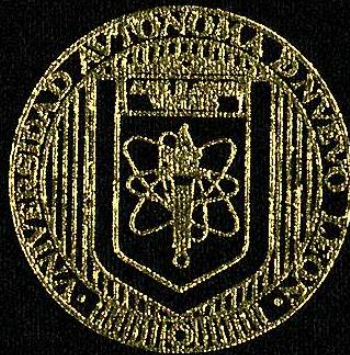


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



"TECNOLOGIAS DIGITALES Y COMPUTACIONALES EN
SISTEMAS DE RADAR Y RADIOAYUDAS PARA
CONTROL DE TRANSITO AEREO"

POR

ING. AZAEL ELICERIO MORALES

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD
EN ELECTRONICA

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L., SEPTIEMBRE DE 2000

AEA

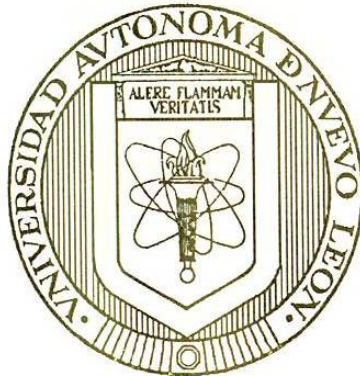
TECNOLOGIAS DIGITALES Y COMPUTACIONALES EN
SISTEMAS DE RADAR Y RADIOAYUDAS PARA
CONTROL DE TRAFICO AEREO

TM
Z5853
.M2
FIME
2000
E4



1020131113

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN ESTUDIOS DE POST-GRADO



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

POR

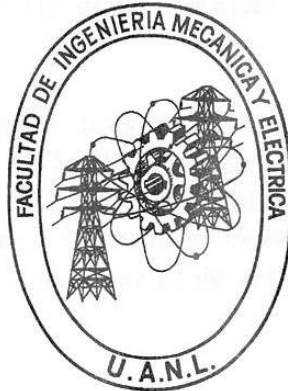
ING. AZAEL ELICERIO MORALES

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD EN ELECTRÓNICA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L., SEPTIEMBRE DE 2000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN ESTUDIOS DE POST-GRADO



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

POR

ING. AZAEL ELICERIO MORALES

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD EN ELECTRÓNICA



SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L., SEPTIEMBRE DE 2000

0136-24660

TH
Z5853
•M•
FINE
2000
E4




FONDO
TESIS


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO


Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis **“TECNOLOGÍAS DIGITALES Y COMPUTACIONALES EN SISTEMAS DE RADAR Y RADIOAYUDAS PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO”** realizada por el **Ing. Azael Elicerio Morales**, # matrícula 103962, sea aceptada para su defensa como opción al grado de **Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con la especialidad en Electrónica**.

El Comité de Tesis


M.C. FERNANDO ESTRADA SALAZAR
Asesor


M.C. CIRO CALDERÓN CÁRDENAS
Coasesor


M.C. LEOPOLDO R. VILLARREAL JIMENEZ
Coasesor


M.C. ROBERTO VILLARREAL GARZA
Vo.Bo.
División de Estudios de Post-grado

San Nicolás de los Garza, N. L., Septiembre de 2000.

PRÓLOGO

Estamos viviendo una época de descubrimientos científicos, innovaciones tecnológicas y creatividad en todos los campos de la actividad humana. Nunca antes, en épocas pasadas, habíamos visto y aprendido tanto en lapsos tan cortos, y todo esto es una consecuencia directa de la revolución que están causando las nuevas tecnologías modernas, principalmente las telecomunicaciones y la informática unidas por medio de redes de computadoras.

La ingeniería aeronáutica no se queda al margen de estos adelantos y en la actualidad la mayoría de los sistemas utilizados para el Control de Tránsito Aéreo hacen uso de estas herramientas modernas para lograr un tráfico seguro.

En el umbral del tercer milenio la ingeniería aeronáutica continua con su modernización para enfrentar los grandes retos motivados por la nueva era tecnológica de la aviación civil y militar, donde destacan entre varias, la tecnología por satélite, las computadoras y la digitalización.

El transporte aéreo ha sido un factor fundamental para el desarrollo de las actividades productivas y comerciales de cualquier país. Por ello, se requiere constantemente estar modernizando su infraestructura con las nuevas tecnologías.

Para garantizar la seguridad en el Control de Tránsito Aéreo además de las nuevas tecnologías aplicadas a la ingeniería aeronáutica se requiere personal altamente calificado y profesional.

La finalidad del desarrollo de esta tesis es apoyar la formación de recursos humanos que en un futuro puedan operar los sistemas que actualmente se utilizan en esta actividad.

El presente trabajo fue desarrollado por el ING. AZAEL ELICERIO MORALES y el ING. ANIBAL GARZA PEÑA.

M.C. Fernando Estrada Salazar.

CONTENIDO

Síntesis	1
Capítulo 1 Introducción	
1.1 Planteamiento del problema a resolver	3
1.2 Objetivo de la Tesis	3
1.3 Hipótesis	4
1.4 Límites del Estudio	4
1.5 Justificación del Trabajo de Tesis	4
1.6 Metodología	5
1.7 Revisión Bibliográfica	5
Capítulo 2 Sistemas de Radar	
2.1 Introducción	7
2.2 Historia y Desarrollo	8
2.3 Propósito del Radar	15
2.4 Aplicaciones	16
2.5 Bandas de Frecuencias Asignadas	17
2.6 Ecuación de Rango Radar	18
2.7 Radar de Onda Continua	20
2.7.1 El signo de la velocidad radial	23
2.8 Radar de Frecuencia Modulada	24
Capítulo 3 Radares para Control de Tránsito Aéreo	
3.1 Radares de Superficie	27
3.2 Radares de Precisión de Aproximación	30

3.3	Radares de Aproximación	33
3.4	Radares de Ruta Primario	36

Capítulo 4 Radar Secundario para Control de Tránsito Aéreo

4.1	Principio de operación	38
4.2	Sistemas de Radar Secundarios	40
4.3	Tipos de Transponder	41
4.4	Modos de Interrogación	41
4.4.1	Características del modo de Interrogación	43
4.5	Codificación de la Respuesta	44
4.5.1	Características de la transmisión de respuesta de transponder	44
4.6	Organización de una estación de Radar Secundario	46
4.6.1	Antena	46
4.6.2	Transmisor	49
4.6.3	Receptor	49
4.6.4	Extractor de Videos	50
4.6.5	Procesamiento	50
4.6.6	Unidad de visualización	51

Capítulo 5 Radar Primario para Control de Tránsito Aéreo

5.1	Introducción	52
5.2	Sistema básico de Radar de Pulsos	53
5.2.1	Unidad de sincronía	53
5.2.2	Modulador	54
5.2.3	Transmisor	54
5.2.4	Receptor	55
5.2.5	Duplexor	55
5.2.6	Antena	56
5.3	Configuración de una Estación de Radar Primario	56

Capítulo 6 Sistemas de Comunicaciones para Control de Tránsito Aéreo

6.1	Generalidades	59
6.2	Comunicaciones Aire Tierra	59
6.3	Frecuencias asignadas	61
6.4	Comunicaciones Punto a Punto	61

Capítulo 7 Radioayudas para Control de Tránsito Aéreo

7.1	Radiofaro omnidireccional (V.O.R.)	63
7.1.1	Introducción	63
7.1.2	Principio de Operación	64
7.1.2.1	Diferencia de fase	65
7.1.3	Frecuencias de Operación	66
7.1.4	Señales componentes del VOR	67
7.1.4.1	Subportadora de referencia	68
7.1.4.2	El Limacón	68
7.1.4.3	Relación de fase	70
7.1.5	Operación antena ranura	71
7.1.5.1	Figura de ocho cruzada	73
7.1.5.2	Figura de ocho sencilla	74
7.1.6	Variable de bandas laterales	75
7.1.6.1	Relación de R.F.	76
7.1.6.2	Relación de 30 Hz	76
7.1.6.3	Rotación del Limacón	76
7.1.6.4	Descripción de la figura 7.9	79
7.1.7	Modulación de la antena de ranura	81
7.1.7.1	Corriente de ranura	81
7.1.7.2	Salida de ranura	82
7.2	Equipo Medidor de Distancia (D.M.E.)	83
7.2.1	Generalidades	83
7.2.2	Fundamentos de operación	84
7.2.2.1	Retardo del tiempo del sistema	84

7.2.2.2	Identificación	86
7.2.3	Tren de pulsos de salida	86
7.2.3.1	Pulsos espurios de ruido	87
7.2.3.2	Pulsos de respuesta a interrogación	87
7.2.3.3	Pulsos de identificación	88
7.3	Radiofaro No Direccional (N.D.B.)	89
7.3.1	Introducción	89
7.3.2	Generalidades	89
7.3.3	Frecuencias asignadas	89
7.4	Tacan	90
7.4.1	Introducción	90
7.4.2	Medición de distancia	92
7.4.3	Medición de Marcación	95
7.4.4	Balizas Tacan	96
7.4.5	Equipo de abordó	97
Capítulo 8 Sistema de Aterrizaje por Instrumentos		
8.1	Generalidades	98
8.1.1	Definición de categorías	99
8.1.2	Radioalineación de pista	100
8.1.3	Radioalineación de descenso	102
8.1.4	Radiobaliza	103
8.2	Principio de funcionamiento	104
8.2.1	Localizador	104
8.2.1.1	Equisañal	104
8.2.1.2	Referencia nula	104
8.2.1.3	Sistema de antena	112
8.2.2	Senda de planeo	117
8.2.2.1	Diagrama de radiación	117
8.2.2.2	Equisañal	119

8.2.2.3	Referencia nula	120
8.3	Radioalineación de la Pista	129
8.3.1	Composición de equipo	129
8.3.2	Características generales	131
8.4	Radioalineación de descenso	133
8.4.1	Composición del equipo	133
8.4.2	Características generales	135
8.4.3	Uniones eléctricas	135
8.5	Material anexo	128
8.5.1	Receptor	137
8.5.2	Monitor lejano	137

Capítulo 9 Control de Tránsito Aéreo en México

9.1	Introducción	139
9.2	Control de Tránsito Aéreo	141
9.3	Servicio de Control de Aeródromo	142
9.4	Servicio de Control de Aproximación	144
9.5	Servicio de Control de Área	148

Capítulo 10 Capacidad instalada en México

10.1	Introducción	153
10.2	Comunicaciones Aeronáuticas	153
10.3	Radiofaro Omnidireccional de muy alta frecuencia(VOR)	160
10.4	Equipo Medidor de Distancia	161
10.5	Radiofaro No Direccional	164
10.6	Sistema de Aterrizaje por Instrumentos	166
10.7	Sistemas de Radar	167

Capítulo 11 El Futuro para el Control de Tránsito Aéreo

11.1	Generalidades	172
------	---------------	-----

Capítulo 12 Conclusiones y recomendaciones	
12.1 Conclusiones	179
12.2 Recomendaciones	179
Bibliografía	181
Listado de Tablas	183
Listado de figuras	184
Anexo1 Sistema con función modo S	187
Anexo 2 Definiciones de las formas de onda	198
Glosario	199
Resumen Autobiográfico	201

SÍNTESIS

La presente tesis es una investigación completa sobre los distintos sistemas utilizados para el Control de Tránsito Aéreo.

En la primera parte se investigó cual fue el desarrollo de los sistemas de Radar para tener una idea desde cuando se inventaron estos sistemas y desde cuando comenzaron a ser útiles a la sociedad. En esta sección se proporciona información de las distintas aplicaciones de estos sistemas con la finalidad de que el lector sé dé cuenta de la gran variedad que hay. También se da información de cómo calcular el rango del radar.

En la siguiente sección se habla exclusivamente de los sistemas de Radar para Control de Tránsito Aéreo y además se da información de las principales características de los sistemas para que el lector sé de cuenta de las bandas de frecuencia utilizadas y de las potencias que manejan estos equipos.

Debido a que en la aviación civil tanto en las áreas terminal como en ruta, solamente se usan sistemas de Radar Secundario para Control de Tránsito Aéreo. En el capítulo numero cuatro se proporciona información de estos sistemas. Se da información del principio de funcionamiento y de los principales parámetros que proporcionan.

En el capítulo numero cinco se da información de los sistemas de radar Primario para Control de Tránsito Aéreo. Estos sistemas prácticamente son utilizados por la aviación militar para vigilar el movimiento de sus aeronaves.

De nada serviría tener sistemas muy complicados de navegación para observar los movimientos de las aeronaves y no poder comunicarse con ellos, por eso en el capítulo numero seis se habla de la importancia de las comunicaciones para el Control de Tránsito Aéreo y de las frecuencias asignadas.

En los capítulos siete y ocho se mencionan las principales radioayudas para el Control de Tránsito Aéreo. Se habla primeramente del VOR que es una facilidad que no debe de faltar en cualquier país desarrollado con la idea de trazar las aerovías por donde volarán las aeronaves. Seria muy difícil para un piloto volar y no saber dónde se

encuentra. El conjunto VOR/DME le dice al piloto su posición y así poder volar con seguridad. En esta misma sección se habla del ILS que es una radioayuda utilizada para aterrizar en condiciones de mal tiempo.

El Control de Tránsito Aéreo muchas veces es mencionado en esta tesis. ¿Pero cómo se organiza para que sea eficiente y seguro?. En el capítulo nueve se indica como se hace.

Se hizo una investigación de las principales radioayudas y radares instalados en México y en el capítulo número diez se proporciona ésta información.

El Control de Tránsito Aéreo no puede permanecer al margen de los grandes adelantos en las tecnologías computacionales aplicadas a la ingeniería aeronáutica. En el capítulo número once se habla del futuro de este Control.