

ÍNDICE GENERAL

Introducción	1
Capítulo I. Propagación Electromagnética	
1.1 La onda electromagnética	8
1.2 Radiación de fuente isotrópica	9
1.3 Transmisión entre antenas isotrópicas	10
1.4 Transmisión entre antenas directivas	11
1.5 Ganancia	11
1.6 Uso de las unidades DB	13
1.7 Bandas de frecuencias	15
1.8 Pérdidas en la potencia de la señal	17
1.9 Aproximación de Rayleigh	21
Capitulo II. Modelos de Propagación	
2.1 Modelo de Friis	23
2.2 Modelo de dos Rayos	24
2.3 Modelo Okumura	25
2.4 Modelo Okumura-Hata	26
2.5 Modelo Walfish-Bertoni	27
2.6 Modelo Walfisch-Ikegami	28
Capitulo III. Modelo Sugerido de Propagación	
3.1 Representación matemática de neblina	30
3.2 Representación matemática de la lluvia	32
3.3 Representación matemática de gases atmosféricos	34
Capitulo IV. Información Experimental Recolectada	
4.1 Descripción del experimento	38
4.1.1 Presentación del equipo experimental.	38
4.1.2 Diagrama básico de transmisión	47
4.2 Análisis del Espacio Libre	49
4.2.1 Cálculo de la ganancia de las antenas bipolares.	51
4.2.2 Medición de Pérdidas en Espacio Libre	55
4.3 Curve Fitting para Espacio Libre	59
4.4 Análisis a través de vegetación	66
4.5 Implementación de software de predicción.	75
Capitulo V. Resultados y Conclusiones.	
Apéndices	87

Índice de Figuras

Figura 1.0 Patrón de radiación isotrópico	9
Figura 1.1 Amplificación y atenuación usando decibelios	14
Figura 1.2 Diagrama básico para la medición de distancias en un sistema de radar.	112
Figura 1.2 Potencia Efectiva Radiada (ERP).	15
Figura 1.3 Reflexión de una onda al cambiar de medio [20].	19
Figura 1.3 Diagrama a Bloques de un Radar.	112
Figura 1.4. Refracción de ondas electromagnéticas [20].	19
Figura. 1.5 Frente de onda de acuerdo al Principio de Huygens	20
Figura 2.1 Parámetros básicos para modelo de dos rayos [21	24
Figura 2.2 Multi trayectoria de una señal propagada [21]	28
Figura. 4.1 Radar en banda X en buque	38
Figura. 4.2 Antena de Radar propiedad del INAOE.	39
Figura 4.3 Antena de Radar con Tripie en las instalaciones del INAOE	41
Figura 4.4 Convertidor guía de onda a cable Coaxial.	43
Figura 4.4 Patrón de Propagación de una antena de Radar marítima.	41
Figura 4.6 Vista lateral de la antena. Se puede apreciar el convertidor coaxial a guía de onda(1).	42
Figura 4.7 Oscilador Hp8350B.	44
Figura 4.8 Analizador de Espectros HP8592B.	45
Figura 4.9 Analizador de espectros mostrando una señal de RF.	45
Figura 4.10 Laser colocada en uno de los extremos de la antena de radar (1).	45
Figura 4.11 Laser colocado en otro de los extremos de la antena de radar.	46
Figura 4.12 Antena Bipolar. (1) Dipolo (2) Cable coaxial (3) Nivelador (4) Laser.	46
Figura 4.13 Patrón de radiación de una antena bipolar.	47
Figura 4.14 Diagrama de experimentación y toma de mediciones.	48
Figura 4.15 Diagrama de alineación utilizando antenas de radar.	48
Figura 4.16 Alineación de las antenas bipolares.	51
Figura 4.17 Medición de una señal de RF a una frecuencia de 10 Ghz	52
Figura 4.18 Experimentación para cálculo de ganancia.	53
Figura 4.19 Comparación de pérdidas a 1 y 9.1 Ghz.	53
Figura 4.20 Diferencia de las pérdidas a 1ghz y 9.1 ghz.	57
Figura 4.21 Potencia Recibida vs distancia a frecuencias de 8.5 Ghz y 9.1Ghz.	58
Figura 4.22 Gráfica de atenuación vs distancia para frecuencias de 9.1 ghz y 8.5 ghz.	59
Figura 4.23 Interfaz de NCSS PASS.	60
Figura 4.24 Curve fitting para frecuencias de 8.5Ghz.	61
Figura 4.25 Curve fitting para frecuencias de 9.1Ghz.	62
Figura 4.26 Curva en Matlab para pérdidas en dB a 8.5 Ghz	64
Figura. 4.28 Atenuación con antenas bipolares a través de la distancia 9.1Ghz.	64
Figura 4.29 Gráfica en matlab de las pérdidas en espacio libre teórico.	39
Figura 4.30 Pérdidas por propagación a 9.1Ghz.	65
Figura 4.31 Comparación de ecuación 5.26 a 9.1Ghz con el modelo de Friis.	65
Figura 4.32 Medio con vegetación "follaje denso".	66
Figura 4.33 Antena en follaje denso. (1) Cable coaxial (2) Dipolo	67
Figura 4.34 antena en follaje denso. (1) Analizador de espectros (2) Dipolo (3)Cable coaxial	67
Figura 4.35 Follaje muy denso (1)Antena transmisora (2) Antena receptora (3)Medio "muy denso".	68
Figura 4.36 Medición con follaje denso (1) Follaje Denso (2) Antena receptora (3) Antena Transmisora.	70
Figura 4.37 Punto de vista de la antena para follaje denso.	71
Figura 4.38 Medio con árboles como obstáculos	72

Figura 4.39 Diagrama de Mediciones con árboles.	72
Figura 4.40 Campos para las variables necesarias en la recomendación ITU.840-3.	76
Figura 4.41 Campos para las variables necesarias en la recomendación ITU.838-2	76
Figura 4.43 Diagrama del Software de prediccion	77
Figura 4.44 Interfaz del software de predicción en Visual Basic 2005	78
Figura 4.40 Campos para las variables necesarias en la recomendación ITU.676-5	77

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Bandas de Frecuencias de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.	15
Tabla 1.2 Banda de frecuencias IEEE.	16
Tabla 1.3 Bandas de frecuencias OTAN.	16
Tabla 4.1 Características Antena de Radar.	40
Tabla 4.2 Características convertidor coaxial guía de onda.	41
Tabla 4.3 Atenuación para diferentes frecuencias de cable coaxial.	42
Tabla 4.4. Características Oscilador de frecuencias	43
Tabla 4.5 Características Analizador de espectros.	44
Tabla 4.6 Potencia recibida a 1 y 9.1 ghz para calcular ganancia	52
Tabla 4.7 Mediciones con antena de radar a 8.5 ghz y 9.1 ghz	56
Tabla 4.8 . Mediciones en “follaje denso”.	67
Tabla 4.8. Mediciones con antenas bipolares a una frecuencia de 9.1ghz	63
Tabla 4.9. Comparación de pérdidas en follaje denso vs libre teórico y medido	68
Tabla 4.10. Mediciones en follaje muy denso	69
Tabla 4.11 Mediciones en follaje muy denso 2	69
Tabla 4.12. Medición a 1 metro en follaje muy denso	69
Tabla 4.13. Mediciones con 1 metro de follaje muy denso y 2 metros espacio libre	70
Tabla 4.14 Medición con follaje denso a 2.5 metros	71
Tabla 4.15 Mediciones con árboles como obstáculos.	72
Tabla 4.16 Medición en árboles a 3 metros de distancia	73