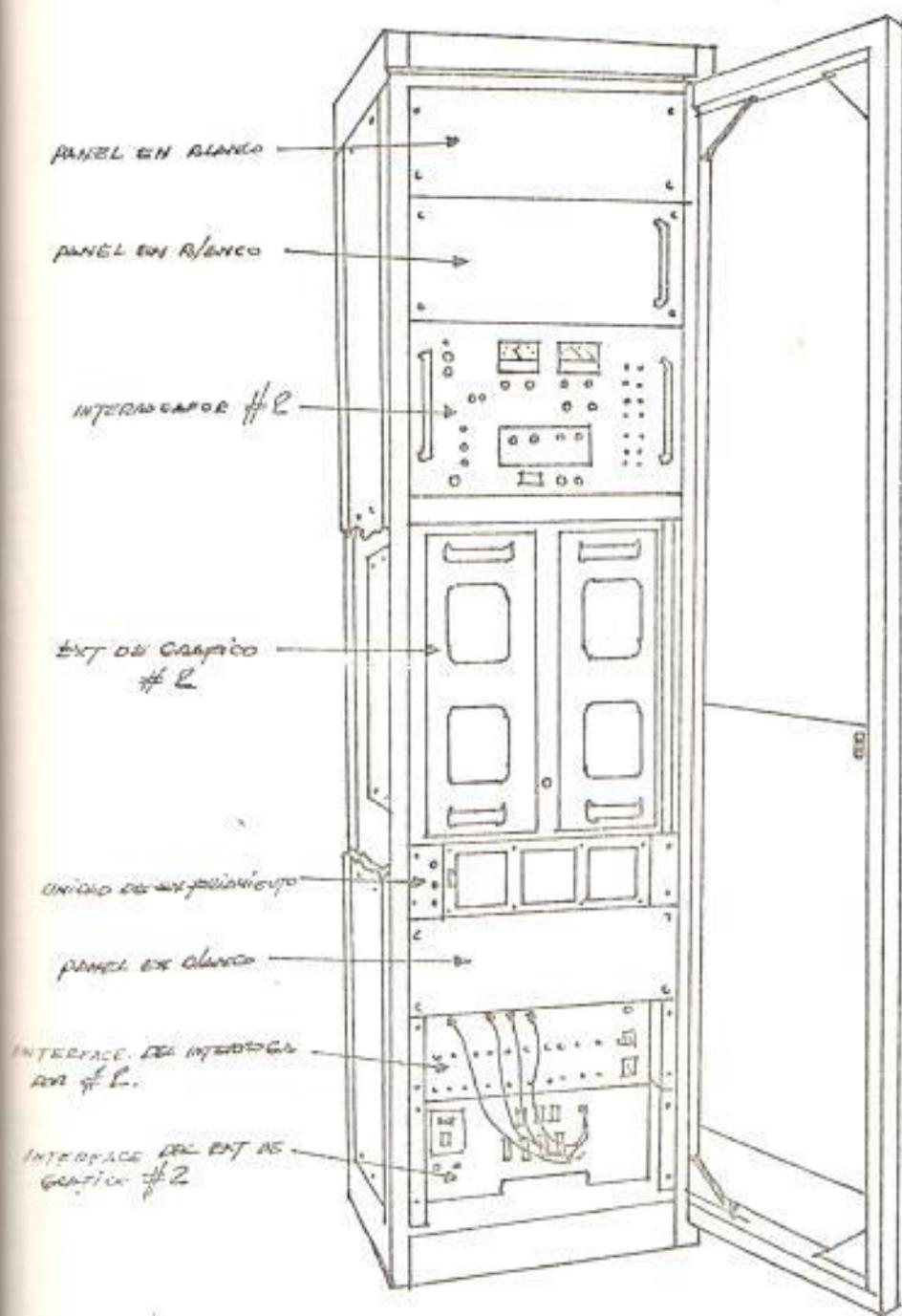


FIGURA #4-7 BLOQUE pix 200 #2

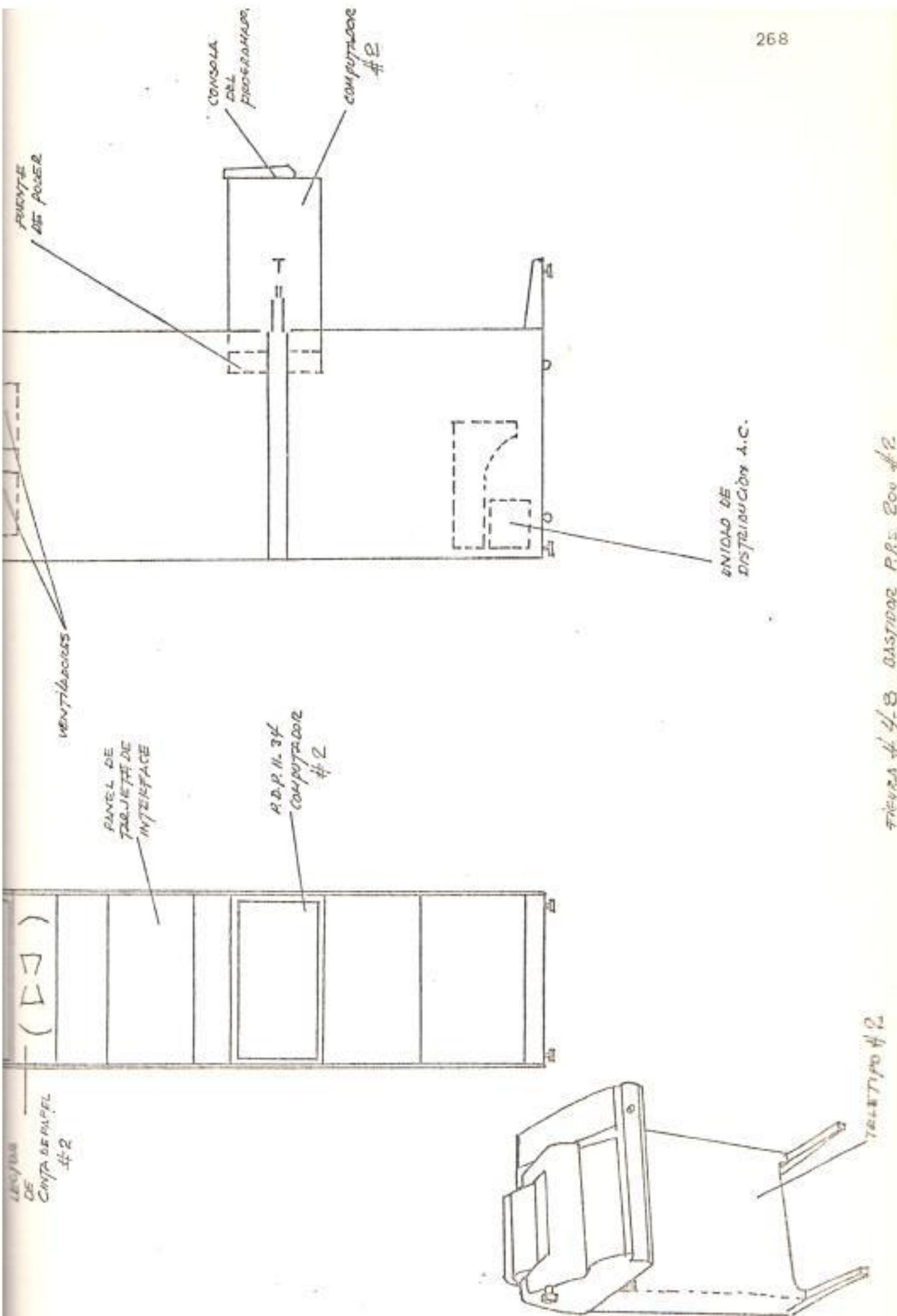


FIGURA # 4-B CASINO P.R. 200 #2

ferencia automática, que corresponden a los dos interrogadores/receptores y a los dos extractores de gráfico respectivamente, y también se instalará en este bagajador las unidades de interface de las transferencias automáticas. Ver fig. 4 - 9.

4.1. VENTAJAS QUE OPRECE LA AMPLIACION PROPUESTA

En el control del tráfico aéreo la principal necesidad es la de guiar una aeronave con seguridad a su destino, dicho objetivo se logra satisfactoriamente con el uso de radioayudas tales como los radiofaros direccionales (NDB), los radiofaros omnidireccionales (VOR), los equipos medidores de distancia (DME), etc.

Este tipo de control se conoce como control de tránsito aéreo manual que permite una separación de 80 millas náuticas, al mínimo, entre aeronaves no adecuado en la proximidad de los aeropuertos - o zona TMA, donde la densidad de aeronaves que entran o salen del aeropuerto es mayor.

Al pasar el tiempo el tráfico de aeronaves comenzó a crecer hasta el punto de generar congestión en las áreas TMA, lo que obligaba al con

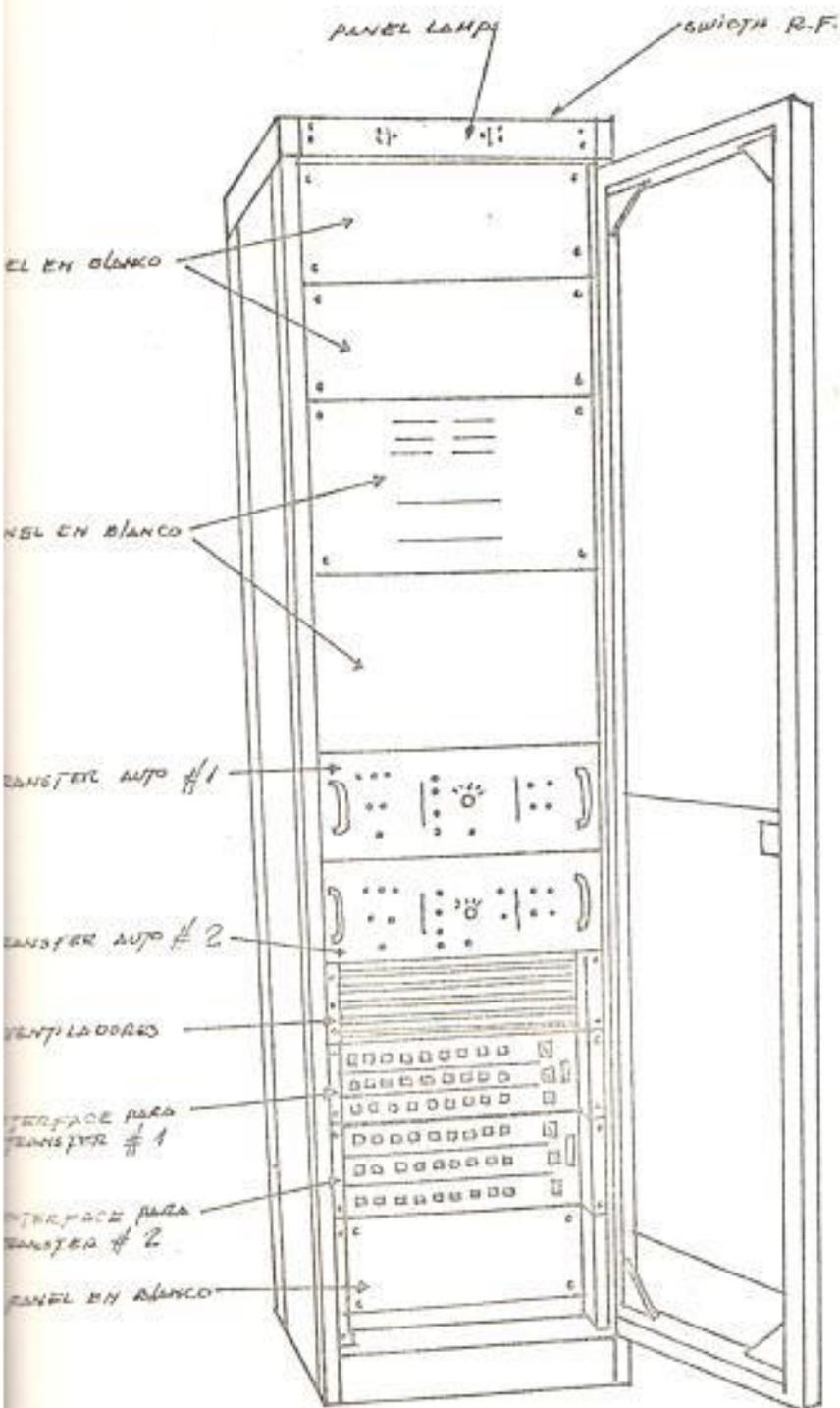


FIGURA # 4-9 RASTRO pix 201 Redistribuido

trol de tráfico aéreo a ordenar al piloto manterse sobrevolando el aeropuerto hasta que otra aeronave salga o aterrice en la pista y así conservar la distancia reglamentaria entre ellas, con el consiguiente peligro de una colisión que ponía en riesgo la vida de las personas y los aviones - que se mantenían en espera volando alrededor de una radioayuda.

El aumento continuo de tráfico aéreo obligó a un aumento correspondiente en las ayudas a la navegación aérea y dispositivos de control; siendo el dispositivo más importante para estas aplicaciones, el radar, que al momento es el instrumento más idóneo en las aplicaciones de control del tráfico aéreo.

Es claro que la información más importante para un control efectivo del tráfico aéreo es la localización exacta de cada aeronave, condición que es satisfecha por el radar.

El radar tiene la capacidad de proveer datos de posición instantaneamente y de renovar esta información continuamente, la información recibida no es ambigua y su precisión no es afectada por la

obscuridad, condiciones meteorológicas, velocidad o tipo de aeronave. Aún más, el radar está en tierra y es autosuficiente, permitiendo mantenimiento y reparación con un mínimo de atraso, y como no existe usualmente restricciones de espacio se puede instalar equipo de apoyo; el piloto ocupado con el avión, también se beneficia, pues no necesita proveer datos al control ni hacer complicados cálculos. Estas ventajas hacen del radar la mejor herramienta de que se dispone en la actualidad para aplicaciones de control de tráfico de aviones, de allí que se persigue su optimización para alcanzar la máxima confiabilidad del sistema de radar.

La optimización del radar del aeropuerto " Simón Bolívar" de Guayaquil se consigue duplicando todo el sistema de radar secundario, de esta manera nuestra instalación tendrá doble unidad interrogadora/receptora, doble extractor de gráfico y doble procesador de gráfico; obteniéndose la máxima confiabilidad de funcionamiento al aumentar la disponibilidad de equipos de reserva al límite permitido por la actual instalación lo cual garantiza satisfactoriamente los requerimientos actuales de control de tráfico de aviones.

4.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL RADAR SECUNDARIO AMPLIADO

En la fig. 4-10 se muestra el diagrama de bloques del radar secundario con la ampliación propuesta, la configuración mostrada optimiza el sistema descrito hasta aquí; esta optimización se obtiene con la adición de un segundo extractor de gráfico PSX200, junto a una segunda unidad de transferencia automática, la cual funciona para seleccionar el extractor de gráfico que se colocará en línea con el resto del sistema de radar secundario, y también la adición de un segundo procesador de gráfico PPS200, lo que brindará dos fuentes alternativas de señales de radar secundario para las pantallas, así, en el evento de una falla de un procesador de gráfico PPS200, las pantallas de radar pueden seguir mostrando la información vital para el control de tráfico aéreo, simplemente presionando un switch que transfiere del procesador A al procesador B, que será colocado "en línea".

Del diagrama de bloques mostrado en la fig. 4 - 10 se establece que la instalación del radar secundario del aeropuerto "Simón Bolívar" de Guayaquil contará con cinco bastidores conteniendo las distintas unidades que conforman el radar secundario;

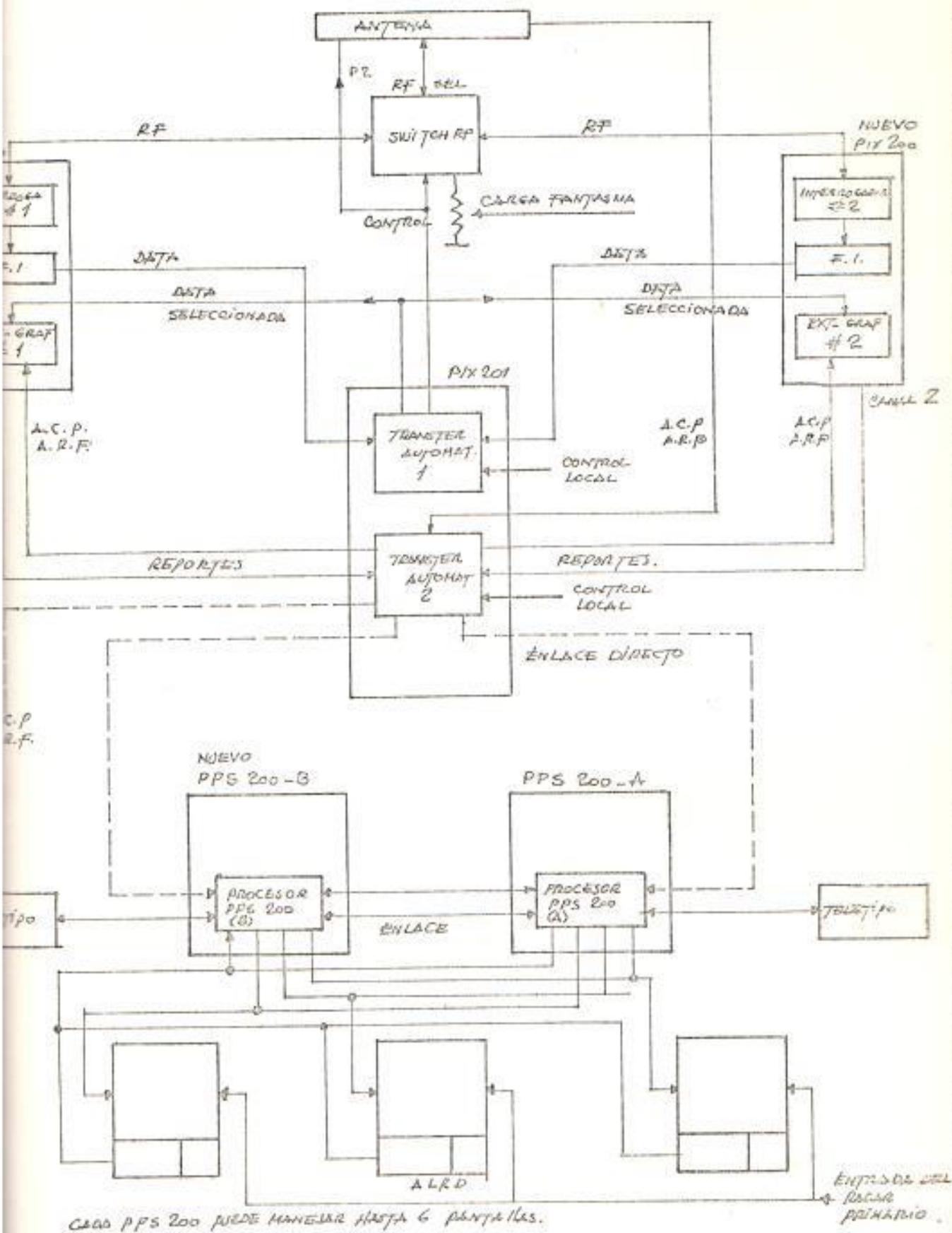


FIGURA 4-10 SISTEMA DOBLE DEL RADAR SECUNDARIO SSR 200

estos 5 bastidores son: dos bastidores PIX200 con -
 teniendo a los interrogadores y extractores de -
 gráfico; un bastidor PIX201 conteniendo a las uni -
 dades de transferencia automática y dos bastido -
 res PPS200 conteniendo a los computadores.

Montado en la parte superior del bastidor PIX201
 se encuentra el switch RF. Ver fig. 4-9. Las uni -
 dades de interface de las transferencias automáti -
 cas son también montadas en este bastidor.

Como las unidades de transferencia son accionadas
 independientemente la una de la otra, se puede -
 presentar la situación de que el interrogador del
 canal 1 este en línea con el extractor de gráfico
 del canal 2. Ver fig. 4 -11

La operación de la unidad de transferencia automá -
 tica de los extractores de gráfico es idéntica a
 la operación de las transferencia automática de
 los interrogadores, con la diferencia que utiliza
 la rutina de auto-prueba del extractor de gráfico
 iniciada una vez por rotación de antena.

La presencia de una señal de falla (FAULT) desde
 el extractor "en línea" hace que la unidad de -
 transferencia automática seleccione al extractor

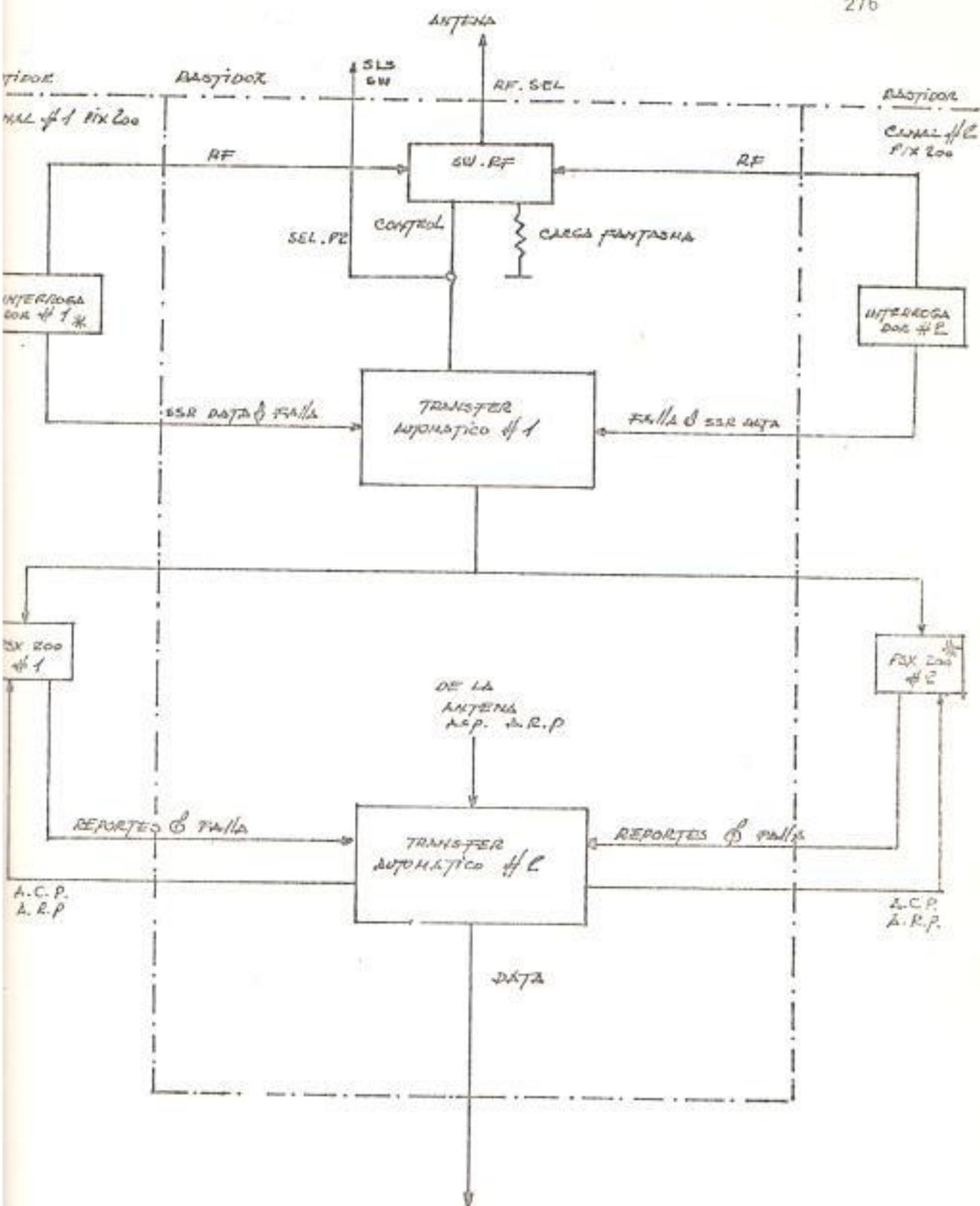


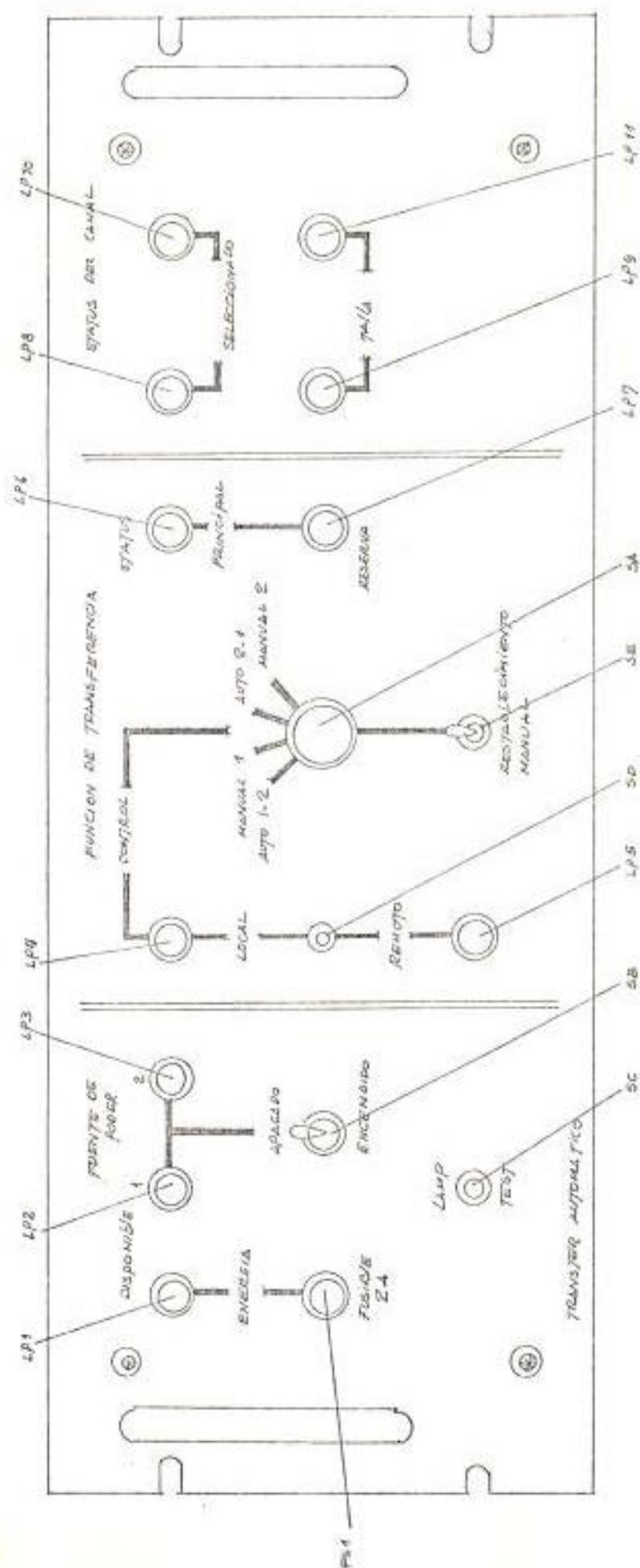
FIGURA #4.11 INTERROGADOR #1 EN LINEA CON EXT DE GRAFICO #2.

de gráfico de reserva. Si una falla ocurriese a hora con el extractor de gráfico nuevo seleccionado, la unidad de transferencia automática no regresará al extractor de gráfico # 1 hasta que el switch de restablecimiento manual (MANUAL REST) haya sido presionado. Ver fig. 4 - 12.

La selección manual de uno de los dos extractores de gráfico también se prevee con el fin de poder realizar el cambio de extractor de gráfico manualmente desde el panel frontal de la unidad de transferencia automática # 2.

Los reportes de blanco del extractor de gráfico en línea pueden ser transferidos al procesador PPS200 por medio de un enlace de banda estrecha (por telefónico). Los datos de rotación de la antena que comprende los pulsos de cambio de azimut (A.C.P) y el pulso de referencia de azimut (A.R.P.) son distribuidos a los extractores de gráfico de ambos canales por medio de la unidad de transferencia automática 2.

La duplicación del procesador de gráfico permite a las pantallas de radar tener dos entradas alternativas de señales SSR, lo cual en el evento de u



VISTA FRONTAL

FIGURA # 4-12 TRANSFERENCIA AUTOMATICA # 2.

na falla del procesador permite a ellas permanecer 'en línea' presionando un Switch.

Además recibiendo los mismos reportes del blanco desde el extractor de gráfico "en línea", ambos procesadores reciben todos los mensajes que el operador ingresa desde el panel de control de las pantallas de radar. Con la finalidad de asegurar que los dos procesadores operen en los mismos datos se establece un enlace entre ellos. Ver figura 4-10.

El segundo procesador será provisto con su propio teletipo y unidad lectora de cinta de papel, permitiendo el enlace antes mencionado, entre los procesadores, que los datos y/o instrucciones ingresados desde cualquier periférico de entrada se almacene simultáneamente en las memorias de los dos procesadores, evitando de esta manera el requerimiento de ingresar datos individualmente y reduciendo la posibilidad de errores.

Las señales de salida de los procesadores - son recibidas en todas las pantallas intercomuec

tadas. El controlador de tráfico aéreo tiene en el panel de control de las pantallas la opción de seleccionar cualquier conjunto de señales, sea del procesador A o del procesador B.

4.3. EL EXTRACTOR DE GRAFICO # 2

El extractor de gráfico # 2 será instalado en el nuevo bastidor PIX 200#2. Ver fig. 4 - 7 junto al interrogador/receptor # 2 que actualmente se encuentra instalado en el bastidor PIX201.

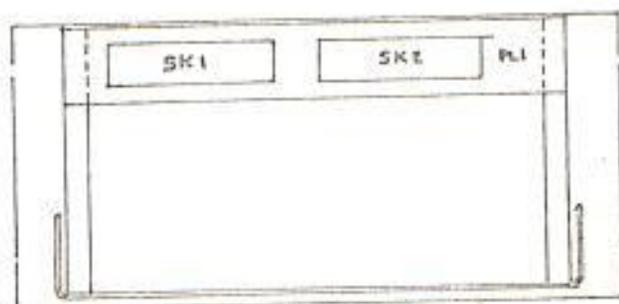
Las unidades provistas en el bastidor PIX201 redistribuidos permiten la transferencia automática entre los dos interrogadores/receptores y los dos extractores de gráfico, ya sea manualmente o ya sea automáticamente. Esta configuración permite el cambio automático 'en línea' de uno de entre dos interrogadores PTR826 y uno de entre dos extractores de gráfico PSX200. unidades de transferencia automática separadas se usarán para realizar estas funciones.

Factor fundamental de la ampliación del radar SSR200 es la consideración relativa a la fuente de poder que dará la energía necesaria para el funcionamiento correcto del extracto de gráfico # 2. La fuente de poder existente es del tipo FARNELL F2329 que contiene tres unidades de potencia discretas y provistas de un panel frontal común. Ver figs. 4 - 13. 4 - 14.

El voltaje de 240 voltios AC de entrada de la fuente de poder, es aplicado en la parte posterior del chasis y es controlado por un switch sencillo ENCENDIDO/APAGADO y un fusible.

Las varias salidas DC de la fuente de poder están conectadas a dos zócalos de salida en la parte posterior de la unidad y servirá el zócalo 1 (SK 1) para el extractor de gráfico # 1 y el zócalo 2 (SK 2) para el extractor de gráfico # 2 respectivamente. Ver fig. 4 - 14.

El switch ENCENDIDO/APAGADO, el fusible y las lám



VISTA POSTERIOR

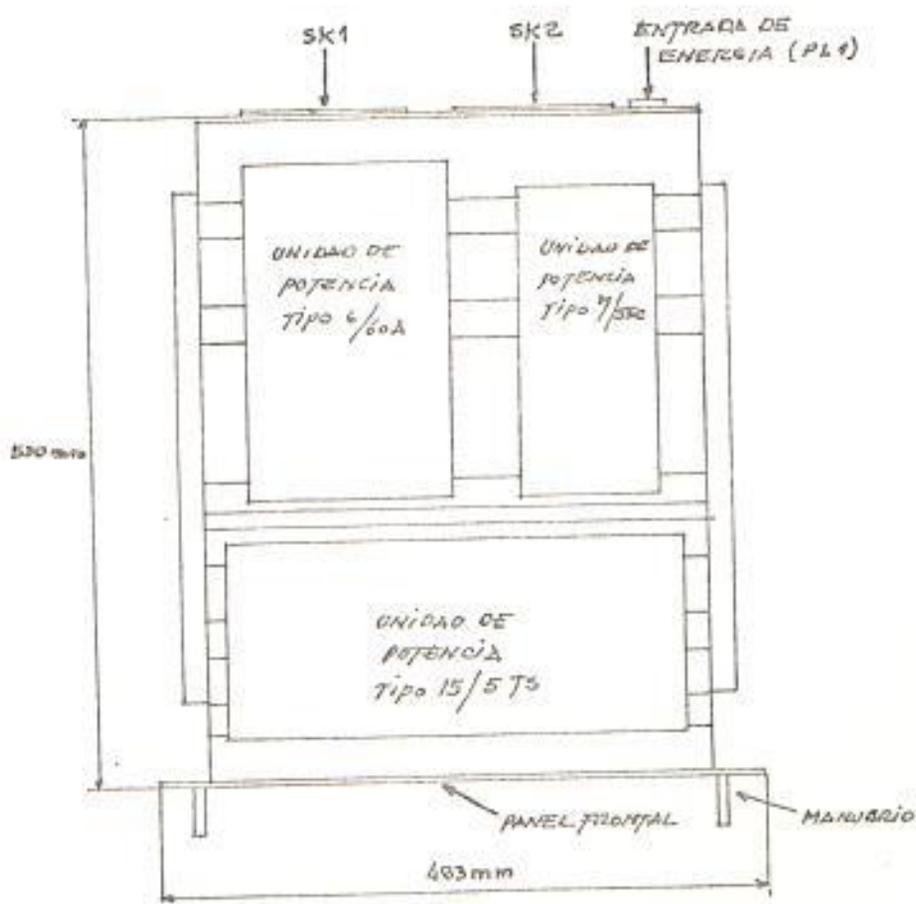
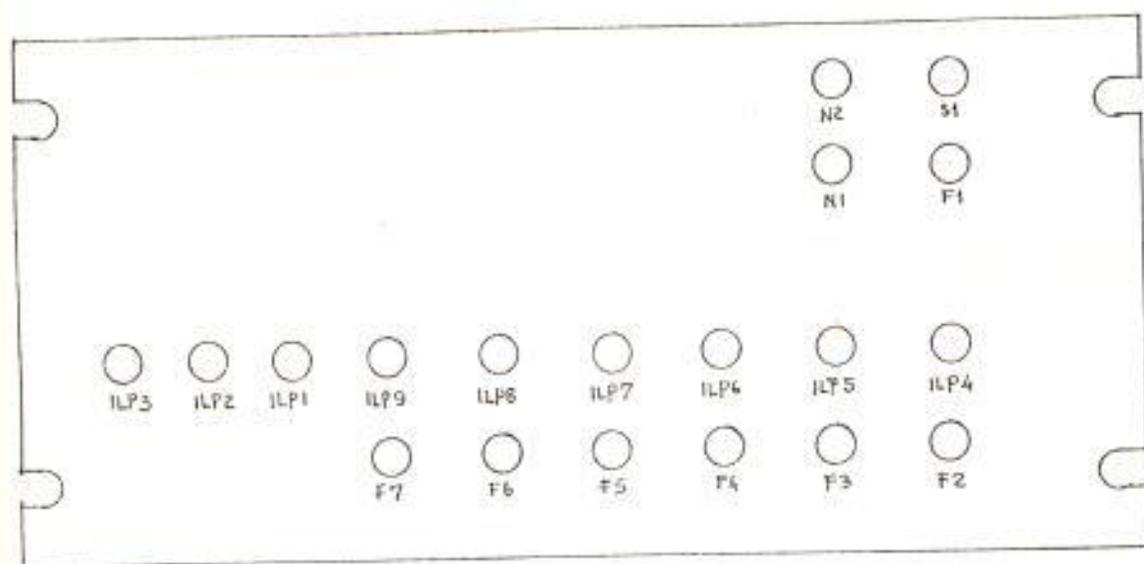
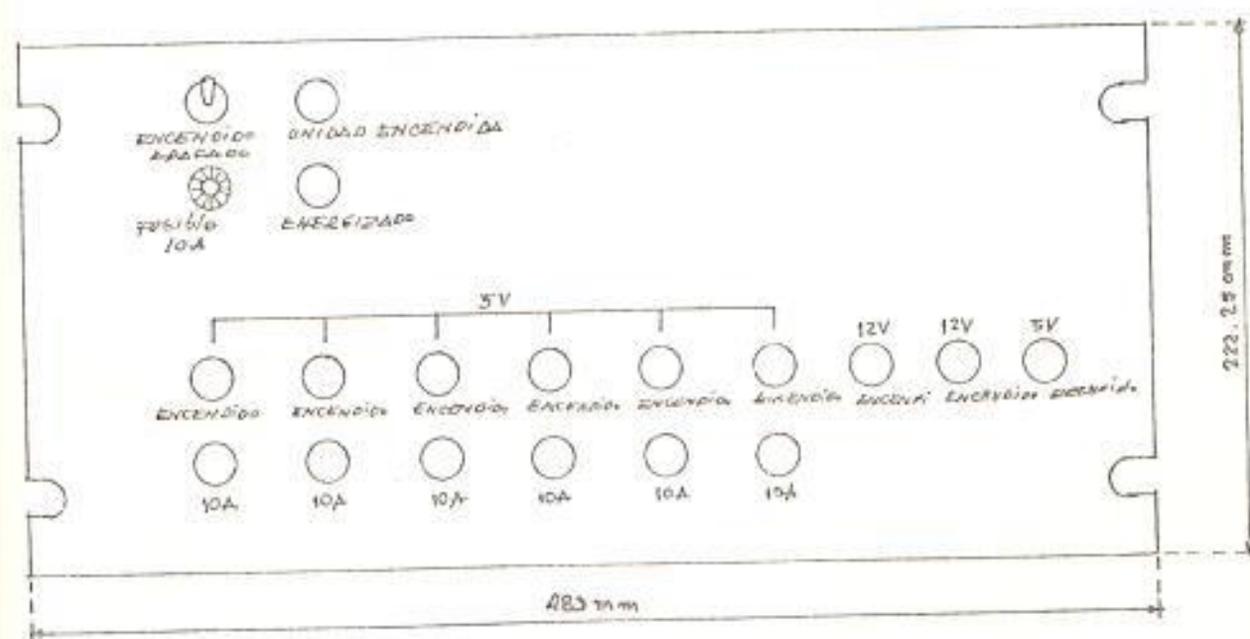


FIGURA # 4-13 FUENTE DE PODER TIPO F.2329.



VISTA POSTERIOR



VISTA DE FRENTE

FIGURA # 4-14 PANEL FRONTAL DE LA FUENTE DE PODER.

para indicadores se encuentran ubicados en el panel frontal. Ver fig. 4-14. Las salidas de voltaje DC disponibles en los zócalos de la parte posterior del chasis y que vienen de su respectiva unidad de potencia discreta son:

- (1) unidad de potencia tipo 15/5TS: + 12V/5A.
- 12V/5A.
- (2) unidad de potencia tipo M16/60A: + 5V/60A.
- (3) unidad de potencia tipo 7/5SC: - 5V/5A.

El panel frontal tienen el switch principal y los siguientes indicadores y fusibles:

- N1 indicador de ENERGIZADO
- N2 indicador de UNIDAD ENCENDIDA
- F1 fusible principal 10A
- ILP1 indicador + 12V ENCENDIDO
- ILP2 indicador - 12V ENCENDIDO
- ILP3 indicador 5V ENCENDIDO
- ILP4-ILP9 indicadores 5V ENCENDIDO
- F2-F7 fusibles 10A.

La fuente de poder está instalada en el bastidor PIX200 # 1 ver fig. 4-2, y su capacidad cubre los

requerimientos de energía de la ampliación propuesta.

4.4. LA UNIDAD DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA # 2

La unidad de transferencia automática # 2 se usará para controlar a los extractores de gráfico #1 y 2, donde el primero estará normalmente en uso y el segundo extractor de gráfico será mantenido como equipo de reserva. Ver fig. 4 -12.

El control de los dos extractores de gráfico es la selección de uno de ellos como extractor de gráfico principal 'en línea' con el sistema de radar secundario y el otro como equipo 'fuera en línea' (off-line).

Los extractores de gráfico controlados son llamados canal 1 y canal 2 respectivamente. Las funciones de la unidad de transferencia automática #2 son las siguientes:

- a) Selección manual de uno de los dos canales para uso continuo como el canal principal, aún en el caso de que la transferencia desarrolle una falla.

b) Asignación manual del Status (cual será el extractor de gráfico principal y cual hará de equipo de reserva) de los dos canales, lo cual permite a la unidad de transferencia automática seleccionar automáticamente, que unidad estará inicialmente 'en línea' (o canal principal). Si una falla ocurriese en el extractor de gráfico que hace de equipo principal y el extractor de gráfico de reserva estuviese funcionando, entonces, se producirá la transferencia automática y el extractor de gráfico de Reserva será colocado en línea.

La transferencia del extractor de gráfico principal al extractor de gráfico de reserva es automática, pero la transferencia a un canal que esté - falloso es inhibida.

Una vez que la transferencia automática ocurre, la unidad permanece en ese estado aún si la falla del canal principal hubiese desaparecido y ocurriese una falla en el canal de reserva. Para este caso es necesario hacer la transferencia manual.

La acción de transferencia no se efectuará mien

tras se selecciona el modo de operación. Los circuitos de reconocimiento de falla tienen una acción de indicación permanente aún si la falla ha sido solucionada, hasta que no se haya presionado el switch de restablecimiento manual.

Se ha previsto la posibilidad de control remoto de la unidad de transferencia automática, posibilidad que será utilizada cuando se construya el nuevo aeropuerto de la ciudad de Guayaquil, en cuyo caso los equipos del sistema de radar del aeropuerto "Simón Bolívar" permanecerán en el actual edificio terminal, donde se encuentran ahora, pero todo el control del tránsito aéreo se trasladará al nuevo terminal y el control de los equipos será remoto por intermedio de un radio enlace y/o microondas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo de la presente Tesis de Grado es el de poner de relieve la importancia que tiene el Radar como herramienta efectiva para el control del tráfico aéreo del Aeropuerto "Simón Bolívar" de Guayaquil.

El estudio que se ha realizado en esta Tesis servirá a Aviación Civil en la optimización de la confiabilidad de funcionamiento de los equipos del Radar y así poder conservar el control del tráfico aéreo en forma automática las 24 horas del día y los 365 días del año.

No ha sido objetivo de la Tesis hacer un Análisis del costo que tendrá la optimización propuesta por la sencilla razón de que cualquier inversión que se realice con el fin de obtener un tráfico aéreo seguro y confiable se encontrará plenamente justificado.

Sería recomendable que la Dirección de Aviación Civil realice la ampliación propuesta en dos etapas: La primera etapa consistirá en la adición del Extractor de Gráfico # 2 con su correspondiente unidad de transferencia automática y la segunda etapa en la incorporación del segundo Procesador de Gráfico; y que la misma se efectue en su totalidad en un plazo no mayor de dos años.

B I B L I O G R A F I A

1. CONCEPTOS DE RADAR del Instituto de Protección al vuelo del Brasil.
2. CURSO BASICO DE RADAR de la Escuela Técnica de Aviación Civil del Ecuador.
3. SISTEMA DE RADAR PRIMARIO de la Cía. Plessey de Inglaterra.
4. SISTEMA DE RADAR SECUNDARIO de la Cía. Plessey de Inglaterra.
5. EL EXTRACTOR DE GRAFICO de la Cía. Plessey de Inglaterra.
6. INGENIERIA ELECTRONICA por J. González Bernaldo de Quiros.
7. MANUAL DEL USUARIO DEL COMPUTADOR PDP 11/34 de la Cía. Digital Equipment Corporation de USA.
8. MANUAL DE PROGRAMACION DEL PDP-11 de la D.E.C.
9. MANUAL DE PERIFERICOS DEL COMPUTADOR PDP-11/34 de Digital Equipment Corporation.
10. MANUAL DE LAS PANTALLAS DE RADAR de la Cía. Plessey England.