

ÍNDICE

<u>OBJETIVOS</u>	<u>1</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>2</u>
<u>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE LOS SATÉLITES</u>	<u>4</u>
1.1 Reseña histórica en el mundo	5
1.2 Reseña histórica en México	8
1.2.1 CONEE	10
1.2.2 PUIDE	11
1.2.3 AEM	13
<u>CAPÍTULO 2. SATÉLITES</u>	<u>15</u>
2.1 Definición	16
2.2 Clasificación de los satélites	16
2.2.1 Tipo de órbita	16
2.2.1.1 Altura	19
2.2.1.1.1 Geosíncrono	19
2.2.1.1.1.1 Geoestacionarios (GEO)	19
2.2.1.1.2 Baja (LEO)	20
2.2.1.1.3 Media (MEO)	21
2.2.1.1.4 HEO	22
2.2.1.2 Forma	23
2.2.1.2.1 Órbita Elíptica	24
2.2.1.2.2 Órbita Circular	24
2.2.1.3 Inclinación	24
2.2.1.3.1 Órbita Inclinada	25
2.2.1.3.2 Órbita Ecuatorial	25
2.2.1.3.3 Órbita Polar	25
2.2.1.3.3.1 Heliosíncrona	25
2.2.2 Tamaño	26
2.2.3 Aplicación	26
2.2.3.1 Comunicación	27
2.2.3.2 Meteorológicos	27
2.2.3.3 Militares	27
2.2.3.4 Navegación	28
2.2.3.5 Percepción Remota	28
2.3 Subsistemas	28
2.3.1 Estructura	28
2.3.2 Energía eléctrica	29

2.3.3 Control térmico	29
2.3.4 Comando y Telemetría	30
2.3.5 Control de posición y estabilización	31
2.3.6 Computadora principal	32
2.3.7 Carga útil	32
2.4 Funcionamiento	33
2.4.1 Proceso para poner un satélite en órbita	33
2.4.2 Huella satelital	34
2.4.3 Enlace satelital	34
2.4.4 Combustible	36
2.4.4.1 Químico	36
2.4.4.2 Eléctrico (iones)	37
2.5 Lanzadores	37
2.5.1 Tipos de combustible	38
2.5.2 Tipos de lanzadores	39

CAPÍTULO 3. SATÉLITES DE ÓRBITA BAJA PARA RADIOAFICIONADOS **41**

3.1 Reseña histórica	42
3.1.1 Historia de la radioafición en México	44
3.2 Radioaficionados	45
3.2.1 Características de los radioaficionados	46
3.3 Satélites para radioaficionados	48
3.3.1 Frecuencias de operación	51
3.4 Efecto Doppler	54
3.5 Predicciones orbitales	56

CAPÍTULO 4. ESTACIÓN TERRENA DE RADIOAFICIONADOS PARA SATÉLITES DE ÓRBITA BAJA **62**

4.1 Características generales	63
4.2 Subsistemas	64
4.2.1 Antenas	64
4.2.1.1 Características generales de las antenas	65
4.2.1.2 Tipos de antenas	67
4.2.2 Líneas de transmisión	70
4.2.2.1 Relación de Ondas Estacionarias (ROE)	70
4.2.3 Sistema de seguimiento	73
4.2.3.1 Estructuras para colocar el sistema de seguimiento	76
4.2.4 Transmisor y Receptor	78
4.2.4.1 Transmisor	79
4.2.4.2 Receptor	80
4.2.5 MODEM	81
4.2.6 Computadora	81
4.3 Tipos de Estaciones Terrenas de radioaficionados	83

<u>CAPÍTULO 5. PROCESO PARA OBTENER LICENCIA DE RADIOAFICIONADO EN MÉXICO</u>	<u>85</u>
5.1 Obtención de certificados	86
5.2 Obtención de permisos	87
5.2.1 Permiso para radioaficionado	89
5.2.2 Permiso para radioclub	89
<u>CAPÍTULO 6. INSTALACIÓN DE LA ESTACIÓN TERRENA</u>	<u>93</u>
6.1 Equipo utilizado	94
6.1.1 Sistema de antenas	94
6.1.2 Sistema de seguimiento	97
6.1.3 Sistema de comunicaciones	100
6.2 Lugar óptimo para colocar la Estación Terrena	102
6.3 Instalación y configuración del sistema de antenas y sistema de seguimiento	104
6.3.1 Sistema de antenas	105
6.3.2 Sistema de seguimiento	105
6.4 Instalación y configuración del transceptor	109
6.4.1 Medición de onda estacionaria	109
6.5 Conexiones finales	114
<u>CAPÍTULO 7. OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN TERRENA</u>	<u>116</u>
7.1 Software de predicciones orbitales	117
7.2 Operación de la estación terrena	127
7.3 Contacto satelital	129
7.3.1 Decodificación del audio	132
7.3.2 Obtención de la telemetría	136
<u>PROBLEMAS A LOS QUE NOS ENFRENTAMOS</u>	<u>175</u>
<u>CONCLUSIONES</u>	<u>177</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>180</u>
<u>GLOSARIO</u>	<u>183</u>
<u>APÉNDICES</u>	<u>185</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Órbita elíptica descrita sobre su mismo plano orbital.....	19
Figura 2.2 Cinturones de Van Allen.....	22
Figura 2.3 Clasificación de las órbitas de acuerdo a su altura	23
Figura 2.4 Sistema Molniya.....	23
Figura 2.5 Órbita circular y elíptica	24
Figura 2.6 Tipos de órbita de acuerdo a su inclinación.....	26
Figura 2.7 Primer satélite de comunicaciones.....	27
Figura 2.8 Primer satélite meteorológico.....	27
Figura 2.9 Primer satélite de DSP.....	27
Figura 2.10 Primer satélite de navegación.....	28
Figura 2.11 Primer satélite de percepción remota.....	28
Figura 2.12 Eclipse lunar.....	30
Figura 2.13 Satélite estabilizado por giro y de forma triaxial.....	32
Figura 2.14 Proceso de transferencia de orbitas para poner un satélite GEO en órbita.....	33
Figura 2.15 Altitud del satélite, área de cobertura y Huella de un satélite de comunicaciones para servicio nacional.....	34
Figura 2.16 Enlace satelital.....	35
Figura 2.17 Comunicación intersatelital.....	35
Figura 2.18 Plataformas de lanzamiento.....	40
Figura 3.1 Efecto Doppler.....	55
Figura 3.2 Elementos Keplerianos.....	58
Figura 4.1 Antenas omnidireccionales y Diagrama de radiación de una antena omnidireccional en el plano vertical y horizontal.....	82
Figura 4.2 Antenas direccionales y Diagrama de radiación de una antena Yagi de 5 elementos.....	69
Figura 4.3 Tipos de cables coaxiales.....	70
Figura 4.4 Medidor de ROE y acoplador de impedancias en una estación terrena	72
Figura 4.5 Balun	73
Figura 4.6 Rotor Yaesu G5500 de az/el, Unidad de control para rotor az/el, Antena con inclinación fija de 45° y un rotor que solo permite movimientos en el plano horizontal.....	75
Figura 4.7 Torre autosoportada de sección cuadrada, Torre autosoportada en forma de monopolo y Torre autosoportada de sección triangular	76
Figura 4.8 Torre venteada, Isla Santa Cruz, Ecuador.....	77
Figura 4.9 Montajes no penetrables	78
Figura 4.10 Montaje penetrable	78
Figura 4.11 Imágenes de equipos transeptores.....	80
Figura 4.12 Tipos de conectores	82
Figura 4.13 Diagrama a bloques de una estación terrena.....	82
Figura 4.14 Estación fija, Estación móvil y Estación portable.....	84
Figura 6.1 Gráfica de ROE de la Antena de la banda de 2m.....	95
Figura 6.2 Gráfica de ROE de la Antena de la banda de 70cm.....	95

Figura 6.3	<i>Brazo de fibra de vidrio que sostiene en cada extremo un arreglo de antenas con sus balun ...</i>	96
Figura 6.4	<i>Conectores para las antenas VHF y UHF.....</i>	97
Figura 6.5	<i>Rotor de azimut y Rotor de elevación.....</i>	98
Figura 6.6	<i>Controlador az/el.....</i>	98
Figura 6.7	<i>Torre de la estación terrena.....</i>	99
Figura 6.8	<i>Transceptor IC-910H.....</i>	100
Figura 6.9	<i>Fuente de poder ASTRON.....</i>	101
Figura 6.10	<i>Computadora DELL ocupada en la estación terrena.....</i>	101
Figura 6.11	<i>Ubicación de la estación terrena.....</i>	103
Figura 6.12	<i>Áreas no factibles para la reubicación de la estación terrena.....</i>	103
Figura 6.13	<i>Equipo de operación de la estación terrena.....</i>	104
Figura 6.14	<i>Conexiones del controlador az/el con los rotores.....</i>	106
Figura 6.15	<i>Marcas del rotor de azimut, Marcas en el rotor de elevación, Tornillos para la calibración en azimut y Tornillos para la calibración en elevación.....</i>	108
Figura 6.16	<i>Elevación fija en 135° y Azimut 0°, 180° y 360°.....</i>	108
Figura 6.17	<i>Azimut fijo en 0° y Elevación 0°, 90° y 180°.....</i>	109
Figura 6.18	<i>Conexión para medición de Onda Estacionaria.....</i>	110
Figura 6.19	<i>Medidor de potencias bidireccional.....</i>	110
Figura 6.20	<i>Carga de prueba.....</i>	113
Figura 6.21	<i>Conexión para medir fallas en la antena.....</i>	114
Figura 6.22	<i>Conexiones de la estación terrena.....</i>	114
Figura 6.23	<i>Estación Terrena.....</i>	115
Figura 7.1	<i>Vista mapa rectangular de NfW con observador en la Ciudad de México.....</i>	118
Figura 7.2	<i>Submenú General del menú Setup.....</i>	119
Figura 7.3	<i>Submenú Time del menú Setup.....</i>	120
Figura 7.4	<i>Submenú Satellite del menú Setup.....</i>	121
Figura 7.5	<i>Actualización de elementos Keplerianos, por medio del Submenú Satellites del menú Setup.....</i>	121
Figura 7.6	<i>Submenú Groups del menú Setup.....</i>	122
Figura 7.7	<i>Submenú Observers del menú Setup.....</i>	122
Figura 7.8	<i>Submenú Current view del menú Views.....</i>	123
Figura 7.9	<i>Barra de Herramientas de NfW.....</i>	124
Figura 7.10	<i>Seguimiento Satelital de NfW.....</i>	125
Figura 7.11	<i>Ventana que se abre del botón ScriptSetup.....</i>	126
Figura 7.12	<i>Panel de trabajo de AdobeAudition.....</i>	133
Figura 7.13	<i>AdobeAudition: forma de onda, decodificación de la trama recibida y forma de espectro. ..</i>	133
Figura 7.14	<i>Ventanas de trabajo de CwGet.....</i>	135
Figura 7.15	<i>Decodificación realizada de la trama del SEEDS II del 20 de junio de 2011.....</i>	136
Figura 7.16	<i>Decodificación del SEEDS II del 10 de junio de 2011 mediante el uso del software de uso libre descargado de la página web del SEEDS II.....</i>	141
Figura 7.17	<i>Decodificación del SEEDS II del 10 de junio de 2011 mediante el uso del software elaborado en lenguaje Matlab.....</i>	141
Figura 7.18	<i>Decodificación del SwissCube del 03 de junio de 2011 mediante el uso del software de uso libre descargado de la página web del SwissCube.....</i>	148
Figura 7.19	<i>Decodificación del SwissCube del 03 de junio de 2011 mediante el uso del software elaborado en lenguaje Matlab.....</i>	149

Figura 7.20 Decodificación del HO-68 del 02 de junio de 2011 mediante el uso del software de uso libre descargado.....	154
Figura 7.21 Decodificación del HO-68 del 02 de junio de 2011 mediante el uso del software elaborado en lenguaje Matlab.....	154
Figura 7.22 Decodificación del CO-55 del 01 de junio de 2011 mediante el uso del software de uso libre descargado de la web.....	159
Figura 7.23 Decodificación del CO-57 del 03 de junio de 2011 mediante el uso del software de uso libre descargado.....	166
Figura 7.24 Decodificación del RS-30 del 01 de junio de 2011 mediante el uso del software de uso libre descargado.....	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características principales de los diferentes tipos de satélites de acuerdo a la altura de su órbita.....	23
Tabla 2.2 Clasificación de los satélites de acuerdo a su tamaño.....	26
Tabla 3.1 Atribución de bandas de frecuencias para el servicio de radioaficionados en México.....	53
Tabla 3.2 Modos de los satélites que corresponden a las bandas de frecuencias más utilizadas.....	54
Tabla 5.1 Certificado, tipo de emisión y potencia máxima. PCE = Potencia en la cresta de la envolvente..	86
Tabla 7.1 Satélites de AMSAT.....	130
Tabla 7.2 Formato de decodificación del SEEDS II.....	138
Tabla 7.3 Días elegidos del mes de junio para el SEEDS II.....	139
Tabla 7.4 Decodificación del audio recibido del SEEDS II.....	140
Tabla 7.5 Decodificación de la telemetría recibida del SEEDS II.....	142
Tabla 7.6 Decodificación de la telemetría recibida del SEEDS II.....	143
Tabla 7.7 Tabla comparativa de la Telemetría recibida por el SEEDS II.....	144
Tabla 7.8 Formato de decodificación del SwissCube.....	146
Tabla 7.9 Días elegidos del mes de junio para el SwissCube.....	147
Tabla 7.10 Decodificación del audio recibido del SwissCube.....	147
Tabla 7.11 Decodificación de la Telemetría del SwissCube.....	149
Tabla 7.12 Decodificación de la Telemetría del Swisscube.....	150
Tabla 7.13 Tabla comparativa de la Telemetría recibida por el SwissCube.....	150
Tabla 7.14 Formato de decodificación del HO-68.....	152
Tabla 7.15 Días elegidos del mes de junio para el HO-68.....	153
Tabla 7.16 Decodificación del audio recibido del HO-68.....	153
Tabla 7.17 Decodificación de la telemetría recibida del HO-68.....	155
Tabla 7.18 Tabla comparativa de la Telemetría recibida por el HO-68.....	155
Tabla 7.19 Formato de decodificación del CO-55.....	157
Tabla 7.20 Días elegidos del mes de junio para el CO-55.....	158

Tabla 7.21	<i>Decodificación del audio recibido del CO-55.....</i>	<i>158</i>
Tabla 7.22	<i>Decodificación de la telemetría recibida del CO-55.....</i>	<i>160</i>
Tabla 7.23	<i>Tabla comparativa de la Telemetría recibida por el CO-55.....</i>	<i>161</i>
Tabla 7.24	<i>Formato de decodificación del CO-57.....</i>	<i>163</i>
Tabla 7.25	<i>Días elegidos del mes de junio para el CO-57.....</i>	<i>164</i>
Tabla 7.26	<i>Decodificación del audio recibido del CO-57.....</i>	<i>165</i>
Tabla 7.27	<i>Decodificación de la telemetría recibida del CO-57.....</i>	<i>167</i>
Tabla 7.28	<i>Decodificación de la telemetría recibida del CO-57.....</i>	<i>168</i>
Tabla 7.29	<i>Tabla comparativa de la Telemetría recibida por el CO-57.....</i>	<i>169</i>
Tabla 7.30	<i>Formato de decodificación del RS-30.....</i>	<i>171</i>
Tabla 7.31	<i>Días elegidos del mes de junio para el RS-30.....</i>	<i>172</i>
Tabla 7.32	<i>Decodificación del audio recibido del RS-30.....</i>	<i>172</i>
Tabla 7.33	<i>Decodificación de la telemetría recibida del RS-30.....</i>	<i>173</i>
Tabla 7.34	<i>Tabla comparativa de la Telemetría recibida por el RS-30.....</i>	<i>174</i>