

Índice General

Índice de Figuras	1
Índice de Tablas	3
Resumen (Abstract)	6
1. Introducción a los sistemas de comunicación en satélites pequeños	7
1.1. Introducción	7
1.2. Sistemas de comunicaciones satelitales	8
1.2.1. Segmento espacial	10
1.2.2. Segmento terrestre	11
1.3. Antenas	12
1.3.1. Ganancia	13
1.3.2. Polarización	13
1.3.3. Patrón de radiación	14
1.3.4. Ancho de haz de media potencia (a -3 [dB])	15
1.3.5. Lóbulos secundarios	15
1.4. Antenas para satélites pequeños	16
1.4.1. Microcinta de parche	16
1.4.2. Antena de hélice	16
1.4.3. Dipolo	16
1.4.4. Antena cuadrifilar	17
1.4.5. Monopolo	17
1.5. Estaciones terrenas de satélites pequeños	17
1.5.1. Antenas para estaciones terrenas de satélites pequeños	18
1.5.2. Amplificador de bajo ruido (LNA, Low Noise Amplifier)	22

1.5.3.	Amplificadores de alta potencia (HPA, High Power Amplifier)	23
1.5.4.	Convertidores de frecuencia	24
1.5.5.	Modulador/Demodulador	25
1.5.6.	Multiplexor/Demultiplexor	26
1.5.7.	Codificador/Decodificador	26
2.	Incidencia de los sistemas de comunicaciones en las aplicaciones de los satélites pequeños	29
2.1.	Introducción	29
2.2.	Clasificación de los satélites	31
2.2.1.	Minisatélites	31
2.2.2.	Microsatélites	32
2.2.3.	Nanosatélites	33
2.2.4.	Pico y Femto Satélites	33
2.3.	Aplicaciones de los satélites pequeños	34
2.3.1.	Satélites de comunicaciones	34
2.3.2.	Satélites científicos	35
2.3.3.	Satélites de observación de la Tierra	36
2.3.4.	Satélites de verificación de tecnología	36
2.3.5.	Satélites militares	37
2.4.	Lanzamiento de satélites pequeños	38
2.4.1.	Lanzador Ariane	38
2.4.2.	Lanzador Athena	38
2.4.3.	Lanzador Delta	38
2.4.4.	Lanzador Cosmos	39
2.4.5.	Lanzador PSLV	39
2.4.6.	Lanzador Rocket	39
3.	Descripción de sistemas de comunicaciones en banda S que se han empleado en satélites pequeños exitosos	41
3.1.	Introducción	41
3.2.	Microsatélite MOST	43
3.3.	Nanosatélite CAN-X2	44
3.4.	Nanosatélite Deli-Next	45
3.5.	Sistema de comunicaciones en banda S del SSTL para satélites pequeños	48

3.6. Sistema de comunicaciones en banda S de ISIS para satélites pequeños	51
4. Radio Mobile, software para simular la propagación de señales de microondas	53
4.1. Introducción	53
4.2. Parámetros de entrada	55
4.2.1. Parámetros del sistema	55
4.2.2. Parámetros ambientales	56
4.2.3. Parámetros de implementación	57
4.2.4. Parámetros estadísticos	58
4.3. Descripción de Radio Mobile	58
4.3.1. Ficheros	58
4.3.2. Menú Archivo	59
4.3.3. Menú Editar	60
4.3.4. Menú Ver	62
4.3.5. Menú Herramientas	63
4.3.6. Menú Opciones	64
4.3.7. Menú Ventana	64
4.3.8. Menú Ayuda	65
4.4. Barra de herramientas	65
4.5. Configuración de la red	66
4.6. Configuración de unidades	69
4.7. Configuración de mapas	71
4.8. Análisis de resultados con Enlace de radio	72
5. Análisis de requerimientos de apuntamiento para equipos de comunicaciones directivos	75
5.1. Introducción	75
5.2. Apuntamiento de antenas en un satélite estabilizado por giro .	77
5.3. Apuntamiento de antenas en un satélite estabilizado en tres ejes	78
5.4. Planeación del sistema de comunicación satelital	79
5.4.1. Frecuencia de operación	79
5.4.2. Consideraciones de propagación	79
5.4.3. Consideraciones de ruido	86
5.4.4. Problemas de interferencia	89
5.5. Cálculo de los ángulos de elevación y azimut	90
5.6. Cálculo del enlace descendente	91

6. Requerimientos de apuntamiento satelital en órbita baja para equipos de comunicaciones	93
6.1. Introducción	93
6.2. Resumen del enlace descendente	94
6.3. Parámetros adicionales	95
6.4. Gráficas	96
6.5. Resultados	101
7. Propuesta de sistema de comunicaciones en banda S para el satélite HumSAT-México	105
7.1. Introducción	105
7.2. Proyecto HumSAT	106
7.2.1. Iniciadores del proyecto	106
7.2.2. Arquitectura de la red	106
7.3. Propuesta del sistema de comunicaciones en banda S para el satélite HumSAT-México	108
8. Conclusiones y Recomendaciones	111
8.1. Conclusiones	111
8.2. Recomendaciones	114
A. Simulaciones de enlace	115
A.1. Patrón de radiación	115
A.2. Simulaciones	116
B. Ejemplo del cálculo de enlace	121
Referencias	124

Índice de Figuras

1.1. Segmentos de un sistema de comunicación en satélites pequeños.	10
1.2. Onda que viaja en el tiempo con LHCP.	14
1.3. Patrón de radiación de una antena direccional.	15
1.4. Elementos de una estación terrena.	18
1.5. Azimut y elevación para una antena.	20
1.6. Configuración típica de un convertidor ascendente de una sola etapa.	25
3.1. Arquitectura del microsátélite MOST.	43
3.2. Nanosatélite CAN-X2.	45
3.3. Subsistema de comunicaciones del Delfi-Next.	46
3.4. Antena UHF/VHF (lado izquierdo) y antena de parche para banda S (lado derecho).	47
3.5. Sistema de comunicaciones en banda S del SSTL para satélites pequeños.	49
3.6. Sistema de comunicaciones en banda S de ISIS.	51
4.1. Página oficial de Radio Mobile.	54
4.2. Ventana de inicio de Radio Mobile.	59
4.3. Barra de herramientas de Radio Mobile.	65
4.4. Ventana de Radio Mobile para una nueva red.	66
4.5. Ventana de configuración de la red.	67
4.6. Ventana de configuración de estilo.	68
4.7. Ventana de configuración de unidades.	69
4.8. Ventana de configuración de mapas en Radio Mobile.	71
4.9. Red previamente configurada sobre el mapa cargado.	72
4.10. Ventana de análisis de Enlace de radio.	73

5.1.	Sistema de referencia ideal para un satélite.	75
5.2.	Uso de una antena omnidireccional en un satélite estabilizado por giro.	77
5.3.	Estabilización de un satélite en tres ejes.	78
5.4.	Representación esquemática de una trayectoria Tierra-Espacio dando los parámetros que son entrada al proceso de predicción de atenuación.	81
5.5.	Zonas climáticas de lluvia (15° Oeste - 165° Oeste).	82
5.6.	Atenuación debida a la absorción atmosférica para condiciones climáticas normales (temperatura de 20° y densidad de vapor de agua de 7.5 [g/cm ³]). La Figura (a) muestra una mayor atenuación para ángulos de elevación pequeños, mientras que la Figura (b) muestra que para frecuencias altas se produce demasiada atenuación.	85
5.7.	Contribuyentes de la temperatura de ruido de la antena en la estación terrena.	87
5.8.	Temperatura de ruido del cielo, para condiciones de cielo despejado.	88
5.9.	Componentes para la temperatura de ruido total del sistema.	88
6.1.	BER para un enlace a 380 [Km] con tasa de transmisión constante.	97
6.2.	BER para un enlace a 400 [Km] con tasa de transmisión constante.	97
6.3.	BER para un enlace a 500 [Km] con tasa de transmisión constante.	98
6.4.	BER para un enlace a 600 [Km] con tasa de transmisión constante.	98
6.5.	BER para un enlace a 700 [Km] con tasa de transmisión constante.	99
6.6.	BER para un enlace a 800 [Km] con tasa de transmisión constante.	99
6.7.	Comparación del comportamiento del enlace a una tasa y ángulo de elevación fijos.	100
6.8.	Comparación del enlace a una distancia y ángulo de elevación fijos.	101
7.1.	Arquitectura HumSAT.	107

7.2. Sistema de comunicaciones en banda S.	110
A.1. Patrón de radiación de la antena del satélite (antena de parche).115	
A.2. Patrón de radiación de la antena de la estación terrena (antena de reflector parabólico).	116
A.3. Variable independiente para las gráficas (ángulo off Boresight). 116	
A.4. Red configurada para el enlace de 380 [Km].	117
A.5. Simulación en Enlace de radio para una distancia de 380 [Km]. 117	

Índice de Tablas

1.1. Algunas frecuencias utilizadas en satélites pequeños.	12
2.1. Ventajas y desventajas de los satélites pequeños.	30
2.2. Clasificación de satélites de acuerdo a su masa.	31
4.1. Parámetros de entrada para el modelo ITS/Radio Mobile. . .	55
4.2. Valores sugeridos para Δh	56
4.3. Valores sugeridos para permitividad y conductividad.	56
4.4. Climas y valores sugeridos para N_S	57
5.1. Intensidad de lluvia excedida [mm/h] para ciertos porcentajes de tiempo.	83
5.2. Coeficientes de regresión para estimar la atenuación específica.	84
6.1. Resumen del enlace descendente.	94
6.2. Parámetros adicionales calculados para $\theta = 5^\circ$	95
6.3. Parámetros adicionales calculados para diferentes ángulos de elevación.	95
A.2. Resultados de simulación para diferentes distancias.	119
B.2. Cálculos para el enlace a 380 [Km].	122