



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS



**RESUMEN DE TESIS DE GRADO**

**AUTOR:** MARÍA VICTORIA AFRICANO CONTRERAS

**FACULTAD:** INGENIERÍA

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DIRECTOR:** DINAEEL GUEVARA IBARRA

**TÍTULO DE LA TESIS:** CALIBRACIÓN DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN EN EXTERIORES BASADO EN MEDIDAS

**RESUMEN**

En este proyecto se investigó el efecto que produce optimizar valores de permitividad para calles, paredes y techos de edificios en un entorno exterior andino utilizando la técnica de trazado de rayos en 3D. Para analizar la dependencia del valor de la pérdida de camino con respecto a la permitividad de los materiales, se estimaron las pérdidas de propagación para diferentes valores de permitividad en los materiales y se calcularon las estadísticas de error con respecto a medidas realizadas en el escenario de Cali (Colombia). Finalmente, se ajustaron los valores de la permitividad y se obtuvo un modelo más preciso.

**PALABRAS CLAVES:** TRAZADO DE RAYOS, MOTORES DE JUEGO, MODELO DE PROPAGACIÓN, ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS, CALIBRACIÓN.

**PÁGINAS:** 52

**PLANOS:** 0

**ILUSTRACIONES:** 14

**CD-ROM:** 1

CALIBRACIÓN DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN EN EXTERIORES  
BASADO EN MEDIDAS

MARÍA VICTORIA AFRICANO CONTRERAS

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2012

CALIBRACIÓN DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN EN EXTERIORES  
BASADO EN MEDIDAS

MARÍA VICTORIA AFRICANO CONTRERAS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Electrónico

Director  
DINAEL GUEVARA IBARRA  
Ph.D. en Ingeniería

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2012

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: San José de Cúcuta, Octubre 01 de 2012

HORA: 03:00 P.M.

LUGAR: CREAD

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Título de la Tesis: "CALIBRACIÓN DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN EN EXTERIORES BASADO EN MEDIDAS"

Jurados: Ing. BYRON MEDINA DELGADO  
Ing. SERGIO ALEXANDER CASTRO CASADIEGO

Director: Ing. DINAEL GUEVARA IBARRA

Nombre de los estudiantes	Código	Calificación	
		Letra	Número
MARÍA VICTORIA AFRICANO CONTRERAS	1160073	Cinco, Cero	5.0

**LAUREADA**

  
Ing. BYRON MEDINA DELGADO

  
Ing. SERGIO ALEXANDER CASTRO CASADIEGO

  
Vo.Bo. DINAEL GUEVARA IBARRA  
Coordinador Comité Curricular  
Ingeniería Electrónica

*A Dios, porque siempre ha sido mi guía, y me ha dado la fortaleza necesaria para vencer los obstáculos que se me han presentado, sin Él nada hubiera sido igual.*

*A mis padres, que han estado apoyándome y acompañándome incondicionalmente, a quienes debo este triunfo profesional porque gracias a su trabajo y dedicación me han brindado una formación completa, en lo académico, lo humano y lo espiritual. Para ellos es todo mi agradecimiento.*

*A mi hermano, por brindarme su presencia a lo largo de esta meta y a mis sobrinitas por llenarme siempre de amor, sonrisas y dulzura.*

*A Cheche, por ser como mi hermana y porque, sin darse cuenta, hizo parte activa y fundamental de este proceso.*

*A Diego Tami, mi compañero de estudio y mejor amigo, por su constante compañía, sus enseñanzas y buenos consejos. Mil gracias.*

**María Victoria Africano C.**

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor del presente proyecto de grado expresa sus agradecimientos:

Al Ph.D. Dinael Guevara Ibarra por su colaboración, motivación y compromiso expresado a lo largo de la elaboración de este proyecto.

Al Ing. Byron Medina por incentivar la cultura de la investigación y por ofrecernos su asesoría y cooperación.

A mis compañeros de estudio, porque son la representación del dicho, la unión hace la fuerza, por darse sin medida y sin esperar nada a cambio.

A los docentes del departamento de Electricidad y Electrónica, por la experiencia, orientación y colaboración brindada con profesionalismo durante mi formación.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCIÓN	11
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
1.1 TÍTULO	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.3 JUSTIFICACIÓN	13
1.4 OBJETIVOS	14
1.4.1 Objetivo general	14
1.4.2 Objetivos específicos	14
1.5 DELIMITACIÓN	15
2. MARCO REFERENCIAL	16
2.1 ESTADO DEL ARTE DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.2 MARCO TEÓRICO	17
2.2.1 Trazado de rayos	17
2.2.2 Pérdidas en el espacio libre	19
2.2.3 Coeficientes de Fresnel	19
2.2.4 Teoría Difracción Uniforme (UTD)	21

2.2.5	La matriz polarimétrica	24
2.2.6	Parámetros del canal multicamino	25
2.2.7	Perfil Potencia Retardo	27
2.2.8	Motores de Juego y Unidad de Procesamiento Gráfico (GPU)	28
2.3	MARCO LEGAL	28
3.	METODOLOGÍA PROPUESTA	29
4.	SIMULACIÓN	34
4.1	MODELO DEL TRAZADO DE RAYOS EN 3D	34
4.2	ALGORITMO DE CALIBRACIÓN	37
5.	CAMPAÑA DE MEDIDAS	39
6.	RESULTADOS	40
6.1	ANÁLISIS DE LA SENSIBILIDAD	41
	CONCLUSIONES	46
	TRABAJOS FUTUROS	47
	PRODUCCIÓN	48
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49