

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS  
SEÑALES EN BANDAS ARRIBA DE 10 GHZ EN  
LAS COMUNICACIONES SATELITALES

POR

ING. JORGE FRANCO QUINTANILLA

TESIS

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

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.  
JUNIO DE 1999

ANUALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS  
SERVALES EN BANDAS ARRIBA DE 10 CIERZ EN LAS

J.F.O.

COMUNICACIONES SATELITALES

TM

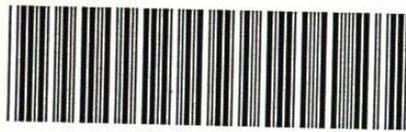
Z5853

.M2

FIME

1999

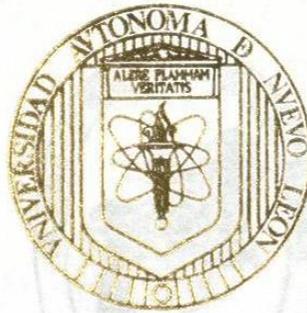
F7



1020128456

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS  
SEÑALES EN BANDAS ARRIBA DE 10 GHZ EN  
LAS COMUNICACIONES SATELITALES

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS SEÑALES EN  
BANDAS ARRIBA DE 10 GHZ EN LAS COMUNICACIONES  
SATELITALES

POR

ING. JORGE FRANCO QUINTANILLA

ING. JORGE FRANCO QUINTANILLA

TESIS

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



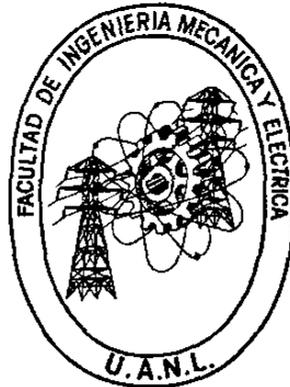
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.  
JUNIO DE 1999

0133-01060

TM  
25853  
.M2  
FME  
999  
F7



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



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS SEÑALES EN  
BANDAS ARRIBA DE 10 GHZ EN LAS COMUNICACIONES  
SATELITALES**

**POR**

**ING. JORGE FRANCO QUINTANILLA**

**TESIS**

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

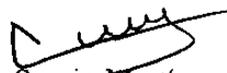
**SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.  
JUNIO DE 1999**

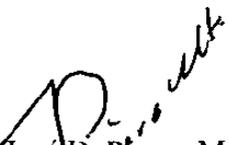
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis, **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS SEÑALES EN BANDAS ARRIBA DE 10 GHZ, EN LAS COMUNICACIONES SATELITALES**, realizada por el alumno **JORGE FRANCO QUINTANILLA** matrícula **097037** sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la **INGENIERÍA ELÉCTRICA** con especialidad en **ELECTRÓNICA**.

El Comité de tesis

  
M.C. Fernando Estrada Salazar.  
Asesor  
Nombre

  
M.C. Sergio Martínez Luna  
Coasesor  
Nombre

  
M.C. José D. Rivera Martínez.  
Coasesor  
Nombre

  
M.C. Roberto Villarreal Garza  
Vo. Bo.  
Nombre  
División de Estudios de Post-Grado.

San Nicolás de los Garza, N.L. a 27 de Abril de 1999

# PRÓLOGO

En nuestro mundo, actualmente las comunicaciones por enlaces satelitales tienen una gran demanda mundial en el aspecto social, económico, político y cultural de los países, provocando que se produzca una enorme saturación de bandas de frecuencia de transmisión entre 1 y 10 GHz.

El objetivo de nuestra tesis de maestría es dar a conocer una nueva banda de frecuencias para la transmisión y recepción de información (frecuencias arriba de 10 GHz).

Se pretende dar un amplio panorama de las ventajas y desventajas que presenta las comunicaciones en este rango de frecuencias. Destacando que uno de los aspectos más importantes que influye negativamente en este tipo de transmisión, son las grandes pérdidas producidas por la lluvia.

Se busca de una manera sencilla y directa hacer el diseño de un enlace ascendente y un enlace descendente mediante la aplicación de un conjunto de ecuaciones básicas, manejadas en decibeles.

Así mismo esta investigación tiene como punto fundamental dejar a los estudiantes de la maestría en telecomunicaciones un conocimiento teórico-práctico de las comunicaciones satelitales arriba de 10 GHz y seguir fomentando la importancia que tienen las comunicaciones mediante satélites en nuestro país actualmente.

Todos los temas fueron desarrollados por el Ing. Jorge Franco Quintanilla y el Ing. Adán Alejandro Salinas Treviño.

# SÍNTESIS

Primeramente se establece la importancia que tienen las comunicaciones satelitales, así como las ventajas que presentan actualmente en la transmisión de información. La clasificación de los satélites de acuerdo a su aplicación, principios de operación, de acuerdo a su órbita, de acuerdo a su cobertura.

Se define la órbita comúnmente más usada por los satélites de comunicaciones así como las características que presenta. Así como las bandas de frecuencia utilizadas para fines comerciales y militares (Banda C, banda Ku).

El satélite es un receptor activo, cuya función es recibir la señal de la tierra, amplificarla y retransmitirla a una o varias estaciones terrenas. Se hace una descripción de lo que es un enlace ascendente (UPLINK), así como un enlace descendente (DOWNLINK). Describiendo los elementos que forman cada uno de estos enlaces.

Uno de los factores más importantes en la transmisión estación terrena - satélite-estación terrena es la potencia de la señal transmitida así como la potencia de la señal recibida.

Así mismo se establece los diferentes tipos de pérdidas de potencia.

En el siguiente punto se hace una introducción a los cálculos de enlace. Previamente se indica la importancia y las ventajas del cálculo de enlace en notación decibel (dB). Así como los parámetros que intervienen en el cálculo de enlace ascendente y descendente, como por ejemplo:

- Potencia transmitida a la antena (P)
- Ganancia de la antena (G)
- Potencia radiada equivalente (EIRP)
- Nivel de iluminación (W) en la recepción
- Pérdidas en la trayectoria de espacio libre (L)
- Sistema de temperatura de ruido (Ts)
- Figura de mérito para los sistemas de recepción (G/Ts)
- Razón de la portadora a ruido térmico (C/T)
- Razón de la portadora a densidad de ruido (C/N<sub>0</sub>)
- Razón de la portadora a ruido (C/N)

Se dan ejemplos en forma corta de un enlace ascendente y un enlace descendente.

En el siguiente capítulo, Sistemas Arriba de 10 GHz se explica la importancia que actualmente tiene el diseño de sistemas de transmisión arriba de 10 GHz, debido a la enorme saturación de bandas debajo de 10 GHz.

La gran desventaja que presenta este tipo de comunicación son las pérdidas por lluvia y el ángulo de elevación bajo.

Para conocer el efecto de las pérdidas por lluvia en la propagación de señales arriba de 10 GHz. Se establecieron 2 modelos empíricos para hacer el cálculo de las pérdidas por lluvia.

- Modelo propuesto por la NASA (Modelo Global)

- Modelo propuesto por la ITU-R.

Estos modelos se aplicaron en diferentes ciudades de la República Mexicana a diferentes frecuencias (15 GHz y 35GHz).

Las conclusiones generales de este proyecto de maestría han sido la elaboración de una serie de practicas de laboratorio en las comunicaciones satélites a frecuencias arriba de 10 Ghz.

Estas prácticas se realizaron utilizando el equipo de laboratorio de microondas del Departamento de Electrónica y Comunicaciones (equipo de recepción DIRECTV).

# INDICE

**Prologo**

**Síntesis**

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Descripción del problema a resolver.....	1
1.2 Objetivo de la tesis.....	1
1.3 Justificación del trabajo de tesis.....	2
1.4 Metodología.....	2
1.5 Limites del estudio.....	2
1.5 Revisión bibliográfica.....	3
<b>2.- GENERALIDADES DE LOS SATÉLITES DE COMUNICACIONES...</b>	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 Función de un satélite de comunicaciones.....	6
2.2.1 ¿Por qué usar un satélite de comunicaciones.? .....	7
2.2.2 ¿Dónde esta el satélite? .....	10
2.2.3 ¿Qué hace el satélite? .....	11
2.2.4 ¿Cómo se mide el desempeño de un satélite? .....	15
2.3 Parámetros en un cálculo de enlace. ....	17
2.3.1 Orbitas del satélite.....	18
2.3.2 Radio Frecuencias.....	19
2.3.3 Antenas.....	19
2.3.4 Amplificadores de potencia... ..	20

2.3.5	Perdidas de Transmisión.....	21
2.3.6	Temperatura de ruido.....	22
2.4	Subsistemas de un satélite de comunicaciones.....	22
2.4.1	Configuración de la nave espacial.....	26
2.4.2	Subsistema de comunicaciones.....	29
2.4.3	Telemetria, seguimiento, control y monitoreo.....	31
2.4.4	Potencia eléctrica.....	31
2.4.5	Control de posición.....	31
2.4.6	Estructura.....	33
2.4.7	Control térmico.....	35
2.4.8	Seguridad.....	38
<b>3.-</b>	<b>CÁLCULO DEL ENLACE SATELITAL.....</b>	<b>40</b>
3.1	Introducción al cálculo de enlaces.....	40
3.2.	Herramientas computacionales.....	41
3.3	Cálculo en decibeles.....	42
3.3.1.	Valores numéricos.....	45
3.3.2	Ecuaciones de decibeles.....	48
3.3.3	Manipulaciones algebraicas.....	50
3.4	Conceptos en un cálculo de enlace.....	52
3.4.1	Potencia transmitida $P$ .....	53
3.4.2	Ganancia de la antena $G$ .....	54
3.4.3	Potencia radiada equivalente isotrópicamente $EIRP$ .....	56
3.4.4	Niveles de iluminación $W$ .....	58
3.4.5	Perdidas de trayectoria en el espacio libre $L$ .....	59

3.4.6	Temperatura de ruido $T_s$ .....	62
3.4.7	Figura de mérito $G/T_s$ para un sistema receptor.....	64
3.4.8	Razón de la portadora a ruido térmico $C/T$ .....	66
3.4.9	Razón de la portadora a densidad de ruido $C/N_0$ .....	67
3.4.10	Razón de la portadora a ruido $C/N$ .....	69
3.5	Ejemplos de cálculos de enlace. ....	69
3.5.1	Forma corta de un cálculo de enlace ascendente.....	70
3.5.2	Forma corta de un cálculo de enlace descendente.....	72
3.5.3	Ejemplos numéricos de cálculos de enlace.....	74
<b>4.- DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIÓN ARRIBA DE 10 GHZ.....</b>		<b>80</b>
4.1	Introducción.....	80
4.2	Problema general de propagación arriba de 10 GHz.....	81
4.3	Perdidas de lluvia.....	86
4.3.1	Consideraciones básicas de la lluvia.....	86
4.4	Cálculo de la atenuación debido a lluvia.....	88
4.4.1	Distribución del tamaño de las gotas.....	89
4.5	Modelo propuesto por la NASA (modelo global).....	89
4.5.1	Discusión del modelo. ....	94
4.5.2	El modelo de atenuación.....	97
4.5.3	Cálculo de la atenuación debido a lluvia por la técnica de la altura isotérmica variable.....	99
4.5.4	Pasos a seguir para aplicar el modelo de altura isotérmica variable a una trayectoria general tierra – espacio, espacio – tierra. ....	100

4.6.	Modelo propuesto por la ITU-R.....	103
4.6.1.	Parámetros que intervienen en el cálculo.....	103
4.6.2.	Pasos a seguir para aplicar el modelo a una trayectoria general tierra – espacio, espacio – tierra.....	108
4.7	Aplicación de los modelo a ciudades de la República Mexicana.....	112
4.7.1	Cálculo del ángulo de elevación.....	112
4.7.2	Cálculo para Ensenada, Baja California Norte.....	113
4.7.3	Cálculo para Hermosillo, Sonora.....	120
4.7.4	Cálculo para Monterrey, Nuevo León.....	127
4.7.5	Cálculo para México D.F.....	133
4.7.6.	Cálculo para Tuxtla Gutierrez, Chiapas.....	140
4.7.7.	Cálculo para Chetumal, Quintana Roo.....	146
4.8	Conclusiones.....	153
<b>5.- CONCLUSIONES PRÁCTICAS DE LAS COMUNICACIONES</b>		156
<b>SATELITALES ARRIBA DE 10 GHZ.....</b>		
5.1	Paráctica # 1 (Orientación de Antenas).....	156
5.1.1	Introducción.....	156
5.1.2	Objetivo.....	159
5.1.3	Descripción del experimento.....	160
5.1.4	Análisis de resultados.....	169
5.1.5	Conclusiones.....	170
5.2	Práctica # 2 (Medición del valor de $C/N$ en recepción).....	171
5.2.1	Introducción.....	171
5.2.2	Objetivos.....	173

5.2.3	Descripción del experimento.....	174
5.2.4	Análisis de resultados.....	177
5.2.5	Conclusiones.....	179
5.3	Práctica # 3 (Mediciones en banda Base).....	180
5.3.1	Introducción.....	180
5.3.2	Objetivos.....	181
5.3.3	Descripción del experimento.....	183
5.3.4	Análisis de resultado.....	188
5.3.5	Conclusiones. ....	189
5.4	Práctica # 4 (Identificación de portadora T.V.).....	190
5.4.1	Introducción.....	190
5.4.2	Objetivo.....	193
5.4.3	Descripción del Experimento.....	194
5.4.4	Análisis de resultados.....	194
5.4.5	Conclusiones.....	198
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>199</b>
	<b>Listado de tablas.....</b>	<b>200</b>
	<b>Listado de figuras.....</b>	<b>202</b>
	<b>Glosario.....</b>	<b>204</b>
	<b>Resumen autobiográfico.....</b>	<b>206</b>