

ANÁLISIS DE COBERTURA PARA REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES
EN ESPACIOS AGRÍCOLAS

GERSON ADRIAN FLOREZ GARCIA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA ELECTRÓNICA

2020

ANÁLISIS DE COBERTURA PARA REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES
EN ESPACIOS AGRÍCOLAS

GERSON ADRIAN FLOREZ GARCIA

Proyecto de grado para optar al título de ingeniero electrónico

Director:

Ph.D. DINAEL GUEVARA IBARRA

Codirector:

IE. DANIEL CAMILO ROLÓN QUINTERO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA ELECTRÓNICA

2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

Fecha: CÚCUTA, 12 DE JUNIO DE 2020
Hora: 16:00
Lugar: MODALIDAD REMOTA SINCRÓNICO
Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Título de la Tesis: "ANÁLISIS DE COBERTURA PARA REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES EN ESPACIOS AGRÍCOLAS"
Jurados: EDWIN JOSE VERA ROZO, IE MsC
DARWIN ORLANDO CARDOZO SARMIENTO, IE MsC
Director: IE, PhD DINAEL GUEVARA IBARRA
Codirector: IE, DANIEL CAMILO ROLÓN QUINTERO

Nombre del Estudiante	Código	Calificación
GERSON ADRIAN FLÓREZ GARCÍA	1160975	Cuatro, Seis (4,6)

MERITORIA

EDWIN VERA

EDWIN JOSÉ VERA ROZO

Darwin

DARWIN O. CARDOZO SARMIENTO

Dinael

DINAEL GUEVARA IBARRA
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Electrónica

Dedicatoria

Dedicado a Dios por ser el guía de este arduo proceso de formación, por su amor, por darme la fuerza para salir adelante en cada obstáculo presentado.

A mis padres Jesús Amado Flórez Monroy, mi madre Guillermina García Cárdenas y a cada uno de mis hermanos, por el apoyo incondicional, la felicidad de tener una hermosa familia, alegre y unida, a mi compañera de aventuras Jennifer Andrea Sandoval Cárdenas, por todo su amor y comprensión.

A Lucero, Pedro, Breiner, Sharoll, Jhenbrey, Michael, por su apoyo, comprensión y ánimo.

A todas aquellas personas que fueron parte importante de mi formación como persona, a aquellas que ya no están físicamente conmigo, pero donde quiera que estén siempre me apoyarán.

A mis compañeros de estudios y de vida universitaria, Pedro Andrés Beltrán Ortega, Jhonatan Montoya Galvis, Marlon Lizarazo, María Fernanda vega, Rafael Pertuz, Edwin Pérez, Lisandro Samacá, y aquellos que no nombré, pero a quienes también debo algo de aprendizaje.

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos al director de este proyecto, El doctor Dinael Guevara Ibarra y al codirector Daniel Camilo Rolón Quintero; quienes me han asesorado, guiado y acompañado en la elaboración de este proyecto; de quienes he aprendido muchas cosas, gracias por el apoyo incondicional.

A mis compañeros del GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES “GIDET”, por su ayuda y acompañamiento.

A todos esos artistas musicales que hicieron más amena la redacción de este proyecto.

A Dios, mi familia, mis compañeros, mis amigos y aquellas personas que directa o indirectamente han hecho esto posible.

Gracias totales.

Tabla de contenido

Introducción	18
1. Problema	20
1.1 Planteamiento del problema	20
1.2 Justificación	21
1.3 Beneficios tecnológicos	22
1.4 Beneficios económicos	23
1.5 Beneficios sociales	23
1.6 Alcances	23
1.7 Limitaciones y delimitaciones	23
1.7.1 Limitaciones	23
1.7.2 Delimitaciones	24
1.8 Objetivos	25
1.8.1 Objetivo general.	25
1.8.2 Objetivos específicos	25
2. Marco referencial	25
2.1 Antecedentes	25
2.2 Marco teórico	26
2.2.1 Redes inalámbricas de sensores.	27
2.2.2 Tipos de Redes inalámbricas utilizadas en agricultura.	27
2.2.3 Red de área amplia (WAN)	28
2.2.4 red de área local (LAN)	28
2.2.5 red de área personal (PAN)	28
2.3 Topologías de las redes inalámbricas de sensores	29

2.4 Dispositivos de radiofrecuencia(RF)	31
2.5 Zigbee	32
2.6 Estándar IEEE 802.15.4	32
2.7 Tecnología Zigbee	33
2.8 ¿Zigbee o IEEE 802.15.4?	34
2.9 ¿Qué es Xbee?	35
2.10 Software X-CTU	37
2.11 Módulo XBee S2C PRO	38
2.12 Antenas	40
2.13 impedancia de antena	41
2.13.1 intensidad de radiación	41
2.13.2 Ganancia y directividad de la antena.	42
2.13.3 Patrón de radiación.	42
2.14 Clasificación de las antenas	43
2.14.1 Antenas de cable.	43
2.14.2 Antena de apertura.	44
2.14.3 Antena yagi-uda	44
2.14.4 Antena plana.	45
2.15 Sensibilidad de recepción	46
2.16 Pérdida en el espacio libre	46
2.17 Calculo de la atenuación en espacio libre según la UIT-R P525-2	47
2.18 Irregularidades del terreno	48
2.18.1 Difracción	48

2.19 Bandas de operación	49
2.20 Marco legal	50
2.20.1 Bandas ICM .	50
2.20.2 Organismos de estandarización.	51
2.20.3 Resolución 0461 de 2017 agencia nacional del espectro.	52
2.20.4 Resolución 711 de 2016 agencia nacional del espectro.	53
2.20.5 Aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM).	54
2.20.6 Excepciones o exclusiones de los límites generales.	56
2.20.7 Condiciones específicas de operación en la banda de 2400 a 2483.5 MHz.	56
2.20.8 UIT-R SM.2153	57
2.20.9 Dispositivos de radiocomunicación de corto alcance.	58
3. Diseño metodología	60
3.1 Material bibliográfico	61
3.2 Selección de un espacio agrícola teniendo en cuenta las necesidades ambientales	62
3.2.1 cultivo seleccionado.	63
3.3 clasificación y selección de los equipos de medición.	65
3.3.1 Caja hermética.	65
3.3.2 Decámetro	68
3.3.3 Nivel de burbuja.	69
3.3.4 Trípode de madera no reflectante.	70
3.3.5 Cable coaxial CLF-200 low loss.	71
3.3.6 Antena omnidireccional para exteriores.	72

3.3.7	Dispositivo Xplorer Xbee.	73
3.3.8	Modulo Xbee ZB S2C pro.	75
3.3.8.1	Modo de operación AT o transparente.	77
3.3.8.2	Modo de operación API	78
3.3.9	Software X-CTU.	81
3.3.10	Alimentación a la red inalámbrica de sensores.	89
3.3.11	Power pack RPI.	90
3.3.12	Computador.	91
3.3.13	Variables	92
3.4	Resultados	97
3.4.1	Mediciones a 0.5 metros.	97
3.4.2	Mediciones a 1 metro	100
3.4.3	Mediciones a 1.5 metros.	103
3.4.4	Comparación entre las mediciones	106
3.4.5	Mediciones en campo y modelamiento.	108
3.4.6	Ajuste de los modelos.	110
3.4.7	Resultados de las mediciones, comparaciones y ajustes.	112
4.	Conclusiones.	116
5.	Recomendaciones	118
	Referencias	119
	Anexo 124	
	Anexo 1	125
	Anexo 2	235