

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA EN MALLA PARA EL  
TRANSPORTE DE VOZ EN UN ENTORNO RURAL**



**ANEXOS**

**JULIÁN ANDRÉS HURTADO MUÑOZ  
DIANA CAROLINA LOZANO ORDÓÑEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I+D EN NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2007**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
<b>ANEXO A. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTÁNDARES BASE IEEE 802.15.4, 802.11 Y 802.16 .....</b>	<b>1</b>
A.1 INTRODUCCIÓN AL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4 .....	1
A.1.1 Componentes de una WPAN IEEE 802.15.4 .....	2
A.1.2 Topologías de Red.....	2
A.1.2.1 Topología de estrella.....	2
A.1.2.2 Topología punto a punto .....	3
A.1.3 Arquitectura .....	4
A.1.3.1 Nivel físico (PHY).....	5
A.1.3.2 Subnivel MAC .....	5
A.1.4 ZigBee.....	6
A.2 INTRODUCCIÓN AL ESTÁNDAR IEEE 802.11 .....	7
A.2.1 Componentes de la Arquitectura IEEE 802.11 .....	10
A.2.1.1 Interfaces lógicas de servicio .....	10
A.2.2 Descripción de los Niveles IEEE 802.11 .....	11
A.2.2.1 Nivel físico.....	12
A.2.2.2 Subnivel MAC .....	12
A.2.3 Wi-Fi .....	13
A.3 INTRODUCCIÓN AL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2004.....	13
A.3.1 Descripción de los Niveles IEEE 802.16-2004 .....	14
A.3.1.1 Nivel físico.....	15
A.3.1.2 Subnivel MAC .....	17
A.3.2 WiMAX.....	17
<b>ANEXO B. PROPUESTA CONJUNTA DE SEE-MESH Y WI-MESH PARA EL 802.11 TGs18</b>	
B.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	18
B.2 FORMATO DE TRAMAS MAC .....	18
B.2.1 Tramas de Datos de la Malla.....	18
B.2.1.1 Campo de control de trama .....	19
B.2.1.2 Campo de control de reenvío en la malla.....	19
B.2.2 Tramas de Gestión de la Malla .....	20
B.2.2.1 Tipos de trama de gestión específicos .....	20
B.2.2.2 Componentes de cuerpo de la trama de gestión .....	24
B.2.2.3 Elementos de información .....	24
B.3 SERVICIOS DE LA MALLA WLAN .....	32
B.3.1 Uso del Identificador de Malla.....	32
B.3.2 Dispositivos de Un Solo o Múltiples Radios .....	32
B.3.3 Descubrimiento de la Topología y Formación de la Malla .....	33
B.3.3.1 Descubrimiento de la topología .....	33
B.3.3.2 Operaciones realizadas con los enlaces .....	33
B.3.3.3 Selección del canal .....	34
B.3.3.4 Secuencia de inicio del MP .....	35
B.3.3.5 Tabla de vecinos del MP .....	36
B.3.3.6 Tabla de Proxy del MP .....	36
B.3.4 Selección del Trayecto de la Malla y Reenvío .....	37
B.3.4.1 <i>Framework</i> de selección de trayecto extensible .....	38
B.3.4.2 Métricas de selección de trayecto .....	38
B.3.4.3 Protocolos de selección del trayecto.....	39
B.3.4.4 Reenvío de mensajes de datos.....	40
B.3.5 Seguridad .....	41
B.3.5.1 <i>Framework</i> de seguridad.....	41

B.3.5.2	Seguridad en la trama de gestión de la malla.....	44
B.3.6	Optimización de EDCA para los MP .....	45
B.3.6.1	Recomendación para la configuración de la duración del vector NAV .....	45
B.3.6.2	Reenvío e interacción del tráfico en el BSS .....	46
B.3.7	Soporte de Interconexión en la Malla WLAN .....	46
<b>ANEXO C. ESPECIFICACIÓN WirelessMAN-OFDM PHY DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2004 .....</b>		<b>48</b>
C.1	INTRODUCCIÓN .....	48
C.1.1	Tecnología OFDM .....	48
C.1.1.1	Descripción del símbolo OFDM .....	49
C.1.2	Codificación del Canal.....	49
C.1.3	Modulación.....	51
C.1.3.1	Modulación y estructura del preámbulo .....	51
C.1.4	Estructura de la Trama para la Topología de Malla.....	52
<b>ANEXO D. TRATAMIENTO A NIVEL MAC DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2004 PARA LA TOPOLOGÍA DE MALLA.....</b>		<b>54</b>
D.1	CPS MAC.....	54
D.1.1	Topología de Malla .....	54
D.1.2	Plano de Control y Datos.....	55
D.1.2.1	Direccionamiento y conexiones .....	55
D.1.2.2	Formatos de las PDUs MAC.....	56
D.1.2.3	Asignación del ancho de banda y mecanismos de solicitud.....	59
D.1.2.4	Entrada a la red y sincronización .....	62
D.1.2.5	Túnel de mensajes de gestión MAC en el modo de malla .....	65
D.2	SUBNIVEL DE SEGURIDAD .....	66
D.2.1	Arquitectura .....	66
D.2.1.1	Protocolo de administración de claves (PKM) .....	66
<b>ANEXO E. ANÁLISIS DE LOS TRAYECTOS DE PROPAGACIÓN DE LA WMN PARA LA MICRORED DE SAN CARLOS.....</b>		<b>68</b>
E.1	ENLACE FIET-EL TRANAL.....	68
E.1.1	Plantilla de Levantamiento de la FIET .....	68
E.1.2	Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal .....	69
E.2	ENLACE FIET-USENDA .....	71
E.2.1	Plantilla de Levantamiento de la FIET .....	71
E.2.2	Plantilla de Levantamiento del PS Usenda .....	72
E.3	ENLACE FIET-N3SC .....	73
E.3.1	Plantilla de Levantamiento de la FIET .....	73
E.3.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) .....	74
E.4	ENLACE FIET-N5SC .....	74
E.4.1	Plantilla de Levantamiento de la FIET .....	75
E.4.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) .....	75
E.5	ENLACE FIET-N6SC .....	76
E.5.1	Plantilla de levantamiento de la FIET .....	76
E.5.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) .....	77
E.6	ENLACE FIET-N7SC .....	77
E.6.1	Plantilla de Levantamiento de la FIET .....	78
E.6.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) .....	78
E.7	ENLACE EL TRANAL-SAN CARLOS.....	79
E.7.1	Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal .....	79
E.7.2	Plantilla de Levantamiento del Hospital San Carlos.....	79
E.8	ENLACE EL TRANAL-N2SC .....	81
E.8.1	Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal .....	81
E.8.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC) .....	82
E.9	ENLACE EL TRANAL-N3SC .....	82

E.9.1	Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal .....	83
E.9.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) .....	83
E.10	ENLACE EL TRANAL-N5SC .....	84
E.10.1	Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal .....	84
E.10.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) .....	85
E.11	ENLACE EL TRANAL-N6SC .....	85
E.11.1	Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal .....	85
E.11.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) .....	86
E.12	ENLACE EL TRANAL-N7SC .....	87
E.12.1	Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal .....	87
E.12.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) .....	88
E.13	ENLACE EL TRANAL-N8SC .....	88
E.13.1	Plantilla de levantamiento del Cerro el Tranal .....	88
E.13.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC) .....	89
E.14	ENLACE SAN CARLOS-N6SC .....	90
E.14.1	Plantilla de Levantamiento del Hospital San Carlos.....	90
E.14.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) .....	91
E.15	ENLACE SAN CARLOS-N7SC .....	91
E.15.1	Plantilla de Levantamiento del Hospital San Carlos.....	91
E.15.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) .....	92
E.16	ENLACE SAN CARLOS-N8SC .....	93
E.16.1	Plantilla de Levantamiento del Hospital San Carlos.....	93
E.16.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC) .....	94
E.17	ENLACE TUMBURÁO-QUICHAYÁ .....	94
E.17.1	Plantilla de Levantamiento del PS Tumburáo .....	95
E.17.2	Plantilla de Levantamiento del PS Quichayá .....	95
E.18	TUMBURÁO-N3SC.....	96
E.18.1	Plantilla de Levantamiento del PS Tumburáo .....	96
E.18.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) .....	97
E.19	ENLACE TUMBURÁO-N4SC.....	98
E.19.1	Plantilla de Levantamiento del PS Tumburáo .....	98
E.19.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC) .....	99
E.20	ENLACE TUMBURÁO-N5SC.....	99
E.20.1	Plantilla de Levantamiento del PS Tumburáo .....	100
E.20.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	100
E.21	ENLACE QUICHAYÁ-N1SC.....	101
E.21.1	Plantilla de Levantamiento del PS Quichayá .....	101
E.21.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC) ...	101
E.22	ENLACE QUICHAYÁ-N3SC.....	102
E.22.1	Plantilla de Levantamiento del PS Quichayá .....	102
E.22.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) ...	103
E.23	ENLACE PITAYÓ-N1SC .....	104
E.23.1	Plantilla de Levantamiento del PS Pitayó.....	104
E.23.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC) ...	105
E.24	ENLACE VALLE NUEVO-N3SC .....	105
E.24.1	Plantilla de Levantamiento del PS Valle Nuevo.....	106
E.24.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) ...	106
E.25	ENLACE VALLE NUEVO-N4SC .....	107
E.25.1	Plantilla de Levantamiento del PS Valle Nuevo.....	107
E.25.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC) ...	107
E.26	ENLACE VALLE NUEVO-N5SC .....	108
E.26.1	Plantilla de Levantamiento del PS Valle Nuevo.....	108
E.26.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	109
E.27	ENLACE USENDA-QUIZGO .....	110

E.27.1	Plantilla de Levantamiento del PS Usenda .....	110
E.27.2	Plantilla de Levantamiento del PS Quizgo.....	111
E.28	ENLACE USENDA-N4SC.....	112
E.28.1	Plantilla de Levantamiento del PS Usenda .....	112
E.28.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC) ...	113
E.29	ENLACE USENDA-N5SC.....	113
E.29.1	Plantilla de Levantamiento del PS Usenda .....	114
E.29.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	114
E.30	ENLACE USENDA-N6SC.....	115
E.30.1	Plantilla de Levantamiento del PS Usenda .....	115
E.30.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) ...	116
E.31	ENLACE USENDA-N7SC.....	116
E.31.1	Plantilla de Levantamiento del PS Usenda .....	117
E.31.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) ...	117
E.32	ENLACE USENDA-N8SC.....	118
E.32.1	Plantilla de Levantamiento del PS Usenda .....	118
E.32.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC) ...	119
E.33	ENLACE QUIZGO-N5SC .....	119
E.33.1	Plantilla de Levantamiento del PS Quizgo.....	120
E.33.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	120
E.34	ENLACE QUIZGO-N6SC .....	121
E.34.1	Plantilla de Levantamiento del PS Quizgo.....	121
E.34.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) ...	121
E.35	ENLACE MIRAFLORES-N7SC .....	122
E.35.1	Plantilla de Levantamiento del PS Miraflores.....	122
E.35.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) ...	123
E.36	ENLACE SANTA LUCIA-N8SC.....	124
E.36.1	Plantilla de Levantamiento del PS Santa Lucia .....	124
E.36.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC) ...	125
E.37	ENLACE N1SC-N2SC.....	126
E.37.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC) ...	126
E.37.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC) ...	127
E.38	Enlace N1SC-N3SC.....	128
E.38.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC) ...	128
E.38.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) ...	129
E.39	ENLACE N1SC-N6SC.....	129
E.39.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC) ...	130
E.39.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) ...	130
E.40	ENLACE N2SC-N4SC.....	131
E.40.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC) ...	131
E.40.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC) ...	132
E.41	ENLACE N2SC-N5SC.....	132
E.41.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC) ...	132
E.41.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	133
E.42	ENLACE N2SC-N7SC.....	134
E.42.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC) ...	134
E.42.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) ...	135
E.43	ENLACE N3SC-N4SC.....	135
E.43.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) ...	136
E.43.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC) ...	136
E.44	ENLACE N3SC-N5SC.....	137
E.44.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) ...	137
E.44.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	138
E.45	ENLACE N3SC-N6SC.....	138

E.45.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) ...	139
E.45.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) ...	139
E.46	ENLACE N3SC-N7SC .....	140
E.46.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) ...	140
E.46.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) ...	141
E.47	ENLACE N3SC-N8SC .....	141
E.47.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC) ...	142
E.47.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC) ...	142
E.48	ENLACE N4SC-N5SC .....	143
E.48.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC) ...	143
E.48.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	144
E.49	ENLACE N4SC-N7SC .....	144
E.49.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC) ...	145
E.49.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) ...	145
E.50	ENLACE N4SC-N8SC .....	146
E.50.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC) ...	146
E.50.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC) ...	147
E.51	ENLACE N5SC-N6SC .....	147
E.51.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	148
E.51.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) ...	148
E.52	ENLACE N5SC-N7SC .....	149
E.52.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	149
E.52.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) ...	150
E.53	ENLACE N5SC-N8SC .....	150
E.53.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC) ...	151
E.53.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC) ...	151
E.54	ENLACE N6SC-N7SC .....	152
E.54.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) ...	152
E.54.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) ...	153
E.55	ENLACE N6SC-N8SC .....	153
E.55.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC) ...	154
E.55.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC) ...	154
E.56	ENLACE N7SC-N8SC .....	155
E.56.1	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC) ...	155
E.56.2	Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC) ...	156
<b>ANEXO F. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES A LA SIMULACIÓN A NIVEL DE SISTEMA DE LA WMN PARA LA MICRORRED DE SAN CARLOS .....</b>		<b>157</b>
F.1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y PLAN DE ESTUDIOS .....	157
F.1.1	Adquisición de Información sobre el Funcionamiento del Sistema .....	157
F.1.2	Fines de la Simulación .....	157
F.1.3	Formulación de los Objetivos de la Simulación .....	158
F.2	RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS .....	158
F.3	FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN .....	158
F.3.1	Nodo Pasarela .....	159
F.3.2	Nodo de Soporte .....	159
F.3.3	Nodo Cliente .....	159
F.4	EVALUACIÓN DEL MODELO .....	160
<b>ANEXO G. IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA EN MALLA SOBRE NCTUNS 3.0 .....</b>		<b>161</b>
G.1	ADICIÓN DE PUNTOS DE ACCESO EN MALLA .....	161
G.2	CONFIGURACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LAS INTERFACES INALÁMBRICAS DE LOS PUNTOS DE ACCESO EN MALLA .....	162
G.3	ADICIÓN DE NODOS MÓVILES EN MODO INFRAESTRUCTURA .....	163

G.4	PILA DE PROTOCOLOS DE LAS REDES INALÁMBRICAS EN MALLA.....	163
G.5	CONFIGURACIÓN DE LOS NODOS .....	165

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A-1.	Topologías de red en estrella, árbol y malla .....	2
Figura A-2.	Red de árbol de grupos de celdas .....	4
Figura A-3.	Arquitectura de un dispositivo LR-WPAN.....	4
Figura A-4.	Arquitectura de ZigBee .....	6
Figura A-5.	Arquitectura WLAN 802.11 .....	10
Figura A-6.	Porción del modelo de referencia básico OSI que cubre el estándar 802.11.....	11
Figura A-7.	Niveles del estándar 802.16-2004 .....	15
Figura B-1.	Formato de trama MAC de la malla.....	19
Figura B-2.	Campo de control de reenvío en la malla.....	20
Figura B-3.	Formato de la trama de gestión.....	20
Figura B-4.	Elemento de capacidad de la malla WLAN.....	24
Figura B-5.	Elemento de anuncio del perfil activo .....	25
Figura B-6.	Formato del elemento <i>mesh ID</i> .....	25
Figura B-7.	Elemento de anuncio de estado del enlace local en una malla WLAN .....	25
Figura B-8.	Elemento de solicitud de ruta.....	26
Figura B-9.	Elemento de respuesta de ruta.....	27
Figura B-10.	Elemento de error de ruta.....	28
Figura B-11.	Elemento de respuesta ACK de ruta .....	28
Figura B-12.	Formato del elemento de tasa de transmisión asignada .....	29
Figura B-13.	Formato del elemento de carga de tráfico propuesta .....	29
Figura B-14.	Formato del elemento de congestión del vecindario .....	29
Figura B-15.	Formato del elemento de solicitud de enlace con otro MP.....	30
Figura B-16.	Formato del elemento de respuesta de enlace con otro MP .....	30
Figura B-17.	Formato del elemento de accesibilidad del MPP.....	30
Figura B-18.	Elemento de anuncio del cambio del <i>cluster</i> del canal.....	30
Figura B-19.	Elemento de lista de vecinos .....	31
Figura B-20.	Elemento DTIM .....	31
Figura B-21.	Elemento de medición de tiempo del <i>beacon</i> .....	32
Figura B-22.	Secuencia de inicio del MP utilizando escaneo pasivo y activo.....	35
Figura B-23.	Ejemplo del procedimiento de registro del Proxy para un MP.....	37
Figura B-24.	Ejemplo de la métrica de selección de enlace basada en el costo del tiempo de emisión .....	39
Figura B-25.	AS junto al MP .....	42
Figura B-26.	AS localizado en una entidad remota.....	42
Figura B-27.	Ejemplo del modelo de autenticación 802.1x centralizado.....	43
Figura B-28.	Ejemplo del modelo de autenticación 802.1x distribuido .....	44
Figura C-1.	OFDM Vs. portadora simple .....	49
Figura C-2.	Símbolo OFDM .....	49
Figura C-3.	Inicialización de la mezcla <i>uplink</i> .....	50
Figura C-4.	PRBS para la modulación de subportadoras piloto.....	51
Figura C-5.	Estructura del preámbulo para DL y rango inicial.....	51
Figura C-6.	Estructura del preámbulo para UL .....	52
Figura C-7.	Estructura de la trama para la topología de malla.....	53
Figura D-1.	Formato de la PDU MAC .....	56
Figura D-2.	Ejemplo de configuración de un mensaje MSH-CSCF.....	61
Figura D-3.	Ejemplo del uso de un flujo con esquema de malla centralizado .....	61
Figura D-4.	Túnel de mensajes MAC sobre UDP/IP .....	66
Figura E-1.	Perfil del enlace FIET-Cerro el Tranal.....	68
Figura E-2.	Perfil del enlace FIET-Usenda .....	71
Figura E-3.	Perfil del enlace FIET-N3SC.....	73
Figura E-4.	Perfil del enlace FIET-N5SC.....	74
Figura E-5.	Perfil del enlace FIET-N6SC.....	76
Figura E-6.	Perfil del enlace FIET-N7SC.....	77
Figura E-7.	Perfil del enlace El Tranal – San Carlos.....	79
Figura E-8.	Perfil del enlace El Tranal – N2SC .....	81

Figura E-9. Perfil del enlace El Tranal – N3SC .....	82
Figura E-10. Perfil del enlace El Tranal – N5SC .....	84
Figura E-11. Perfil del enlace El Tranal – N6SC .....	85
Figura E-12. Perfil del enlace El Tranal – N7SC .....	87
Figura E-13. Perfil del enlace El Tranal – N8SC .....	88
Figura E-14. Perfil del enlace San Carlos – N6SC.....	90
Figura E-15. Perfil del enlace San Carlos – N7SC.....	91
Figura E-16. Perfil del enlace San Carlos – N8SC.....	93
Figura E-17. Perfil del enlace Tumburáo – Quichayá .....	94
Figura E-18. Perfil del enlace Tumburáo – N3SC .....	96
Figura E-19. Perfil del enlace Tumburáo – N4SC .....	98
Figura E-20. Perfil del enlace Tumburáo – N5SC .....	99
Figura E-21. Perfil del enlace Quichayá – N1SC.....	101
Figura E-22. Perfil del enlace Quichayá – N3SC.....	102
Figura E-23. Perfil del enlace Pitayó – N1SC .....	104
Figura E-24. Perfil del enlace Valle Nuevo – N3SC .....	105
Figura E-25. Perfil del enlace Valle Nuevo – N4SC .....	107
Figura E-26. Perfil del enlace Valle Nuevo – N5SC .....	108
Figura E-27. Perfil del enlace Usenda - Quizgo.....	110
Figura E-28. Perfil del enlace Usenda – N4SC .....	112
Figura E-29. Perfil del enlace Usenda – N5SC .....	113
Figura E-30. Perfil del enlace Usenda – N6SC .....	115
Figura E-31. Perfil del enlace Usenda – N7SC .....	116
Figura E-32. Perfil del enlace Usenda – N8SC .....	118
Figura E-33. Perfil del enlace Quizgo – N5SC.....	119
Figura E-34. Perfil del enlace Quizgo – N6SC.....	121
Figura E-35. Perfil del enlace Miraflores – N7SC.....	122
Figura E-36. Perfil del enlace Santa Lucia – N8SC .....	124
Figura E-37. Perfil del enlace N1SC – N2SC.....	126
Figura E-38. Perfil del enlace N1SC – N3SC.....	128
Figura E-39. Perfil del enlace N1SC – N6SC.....	129
Figura E-40. Perfil del enlace N2SC – N4SC.....	131
Figura E-41. Perfil del enlace N2SC – N5SC.....	132
Figura E-42. Perfil del enlace N2SC – N7SC.....	134
Figura E-43. Perfil del enlace N3SC – N4SC.....	135
Figura E-44. Perfil del enlace N3SC – N5SC.....	137
Figura E-45. Perfil del enlace N3SC – N6SC.....	138
Figura E-46. Perfil del enlace N3SC – N7SC.....	140
Figura E-47. Perfil del enlace N3SC – N8SC.....	141
Figura E-48. Perfil del enlace N4SC – N5SC.....	143
Figura E-49. Perfil del enlace N4SC – N7SC.....	144
Figura E-50. Perfil del enlace N4SC – N8SC.....	146
Figura E-51. Perfil del enlace N5SC – N6SC.....	147
Figura E-52. Perfil del enlace N5SC – N7SC.....	149
Figura E-53. Perfil del enlace N5SC – N8SC.....	150
Figura E-54. Perfil del enlace N6SC – N7SC.....	152
Figura E-55. Perfil del enlace N6SC – N8SC.....	153
Figura E-56. Perfil del enlace N7SC – N8SC.....	155
Figura F-1. Estructura general de una red inalámbrica en malla .....	159
Figura G-1. Interfaz gráfica de usuario en NCTUns .....	161
Figura G-2. Ventana de inserción de MAPs .....	162
Figura G-3. Ventana de configuración de las frecuencias de los MAPs .....	163
Figura G-4. Asignar dirección MAC e IP a un nodo móvil en modo infraestructura.....	163
Figura G-5. Editor de nodo para los MAPs STP .....	164
Figura G-6. Ventana de configuración del modulo MeshSW.....	164
Figura G-7. Implementación del diseño sobre NCTUns 3.0.....	165
Figura G-8. Ventana de configuración de un nodo cliente .....	166
Figura G-9. Configurar generación de llamadas VoIP .....	166
Figura G-10. Ventana de configuración para especificar detalles de la llamada.....	167



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A-1. Bandas de frecuencia y velocidad de datos del estándar 802.15.4 .....	5
Tabla A-2. Estándares inalámbricos IEEE 802.11 .....	8
Tabla A-3. Técnicas de modulación empleadas en WLAN .....	13
Tabla A-4. Especificaciones PHY para el estándar IEEE 802.16-2004.....	16
Tabla B-1. Combinaciones válidas de tipos y subtipos.....	19
Tabla B-2. Modificación al cuerpo de la trama de tipo <i>beacon</i> .....	21
Tabla B-3. Adiciones al cuerpo de la trama de tipo <i>beacon</i> .....	21
Tabla B-4. Adiciones al cuerpo de la trama de solicitud de asociación .....	22
Tabla B-5. Adiciones al cuerpo de la trama de respuesta de asociación .....	22
Tabla B-6. Adiciones al cuerpo de la trama de solicitud de reasociación .....	22
Tabla B-7. Adiciones al cuerpo de la trama de solicitud de reasociación .....	23
Tabla B-8. Adiciones al cuerpo de la trama de solicitud de prueba .....	23
Tabla B-9. Adiciones al cuerpo de la trama de respuesta de prueba.....	23
Tabla B-10. Valores de categoría de la trama de acción .....	24
Tabla B-11. Campos del elemento de solicitud de ruta.....	26
Tabla B-12. Campos del elemento de respuesta de ruta.....	27
Tabla B-13. Campos del elemento de error de ruta.....	28
Tabla B-14. Campos del elemento de respuesta ACK de ruta .....	28
Tabla B-15. Tabla de vecinos del MP.....	36
Tabla B-16. Valores del estado de asociación del MP.....	36
Tabla B-17. Tabla de Proxy del MP .....	37
Tabla B-18. Constantes del costo del tiempo de emisión .....	38
Tabla C-1. Parámetros de modulación y codificación para WirelessMAN-OFDM .....	50
Tabla D-1. Construcción del ID de conexión para la malla .....	55
Tabla D-2. Mensajes de Gestión MAC.....	57
Tabla D-3. Túnel de mensajes de gestión MAC sobre paquetes UDP .....	65

## **ANEXO A. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTÁNDARES BASE IEEE 802.15.4, 802.11 Y 802.16**

Las tecnologías inalámbricas actuales permiten diseñar y construir redes con capacidades superiores de ancho de banda, rangos amplios de cobertura y operación en bandas de frecuencia libres que reducen significativamente los costos de implementación; esto permite ofrecer conectividad inalámbrica sobre áreas extensas como ciudades y áreas rurales; beneficiando a sectores como la educación, salud, banca, industria y comercio.

Hasta el momento, se han generado varias tecnologías y estándares por separado para dar solución a la interconexión de entornos rurales y urbanos, sin embargo, su adopción depende del tipo de servicio que se requiera y de las condiciones económicas, sociales, regulatorias y tecnológicas que se presentan en los diferentes segmentos de la población mundial.

En ese sentido, es importante estudiar cada uno de los estándares que permiten una interconexión de redes inalámbricas en malla para generar un punto de comparación de los aspectos más sobresalientes de dichas tecnologías y posteriormente identificar cuál de ellas presenta las mayores ventajas para implementar una solución de comunicación de VoIP en un entorno rural de Colombia.

El presente anexo entrega una descripción básica de conceptos generales relacionados con la familia de estándares para redes de área personal (802.15.4), local (802.11) y metropolitana (802.16), creados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, IEEE). Haciendo un énfasis en el tratamiento a nivel físico y de enlace que cada uno de los estándares realiza para lograr la interconexión de los dispositivos en configuración de malla.

### **A.1 INTRODUCCIÓN AL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4**

En el año 2000 el grupo de trabajo del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, IEEE) 802 y la alianza ZigBee<sup>1</sup> se unieron para dar a conocer la necesidad de crear una nueva alternativa de comunicación en redes inalámbricas que permitiera manejar pequeños paquetes de información con seguridad, bajo consumo de energía y bajo costo. Es así como en septiembre de 2002 surge el nuevo estándar IEEE 802.15.4 comercialmente conocido como ZigBee, que opera bajo el marco de las denominadas redes de área personal. Este estándar se aprobó en mayo de 2003 y los primeros dispositivos ZigBee salieron a la venta en el cuarto trimestre de 2004.

Una Red Inalámbrica de Área Personal de Baja Velocidad (*Low-Rate Wireless Personal Area Network*, LR-WPAN) es una red de comunicación sencilla y de bajo costo que permite una conexión inalámbrica en aplicaciones que no requieren alto desempeño y cuentan con una potencia limitada para su operación. Los principales objetivos de una LR-WPAN son facilitar la instalación de las redes, lograr una transmisión confiable de los datos, trabajar en un pequeño rango de operación, reducir los costos y suministrar larga vida a las baterías, mientras se mantiene un protocolo simple y flexible.

El estándar IEEE 802.15.4-2003 define el protocolo e interconexión de dispositivos a través de enlaces de radiocomunicación dentro de una Red de Área Personal (*Personal Area Network*, PAN), utiliza el mecanismo de Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Evasión de Colisión (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*, CSMA/CA) y soporta topologías de punto a punto, estrella, árbol y malla. El acceso al medio es orientado a la conexión, pero si se hace uso de una estructura de supertrama opcional, el coordinador de la PAN puede asignar los intervalos de tiempo (*time slot*) a los dispositivos que contengan datos que deben entregarse en el menor tiempo posible. En general, el coordinador de la PAN debe proporcionar la conectividad para lograr un alto desempeño en la red.

En las siguientes secciones se presenta un resumen de las características más importantes del estándar IEEE 802.15.4-2003 [1] enfocado principalmente al tratamiento de la malla, dado que éste es el tema de interés para el proyecto.

---

<sup>1</sup> Alianza sin ánimo de lucro, constituida por más de 100 empresas.

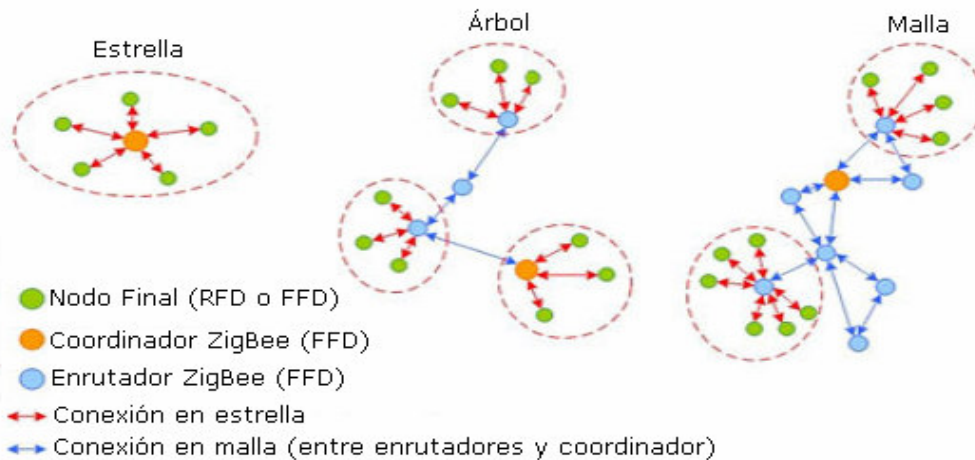
### A.1.1 Componentes de una WPAN IEEE 802.15.4

La red LR-WPAN dispone de dos tipos de nodo distintos:

- **Dispositivo de Función Completa (Full Function Device, FFD):** es un dispositivo que puede utilizarse en cualquier topología y tiene la capacidad de trabajar como el coordinador de toda la PAN, como coordinador de un segmento o como un nodo normal. Además, puede hablar con otros FFDs o dispositivos de función reducida a diferencia de estos últimos que sólo pueden hablar con un FFD.
- **Dispositivo de Función Reducida (Reduced Function Device, RFD):** este dispositivo puede utilizarse en aplicaciones extremadamente simples, como el cambio de una luz o un sensor infrarrojo pasivo; no tiene necesidad de enviar grandes cantidades de datos y sólo puede asociarse con un FFD al tiempo. Por consiguiente, un RFD puede implementarse utilizando muy pocos recursos y una capacidad de memoria muy baja. Por sus características limitadas sólo puede utilizarse en una topología de estrella.

### A.1.2 Topologías de Red

Dependiendo de los requerimientos de la aplicación, la LR-WPAN puede operar en dos topologías: estrella y punto a punto, de las cuales se derivan otro tipo de topologías más complejas como la de árbol o la de malla. Dichas configuraciones se pueden observar en la Figura A-1 [2].



**Figura A-1. Topologías de red en estrella, árbol y malla**

#### A.1.2.1 Topología de estrella

En la topología de estrella la comunicación se establece entre los dispositivos y un solo controlador central denominado coordinador PAN. Generalmente, un dispositivo tiene asociadas algunas aplicaciones y es el punto de iniciación o terminación de la comunicación de red. Un coordinador PAN es el controlador primario de la PAN y también puede tener asociada alguna aplicación específica, pero puede utilizarse para iniciar, terminar o enrutar la comunicación a través de la red. Todos los dispositivos que operan en una red con cualquiera de las topologías tendrán una dirección única extendida de 64 bits que se utiliza para mantener una comunicación directa dentro de la PAN, sin embargo, esta dirección puede cambiarse por una dirección corta asignada por el coordinador PAN cuando el dispositivo se asocia.

El coordinador PAN, al tener el papel principal de organizador, posee unos requerimientos de energía mayores que el resto de nodos y es por ello que éste suele ser un nodo con una unidad de energía no agotable (que se conecta a la red eléctrica). Los otros nodos pueden obtener el suministro de energía de una batería convencional.

La topología de estrella es adecuada para aplicaciones de automatización del hogar, periféricos de computadores, juguetes y cuidado de la salud personal.

### **A.1.2.2 Topología punto a punto**

La topología punto a punto también tiene un coordinador PAN, sin embargo, éste difiere de la topología en estrella en que cualquier dispositivo puede comunicarse con otro sin necesidad de solicitar permiso al coordinador PAN, mientras se encuentre dentro de su rango de comunicación. Esta topología permite la implementación de redes más complejas como, por ejemplo, una topología de red en malla. Una topología de este tipo puede ser provechosa en aplicaciones de control y monitoreo, redes de sensores inalámbricas, seguimiento de bienes e inventarios, agricultura inteligente y seguridad. Una red punto a punto puede ser *ad hoc*, auto configurable y auto manejable. Además, puede permitir múltiples saltos para enrutar los mensajes de un nodo a otro sobre la red.

Cada PAN independiente seleccionará un identificador único que permite la comunicación entre dispositivos dentro de la red utilizando direcciones cortas y habilitando las transmisiones entre dispositivos a través de redes independientes.

- **Formación de una red punto a punto**

La formación de la red se realiza por el nivel de red que no forma parte del estándar IEEE 802.15.4. Sin embargo, en este mismo estándar se presenta una breve descripción de la formación de una red punto a punto.

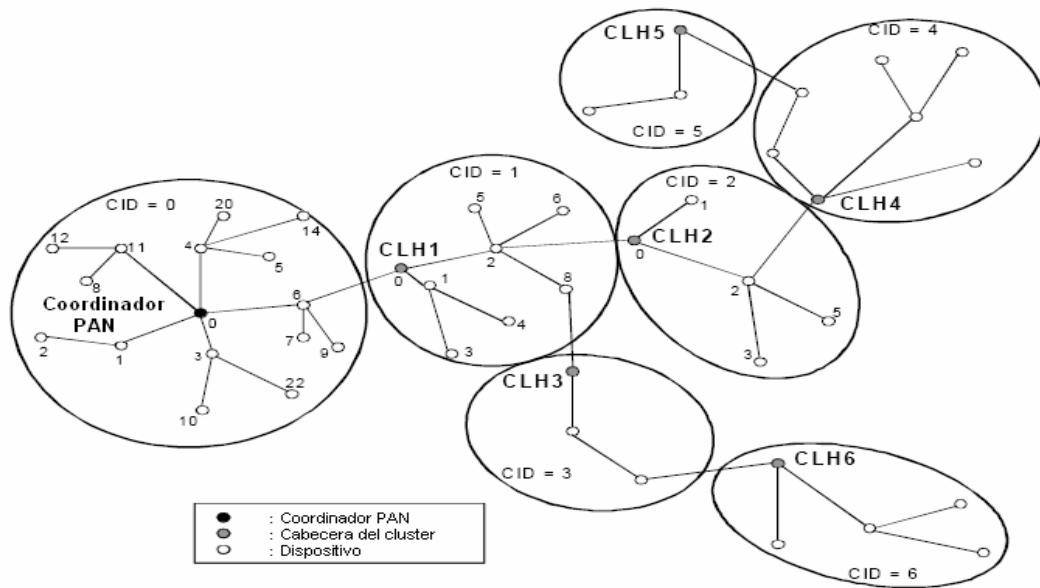
En una topología punto a punto, cada dispositivo puede comunicarse con otro dentro de su radio de influencia. Un dispositivo se designará como el coordinador PAN, por ejemplo, en virtud de ser el primer dispositivo que se comunica con el canal. Adicionalmente, las estructuras de red pueden construirse fuera de la topología de punto a punto y pueden imponer restricciones topológicas en la formación de la red.

Un ejemplo del uso de una topología punto a punto es un árbol de grupos de celdas (*cluster tree*) en el cual, la mayoría de los dispositivos son FFDs. Un RFD puede conectarse al árbol de grupos de celdas como un nodo lejano al final de una rama, debido a que éste sólo puede asociarse con un FFD a la vez. Cualquiera de los FFDs puede actuar como coordinador y proporcionar los servicios de sincronización a los otros dispositivos o coordinadores. Sólo uno de estos coordinadores puede ser el coordinador de toda la red de área personal y puede tener más recursos computacionales que cualquier otro dispositivo en la PAN. El coordinador forma el primer grupo de celdas estableciéndose a sí mismo como la Cabecera del Grupo de Celdas (*Cluster Head*, CLH) con un Identificador de Grupo de Celdas (*Cluster Identifier*, CID) igual a cero, luego escoge un identificador PAN que no esté en uso y transmite tramas de señales de guía (*beacon frames*) a los dispositivos vecinos. Un dispositivo candidato que recibe una trama *beacon* puede solicitar la asociación de la red al CLH y si el coordinador lo acepta, éste adicionará el nuevo dispositivo como un dispositivo hijo en su lista de vecinos. Por su parte, el nuevo dispositivo asociado adicionará el CLH como su padre en su lista de vecinos e iniciará la transmisión de tramas *beacons* periódicas. Otros dispositivos candidatos pueden entonces, asociar la red a este dispositivo. Si el dispositivo candidato original no puede asociar la red al CLH, el dispositivo buscará a otro dispositivo padre.

A partir de la formación de un árbol de grupos de celdas se puede entender la creación de una red en malla pensando en esta última como la unión de varios grupos de celdas adyacentes. Para tal fin, a medida que más árboles de grupos de celdas se vayan formando, el coordinador PAN instruirá a otros dispositivos para que se conviertan en las CLH de cada grupo de celdas adyacente y de esta manera, otros nodos tendrán la posibilidad de comunicarse con varios CLH de diferentes grupos de celdas y formarán una estructura de red en malla también denominada *multicluster*. Adicionalmente, para habilitar el enrutamiento de la información en caso de que ocurran fallas en los nodos principales, el coordinador de la PAN debe implementar un protocolo de enrutamiento que permita retransmitir la información por una ruta alterna a otros dispositivos.

Un ejemplo de esta configuración se presenta en la Figura A-2 [1], en la cual debe aclararse que las líneas representan las relaciones padre-hijo entre los dispositivos y no el flujo de comunicación, pues gracias a la topología de malla los dispositivos pueden comunicarse directamente con otro

CLH de otro grupo de celdas siempre y cuando éste se encuentre dentro de su rango de alcance. La ventaja de una estructura en malla es el incremento del área de cobertura, mientras que su desventaja es el incremento en la latencia de los mensajes.

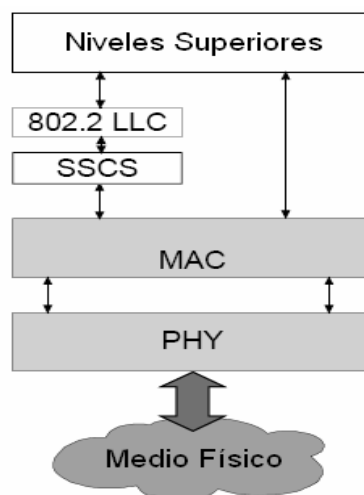


**Figura A-2. Red de árbol de grupos de celdas**

### A.1.3 Arquitectura

La arquitectura LR-WPAN se define en términos del número de bloques con el fin de simplificar el estándar. Estos bloques se denominan niveles y cada nivel es responsable de una parte del estándar y ofrece sus servicios a los niveles superiores. El esquema de bloques se basa en el modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (*Open Systems Interconnection, OSI*).

Un dispositivo LR-WPAN se compone de un nivel físico que contiene un transceptor de radio frecuencia (RF) junto con su mecanismo de control de bajo nivel y un subnivel de Control de Acceso al Medio (*Medium Access Control, MAC*) que proporciona el acceso al canal físico para cualquier tipo de transferencia. La Figura A-3 [1] muestra estos bloques en una representación gráfica que será descrita con más detalle en las secciones A.1.3.1 y A.1.3.2.



**Figura A-3. Arquitectura de un dispositivo LR-WPAN**

Dentro de los niveles superiores, se encuentra un nivel de red que proporciona la configuración de red, manipulación y enrutamiento de mensajes y un nivel de aplicación que proporciona la función deseada del dispositivo. La definición de estos niveles superiores está fuera del alcance del estándar IEEE 802.15.4. La arquitectura LR-WPAN puede implementarse con dispositivos embebidos o con dispositivos que requieren el soporte de dispositivos externos como por ejemplo, un computador.

### A.1.3.1 Nivel físico (PHY)

El estándar ofrece dos opciones de nivel físico que se combinan con el nivel MAC para permitir un amplio rango de aplicaciones. Ambos niveles físicos se basan en un método de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (*Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*) que facilita la implementación digital a un bajo costo, y ambos comparten la misma estructura básica de paquetes de ciclo útil bajo (*low-duty-cycle*) con operaciones de bajo consumo de energía. La principal diferencia entre ambos niveles físicos radica en la banda de frecuencias. El nivel físico a 2.4 GHz, especifica la operación en la banda Industrial, Médica y Científica (*Industrial, Scientific and Medical, ISM*), que prácticamente está disponible en todo el mundo y no requiere de licencia para su funcionamiento, mientras que el nivel físico a 868 y 915 MHz, especifica la operación en la banda de 865 MHz para Europa y 915 MHz en la banda ISM en Estados Unidos. El nivel físico a 2.4 GHz permite una transmisión de datos sobre el aire de 250 Kbps, en tanto que el nivel físico a 868/915 MHz ofrece rangos de transmisión de 20 Kbps y 40 Kbps respectivamente. Este rango superior de transmisión en el nivel físico a 2.4 GHz se atribuye principalmente a un orden mayor en la modulación, en la cual cada símbolo representa múltiples bits. Los anteriores datos se resumen en la Tabla A-1.

TABLA A-1. BANDAS DE FRECUENCIA Y VELOCIDAD DE DATOS DEL ESTÁNDAR 802.15.4

PHY (MHz)	Banda de Frecuencia (MHz)	Características de Propagación		Características de Datos		
		Velocidad de Chip (Kchip/s)	Modulación	Velocidad de Bit (Kbps)	Velocidad de Símbolo (Ksímbolo/s)	Símbolo
868	868–868.6	300	BPSK	20	20	Binario
915	902–928	600	BPSK	40	40	Binario
2450	2400–2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Ortogonal

Los diferentes rangos de transmisión se pueden explotar para lograr una variedad de objetivos o aplicaciones. Por ejemplo, la baja densidad de datos en el nivel físico a 868/915 MHz se puede ocupar para lograr mayor sensibilidad y mayores áreas de cobertura, con lo que se reduce el número de nodos requeridos para cubrir una área geográfica, mientras que el rango superior de transmisión en el nivel físico a 2.4 GHz se puede utilizar para conseguir salidas superiores y de poca latencia.

Algunas de las funciones globales del nivel físico son: la activación y desactivación del radio transceptor, Detección de Energía (*Energy Detection, ED*), Indicación de la Calidad del Enlace (*Link Quality Indication, LQI*), selección del canal, Valoración de Canales Desocupados (*Clear Channel Assessment, CCA*), transmisión y recepción de paquetes a través del medio físico.

### A.1.3.2 Subnivel MAC

Las funciones básicas del subnivel MAC son la gestión de señales de guía (*beacons*), mecanismos de acceso a los canales, gestión de Intervalos de Tiempo Garantizados (*Guaranteed Time Slot, GTS*), validación de tramas, reconocimiento de entrega de tramas, asociación y desasociación. Además, el subnivel MAC proporciona ayudas para implementar mecanismos de seguridad adecuados.

La ventaja de este nivel MAC respecto al de otros estándares es que tan solo dispone de 26 primitivas de servicio o comandos, lo que redundará en un *hardware* más sencillo y más barato de fabricar.

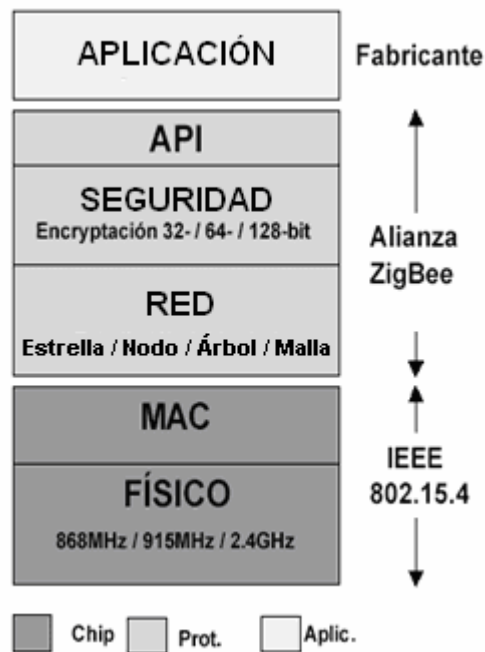
#### A.1.4 ZigBee

ZigBee es la estandarización de lo que se conocía como *Home RF*, que en principio se consideraba como competencia para el 802.11. *Home RF* desapareció, hasta que un grupo de empresas conformaron la Alianza ZigBee (que hoy en día se encuentra conformada por cientos de miembros) debido a que se necesitaban dispositivos inalámbricos diminutos que consumieran poca energía. Después de varios intentos, se creó la especificación ZigBee, que es una evolución del *Home RF*, ya que lo que había en el mercado, fuese por tamaño o consumo de energía, no acababa de satisfacer ciertas necesidades.

La Alianza ZigBee es un consorcio a nivel mundial sin ánimo de lucro conformado por fabricantes de semiconductores, electrodomésticos, celulares, proveedores de tecnología, Fabricantes Originales de Equipos (*Original Equipment Manufacturer*, OEM) y usuarios finales, tales como Ember, Freescale Semiconductor, Honeywell, Mitsubishi Electric, Philips, Invensys Metering Systems, Motorola Inc., Samsung, Ami Semiconductor, AirBee, Atmel, Certicon, Cisco Systems, LG, Microchip, Siemens y Silicon Wave, por citar sólo algunos, y su objetivo principal es crear un sistema estándar de comunicaciones vía radio, para utilizarlo dentro de dispositivos de domótica, automatización de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de computadores y sensores médicos.

Esta Alianza trabaja de la mano con el IEEE para asegurar una red integrada, completa e interoperable para el mercado. Además, constituye el grupo de certificación y pruebas para los dispositivos ZigBee.

En la Figura A-4 [3] se ilustra la arquitectura de ZigBee; podría ser útil entender al estándar IEEE 802.15.4 como la interfaz de radio física, y a ZigBee como la red lógica y la aplicación *software*. Siguiendo el modelo de referencia OSI, la pila de protocolos ZigBee se estructura en niveles: los dos primeros niveles, que corresponden al nivel físico y MAC, se definen en el estándar IEEE 802.15.4 mientras que los niveles que se encuentran por encima se determinan por la Alianza ZigBee.



**Figura A-4. Arquitectura de ZigBee**

En resumen, el nivel físico permite adaptarse a las necesidades de interfaces de bajo costo, permitiendo niveles elevados de integración.

El nivel MAC se diseñó para permitir topologías múltiples con baja complejidad y permite que un dispositivo con funcionalidad reducida opere en la red sin la necesidad de grandes cantidades de memoria disponibles, permitiendo controlar también un gran número de dispositivos sin la necesidad de colocarlos "en espera", como ocurre en algunas tecnologías inalámbricas.

Los niveles de Red (*Network, NWK*) y Aplicación (*Application, APL*) se crearon para facilitar el crecimiento de la red sin la necesidad de utilizar equipos de transmisión de potencia más elevada. El nivel de red se encarga de asociar o desasociar dispositivos que utilizan el coordinador de la red, implementar la seguridad y enrutar paquetes a su dirección. Adicionalmente, en el nivel de red el coordinador es el responsable de comenzar una nueva red, y asignar direcciones a los nuevos dispositivos. Entretanto, el nivel de aplicación del usuario se define de acuerdo a la implementación que se quiera realizar.

## **A.2 INTRODUCCIÓN AL ESTÁNDAR IEEE 802.11**

El propósito de este estándar es proporcionar conectividad inalámbrica a equipos, maquinaria automática o estaciones que requieren un despliegue rápido y pueden ser portátiles o estar montados sobre vehículos dentro de un área local. Este estándar también ofrece a los cuerpos reguladores, un medio para estandarizar el acceso de una o más bandas de frecuencia para la comunicación en un área local.

El estándar IEEE 802.11 [4] define los protocolos y la interconexión compatible de equipos de comunicación de datos a través del aire, vía radio o infrarrojo, dentro de una LAN utilizando un protocolo de acceso múltiple CSMA/CA. El control de acceso al medio soporta la operación de un Punto de Acceso (*Access Point, AP*) mediante control así como también entre estaciones independientes. El protocolo incluye los servicios de autenticación, asociación y reasociación, un procedimiento opcional de codificación/decodificación, manejo de la potencia para reducir el consumo de energía en estaciones móviles y una función de coordinación puntual para la transferencia de datos con un tiempo limitado.

El estándar original de este protocolo se aprobó en 1997 con el nombre de IEEE 802.11 y define dos tipos de interfaces físicas: una infrarroja que maneja velocidades de datos de 1 Mbps con una extensión opcional de 2 Mbps, y una implementación vía radio en la que se define un mecanismo de Espectro Ensanchado por Salto en Frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*) que soporta velocidades de datos de 1 Mbps y 2 Mbps (opcional) o un mecanismo DSSS que soporta velocidades de datos de 1 y 2 Mbps. Aunque la interfaz infrarroja sigue siendo parte del estándar en el momento no hay implementaciones disponibles. Actualmente, a este estándar se lo conoce como *802.11 Legacy*.

Desde que el estándar se creó hasta hoy, muchos grupos de trabajo se han creado para mejorar las deficiencias detectadas en él, así como para mejorar algunas de sus prestaciones.

La primera modificación apareció en 1999 y se denominó IEEE 802.11b, esta especificación soporta velocidades de 5 hasta 11 Mbps, utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original y trabaja en la frecuencia de 2,4 GHz.

En el mismo año, se aprobó la especificación denominada IEEE 802.11a que opera sobre una frecuencia de 5 GHz con una velocidad máxima de 54 Mbps. Esta especificación utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original y la técnica de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*). El uso de la banda de frecuencia de 5 GHz representa una ventaja de este estándar, dado que se presentan menos interferencias. Sin embargo, la utilización de esta banda también tiene sus desventajas, dado que un equipo del estándar 802.11a no puede interoperar con equipos 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares.

Posteriormente, se incorporó una extensión del estándar 802.11b denominada IEEE 802.11g que utiliza la banda de 2.4 GHz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps, similar a la del estándar 802.11a. En la actualidad la mayoría de productos son de la especificación b y g, y en el caso del estándar 802.11a frecuentemente se encuentran equipos con soporte para las tres tecnologías a, b y g.

Otros estándares de esta familia son mejoras de servicio y extensiones o correcciones a especificaciones anteriores, estos se resumen en la Tabla A-2.



TABLA A-2. ESTÁNDARES INALÁMBRICOS IEEE 802.11

Estándar	Año de Finalización	Descripción
802.11	1999	Estándar para Redes de Área Local Inalámbrica ( <i>Wireless Local Area Network, WLAN</i> ) original, que opera en la banda de 2.4 GHz con tasas de transmisión de datos de 1 y 2 Mbps
802.11a	1999	Estándar WLAN que opera en la banda de 5 GHz con tasas de transmisión de datos de hasta 54 Mbps
802.11b	1999	Estándar WLAN que opera en la banda de 2,4 GHz con tasas de transmisión de datos de hasta 11 Mbps
802.11c	2001	Extensión incluida en el estándar IEEE 802.1D para proporcionar los procedimientos de la operación de puente
802.11d	2001	Extensión que define los requerimientos necesarios para que los equipos 802.11 puedan operar en los distintos países
802.11e	2005	Extensión que permite proporcionar Calidad de Servicio ( <i>Quality of Service, QoS</i> ) a las redes IEEE 802.11
802.11F	2003	Define la comunicación entre puntos de acceso para facilitar redes WLAN de diferentes proveedores
802.11g	2003	Estándar WLAN que incrementa las tasas de transmisión de datos en la banda de 2,4 GHz hasta los 54 Mbps
802.11h	2004	Define la administración del espectro de la banda de los 5 GHz para su uso en Europa y en Asia del Pacífico
802.11i	2004	Se encarga de abatir la vulnerabilidad actual en la seguridad de las WLAN para protocolos de autenticación y de codificación
802.11j	2004	Habilita la operación de 802.11a en la banda de los 4.9 GHz y 5 GHz para Japón
802.11k	Se espera finalización para el 2007	Este estándar en proceso permitirá el intercambio de información de la capacidad de la red entre clientes y puntos de acceso para facilitar la gestión y mantenimiento de una WLAN móvil
802.11l	--	Reservado. No se usa para evitar confusiones tipográficas
802.11m	Activo	No es un estándar específico, sino una colección de publicaciones que contienen correcciones, mejoras, aclaraciones e interpretaciones relevantes en la documentación de la familia de especificaciones IEEE 802.11
802.11n	Se espera finalización para el 2007	Estándar en proceso que pretende mejorar el estándar 802.11 para alcanzar velocidades mayores a los 100 Mbps empleando sistemas de antenas con Múltiples Entradas y Múltiples Salidas ( <i>Multiple-Input Multiple-Output, MIMO</i> ), canales de 20 y 40 MHz y bandas de 2,4 y 5 GHz simultáneamente
802.11o	--	Reservado. No se usa para evitar confusiones tipográficas
802.11p	Se espera finalización para el 2008	Estándar en proceso que define los procedimientos necesarios para soportar aplicaciones de Sistemas de Transporte Inteligente ( <i>Intelligent Transportation Systems, ITS</i> ). Esto incluye el intercambio de datos entre vehículos que viajan a velocidades elevadas en la banda de 5 GHz
802.11q	--	Reservado. No se usa para evitar confusiones con el estándar 802.1Q
802.11r	Se espera finalización para el 2007	Estándar en proceso que facilitará a los usuarios el desplazamiento entre los distintos puntos de acceso y las estaciones base, para soportar los requerimientos impuestos por las aplicaciones de tiempo real tales como la VoIP

802.11s	Se espera finalización para el 2007	Estándar en proceso que define una arquitectura y el protocolo necesarios para proporcionar un Set de Servicios Extendidos ( <i>Extended Service Set</i> , ESS) en configuración de malla que utiliza el Sistema de Distribución Inalámbrica ( <i>Wireless Distribution System</i> , WDS) para soportar transmisiones <i>broadcast</i> <sup>2</sup> / <i>multicast</i> <sup>3</sup> y <i>unicast</i> <sup>4</sup> sobre topologías multitrayecto auto configurables
802.11T	Se espera finalización para el 2008	Prácticas recomendadas que proporcionarán un conjunto de procedimientos de medida, evaluación de desempeño y pruebas recomendadas para que los fabricantes, proveedores y usuarios finales evalúen el comportamiento de las redes y equipos 802.11
802.11u	Se espera finalización para el 2007	Corrección del nivel físico y MAC para soportar interoperabilidad con redes externas (como por ejemplo, una red celular)
802.11v	Se espera finalización para el 2007	Corrección del nivel físico y MAC para realizar gestión de redes inalámbricas (por ejemplo, monitoreo, configuración y actualización)
802.11w	Se espera finalización para el 2007	Corrección del nivel MAC propuesta para proporcionar seguridad a las tramas de gestión a través de mecanismos de integridad de datos, autenticación de los datos originales, protección contra la repetición y confidencialidad de los datos
802.11y	Se espera finalización para el 2008	Corrección del estándar 802.11 que define los mecanismos necesarios para permitir la operación en la banda de 3650 a 3700 para los Estados Unidos
802.11x	--	Reservado. No se usa para evitar confusiones tipográficas

El estándar 802.11 y sus derivados se han desarrollado ampliamente en escenarios de LAN comerciales, gubernamentales y residenciales y en algunas aplicaciones en redes de servicio público, principalmente *HotSpots*<sup>5</sup>, proporcionando cobertura del rango de cientos de metros.

En los últimos años se ha producido una gran actividad de investigación entorno a la tecnología de las redes inalámbricas en malla, la cual se define en la especificación IEEE 802.11s, y se encuentra en estatus de borrador, pues se piensa que este tipo de configuración puede traer grandes ventajas en la reducción de costos y flexibilidad en la implementación de las redes. Por tal razón, muchos fabricantes comenzaron a lanzar productos con tecnologías propietarias, tratando de apoderarse del mercado lo antes posible, antes que se publique la especificación final del estándar que pretende reemplazar todas estas tecnologías propietarias.

El estándar 802.11s ofrece la flexibilidad requerida para satisfacer los requerimientos de ambientes residenciales, de oficina, campus, rurales, seguridad pública y aplicaciones militares. La propuesta se enfoca sobre múltiples dimensiones: el subnivel MAC, enrutamiento, seguridad e interconexión. El borrador especifica plataformas para equipos de simples y múltiples canales de radio así como esquemas de priorización de calidad de servicio (802.11e), medición de recursos de radio (802.11k) y administración del espectro (802.11h). La especificación también incluye características tales como: sensado adaptativo de portadora para el reuso espacial del espectro, coordinación de canales de acceso y soluciones de administración de recursos de radio frecuencia (RF). El 802.11s también provee características de descubrimiento extendido de mallas con auto configuración automática y seguridad (802.11i).

<sup>2</sup> Tipo de comunicación en la que un solo emisor llega a múltiples receptores.

<sup>3</sup> Multidifusión. Técnica que permite que copias de un solo paquete se transfieran a un subconjunto seleccionado de todos los posibles destinos.

<sup>4</sup> Comunicación establecida entre un solo emisor y un solo receptor en una red

<sup>5</sup> Un HotSpot es un punto de acceso inalámbrico público donde los usuarios pueden conectarse a Internet; se puede encontrar de forma gratuita o pagando una tarifa por el acceso.

### A.2.1 Componentes de la Arquitectura IEEE 802.11

Una LAN 802.11 se basa en una arquitectura celular en la que el sistema se subdivide en celdas llamadas Set de Servicios Básicos (*Basic Service Set, BSS*) y cada una de ellas se controla por una estación base llamada punto de acceso (AP).

Aunque una WLAN puede constituirse por una sola celda en la cual se comunican directamente dos estaciones sin necesidad de un AP, lo cual se denomina un BSS independiente (*Independent Basic Service Set, IBSS*) o una red *ad hoc*, la mayoría de las redes se forman por varias celdas en las que los APs se conectan a través de un tipo de *backbone* llamado Sistema de Distribución (*Distribution System, DS*) que puede ser *Ethernet* o inalámbrico (en este último caso recibe el nombre de WDS).

Toda la WLAN interconectada, incluyendo las diferentes celdas, sus respectivos APs y el sistema de distribución es vista por los niveles superiores del modelo OSI como una sola red 802 y se llama ESS.

La Figura A-5 [5] muestra una red de área local inalámbrica 802.11 con sus respectivos componentes.

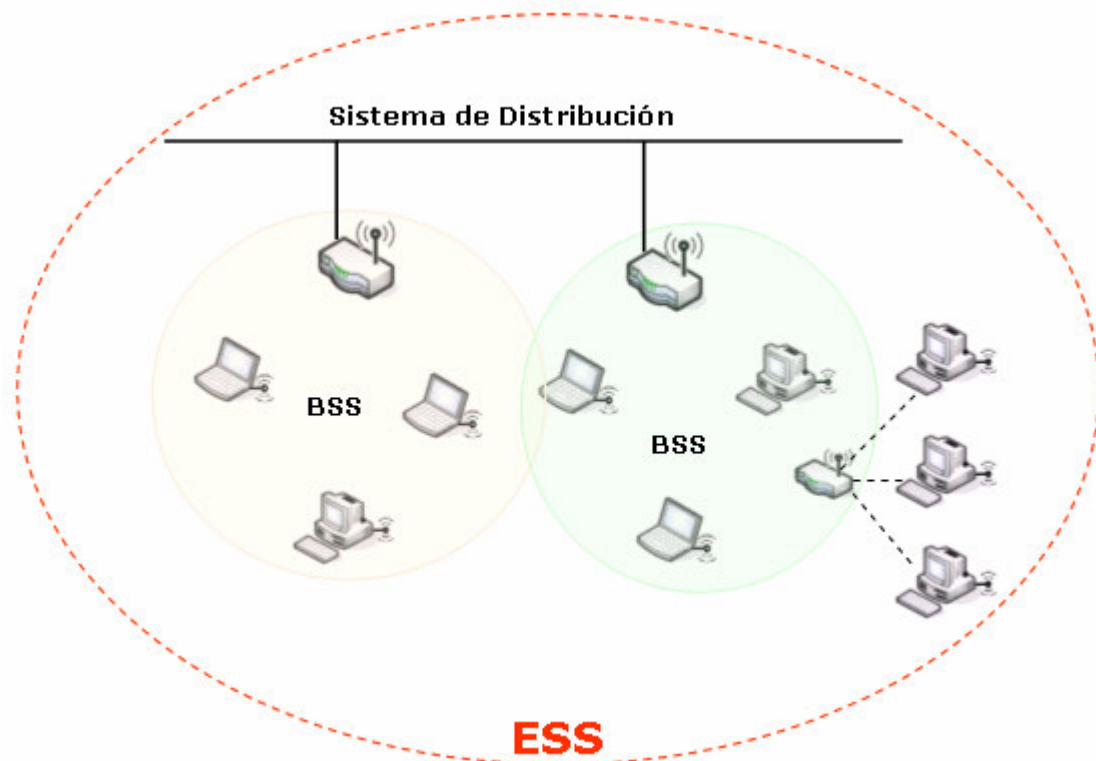


Figura A-5. Arquitectura WLAN 802.11

El estándar también define el concepto de un portal como aquel dispositivo que interconecta una LAN de 802.11 con otra LAN de 802. El portal proporciona la integración lógica entre la arquitectura IEEE 802.11 y las redes LAN cableadas. Este concepto es una descripción abstracta de una parte de la funcionalidad de un Puente de Desplazamiento (*Translation Bridge*).

Aunque el estándar no necesariamente lo requiere, las redes más comunes tienen el AP y el portal en una sola entidad física.

#### A.2.1.1 Interfaces lógicas de servicio

La arquitectura del estándar IEEE 802.11 permite que un DS no sea idéntico a una red LAN cableada. De esta manera, un DS puede crearse con diferentes tecnologías incluyendo las utilizadas en las redes cableadas IEEE 802. Por este motivo, IEEE 802.11 no obliga al DS a basarse en el nivel de red o de enlace de datos o ser centralizado o distribuido.

En resumen, IEEE 802.11 no especifica los detalles de implementación de un DS, en lugar de esto, especifica servicios que se asocian a diferentes componentes de la arquitectura. Hay dos categorías de servicios: Los Servicios de Estación (*Station Service, SS*) y los Servicios del Sistema de Distribución (*Distribution System Service, DSS*). El subnivel MAC IEEE 802.11 hace uso de estos dos servicios.

- **Servicios de Estación (SS)**

Estos servicios están presentes en cada estación IEEE 802.11 y se utilizan por las entidades del subnivel MAC. Los servicios de estación existentes son:

- Autenticación
- Desautenticación
- Privacidad
- Entrega de Unidades de Datos del Servicio MAC (*MAC Service Data Unit, MSDU*)

- **Servicios del Sistema de Distribución (DSS)**

Estos servicios se representan en la arquitectura IEEE 802.11 como flechas dentro de los APs, indicando que se utilizan para atravesar el medio y controlar el direccionamiento entre los límites lógicos.

Los DSSs se proporcionan por el sistema de distribución y se acceden a través de una estación que también proporciona DSS, en este caso esta estación corresponde a un AP.

Los DSSs existentes son:

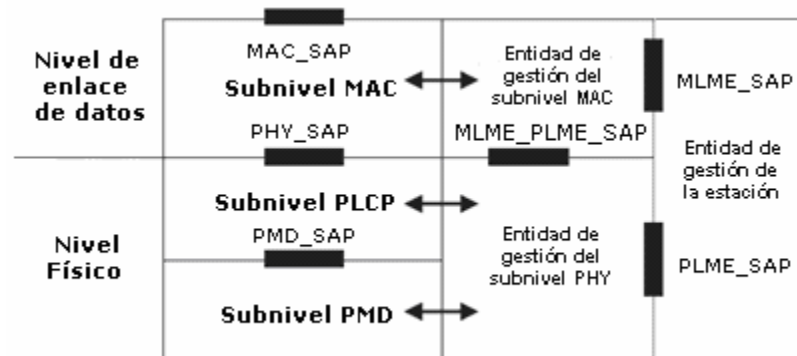
- Asociación
- Desasociación
- Distribución
- Integración
- Reasociación

Y al igual que los SSs, estos servicios se utilizan por las entidades del subnivel MAC.

### A.2.2 Descripción de los Niveles IEEE 802.11

La arquitectura del estándar IEEE 802.11 enfatiza en la separación del sistema dentro de dos partes mayores: El subnivel MAC del nivel de enlace de datos y el nivel físico. Estos niveles se desarrollan basándose en los niveles inferiores del modelo de referencia OSI y pueden observarse junto con los subniveles descritos en el estándar en la Figura A-6 [4].

Además de las funcionalidades del estándar usualmente desarrolladas por los niveles MAC, el MAC 802.11 realiza otras funciones que generalmente se asocian a los protocolos de niveles superiores, tales como fragmentación, retransmisión de paquetes y acuse de recibo (*Acknowledges*).



**Figura A-6. Porción del modelo de referencia básico OSI que cubre el estándar 802.11**

### A.2.2.1 Nivel físico

Como se muestra en la Figura A-6, la función del nivel físico se separa dentro de dos subniveles: un subnivel de Protocolo de Convergencia del Nivel Físico (*Physical Layer Convergence Protocol*, PLCP) y un subnivel Dependiente del Medio Físico (*Physical Medium Dependent*, PMD). El subnivel PMD define las características y métodos para transmitir y recibir datos a través de medios inalámbricos entre dos o más estaciones en las que cada una emplea el mismo sistema de modulación. Por su parte, la función del subnivel PLCP es proporcionar un mecanismo de transferencia de las Unidades de Datos del Protocolo MAC (*MAC Protocol Data Unit*, MPDU) entre dos o más estaciones sobre el subnivel PMD.

El estándar IEEE 802.11 *legacy* definió tres especificaciones de nivel físico:

- Especificación del nivel físico para la banda ISM a 2.4 GHz con FHSS.
- Especificación del nivel físico para la banda ISM a 2.4 GHz con DSSS.
- Especificación del nivel físico infrarrojo.

Posteriormente, los estándares 802.11a y 802.11g definieron la especificación del nivel físico para un sistema OFDM en la banda de los 5 GHz y 2.4 GHz, respectivamente, y el estándar 802.11b la especificación del nivel físico con Espectro Ensanchado por Secuencia Directa de Alta Velocidad (*High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*, HR/DSSS) en la banda de los 2.4 GHz.

En general, las especificaciones del nivel físico contienen tres entidades funcionales: la función PDM, la función de convergencia del nivel físico y la función de administración del nivel.

### A.2.2.2 Subnivel MAC

El subnivel MAC define dos métodos de acceso diferentes, la Función de Coordinación Distribuida (*Distributed Coordination Function*, DCF) y la Función de Coordinación Puntual (*Point Coordination Function*, PCF).

DCF permite el compartimiento automático del medio entre niveles físicos compatibles por medio del uso de CSMA/CA y un tiempo aleatorio de espera siguiendo una condición de medio ocupado. Además, todo el tráfico dirigido utiliza un reconocimiento positivo inmediato (trama ACK) en el cual, la retransmisión se programa por el transmisor si el ACK no se recibe. Este mecanismo puede implementarse en todas las estaciones y utilizarse para las configuraciones de red IBSS o infraestructura.

PCF sólo puede utilizarse en una configuración de infraestructura y utiliza un Punto Coordinador (*Point Coordinator*, PC) que opera en el AP de la BSS y determina cuál estación tiene el permiso para transmitir. Utiliza un mecanismo de detección de portadora virtual asistido por un mecanismo de prioridad de acceso.

Para lograr el control del medio, el PCF distribuye la información dentro de tramas de gestión denominadas *beacon*, fijando el contador llamado Vector de Asignación de Red (*Network Allocation Vector*, NAV) en cada estación para que retome la contienda por el medio una vez que éste contador alcance el valor de cero, y se cumplan los tiempos de espera necesarios para iniciar una transmisión de datos. Además, todas las transmisiones de tramas pueden utilizar un Espacio de Intertrama (*Interframe Space*, IFS) más pequeño que el utilizado en el DCF, conocido como Espacio de Intertrama PCF (*PCF Interframe Space*, PIFS), lo cual implica que el tráfico del punto coordinador tendrá prioridad de acceso al medio sobre las otras estaciones en BSSs superpuestas bajo el método de acceso DCF. La prioridad de acceso proporcionada por el PCF puede utilizarse para crear un método de acceso de Competencia Libre (*Free Contention*, CF) en el cual el punto coordinador controla las transmisiones de tramas de las estaciones para eliminar la competencia por un periodo de tiempo limitado.

La Tabla A-3 resume las principales técnicas de modulación utilizadas en cada una de las especificaciones físicas WLAN y las relaciona con las velocidades alcanzadas.

TABLA A-3. TÉCNICAS DE MODULACIÓN EMPLEADAS EN WLAN

Estándar WLAN	Especificación	Modulación	Velocidad Alcanzada (Mbps)
802.11	FHSS	Modulación de Cambio de Frecuencia Gaussiana ( <i>Gaussian Frequency Shift Keying, GFSK</i> ) de segundo nivel	≤ 1
		GFSK de cuarto nivel	≤ 2
	DSSS	Modulación de Cambio de Fase Binaria Diferencial ( <i>Differential Binary Phase Shift Keying, DBPSK</i> )	≤ 1
		Modulación de Cambio de Fase en Cuadratura Diferencial ( <i>Differential Quadrature Phase Shift Keying, DQPSK</i> )	≤ 2
802.11a	OFDM	Modulación de Cambio de Fase Binaria ( <i>Binary Phase Shift Keying, BPSK</i> )	6 - 9
		Modulación de Cambio de Fase en Cuadratura ( <i>Quadrature Phase Shift Keying, QPSK</i> )	12 - 18
		Modulación por Amplitud en Cuadratura de 16 pasos (16- <i>Quadrature Amplitude Modulation, 16-QAM</i> )	24 - 36
		Modulación por Amplitud en Cuadratura de 64 pasos (64-QAM)	48 - 54
802.11b	HR/DSSS	DBPSK	≤ 1
		DQPSK	≤ 2
		Modulación de Código Complementario ( <i>Complementary Code Keying, CCK</i> )	5.5 y 11
802.11g	OFDM	BPSK	6 - 9
		QPSK	12 - 18
		16-QAM	24 - 48
		64-QAM	54

### A.2.3 Wi-Fi

Wi-Fi es la marca comercial de la Alianza Wi-Fi que es una organización de la industria sin ánimo de lucro, conformada por más de 250 miembros entre los que se encuentran proveedores líderes de componentes y equipos inalámbricos, y operadores de red e integradores de sistemas como: Broadcom, Cisco, Dell, Intel, Microsoft, Motorola, Nokia, Philips, Sony, Texas Instruments, entre otros. Esta organización tiene como fin principal promover la adopción de un solo estándar aceptado mundialmente para la interconexión inalámbrica de redes de área local de alta velocidad.

Dicha alianza se encarga de desarrollar especificaciones universales, probar y certificar equipos inalámbricos que cumplan con los estándares IEEE 802.11x<sup>6</sup>. Hasta el momento, esta alianza ha certificado la interoperabilidad de más de 2.500 productos del mercado.

### A.3 INTRODUCCIÓN AL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2004

El estándar IEEE 802.16 [6] define la especificación de la interfaz aérea para el acceso inalámbrico de banda ancha global, con capacidad, robustez y desempeño altos sobre tecnologías fijas, portátiles y móviles, en coberturas extensas. Trabaja en bandas licenciadas como no licenciadas y tiene la posibilidad de desenvolverse en escenarios que no reúnen condiciones de línea de vista.

<sup>6</sup> A lo largo de todo el documento, el término 802.11x hará referencia al estándar IEEE 802.11 o cualquiera de sus derivados (802.11a, 802.11b u 802.11g).

Define un nivel MAC que soporta principalmente una arquitectura Punto a Multipunto (*Point to MultiPoint*, PMP) con una topología opcional de malla y se estructura para soportar varias especificaciones de nivel físico que dependen de la región del espectro en uso y las regulaciones asociadas.

A diferencia de los estándares que gobiernan las WLAN tales como el IEEE 802.11 y sus derivados (802.11a, 802.11b y 802.11g), el 802.16 no exhibe tasas de rendimiento fijas para usuarios individuales sino que presenta en promedio un máximo de 70 Mbps para un ancho de banda de canal de 20 MHz.

El estándar 802.16 original creado por el grupo de trabajo 802.16 del IEEE en el año 2001 se orientó a operación fija en la banda que va desde 10 GHz a los 66 GHz; luego se generó la versión 802.16c en el año de 2002, con mejoras de interoperabilidad facilitando la coexistencia entre sistemas; posteriormente se incluyó la operación entre los 2 GHz y 11 GHz, cuyos resultados consolidaron la versión 802.16a en el año 2003; en octubre de 2004, se aprobó el estándar IEEE 802.16-2004 (denominado inicialmente 802.16d como reemplazo del 802.16a) que aplica para el espectro de los 2 GHz a los 66 GHz, complementa las ratificaciones anteriores y entre sus modificaciones principales se encuentra la asociada con el consumo de potencia de los sistemas, especialmente respecto a su antecesora (la versión a); finalmente en diciembre de 2005 se aprobó la última versión del estándar denominada 802.16e, que incorpora el concepto de movilidad (parcial y total) para el soporte de usuarios nómadas y con velocidad vehicular.

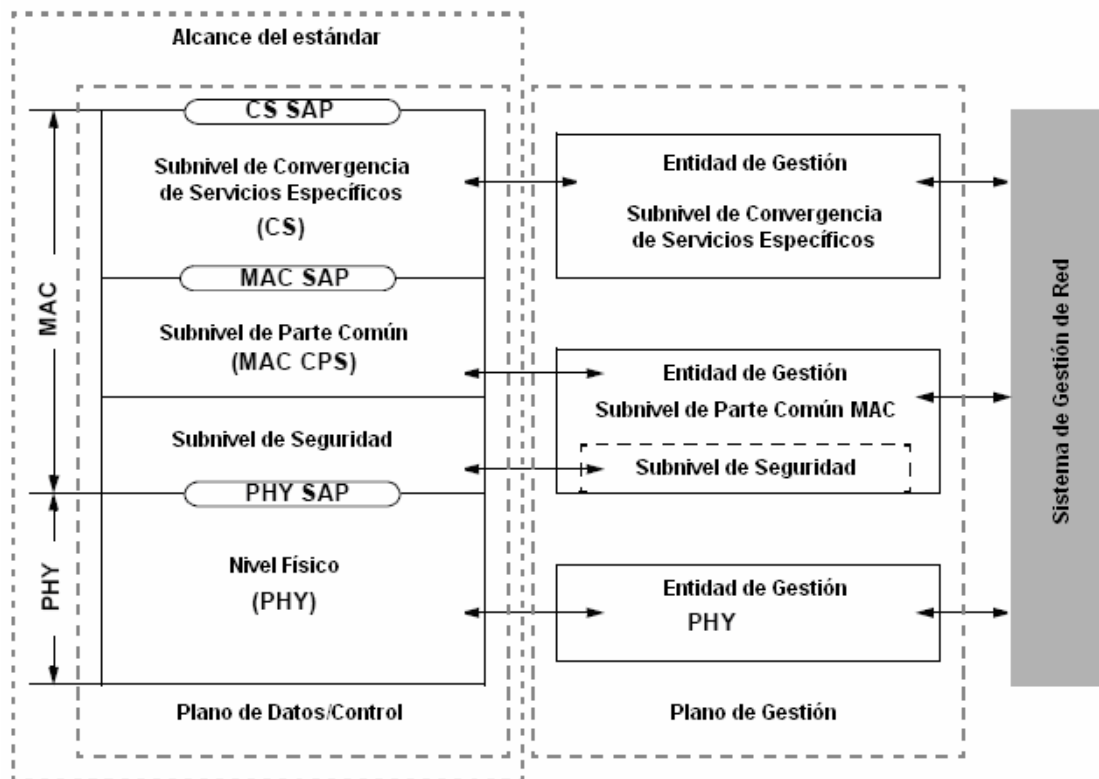
El nuevo estándar introduce el soporte de la tecnología de Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal Escalable (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplex Access*, SOFDMA), que es una variación de la técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplex Access*, OFDMA) implementada en el estándar 802.16-2004. Esta nueva técnica permite un número variable de portadoras, que se añade a los modos OFDM y OFDMA ya existentes. Además, IEEE 802.16e ofrece un soporte mejorado de las tecnologías MIMO y Sistemas de Antenas Adaptativas (*Adaptive Antenna Systems*, AAS). También, incluye mejoras para la optimización del consumo de energía para los dispositivos móviles y con ello permite disminuir el tamaño de los equipos, así como extensas características de seguridad.

Dado que este proyecto se enfoca hacia el estudio de las redes en malla en ambientes fijos, a continuación se presenta el tratamiento que el estándar IEEE 802.16-2004 realiza a la configuración de la malla.

### **A.3.1 Descripción de los Niveles IEEE 802.16-2004**

La Figura A-7 [6] muestra el modelo de referencia y el alcance del estándar IEEE 802.16-2004.

En este modelo de referencia se observa que el nivel MAC contiene tres subniveles: El Subnivel de Convergencia de Servicios Específicos (*Service-Specific Convergente Sublayer*, CS) que proporciona cualquier transformación o mapeo de datos de red externos, el subnivel denominado Subnivel de Parte Común (*Common Part Sublayer*, CPS) MAC que define la funcionalidad principal MAC del sistema de acceso, asigna el ancho de banda, establece y mantiene la conexión, y el subnivel de seguridad que proporciona autenticación, intercambio seguro de claves y encriptación.



**Figura A-7. Niveles del estándar 802.16-2004**

Como se verá a continuación, la definición del nivel físico incluye múltiples especificaciones, cada una apropiada para un rango de frecuencia y una aplicación en particular.

### A.3.1.1 Nivel físico

Existen dos especificaciones para el nivel físico sujetas a las características de propagación de las regiones inferior y superior del espectro en que trabaja el estándar (2-11 GHz y 10-66 GHz) y que respectivamente determinan condiciones de operación Sin línea de Vista (*Non Line of Sight*, NLOS) y con Línea de Vista (*Line of Sight*, LOS).

Las señales de frecuencias inferiores pueden atravesar muros sin que ocurra pérdida total de señal y viajar sobre distancias considerables, superiores a 48 kilómetros, con antenas altamente direccionales; estos rangos también se prestan para técnicas complejas como OFDM y OFDMA de banda ancha, lo cual conduce a niveles robustos y espectralmente eficientes que se traducen en un número mayor de usuarios por ancho de banda disponible. En la mayoría de los casos, las transmisiones en frecuencias superiores deben cumplir requerimientos de LOS y generalmente se restringen a distancias de pocos kilómetros (por debajo de 20 Km), aunque la ventaja particular en estos rangos es la abundancia de ancho de banda.

Para frecuencias operacionales de 10 a 66 GHz se especifica un nivel físico WirelessMAN-SC PHY que se basa en una modulación de Portadora Única (*Single Carrier*, SC). Para frecuencias por debajo de los 11 GHz donde es posible realizar una propagación sin una línea de vista directa, existen tres alternativas de nivel físico:

- **WirelessMAN-SC2:** que utiliza el formato de modulación por portadora única.
- **WirelessMAN-OFDM:** que utiliza multiplexación OFDM implementando la Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transformation*, FFT) de 256 puntos, o lo que es lo mismo, 256 subportadoras y un Acceso Múltiple por División de Tiempo (*Time Division Multiple Access*, TDMA).



- **WirelessMAN-OFDMA:** que utiliza OFDMA para el acceso con 2.048 subportadoras el cual es provisto por subconjuntos de portadoras para receptores individuales. La diferencia fundamental entre la especificación WirelessMAN-OFDM y esta especificación, es que en OFDM un canal consiste de todas las portadoras residentes en el ancho de banda de señalización completo, la cantidad básica de asignación de recursos es un símbolo OFDM y la cantidad de datos que se ajustan en un símbolo depende de la constelación y el método de codificación empleado en el símbolo como también del número de portadoras de datos por símbolo; mientras que en OFDMA los subcanales se definen como una fracción de las portadoras disponibles en el ancho de banda de señalización completo, la cantidad básica de asignación de recursos es un subcanal y las portadoras que forman un subcanal no tienen que ser adyacentes. Al igual que en OFDM, la cantidad de datos que se ajustan en un subcanal depende de la constelación y el método de codificación empleado así como también del número de portadoras de datos por subcanal.

El resumen de las especificaciones físicas para cada una de las frecuencias pueden observarse en la Tabla A-4 [7].

TABLA A-4. ESPECIFICACIONES PHY PARA EL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2004

Estándar	Banda de Frecuencia	PHY	MAC	Duplexación
WirelessMAN-SC	10-66 GHz	SC	Básico	Duplexación por División de Tiempo ( <i>Time Division Duplex</i> , TDD), Duplexación por División de Frecuencia ( <i>Frequency Division Duplex</i> , FDD)
WirelessMAN-SC2	2-11 GHz	SC2	Básico+ARQ+STC+AAS	TDD, FDD
WirelessMAN-OFDM	2-11 GHz Licenciada	OFDM	Básico+ARQ+STC+DFS+AAS	TDD, FDD
WirelessMAN-OFDM	2-11 GHz No Licenciada	OFDM	Básico+ARQ+STC+DFS+"Mesh"+AAS	TDD
WirelessMAN-OFDMA	2-11 GHz Licenciada	OFDMA	Básico+ARQ+STC+DFS+AAS	TDD, FDD
WirelessMAN-OFDMA	2-11 GHz No Licenciada	OFDMA	Básico+ARQ+STC+DFS+AAS	TDD

Cada nivel físico definido para cada rango de frecuencia cuenta con dos subniveles, uno de Convergencia de Transmisión y un nivel PMD. A su vez, cada subnivel PMD puede necesitar la definición de un único subnivel de convergencia de transmisión. Además, un nivel físico puede acompañarse de una entidad de gestión cuyas funciones no se especifican en el estándar, pero que en general, es responsable de funciones como recoger el estado del nivel dependiente y de la interacción con la gestión del sistema general. Entre las funciones de gestión del nivel físico se incluyen ajuste de frecuencia, gestión de potencia y compensación del retardo de propagación; la información de gestión específica para esta capa se representa como una Base de Información de Gestión (*Management Information Base*, MIB) y el modelo genérico de gestión de dispositivo es que cualquiera lea o ponga el valor de un parámetro en la MIB.

El nivel físico puede considerarse como provisión de servicios para el nivel MAC, los cuales se acceden a través de un Punto de Acceso al Servicio (*Service Access Point*, SAP) del nivel físico, así la comunicación entre uno y otro nivel se describe empleando un conjunto de primitivas de servicio que son de tres tipos: para transferencia de datos, para funciones de gestión y primitivas que tienen importancia local y soportan interacciones subnivel a subnivel relacionadas con el control del nivel.

Como puede observarse en la Tabla A-4, la especificación física WirelessMAN-OFDM es la única que tiene un tratamiento específico para la malla, en el cual se definen las diferentes tramas, campos y procesos necesarios para el establecimiento y operación de esta topología, así como las condiciones de las tramas y subtramas necesarias para la comunicación. Al contrario del sistema punto a multipunto, no se define una trama de *uplink* y otra de *downlink* sino un conjunto de tramas donde los usuarios

pueden transmitir, previa asignación de rangos de tiempo. Las tramas se dividen en subtramas de control y datos. Las primeras permiten controlar la operación de la malla y realizar procesos de solicitud y asignación de capacidad, mientras que las segundas se dividen en unidades de tamaño fijo, llamadas *minislots*, las cuales son la unidad de asignación de la capacidad a los usuarios. Un usuario puede recibir entre 1 y 256 unidades anteriores, especificando el *minislot* de origen y la cantidad de *minislots* asignados.

### **A.3.1.2 Subnivel MAC**

El protocolo MAC IEEE 802.16 se diseñó para aplicaciones de acceso inalámbrico de banda ancha con una configuración PMP, aunque también soporta topologías Punto a Punto (*Point to Point*, PTP) y malla (esta última en las frecuencias inferiores de 2 a 11 GHz). Este protocolo maneja tasas de transferencia altas tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada.

Los algoritmos que emplea para asignación de acceso y ancho de banda deben soportar cientos de terminales por canal en los que se pueden encontrar múltiples usuarios que desean compartir los recursos de la red, por lo cual este nivel maneja tráfico continuo y periódico, en ráfagas y soporte adicional de QoS asociado con los diferentes tipos de servicio requeridos por los usuarios finales, que entre sus matices incluyen voz, datos y en general lo que tiene que ver con conectividad IP y servicios de valor agregado (VoIP y *Streaming*<sup>7</sup>, entre otros). Pese a que el protocolo MAC se optimiza para tráfico IP, también se orienta a conexión soportando así una variedad de requerimientos de *backhaul*, incluyendo tanto los del Modo de Transferencia Asíncrono (*Asynchronous Transfer Mode*, ATM) como los que se basan en paquetes.

Como se observa en la Figura A-7, dentro del nivel MAC se encuentran tres subniveles, el subnivel de convergencia se encarga del tratamiento de protocolos de capas superiores y se utiliza para mapear tráfico específico de la capa de transporte hacia el nivel MAC y a través de características como supresión de cabeceras, empaquetado y fragmentación de tramas este subnivel y el nivel MAC proveen eficiencia en el transporte de tráfico. El subnivel de parte común se localiza en la parte central, maneja los canales de acceso, el establecimiento y mantenimiento de la conexión y QoS y se encarga de funciones de adaptación del enlace y Solicitud de Repetición Automática (*Automatic Repeat Request*, ARQ) para mantener las Tasas de Errores de Bits (*Bit Error Rate*, BER) dentro de los niveles permitidos mientras maximiza el rendimiento en la transmisión de la información, especialmente en el trabajo en bandas de 2 a 11 GHz en topologías algo más complejas que las PTP y PMP, como lo es la malla. El subnivel de seguridad provee autenticación, intercambio de claves seguras y encriptación.

### **A.3.2 WiMAX**

La organización de Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, WiMAX) es el nombre comercial del grupo de tecnologías inalámbricas que emergieron de la familia de estándares Inalámbricos para Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (*Wireless Metropolitan Area Network*, WMAN) IEEE 802.16.

En abril de 2002, se creó el Foro WiMAX como una organización de la industria sin ánimo de lucro, conformada por proveedores líderes de componentes y equipos inalámbricos, y operadores de red e integradores de sistemas como: Alcatel, Ericsson, Lucent, Motorola, Nortel y Siemens, por nombrar sólo algunos. La misión del foro es promover el estándar y ayudar a asegurar la compatibilidad y la interoperabilidad de componentes y sistemas de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (*Broadband Wireless Access*, BWA) a través de múltiples fabricantes, algo parecido a lo que la Alianza Wi-Fi hace por la familia de estándares IEEE 802.11x.

El Foro WiMAX también promueve el desarrollo de perfiles de sistemas, que son implementaciones específicas, selecciones de opciones dentro del estándar para formar conjuntos particulares de ofertas de servicio y grupos de suscriptores.

---

<sup>7</sup> Transmisión de audio o video en tiempo real sin almacenamiento previo.

## **ANEXO B. PROPUESTA CONJUNTA DE SEE-MESH Y WI-MESH PARA EL 802.11 TGs**

En el actual estándar inalámbrico para la interconexión de redes locales IEEE 802.11 y sus derivados, no se presenta un planteamiento específico para la interconexión de sus dispositivos en configuración de malla. Por esta razón, el IEEE ha creado un Grupo de Trabajo (*Task Group*, TG) denominado TGs que tiene como propósito definir los diferentes procesos y técnicas necesarias para habilitar este tipo de configuración en todos sus equipos.

A pesar de que existen otros grupos de trabajo que realizan estudios para implementar redes en malla sobre entornos personales y metropolitanos, el grupo de trabajo del 802.11 se consolida como el más fuerte en este campo por sus importantes avances que se reflejan en la creación de la primera versión del borrador sobre la que se trabaja actualmente.

El estudio de este primer borrador que se presenta como una propuesta conjunta de las alianzas SEE-Mesh y Wi-Mesh que conforman el TGs, permite observar de manera más detallada el comportamiento de una red inalámbrica en malla, lo cual es de suma importancia en el desarrollo de este trabajo de grado para determinar la arquitectura de red adecuada para el transporte de VoIP en un entorno rural.

A continuación se presenta un resumen de los aspectos más importantes de la propuesta conjunta de SEE-Mesh y Wi-Mesh para el 802.11 TGs.

### **B.1 DESCRIPCIÓN GENERAL**

Las redes en malla tienen propiedades ventajosas en términos de la robustez, extensión del rango de cobertura y densidad, pero también tienen significantes desventajas potenciales entre las cuales se encuentra el consumo de potencia y la seguridad.

El TGs definió un *framework* para la interconexión de mallas WLAN 802.11 que soporten un amplio rango de escenarios de desarrollo, entre los cuales se encuentran las redes residenciales, empresariales, redes de acceso público o redes de seguridad pública, entre otras. Cada uno de estos escenarios puede tener sus propios requisitos de optimización, sin embargo, también hay un gran número de características comunes en todas estas áreas que tienen que ver con las WLAN y en particular con el 802.11.

Las topologías de red y los protocolos descritos en este documento se enfocan hacia las redes en malla no controladas tales como las pequeñas o medianas redes que no están totalmente configuradas por un proveedor de servicios y por lo tanto pueden ser auto configurables. Los objetivos de esta especificación son los siguientes:

- Incrementar el rango de cobertura y flexibilidad de estas redes comparadas con el estándar base.
- Desempeño confiable.
- Seguridad inalámbrica.
- Transporte multimedial entre dispositivos.
- Consumo de potencia eficiente.
- Compatibilidad con tecnologías anteriores.
- Interoperabilidad en la interconexión.
- Posibilidad de incrementar el desempeño.

Las redes descritas en este documento hacen uso de protocolos para la selección del trayecto y reenvío de la malla de nivel 2 (es decir, redes en malla que realizan enrutamiento en el nivel de enlace).

### **B.2 FORMATO DE TRAMAS MAC**

#### **B.2.1 Tramas de Datos de la Malla**

Las tramas de datos que se transmiten desde un Punto de Malla (*Mesh Point*, MP) a otro utilizan como base el formato de tramas de 4 direcciones definido por el estándar 802.11-1999, pero extienden este formato con un campo de encabezado de QoS definido en el estándar 802.11e y un nuevo campo de

encabezado de control de reenvío en malla. Por lo cual, el nuevo formato de trama se compone como se muestra en la Figura B-1.

Bytes: 2	2	6	6	6	2	6	2	3	02312	4
Control de Trama	Duración	Dirección 1	Dirección 2	Dirección 3	Control de Secuencia	Dirección 4	Control de QoS	Control de reenvío en la malla	Cuerpo	FCS
Encabezado MAC										

**Figura B-1. Formato de trama MAC de la malla**

Para que este nuevo formato de trama pueda trabajar perfectamente en la topología de malla, es necesario adicionar o modificar algunas características en cada uno de los campos que conservan el formato del estándar base IEEE 802.11-1999. A continuación se detallan los cambios que deben realizarse.

### B.2.1.1 Campo de control de trama

El estándar IEEE 802.11-1999 define dentro de su formato de trama, un campo de control de trama que permite identificar entre otras cosas, la función de la trama por medio de los subcampos tipo y subtipo; en el estándar 802.11 se detalla que hay tres tipos de tramas: de control, de datos y de gestión, y estas tramas contienen varios subtipos. Además, existe una tabla en el estándar base 802.11-1999 (Tabla 1—Combinaciones válidas de tipos y subtipos [4]) donde se muestran las combinaciones válidas de tipos y subtipos y es en dicha tabla donde se debe adicionar las siguientes filas definidas para el trabajo de las redes en malla con la propuesta del nuevo estándar IEEE 802.11s.

TABLA B-1. COMBINACIONES VÁLIDAS DE TIPOS Y SUBTIPOS

Valor del Tipo b3 b2	Descripción del Tipo	Valor del Subtipo b7 b6 b5 b4	Descripción del Subtipo
01	Control	0000-0101	Reservado
01	Control	0110	RTX
01	Control	0111	CTX
11	Extendida	0000	Datos de la malla
11	Extendida	0001	Datos de la malla + CF-Ack
11	Extendida	0010-1111	Reservado

- **Subcampo de datos adicionales**

El campo de datos adicionales tiene un tamaño de 1 bit y está presente en el campo de control definido dentro del formato de trama del estándar IEEE 802.11-1999. En el caso de las redes en malla, este campo se fija por los MPs para enviar mensajes *unicast* a un MP que se encuentra en un modo de conservación de energía; o mensajes *broadcast* o *multicast* cuando toda la malla opera en el mismo esquema de conservación de energía y hay más MSDUs o más Unidades de Datos del Protocolo de Administración MAC (*MAC Management Protocol Data Unit*, MMPDU) para transmitirse al MP en el intervalo de señalización actual.

### B.2.1.2 Campo de control de reenvío en la malla

Como puede observarse en la Figura B-2, el campo de control de reenvío en la malla es un campo de 24 bits que incluye un campo de Tiempo de Vida (*Time To Live*, TTL) utilizado en el reenvío multitrayecto para eliminar la posibilidad de ciclos infinitos y un número de secuencia de malla extremo a extremo utilizado en el control de inundaciones *broadcast* y otros servicios. El campo de control de la malla se presenta en todas las tramas de tipo *Extendido* con un subtipo *Datos de Malla* [+ CF-Ack].

23	22	...	9	8	7	...	0
Número de secuencia de malla extremo a extremo					Tiempo de vida (TTL)		

**Figura B-2. Campo de control de reenvío en la malla**

A continuación se explica cada uno de los subcampos de este campo.

- **Subcampo de tiempo de vida de la malla**

El campo de TTL de la malla tiene una longitud de 8 bits y se utiliza para eliminar la posibilidad de ciclos infinitos en la red en malla WLAN.

- **Subcampo de número de secuencia de la malla extremo a extremo**

El campo de número de secuencia de la malla extremo a extremo tiene una longitud de 16 bits y se utiliza para el control de inundaciones *broadcast* y la entrega ordenada de mensajes en la red en malla WLAN.

En tramas de datos *unicast* este número de secuencia únicamente se utiliza para identificar la trama desde un punto de malla dado. En este caso, el campo se fija por el punto de malla fuente, se almacena sin ninguna alteración por los MP repetidores intermedios y se utiliza por el MP de destino para eliminar las tramas duplicadas o detectar las tramas que se encuentran fuera del orden.

## B.2.2 Tramas de Gestión de la Malla

Los MPs vecinos deben soportar el intercambio de tramas de gestión 802.11 entre sí. El encabezado de la trama de gestión soporta dos campos de dirección denominados Dirección de Destino (*Destination Address, DA*) y Dirección de Fuente (*Source Address, SA*) cuyos valores en una topología de malla serán los siguientes:

- **Campo DA:** Dirección MAC del MP receptor (con respecto a la transmisión a un salto)
- **Campo SA:** Dirección MAC del MP transmisor (con respecto a la transmisión a un salto)
- **Campo de Identificador del BSS (*BSS Identifier, BSSID*):** Este campo no se utiliza por las tramas de gestión transmitidas entre los MPs (Se recomienda que todos los campos que no se definen por la propuesta se fijen en 0 para que se tenga una compatibilidad con los equipos antiguos).

El formato de la trama de gestión puede observarse en la Figura B-3.

Bytes: 2	2	6	6	6	2	0-2312	4
Control de Trama	Duración	DA	SA	BSSID	Control de Secuencia	Cuerpo de la Trama	FCS
Encabezado MAC							

**Figura B-3. Formato de la trama de gestión**

### B.2.2.1 Tipos de trama de gestión específicos

- **Formato de la trama de señalización (*beacon*)**

El campo de cuerpo de la trama que se ilustra en la Figura B-3 puede ser de tipo *beacon* de acuerdo a lo que se especifica en la tabla de combinaciones válidas de tipos y subtipos del estándar IEEE 802.11-1999 (Tabla 1-Combinaciones válidas de tipos y subtipos [4]). Si se opera

en el modo de malla la información contenida en este campo debe modificarse con respecto a la especificada en la Tabla 5 del estándar 802.11 por la información que se presenta en la Tabla B-2:

TABLA B-2. MODIFICACIÓN AL CUERPO DE LA TRAMA DE TIPO *BEACON*

Orden	Información	Notas
4	Identificador del Set de Servicios (SSID)	Cuando la etiqueta <i>dot11WLANMeshService</i> se fija en <i>true</i> pero la interfaz en la cual se envía el <i>beacon</i> no esta configurada como un AP, el SSID se fijará al valor de la tarjeta. [Nota: Generalmente, el SSID es un elemento de información requerido en las tramas <i>beacon</i> . Para prevenir que estaciones ( <i>Stations</i> , STAs) antiguas envíen solicitudes de asociación a MPs que no sean APs (MAPs), no se debe incluir un SSID valido en los <i>beacons</i> enviados por los MP que no son AP. Para prevenir problemas de compatibilidad con equipos antiguos en lugar de remover el SSID de los <i>beacons</i> MP (que no son MAP) se utiliza en valor de la tarjeta.

Además es necesario agregar a esta misma tabla (Tabla 5 Estándar IEEE 802.11-1999 [4]) la información de la Tabla B-3:

TABLA B-3. ADICIONES AL CUERPO DE LA TRAMA DE TIPO *BEACON*

Orden	Información	Notas
Por definir	Conjunto de parámetros OFDM	El conjunto de parámetros OFDM es un elemento de información que está presente dentro de las tramas <i>beacon</i> generadas por las STAs.
Por definir	Identificador de Malla ( <i>Mesh ID</i> )	El identificador de malla está presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fija en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información está presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fija en <i>true</i> .
Por definir	Lista de vecinos	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> de Mensajes de Indicación de la Entrega de Tráfico ( <i>Delivery Traffic Indication Message</i> , DTIM) cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> y el MP soporte el mecanismo de conservación de energía.
Por definir	DTIM	EL elemento de información DTIM estará presente el las tramas <i>beacon</i> generadas cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> y el MP soporte el mecanismo de conservación de energía.
Por definir	Accesibilidad del Punto de Malla con Portal ( <i>Mesh Point Portal</i> , MPP)	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Medición del tiempo del <i>Beacon</i>	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Aviso del MDAOP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	MDAOP Set Teardown	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas <i>beacon</i> sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .

- **Formato de trama de solicitud de asociación**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla B-4, a la sección "7.2.3.4 *Association Request frame format*" en la Tabla 7 del estándar IEEE 802.11-1999.

TABLA B-4. ADICIONES AL CUERPO DE LA TRAMA DE SOLICITUD DE ASOCIACIÓN

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de asociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de asociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Anuncio del perfil activo	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de asociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Solicitud de un par de MP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de asociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .

- **Formato de trama de respuesta de asociación**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla B-5, a la sección "7.2.3.5 Association Response frame format" en la Tabla 8 del estándar IEEE 802.11-1999.

TABLA B-5. ADICIONES AL CUERPO DE LA TRAMA DE RESPUESTA DE ASOCIACIÓN

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de asociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de asociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Anuncio del perfil activo	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de asociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Respuesta del par de MP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de asociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .

- **Formato de trama de solicitud de reasociación**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla B-6, a la sección "7.2.3.6 Reassociation Request frame format" en la Tabla 9 del estándar IEEE 802.11-1999.

TABLA B-6. ADICIONES AL CUERPO DE LA TRAMA DE SOLICITUD DE REASOCIACIÓN

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de reasociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de reasociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Anuncio del perfil activo	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de reasociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Solicitud de un par de MP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de reasociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .

- **Formato de trama de respuesta de reasociación**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla B-7, a la sección "7.2.3.7 *Reassociation Response frame format*" en la Tabla 10 del estándar IEEE 802.11-1999.

TABLA B-7. ADICIONES AL CUERPO DE LA TRAMA DE SOLICITUD DE REASOCIACIÓN

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de reasociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de reasociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Anuncio del perfil activo	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de reasociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Respuesta del par de MP	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de reasociación sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .

- **Formato de la trama de solicitud de prueba**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla B-8, a la sección "7.2.3.8 *Probe Request frame format*" en la Tabla 11 del estándar IEEE 802.11-1999.

TABLA B-8. ADICIONES AL CUERPO DE LA TRAMA DE SOLICITUD DE PRUEBA

Orden	Información	Notas
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de prueba sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de solicitud de prueba sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .

- **Formato de la trama de respuesta de prueba**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar la información consignada en la Tabla B-9, a la sección "7.2.3.8 *Probe Response frame format*" en la Tabla 12 del estándar IEEE 802.11-1999.

TABLA B-9. ADICIONES AL CUERPO DE LA TRAMA DE RESPUESTA DE PRUEBA

Orden	Información	Notas
Por definir	Juego de parámetros OFDM	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba generadas por las STAs.
Por definir	Mesh ID	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Capacidad de la malla WLAN	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Accesibilidad del punto de malla con portal	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .
Por definir	Medida de tiempo del <i>Beacon</i>	Este elemento de información estará presente dentro de las tramas de respuesta de prueba sólo cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> .



Por definir	DTIM	Este elemento de información sólo estará presente en pruebas generadas cuando el parámetro <i>dot11WLANMeshService</i> se fije en <i>true</i> y el MP soporte el mecanismo de conservación de energía.
-------------	------	--

### B.2.2.2 Componentes de cuerpo de la trama de gestión

- **Campo de acción**

Para el manejo de la red en malla, es necesario adicionar el ítem de gestión de la malla en la Tabla 12 del estándar IEEE 802.11-1999, tal como se muestra en la Tabla B-10.

TABLA B-10. VALORES DE CATEGORÍA DE LA TRAMA DE ACCIÓN

Nombre	Valor	Sección (Estándar IEEE 802.11-199)
Gestión del espectro	0	7.4.1
Reservado	1-3	-
Gestión del radio	4	7.4.2
Gestión de la malla	5	-
Reservado	6-127	
Error	128-255	-

### B.2.2.3 Elementos de información

El cuerpo de la trama de gestión esta compuesto por elementos de información definidos para cada subtipo de trama de gestión. Para el tratamiento de la malla se han definido los siguientes elementos de información.

- **Elemento de capacidad de la malla WLAN**

El elemento denominado capacidad de la malla WLAN, se utiliza para publicar los servicios de la malla WLAN. Este se encuentra en los *beacons* transmitidos por los MPs y en los mensajes de respuestas de prueba. Su formato puede observarse en la Figura B-4.

Bytes: 1	1	1	4	4	2	1	1	2	4
ID	Longitud	Versión	ID del protocolo activo	ID de la métrica activa	Capacidad de par	Capacidad de almacenamiento de energía	Capacidad de sincronización	Capacidad MDA	Precedencia del canal

**Figura B-4. Elemento de capacidad de la malla WLAN**

Los MPs pueden soportar uno o más protocolos de selección de rutas y métricas de trayectos, sin embargo, sólo uno de los protocolos de selección de rutas y una métrica de trayectos pueden estar activos al tiempo en cualquier punto de una red en malla. El elemento de capacidad de la malla WLAN indica cuál es el protocolo y métrica utilizados en el momento a través de los subcampos *ID del protocolo activo* e *ID de la métrica activa*, respectivamente. La especificación implementa el protocolo híbrido de malla inalámbrica y el protocolo OSLR con conciencia de las condiciones del Radio (*Radio Aware OLSR*); el primer protocolo se utiliza por defecto en esta especificación mientras que el segundo es un protocolo opcional. Además permite que el proveedor defina su propio protocolo.

De la misma manera, la especificación implementa una métrica de selección de ruta dominado *Airtime* pero puede utilizar cualquier otra métrica especificada por el proveedor.

El subcampo denominado *Capacidad de par* indica capacidades del MP para actuar como MP o como una interfaz lógica de radio, además permite identificar si el MP se conecta a un servidor de autenticación.

El subcampo denominado *Capacidad de almacenamiento de energía* informa si el MP soporta la capacidad de conservación de energía y si en el momento se encuentra en ese estado o está activo, además informa si un MP con esta capacidad exige que los otros MPs que quieran asociarse a él soporten también la operación de conservación de energía.

El subcampo denominado *Capacidad de sincronización* se utiliza para determinar si el MP soporta sincronización con los pares de MPs, además determina si un MP necesita que los pares que quieran comunicarse con él se sincronicen primero.

El subcampo denominado *Capacidad de Acceso Determinístico de la Malla (Mesh Deterministic Acces, MDA)* indica cuando un MP opera en un método de acceso opcional denominado MDA que permite a los MPs acceder al canal con un periodo de contención más bajo que el normalmente establecido. Este método de acceso también puede conjugarse con el método de Acceso de Control Distribuido Mejorado (*Enhanced Distributed Control Access, EDCA*) definido por el estándar IEEE 802.11e.

- **Elemento de anuncio del perfil activo**

El elemento de anuncio del perfil activo es un nuevo elemento que se adiciona para notificar la configuración actual de un par de MPs acerca del protocolo y métrica utilizados para la selección de ruta. Este elemento se transmite en los mensajes de solicitud de asociación enviados por el MP que solicita la asociación.

El formato del elemento de anuncio del perfil activo se muestra en la Figura B-5.

Bytes: 1	1	1	1	1
ID	Longitud	Versión	ID del protocolo activo	ID de la métrica activa

**Figura B-5. Elemento de anuncio del perfil activo**

- **Elemento identificador de la malla (Mesh ID)**

El identificador de la malla (*mesh ID*) se utiliza para anunciar la identificación de la red en malla WLAN. Cuando es necesario anunciar el *mesh ID* de la tarjeta en las tramas de gestión de solicitud de prueba, puede utilizarse un campo de información de longitud cero. El formato del elemento *mesh ID* se ilustra en la Figura B-6.

Bytes:1	1	0-32
ID del elemento	Longitud	<i>Mesh ID</i>

**Figura B-6. Formato del elemento *mesh ID***

- **Elemento de anuncio de estado del enlace local**

Un elemento de anuncio de estado del enlace local se transmite por un MP a su MP vecino para indicar el estado del enlace entre ellos. El propósito de este mensaje es asegurarse que la calidad del enlace es simétrica para todos los enlaces de la malla. La Figura B-7 ilustra el formato de este elemento, en el cual se transmite la tasa de tasa de transmisión de bit ( $r$ ) y la Tasa de Error de Paquetes (*Packet Error Rate, PER*).

Bytes: 1	1	2	2
ID	Longitud	$r$	PER

**Figura B-7. Elemento de anuncio de estado del enlace local en una malla WLAN**

El campo de tasa,  $r$ , debe interpretarse como un campo de 16 bits entero, sin signo, con el byte menos significativo transmitido primero, que indica la tasa de bits en el aire actualmente en uso, en unidades de 1 Mbps.

El campo PER,  $e_{ptr}$ , indica una tasa estimada de paquetes erróneos de una trama de datos que contiene una carga útil (*payload*) de 1000 bytes transmitidos a la tasa de bits especificada en el campo  $r$ . Este campo debe interpretarse como una fracción binaria, sin signo, de 16 bits, con el byte menos significativo transmitido primero, tal que el valor de 0 x FFFF corresponde a la fracción:

$$1 - \frac{1}{2^{16}}$$

- **Elementos de información del Protocolo Híbrido de Malla Inalámbrica (Hybrid Wireless Mesh Protocol, HWMP)**

- **Elemento de solicitud de ruta**

La Figura B-8 ilustra el formato del elemento de solicitud de ruta, mientras que la Tabla B-11 muestra los valores que este elemento puede contener.

Bytes: 1	1	1	1	1	1	4	6	4
ID	Longitud	Banderas de modo	TTL	Contador de destino	Contador de saltos	RREQ ID	Dirección de destino	Número de secuencia de la fuente

4	1			6	4	....	1			6	4
Métrica	Banderas por destino			Dirección de destino # 1	Número de secuencia de destino # 1	....	Banderas por destino			Dirección de destino #N	Número de secuencia de destino #N
	DO #1	RF #1	Reservado				DO #N	RF #N	Reservado		

**Figura B-8. Elemento de solicitud de ruta**

TABLA B-11. CAMPOS DEL ELEMENTO DE SOLICITUD DE RUTA

Campo	Valor / Descripción
ID	TBD
Longitud	
Banderas de modo	Bit 0: 0 <i>Unicast</i> , 1 <i>Broadcast</i> Bit 1 - 7: Reservados
TTL	Tiempo de vida: El número restante de veces que la solicitud puede enviarse
Contador de destino	Número de parejas <destino, número de secuencia de destino> en el mensaje
Contador de saltos	Número de saltos desde la dirección MAC de la fuente hasta el nodo que maneja la solicitud
ID de Solicitud de Ruta ( <i>Route Request</i> , RREQ)	Número de secuencia que identifica la solicitud de ruta en particular cuando se toma en conjunto con la dirección MAC del MP de origen
Dirección de destino	Dirección MAC del MP fuente
Número de secuencia de la fuente	Número de secuencia actual a utilizarse en la entrada de la ruta que apunta hacia la fuente de la solicitud de ruta
Métrica	Suma acumulativa de los costos de la métrica de los enlaces desde la fuente hacia el nodo que maneja la solicitud. Cada uno de ellos corresponde a un valor de métrica infinito o a un valor de métrica que es tan grande como el rango del campo

Banderas por destino	<p>Bandera de Sólo Destino (<i>Destination Only</i>, DO): Si DO=0, los nodos intermedios con una ruta válida al correspondiente destino responderán al RREQ con un mensaje <i>unicast</i> de Respuesta de Ruta (<i>Route Reply</i>, RREP). Si DO=1, sólo el destino responderá al RREQ con un mensaje <i>unicast</i> RREP. El valor por defecto es 1.</p> <p>Bandera de Respuesta y Reenvío (<i>Reply-and-Forward</i>, RF): Controla el reenvío de RREQ a los nodos intermedios. Cuando DO=0 y el nodo intermedio tiene una ruta válida al destino correspondiente, el RREQ no se reenvía si RF=0 y se reenvía si RF=1. El valor por defecto es 1. Cuando DO=1, la bandera RF no tiene efecto</p>
Dirección de destino	Dirección MAC de destino para la cual se desea una ruta (Todo cero en el caso de que el bit 1 de las banderas de modo sea igual a 1)
Número de secuencia de destino	Último número de destino recibido en el pasado de la fuente de alguna ruta hacia el MP de destino. Un valor de 0 indica que la fuente no conoce el número de secuencia del destino.

o **Elemento de respuesta de ruta**

La Figura B-9 ilustra el formato del elemento de respuesta de ruta, mientras que la Tabla B-12 muestra los valores que puede contener este elemento.

Bytes: 1	1	1	1	6	4
ID	Longitud	Banderas de modo	Contador de la fuente	Dirección de destino	Número de secuencia del destino
4	4	6	4	...	4
Tiempo de vida	Métrica	Dirección de la fuente # 1	Número de secuencia de fuente # 1	Dirección de la fuente # N	Número de secuencia de fuente # N

**Figura B-9. Elemento de respuesta de ruta**

TABLA B-12. CAMPOS DEL ELEMENTO DE RESPUESTA DE RUTA

Campo	Valor / Descripción
ID	Por definir
Longitud	
Banderas	Bit 0 – 7: Reservados
Contador de la fuente	Número de parejas <fuente, Número de secuencia de fuente> presentes en el mensaje
Dirección de destino	Dirección MAC de destino para la cual se desea una ruta
Número de secuencia de destino	Ultimo número de secuencia recibido en el pasado desde la fuente de cualquier ruta hacia el destino. Un valor de 0 indica que la fuente no conoce el número de secuencia del destino
Tiempo de vida	Tiempo en milisegundos en el cual los nodos que reciben la RREP consideran la ruta válida
Métrica	Métrica acumulativa desde la dirección MAC de destino hacia el nodo que maneja la RREP
Dirección de fuente	Dirección MAC del nodo que origina la RREQ para la cual se

	proporciona la ruta
Número de secuencia de la fuente	Número de secuencia actual a utilizarse en la entrada de la ruta que apunta hacia la fuente de solicitud de la ruta

- **Elemento de Error de ruta**

La Figura B-10 ilustra el formato del elemento de error de ruta, mientras que la Tabla B-13 muestra los valores que puede contener este elemento.

Bytes: 1	1	1	1 (ó 4)	6	4
ID	Longitud	Banderas de modo	Número de destino	Dirección de destino	Número de secuencia del MP de destino

**Figura B-10. Elemento de error de ruta**

TABLA B-13. CAMPOS DEL ELEMENTO DE ERROR DE RUTA

Campo	Valor / Descripción
ID	Por definir
Longitud	
Banderas de modo	Bit 0 – 7: Reservados
Dirección de destino	Dirección MAC del destino que se ha detectado como inalcanzable
Número de secuencia de destino	Número de secuencia del MP de destino que se ha detectado como inalcanzable

- **Elemento de Respuesta ACK de ruta**

La Figura B-11 ilustra el formato del elemento de error de ruta, mientras que la Tabla B-14 muestra los valores que puede contener este elemento.

Octetos: 1	1	6	4	6	4
ID	Longitud	Dirección de destino	Número de secuencia del MP de destino	Dirección de la fuente	Número de secuencia del MP fuente

**Figura B-11. Elemento de respuesta ACK de ruta**

TABLA B-14. CAMPOS DEL ELEMENTO DE RESPUESTA ACK DE RUTA

Campo	Valor / Descripción
ID	Por definir
Longitud	12
Dirección de destino	Dirección MAC del destino para el cual se desea una ruta
Dirección de la fuente	Dirección MAC del nodo que origina la RREQ para la cual se ha proporcionado una ruta

- **Elemento de parámetro OFDM**

El Parámetro OFDM es un nuevo elemento que se utiliza para anunciar la identificación actual del canal al MP vecino que trabaja con un nivel físico OFDM. Este elemento está contenido en los *beacons* transmitidos por los MPs y en los mensajes de respuesta de prueba.

El elemento denominado conjunto de parámetros OFDM contiene información que permite identificar el número del canal para los MPs que utilizan un nivel físico OFDM.

- **Elemento de tasa de transmisión asignada**

Este nuevo elemento se utiliza por un MP en la trama de solicitud de control de flujo, para indicar a su vecino ubicado en un nivel superior, la tasa de datos asignada que los dos MPs deben mantener. Este elemento contiene 4 campos de tasa de datos, asignados a las 4 categorías de acceso EDCA 802.11e y un contador de expiración. La longitud total de esta información es de 20 bytes, como puede observarse en la Figura B-12.

Bytes: 1	1	4	4	4	4	2
ID	Longitud	Tasa de datos asignada (AC_BK)	Tasa de datos asignada (AC_BE)	Tasa de datos asignada (AC_VI)	Tasa de datos asignada (AC_VO)	Contador de expiración

**Figura B-12. Formato del elemento de tasa de transmisión asignada**

La tasa de datos asignada para una categoría de acceso dada, indica la tasa de transmisión en bits por segundo desde el MP de nivel superior hasta el MP vecino de nivel inferior. El MP de nivel superior no debe exceder la tasa de datos asignada por que si lo hace puede ocasionar una congestión en el nodo de nivel inferior.

El contador de expiración indica el periodo válido de la información de tasas de datos asignadas en este elemento y se representa en unidades de tiempo.

- **Elemento de carga de tráfico propuesto**

Este nuevo elemento se utiliza por un MP en la trama de respuesta de control de flujo para indicar a sus vecinos ubicados en un nivel inferior la carga de tráfico presente entre ellos. Este elemento contiene cuatro campos de carga de tráfico propuesto para las cuatro categorías de acceso tal como se muestra en la Figura B-13.

Bytes: 1	1	4	4	4	4
ID	Longitud	Carga de tráfico propuesta (AC_BK)	Carga de tráfico propuesta (AC_BE)	Carga de tráfico propuesta (AC_VI)	Carga de tráfico propuesta (AC_VO)

**Figura B-13. Formato del elemento de carga de tráfico propuesta**

La carga de tráfico propuesto en una categoría dada indica la tasa de tráfico entrante, en bits por segundo, estimada o medida en la interfaz MAC. Esta información puede utilizarse por los vecinos ubicados en el nivel inferior del MP para estimar de mejor manera la tasa de datos asignada.

- **Elemento de congestión del vecindario**

Este elemento se utiliza por el MP para indicar a sus vecinos su nivel de congestión. Como puede observarse en la Figura B-14, cada elemento contiene un campo de nivel de congestión y un campo de contador de expiración.

Bytes: 1	1	1	2
ID	Longitud	Nivel de congestión	Contador de expiración

**Figura B-14. Formato del elemento de congestión del vecindario**

El nivel de congestión es un dato que aún se encuentra pendiente por definir, mientras que el contador de expiración indica el periodo valido de la información de congestión proporcionada en este elemento y se representa en unidades de tiempo.

- **Elemento de solicitud de un enlace con otro MP**

Este elemento se transmite por un MP a un vecino con el fin de solicitar la creación un enlace entre ellos. Tal elemento tiene el formato que se ilustra en la Figura B-15 en el cual existe un campo de

direccionalidad que contiene un número aleatorio escogido por la fuente para prevenir que dos MPs establezcan la solicitud de enlace al mismo tiempo.

Bytes: 1	1	2
ID	Longitud	Direccionalidad

**Figura B-15. Formato del elemento de solicitud de enlace con otro MP**

- **Elemento de respuesta de enlace con otro MP**

Este elemento se transmite por un MP a su vecino en respuesta de su solicitud de enlace. El formato de dicho elemento se detalla en la Figura B-16.

Bytes: 1	1	1
ID	Longitud	Estado

**Figura B-16. Formato del elemento de respuesta de enlace con otro MP**

El código de estado tiene un valor que indica si la solicitud fue aceptada o denegada.

- **Elemento de accesibilidad del MPP**

Este elemento se utiliza para anunciar la identificación de uno o más MPPs con los cuales puede comunicarse el MP. Dicho elemento se incluye en los *beacons* y tramas de respuestas de prueba y contiene el formato ilustrado en la Figura B-17 en el cual se detalla el número de MPPs conectados y la lista de descripciones de los MPPs que son alcanzables por el MP, constituida por la dirección MAC de cada MPP y la métrica utilizada desde el MP hasta el MPP.

Bytes: 1	1	1	10*n
ID del elemento	Longitud	Número de MPPs	Descripción del MPP

**Figura B-17. Formato del elemento de accesibilidad del MPP**

- **Elemento de anuncio del MPP raíz**

Este elemento permite anunciar la presencia de nuevos MPPs en la red, en un determinado intervalo de tiempo. Cada vez que se emiten estos mensajes, los MPs pueden asociarse a un MPP para el reenvío de sus paquetes y los portales actualizan sus rutas para asegurar que las tramas con direcciones desconocidas se transmitan sobre todos los enlaces presentes en la red.

- **Elemento de anuncio del cambio del cluster del canal**

Este elemento se utiliza por un MP en una malla WLAN para anunciar cuando se esta cambiando a un nuevo canal, informa de igual manera, el número del canal y el valor de precedencia del nuevo canal. El formato del elemento de anuncio del cambio del *cluster* del canal se muestra en la Figura B-18.

Bytes: 1	1	1	1	4	1	6
ID	Longitud	Modo de cambio del canal	Nuevo número del canal	Nuevo indicador de precedencia del canal	Contador de cambio del canal	Dirección de la fuente

**Figura B-18. Elemento de anuncio del cambio del *cluster* del canal**

En el formato mostrado, el campo de *Longitud* se fijará en 13, mientras que el campo de *Modo de cambio del canal* indica cualquier restricción en la transmisión hasta que ocurra un cambio del canal, el MP fuente fijará este campo en 1 durante la transmisión, si quiere informar al MP destino que no puede transmitir las tramas futuras en el canal actual hasta que se cambie al canal programado. Si por el contrario, el MP fuente fija este campo en 0, no se impone restricción alguna en la STA receptora.

Los campos de *Nuevo número del canal* y *Nuevo indicador de precedencia del canal* se fijarán con el número del canal e indicador de precedencia de canal, al cual se moverá el MP, respectivamente.

Por su parte, el campo de *Contador de cambio del canal* se fijará con el número de unidades de tiempo que transcurren hasta que el MP que esta enviando el anuncio de cambio del *cluster* del canal, cambia al nuevo canal. Un valor de 0 indicará que el cambio ocurrirá en cualquier momento después que la trama que contiene el elemento sea transmitida.

Por ultimo, el campo de *Dirección de la fuente* se fijará con la dirección del MP que origina la trama.

Este elemento se incluye en las tramas de anuncio de cambio del cluster del canal.

- **Elemento de lista de vecinos**

Este elemento se utiliza por un MP para publicar su lista de vecinos y el estado de conservación de energía de cada uno de ellos. El formato del elemento de lista de vecinos se ilustra en la Figura B-19.

Bytes: 1	1	1	6	6	...	6	k
ID	Longitud	Control del MP	Dirección MAC del Terminal 1	Dirección MAC del Terminal 2	...	Dirección MAC del Terminal N	Estados de conservación de energía ( <i>Power Save, PS</i> )

**Figura B-19. Elemento de lista de vecinos**

El campo de *Estados de conservación de energía (Power Save, PS)* indica el estado actual de cada uno de los vecinos presentes en la lista. Cada bit de este campo indica el estado del correspondiente miembro de la lista. Si un bit se fija en 0 significa que el correspondiente miembro de la lista está en un estado "despierto", pero si se fija en 1 se encuentra en un estado "conservación de energía". Por ejemplo, si la lista de vecinos contiene 8 direcciones MAC y el estado PS es '00110001', los MPs con direcciones MAC en las posiciones 3, 4 y 8 en la lista de vecinos están en el estado de conservación de energía. La longitud del campo de estados de PS siempre será un número entero de bytes.

- **Elemento DTIM**

El elemento de Mensajes de Indicación de la Entrega de Tráfico (*Delivery Traffic Indication Message, DTIM*) se utiliza por un MP que actúa como un emisor de *beacons*. Este elemento contiene información acerca del periodo DTIM de la malla y su formato se ilustra en la Figura B-20.

Bytes: 1	1	1	1
ID	Longitud	Contador de DTIM	Periodo DTIM

**Figura B-20. Elemento DTIM**

El campo de *Contador de DTIM* indica cuantos *beacons* (incluyendo la trama actual) aparecen antes del siguiente DTIM. Un valor de 0 indica que el actual TIM es un DTIM.



Por su parte, el campo de *Periodo DTIM* indica el número de intervalos *beacons* entre DTIMs sucesivos. Si todos los TIMs son DTIMs, el periodo DTIM tendrá un valor de 1. Cabe notar que el valor de 0 está reservado.

Un MAP incluirá elementos TIM y DTIM. El periodo DTIM de estos elementos de información no tiene que ser idéntico ya que uno de ellos se utilizará por el servicio del AP y el otro por el servicio de la malla.

- **Elemento de medición de tiempo del *beacon***

Este elemento se utiliza por un MP que esté sincronizándose para publicar un *offset* entre su propia Función de Sincronización de Tiempo (*Timing Synchronization Function*, TSF) y el TSF de la malla y también para publicar la información de la medición de tiempo del *beacon* de cero o más vecinos. El formato del elemento mencionado se ilustra en la Figura B-21.

Bytes: 1	1	4	1	1	3	1	3	...
ID	Longitud	Medición del <i>beacon</i> propio	Número de vecinos sincronizados reportados	Ultimo byte de la dirección MAC del terminal sincronizado # 1	Medición del <i>beacon</i> del terminal sincronizado # 1	Ultimo byte de la dirección MAC del terminal sincronizado # 2	Medición del <i>beacon</i> del terminal sincronizado # 2	...

1	3	1	5	...	1	5
Ultimo byte de la dirección MAC del terminal sincronizado # n	Medición del <i>beacon</i> del terminal sincronizado # n	Ultimo byte de la dirección MAC del terminal no sincronizado #1	Medición del <i>beacon</i> del terminal no sincronizado # 1	...	Ultimo byte de la dirección MAC del terminal no sincronizado # m	Medición del <i>beacon</i> del terminal no sincronizado # m

**Figura B-21. Elemento de medición de tiempo del *beacon***

- **Elementos asociados al MDAOP**

El estándar define algunos elementos para realizar el proceso de acceso determinístico a la malla. Entre estos elementos se encuentran la solicitud de configuración de un conjunto de Oportunidades de Acceso Determinístico a la Malla (*Mesh Deterministic Acces Opportunity*, MDAOP), la respuesta a esta solicitud, el anuncio de esta solicitud a sus vecinos y la configuración para terminar el proceso de MDA.

### B.3 SERVICIOS DE LA MALLA WLAN

#### B.3.1 Uso del Identificador de Malla

Este identificador se utiliza como un símbolo que identifica una red en malla con propiedades conocidas y creada por una autoridad administrativa conocida. Conceptualmente, el ID de la malla tiene un propósito similar al de un SSID que se utiliza para permitir que las STAs identifiquen APs candidatos con los cuales puedan conectarse. Los usos del ID de la malla son múltiples pero están fuera del alcance del estándar.

Debido a que las STAs implementadas con los anteriores estándares utilizan el SSID para el descubrimiento de los APs, no es recomendable reutilizar este identificador para el descubrimiento de los MPs, en su lugar puede utilizarse el nuevo identificador de malla y con esto se eliminarán las confusiones que pueden presentarse con las STAs antiguas.

#### B.3.2 Dispositivos de Un Solo o Múltiples Radios

Un dispositivo que opera con el estándar 802.11a y 802.11b, pero no con los dos al mismo tiempo, puede considerarse como un dispositivo de un solo radio, incluso si este contiene los dos radios

físicamente. En contraste, un dispositivo con múltiples radios no necesita operar cada radio en una banda diferente y es posible que tenga más de un radio 802.11x.

Un MP de múltiples radios utilizará diferentes direcciones MAC para cada radio y se tratará como varios MPs conectados por un conmutador. Dicho conmutador es parte de la malla WLAN y se trata como un bloque que no introduce retardo a la comunicación.

### **B.3.3 Descubrimiento de la Topología y Formación de la Malla**

Para la formación de la malla es necesario que los miembros de la red tengan la información suficiente acerca de sí mismos y de las conexiones disponibles entre ellos. Este proceso requiere la detección de los miembros por medio de *beacons* o de escaneo activo realizado a través de solicitudes de mensajes de prueba, seguido de un intercambio de información de enrutamiento que puede incluir la información del estado del enlace.

La formación de la malla es un proceso continuo que implica un monitoreo de los nodos vecinos y sus conexiones de manera que se detecte y reaccione a los cambios en el número de vecinos de la malla y en las conexiones entre ellos. A continuación se describe cada uno de estos procesos.

#### **B.3.3.1 Descubrimiento de la topología**

El descubrimiento de nuevos vecinos se realiza haciendo uso de un perfil contenido por cada uno de los dispositivos que incluye información del ID de la malla, el ID del protocolo de selección de ruta y el ID de la métrica, utilizados por el dispositivo. Por definición, un MP tiene al menos un perfil configurado.

Un MP que no es miembro de alguna malla WLAN realizará un escaneo pasivo o activo para descubrir nuevos vecinos. En el caso de realizar un escaneo pasivo, un dispositivo se considerará como vecino del MP sólo si cumple las siguientes condiciones:

1. Se recibe un *beacon* de tal dispositivo
2. El *beacon* recibido contiene un ID de malla que coincide con el ID de malla del MP o al menos con uno de sus perfiles.
3. El *beacon* recibido contiene un elemento de información de capacidad de la malla con los datos acerca del número de versión soportado por el MP, la indicación del MP activo y un protocolo y métrica de selección de trayecto que coinciden con el perfil seleccionado.

Adicionalmente, un MP vecino puede ser considerado como candidato para establecer una conexión sólo si el elemento de capacidad de la malla contiene un enlace disponible.

Los MPs intentan descubrir todos los vecinos y candidatos para sus enlaces y mantienen la información de sus vecinos indicando la dirección MAC de cada dispositivo, los parámetros del estado del enlace observados recientemente y el número del canal recibido.

Si un MP no puede detectar otros MPs vecinos, puede utilizar un ID de malla de uno de sus perfiles y continuar con el estado activo. Esto ocurrirá cuando el MP es el primero que se inicia en la red o varios MPs se inician simultáneamente.

#### **B.3.3.2 Operaciones realizadas con los enlaces**

Durante el proceso de formación y mantenimiento del enlace es necesario realizar un establecimiento y mantenimiento del enlace para el par de dispositivos, así como un descubrimiento y mantenimiento del estado del enlace local. Opcionalmente, según la configuración de la red y del perfil seleccionado es posible descubrir la presencia de un portal en la red en malla.

- **Establecimiento del enlace**

Un MP debe estar disponible para establecer al menos un enlace con un par de MPs y podrá establecer muchos más enlaces simultáneamente. Es posible que existan más candidatos para establecer enlaces con el MP de los que él puede soportar simultáneamente y en este caso el MP

deberá seleccionar con cuales dispositivos establecerá la conexión basándose en las medidas de calidad de señal recogidas durante la fase de descubrimiento.

Cuando un MP pretende establecer un enlace con otro, debe transmitir una trama de solicitud de asociación incluyendo un elemento de solicitud de enlace al MP. Para cada solicitud se selecciona un nuevo número aleatorio que se envía en el campo de direccionalidad. Una vez la solicitud de asociación se transmite con éxito, el estado del vecino se fijará como "asociación pendiente" y en el campo de direccionalidad se copiará el número aleatorio establecido.

Una vez se recibe la solicitud de asociación, el MP debe revisar el estado del MP que solicita la asociación en su lista de vecinos, si el estado se encuentra como "asociación pendiente" el MP debe comparar el valor de direccionalidad del MP solicitante, con el que éste contiene en su tabla de entradas; si este valor es menor o igual al contenido en la tabla, el MP rechazará la solicitud, de lo contrario, se realizará la asociación.

Los enlaces pueden terminarse explícitamente por uno de los MPs utilizando un mensaje de desconexión o implícitamente debido a la terminación del tiempo establecido para este enlace, el cual depende del estado del enlace.

- **Descubrimiento del estado actual del enlace**

El propósito del descubrimiento del estado actual del enlace es publicar los parámetros  $r$  y PER de cada enlace en la tabla de vecinos para posteriormente utilizar estos datos en el algoritmo del establecimiento de ruta para determinar las rutas disponibles más eficientes.

Por definición, un enlace entre dos MP se considera que está caído cuando no hay valores de  $r$  y PER asignados. Tan pronto como el proceso inicial de descubrimiento del estado del enlace se completa y los valores se asignan, se considera que el enlace está arriba y continúa en este estado hasta que ocurre un evento de desasociación.

Cuando el primer enlace entra a un estado de activo, el MP puede empezar a recibir tramas para iniciar el establecimiento de las rutas, en este caso, el MP ignorará cualquier trama hasta que haya completado el descubrimiento del estado local de todos sus enlaces.

### **B.3.3.3 Selección del canal**

Existen dos modos de selección del canal para las interfaces de radio lógicas del MP, un modo de unificación simple del canal y un modo avanzado. El MP puede especificar el modo utilizado a través de la bandera de *modo de unificación simple del canal* presente en el elemento de capacidad de la malla que se incluye para todos los *beacons* y las tramas de respuestas de prueba.

Un MP que utiliza un modo de unificación simple del canal seleccionará el canal de manera controlada a partir de la formación de una gráfica de canal unificado y establecerá enlaces con los vecinos que contienen el mismo ID de la malla y perfil, basándose en el valor de precedencia del canal más alto. En contraste, un MP que utiliza un modo de selección de canal avanzado podrá configurar su canal basándose en reglas de administración avanzadas (que están fuera del alcance de esta propuesta).

- **Protocolo de unificación simple del canal**

Este protocolo se ejecuta por todas las interfaces de radio lógicas del MP que están configuradas en un modo de unificación simple y opera de la siguiente manera:

En el momento de inicio del MP, la interfaz de radio lógica realiza un escaneo activo o pasivo para el descubrimiento de MPs vecinos. Si este MP no puede detectar algún vecino, adopta uno de los ID de malla que contiene en sus perfiles, selecciona un canal para su operación y un valor inicial de precedencia del canal que corresponde al número de microsegundos desde que inició el MP más un valor aleatorio.

En el caso de que la interfaz descubra una lista de MPs candidatos que contienen más de un canal, la interfaz debe seleccionar el canal indicado por el MP candidato que tiene el indicador de precedencia más alto.

### B.3.3.4 Secuencia de inicio del MP

Cuando el MP inicia debe realizar la siguiente secuencia de operaciones:

1. Escaneo pasivo o activo para descubrir otros MPs.
2. Selección del canal.
3. Inicio de emisión de *beacons* en la malla.
4. Establecimiento de los enlaces con los MPs vecinos.
5. Autenticación abierta 802.11.
6. Asociación.
7. Autenticación 802.11i e intercambio de claves.
8. Medida del estado del enlace local.
9. Inicialización de la selección del trayecto.
10. Inicialización de AP (Procedimiento opcional para los MAP).

Esta secuencia se ilustra en la Figura B-22 para un escaneo pasivo y activo.

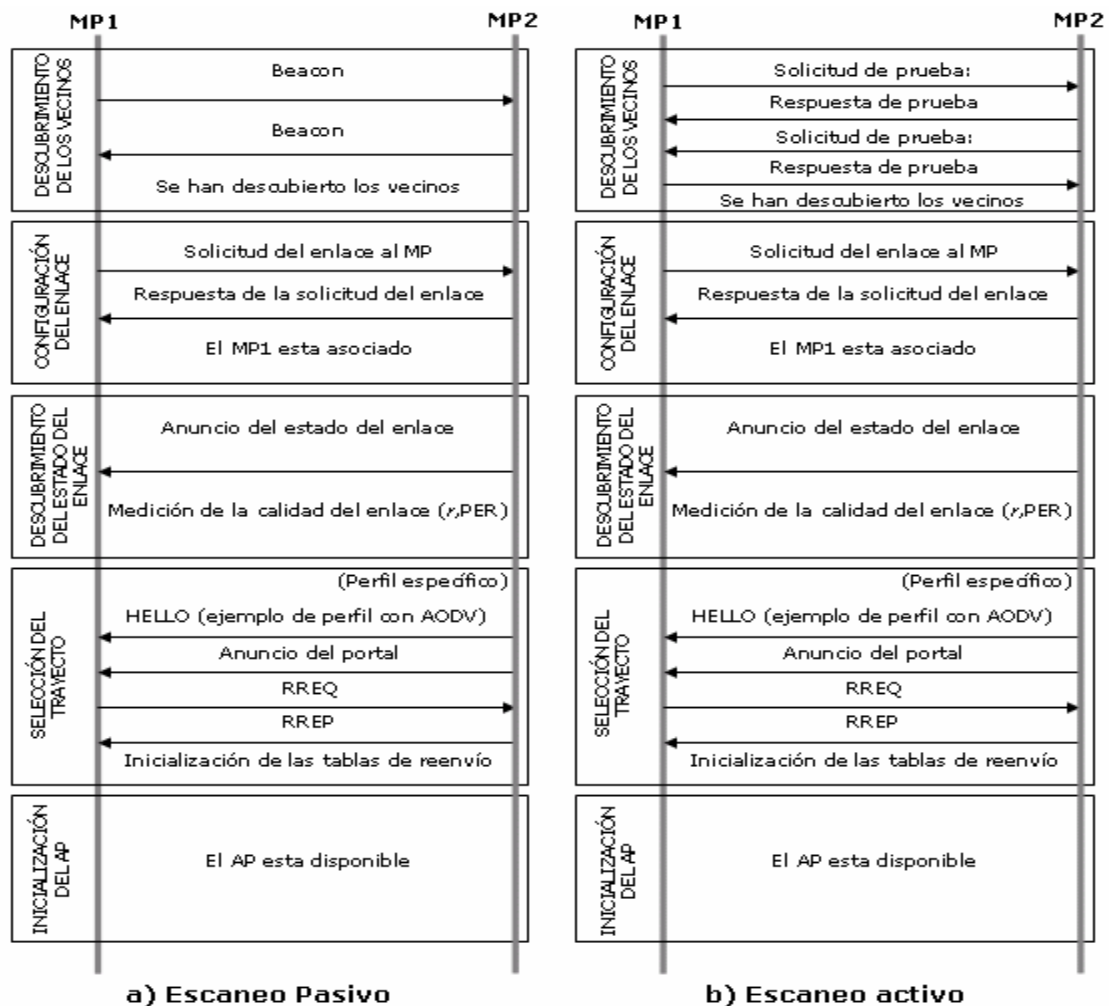


Figura B-22. Secuencia de inicio del MP utilizando escaneo pasivo y activo

### B.3.3.5 Tabla de vecinos del MP

Un MP mantiene una tabla que contiene una entrada por cada vecino descubierto tal como la que se observa en la Tabla B-15. Por definición, todos los MPs vecinos tienen el mismo ID de la malla.

TABLA B-15. TABLA DE VECINOS DEL MP

Valor	Descripción
Dirección MAC del vecino	Dirección MAC de la interfaz de radio del MP vecino
Dirección MAC primario	Dirección MAC primaria del MP si este tiene mas de una interfaz (generalmente corresponde a la dirección MAC más corta de todas las interfaces)
Estado	Estado de asociación con el vecino
Direccionalidad	Valor de direccionalidad de la anterior solicitud de asociación
$c_o$	Número de canal en el que se está operando
$p_l$	Valor de precedencia del canal
$r$	Velocidad de bit de referencia (de acuerdo al tipo de modulación)
$e_{pt}$	PER para la trama de referencia a la velocidad de bit de referencia
$Q$	Potencia o calidad de la señal de recepción

El estado de asociación con el vecino puede tomar uno de los valores mostrados en la Tabla B-16.

TABLA B-16. VALORES DEL ESTADO DE ASOCIACIÓN DEL MP

Valor	Descripción
Vecino	Descubierto pero sin capacidad para realizar un enlace
Candidato para enlace	Tiene capacidad para realizar un enlaces pero no se ha establecido la asociación
Asociación pendiente	Asociación pendiente pero respuesta no recibida
Subordinado, enlace caído	Asociación establecida con este nodo como subordinado, enlace aun no medido
Subordinado, enlace activo	Asociación establecida con este nodo como subordinado, enlace medido y activo
Coordinador, enlace caído	Asociación establecida con el enlace como subordinado, enlace aun no medido
Coordinador, enlace activo	Asociación establecida con el enlace como subordinado, enlace medido y activo

### B.3.3.6 Tabla de Proxy del MP

Cada MP contiene una tabla de Proxy para los dispositivos que están fuera de la malla WLAN. El formato de esta tabla se ilustra en la Tabla B-17.

En la Figura B-23 se ilustra el uso de la tabla de Proxy para enrutamiento, en esta puede observarse que durante la fase de inicialización, una estación se asocia primero con el MAP3 utilizando los procedimientos especificados por el estándar 802.11. Una vez asociado, el MAP3 debe iniciar el proceso de registro en el Proxy de la estación dirigida al MPP; para realizar dicho procedimiento, el MAP3 envía un mensaje de solicitud de registro del Proxy en nombre de la estación hacia el MPP. Después de recibir la solicitud de registro, el MAP1 actualiza su tabla de registros para la estación y la retransmite hacia el MPP; de esta manera, el MPP aprende que la estación se alcanza a través del MAP3 y actualiza su tabla de registro con el nuevo valor de entrada para la estación, indicando al MAP3 como su dueño y fijando las banderas de "Dentro de la malla" y "a través de Proxy" en verdadero. Seguidamente, el MPP crea un mensaje de respuesta que se envía hacia el MAP3 con lo cual se confirma que el proceso de enrutamiento por Proxy para la estación ha sido establecido.

TABLA B-17. TABLA DE PROXY DEL MP

Valor	Descripción
Dirección MAC	Dirección MAC de la estación
Dentro de la malla	Si el destino está dentro de la malla
A través de Proxy	Si el destino se alcanza a través de un Proxy por un MAP o un MPP
Propia	Dirección MAC de este proxy

Tabla de registro del MPP			
Dirección	Dentro de la malla	A través de proxy	Propio
802.3	No	Si	MPP
STA	Si	Si	MAP 3

Tabla de registro del MAP1			
Dirección	Dentro de la malla	A través de proxy	Propio
STA	Si	Si	MAP 3

Tabla de registro del MAP2			
Dirección	Dentro de la malla	A través de proxy	Propio

Tabla de registro del MAP3			
Dirección	Dentro de la malla	A través de proxy	Propio
STA	Si	Si	MAP 3

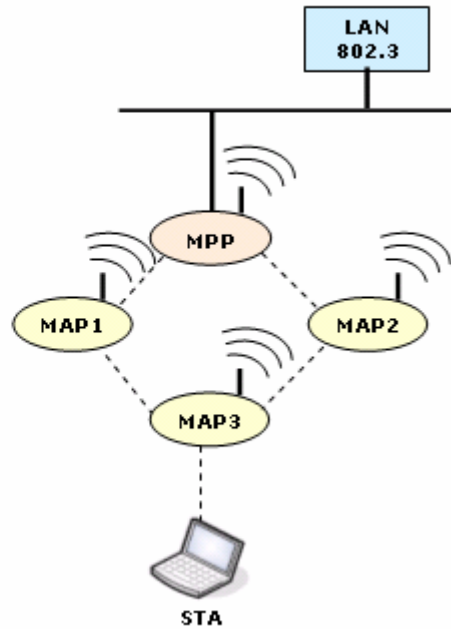


Figura B-23. Ejemplo del procedimiento de registro del Proxy para un MP

### B.3.4 Selección del Trayecto de la Malla y Reenvío

Este proceso involucra la selección de uno o múltiples trayectos y el reenvío de las tramas de datos entre los MPs en el nivel de enlace, utilizando el formato de mensajes de datos del estándar IEEE 802.11-1999, con extensiones 802.11e para la transferencia de etiquetas 802.1p<sup>8</sup>, con el fin de hacer uso de las clases de prioridades establecidas por el estándar 802.1p; más alguna información adicional de la mala.

Los servicios de selección del trayecto de la malla consisten en la transmisión de mensajes de gestión con el formato 802.11 sobre el nivel de enlace, para el descubrimiento de los vecinos, la medida y mantenimiento del estado del enlace local y la identificación de un protocolo de selección de trayecto activo. Aunque un dispositivo puede ser capaz de soportar varios métodos para determinar los trayectos en la malla, cada malla WLAN utiliza un solo método para determinar estos caminos, esta selección define un protocolo de selección de trayecto dirigido hacia las redes no controladas de pequeño o mediano tamaño.

<sup>8</sup> 802.1p: Estándar IEEE que define diferentes prioridades para el tráfico de redes locales entre conmutadores *Ethernet*, basado en el puerto de conmutación, la dirección MAC o la dirección IP que se asocian al equipo final de comunicación. Los paquetes se marcan como pertenecientes a una cola, que determina la prioridad del paquete. Según la norma 802.1p, las colas 0 a 3 tienen prioridad normal, y las 4 a 7 prioridad alta. Este estándar funciona conjuntamente con el estándar 802.1Q para redes locales virtuales.

### B.3.4.1 Framework de selección de trayecto extensible

Esta propuesta especifica un *framework* extensible para permitir la implementación efectiva de protocolos y métricas de selección de trayectos dentro del nuevo estándar 802.11s. Con el fin de asegurar la interoperabilidad entre todos los proveedores, la propuesta especifica un protocolo y una métrica obligatorias para todas las implementaciones, sin embargo, también permite que cualquier proveedor implemente su protocolo o métrica propietarias dentro del *framework* 802.11s para conseguir los requerimientos especiales de una aplicación determinada. Así, un MP puede incluir varias implementaciones de protocolos pero sólo uno de ellos estará activo al tiempo sobre un enlace en particular. Por otro lado, diferentes mallas WLAN pueden tener diferentes protocolos de selección de trayecto activos pero una malla en particular sólo tendrá uno activo al tiempo.

Como se indicó en la sección B.3.3, un MP utiliza el elemento de información de capacidad de la malla para descubrir la métrica y el protocolo establecidos por una red en malla. Cabe notar que esta propuesta no obliga a una malla WLAN que este utilizando un protocolo diferente al especificado por defecto, a cambiar a un protocolo de menor utilización cuando un MP solicite la asociación.

### B.3.4.2 Métricas de selección de trayecto

Como se mencionó anteriormente, la propuesta define una métrica de selección de trayecto por defecto para asegurar interoperabilidad entre los fabricantes, pero permite que esta métrica se reemplace por cualquier otra métrica implementada por el fabricante.

La métrica implementada por defecto, utiliza una función para el establecimiento de los trayectos basada en el costo del tiempo de emisión, el cual refleja la cantidad de recursos del canal consumidos en la transmisión de una trama sobre un enlace en particular. Esta medida se aproxima y diseña para facilidad en la implementación e interoperabilidad.

El costo del tiempo de emisión para cada enlace puede calcularse a partir de la siguiente fórmula:

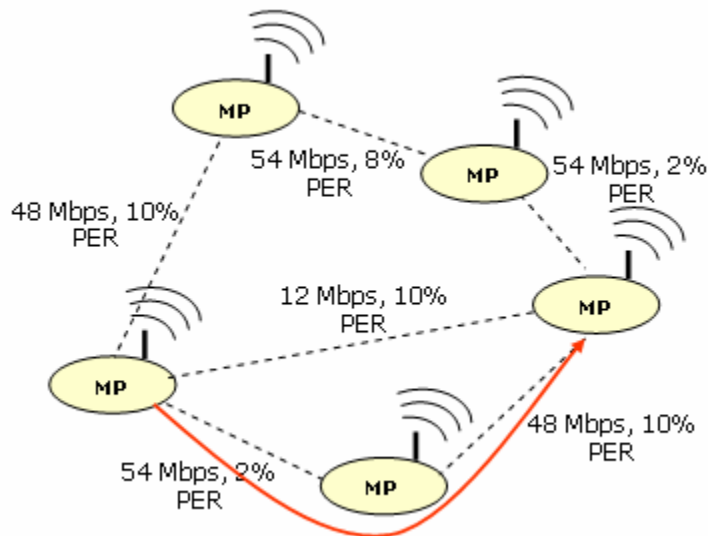
$$c_a = \left[ O_{ca} + O_p + \frac{B_t}{r} \right] \frac{1}{1 - e_{pt}}$$

Donde,  $O_{ca}$ ,  $O_p$  y  $B_t$  son constantes que se definen en la Tabla B-18 y los parámetros de entrada  $r$  y  $e_{pt}$  son la tasa de bits en Mbps y la tasa de error en la trama para la trama de prueba de tamaño  $B_t$ , respectivamente.

La tasa  $r$  representa la velocidad a la cual el MP podría transmitir una trama de tamaño estándar  $B_t$  basándose en las condiciones actuales que dependen de la adaptación de velocidad de la implementación local,  $e_{pt}$  es la probabilidad de que una trama con tamaño  $B_t$  que se transmite con la actual tasa de bits este dañada debido a errores en la transmisión. Los paquetes perdidos debido al sobrepaso del TTL no se incluyen en esta estimación debido a que no se correlacionan con el comportamiento del enlace. En la Figura B-24 se muestra un ejemplo de este procedimiento.

TABLA B-18. CONSTANTES DEL COSTO DEL TIEMPO DE EMISIÓN

Parámetro	Valor (802.11a)	Valor (802.11b)	Descripción
$O_{ca}$	75µs	335µs	Sobrecarga del canal de acceso
$O_p$	110µs	364µs	Sobrecarga del protocolo
$B_t$	8224	8224	Número de bits en la trama de prueba



**Figura B-24. Ejemplo de la métrica de selección de enlace basada en el costo del tiempo de emisión**

### B.3.4.3 Protocolos de selección del trayecto

El *framework* 802.11s implementa dos protocolos de selección de trayecto, un protocolo híbrido para malla inalámbrica (HWMP) que es el protocolo establecido por defecto para conseguir interoperabilidad y un protocolo de selección del trayecto denominado Radio-Aware OLSR.

El protocolo HWMP combina la flexibilidad del descubrimiento de rutas por demanda con extensiones que permiten un enrutamiento proactivo eficiente para los puntos de malla con portal, adicionalmente, por su naturaleza híbrida permite una selección del trayecto flexible que se adapta fácilmente a despliegues de redes en malla independientes configurados en infraestructura o en *ad hoc*.

HWMP combina capacidades de enrutamiento por demanda con capacidades de enrutamiento proactivo, con lo cual se logra que los MPs puedan realizar un descubrimiento y mantenimiento óptimo de las rutas por sí mismos o formen una estructura de árbol basada en un nodo raíz que rápidamente establece los trayectos hacia los nodos. En ambos casos, la selección del nodo vecino se realiza basándose en una métrica predefinida. HWMP utiliza un solo conjunto de primitivas y reglas tomadas del Protocolo de Vector Distancia *Ad hoc* sobre Demanda (*Ad hoc On-Demand Distance Vector routing protocol*, AODV) para todas las funciones relacionadas con el enrutamiento.

Si una malla no tiene un nodo raíz configurado, todo el enrutamiento de la malla se realizará con el descubrimiento por demanda, de lo contrario, en nodo configurado como raíz puede utilizarse para identificar un trayecto hacia el nodo raíz.

La estructura de red en árbol le permitirá al MP (generalmente a un MPP) configurarse como raíz; en este caso, los otros MPs mantendrán proactivamente las rutas hacia el nodo raíz y se creará y mantendrá un vector de distancia de enrutamiento en el árbol. Cada nodo también puede establecer rutas a otros nodos utilizando las reglas y primitivas del protocolo AODV.

Algunos de los principales beneficios del protocolo HWMP son los siguientes

- Flexibilidad para adaptarse a los requerimientos de varios escenarios incluyendo redes en malla fijas y móviles.
- Los MPs se descubren y utilizan el mejor trayecto determinado por la métrica, para cualquier destino en la malla con una complejidad muy baja.
- Adicionalmente, cuando un nodo se configura como raíz en la malla:
  - La inundación de paquetes para el descubrimiento de las rutas en la malla se reduce si el destino está fuera de la malla.



- Se reduce la necesidad de almacenar los mensajes en la fuente mientras se realiza el descubrimiento de la ruta por demanda.
- El tráfico *broadcast* que no se utiliza para el descubrimiento también puede transmitirse en la topología de árbol.

El protocolo de Enrutamiento del Estado del Enlace Optimizado para Radio-Aware (*Radio Aware Optimized Link State Routing*, RA-OLSR) es un *framework* de enrutamiento para redes inalámbricas en malla proactivo y extensible que está basado en el protocolo OLSR con extensiones de un protocolo denominado *Fisheye State Routing* (FSR) y la utilización de métricas de radio para el cálculo del trayecto de reenvío. RA-OLSR permite descubrir y mantener la ruta más óptima basándose en una métrica predefinida en cada nodo. La información de la métrica de cada enlace se propaga por todos los nodos a través de un campo de métrica presente en todos los mensajes de control del protocolo RA-OLSR. Para reducir la sobrecarga producida por el control cuando se emite la información de la topología de la red, el protocolo RA-OLSR adopta los siguientes mecanismos:

- En procesos de inundación utiliza sólo un subconjunto de nodos en la red, denominados retransmisores multipunto (*multipoint relays*, MPRs).
- Puede controlar y por lo tanto reducir la frecuencia del intercambio de mensajes basado en los alcances del protocolo FSR.

La especificación del actual protocolo RA-OLSR también incluye un protocolo para el descubrimiento de asociaciones que soporta las antiguas estaciones 802.11. De esta manera, los MAPs seleccionan las rutas a lo largo de los MAPs y MPs corriendo el protocolo RA-OLSR y complementan su información de enrutamiento con la información de las estaciones 802.11 asociadas a ellos.

#### **B.3.4.4 Reenvío de mensajes de datos**

- **Ordenamiento de MSDUs**

En una red en malla 802.11s, las operaciones de selección del trayecto y reenvío de los datos se implementan con mecanismos de nivel 2. Cuando las tramas de datos se envían por una red en malla con múltiples saltos, debido al balanceo de cargas o los cambios dinámicos en las rutas que se producen por el enrutamiento multitrayecto, es posible que al destino lleguen tramas desordenadas o duplicadas; la probabilidad de tener este tipo de tramas incrementa a medida que la topología de la red cambia, se presentan variaciones en el nivel de la carga o se incrementa la fluctuación en los canales inalámbricos.

En el encabezado de la trama de datos 802.11 existe un campo de control de secuencia que se utiliza para detectar tramas duplicadas o perdidas en una topología de "salto a salto", sin embargo, este campo se actualiza en cada uno de los MPs, por lo cual no puede utilizarse para detectar tramas duplicadas en ambientes de múltiples saltos Fin a Fin (*End to End*, E2E). Para solucionar este problema, la propuesta crea un nuevo Número de Secuencia de Malla E2E presente en el campo de control de la malla para identificar las tramas enviadas desde un MP determinado. Las tramas duplicadas deben descartarse, mientras que las tramas desordenadas deben almacenarse temporalmente en un *buffer* antes de reordenarse y retransmitirse al Control de Enlace Lógico (*Logical Link Control*, LLC). El propósito en este procedimiento es manejar el *buffer* de manera que se logre entregar todas las tramas MAC en el orden correcto. Para eliminar el retardo excesivo por el almacenamiento, se debe hacer uso de un temporizador ubicado en el MP para que éste no espere las tramas indefinidamente. Así, cuando el temporizador expire, el MP de destino que espera por las tramas faltantes, entregará las tramas que tiene en cola y considerará que las tramas que faltan se han perdido. Cabe notar, que la entrega ordenada fin a fin de las tramas de datos *unicast* sólo se garantiza entre el MP fuente y el MP destino por lo cual es posible que las tramas lleguen desordenadas a los MPs intermedios.

- **Reenvío *unicast* de tramas de 4 direcciones**

Cuando una trama *unicast* de datos de 4 direcciones llega a un MP, este lo descifra y comprueba su autenticidad, si la trama no viene de una fuente confiable se descarta silenciosamente, igualmente se descarta si el bit denominado "no confiable" esta configurado en el campo de control de QoS y el transporte para el tráfico no confiable no esta habilitado. Si la trama viene de una

fuente confiable, el MP revisa si la dirección de destino es conocida, si no lo es, la trama será descartada, pero si la dirección corresponde a una estación 802.11 asociada a este MP, la trama se transformará a un formato de 3 direcciones y se pondrá en cola para transmitirse hacia su destino. Finalmente, si la dirección de destino corresponde a una MAC conocida pero no directamente asociada al MP, el campo TTL presente en el campo de control de QoS se decrementará y la trama será descartada si este campo llega a cero, de lo contrario, la trama se pondrá en cola de transmisión como una trama de 4 direcciones hacia el MP del siguiente salto, según lo determinado por la tabla de enrutamiento de la malla.

- **Reenvío *unicast* de tramas de 3 direcciones**

Un MP seguirá el procedimiento normal para el reenvío de tramas *unicast* de 3 direcciones recibidas desde las estaciones asociadas y destinadas a otras estaciones dentro del BSS.

Si una trama de datos *unicast* se recibe por un MP desde una estación asociada y autorizada y la dirección de destino corresponde a una dirección que se encuentra en la tabla de reenvío, la trama se transformará en una trama de 4 direcciones y se transmitirá al MP indicado en la tabla como el siguiente salto para alcanzar la dirección de destino. Adicionalmente, el campo TTL presente en el campo de control de QoS se fijará en un valor de 255.

- **Reenvío *broadcast* de tramas de 4 direcciones**

Cuando un MP recibe una trama de datos de 4 direcciones con la dirección 1 configurada para todas las primeras direcciones *broadcast*, el MP descifra y comprueba su autenticidad, si todo es correcto, procede a revisar la firma local del mensaje *broadcast* para observar si el mensaje ya ha sido reenviado previamente por este nodo. Los parámetros SA, DA y número de secuencia de la malla E2E, presentes en el encabezado de la trama pueden utilizarse como firma única del mensaje para localizar los mensajes en las firmas almacenadas. Si esta trama se encuentra almacenada se descartará, de lo contrario, se creará y le asignará una nueva firma que será almacenada.

Seguidamente, el MP decrementará el campo TTL, si este llega a cero la trama se descartará, de lo contrario será puesta en cola para transmitirse como una trama de 4 direcciones a todos los MPs vecinos que están asociados y autenticados con el MP.

Si el nodo es un MAP, este también creará una trama *broadcast* de 3 direcciones con el mismo contenido del cuerpo que la trama recibida y transmitirá esta nueva trama a todas las estaciones asociadas a él.

- **Reenvío *multicast* de tramas de 4 direcciones**

Para el reenvío *multicast* de tramas de datos de 4 direcciones se utiliza el mismo procedimiento descrito en la sección anterior.

Un MP puede implementar tecnologías de filtro *multicast* para reducir la inundación de tráfico *multicast* en la malla utilizando por ejemplo, un Protocolo de Registro Multicast GARP (*GARP Multicast Registration Protocol*, GMRP) definido por el estándar IEEE 802.1D. Sin embargo, este tipo de procedimientos está fuera del alcance de esta propuesta.

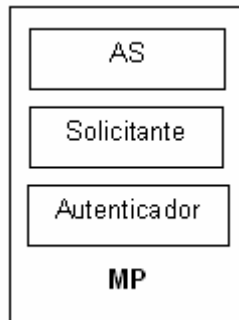
### **B.3.5 Seguridad**

Esta propuesta utiliza un mecanismo de seguridad basado en el estándar 802.11i que implementa un enlace seguro en la malla WLAN. 802.11i proporciona seguridad enlace por enlace en la malla y se utilizará para responder la pregunta de quién puede utilizar el medio en la malla; la seguridad fin a fin proporcionada con tecnologías como IPsec está fuera del alcance de esta propuesta.

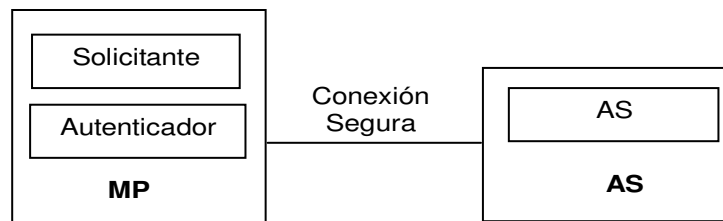
#### **B.3.5.1 Framework de seguridad**

El acceso al enlace propuesto se basa en el mecanismo de seguridad denominado Asociación de Red con Seguridad Robusta (*Robust Security Network Association*, RSNA) 802.11i y soporta autenticación centralizada o distribuida, con base a cualquier estándar 802.1X, y administración de llaves.

En una red en malla, un MP realiza los roles de solicitante y autenticador y puede opcionalmente realizar el rol de Servidor de Autenticación (*Authentication Server, AS*). El AS puede ser instalado con un MP, como en el caso de la Figura B-25, o ser localizado en una entidad remota con la cual el MP tiene una conexión segura, como se muestra en la Figura B-26.



**Figura B-25. AS junto al MP**



**Figura B-26. AS localizado en una entidad remota**

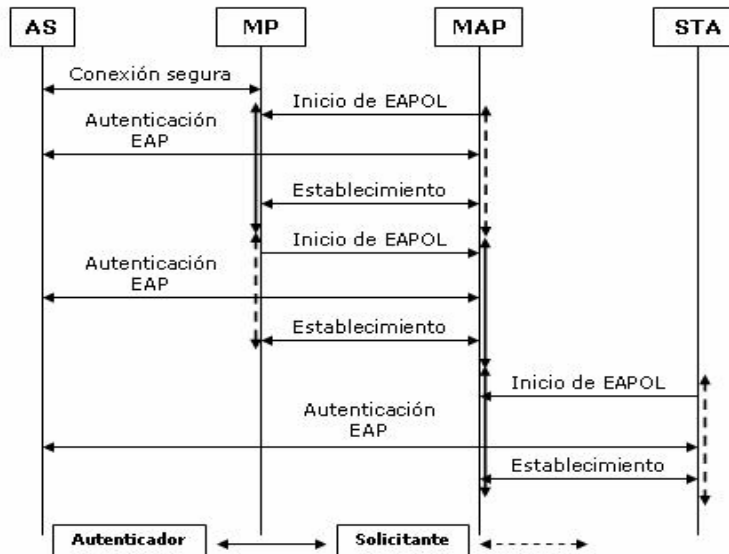
Un MP puede establecer una RSNA utilizando un modelo de autenticación 802.1X centralizado, un modelo de autenticación 802.1X distribuido o un modelo de autenticación de llave precompartida. A continuación se presenta una descripción de cada uno de estos modelos.

- **Modelo de autenticación 802.1X centralizado**

Cuando un MP establece una RSNA con este modelo realiza las siguientes acciones:

1. Identifica un MP que tenga la capacidad de establecer una RSNA y que esté conectado a un AS, bien sea a través de *beacons* del MP o tramas de respuesta de prueba.
2. El MP puede invocar un sistema abierto de autenticación.
3. El MP negocia los mecanismos de cifrado durante el proceso de asociación como se describe en las secciones 8.4.2 y 8.4.3 del estándar 802.11ma.
4. Cada MP utiliza el estándar IEEE 802.1X para autenticarse con el AS asociado al AS del otro MP, como se describe en las secciones 8.4.6 y 8.4.7 del protocolo 802.11ma. Por consiguiente, en el momento ocurren dos procesos de autenticación 802.1X independientes.
5. Cada MP establece unas claves temporales ejecutando un algoritmo de administración de claves definido en la sección 8.5 del estándar 802.11ma. De esta manera, los dos algoritmos de administración de claves ocurrirán independientemente entre dos MPs solicitantes y autenticadores.
6. Los dos MPs utilizan una porción de la Clave del Par Transitoria (*Pairwise Transient Key, PTK*) acordada y el conjunto de cifrado para proteger el enlace. Además, cada MP utiliza la Clave Temporal de Grupo (*Group Temporal Key, GTK*) establecida para el intercambio, para proteger las tramas *multicast* y *broadcast* transmitidas. Todos estos procedimientos se describen en la sección 8.3.2 del estándar 802.11ma.
7. En el caso de un MAP, si este tiene una conectividad con un AS apropiado, el MAP puede tomar el rol de autenticador para la autenticación de las antiguas estaciones 802.11.

La Figura B-27 muestra un ejemplo de un modelo de autenticación centralizada para el 802.11s.



EAP: Extensible Authentication Protocol  
 EAPOL: Extensible Authentication Protocol over LAN

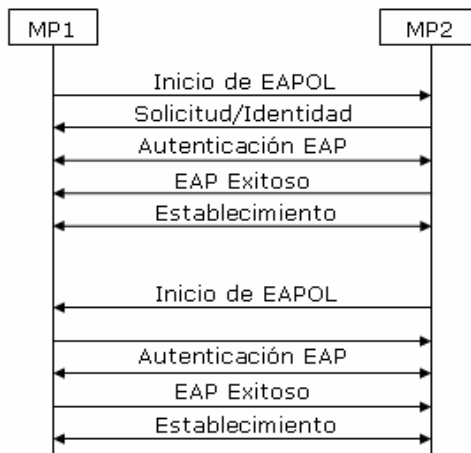
**Figura B-27. Ejemplo del modelo de autenticación 802.1X centralizado**

- **Modelo de autenticación 802.1X distribuido**

Cuando un MP establece una RSNA con este modelo realiza las siguientes acciones:

1. Identifica un par de MPs que tengan la capacidad de establecer una RSNA, a través de los *beacons* del par y las tramas de respuesta de prueba.
2. El MP puede invocar un sistema abierto de autenticación.
3. Cada MP utiliza el estándar IEEE 802.1X para autenticarse con el AS asociado al AS del otro MP, como se describe en las secciones 8.4.6 y 8.4.7 del protocolo 802.11ma. Por consiguiente, en el momento ocurren dos procesos de autenticación 802.1X independientes.
4. Cada MP establece unas claves temporales ejecutando un algoritmo de administración de claves definido en la sección 8.5 del estándar 802.11ma. De esta manera, los dos algoritmos de administración de claves ocurrirán independientemente entre dos MPs solicitantes y autenticadores.
5. Los dos MPs utilizan una porción de la PTK acordada y el conjunto de cifrado para proteger el enlace. Además, cada MP utiliza la Clave GTK establecida para el intercambio, para proteger las tramas *multicast* y *broadcast* transmitidas.
6. En el caso de un MAP, si este tiene una conectividad con un AS apropiado, el MAP puede tomar el rol de autenticador para la autenticación de las antiguas estaciones 802.11.

La Figura B-28 ilustra un ejemplo de autenticación 802.1X distribuida.



**Figura B-28. Ejemplo del modelo de autenticación 802.1x distribuido**

- **Modelo de autenticación de llave precompartida**

Cuando un MP establece una RSNA con este modelo realiza las siguientes acciones:

1. Identifica un par de MPs que tengan la capacidad de establecer una RSNA, a través de los *beacons* del par y las tramas de respuesta de prueba.
2. El MP puede invocar un sistema abierto de autenticación.
3. Cada MP utiliza los procedimientos descritos en la sección 8.5 del estándar 802.11ma para establecer las claves temporales y negociar los procedimientos de cifrado. Los dos MPs utilizan el modo de Clave Pre-Compartida (*Pre-Shared Key, PSK*) como mecanismo para al Administración de Claves y Privacidad (*Privacy and Key Management, PKM*).
4. Los dos MPs utilizan una porción de la PTK acordada, para proteger el enlace. Cada MP utiliza la GTK establecida para el intercambio, para proteger las tramas *multicast* y *broadcast* transmitidas.

### **B.3.5.2 Seguridad en la trama de gestión de la malla**

El objetivo de la seguridad en la trama de gestión de la malla es asegurar la autenticidad, integridad y privacidad (donde sea necesaria) de las tramas de gestión que se envían y reciben entre los MP enlace a enlace. El modelo de autenticación del nivel de enlace, basado en el estándar 802.11i, definido en la propuesta se utilizará para manejar la autenticación, distribución de llaves y encriptación de las tramas de gestión. No habrá una arquitectura específica para la autenticación y encriptación de las tramas de gestión y éstas tendrán el mismo nivel de seguridad y utilizarán los mismos mecanismos que las tramas de datos. La seguridad de las tramas de gestión entre MAPs y las antiguas estaciones esta fuera del alcance de esta propuesta. A continuación se describen los mecanismos de seguridad que se implementan en las tramas de gestión.

- **Protección contra falsificación**

Las tres clases de tramas de gestión definidas en esta propuesta se protegerán contra falsificación, algunas tramas que se envían después de la autenticación se encriptarán utilizando los mecanismos definidos en el estándar 802.11i para la seguridad en las tramas de datos. Estos mecanismos protegen la confidencialidad e integridad de los datos y del encabezado de la trama. Algunas tramas de gestión no pueden encriptarse pero en este caso, la información del encabezado de la trama y los datos, se protegerán contra falsificación calculando el resumen del mensaje criptográfico. La técnica criptográfica empleada para este propósito puede ser definida por el TGw.

- **Protección contra confidencialidad**

Algunas tramas de gestión se encriptarán después de la autenticación con mecanismos definidos por el estándar 802.11i para las tramas de datos.

- **Inclusión de nuevas tramas de gestión**

El estándar podrá soportar nuevos tipos de tramas de gestión y para este fin los mecanismos de protección de las tramas serán lo suficientemente genéricos para soportar las tramas de gestión definidas por los fabricantes así como también las nuevas tramas de gestión estandarizadas.

- **Protección después del establecimiento de la clave**

No es posible proporcionar seguridad antes del establecimiento de una asociación segura, por consiguiente, la seguridad de los *beacons* y las tramas de respuestas de prueba de dos MPs no autenticados no podrá soportarse.

- **Soporte de fragmentación para las tramas de gestión**

Algunas tramas de gestión pueden fragmentarse y en este caso, para asegurar la protección del encabezado, la encriptación y el cálculo de cifrado del mensaje se realizarán fragmento por fragmento.

- **Requerimientos específicos de la malla**

Las tramas de gestión de la malla así como las tramas de gestión del estándar 802.11 pueden clasificarse dentro de dos categorías: aquellas que se envían antes de la autenticación (*beacons*, tramas de solicitud y respuesta de prueba, tramas de solicitud y respuesta de autenticación y tramas de establecimiento) y aquellas que se envían después de realizar este procedimiento (*beacons*, tramas de solicitud y respuesta de reasociación, Mensajes de Indicación de Anuncio de Tráfico (*Announcement Traffic Indication Message*, ATIM), tramas de desasociación y tramas de gestión de enrutamiento en la malla). Cuando se utiliza un Protocolo de Autenticación Extensible (*Extensible Authentication Protocol*, EAP) 802.1X las tramas de datos utilizadas no se protegen a nivel de enlace.

- **Tramas de gestión enviadas antes de la autenticación**

Antes de la autenticación las tramas de gestión y los datos no pueden estar seguros a menos que se implemente un esquema de seguridad por separado, entre estos datos se encuentran varios elementos de información presentes en los *beacons* y tramas de solicitud y respuesta de prueba que se utilizan para el descubrimiento de la red. A menos que estos datos se cifren o se firmen, sólo pueden utilizarse como "pistas" durante la etapa de descubrimiento y no serán confiables hasta que se establezca una autenticación válida para el enlace. Una alternativa para asegurar estos datos podría ser la utilización de mecanismos de secreto precompartido para la firma y encriptación de la información.

- **Tramas de gestión enviadas después de la autenticación**

Después de realizar la autenticación, la seguridad de las tramas de gestión se basa en el uso de claves de encriptación. De esta manera, el cuerpo de la trama de gestión se encripta utilizando estas claves mientras que la integridad del encabezado debe garantizarse a través de el cálculo de mensajes criptográficos.

### **B.3.6 Optimización de EDCA para los MP**

En la propuesta se propone el uso de EDCA, especificado en el estándar IEEE 802.11e como base para los mecanismos de acceso al medio del estándar 802.11s y se presenta un conjunto de recomendaciones acerca de cómo optimizar EDCA para los MPs sin tener que cambiar el mecanismo básico de acceso al medio.

#### **B.3.6.1 Recomendación para la configuración de la duración del vector NAV**

EDCA proporciona 3 mecanismos de configuración del vector NAV para la oportunidad de transmisión: un mecanismo de NAV completo donde cada paquete fija el NAV para proteger el canal hasta el fin de su Oportunidad de Transmisión (*Transmission Opportunit*, TXOP), un mecanismo de NAV paquete por

paquete en el cual cada paquete de transmisión fija el NAV para proteger el canal hasta que se reciba el ACK del siguiente paquete de datos y un mecanismo de reinicialización del NAV que permite a una estación borrar su NAV si utilizó información desde una trama RTS como la base más reciente para actualizar su NAV y no se ha detectado señal durante  $2 \text{ SIFS} + \text{CTS} + 2 \text{ SlotTime}$ ; este mecanismo permite la reutilización del canal en caso de que un establecimiento de 4 vías no pueda completarse.

La implementación de los diferentes mecanismos de configuración del NAV puede afectar potencialmente el desempeño del sistema dependiendo del escenario y los parámetros de la red. Aunque el mecanismo de reinicialización del NAV se creó para proporcionar ganancia en la mayoría de los escenarios, se debe precisar que existen escenarios en los cuales este mecanismo o mecanismos similares pueden dar lugar a pérdidas en el desempeño, sin embargo, la propuesta recomienda utilizar la reinicialización del NAV en todos los MPs.

### **B.3.6.2 Reenvío e interacción del tráfico en el BSS**

Como se mencionó anteriormente, las funcionalidades de AP y MP pueden implementarse en un solo dispositivo que se denomina MAP, además, el MP también puede actuar como una aplicación de punto final y de esta manera además de participar en la retransmisión de las tramas de otros MPs también generará tráfico de su propia aplicación. En ambos casos, el MP debe transmitir una mezcla de tráfico de la malla (con tramas de formatos de 4 direcciones) y tráfico del BSS (con tramas de formatos de 3 direcciones) lo cual puede generar un profundo impacto sobre el desempeño total de la red. Por ejemplo, el tráfico de reenvío tiende a atravesar la red a través de múltiples saltos y consumir gran cantidad de recursos de la red antes de alcanzar su destino final impactando en gran medida a toda la red en general, en contraste, las tramas originadas desde un BSS local y destinadas a la malla tienen que atravesar solamente un salto por lo cual sólo tienen un impacto local. Es también posible que una estación que tenga gran cantidad de tráfico acumulado en el BSS se apodere de todos los recursos e imposibilite que los demás MPs puedan transmitir; por esta razón, es necesario aplicar unas políticas de priorización que se ajusten al escenario de implementación de la red en malla y el modelo del negocio utilizados.

Existen muchas implementaciones que permiten soportar de mejor manera tal priorización de tráfico dentro de un solo dispositivo, por ejemplo, se puede emplear múltiples radios para separar el tráfico del BSS y el tráfico de reenvío de la malla dentro de diferentes canales. Aunque estas implementaciones están fuera del alcance de esta propuesta, se recomienda la separación de estos dos tipos de tráfico tanto como sea posible y la regulación de la interacción de los tráficos cuando no pueda realizarse una separación completa de ellos. En este sentido, se recomienda la utilización de mecanismos de control de la velocidad del tráfico del BSS junto con mecanismos de control de congestión de la malla para asegurar el desempeño total de la red.

### **B.3.7 Soporte de Interconexión en la Malla WLAN**

Un paquete que se envía o retransmite por un MPP tiene 3 posibles destinos:

- Un nodo dentro de la malla
- Un nodo fuera de la malla que se puede alcanzar sin atravesar la malla
- Un nodo fuera de la malla que se puede alcanzar a través de la malla

Mientras que un paquete que se envía por un nodo en la malla tiene dos posibles destinos:

- Un nodo dentro de la malla
- Un nodo fuera de la malla

La propuesta pretende crear MPPs que tengan la capacidad de realizar una conmutación de nivel 2 de manera transparente para permitir a los usuarios construir redes que incluyan mallas WLAN y otros tipos de redes de nivel 2; adicionalmente, cada MPP puede participar en un protocolo de expansión de árbol y mantener una tabla de los nodos para determinar a través de cuál puerto en la red puede alcanzarse cada nodo.

Se asume que la malla WLAN tiene la posibilidad de transmitir paquetes *unicast*, *broadcast* y *multicast*. Para la selección del trayecto de los paquetes *unicast* se utiliza una tabla de nivel 2 que contiene el

próximo salto para cada destino conocido, mientras que no se asume nada acerca de las facilidades para la emisión de paquetes *broadcast* o *multicast*. La conmutación de paquetes *unicast* se realiza de la siguiente manera:

1. Se determina si el destino esta dentro o fuera de la malla.
2. Para destinos dentro de la malla se utiliza el protocolo de selección de trayecto en la malla.
3. Para destinos fuera de la malla se reenvía la información a todos los MPP hasta que se identifique el MPP correcto.
4. Una vez identificado en MPP correcto se le entregan los mensajes a través de paquetes *unicast*.



## ANEXO C. ESPECIFICACIÓN WirelessMAN-OFDM PHY DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2004

Como se mencionó en el anexo A de este documento, cada estándar define los mecanismos necesarios para la configuración de la topología de malla en sus equipos, a través de las técnicas y protocolos de los niveles físico y MAC. Para el caso particular del estándar IEEE 802.16-2004 se ha creado una nueva especificación del nivel físico denominada WirelessMAN-OFDM que implementa los mecanismos de modulación y codificación necesarios para la operación correcta y eficaz de una red en malla; los detalles más importantes de esta especificación se muestran a continuación.

### C.1 INTRODUCCIÓN

El estándar IEEE 802.16 especifica una capa física para operación en frecuencias entre 2 GHz y 11 GHz, en donde se incluyen bandas licenciadas y no licenciadas; en estas últimas, el protocolo se denomina Redes Inalámbricas de Área Metropolitana No Licenciadas de Alta Velocidad (*Wireless High-Speed Unlicensed Metropolitan Area Networks, WirelessHuman*). En las bandas de 2 GHz a 11 GHz, debido a la longitud de onda más grande que en el caso de 10-66 GHz, no es necesario LOS y el multitrayecto puede ser significativo; sin embargo, la capacidad NLOS requiere funcionalidad PHY adicional, como soporte de técnicas avanzadas de gestión de potencia, mitigación de interferencia/coexistencia y antenas inteligentes. Aquí, los anchos de banda del canal empleados generalmente varían desde 1.5 MHz a 14 MHz; se emplea modulación de portadora simple y portadora múltiple, con el objetivo general de transferir datos sobre un canal de ancho de banda establecido, con restricciones de potencia de transmisión, confiabilidad y complejidad del receptor.

En los sistemas de portadora múltiple los datos se multiplexan en una cantidad de flujos simultáneos de menor velocidad, a partir de allí, la señal discreta en el tiempo se convierte a una forma de onda analógica y se mezcla a una frecuencia RF; las distorsiones no lineales introducidas en esta conversión RF pueden crear una interferencia significativa fuera de banda y deben revisarse en el contexto de:

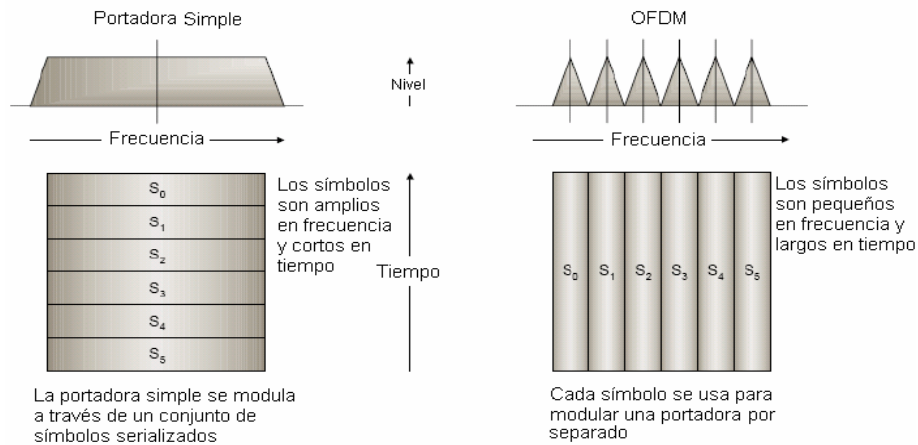
- Despliegue de bandas de frecuencia específicas y requerimientos fuera de banda.
- Coexistencia con sistemas adyacentes (dentro y fuera de banda, en particular TDD/ FDD).
- Intercambio en términos de bandas de guarda, desempeño y complejidad del sistema.

En los sistemas de portadora múltiple la capacidad total del ancho de banda del canal se subdivide entre los flujos múltiples. Aunque la respuesta de frecuencia sobre el ancho de banda completo del canal puede no ser ideal (no constante), el espacio entre las portadoras moduladas es pequeño, de modo que la respuesta es aproximadamente constante. Para estos sistemas se requiere una equalización que corresponde a una simple multiplicación por portadora.

Específicamente, la especificación WirelessMAN-OFDM se diseñó para la operación NLOS entre los 2 GHz y los 11 GHz y se basa en una multiplexación OFDM. Esta puede emplear bandas licenciadas y no licenciadas; en las primeras puede emplearse TDD y FDD, en las segundas sólo TDD. Se pensó principalmente para despliegues de acceso fijo, donde las Estaciones Subscriptoras (*Subscriber Stations, SSs*) son pasarelas residenciales desplegadas en hogares y negocios en muchos de los mismos modos como se despliegan Líneas de Abonado Digital (*Digital Subscriber Line, DSL*) y cable modems para proporcionar acceso de banda ancha sobre redes cableadas.

#### C.1.1 Tecnología OFDM

La tecnología OFDM provee un medio eficiente para superar los desafíos de la propagación NLOS. La forma de onda WiMAX OFDM ofrece la ventaja de posibilitar la operación con un gran retardo de dispersión característico de los ambientes NLOS. Mediante la virtud de los símbolos de tiempo OFDM y el uso de los prefijos cíclicos, la onda OFDM elimina los problemas de la Interferencia Intersímbolo (ISI) y la complejidad de la equalización adaptativa. Puesto que la señal OFDM está compuesta de múltiples portadoras ortogonales, el *fading* selectivo se localiza en subportadoras que son relativamente fáciles de equalizar. Un ejemplo se muestra en la Figura C-1 como una comparación entre una señal OFDM y una señal de portadora simple, con la información siendo enviada en paralelo por OFDM y en serie por la portadora simple.

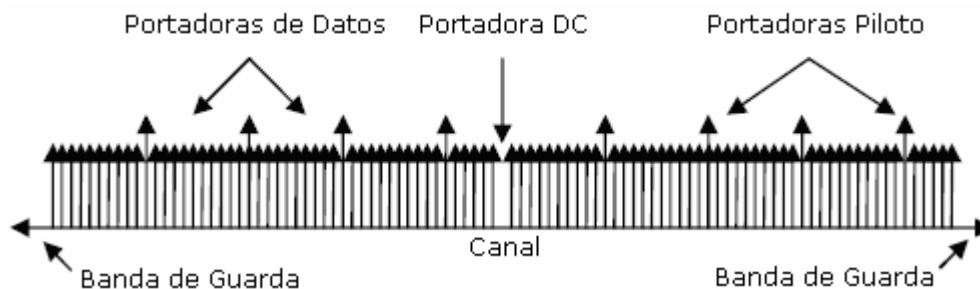


**Figura C-1. OFDM Vs. portadora simple**

La habilidad de superar la dispersión de retardo, los multitrayectos, y la ISI de una manera eficiente, permite tener mayores tasas de transferencias. Como ejemplo, es mucho más sencillo equalizar las portadoras individuales de OFDM que equalizar una señal de portadora simple más extensa.

### C.1.1.1 Descripción del símbolo OFDM

Un símbolo OFDM consiste de portadoras de datos (para la transmisión de datos), portadoras piloto (para varios propósitos) y portadoras nulas (para bandas de guarda, portadoras no activas y portadoras DC), como se indican en la Figura C-2.



**Figura C-2. Símbolo OFDM**

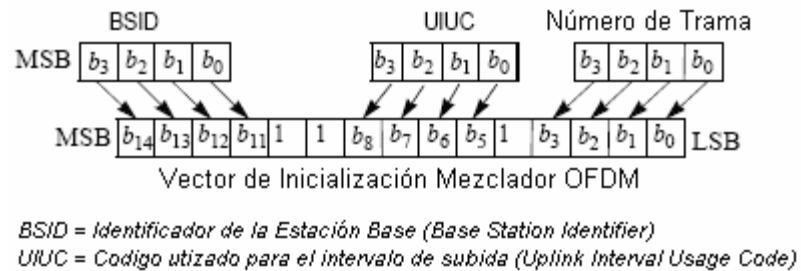
La duración del símbolo OFDM (que corresponde al espaciado en frecuencia de la portadora relacionada) es un parámetro de diseño fundamental de un sistema OFDM. La duración del símbolo se compone de un intervalo de Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transformation*, FFT) y del Prefijo Cíclico (*Cyclic Prefix*, CP). La presencia de un prefijo cíclico conduce a una pérdida de Relación Señal a Ruido (*Signal to Noise Ratio*, SNR) porque este se descarta en el receptor y por lo tanto parte de la energía del transmisor se desecha, aunque las ventajas de tenerlo son varias (inmunidad al multitrayecto, mejor desempeño de detección y sincronización) y tienen más peso que ésta pérdida de energía. En el enlace de subida la Estación Base (*Base Estation*, BS) no está habilitada para cambiar la longitud del prefijo cíclico porque la SS perderá sincronización.

El número de puntos de la FFT es 256, de los cuales se utilizan 200 y 55 son de reserva; de las 200 portadoras empleadas, 8 se utilizan como piloto. El prefijo cíclico puede ser de longitudes de 64, 32, 16 u 8 portadoras.

### C.1.2 Codificación del Canal

La codificación del canal se compone de tres pasos: La mezcla, Corrección de Errores Hacia Delante (*Forward Error Correction*, FEC) e *interleaving* y se realizan antes de la modulación en ese orden de transmisión.

La mezcla de los datos se realiza por cada ráfaga de datos tanto para el enlace de subida (*DownLink*, DL) como para el de bajada (*UpLink*, UL). En el DL, la mezcla se inicializa al comenzar cada trama con 100101010000000, mientras que en el UL se inicializa con el vector de la Figura C-3.



**Figura C-3. Inicialización de la mezcla *uplink***

El FEC consiste en la concatenación de un código externo RS (*Reed-Solomon*) y un código interno convolucional de tasa compatible y debe soportarse para *uplink* y *downlink*. Opcionalmente se soportan códigos turbo bloque con *Hamming*<sup>9</sup> extendido o códigos de chequeo de paridad, como también códigos turbo convolucionales. El código turbo bloque y el código turbo convolucional son iguales que en WirelessMAC-SC2. La codificación convolucional RS de tasa 1/2 debe emplearse siempre cuando se requiere acceso a la red y en el flujo del Encabezado de la Trama de Control (*Frame Control Header*, FCH).

La codificación se realiza pasando primero el dato en formato de bloque a través del codificador RS y luego a través de un codificador convolucional de terminación en cero.

La Tabla C-1 muestra los tamaños de bloque y las velocidades de código utilizadas para las diferentes modulaciones y velocidades de código.

TABLA C-1. PARÁMETROS DE MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN PARA WIRELESSMAN-OFDM

Modulación	Tamaño de bloque sin codificar (bytes)	Tamaño de bloque codificado (bytes)	Tasa de codificación general	Código RS	Tasa de código CC
BPSK	12	24	1/2	(12,12,0)	1/2
QPSK	24	48	1/2	(32,24,4)	2/3
QPSK	36	48	3/4	(40,36,2)	5/6
16-QAM	48	96	1/2	(64,48,8)	2/3
16-QAM	72	96	3/4	(80,72,4)	5/6
64-QAM	96	144	2/3	(108,96,6)	3/4
64-QAM	108	144	3/4	(120,108,6)	5/6

El mecanismo de *interleaving* se emplea para distribuir los bits consecutivos en símbolos separados después de la modulación, con lo cual se previene una serie de símbolos consecutivos malos que pueden ocurrir debido al multitrayecto. En el receptor, una operación contraria al *interleaving* restablece el orden de los bytes antes de la decodificación. En el bloque de *interleaving* se forma una tabla donde se escribe una fila byte a byte (una fila por palabra código RS) y se lee una columna un byte a la vez. El número de columnas es igual a la longitud de la palabra código del código RS y el número de filas es un parámetro de flujo y es igual al número de palabras código RS que se

<sup>9</sup> El código *Hamming* adiciona bits de redundancia para datos transmitidos o almacenados para detección y corrección de errores.

almacenan. De modo que los flujos que exceden las capacidades de un receptor no se generan, el número más largo de filas soportadas por una estación se comunica durante la negociación de la capacidad básica de la SS. El producto del número de filas y columnas es el tamaño del bloque de *interleaving*.

### C.1.3 Modulación

Después del bit de *interleaving*, los bits de datos se ingresan serialmente al mapeador de constelaciones. Para este nivel son obligatorias QPSK y QAM de 16 bits (16-QAM) mapeados a Gray, mientras 64-QAM es opcional. Para lograr igual potencia promedio las constelaciones deben normalizarse por multiplicación del punto de constelación con un factor adecuado. En el *downlink* por SS deben soportarse modulación y codificación adaptativas. En el *uplink* cada SS emplea esquemas de modulación diferentes basadas en mensajes de configuración de flujo MAC que llegan desde la BS. Después de la modulación los símbolos se mapean en portadoras.

Las subportadoras piloto deben insertarse en cada *burst* de datos con el fin de constituir el símbolo y deben modularse de acuerdo a la posición de sus portadoras dentro del símbolo OFDM. Para esto se emplea un Generador de Secuencia Binaria Seudoaleatoria (*Pseudo-Random Binary Sequence*, PRBS) de longitud 11, descrito por el polinomio  $1 + x^9 + x^{11}$ ; las secuencias de inicialización son todas unos en el DL y 101010101 en el UL como se muestra en la Figura C-4; iniciando con el tercer bit, la salida del generador, se emplea para obtener los tonos piloto en el primer símbolo OFDM siguiendo el preámbulo de trama. Los tonos pilotos se modulan empleando BPSK.

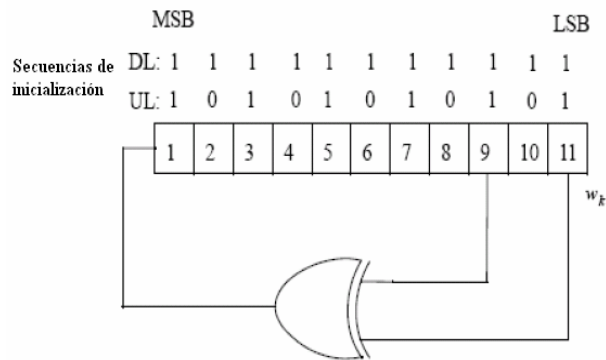


Figura C-4. PRBS para la modulación de subportadoras piloto

#### C.1.3.1 Modulación y estructura del preámbulo

Todos los preámbulos se estructuran como símbolos OFDM. Los símbolos OFDM se definen por los valores de las subportadoras compuestas. Cada uno de estos símbolos OFDM contienen un Prefijo Cíclico (CP) cuya longitud es la misma que el CP de los símbolos OFDM que lleva el *payload*.

El primer preámbulo en el DL y el preámbulo de rango inicial se componen de dos símbolos OFDM consecutivos. El primer símbolo OFDM utiliza únicamente índices de subportadoras que son múltiplos de 4, razón por la cual la forma de onda en el dominio de tiempo consiste de cuatro repeticiones de 64 fragmentos de muestra precedidos por un CP. Por su parte, el segundo símbolo OFDM utiliza únicamente subportadoras pares resultando en estructuras compuestas en el dominio del tiempo de dos repeticiones de 128 fragmentos de muestra precedido por un CP. La estructura en el dominio del tiempo puede observarse en la Figura C-5. Esta combinación de dos símbolos OFDM se referencia como el preámbulo largo.

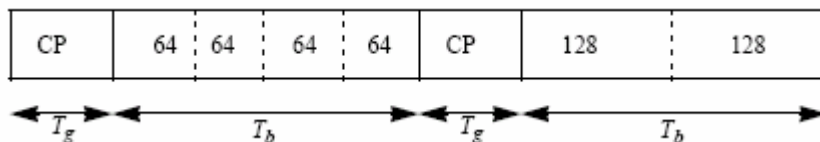
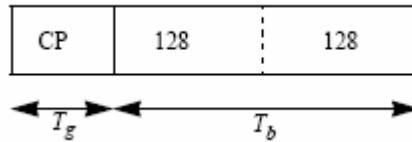


Figura C-5. Estructura del preámbulo para DL y rango inicial

En el UL, cuando se utilizan los 16 subcanales completos, el preámbulo consiste en un símbolo OFDM utilizando sólo subportadoras pares. La forma de onda en el dominio del tiempo consiste de dos repeticiones de 128 fragmentos de muestra precedidas por un CP, tal como se ilustra en la Figura C-6. Este preámbulo se denomina preámbulo corto.



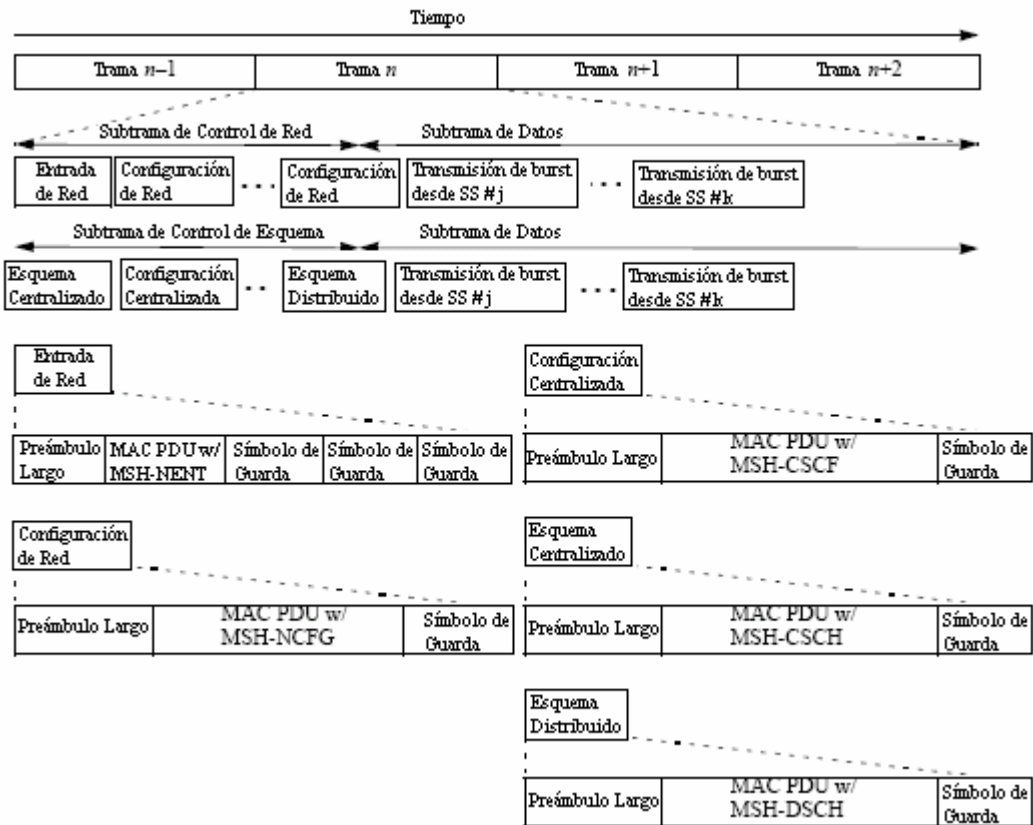
**Figura C-6. Estructura del preámbulo para UL**

Cuando se hace uso de la topología de malla, los *brust* enviados en la subtrama de control empezarán con un preámbulo largo. De la misma manera, en la subtrama de datos los *brust* iniciarán por defecto con un preámbulo largo, sin embargo, los vecinos pueden negociar el uso de preámbulos cortos fijando la bandera de preámbulo en el campo de información de enlace del vecino.

En el UL, cuando se emplee transmisiones con subcanalización, el preámbulo de datos estará compuesto por una secuencia de 256 muestras precedidas de un CP cuya longitud es la misma que la del CP de los símbolos OFDM. Este símbolo se denomina preámbulo de subcanalización.

#### **C.1.4 Estructura de la Trama para la Topología de Malla**

Una trama de malla esta compuesta de una subtrama de datos y otra de control como puede observarse en la Figura C-7. La subtrama de control brinda dos funciones básicas: una es la creación y mantenimiento de la cohesión entre los diferentes sistemas y la segunda es la programación coordinada de la transferencia de datos entre sistemas. Estas dos funciones han sido denominadas "Control de Red" y "Control de Esquema" respectivamente en la Figura C-7. Las tramas con subtramas de control de red ocurren periódicamente como se indica en el Descriptor de Red (*Network Descriptor*). Todas las otras tramas tienen una subtrama de control de esquema. La longitud de la subtrama de control es fija y de una longitud de símbolos OFDM que viene dada por la variable MSH-CTRL-LEN (que fija la longitud de la subtrama de control en el *Network Descriptor*) multiplicada por 7 (MSH-CTRL-LEN x 7).



**Figura C-7. Estructura de la trama para la topología de malla**

Durante una subtrama de control de red los siete primeros símbolos se asignan para la entrada de red, seguidos por  $MSH-CTRL-LEN - 1$  juegos de siete símbolos para la configuración de red. Durante la subtrama de control de esquema el *Network Descriptor* indica cuantos mensajes de esquema distribuido pueden ocurrir en la subtrama de control. Este valor se contiene en la variable  $MSH-DSCH-NUM$ .

Los primeros  $[(MSH-CTRL-LEN - MSH-DSCH-NUM) \times 7]$  símbolos se asignan para la transmisión de *burst* que contengan Unidades de Datos de Protocolo (Protocol Data Units, PDUs) de mensajes de esquema centralizado (MSH-CSCH) y mensajes de configuración de esquema centralizado (MSH-CSCF), mientras que el resto se asigna para la transmisión de *burst* que contengan PDUs de mensajes de esquema distribuido MSH-DSCH.

Los mensajes de esquema distribuido (utilizando preámbulos largos) pueden ocurrir en la subtrama de datos si no entran en conflicto con el esquema dictado en la subtrama de control.

Todas las transmisiones en la subtrama de control se envían utilizando QPSK  $\frac{1}{2}$  con el esquema de codificación obligatorio. La subtrama de datos está dividida en *minislots* los cuales tienen un tamaño máximo definido por  $[(OFDM \text{ símbolos por trama} - MSH-CTRL-LEN \times 7)/256]$  a excepción del último *minislot* en la trama. Una asignación programada consiste de uno o más *minislots*.

## **ANEXO D. TRATAMIENTO A NIVEL MAC DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2004 PARA LA TOPOLOGÍA DE MALLA**

El protocolo MAC del 802.16-2004 está diseñado para soportar modelos de red PMP y malla, topologías muy utilizadas en sistemas inalámbricos de banda ancha.

El nivel MAC comprende tres subniveles: uno de Convergencia, que maneja mejor los protocolos de niveles superiores, un subnivel de Parte Común, que se localiza en la parte central y maneja los canales de acceso, el establecimiento y mantenimiento de la conexión y la QoS; y un subnivel de Seguridad, que provee autenticación, intercambio de claves seguras y encriptación.

Para asegurar el funcionamiento correcto de las redes en malla, es necesario definir una serie de procedimientos que se realizan en el subnivel de parte común (CPS) y seguridad, los cuales se explicarán con más detalle en los siguientes apartados.

### **D.1 CPS MAC**

El CPS MAC es la parte central y neurálgica del nivel MAC, pues define los mecanismos de acceso múltiple, la asignación del ancho de banda, el establecimiento y mantenimiento de la conexión.

Una red que utiliza un medio compartido debe proporcionar un mecanismo eficiente para la repartición de los recursos. Las topologías de redes inalámbricas punto a multipunto y malla son dos ejemplos de compartición inalámbrica del medio en las cuales el medio es el espacio a través del cual las ondas de radio se propagan.

#### **D.1.1 Topología de Malla**

La principal diferencia entre una topología PMP y una topología de malla es que en la primera, el tráfico solo ocurre entre una BS y las SSs mientras que en la segunda el tráfico puede enrutarse a través de otros SSs y puede ocurrir directamente entre SSs. Dependiendo del protocolo de transmisión utilizado, el tráfico puede distribuirse en base a igualdad utilizando un esquema distribuido, en base a superioridad de la Malla BS, que en efecto resulta en un esquema centralizado, o como una combinación de los dos esquemas.

Dentro de una red en malla, un equipo que tiene una conexión directa con los servicios de *backhaul* que se encuentran fuera de la red en malla se denomina Estación Base en Malla (Malla BS), mientras que todos los otros equipos de la red en malla se denominan Estaciones Subscriptoras en Malla (Malla SS). En general, los equipos de una red en malla se llaman nodos. Dentro del contexto de la malla, las expresiones de *uplink* y *downlink* se definen como el tráfico en dirección de la Malla BS y el tráfico que se aleja de la Malla BS, respectivamente.

Otros términos importantes dentro de un sistema en malla son: vecino, vecindario y vecindario extendido. Las estaciones con las cuales un nodo tiene una conexión directa por medio de un salto se denominan vecinas y todos los vecinos de un nodo formarán un vecindario. Adicionalmente, un vecindario extendido contiene todos los vecinos de los diferentes vecindarios.

Utilizando un esquema distribuido, todos los nodos, incluyendo la Malla BS deben coordinar las transmisiones que realizarán a dos saltos dentro de su vecindario y enviarán sus esquemas (recursos disponibles, solicitudes y acuerdos) a todos sus vecinos. Opcionalmente, el esquema también puede establecerse por solicitudes y acuerdos no coordinados y directos entre dos nodos. Los nodos se asegurarán que las transmisiones resultantes no causen colisiones con el tráfico de datos y control programado por los otros nodos ubicados a dos saltos en el vecindario. No hay diferencia entre el mecanismo utilizado para determinar el esquema de *uplink* y el utilizado para determinar el esquema del *downlink*.

Utilizando un esquema centralizado, los recursos se asignan de una manera más centralizada. La Malla BS asignará las solicitudes de recursos a todas las Mallas SS dentro de cierto rango, determinará la cantidad de recursos asignados para cada enlace en la red tanto en *uplink* como en *downlink* y

comunicará estas asignaciones a todas las Mallas SSs dentro del rango. Los mensajes de asignación no contienen el esquema actual, por lo que cada nodo debe calcularlo utilizando el algoritmo predeterminado con los parámetros dados.

Todas las comunicaciones se realizan a través de un enlace establecido entre dos nodos y este enlace puede utilizarse para realizar todas las transmisiones de datos entre los dos nodos. La calidad de servicio se proporciona sobre los enlaces mensaje a mensaje pues no existen parámetros o servicios de calidad asociados a un enlace, en contraste, cada mensaje *unicast* contiene los parámetros del servicio en su encabezado. La clasificación del tráfico y regulación del flujo del nodo que ingresa se realizan por un protocolo de clasificación y regulación del nivel superior. Los parámetros de servicio asociados con cada mensaje se comunicarán junto con el contenido del mensaje a través del SAP MAC.

Los sistemas en malla generalmente utilizan antenas omnidireccionales o de 360 grados, pero también pueden ubicarse utilizando antenas sectorizadas. Incluso, en el borde del área de cobertura de la red en malla, donde solo es necesaria una conexión un punto, es posible utilizar antenas direccionales.

## D.1.2 Plano de Control y Datos

### D.1.2.1 Direccionamiento y conexiones

Cada nodo tendrá una dirección MAC universal de 48 bits definida por el estándar IEEE 802-2001. La dirección define al nodo como único dentro del conjunto de posibles proveedores y tipos de equipos. Además, se utiliza durante todo el proceso de red y como parte del proceso de autorización por el cual el nodo candidato y la red verifican la identidad de cada nodo.

Cuando un nodo candidato consigue la autorización en la red, recibirá un identificador de nodo (ID de nodo) de 16 bits a través una petición a la malla BS. Este parámetro, es la base para identificar los nodos durante una operación normal y se transmite en el subencabezado de la malla, que sigue al encabezado genérico MAC, tanto para mensajes *unicast* como para *broadcast*.

Para direccionar nodos en el vecindario local, se utilizará un identificador de enlace (ID de enlace) de 8 bits, de esta manera, cada nodo asignará un ID a cada uno de los enlaces establecidos con sus vecinos. Los identificadores de enlace serán comunicados durante el proceso de establecimiento del enlace a medida que los nodos vecinos establecen nuevos enlaces. Este identificador se transmite como parte del Identificador de Conexión (*Connection Identifier*, CxID) en el encabezado genérico MAC de un mensaje *unicast* y se utilizará en esquemas distribuidos para identificar las solicitudes y acuerdos de recursos. Ya que estos mensajes son *broadcast*, los nodos receptores pueden determinar el esquema utilizando el ID del nodo transmisor presente en el subencabezado de la malla y el ID del enlace en el *payload* del mensaje denominado Esquema de Malla con Planificación Distribuida (*Mesh Mode Schedule with Distributed Scheduling*, MSH-DSCH).

El ID de Conexión en el modo de malla se define para la transmisión de paquetes *broadcast/unicast*, parámetros de servicio y la identificación del enlace, como se muestra en la Tabla D-1.

TABLA D-1. CONSTRUCCIÓN DEL ID DE CONEXIÓN PARA LA MALLA

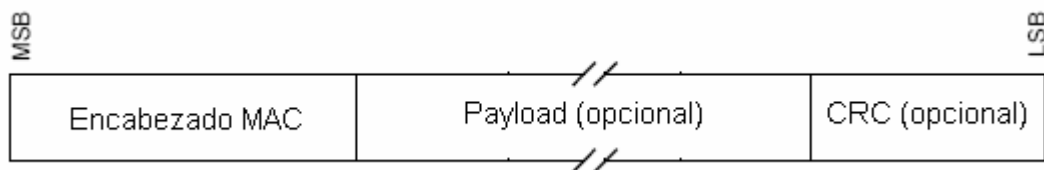
Sintaxis	Tamaño	Notas
CxID {		
If(Xmt Link ID == 0xFF){		
Logical Network ID	8 bits	0x00: All-net Broadcast
} else {		
Type	2 bits	0x0: Gestion de MAC 0x1: IP 0x2-0x3: Reservados
Reliability	1 bit	0x0: Si retransmisión 0x1: Hasta 4 retransmisiones
Priority/Class	3 bits	* Indica la clase de mensaje



Drop Precedence	2 bits	* Los mensajes con el <i>Drop Precedence</i> mayor tendrán mayor probabilidad de caer durante una congestión
}		
Xmt Link ID	8 bits	0xFF: Gestión MAC broadcast * El <i>Link ID</i> es asignado por el nodo transmisor al enlace del nodo receptor
}		

### D.1.2.2 Formatos de las PDUs MAC

La PDU MAC es la unidad de datos que se intercambia entre los niveles MAC de las BS y sus SS. Una PDU MAC se conforma por un encabezado MAC de tamaño fijo, un *payload* de tamaño variable y un campo opcional de Chequeo de Redundancia Cíclica (*Cyclic Redundancy Check, CRC*) como puede observarse en la Figura D-1. La longitud máxima de la PDU MAC es 2.048 bytes incluyendo cabecera, *payload* y CRC.



**Figura D-1. Formato de la PDU MAC**

Existen dos formatos de encabezado MAC que se diferencian por el valor del campo denominado Tipo de Encabezado (*Header Type, HT*), el primero es un encabezado MAC genérico que se emplea para transmitir datos o mensajes de gestión MAC desde capas superiores a través de la CS y el segundo un encabezado para la solicitud de ancho de banda que no tiene *payload*, se identifica por la cabecera de Solicitud de Ancho de Banda (*Bandwidth Request, BR*) y se emplea por las SSs para solicitar ancho de banda adicional en el *uplink*.

El encabezado MAC genérico tiene un campo denominado *Type* que indica los tipos de subencabezados y *payload* especiales presentes en el mensaje *payload*. Existen cinco tipos de subencabezados definidos para el manejo de aplicaciones complejas entre los que se encuentran el subencabezado para malla, fragmentación, empaquetamiento, gestión de acuerdos y un último denominado *FAST-FEEDBACK\_Allocation*. En el caso del subencabezado de malla que se presenta cuando se utiliza una configuración de malla, éste se ubica después del encabezado MAC genérico.

- **Mensajes de gestión MAC**

Se han definido una serie de mensajes para la gestión del nivel MAC que se transmiten en el *payload* de la PDU MAC. Estos mensajes se utilizan para describir los enlaces *uplink* y *downlink* y para manejar la alineación o *ranking*, el registro y la privacidad. Todos los mensajes inician con un campo de tipo de mensaje de gestión y pueden contener otros campos adicionales. La lista completa de estos mensajes se muestra en la Tabla D-2.

TABLA D-2. MENSAJES DE GESTIÓN MAC

Tipo	Mensaje	Descripción del Mensaje	Conexión
0	UCD	Uplink Channel Descriptor	Broadcast
1	DCD	Downlink Channel Descriptor	Broadcast
2	DL-MAP	Downlink Access Definition	Broadcast
3	UL-MAP	Uplink Access Definition	Broadcast
4	RNG-REQ	Ranging Request	Initial Ranging or Basic
5	RNG-RSP	Ranging Response	Initial Ranging or Basic
6	REG-REQ	Registration Request	Primary Management
7	REG-RSP	Registration Response	Primary Management
8		<i>reserved</i>	
9	PKM-REQ	Privacy Key Management Request	Primary Management
10	PKM-RSP	Privacy Key Management Response	Primary Management
11	DSA-REQ	Dynamic Service Addition Request	Primary Management
12	DSA-RSP	Dynamic Service Addition Response	Primary Management
13	DSA-ACK	Dynamic Service Addition Acknowledge	Primary Management
14	DSC-REQ	Dynamic Service Change Request	Primary Management
15	DSC-RSP	Dynamic Service Change Response	Primary Management
16	DSC-ACK	Dynamic Service Change Acknowledge	Primary Management
17	DSD-REQ	Dynamic Service Deletion Request	Primary Management
18	DSD-RSP	Dynamic Service Deletion Response	Primary Management
19		<i>reserved</i>	
20		<i>reserved</i>	
21	MCA-REQ	Multicast Assignment Request	Primary Management
22	MCA-RSP	Multicast Assignment Response	Primary Management
23	DBPC-REQ	Downlink Burst Profile Change Request	Basic
24	DBPC-RSP	Downlink Burst Profile Change Response	Basic
25	RES-CMD	Reset Command	Basic
26	SBC-REQ	SS Basic Capability Request	Basic
27	SBC-RSP	SS Basic Capability Response	Basic
28	CLK-CMP	SS network clock comparison	Broadcast
29	DREG-CMD	De/Re-register Command	Basic
30	DSX-RVD	DSx Received Message	Primary Management
31	TFTP-CPLT	Config File TFTP Complete Message	Primary Management
32	TFTP-RSP	Config File TFTP Complete Response	Primary Management
33	ARQ-Feedback	Standalone ARQ Feedback	Basic

Tipo	Mensaje	Descripción del Mensaje	Conexión
34	ARQ-Discard	ARQ Discard message	Basic
35	ARQ-Reset	ARQ Reset message	Basic
36	REP-REQ	Channel measurement Report Request	Basic
37	REP-RSP	Channel measurement Report Response	Basic
38	FPC	Fast Power Control	Broadcast
39	MSH-NCFG	Mesh Network Configuration	Broadcast
40	MSH-NENT	Mesh Network Entry	Basic
41	MSH-DSCH	Mesh Distributed Schedule	Broadcast
42	MSH-CSCH	Mesh Centralized Schedule	Broadcast
43	MSH-CSCF	Mesh Centralized Schedule Configuration	Broadcast
44	AAS-FBCK-REQ	AAS Feedback Request	Basic
45	AAS-FBCK-RSP	AAS Feedback Response	Basic
46	AAS_Beam_Select	AAS Beam Select message	Basic
47	AAS_BEAM_REQ	AAS Beam Request message	Basic
48	AAS_BEAM_RSP	AAS Beam Response message	Basic
49	DREG-REQ	SS De-registration message	Basic
50–255		<i>reserved</i>	

A continuación se presenta una breve descripción de los mensajes utilizados en la configuración de malla.

- **Mensaje de configuración de la red (Mesh Mode Schedule - Network Configuration, MSH-NCFG)**

Este tipo de mensaje proporciona el nivel básico de comunicación entre nodos de diferentes redes cercanas pertenecientes al mismo o a diferente vendedor de equipos u operador inalámbrico. Todos los nodos (BS y SS) pueden transmitir mensajes de este tipo.

Todos los nodos generan mensajes MSH-NCFGs con un formato único que incluye entre otros parámetros el tipo de mensaje de gestión, el número de vecinos y BSs reportadas en el mensaje, la potencia manejada, el tipo de antena utilizada, el canal base utilizado en el nodo, el ID del nodo de la malla BS reportado, el número de saltos entre el nodo que envía el mensaje y el nodo de la malla BS reportado, la indicación de la energía por bit necesaria para alcanzar la malla BS a través del nodo y el identificador del nodo vecino reportado.

- **Mensaje de entrada a la red (Mesh Mode Schedule - Network Entry, MSH-NENT)**

Un mensaje MSH-NENT proporciona los medios necesarios para que un nuevo nodo obtenga la sincronización y la entrada inicial a una red en malla.

Cuando se envía un mensaje de este tipo, el subencabezado de malla se fija en 0x0000 hasta que se haya asignado un ID de nodo al equipo.

El formato de un mensaje MSH-NENT contiene información relacionada con el ID del nodo que asistirá al nodo que requiere la entrada a la red, la potencia manejada, el tipo de antena y la dirección MAC del nuevo nodo que envía la solicitud, entre otras cosas.

- **Mensaje de esquema distribuido (Mesh Mode Schedule – Distributed Scheduling, MSH-DSCH)**

Los mensajes MSH-DSCH se transmiten en el modo de malla cuando se utiliza el esquema distribuido. En un esquema de distribución coordinado, todos los nodos enviarán un mensaje MSH-DSCH en un intervalo de tiempo regular para informar a todos sus vecinos el esquema de transmisión de la estación. Este tiempo de transmisión se determina con el mismo algoritmo utilizado para los mensajes MSH-NCFG.

Tanto para un esquema de distribución coordinado como para uno no coordinado, los mensajes MSH-DSCH se utilizarán para comunicar la solicitud de recursos y acuerdos a los vecinos. Además, estos mensajes transmitirán información sobre los recursos disponibles que los vecinos pueden utilizar para sus acuerdos.

El formato de un mensaje MSH-DSCH contiene información relacionada con el tipo de esquema (coordinado o no coordinado), el tipo de petición (solicitud o acuerdo) y el número de solicitudes o acuerdos, entre otras cosas.

- **Mensaje de esquema centralizado (Mesh Mode Schedule – Centralized Scheduling, MSH-CSCH)**

Un mensaje MSH-CSCH se creará por una Malla BS cuando se utilice un esquema centralizado. En este esquema, la BS transmitirá el mensaje MSH-CSCH a todos sus vecinos y por su parte, todos los nodos con una cuenta de saltos más baja que la indicada por el parámetro  $HR_{\text{threshold}}$  reenviarán el mensaje a los vecinos que tengan un conteo de saltos mayor.

Además, los nodos pueden utilizar los mensajes MSH-CSCH para solicitar ancho de banda a la Malla BS.

- **Mensaje de configuración del esquema centralizado (Mesh Mode Schedule – Centralized Scheduling Configuration, MSH-CSCF)**

La Malla BS transmitirá el mensaje MSH-CSCF a todos sus vecinos y por su parte, todos los nodos reenviarán el mensaje de acuerdo a su número de índice especificado en el mensaje.

El formato de un mensaje MSH-CSCF contiene información relacionada con el número de canales disponibles para el esquema centralizado, el índice lógico del canal físico, el número de nodos del esquema de árbol, en ID de cada nodo del árbol, y el número de nodos hijos de cada nodo, entre otras cosas.

### **D.1.2.3 Asignación del ancho de banda y mecanismos de solicitud**

En una topología de malla no hay una separación clara entre las subtramas de *downlink* y *uplink* y cada estación puede crear un enlace de comunicación directo con un número de estaciones en la red en lugar de comunicarse solamente con una BS. Sin embargo, en las implementaciones comunes habrá ciertos nodos que proporcionen las funciones de una BS para conectar la red en malla a los enlaces *backhaul*. De hecho, cuando se utiliza un esquema de malla centralizado, los nodos BS realizan muchas de las funciones que realizan las BS en una configuración punto a multipunto y por consiguiente, la principal diferencia es que en la topología de malla todas las SS pueden tener un enlace directo con otras. Además, no hay necesidad de tener un enlace directo de una SS a una BS pues esta conexión puede proporcionarse a través de otras SS. Las comunicaciones en todos estos enlaces se controlarán por un algoritmo centralizado (manejado por la BS o en forma “descentralizada” por todos los nodos periódicamente), organizadas de una forma distribuida dentro del vecindario extendido de cada nodo o utilizando una combinación de ambos sistemas de distribución.

- **Esquema distribuido**

En un modo de esquema distribuido coordinado, todas las estaciones (SS y BS) coordinaran sus transmisiones en sus vecindarios extendidos. Este esquema de distribución utiliza todo el control de cada trama (o una parte de el) para transmitir periódicamente su propio esquema y proponer cambios de este a todos sus vecinos. Dentro de un canal dado todas las estaciones vecinas reciben las mismas transmisiones de esquema. Además, todas las estaciones en una red utilizaran este mismo canal para transmitir la información del esquema en un formato de solicitudes y acuerdos específico.

El esquema de distribución coordinado garantiza que las transmisiones se programan de manera que no dependan de la operación de una sola BS y no necesariamente se dirigen a la BS o vienen de ella.

Por su parte, un esquema distribuido no coordinado puede utilizarse para la instalación de esquemas basados en un modo de enlace por enlace para redes *ad hoc* de gran velocidad, se establece por solicitudes y acuerdos directos entre dos nodos y puede programarse para asegurar que las transmisiones de datos resultantes (y los paquetes de solicitud y acuerdo) no causen colisiones con el trafico de datos y control programados por los métodos de distribución centralizado y distribuido coordinado.

Tanto el esquema de distribución coordinado como el no coordinado emplean tres métodos muy relacionados, que se describen a continuación:

- **MSH-DSCH de solicitud:** se realiza una solicitud junto con un mensaje MSH-DSCH:*Avalabilities* que indica los *slots* potenciales para respuestas y el esquema actual.
- **MSH-DSCH de acuerdo:** en respuesta se envía un acuerdo indicando un subconjunto de disponibilidades sugeridas que ajustan, si es posible, la solicitud. Los vecinos de este nodo que no están involucrados en este esquema asumirán la transmisión como un acuerdo.
- **MSH-DSCH de acuerdo:** el solicitante original envía un acuerdo con una copia para la otra parte, con el fin de confirmar el esquema. Los vecinos de este nodo que no están involucrados en este esquema asumirán la transmisión como un acuerdo.

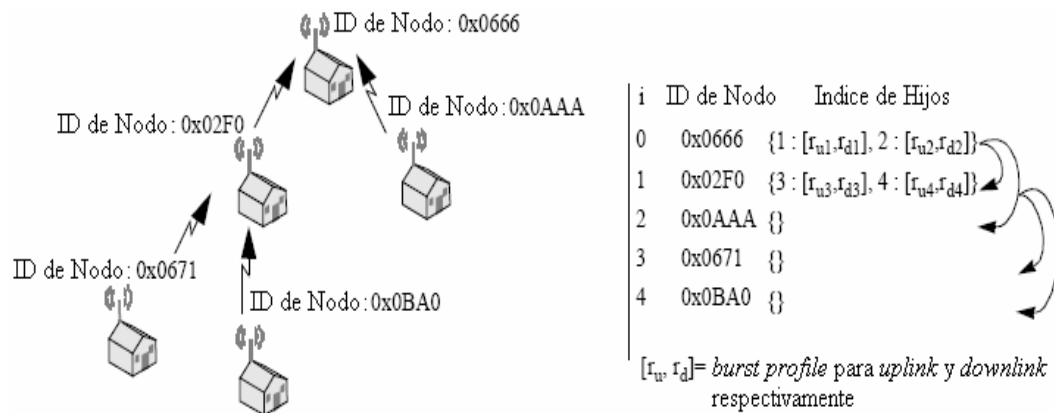
Las diferencias entre los esquemas de distribución coordinado y no coordinado son las siguientes: En el caso coordinado, los mensajes MSH-DSCH se programan en la subtrama de control en una manera de colisión libre, mientras que, en el caso no coordinado, los mensajes MSH-DSCH pueden colisionar. En el caso no coordinado, los nodos que responden a la solicitud deben esperar un número suficiente de *minislots* (de las disponibilidades indicadas) antes de responder con un acuerdo, de manera que los primeros nodos enumerados en la solicitud tengan una oportunidad de responder. La confirmación del acuerdo se envía en los *minislots* inmediatamente después de la primera recepción exitosa de un paquete de acuerdo asociado.

- **Esquema centralizado**

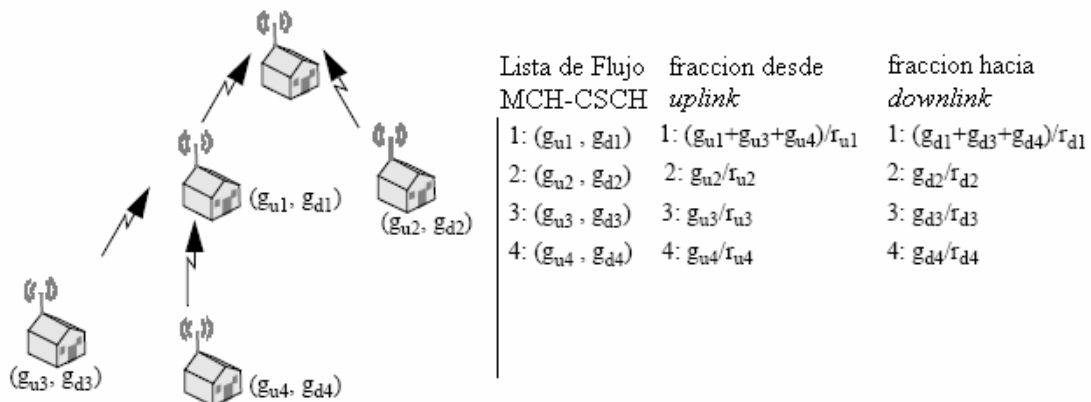
Las conexiones de red y la topología son las mismas que en un esquema distribuido, pero las transmisiones programadas para las SSs se definen por la BS quien determina el flujo de asignación de los recursos solicitados por las SSs. Posteriormente, las SSs determinan el esquema actual de esos flujos asignados utilizando un algoritmo común que divide la trama proporcionalmente para las asignaciones. De esta manera, la BS actúa igual que una BS de una red punto a multipunto excepto que no todos los SSs tienen una conexión directa con la BS pero las asignaciones determinadas por la BS se extienden a las SSs que no están directamente conectadas a la BS. La solicitud de recursos de la SS y las asignaciones de la BS se transmiten durante una parte de la trama de control.

El esquema centralizado asegura que las transmisiones se coordinan para garantizar un esquema de colisión libre, sobre todos los enlaces del árbol de enrutamiento desde y hacia la BS. Generalmente, este esquema lo realiza de una manera más óptima que el esquema distribuido para flujos de tráfico (o colecciones de flujos de tráfico que comparten los enlaces), el cual persiste sobre una duración que es mayor que el ciclo de tiempo para transmitir la nueva solicitud de recursos y distribuir el esquema actualizado.

Un ejemplo simple del uso de un mecanismo de flujo con organización centralizada en un MSH-CSCH se muestra en la Figura D-2. Los flujos requeridos por la red se muestran en la Figura D-3. Por simplicidad en la notación se asume que el dato transmitido es el número del *burst profile*<sup>10</sup>.



**Figura D-2. Ejemplo de configuración de un mensaje MSH-CSCH**



**Figura D-3. Ejemplo del uso de un flujo con esquema de malla centralizado**

Cada nodo garantizará que la duración de todos los *minislots* asignados por canal no exceda el espacio disponible por *minislot* (en una o dos tramas dependiendo de la bandera de esquema de trama) para reducir todas las asignaciones proporcionalmente. Entonces, cada nodo redondeará recursivamente el número de *minislots* de la asignación con la fracción decimal más pequeña y añadirá otro *minislot* a la asignación con la fracción decimal más larga. Antes de transmitir el esquema, la malla BS se asegurará de que su cálculo no produzca asignaciones no iguales a cero, más pequeñas a las requeridas para transmitir un preámbulo y un símbolo de datos.

El número de tramas durante las cuales el esquema CSCH es válido se limita por el número de tramas tomadas para adicionar y distribuir el próximo esquema.

Cada nodo utiliza el nuevo esquema recibido para calcular lo siguiente:

- El tiempo que el nodo transmitirá su esquema a los nodos que se encuentren más abajo del árbol de transmisión.
- La trama en la que el último nodo en el árbol de transmisión recibirá este esquema.
- El tiempo de transmisión original para la malla BS de este esquema.

<sup>10</sup> Set de parámetros que describen las propiedades de las transmisiones *uplink* y *downlink* asociadas con un intervalo de código. Cada perfil contiene parámetros como el tipo de modulación, el tipo de corrección de errores hacia delante (*Forward Error Correction, FEC*), la longitud del preámbulo, tiempos de guarda, etc.

Para calcular esto, el nodo utiliza el árbol de enrutamiento de los últimos mensajes MSH-CSCF modificados por las actualizaciones del enlace del último mensaje MSH-CSCH (el cual fija el tamaño de los mensajes MSH-CSCH) y realiza los siguientes pasos:

- **Paso 1:** La malla BS transmite primero en una nueva trama.
- **Paso 2:** Luego, el hijo elegido de la malla BS (es decir, los nodos con un conteo de salto igual a 1) ordenado por su aparición en el árbol de enrutamiento, transmite.
- **Paso 3:** El hijo elegido de los nodos del paso 2 (es decir, los nodos con un conteo de salto igual a 2), también ordenado por su aparición en el árbol de enrutamiento, transmite.
- **Paso 4:** El proceso continúa hasta que todos los nodos elegidos en el árbol de enrutamiento hayan transmitido.

Los nodos fragmentarán su mensaje si este no alcanza completamente antes del fin de la subtrama de control y al menos el preámbulo y un símbolo de datos alcanzan. Todos los nodos pueden elegirse para transmitir el esquema de acuerdo, excepto aquellos que no tienen hijos. Si el orden de un nodo requiere que se transmita inmediatamente después de recibir, se insertará un retardo denominado *MinCSForwardingDelay*.

Además, cada nodo calculará el tiempo de las solicitudes en el enlace *uplink*, las cuales inician en la última trama en la que un nodo recibe el esquema anterior. Todos los nodos pueden elegirse para transmitir estas solicitudes, excepto la malla BS. El orden de las solicitudes de transmisión es inverso a la cuenta de los saltos (es decir, los saltos más largos primero), pero se mantiene el orden del árbol de enrutamiento para los nodos con la misma cantidad de saltos.

El tiempo entre la primera trama en la que el nodo envía el esquema de solicitud y la última trama en la que un nodo recibe el nuevo esquema de acuerdo marca la validez del esquema de acuerdo anterior. Cabe notar que los mensajes MSH-CSCF pueden enviarse después de que la última solicitud se recibe y antes de que el esquema de acuerdo se transmita por la malla BS.

#### **D.1.2.4 Entrada a la red y sincronización**

El proceso de entrada de un nodo a la fase de iniciación de las transmisiones programadas puede dividirse en las siguientes fases:

- Búsqueda de una red activa y establecimiento de la sincronización con la red.
- Obtención de los parámetros de la red (MSH-NCFGs).
- Apertura del canal de soporte.
- Autorización del nodo.
- Ejecución del registro.
- Establecimiento de la conectividad IP.
- Establecimiento del tiempo.
- Transmisión de los parámetros operacionales.

Cada nodo contiene una dirección MAC universal de 48 bits asignada durante el proceso de fabricación, que se utiliza para que los servidores puedan identificar el nodo durante la inicialización y cada vez que se realiza la autenticación con un nodo vecino.

- **Búsqueda y establecimiento de la sincronización con la red**

Durante la inicialización o después de la pérdida de la señal, el nodo buscará mensajes MSH-NCFG para obtener sincronización con la red. Al recibir un mensaje MSH-NCFG el nodo obtiene el tiempo de la red a través del campo *Timestamp* del mensaje. El nodo puede tener un almacenamiento no volátil en el cual todos los últimos parámetros operacionales se almacenan y tratará de adquirir nuevamente la sincronización con la red, pero si no lo consigue, empezará una búsqueda continua de los posibles canales en la banda de frecuencia de operación hasta que encuentre una red válida.

Una vez el nivel físico ha logrado sincronización, el nivel MAC tratará de obtener los parámetros de la red y al mismo tiempo el nodo construirá una lista de sus vecinos.

- **Obtención de los parámetros de la red**

Un nodo permanecerá sincronizado mientras reciba mensajes MSH-NCFG y acumulará estos mensajes al menos hasta que reciba un mensaje MSH-NCFG del mismo nodo dos veces y un descriptor de red MSH-NCFG con un ID de operador que coincida con uno propio, si este tiene alguno. En paralelo, el nuevo nodo construirá una lista de vecinos con la información obtenida.

De la lista de vecinos creada, el nuevo nodo seleccionará un posible nodo de soporte fuera de todos los nodos que tienen el identificador lógico de red del nodo para el cual éste encontró un ID de operador conveniente. Luego, el nuevo nodo sincronizará su tiempo al del nodo potencial de soporte asumiendo un retardo de propagación igual a cero, después del cual enviará un MSH-NENT:*NetEntryRequest* incluyendo el identificador de nodo del nodo potencial de soporte.

Hasta que el nodo obtenga un identificador de nodo único, utilizará un identificador temporal (0x0000) como identificador de nodo del transmisor para todas las transacciones.

Una vez el nodo candidato haya seleccionado un nodo de apoyo, utilizará este nodo para negociar las capacidades básicas y realizar la autorización. Para este propósito, el nodo candidato primero solicitará al nodo de apoyo la apertura del canal de soporte para un intercambio más eficaz del mensaje.

- **Apertura del canal de soporte**

Una vez se realice la selección del nodo de soporte, el nodo candidato le solicitará al nodo de soporte establecer un esquema temporal que podría utilizarse para la entrega de mensajes adicionales durante la inicialización del nodo candidato. El esquema temporal requerido se llama canal de soporte.

El proceso se inicia por el nodo candidato cuando transmite un mensaje MSH-NENT:*NetEntryRequest* (un mensaje MSH-NENT con el campo de tipo fijado en 0x2) al nodo de soporte.

En el momento de la recepción de un mensaje MSH-NENT:*NetEntryRequest* con el identificador de nodo de soporte igual al identificador de nodo propio, el nodo de soporte candidato evaluará la solicitud y abrirá el canal de soporte o rechazará la solicitud. La respuesta se entrega en un mensaje MSH-NCFG. Si el nodo de soporte candidato no publica la dirección MAC del nodo candidato en su próxima transmisión MSH-NCFG, se repite el procedimiento MSH-SPONSOR-ATTEMPTS utilizando un *backoff* aleatorio entre intentos. Si estos intentos fallan, se seleccionará un nodo de soporte candidato diferente y el procedimiento se repite (incluyendo la reinicialización y sincronización con la red). Si el nodo de soporte seleccionado publica la dirección MAC del nodo candidato, continuará publicando esta dirección MAC en todos sus mensajes MSH-NCFG hasta que el soporte termine.

Una vez el nodo candidato reciba una respuesta positiva (un mensaje *NetEntryOpen*) del nodo de soporte en un mensaje MSH-NCFG, reconocerá la respuesta transmitiendo un mensaje MSH-NENT:*NetEntryAck* (un mensaje MSH-NENT con el campo de tipo fijado en 0x1) al nodo de soporte en la siguiente oportunidad de entrada de transmisión a la red. Antes de que el nodo candidato realice una sincronización de tiempo adecuada, hará una corrección a sus tiempos de transmisión de acuerdo al retardo de propagación estimado, indicado en el mensaje MSH-NCFG:*NetEntryOpen*.

Si el nodo de soporte acepta la solicitud y abre el canal de soporte, el canal queda listo para utilizarse inmediatamente después de la transmisión del mensaje de reconocimiento. Al mismo tiempo, el nodo de soporte candidato se convierte en el nodo de soporte.

Si el nodo de soporte candidato introduce un mensaje MSH-NCFG:*NetEntryReject*, el nuevo nodo realizará la siguiente acción de acuerdo al código de rechazo:

- **0x0, Valor del operador de autenticación inválido:** el nodo candidato seleccionará un nuevo nodo de soporte candidato con un ID de operador diferente.



- **0x1, Retardo de propagación excedido:** el nodo candidato repetirá su mensaje MSH-NCFG:NetEntryRequest en la siguiente oportunidad de transmisión al mismo nodo de soporte candidato.
- **0x2, Seleccione un nuevo soporte:** el nodo candidato seleccionará un nuevo nodo de soporte candidato.

Si el nodo de soporte candidato no envía un mensaje MSH-NCFG:NetEntryOpen o un mensaje MSH-NCFG:NetEntryReject, el nodo candidato esperará el próximo mensaje MSH-NCFG con NetEntryOpen del nodo de soporte candidato y reenviará el MSH-NCFG:NetEntryRequest.

Una vez realizado todo el intercambio de mensajes, el nodo candidato terminará el proceso de entrada enviando un mensaje MSH-NCFG:NetEntryClose al nodo de soporte después del último mensaje MSH-NCFG del nodo de soporte el cual reconocerá esta petición con un mensaje MSH-NCFG:NetEntryAck.

- **Negociación de las capacidades básicas**

Después de haber establecido un enlace lógico entre dos nodos, el nodo que solicitó el enlace lógico actúa como estación subscriptora SS e informa a la estación base sus capacidades básicas transmitiendo un mensaje SBC-REQ (*SS Capability Request*) con sus capacidades fijas en "on". Por su parte, la estación base responde con un mensaje SBC-RSP (*SS Capability Response*) con la intersección de las capacidades de las SS y la BS fijas en "on".

- **Autorización del nodo**

Cuando el nodo de soporte reciba la información de autenticación y la solicitud de autenticación, enviará los mensajes a un nodo de autorización que actúa como la estación base mientras que el nuevo nodo actuará como la estación subscriptora. El nodo de autorización verificará el certificado de estación subscriptora del nuevo nodo y determinará si tiene autorización para asociarse a la red. Una vez recibidos los mensajes de Respuesta de Gestión con Clave Privada (*Privacy Key Management Response*, PKM-RSP) MAC del nodo de autorización, el nodo de soporte reenviará estos mensajes al nuevo nodo.

- **Registro del nodo**

El registro es el proceso por el cual se le asigna un identificador de nodo a un nodo. Cuando al nodo de soporte le llega una solicitud de registro a través de un mensaje REG-REQ, éste envía el mensaje al nodo de registro. A su vez, el nodo de registro envía un mensaje de respuesta REG-RSP MAC al nodo de soporte y este último lo reenvía al nuevo nodo.

- **Establecimiento de la conectividad IP**

El nodo obtendrá una dirección IP utilizando un servicio DHCP y este proceso se realiza sobre el canal de soporte.

- **Establecimiento del tiempo de día**

Los nodos en una malla recuperarán el tiempo de un día utilizando el protocolo definido en el IETF RFC 868. Los mensajes se transmitirán sobre paquetes UDP sobre el canal de soporte.

- **Parámetros operacionales de transferencia**

Después de obtener una dirección IP, el nodo descargará un archivo de parámetros utilizando el Protocolo para la Transferencia de Archivos Triviales (*Trivial File Transfer Protocol*, TFTP). Este procedimiento se lleva a cabo en el canal de soporte.

- **Configuración de los parámetros de tráfico proporcionados**

En una topología de malla la calidad de servicio se proporciona paquete por paquete utilizando el CID de la malla. Un nodo de la malla obtiene su parámetro de calidad de servicio: *AuthorizedQoSParamSet* durante la transferencia de los parámetros operacionales.

- **Establecimiento de los enlaces con los vecinos**

Después de entrar a la red, un nodo puede establecer enlaces con otros nodos siguiendo un procedimiento seguro que se describe a continuación:

1. El nodo A envía una solicitud (código de acción=0x0) que contiene:

HMAC{Operador Secreto Compartido, Número de trama, Identificador de Nodo del nodo A, Identificador de Nodo del nodo B}. Donde el operador secreto compartido es una clave privada que se obtiene del proveedor y el número de la trama es el último conocido en el cual en nodo B envía un mensaje MSH-NCFG.

2. Después de la recepción, el nodo B calcula el mismo valor (también puede intentar algunos números de trama anteriores en los que envió mensajes MSH-NCFG, en caso de que el nodo A haya olvidado el último de sus MSH-NCFGs) del ítem 1 y lo compara. Si los valores no coinciden, envía un rechazo (código de acción=0x3). Pero si coinciden el nodo B envía una respuesta (código de acción=0x1) que contiene:

HMAC{Operador Secreto Compartido, Número de trama, Identificador de Nodo del nodo B, Identificador de Nodo del nodo A}. Donde el número de trama es aquel en el cual el nodo A envió en mensaje MSH-NCFG con la solicitud. Además selecciona aleatoriamente un ID de enlace que indicará el enlace del nodo B al nodo A.

3. Después de la recepción, el nodo A calcula el mismo valor del ítem 2 y lo compara. Si los valores no coinciden se envía un rechazo (código de acción=0x3), pero si coinciden, el nodo A envía un mensaje de aprobación. Este también selecciona aleatoriamente un ID de enlace que indicará el enlace del nodo A al nodo B.

#### D.1.2.5 Túnel de mensajes de gestión MAC en el modo de malla

En una red en malla, durante el proceso de entrada a la red, ciertos mensajes de los protocolos MAC tienen lugar entre entidades separadas por múltiples saltos. En estos casos, el nodo de soporte transmitirá los mensajes del nuevo nodo actuando como la SS que realiza las funciones de la BS PMP. El nodo de soporte también transmite los mensajes desde la entidad BS hacia el nuevo nodo.

El nodo de soporte hará un túnel de los mensajes MAC recibidos del nuevo nodo (SS) que se observan en la Tabla D-3, sobre paquetes UDP a la entidad que realiza la parte BS del protocolo, tal como se muestra en la Figura D-4. Adicionalmente, extraerá los mensajes MAC de los paquetes UDP provenientes de la entidad BS y los transmitirá sobre el aire al nuevo nodo.

TABLA D-3. TÚNEL DE MENSAJES DE GESTIÓN MAC SOBRE PAQUETES UDP

Mensaje	Acción del nodo de soporte	Dirección del mensaje
PKM-REQ:Auth Request	Túnel	SS a BS
PKM-REQ:Auth Info	Túnel	SS a BS
PKM-RSP:Auth Reply	Extracción	BS a SS
PKM-RSP:Auth Reject	Extracción	BS a SS
REG-REQ	Túnel	SS a BS
REG-RSP	Extracción	BS a SS

Encabezado(s) IP	Encabezado UDP	Subencabezado de tunel	Mensaje MAC incluyendo los encabezados
------------------	----------------	------------------------	--

**Figura D-4. Túnel de mensajes MAC sobre UDP/IP**

## **D.2 SUBNIVEL DE SEGURIDAD**

La seguridad proporciona a los abonados la privacidad a través de la red fija inalámbrica de banda ancha. Esto ocurre mediante la codificación de las conexiones entre las SS y BS.

Adicionalmente, la seguridad proporciona a los operadores una profunda protección del robo del servicio. La BS se protege contra el acceso no autorizado a los servicios de transporte de datos mediante la codificación forzada de los servicios asociados que fluyen a través de la red. La privacidad emplea un protocolo de autenticación cliente/servidor en el cual la BS, que representa al servidor, controla la distribución del material clave al cliente SS. Por otra parte, los mecanismos básicos de privacidad se fortalecen adicionando a su protocolo de administración de clave una autenticación de SS basada en un certificado digital.

Si durante la negociación de capacidades, la SS específica que no tiene soporte para la seguridad del estándar IEEE 802.16, los pasos de autorización e intercambio de claves se omiten.

### **D.2.1 Arquitectura**

La privacidad tiene dos componentes de protocolo que se detallan a continuación:

- Un protocolo de encapsulación para el encriptado de paquetes de datos a través de la red fija BWA que define un conjunto de series criptográficas constituido por métodos de encriptación, algoritmos de autenticación e intercambio de claves de encriptación de datos, y las reglas para aplicar estos algoritmos al *payload* de la PDU MAC.
- Un protocolo de administración de claves PKM que permite la distribución segura de las claves desde la BS a la SS. A través de este protocolo de administración de claves, la SS y BS sincronizan las claves y la BS refuerza el acceso condicional a los servicios de la red.

#### **D.2.1.1 Protocolo de administración de claves (PKM)**

Una SS utiliza el protocolo PKM para obtener la autorización y el material de claves de tráfico de la BS, y para soportar reautorizaciones periódicas y refrescos de claves. El protocolo de administración de claves utiliza certificados digitales X.509 (IETF RFC 3280), el algoritmo de encriptación RSA de llave pública (PKCS #1) y algoritmos de encriptación fuerte para realizar el intercambio de claves entre la SS y BS.

El protocolo PKM se adhiere al modelo cliente/servidor, en el que la SS que representa al cliente PKM, solicita el material de clave, y la BS que actúa como el servidor PKM, responde a estos requerimientos asegurando que un cliente SS individual recibe solamente el material de claves para el cual esta autorizado.

El protocolo PKM utiliza criptografía de clave pública para establecer un secreto compartido (por ejemplo una Clave de Autorización (*Authorization Key, AK*)) entre la SS y la BS. El secreto compartido se utiliza posteriormente para asegurar intercambios subsecuentes de Claves de Encriptación de Tráfico (*Traffic Encryption Key, TEK*). Estos dos mecanismos entrelazados para la distribución de claves permiten el refresco de TEKs sin incurrir en encabezados de operaciones intensivas de cálculos de claves públicas.

Una BS autentica a un cliente SS durante el intercambio inicial de autorización. Cada SS lleva un certificado digital único X.509 emitido por el fabricante de la SS. El certificado digital contiene la clave pública de la SS en su dirección MAC. Cuando se solicita un AK, una SS presenta su certificado digital a la BS, la BS verifica su certificado digital y luego utiliza la clave pública verificada para encriptar el AK, el cual se reenvía posteriormente por la BS a las SSs que los requirieron.

Todas las SSs deben tener instalado de fábrica un par de claves RSA privadas/publicas o proporcionar un algoritmo interno para generar el par de claves dinámicamente. Si una SS se basa en un algoritmo interno para generar su par de claves de RSA, la SS debe generar el par de claves antes de su primer intercambio de AK. Todas las SSs con pares de claves RSA instaladas en fábrica deben también tener instalados de fábrica los certificados X.509 y deben soportar un mecanismo para la instalación de certificados X.509 emitidos por los fabricantes siguiendo la generación de claves.

- **Intercambio de la clave de encriptación de tráfico para la topología de malla**

Al lograr la autorización, un nodo inicia con cada vecino un estado de maquina TEK por separado para cada uno de los Identificadores de Asociación Segura (*Security Association Identifier*, SAID) reconocidos en el mensaje de respuesta de autorización. Cada estado de maquina TEK que opera dentro del nodo es responsable de mantener el material de clave asociado con su respectivo SAID. El nodo es responsable de mantener las TEKs entre él y todos los nodos con los que inicia un intercambio TEK. Sus estados de maquina TEK envían periódicamente mensajes de solicitud de clave a los vecinos del nodo, solicitando una actualización del material de claves para sus respectivos SAIDs. El vecino responde a la solicitud de clave con un mensaje de respuesta de clave que contiene el material de clave activo para un SAID específico.

La clave de encriptación de tráfico se codifica en la respuesta de clave utilizando la clave pública del nodo, que se encuentra en el atributo de certificado de la estación subscriptora.

Cabe notar que el nodo siempre mantiene dos conjuntos activos de material de clave por SAIDs y por vecino. El tiempo de vida de las dos generaciones se superpone de manera que cada generación se activa a media vida de su predecesor y expira a media vida de su sucesor. Un vecino incluye en sus respuestas de clave las dos generaciones activas del SAID del material de clave.

La respuesta de clave proporciona al nodo solicitante, además del TEK, la vida restante de cada uno de los dos conjuntos de material de clave. El nodo receptor utiliza este tiempo de vida restante para estimar cuando el vecino invalida un TEK

## ANEXO E. ANÁLISIS DE LOS TRAYECTOS DE PROPAGACIÓN DE LA WMN PARA LA MICRORED DE SAN CARLOS

Las siguientes secciones muestran el análisis de los trayectos de propagación para cada uno de los enlaces que cuentan con LOS entre los puntos o establecimientos pertenecientes a la microred de San Carlos. Este análisis se realizó a partir de la herramienta *software* de libre distribución llamada Radio Mobile que permite simular las condiciones de un enlace inalámbrico mediante el manejo de los parámetros más sobresalientes de éste.

En cada uno de los enlaces puede observarse los valores de pérdidas por espacio libre (*PathLoss*), nivel de potencia en recepción (*Rx level*) y SOM (*RX Relative*) asociados al trayecto de propagación, así como los valores de potencia de transmisión, pérdidas, ganancia de antena, sensibilidad del receptor, frecuencia de operación y altura de antena configurados en cada punto. El resultado de SOM encontrado en cada enlace confirma que los valores manejados (de variables del entorno y especificaciones de equipos) reúnen las condiciones necesarias para garantizar la viabilidad y disponibilidad de todos los enlaces, pues en ningún caso se presentan valores de SOM menores a los 10 dB con lo cual se logra al menos un 90% de disponibilidad.

Adicionalmente, se presentan las plantillas de levantamiento del sitio para cada uno de los enlaces, las cuales representan una primera evaluación de las condiciones físicas en las cuales se encuentra cada sitio de emplazamiento identificando factores como su ubicación geográfica, presencia de energía, condición de LOS entre los puntos y distancia entre ellos, entre otros. Esta información será de gran ayuda en el momento de la implementación de la red.

### E.1 ENLACE FIET-EL TRANAL

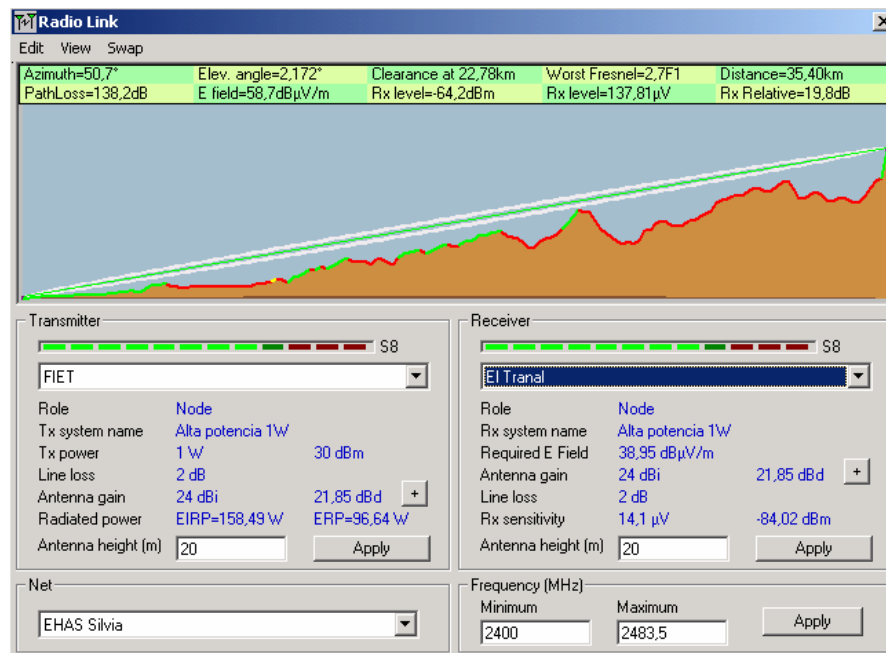


Figura E-1. Perfil del enlace FIET-Cerro el Tranal

#### E.1.1 Plantilla de Levantamiento de la FIET

##### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Terraza "El Palomar" Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca

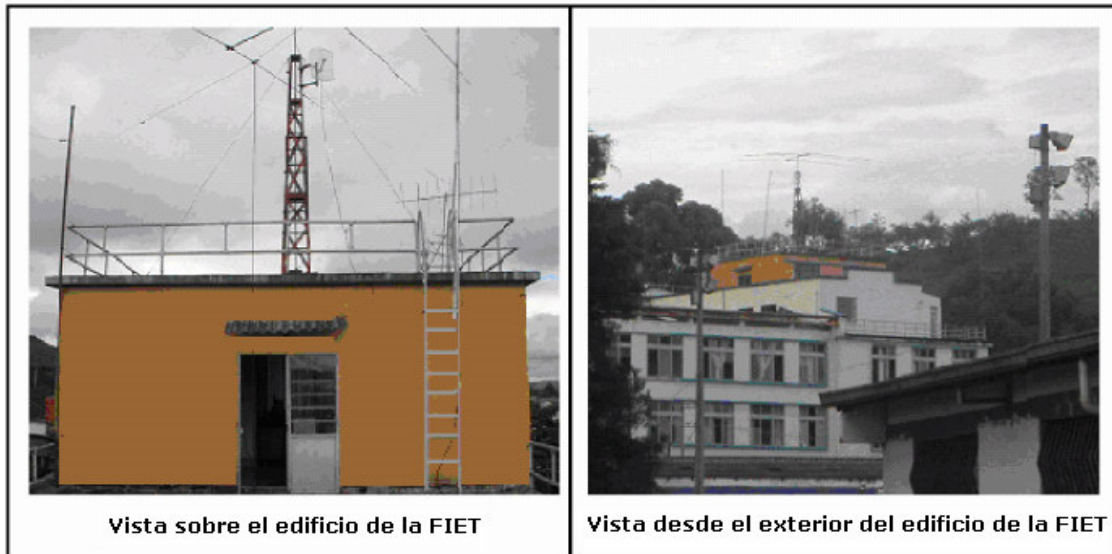
Dirección: Cra 3 # 3N - 100 Sector Tulcán Popayán - Colombia

Teléfono: 8209800 Ext. 2106

Latitud: Grados: 2° Minutos: 26' Segundos: 48" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76° Minutos: 35' Segundos: 55" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 1744 m  
Personas autorizadas: Ing. Víctor Quintero, Ing. Luis Guerrero

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No \_\_\_ (Ver Foto 1)



**Foto 1. Terraza "El Palomar" Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca**

Tierra física adecuada: Si X No \_\_\_  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X No \_\_\_  
Ubicación tomas de corriente: Si X No \_\_\_  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_  
Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_  
Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si X No \_\_\_  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-1)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X  
Estimado de la distancia entre puntos: 35.40 Km

### E.1.2 Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Cerro El Tranal  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_  
Latitud: Grados: 2° Minutos: 39' Segundos: 06" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76° Minutos: 21' Segundos: 19" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3170 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS, personal del resguardo indígena

**Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si X No \_\_\_ (Ver Foto 2)



Cortesía: Proyecto EHAS-Silvia

**Foto 2. Cerro El Tranal**

Tierra física adecuada: Si \_\_\_ No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si \_\_\_ No X

Ubicación tomas de corriente: Si \_\_\_ No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_

Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_

Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

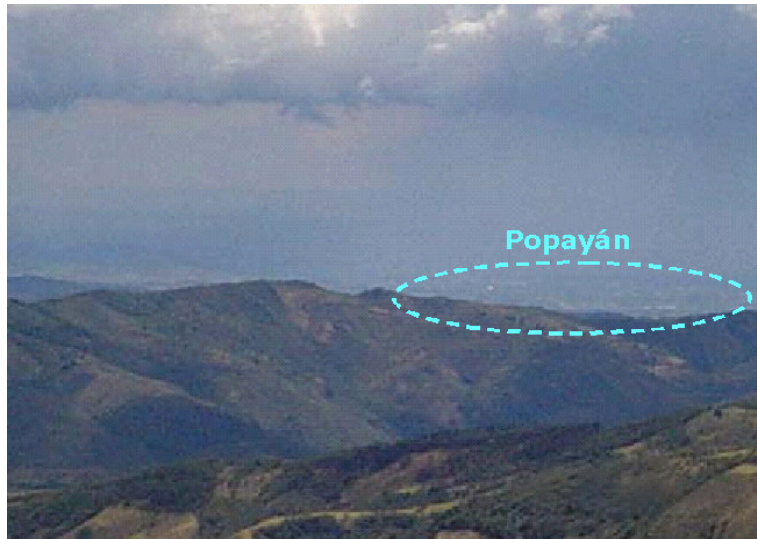
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No \_\_\_

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-1)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si X No \_\_\_ (Ver Foto 3)



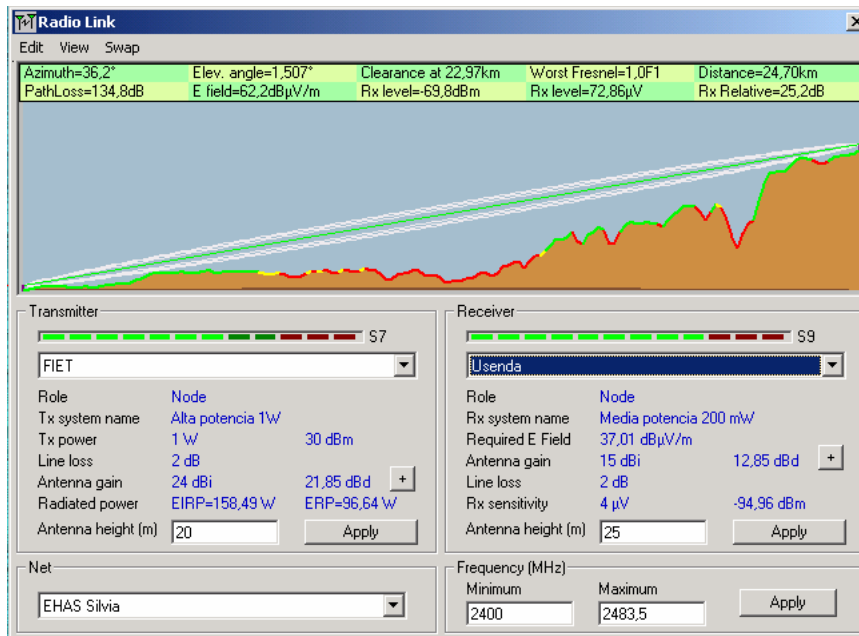
Cortesía: Proyecto EHAS-Silvia

**Foto 3. Línea de vista desde el cerro El Tranal hacia Popayán**



Estimado de la distancia entre puntos: 35,40 Km

## E.2 ENLACE FIET-USENDA



**Figura E-2. Perfil del enlace FIET-Usenda**

### E.2.1 Plantilla de Levantamiento de la FIET

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Terraza "El Palomar" Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca

Dirección: Cra 3 # 3N - 100 Sector Tulcán Popayán - Colombia

Teléfono: 8209800 Ext. 2106

Latitud: Grados: 2º Minutos: 26' Segundos: 48" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 35' Segundos: 55" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 1744 m

Personas autorizadas: Ing. Víctor Quintero, Ing. Luis Guerrero

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  (Ver Foto 1)

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-2)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 24,70 Km



## E.2.2 Plantilla de Levantamiento del PS Usenda

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Usenda

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2° Minutos: 37' Segundos: 45" Norte (N)

Longitud: Grados: 76° Minutos: 28' Segundos: 14.22" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2426 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 4)



Cortesía: Proyecto EHAS-Silvia

**Foto 4. Puesto de salud Usenda**

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m (existente) 25 m (requerida)

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-2)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 24.70 Km

### E.3 ENLACE FIET-N3SC

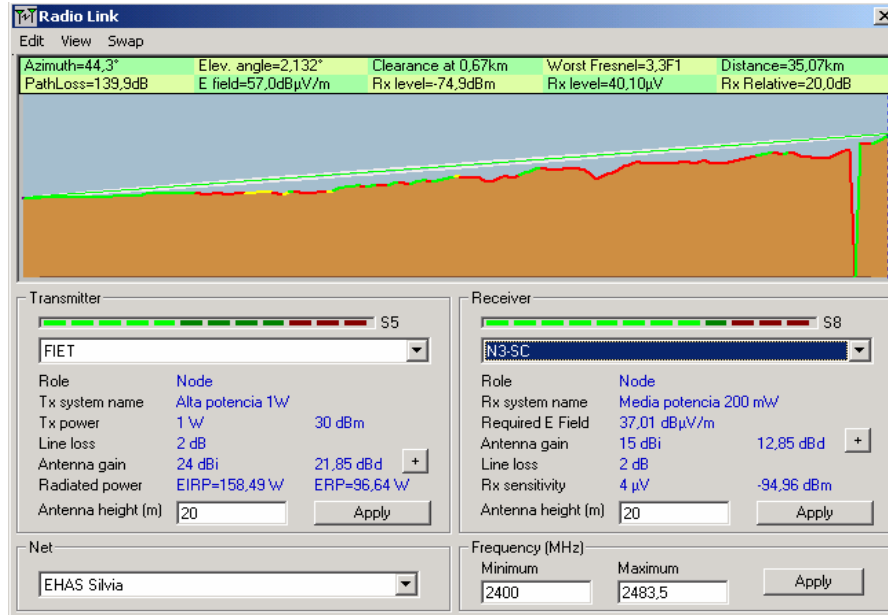


Figura E-3. Perfil del enlace FIET-N3SC

#### E.3.1 Plantilla de Levantamiento de la FIET

##### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Terraza "El Palomar" Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca

Dirección: Cra 3 # 3N - 100 Sector Tulcán Popayán - Colombia

Teléfono: 8209800 Ext. 2106

Latitud: Grados: 2° Minutos: 26' Segundos: 48" Norte (N)

Longitud: Grados: 76° Minutos: 35' Segundos: 55" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 1744 m

Personas autorizadas: Ing. Víctor Quintero, Ing. Luis Guerrero

##### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No \_\_\_ (Ver Foto 1)

Tierra física adecuada: Si X No \_\_\_

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X No \_\_\_

Ubicación tomas de corriente: Si X No \_\_\_

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_

Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_

Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No \_\_\_

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-3)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X

Estimado de la distancia entre puntos: 35.07 Km

### E.3.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3136 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-3)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 35.07 Km

### E.4 ENLACE FIET-N5SC

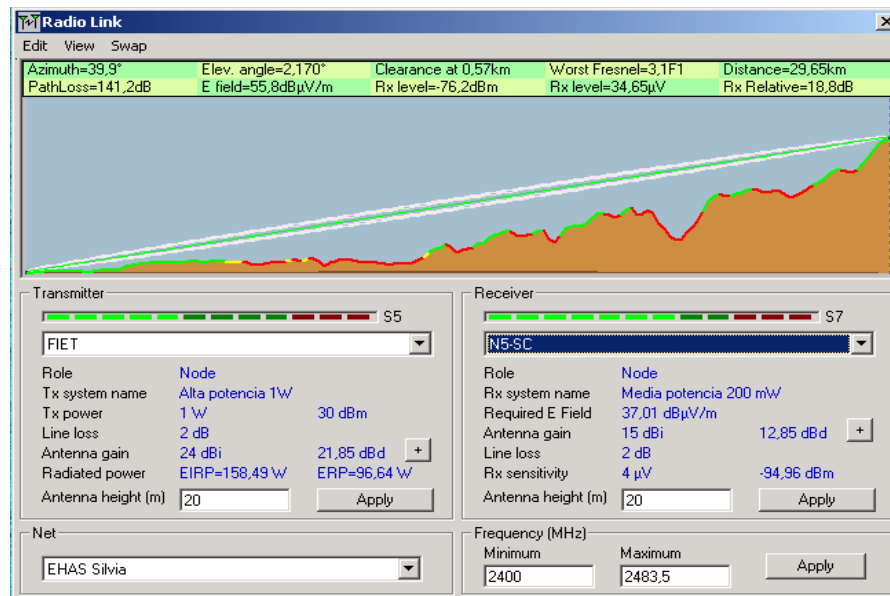


Figura E-4. Perfil del enlace FIET-N5SC

#### E.4.1 Plantilla de Levantamiento de la FIET

##### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Terraza "El Palomar" Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca

Dirección: Cra 3 # 3N – 100 Sector Tulcán Popayán – Colombia

Teléfono: 8209800 Ext. 2106

Latitud: Grados: 2º Minutos: 26' Segundos: 48" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 35' Segundos: 55" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 1744 m

Personas autorizadas: Ing. Víctor Quintero, Ing. Luis Guerrero

##### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No \_\_\_ (Ver Foto 1)

Tierra física adecuada: Si X No \_\_\_

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X No \_\_\_

Ubicación tomas de corriente: Si X No \_\_\_

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_

Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_

Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No \_\_\_

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-4)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X

Estimado de la distancia entre puntos: 29,65 Km

#### E.4.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

##### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono: \_\_\_

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2926 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

##### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si \_\_\_ No X

Tierra física adecuada: Si \_\_\_ No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si \_\_\_ No X

Ubicación tomas de corriente: Si \_\_\_ No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_

Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_

Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No \_\_\_

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-4)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X

Estimado de la distancia entre puntos: 29,65 Km

## E.5 ENLACE FIET-N6SC

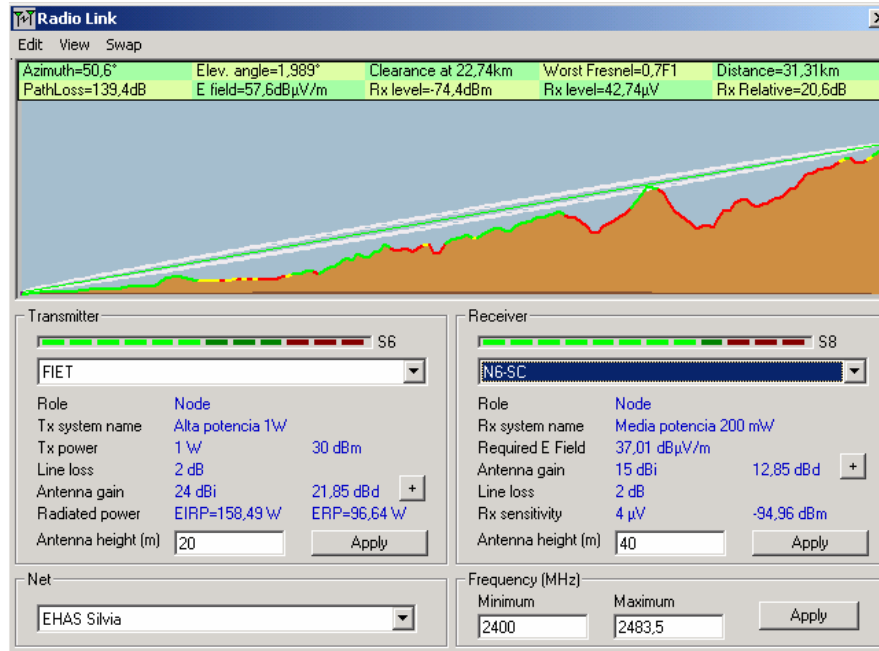


Figura E-5. Perfil del enlace FIET-N6SC

### E.5.1 Plantilla de levantamiento de la FIET

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Terraza "El Palomar" Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca  
Dirección: Cra 3 # 3N - 100 Sector Tulcán Popayán - Colombia  
Teléfono: 8209800 Ext. 2106  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 26' Segundos: 48" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 35' Segundos: 55" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 1744 m  
Personas autorizadas: Ing. Víctor Quintero, Ing. Luis Guerrero

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No \_\_\_ (Ver Foto 1)  
Tierra física adecuada: Si X No \_\_\_  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X No \_\_\_  
Ubicación tomas de corriente: Si X No \_\_\_  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_  
Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_  
Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si X No \_\_\_  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-5)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X  
Estimado de la distancia entre puntos: 31.31 Km

## E.5.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2878 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-5)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 31.31 Km

## E.6 ENLACE FIET-N7SC

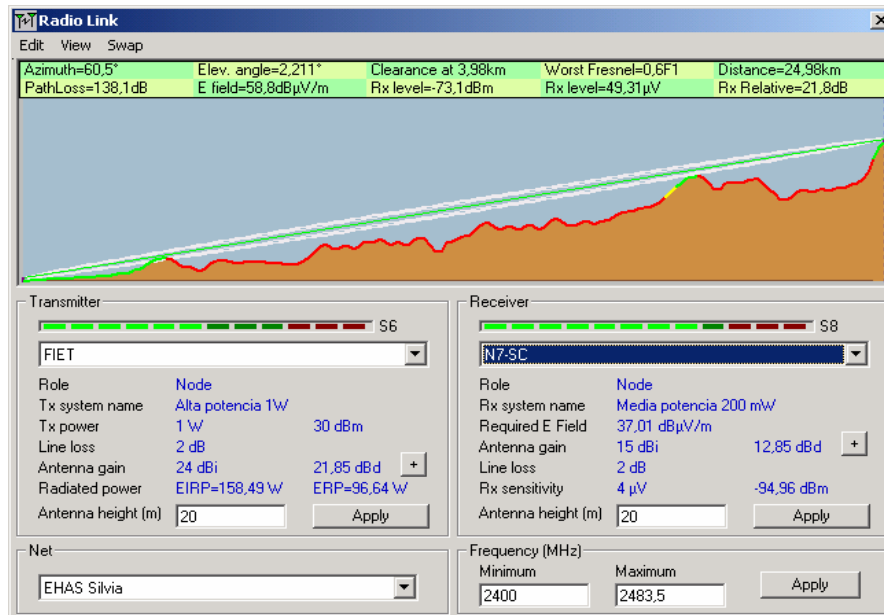


Figura E-6. Perfil del enlace FIET-N7SC

### E.6.1 Plantilla de Levantamiento de la FIET

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Terraza "El Palomar" Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca

Dirección: Cra 3 # 3N – 100 Sector Tulcán Popayán – Colombia

Teléfono: 8209800 Ext. 2106

Latitud: Grados: 2º Minutos: 26' Segundos: 48" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 35' Segundos: 55" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 1744 m

Personas autorizadas: Ing. Víctor Quintero, Ing. Luis Guerrero

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No \_\_\_ (Ver Foto 1)

Tierra física adecuada: Si X No \_\_\_

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X No \_\_\_

Ubicación tomas de corriente: Si X No \_\_\_

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_

Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_

Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No \_\_\_

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-6)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X

Estimado de la distancia entre puntos: 24.98 Km

### E.6.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono: \_\_\_

Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2747 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si \_\_\_ No X

Tierra física adecuada: Si \_\_\_ No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si \_\_\_ No X

Ubicación tomas de corriente: Si \_\_\_ No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_

Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_

Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No \_\_\_

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-6)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X

Estimado de la distancia entre puntos: 24.98 Km

## E.7 ENLACE EL TRANAL-SAN CARLOS

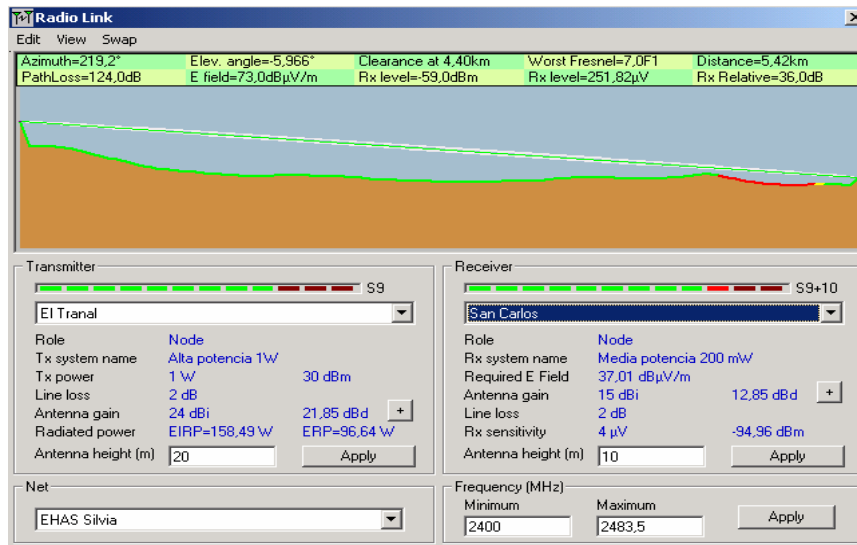


Figura E-7. Perfil del enlace El Tranal – San Carlos

### E.7.1 Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Cerro El Tranal

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 06" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 21' Segundos: 19" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3170 m

Personas autorizadas: Personal EHAS, personal del resguardo indígena

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  (Ver Foto 2)

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-7)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 5,42 Km

### E.7.2 Plantilla de Levantamiento del Hospital San Carlos

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Hospital San Carlos

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:



Latitud: Grados: 2° Minutos: 36' Segundos: 50" Norte (N)

Longitud: Grados: 76° Minutos: 23' Segundos: 10" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2583 m

Personas autorizadas: Personal del centro hospitalario, personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No \_\_\_ (Ver Foto 5)



Cortesía: Proyecto EHAS-Silvia

**Foto 5. Hospital San Carlos**

Tierra física adecuada: Si X(supuesta) No \_\_\_

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X(supuesta) No \_\_\_

Ubicación tomas de corriente: Si X No \_\_\_

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_

Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_

Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No \_\_\_

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_(Ver Figura E-7)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X

Estimado de la distancia entre puntos: 5.42 Km

## E.8 ENLACE EL TRANAL-N2SC

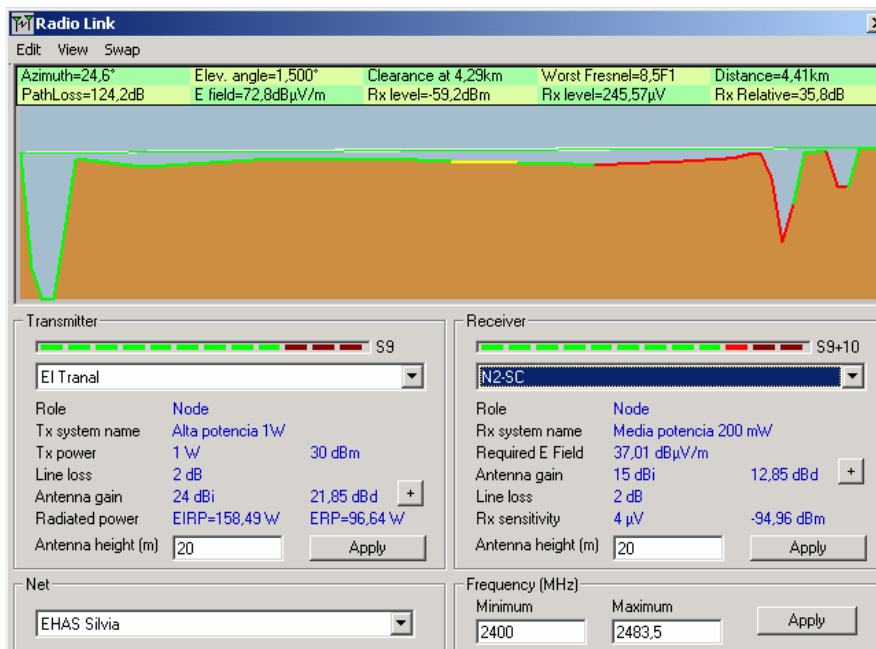


Figura E-8. Perfil del enlace El Tranal – N2SC

### E.8.1 Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Cerro El Tranal

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 06" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 21' Segundos: 19" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3170 m

Personas autorizadas: Personal EHAS, personal del resguardo indígena

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No      (Ver Foto 2)

Tierra física adecuada: Si      No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si      No X

Ubicación tomas de corriente: Si      No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No     

Autorización para colocación de la antena: Si X No     

Aeropuertos cercanos: Si      No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No     

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No      (Ver Figura E-8)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si      No X

Estimado de la distancia entre puntos: 4.41 Km

## E.8.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 2 de San Carlos (N2SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2° Minutos: 41' Segundos: 15.8" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76° Minutos: 20' Segundos: 19.4" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3292 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-8)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 4.41 Km

## E.9 ENLACE EL TRANAL-N3SC

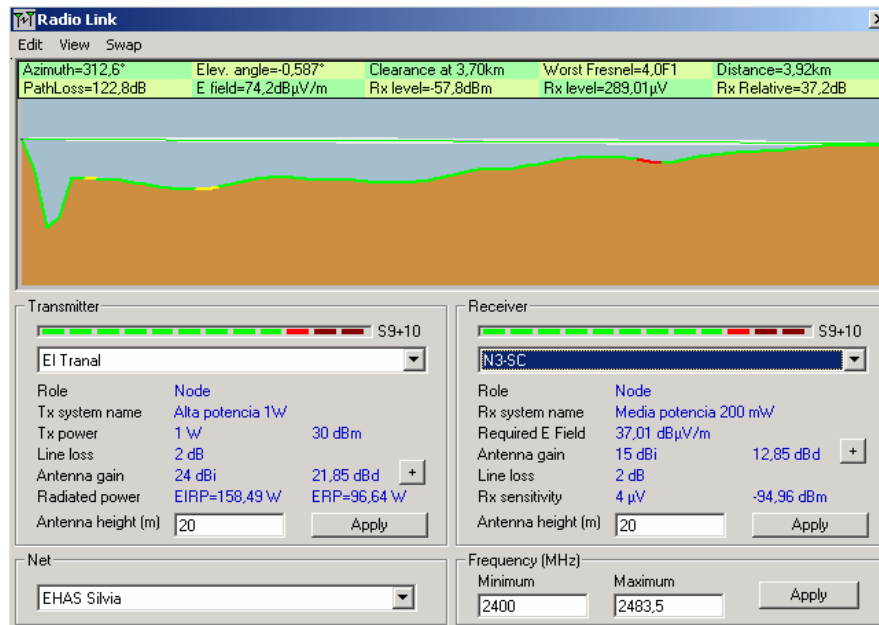


Figura E-9. Perfil del enlace El Tranal – N3SC

### E.9.1 Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Cerro El Tranal

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 06" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 21' Segundos: 19" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3170 m

Personas autorizadas: Personal EHAS, personal del resguardo indígena

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No      (Ver Foto 2)

Tierra física adecuada: Si      No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si      No X

Ubicación tomas de corriente: Si      No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No     

Autorización para colocación de la antena: Si X No     

Aeropuertos cercanos: Si      No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No     

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No      (Ver Figura E-9)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si      No X

Estimado de la distancia entre puntos: 3.92 Km

### E.9.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3136 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si      No X

Tierra física adecuada: Si      No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si      No X

Ubicación tomas de corriente: Si      No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No     

Autorización para colocación de la antena: Si X No     

Aeropuertos cercanos: Si      No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No     

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No      (Ver Figura E-9)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si      No X

Estimado de la distancia entre puntos: 3.92 Km

## E.10 ENLACE EL TRANAL-N5SC

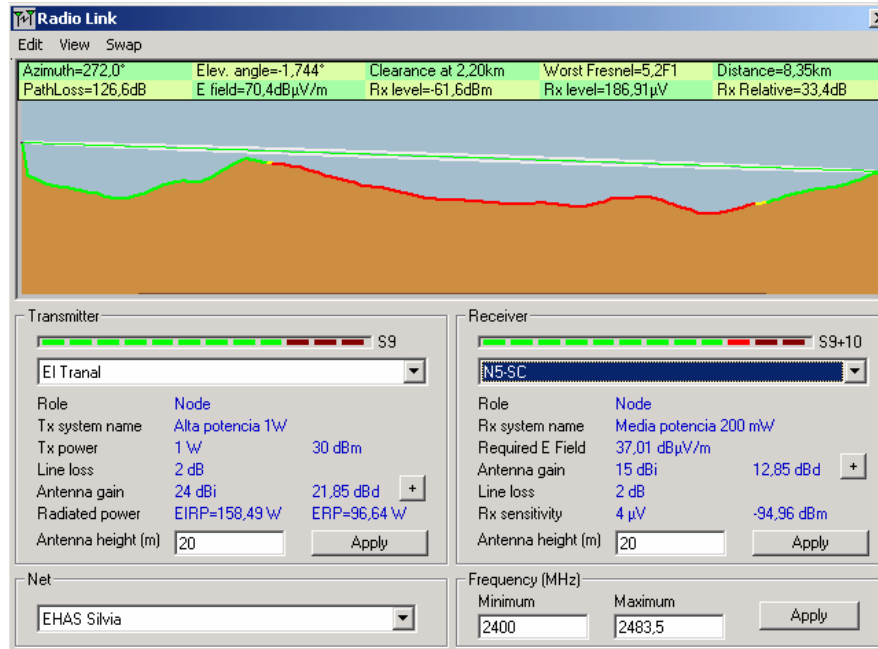


Figura E-10. Perfil del enlace El Tranal – N5SC

### E.10.1 Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Cerro El Tranal

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 06" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 21' Segundos: 19" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3170 m

Personas autorizadas: Personal EHAS, personal del resguardo indígena

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  (Ver Foto 2)

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-10)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 8.35 Km

## E.10.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2926 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-10)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 8.35 Km

## E.11 ENLACE EL TRANAL-N6SC

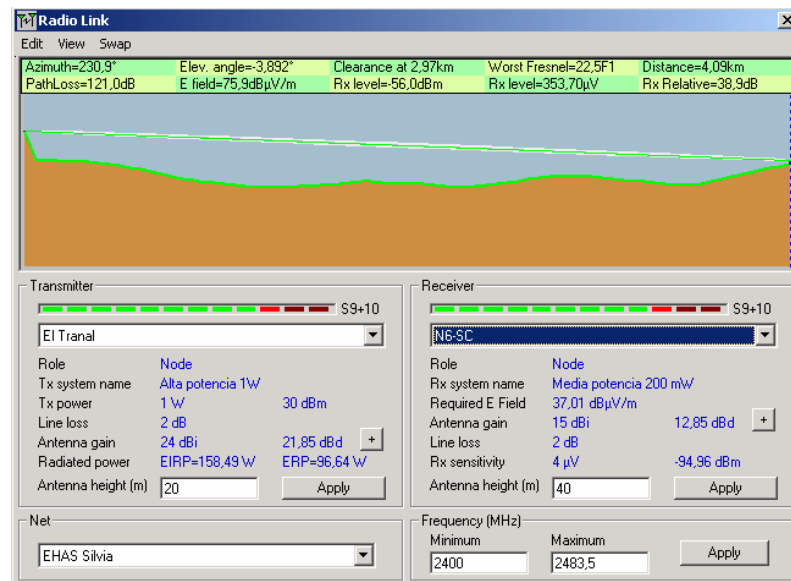


Figura E-11. Perfil del enlace El Tranal – N6SC

### E.11.1 Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Cerro El Tranal

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 06" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 21' Segundos: 19" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3170 m

Personas autorizadas: Personal EHAS, personal del resguardo indígena

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si X No      (Ver Foto 2)

Tierra física adecuada: Si      No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si      No X

Ubicación tomas de corriente: Si      No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No     

Autorización para colocación de la antena: Si X No     

Aeropuertos cercanos: Si      No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No     

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No      (Ver Figura E-11)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si      No X

Estimado de la distancia entre puntos: 4.09 Km

### **E.11.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)**

#### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2878 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si      No X

Tierra física adecuada: Si      No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si      No X

Ubicación tomas de corriente: Si      No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No     

Autorización para colocación de la antena: Si X No     

Aeropuertos cercanos: Si      No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No     

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No      (Ver Figura E-11)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si      No X

Estimado de la distancia entre puntos: 4.09 Km

## E.12 ENLACE EL TRANAL-N7SC

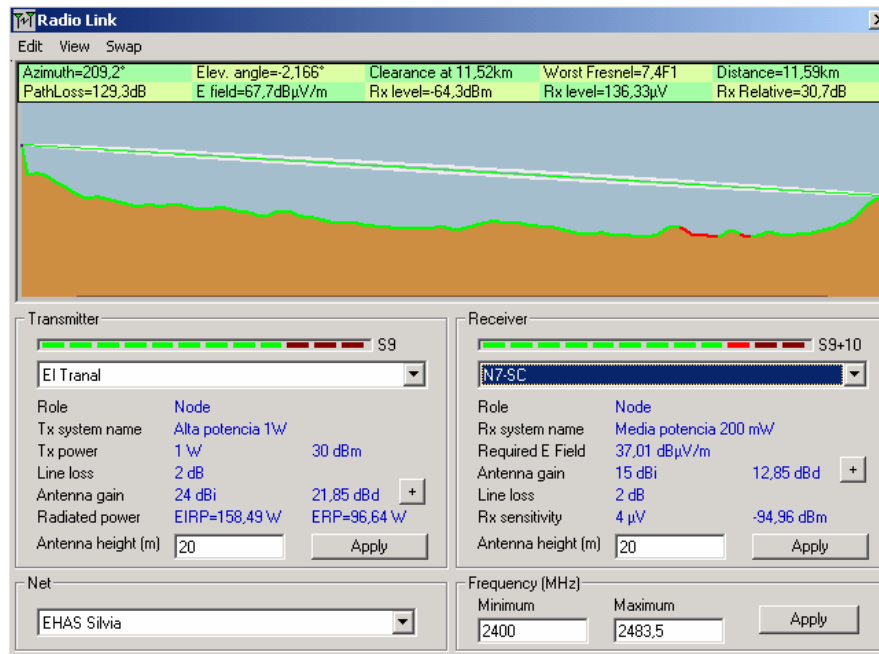


Figura E-12. Perfil del enlace El Tranal – N7SC

### E.12.1 Plantilla de Levantamiento del Cerro el Tranal

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Cerro El Tranal

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 06" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 21' Segundos: 19" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3170 m

Personas autorizadas: Personal EHAS, personal del resguardo indígena

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  (Ver Foto 2)

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-12)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 11,59 Km



## E.12.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2747 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-12)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 11.59 Km

## E.13 ENLACE EL TRANAL-N8SC

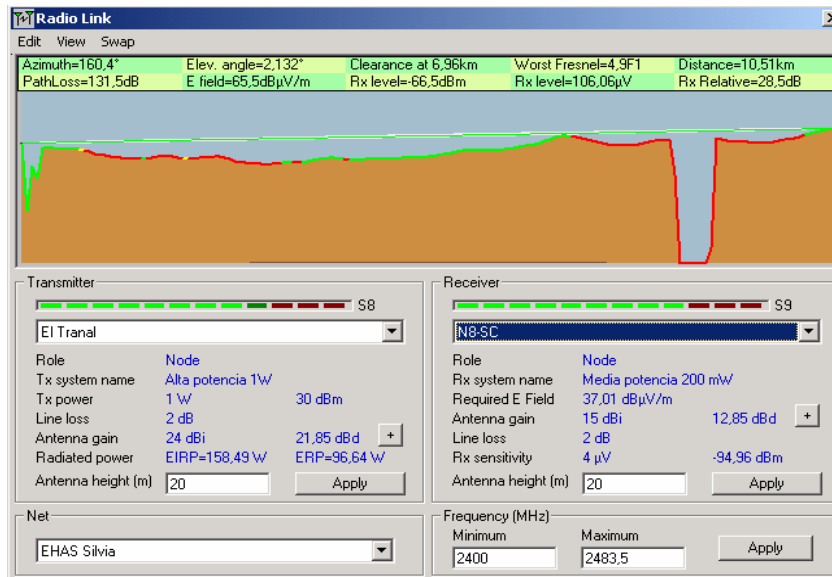


Figura E-13. Perfil del enlace El Tranal – N8SC

### E.13.1 Plantilla de levantamiento del Cerro el Tranal

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Cerro El Tranal

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 06" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 21' Segundos: 19" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3170 m

Personas autorizadas: Personal EHAS, personal del resguardo indígena

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si X No      (Ver Foto 2)

Tierra física adecuada: Si      No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si      No X

Ubicación tomas de corriente: Si      No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No     

Autorización para colocación de la antena: Si X No     

Aeropuertos cercanos: Si      No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No     

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No      (Ver Figura E-13)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si      No X

Estimado de la distancia entre puntos: 10.58 Km

### **E.13.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC)**

#### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 8 de San Carlos (N8SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:     

Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 45.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 24.6" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3575 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si      No X

Tierra física adecuada: Si      No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si      No X

Ubicación tomas de corriente: Si      No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No     

Autorización para colocación de la antena: Si X No     

Aeropuertos cercanos: Si      No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No     

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No      (Ver Figura E-13)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si      No X

Estimado de la distancia entre puntos: 10.58 Km

## E.14 ENLACE SAN CARLOS-N6SC

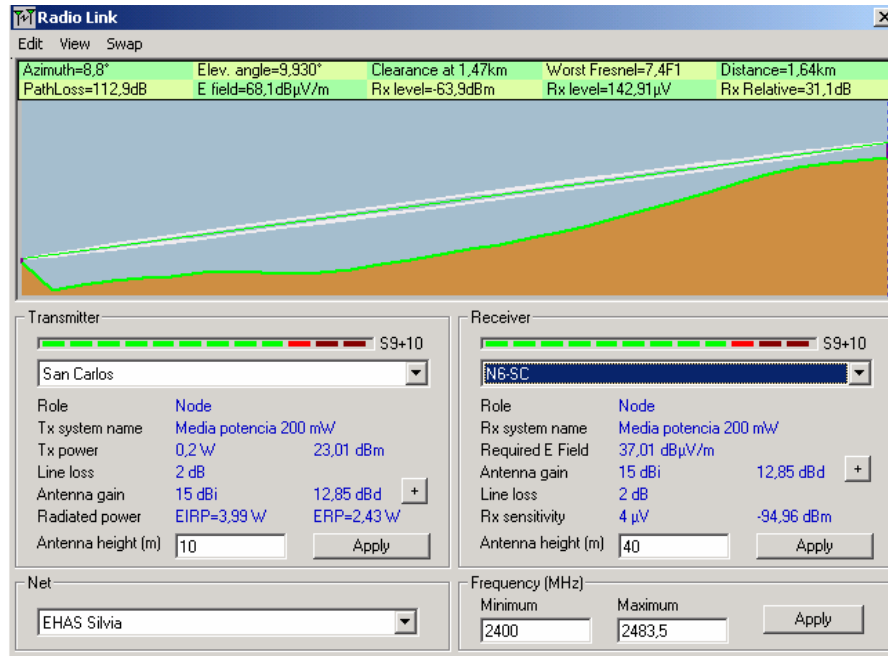


Figura E-14. Perfil del enlace San Carlos – N6SC

### E.14.1 Plantilla de Levantamiento del Hospital San Carlos

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Hospital San Carlos

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2° Minutos: 36' Segundos: 50" Norte (N)

Longitud: Grados: 76° Minutos: 23' Segundos: 10" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2583 m

Personas autorizadas: Personal del centro hospitalario, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  (Ver Foto 5)

Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-14)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 1,64 Km

## E.14.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2878 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-14)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 1.64 Km

## E.15 ENLACE SAN CARLOS-N7SC

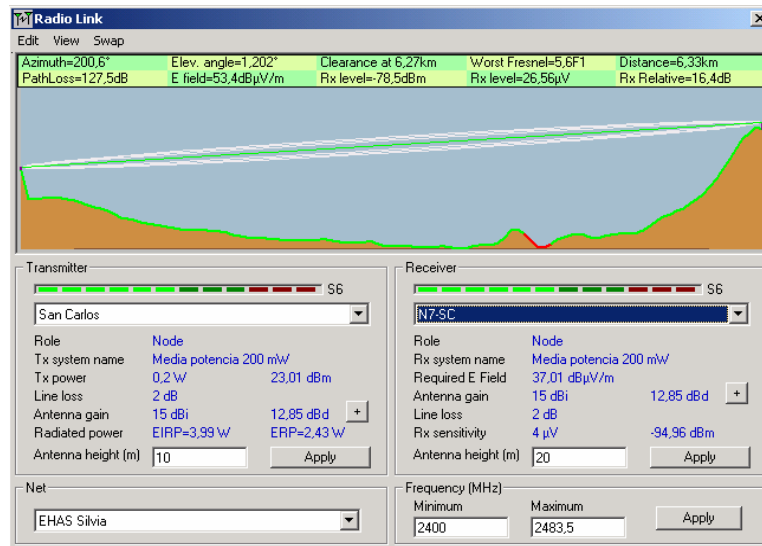


Figura E-15. Perfil del enlace San Carlos – N7SC

### E.15.1 Plantilla de Levantamiento del Hospital San Carlos

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Hospital San Carlos  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_

Latitud: Grados: 2º Minutos: 36' Segundos: 50" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 10" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2583 m  
Personas autorizadas: Personal del centro hospitalario, personal EHAS

#### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si X No \_\_\_ (Ver Foto 5)

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No \_\_\_

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No \_\_\_

Ubicación tomas de corriente: Si X No \_\_\_

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_

Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_

Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No \_\_\_

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-15)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X

Estimado de la distancia entre puntos: 6.33 Km

#### **E.15.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)**

##### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono: \_\_\_

Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2747 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

##### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si \_\_\_ No X

Tierra física adecuada: Si \_\_\_ No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si \_\_\_ No X

Ubicación tomas de corriente: Si \_\_\_ No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_

Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_

Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No \_\_\_

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-15)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X

Estimado de la distancia entre puntos: 6.33 Km

## E.16 ENLACE SAN CARLOS-N8SC

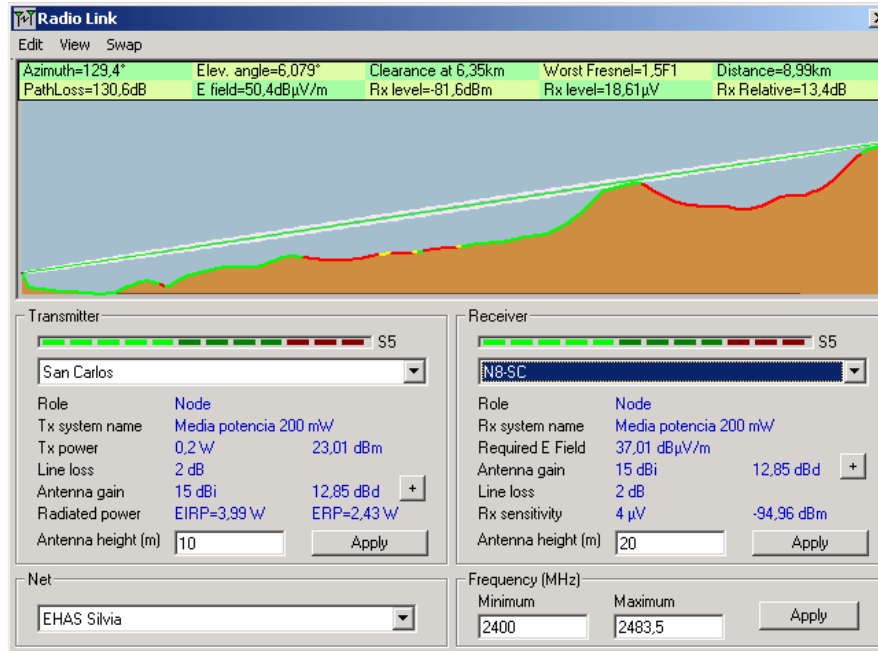


Figura E-16. Perfil del enlace San Carlos – N8SC

### E.16.1 Plantilla de Levantamiento del Hospital San Carlos

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Hospital San Carlos

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 36' Segundos: 50" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 10" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2583 m

Personas autorizadas: Personal del centro hospitalario, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 5)

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-16)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 9.07 Km

## E.16.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 8 de San Carlos (N8SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 45.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 24.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3575 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-16)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 9.07 Km

## E.17 ENLACE TUMBURÁO-QUICHAYÁ

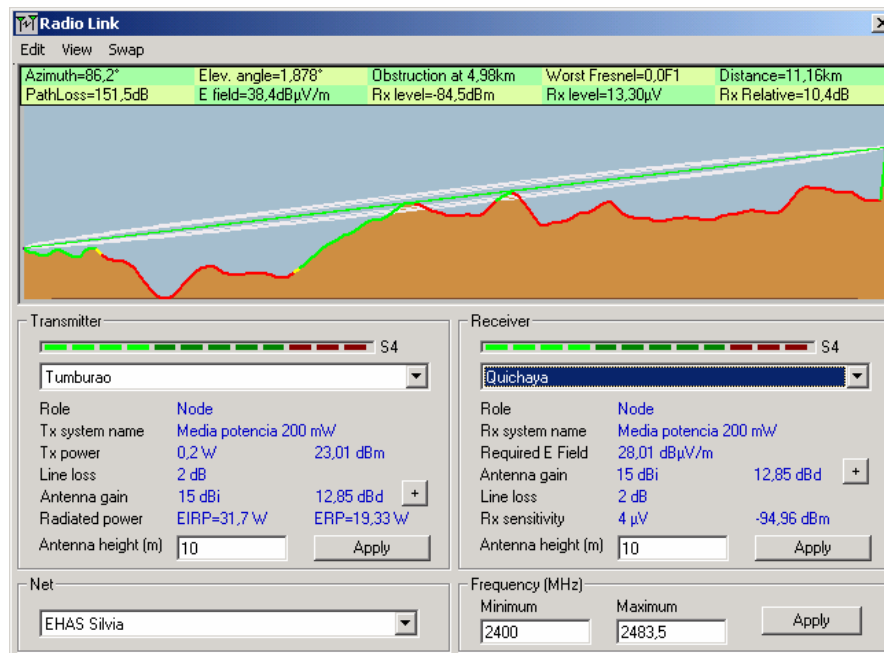


Figura E-17. Perfil del enlace Tumburáo – Quichayá

### E.17.1 Plantilla de Levantamiento del PS Tumburáo

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Tumburáo

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 46.2" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 29' Segundos: 6" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2224 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 6)



Cortesía: Proyecto EHAS-Silvia

**Foto 6. Puesto de salud Tumburáo**

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-17)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 11.16 Km

### E.17.2 Plantilla de Levantamiento del PS Quichayá

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Quichayá

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 43' Segundos: 10.2" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 04.7" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2600 m



Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-17)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 11.16 Km

## E.18 TUMBURÁO-N3SC

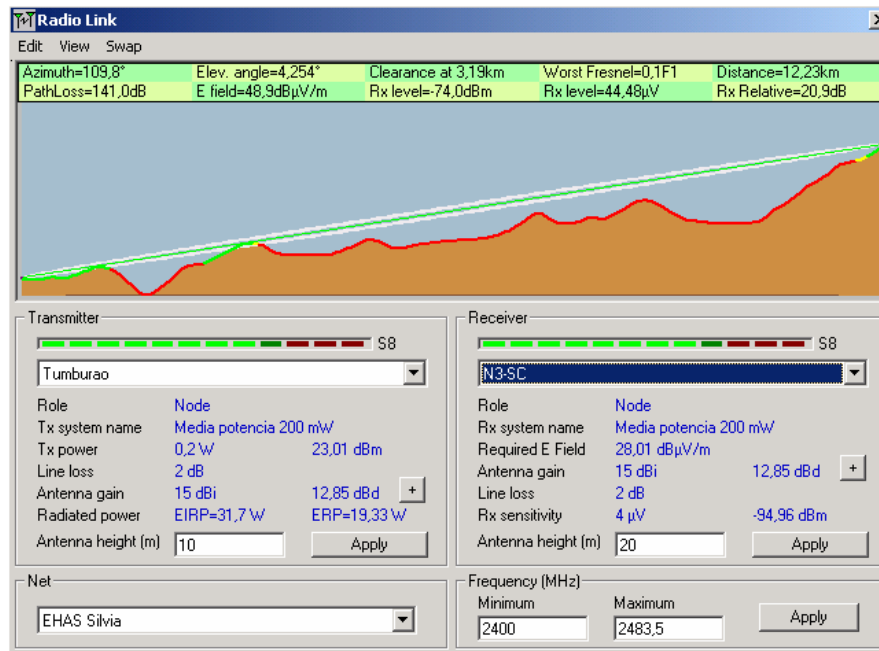


Figura E-18. Perfil del enlace Tumburáo – N3SC

### E.18.1 Plantilla de Levantamiento del PS Tumburáo

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Tumburáo

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 46.2" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 29' Segundos: 6" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2224 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No  (Ver Foto 6)  
Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-18)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 12.23 Km

### **E.18.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)**

#### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3136 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-18)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 12.23 Km

## E.19 ENLACE TUMBURÁO-N4SC

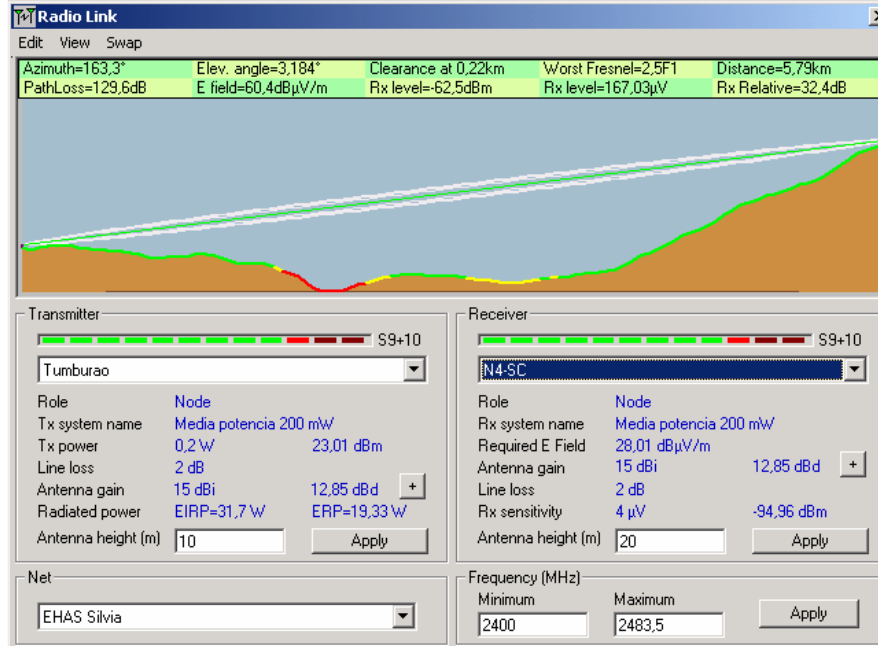


Figura E-19. Perfil del enlace Tumburáo – N4SC

### E.19.1 Plantilla de Levantamiento del PS Tumburáo

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Tumburáo

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 46.2" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 29' Segundos: 6" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2224 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 6)

Tierra física adecuada: Si X(supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X(supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No    (Ver Figura E-19)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 5.79 Km

## E.19.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 4 de San Carlos (N4SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 46.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 12.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2539 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-19)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 5.79 Km

## E.20 ENLACE TUMBURÁO-N5SC

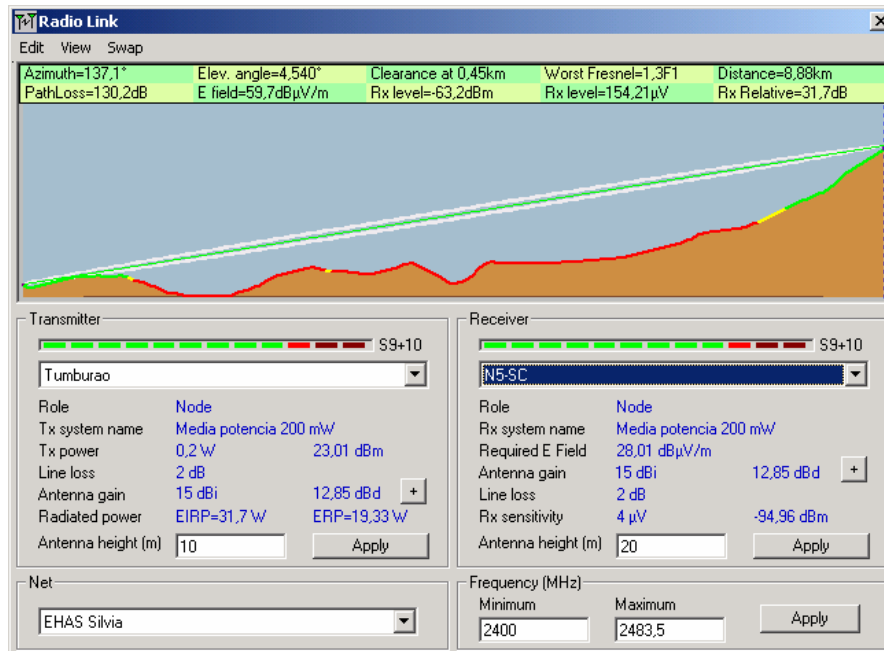


Figura E-20. Perfil del enlace Tumburáo – N5SC

## E.20.1 Plantilla de Levantamiento del PS Tumburáo

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Tumburáo

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 46.2" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 29' Segundos: 6" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2224 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 6)

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-20)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 8.88 Km

## E.20.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2926 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si     No X

Tierra física adecuada: Si     No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si     No X

Ubicación tomas de corriente: Si     No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-20)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 8.88 Km

## E.21 ENLACE QUICHAYÁ-N1SC

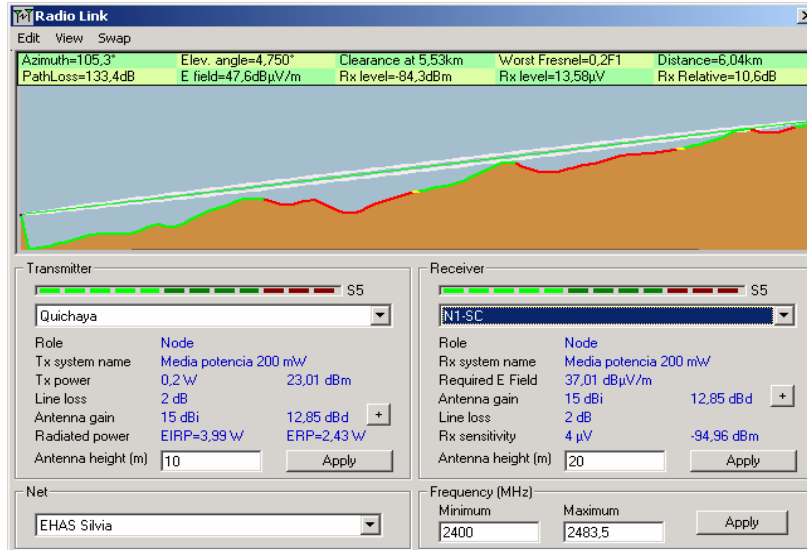


Figura E-21. Perfil del enlace Quichayá – N1SC

### E.21.1 Plantilla de Levantamiento del PS Quichayá

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Quichayá

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 43' Segundos: 10.2" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 04.7" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2600 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-21)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 6.04 Km

### E.21.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 1 de San Carlos (N1SC)

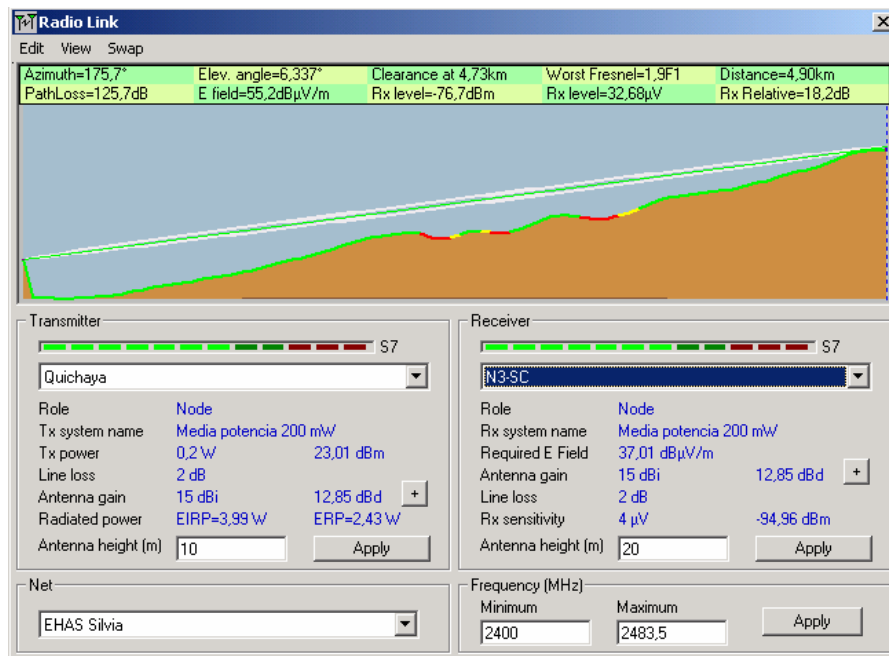
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono: \_\_\_\_\_  
 Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 18.5" Norte (N)  
 Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 55.8" Oeste (O)  
 Altitud (m S.N.M): 3095 m  
 Personas autorizadas: Personal EHAS

**Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
 Tierra física adecuada: Si  No   
 Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
 Ubicación tomas de corriente: Si  No   
 Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
 Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
 Autorización para colocación de la antena: Si  No   
 Aeropuertos cercanos: Si  No   
 Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
 Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
 Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
 Si  No   
 Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-21)  
 Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
 Estimado de la distancia entre puntos: 6.04 Km

**E.22 ENLACE QUICHAYÁ-N3SC**



**Figura E-22. Perfil del enlace Quichayá – N3SC**

**E.22.1 Plantilla de Levantamiento del PS Quichayá**

**Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Puesto de salud Quichayá  
 Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
 Teléfono: \_\_\_\_\_  
 Latitud: Grados: 2º Minutos: 43' Segundos: 10.2" Norte (N)  
 Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 04.7" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2600 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-22)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 4.90 Km

### **E.22.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)**

#### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3136 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-22)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 4.90 Km



## E.23 ENLACE PITAYÓ-N1SC

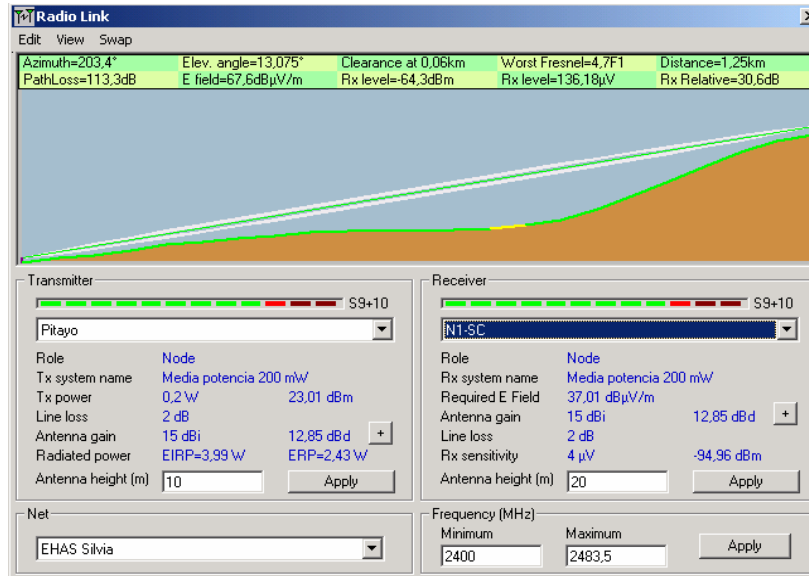


Figura E-23. Perfil del enlace Pitayó – N1SC

### E.23.1 Plantilla de Levantamiento del PS Pitayó

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Pitayó

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 55.6" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 39.8" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2815 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-23)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 1.25 Km

## E.23.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 1 de San Carlos (N1SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 18.5" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 55.8" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3095 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-23)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 1.25 Km

## E.24 ENLACE VALLE NUEVO-N3SC

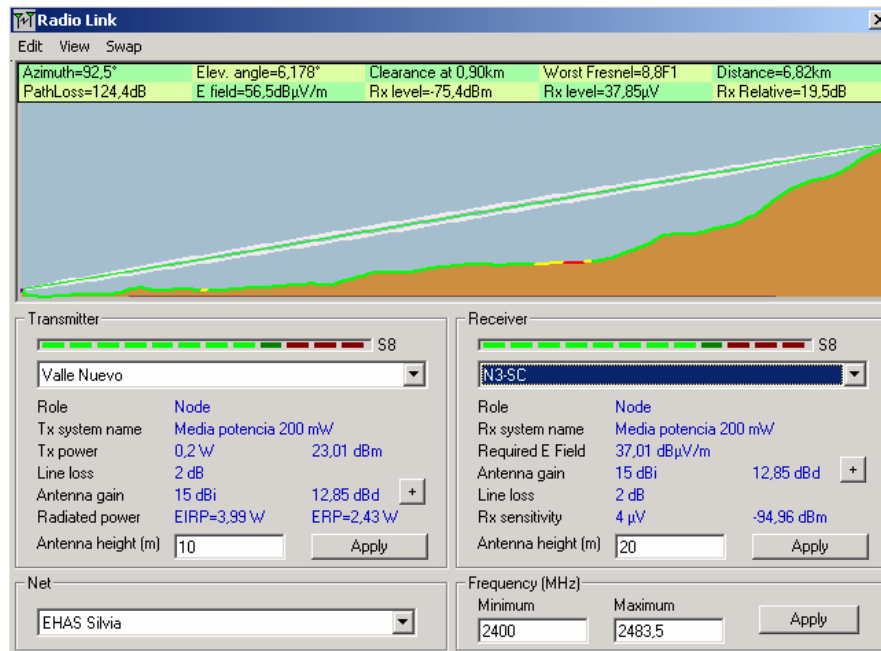


Figura E-24. Perfil del enlace Valle Nuevo – N3SC

### E.24.1 Plantilla de Levantamiento del PS Valle Nuevo

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Valle Nuevo  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 41.7" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 26' Segundos: 33.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2404 m  
Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si    No   X    
Tierra física adecuada: Si   X  (supuesta) No         
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si   X  (supuesta) No         
Ubicación tomas de corriente: Si   X   No         
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si   X   No         
Autorización para colocación de la antena: Si   X   No         
Aeropuertos cercanos: Si    No   X    
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si   X   No         
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si   X   No       (Ver Figura E-24)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si    No   X    
Estimado de la distancia entre puntos: 6.82 Km

### E.24.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3136 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si    No   X    
Tierra física adecuada: Si    No   X    
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si    No   X    
Ubicación tomas de corriente: Si    No   X    
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si   X   No         
Autorización para colocación de la antena: Si   X   No         
Aeropuertos cercanos: Si    No   X    
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si   X   No         
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si   X   No       (Ver Figura E-24)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si    No   X    
Estimado de la distancia entre puntos: 6.82 Km

## E.25 ENLACE VALLE NUEVO-N4SC

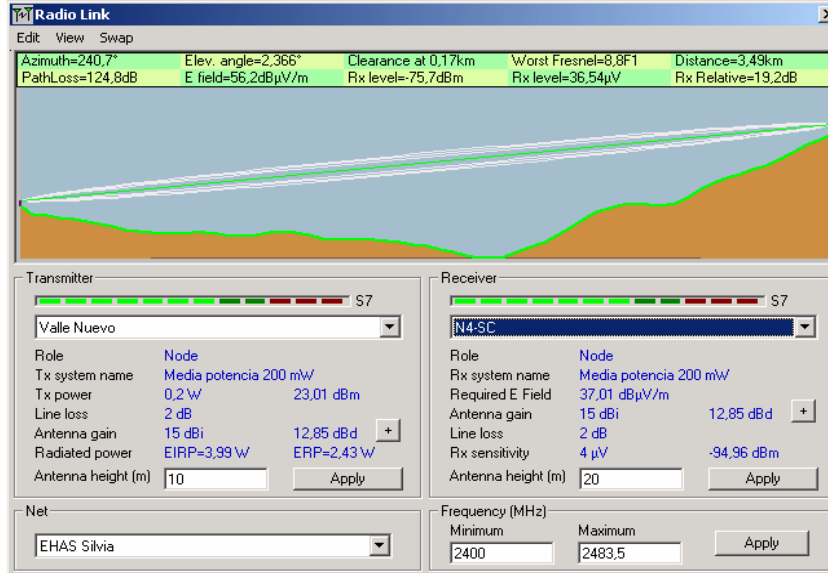


Figura E-25. Perfil del enlace Valle Nuevo – N4SC

### E.25.1 Plantilla de Levantamiento del PS Valle Nuevo

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Valle Nuevo

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 41.7" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 26' Segundos: 33.6" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2404 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-25)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 3,49 Km

### E.25.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

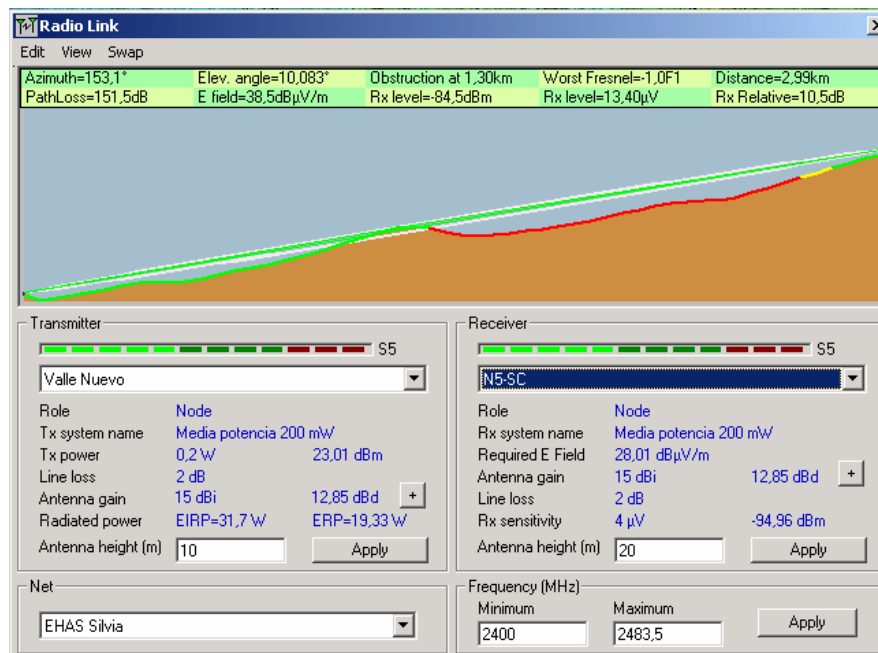
Nombre del lugar: Nodo de soporte 4 de San Carlos (N4SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
 Teléfono: \_\_\_\_\_  
 Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 46.4" Norte (N)  
 Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 12.1" Oeste (O)  
 Altitud (m S.N.M): 2539 m  
 Personas autorizadas: Personal EHAS

**Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
 Tierra física adecuada: Si  No   
 Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
 Ubicación tomas de corriente: Si  No   
 Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
 Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
 Autorización para colocación de la antena: Si  No   
 Aeropuertos cercanos: Si  No   
 Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
 Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
 Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
 Si  No   
 Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-25)  
 Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
 Estimado de la distancia entre puntos: 3.49 Km

**E.26 ENLACE VALLE NUEVO-N5SC**



**Figura E-26. Perfil del enlace Valle Nuevo – N5SC**

**E.26.1 Plantilla de Levantamiento del PS Valle Nuevo**

**Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Puesto de salud Valle Nuevo  
 Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
 Teléfono: \_\_\_\_\_  
 Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 41.7" Norte (N)

Longitud: Grados: 76° Minutos: 26' Segundos: 33.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2404 m  
Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-26)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 2.99 Km

### **E.26.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)**

#### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2° Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76° Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2926 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-26)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 2.99 Km

## E.27 ENLACE USENDA-QUIZGO

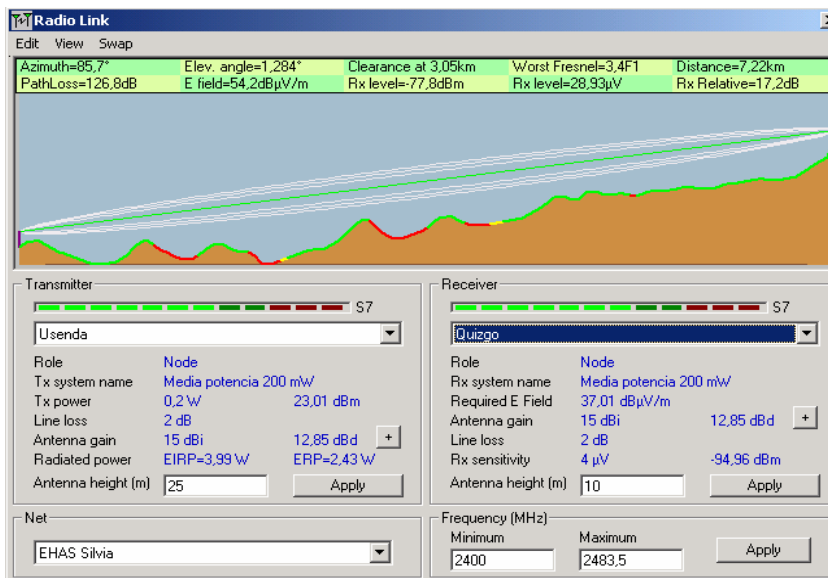


Figura E-27. Perfil del enlace Usenda - Quizgo

### E.27.1 Plantilla de Levantamiento del PS Usenda

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Usenda

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 45" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 14.22" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2426 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 4)

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m (existente) 25 m (requerida)

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-27)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 7.22 Km

## E.27.2 Plantilla de Levantamiento del PS Quizgo

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Quizgo

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 38' Segundos: 02.6" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 20.6" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2607 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 7)



Cortesía: Proyecto EHAS-Silvia

**Foto 7. Puesto de salud Quizgo**

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-27)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 7.22 Km



## E.28 ENLACE USENDA-N4SC

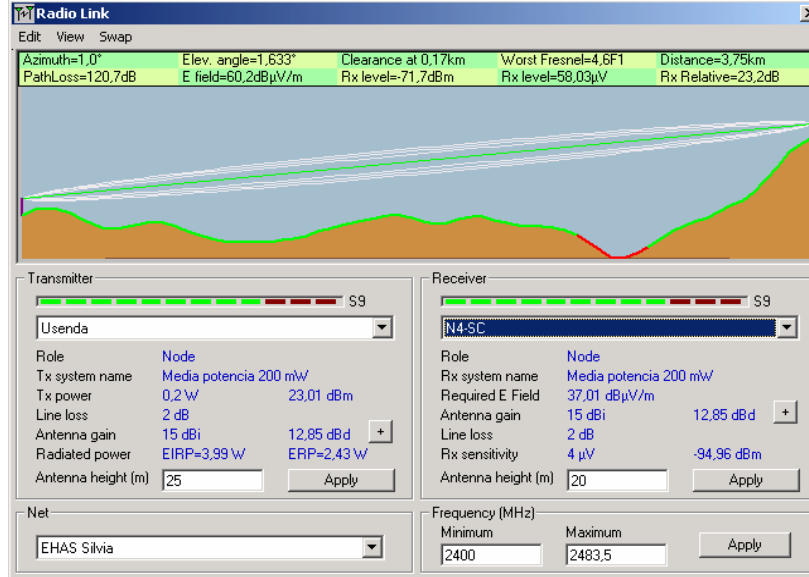


Figura E-28. Perfil del enlace Usenda – N4SC

### E.28.1 Plantilla de Levantamiento del PS Usenda

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Usenda

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 45" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 14.22" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2426 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 4)

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m (existente) 25 m (requerida)

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-28)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 3.75 Km

## E.28.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 4 de San Carlos (N4SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 46.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 12.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2539 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-28)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 3.75 Km

## E.29 ENLACE USENDA-N5SC

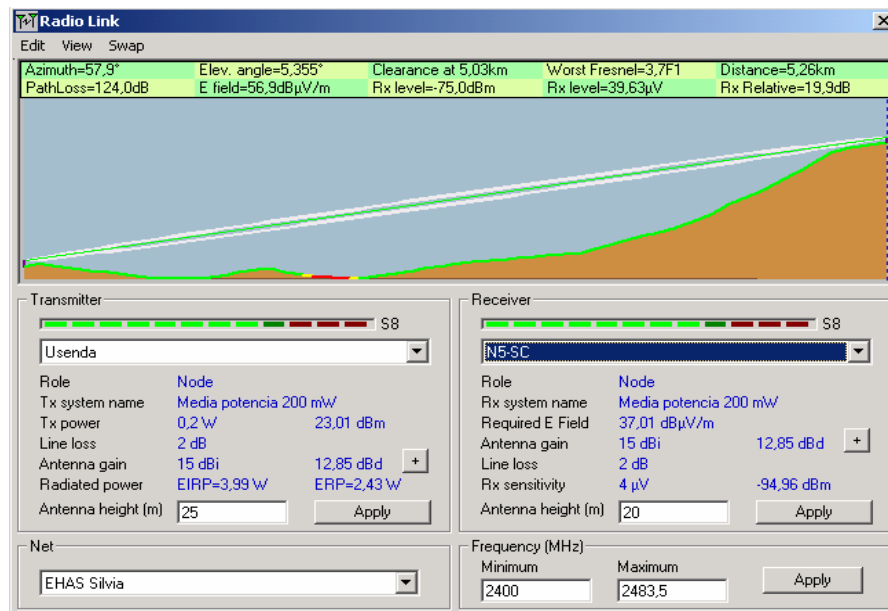


Figura E-29. Perfil del enlace Usenda – N5SC

### E.29.1 Plantilla de Levantamiento del PS Usenda

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Usenda

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 45" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 14.22" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2426 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 4)

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m (existente) 25 m (requerida)

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-29)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 5.26 Km

### E.29.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2926 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si     No X

Tierra física adecuada: Si     No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si     No X

Ubicación tomas de corriente: Si     No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-29)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 5.26 Km

### E.30 ENLACE USENDA-N6SC

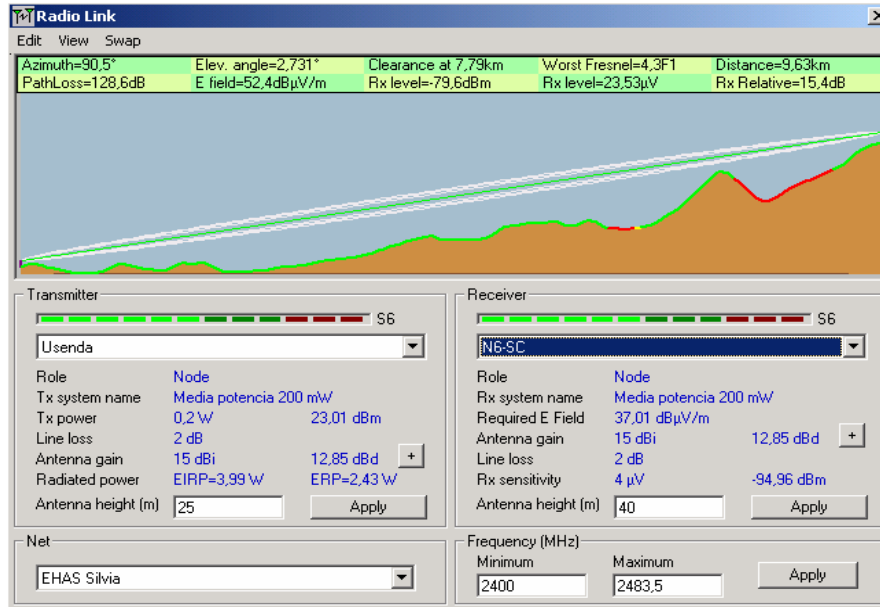


Figura E-30. Perfil del enlace Usenda – N6SC

#### E.30.1 Plantilla de Levantamiento del PS Usenda

##### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Usenda  
 Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
 Teléfono:         
 Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 45" Norte (N)  
 Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 14.22" Oeste (O)  
 Altitud (m S.N.M): 2426 m  
 Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

##### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 4)  
 Tierra física adecuada: Si X(supuesta) No      
 Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X(supuesta) No      
 Ubicación tomas de corriente: Si X No      
 Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m (existente) 25 m (requerida)  
 Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No      
 Autorización para colocación de la antena: Si X No      
 Aeropuertos cercanos: Si     No X  
 Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
 Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
 Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
 Si X No      
 Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No    (Ver Figura E-30)  
 Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X  
 Estimado de la distancia entre puntos: 9.63 Km

## E.30.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2878 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-30)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 9.63 Km

## E.31 ENLACE USENDA-N7SC

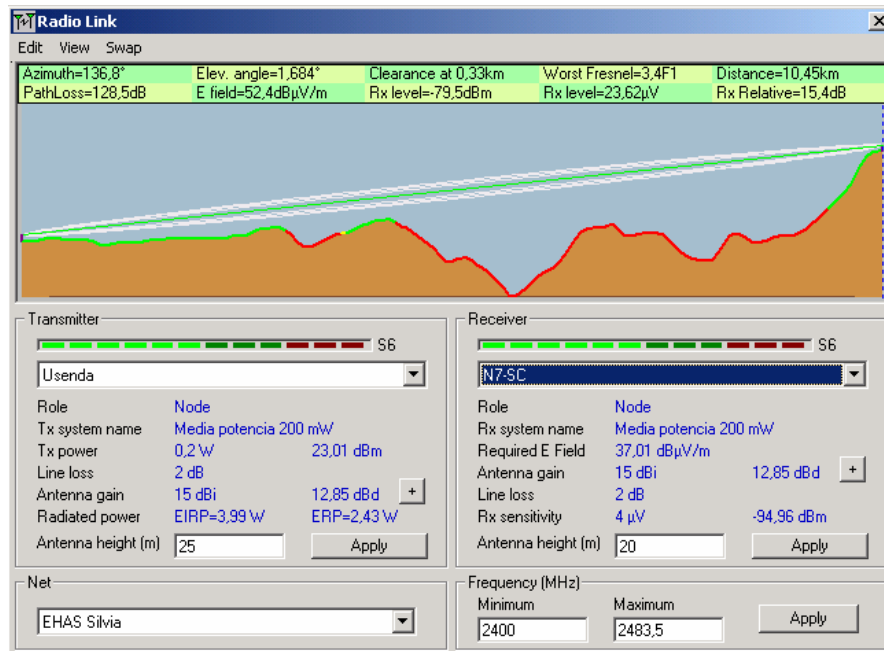


Figura E-31. Perfil del enlace Usenda – N7SC

### E.31.1 Plantilla de Levantamiento del PS Usenda

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Usenda

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 45" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 14.22" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2426 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 4)

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m (existente) 25 m (requerida)

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-31)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 10.45 Km

### E.31.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2747 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si     No X

Tierra física adecuada: Si     No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si     No X

Ubicación tomas de corriente: Si     No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-31)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 10.45 Km

## E.32 ENLACE USENDA-N8SC

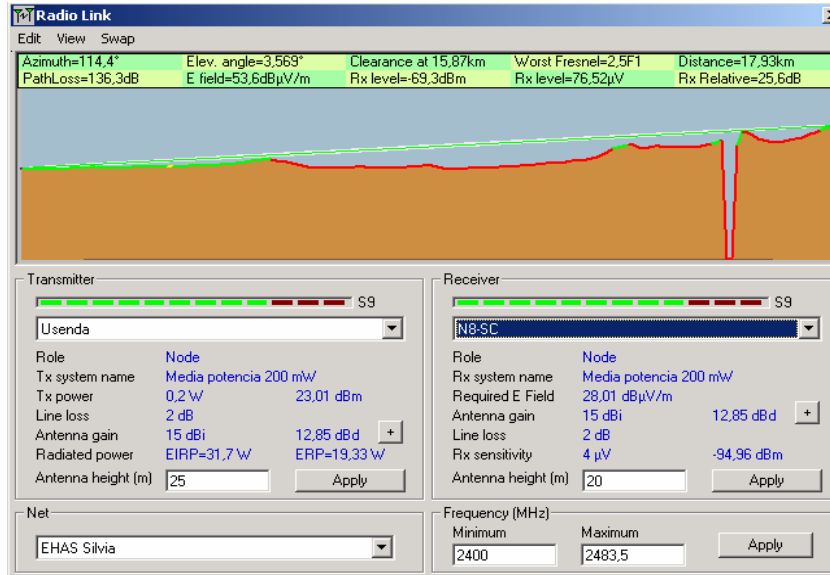


Figura E-32. Perfil del enlace Usenda – N8SC

### E.32.1 Plantilla de Levantamiento del PS Usenda

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Usenda

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 45" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 14.22" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2426 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  (Ver Foto 4)

Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m (existente) 25 m (requerida)

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-32)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 18 Km

## E.32.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 8 de San Carlos (N8SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 45.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 24.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3575 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-32)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 18 Km

## E.33 ENLACE QUIZGO-N5SC

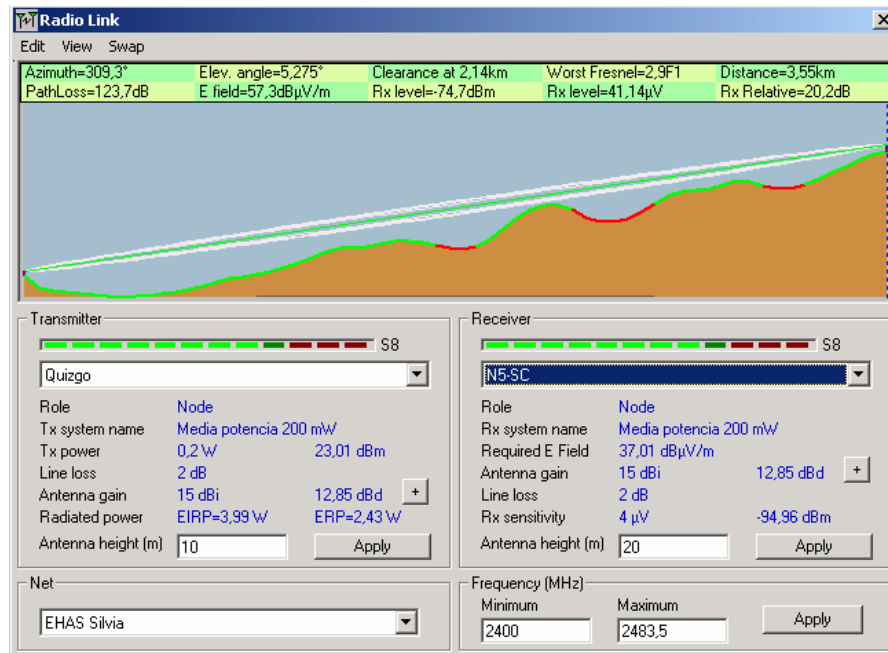


Figura E-33. Perfil del enlace Quizgo – N5SC



### E.33.1 Plantilla de Levantamiento del PS Quizgo

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Quizgo

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 38' Segundos: 02.6" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 20.6" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2607 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No     (Ver Foto 7)

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No    

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No    

Ubicación tomas de corriente: Si X No    

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-33)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 3.55 Km

### E.33.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2926 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si     No X

Tierra física adecuada: Si     No X

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si     No X

Ubicación tomas de corriente: Si     No X

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No    

Autorización para colocación de la antena: Si X No    

Aeropuertos cercanos: Si     No X

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si X No    

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No     (Ver Figura E-33)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si     No X

Estimado de la distancia entre puntos: 3.55 Km

## E.34 ENLACE QUIZGO-N6SC

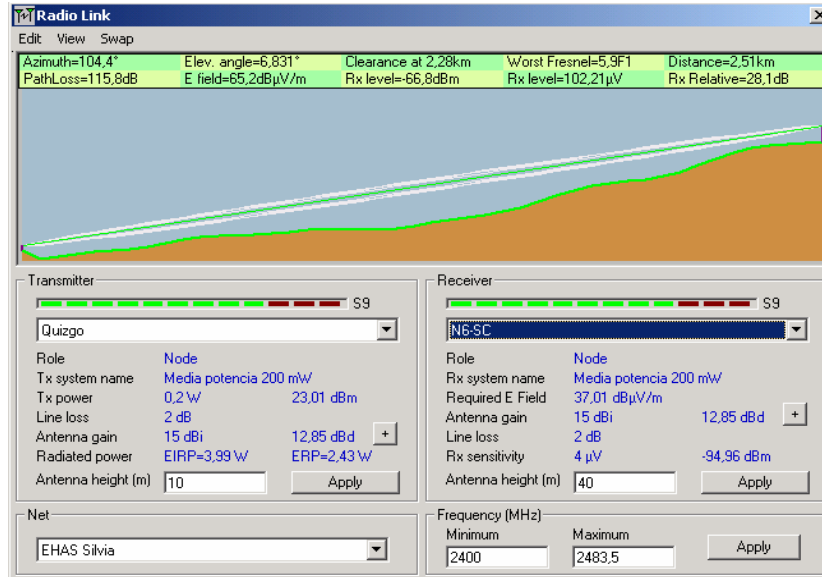


Figura E-34. Perfil del enlace Quizgo – N6SC

### E.34.1 Plantilla de Levantamiento del PS Quizgo

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Quizgo  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 38' Segundos: 02.6" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 20.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2607 m  
Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  (Ver Foto 7)  
Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-34)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 2.51 Km

### E.34.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

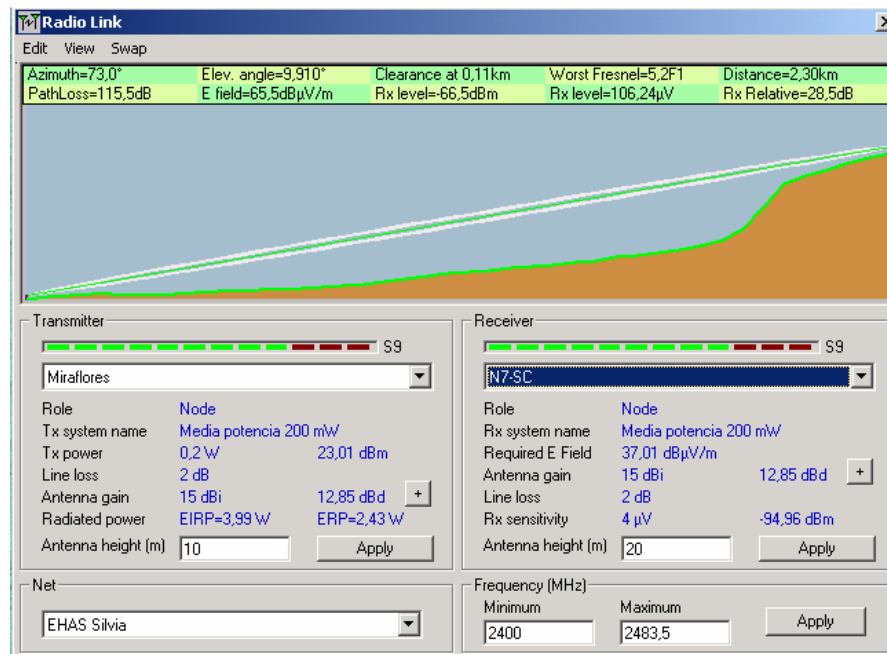
Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
 Teléfono: \_\_\_\_\_  
 Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)  
 Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)  
 Altitud (m S.N.M): 2878 m  
 Personas autorizadas: Personal EHAS

**Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
 Tierra física adecuada: Si  No   
 Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
 Ubicación tomas de corriente: Si  No   
 Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m  
 Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
 Autorización para colocación de la antena: Si  No   
 Aeropuertos cercanos: Si  No   
 Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
 Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
 Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
 Si  No   
 Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-34)  
 Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
 Estimado de la distancia entre puntos: 2.51 Km

**E.35 ENLACE MIRAFLORES-N7SC**



**Figura E-35. Perfil del enlace Miraflores – N7SC**

**E.35.1 Plantilla de Levantamiento del PS Miraflores**

**Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Puesto de salud Miraflores  
 Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
 Teléfono: \_\_\_\_\_

Latitud: Grados: 2° Minutos: 33' Segundos: 16.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76° Minutos: 25' Segundos: 33.4" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2355 m  
Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si X No \_\_\_ (Ver Foto 8)



Cortesía: Proyecto EHAS-Silvia

**Foto 8. Puesto de salud Miraflores**

Tierra física adecuada: Si X (supuesta) No \_\_\_  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si X (supuesta) No \_\_\_  
Ubicación tomas de corriente: Si X No \_\_\_  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si X No \_\_\_  
Autorización para colocación de la antena: Si X No \_\_\_  
Aeropuertos cercanos: Si \_\_\_ No X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si X No \_\_\_  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si X No \_\_\_ (Ver Figura E-35)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si \_\_\_ No X  
Estimado de la distancia entre puntos: 2.30 Km

### E.35.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_  
Latitud: Grados: 2° Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76° Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2747 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

## Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-35)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 2.30 Km

## E.36 ENLACE SANTA LUCIA-N8SC

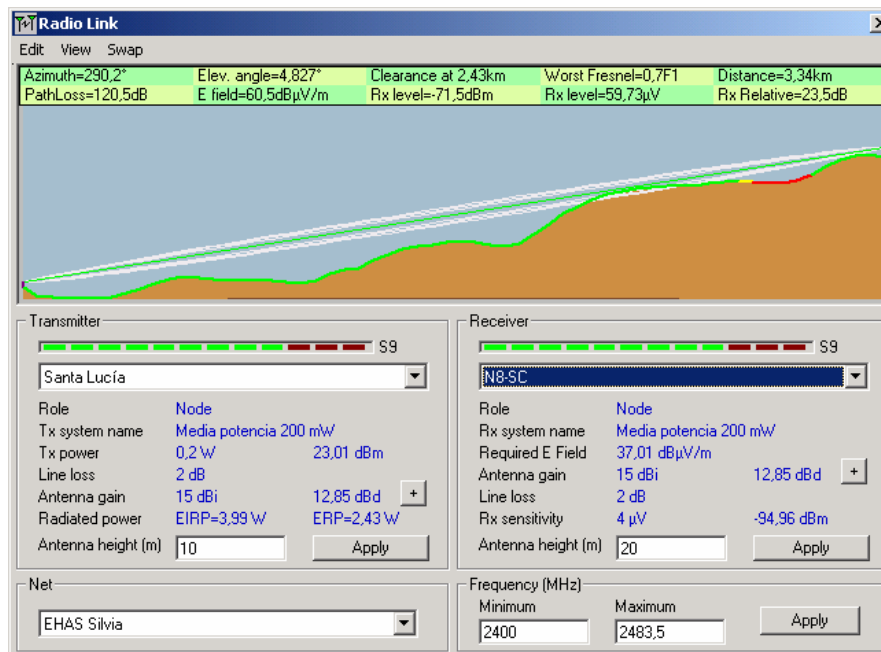


Figura E-36. Perfil del enlace Santa Lucía – N8SC

### E.36.1 Plantilla de Levantamiento del PS Santa Lucia

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Puesto de salud Santa Lucia

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2° Minutos: 33' Segundos: 08" Norte (N)

Longitud: Grados: 76° Minutos: 17' Segundos: 43" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3302 m

Personas autorizadas: Personal del puesto de salud, personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  (Ver Foto 9)



Cortesía: Proyecto EHAS-Silvia  
**Foto 9. Puesto de salud Santa Lucia**

Tierra física adecuada: Si  (supuesta) No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  (supuesta) No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 10 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-36)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 3.27 Km

### **E.36.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC)**

#### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 8 de San Carlos (N8SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 45.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 24.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3575 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-36)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 3.27 Km

### E.37 ENLACE N1SC-N2SC

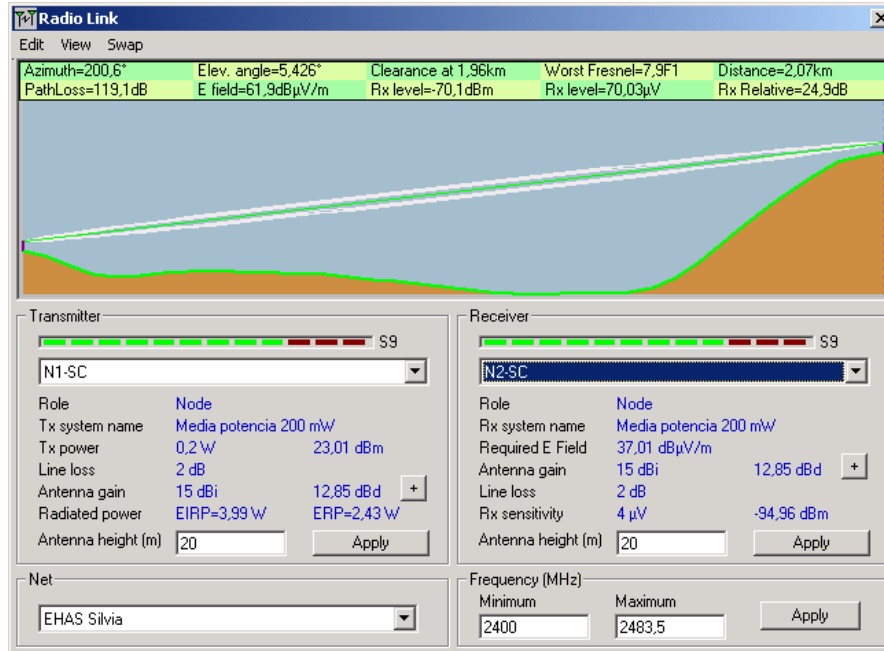


Figura E-37. Perfil del enlace N1SC – N2SC

#### E.37.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC)

##### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 1 de San Carlos (N1SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 18.5" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 55.8" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3095 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

##### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-37)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 2.07 Km

### **E.37.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC)**

#### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 2 de San Carlos (N2SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 41' Segundos: 15.8" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 20' Segundos: 19.4" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3292 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-37)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 2.07 Km



## E.38 Enlace N1SC-N3SC

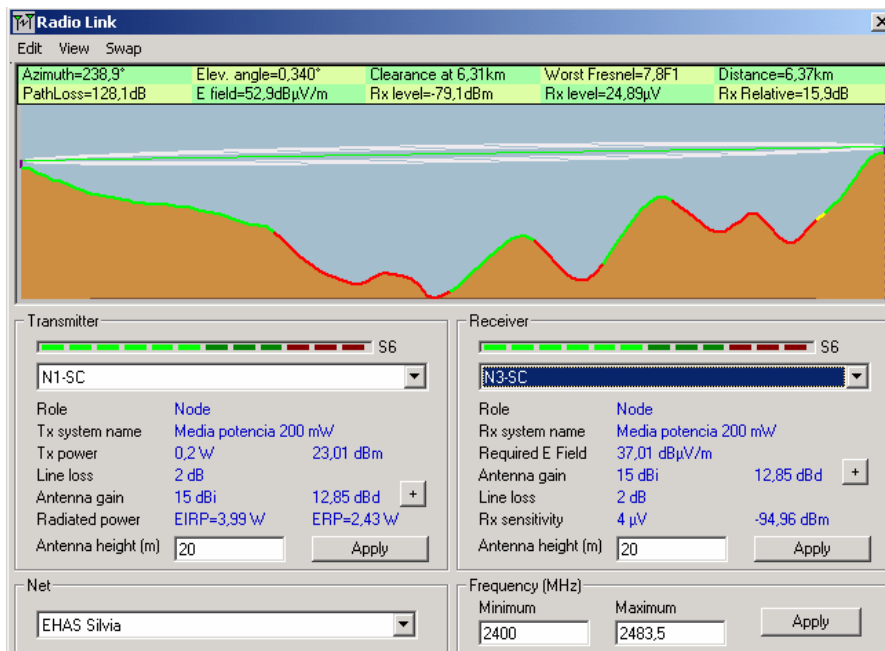


Figura E-38. Perfil del enlace N1SC – N3SC

### E.38.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 1 de San Carlos (N1SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 18.5" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 55.8" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3095 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-38)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 6.37 Km

## E.38.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3136 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-38)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 6.37 Km

## E.39 ENLACE N1SC-N6SC

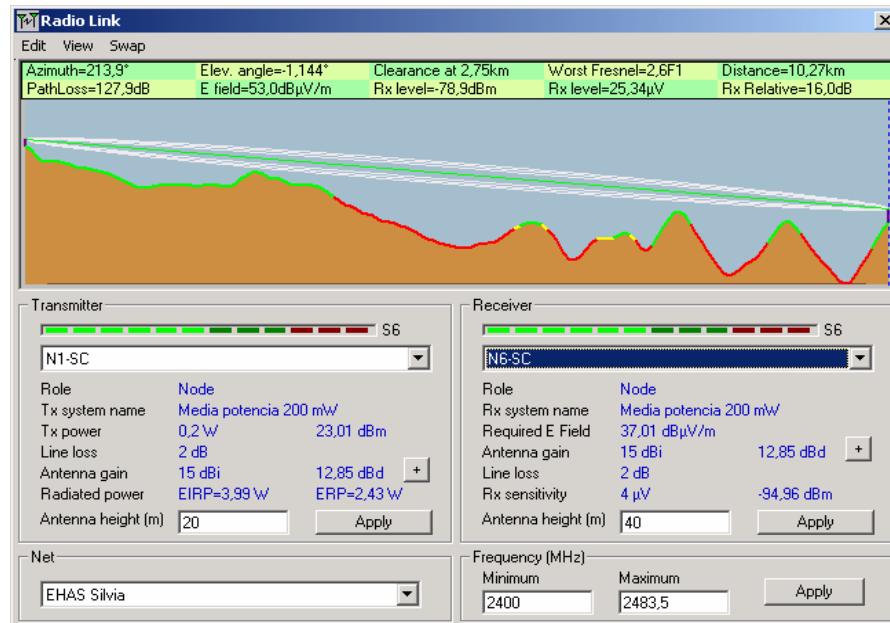


Figura E-39. Perfil del enlace N1SC – N6SC

### E.39.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 1 de San Carlos (N1SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 1 de San Carlos (N1SC) <  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 42' Segundos: 18.5" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 55.8" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3095 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-39)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 10.27 Km

### E.39.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2878 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-39)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 10.27 Km

## E.40 ENLACE N2SC-N4SC

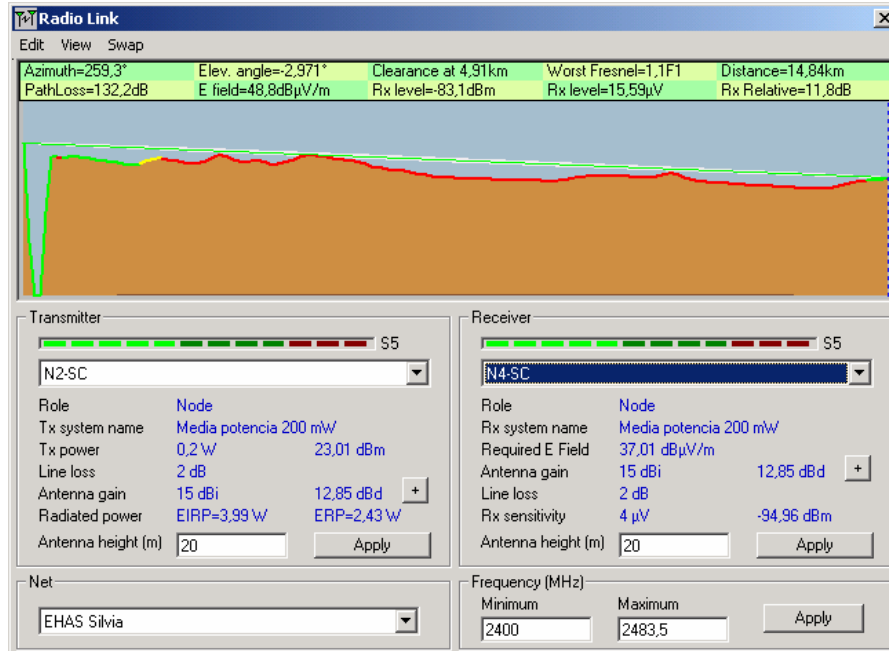


Figura E-40. Perfil del enlace N2SC – N4SC

### E.40.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 2 de San Carlos (N2SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 41' Segundos: 15.8" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 20' Segundos: 19.4" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3292 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-40)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 14.84 Km

## E.40.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 4 de San Carlos (N4SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 46.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 12.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2539 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-40)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 14.84 Km

## E.41 ENLACE N2SC-N5SC

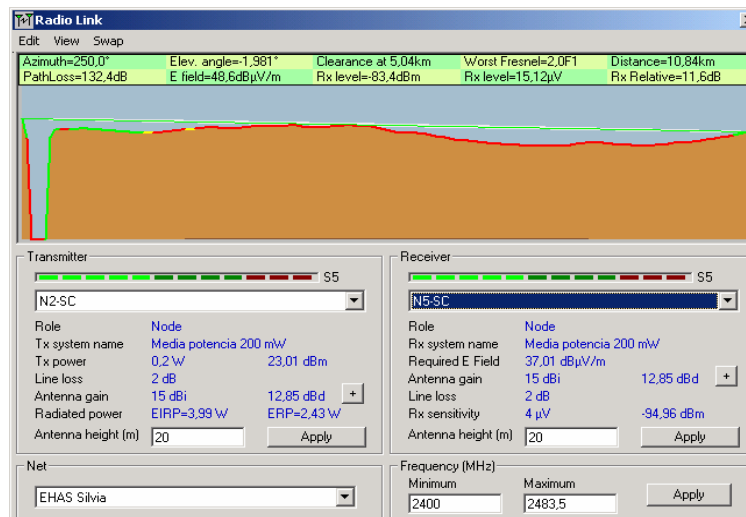


Figura E-41. Perfil del enlace N2SC – N5SC

## E.41.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 2 de San Carlos (N2SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 41' Segundos: 15.8" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 20' Segundos: 19.4" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3292 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-41)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 10.84 Km

#### **E.41.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)**

##### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2926 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-41)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 10.84 Km

## E.42 ENLACE N2SC-N7SC

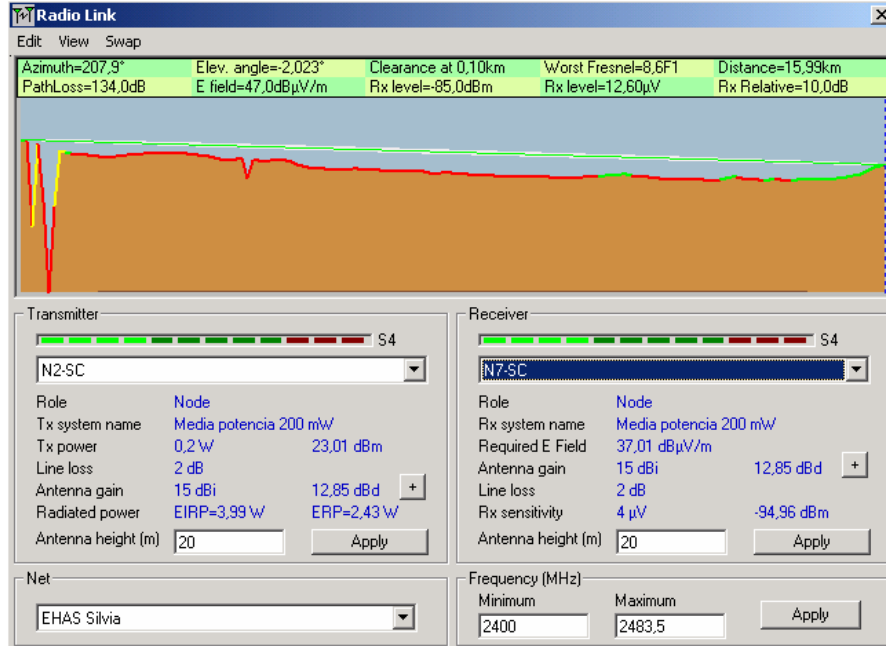


Figura E-42. Perfil del enlace N2SC – N7SC

### E.42.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 2 de San Carlos (N2SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 2 de San Carlos (N2SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 41' Segundos: 15.8" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 20' Segundos: 19.4" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3292 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-42)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 15.99 Km

## E.42.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2747 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-42)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 15.99 Km

## E.43 ENLACE N3SC-N4SC

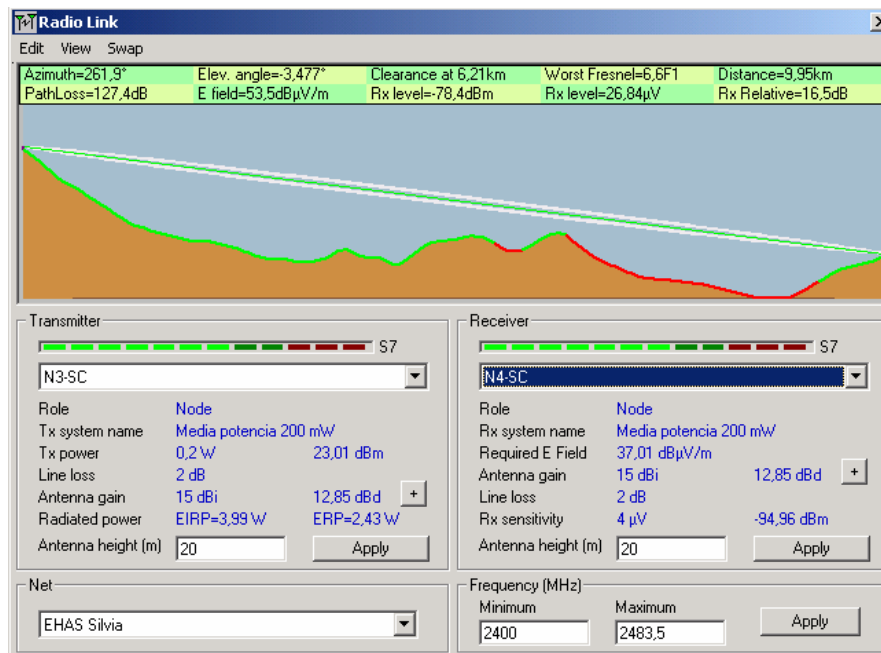


Figura E-43. Perfil del enlace N3SC – N4SC



### E.43.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3136 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-43)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 9.95 Km

### E.43.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 4 de San Carlos (N4SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 46.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 12.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2539 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-43)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 9.95 Km

## E.44 ENLACE N3SC-N5SC

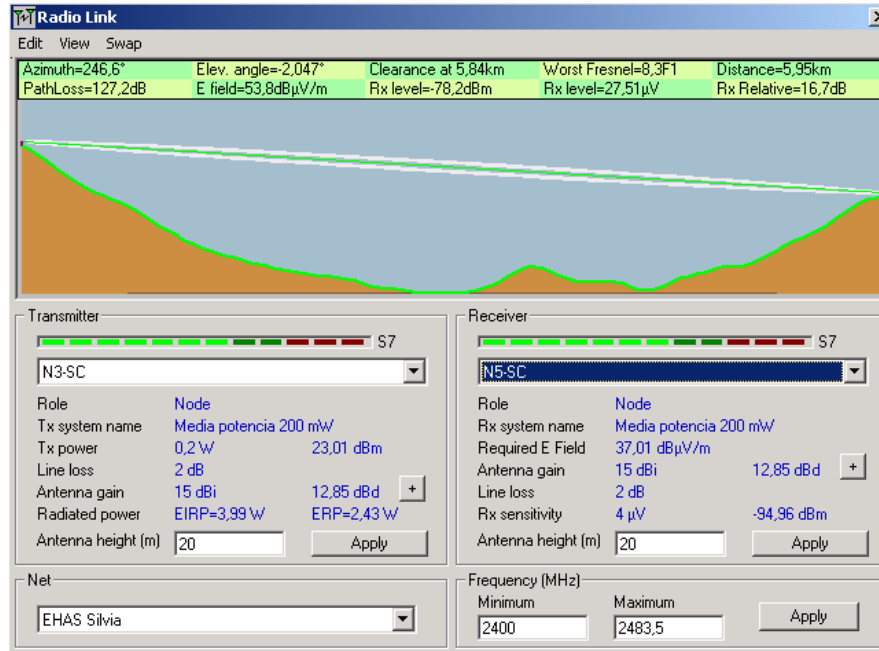


Figura E-44. Perfil del enlace N3SC – N5SC

### E.44.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3136 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-44)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 5.95 Km

## E.44.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2926 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-44)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 5.95 Km

## E.45 ENLACE N3SC-N6SC

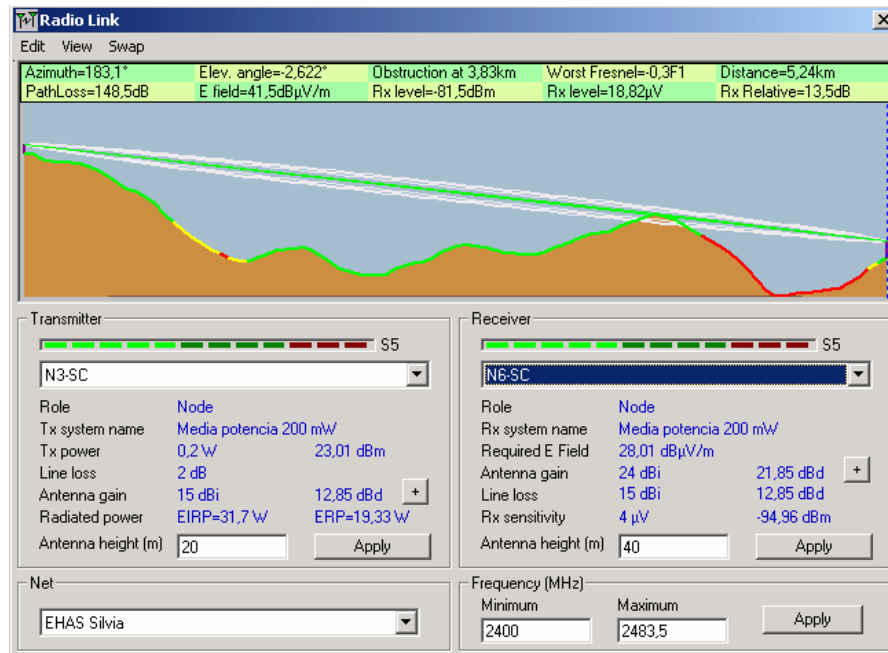


Figura E-45. Perfil del enlace N3SC – N6SC

### E.45.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3136 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-45)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 5.24 Km

### E.45.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2878 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-45)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 5.24 Km

## E.46 ENLACE N3SC-N7SC

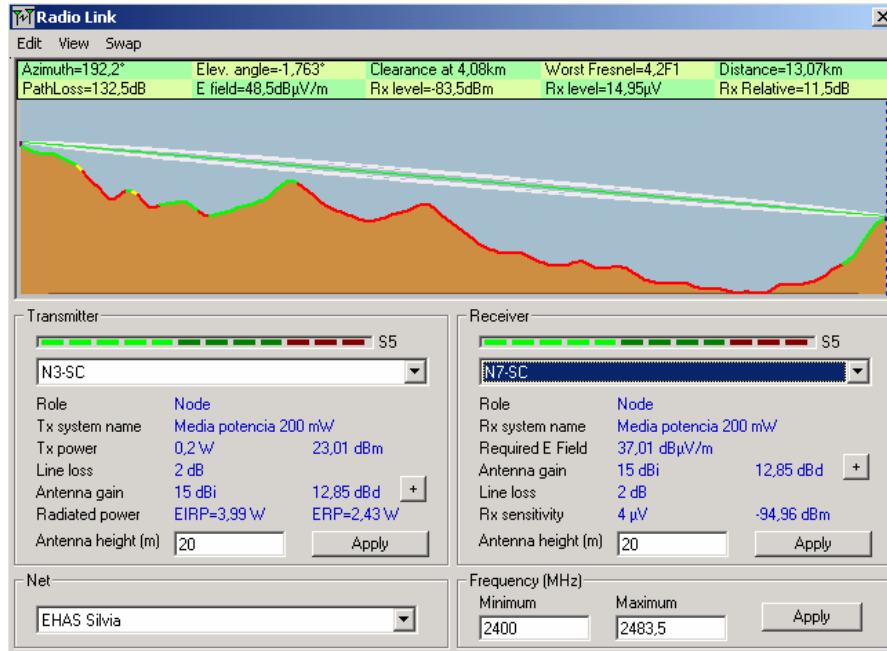


Figura E-46. Perfil del enlace N3SC – N7SC

### E.46.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3136 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-46)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 13.07 Km

## E.46.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2747 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-46)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 13.07 Km

## E.47 ENLACE N3SC-N8SC

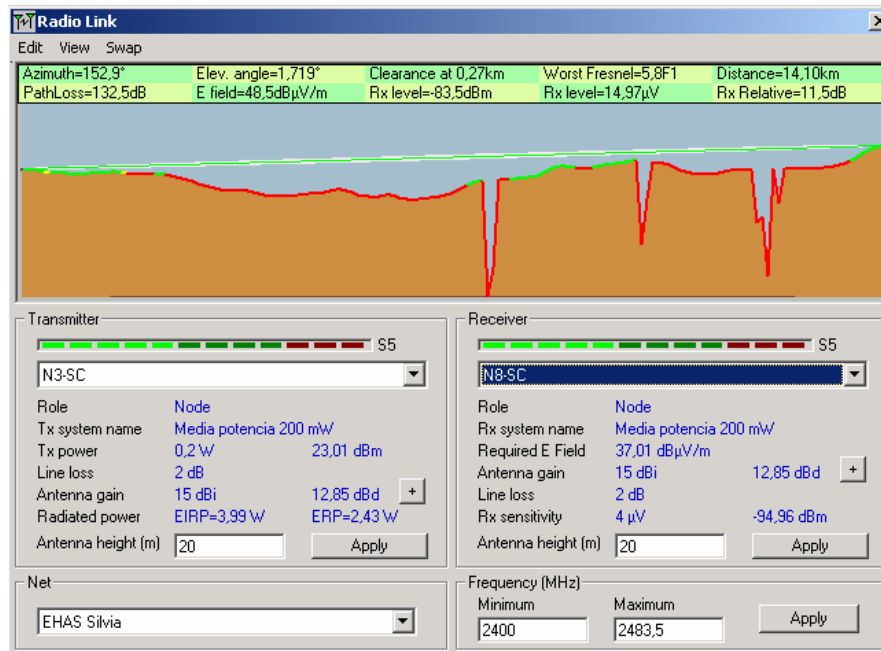


Figura E-47. Perfil del enlace N3SC – N8SC

### E.47.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 3 de San Carlos (N3SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 3 de San Carlos (N3SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 40' Segundos: 32" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 22' Segundos: 52.7" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3136 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-47)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 14.17 Km

### E.47.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 8 de San Carlos (N8SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 45.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 24.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3575 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-47)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 14.17 Km

## E.48 ENLACE N4SC-N5SC

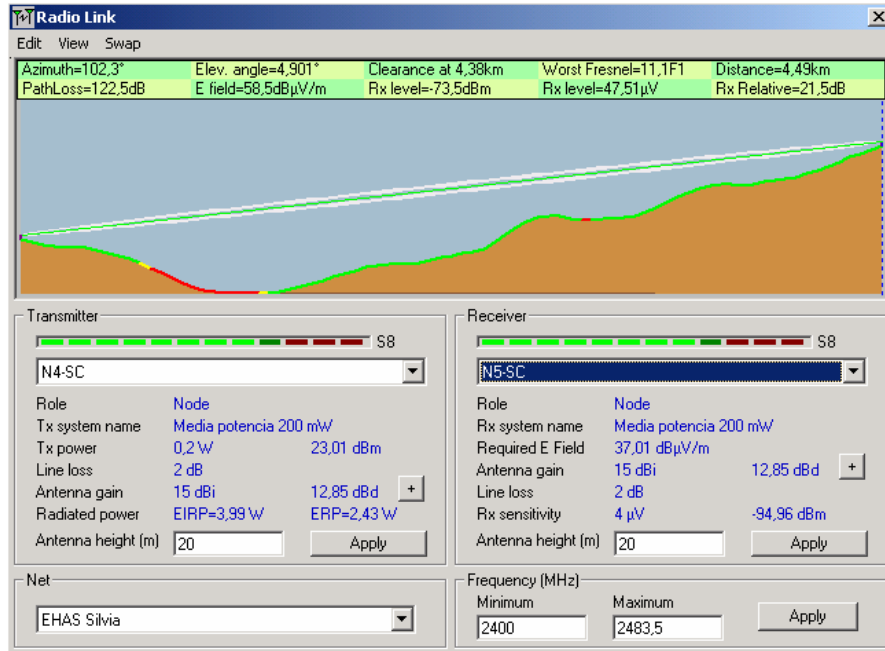


Figura E-48. Perfil del enlace N4SC – N5SC

### E.48.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 4 de San Carlos (N4SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 46.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 12.1" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2539 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-48)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 4.49 Km



## E.48.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2926 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-48)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 4.49 Km

## E.49 ENLACE N4SC-N7SC

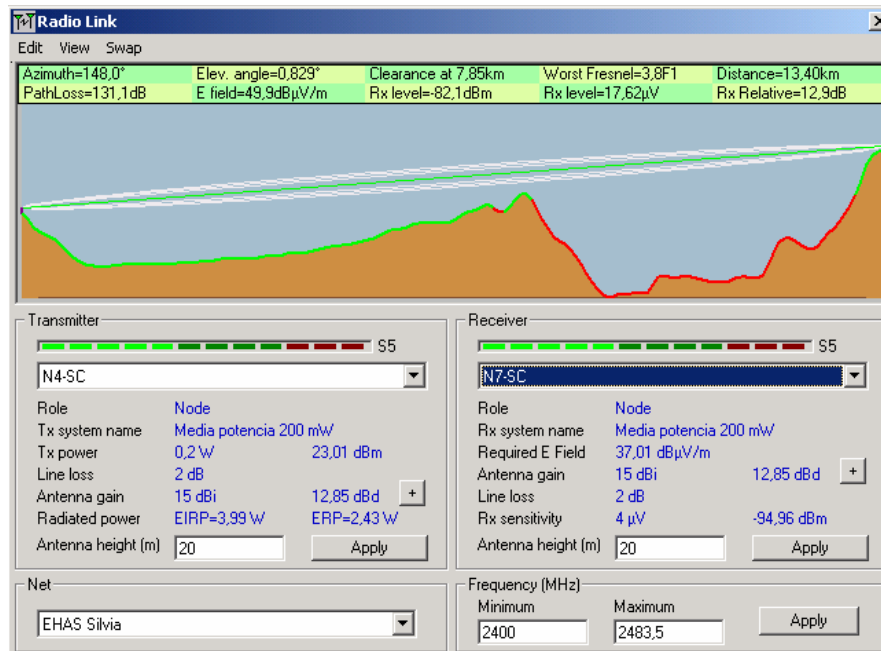


Figura E-49. Perfil del enlace N4SC – N7SC

### E.49.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 4 de San Carlos (N4SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 46.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 12.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2539 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-49)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 13.40 Km

### E.49.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2747 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-49)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 13.40 Km

## E.50 ENLACE N4SC-N8SC

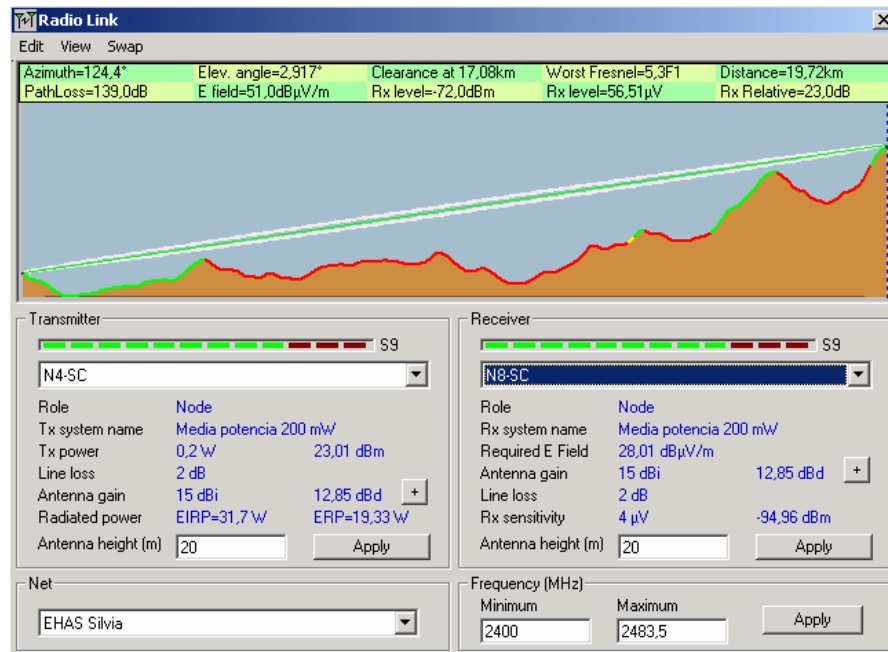


Figura E-50. Perfil del enlace N4SC – N8SC

### E.50.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 4 de San Carlos (N4SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 4 de San Carlos (N4SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 46.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 28' Segundos: 12.1" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2539 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-50)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 19.80 Km

## E.50.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 8 de San Carlos (N8SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 45.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 24.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3575 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-50)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 19.80 Km

## E.51 ENLACE N5SC-N6SC

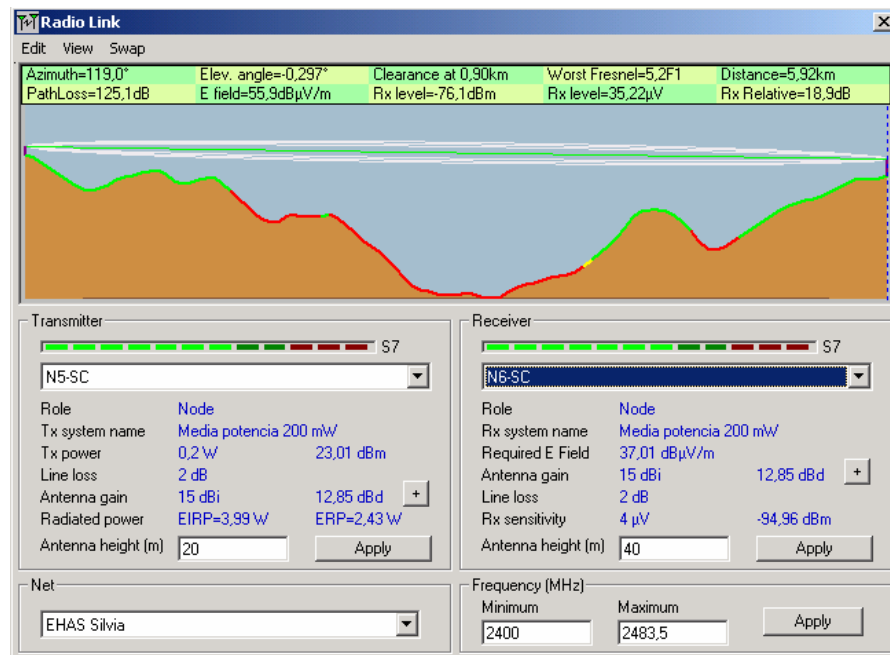


Figura E-51. Perfil del enlace N5SC – N6SC

### E.51.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2926 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-51)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 5.92 Km

### E.51.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2878 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-51)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 5.92 Km

## E.52 ENLACE N5SC-N7SC

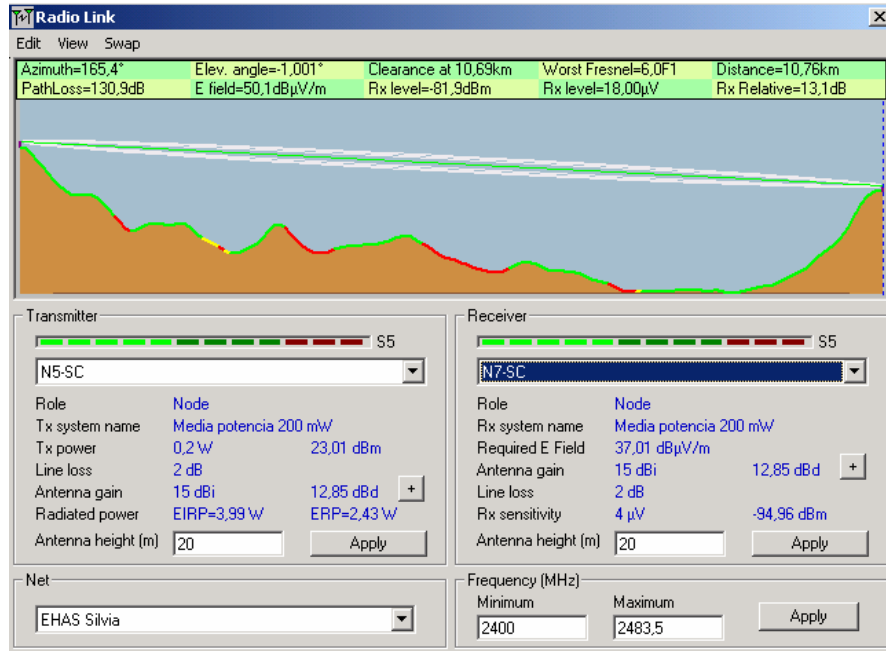


Figura E-52. Perfil del enlace N5SC – N7SC

### E.52.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2926 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-52)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 10.76 Km

## E.52.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2747 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-52)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 10.76 Km

## E.53 ENLACE N5SC-N8SC

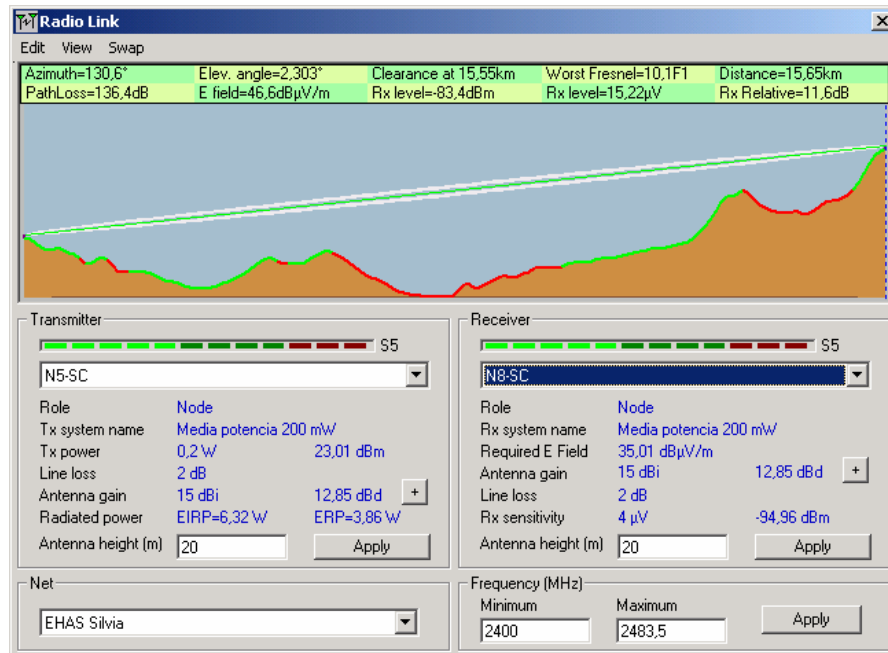


Figura E-53. Perfil del enlace N5SC – N8SC

### E.53.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 5 de San Carlos (N5SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 5 de San Carlos (N5SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 39' Segundos: 15.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 25' Segundos: 49.8" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2926 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-53)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 16.43 Km

### E.53.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 8 de San Carlos (N8SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 45.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 24.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3575 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No   
Tierra física adecuada: Si  No   
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No   
Ubicación tomas de corriente: Si  No   
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No   
Autorización para colocación de la antena: Si  No   
Aeropuertos cercanos: Si  No   
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No   
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-53)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No   
Estimado de la distancia entre puntos: 16.43 Km



## E.54 ENLACE N6SC-N7SC

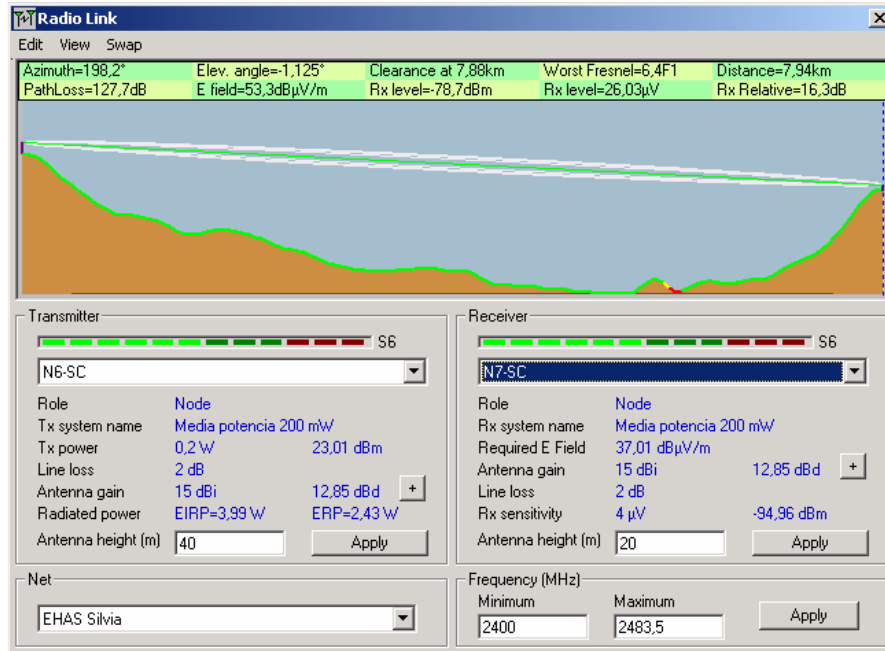


Figura E-54. Perfil del enlace N6SC – N7SC

### E.54.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2878 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-54)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 7.94 Km

## E.54.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono: \_\_\_\_\_  
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2747 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-54)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 7.94 Km

## E.55 ENLACE N6SC-N8SC

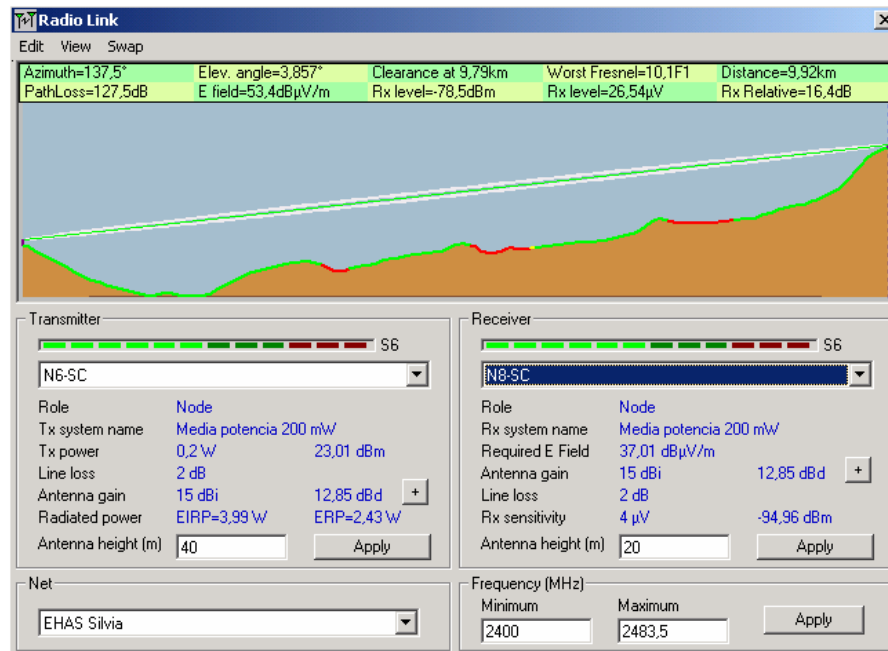


Figura E-55. Perfil del enlace N6SC – N8SC

### **E.55.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 6 de San Carlos (N6SC)**

#### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 6 de San Carlos (N6SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 37' Segundos: 42.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 23' Segundos: 01.9" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 2878 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 40 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-55)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 10.61 Km

### **E.55.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC)**

#### **Características básicas del sitio de emplazamiento**

Nombre del lugar: Nodo de soporte 8 de San Carlos (N8SC)  
Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán  
Teléfono:         
Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 45.4" Norte (N)  
Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 24.6" Oeste (O)  
Altitud (m S.N.M): 3575 m  
Personas autorizadas: Personal EHAS

#### **Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:**

Fotografía disponible del lugar? Si  No  X  
Tierra física adecuada: Si  No  X  
Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No  X  
Ubicación tomas de corriente: Si  No  X  
Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m  
Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No  X  
Autorización para colocación de la antena: Si  No  X  
Aeropuertos cercanos: Si  No  X  
Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m  
Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m  
Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?  
Si  No  X  
Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  X (Ver Figura E-55)  
Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No  X  
Estimado de la distancia entre puntos: 10.61 Km

## E.56 ENLACE N7SC-N8SC

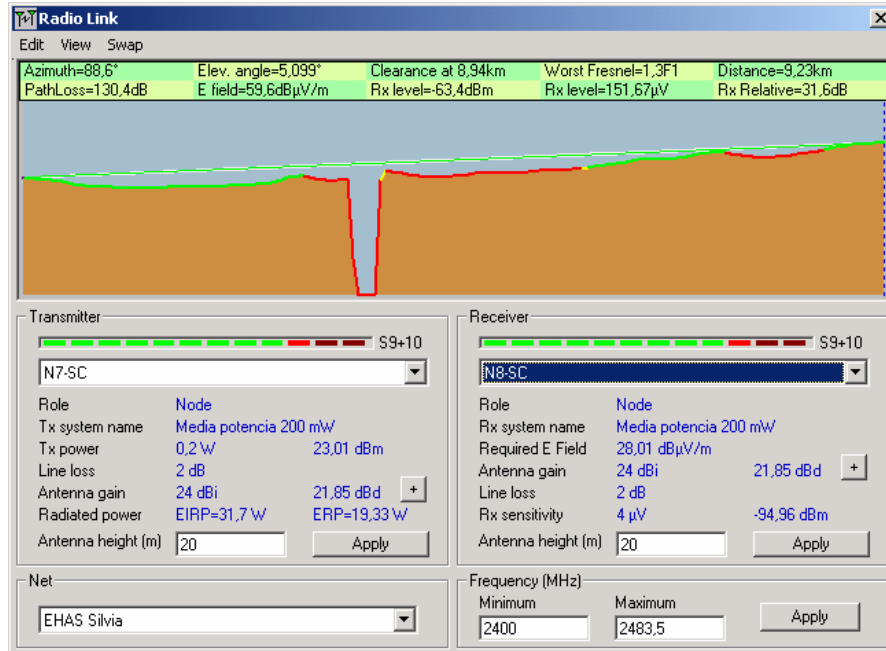


Figura E-56. Perfil del enlace N7SC – N8SC

### E.56.1 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 7 de San Carlos (N7SC)

#### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 7 de San Carlos (N7SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 38.1" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 24' Segundos: 22.1" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 2747 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

#### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si  No

Tierra física adecuada: Si  No

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si  No

Ubicación tomas de corriente: Si  No

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si  No

Autorización para colocación de la antena: Si  No

Aeropuertos cercanos: Si  No

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si  No

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si  No  (Ver Figura E-56)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si  No

Estimado de la distancia entre puntos: 9.23 Km

## E.56.2 Plantilla de Levantamiento del Nodo de Soporte 8 de San Carlos (N8SC)

### Características básicas del sitio de emplazamiento

Nombre del lugar: Nodo de soporte 8 de San Carlos (N8SC)

Dirección: Zona rural, municipio de Silvia, Cauca-Popayán

Teléfono:       

Latitud: Grados: 2º Minutos: 33' Segundos: 45.4" Norte (N)

Longitud: Grados: 76º Minutos: 19' Segundos: 24.6" Oeste (O)

Altitud (m S.N.M): 3575 m

Personas autorizadas: Personal EHAS

### Elementos del lugar y características para ubicar el equipamiento:

Fotografía disponible del lugar? Si    No   X  

Tierra física adecuada: Si    No   X  

Existe una adecuada toma de energía (corriente AC)? Si    No   X  

Ubicación tomas de corriente: Si    No   X  

Altura de la antena sobre el terreno, en el lugar de colocación del mástil o torre: 20 m

Conformidad para ubicación en ese sitio: Si   X   No   

Autorización para colocación de la antena: Si   X   No   

Aeropuertos cercanos: Si    No   X  

Longitud del cable de bajas pérdidas (Antena-Tarjeta Inalámbricas): 25 m

Longitud del cable de enlace a la red del sitio (AP-Red): 1 m

Están las condiciones ambientales dentro de las exigencias del equipo?

Si   X   No   

Existe una adecuada línea de visión al otro extremo? Si   X   No    (Ver Figura E-56)

Fotografía de vista horizontal al punto remoto: Si    No   X  

Estimado de la distancia entre puntos: 9.23 Km

## **ANEXO F. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES A LA SIMULACIÓN A NIVEL DE SISTEMA DE LA WMN PARA LA MICRORED DE SAN CARLOS**

La metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones [8] propone un esquema que se basa en la metodología secuencial aplicada a la simulación y el estudio de simulación de eventos discretos. Esta metodología define ciertos pasos que se deben realizar para definir un modelo de simulación, acogiendo las características del análisis y diseño orientado a objetos. Los pasos a realizar son los siguientes:

1. Formulación del problema y plan de estudios.
2. Recolección y procesamiento de datos.
3. Formulación de un modelo de simulación.
4. Evaluación del modelo y los parámetros estimados.
5. Programación.
6. Validación del programa.
7. Diseño de experimentos.
8. Análisis de los datos obtenidos con la simulación.
9. Documentación e implementación de resultados.

A continuación se describe el desarrollo de los 4 primeros pasos para la obtención del modelo de simulación de una red inalámbrica en malla para el transporte de voz en la microred de San Carlos. Para este caso en particular, el paso de programación corresponde a la implementación de la WMN sobre el simulador NCTUns que se realiza en la sección 5.6 del informe final de este trabajo de grado y a partir de ésta implementación se desarrollarán los pasos de validación del programa, diseño de experimentos y análisis de los datos obtenidos con la simulación en la sección 5.7 del mismo informe.

### **F.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y PLAN DE ESTUDIOS**

El propósito fundamental de esta fase es definir claramente los objetivos que motivan la simulación. Para conseguir este fin la metodología propone realizar las siguientes actividades:

- Adquirir información sobre el funcionamiento del sistema.
- Identificar los fines de la simulación.
- Formular los objetivos.

A continuación se detalla el desarrollo de cada una de estas actividades.

#### **F.1.1 Adquisición de Información sobre el Funcionamiento del Sistema**

La red inalámbrica en malla se implementará en la microred de San Carlos con el fin de proporcionar un servicio de comunicación de VoIP entre todos los puestos de salud y el hospital principal de la zona. Todos los nodos pertenecientes a la red entregarán y recibirán señales digitales correspondientes a la comunicación entre usuarios empleando el codec de audio G.729 el cual trabaja a una velocidad de compresión de 8 Kbps para generar tramas de 20 bytes cada 20 ms.

Con la simulación del establecimiento de llamadas de VoIP en los nodos clientes de la microred de San Carlos se observará y evaluará los siguientes factores:

- Velocidad efectiva (*throughput*) enviada y recibida por cada uno de los nodos participantes en la comunicación.
- Valores de retardo, *jitter* y pérdida de paquetes medidos en el nodo receptor de cada llamada.

#### **F.1.2 Fines de la Simulación**

El propósito de esta simulación es evaluar la capacidad de la red inalámbrica en malla para la microred de San Carlos obtenida en el capítulo 4 e identificar la incidencia del aumento de tráfico, número de saltos y caída de nodos sobre la calidad de la voz. Se obtendrá un modelo de simulación de una red

inalámbrica en malla con tecnología 802.11b y protocolo de enrutamiento STP, constituida por un nodo pasarela, 9 nodos de soporte y 9 nodos cliente que transmiten comunicaciones de VoIP utilizando el codec de audio G.729.

### **F.1.3 Formulación de los Objetivos de la Simulación**

La simulación de la WMN para la microred de San Carlos permitirá cumplir los siguientes objetivos:

- Determinar la máxima cantidad de llamadas soportadas por la microred de San Carlos a partir de la variación del tráfico, número de saltos y caída de nodos en la red.
- Analizar la incidencia de la variación del tráfico, número de saltos y caída de nodos en la red sobre los parámetros de retardo, *jitter* y pérdida de paquetes que afectan la calidad de la voz.

## **F.2 RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS**

Para cumplir con el objetivo de identificar los elementos y propiedades del sistema a simular se recurrió a la información disponible en el estándar IEEE 802.11 y la propuesta conjunta de SEE Mesh y Wi Mesh para el 802.11 TGs que especifican todos los componentes de una red inalámbrica en malla.

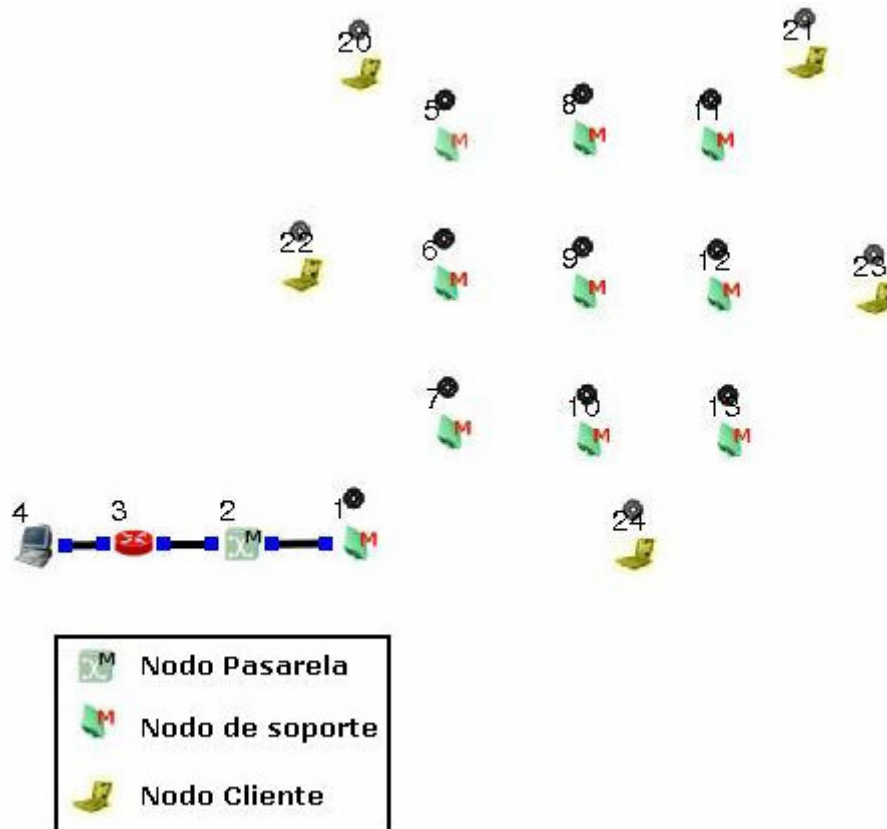
En este sentido se logró identificar que una red inalámbrica en malla se compone de tres tipos de nodos: nodos pasarela, nodos de soporte y nodos cliente. Los nodos pasarela se encargan de suministrar el acceso a Internet y los servicios de red a todos los nodos de la microred de San Carlos, los nodos de soporte actúan como puentes que comunican dos puntos distantes que no cuentan con línea de vista entre si, enrutando la información que reciben hacia su destino final, y los nodos cliente se ubican en cada establecimiento de salud y permiten realizar las llamadas de los usuarios.

Todos estos nodos se construyen con equipos de la tecnología IEEE 802.11b la cual permite una tasa de transmisión de datos de hasta 11 Mbps y tienen soporte para la topología de malla y el enrutamiento dinámico de la información. La generación de llamadas se realizará empleando el protocolo SIP y el codec G.729 para la compresión de la voz el cual utiliza un ancho de banda por conversación de 28 Kbps.

## **F.3 FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

Después de un estudio exhaustivo de la tecnología de redes inalámbricas en malla y siguiendo los fines y objetivos que se plantean en esta metodología de simulación, se procede a plantear un modelo de simulación considerando únicamente los aspectos de mayor interés y utilidad para la consecución de estos objetivos, ignorando aquellos que son menos relevantes bajo el enfoque del proyecto. Esta abstracción permite reducir la complejidad del sistema, mostrar con mayor claridad los procesos que son objeto de estudio, y trasladar con facilidad el modelo hacia su implementación en la herramienta de simulación NCTUns.

La estructura general del sistema, basada en los componentes básicos de las WMNs se presenta en la Figura F-1.



**Figura F-1. Estructura general de una red inalámbrica en malla**

La caracterización para cada uno de los componentes del sistema es la siguiente:

### F.3.1 Nodo Pasarela

- **Función:** Establecer la conexión a Internet y suministrar los servicios de red para la microred de San Carlos, comunicar la microred de San Carlos con otras redes de Internet.
- **Señales de entrada:** Señal digital que corresponde a las solicitudes de conexión a Internet de los nodos de soporte y nodos cliente.
- **Variables de entrada:** Tasa de bits de 11 Mbps.
- **Señales de salida:** Señal digital que corresponde a las respuestas y acuerdos para la conexión a Internet de los nodos de la microred.
- **Variables de salida:** Tasa de bits de 11 Mbps.

### F.3.2 Nodo de Soporte

- **Función:** Recibir y enrutar la información proveniente de los nodos cliente u otros nodos de soporte hacia su destino final a partir de la información presente en sus tablas de enrutamiento.
- **Señales de entrada:** Señal digital que corresponde a los datos de una o varias llamadas de usuario.
- **Variables de entrada:** Tasa de bits de 8 Kbps por llamada.
- **Señales de salida:** Señal digital que corresponde a los datos de una llamada de usuario.
- **Variables de salida:** Tasa de bits de 8 Kbps por llamada.

### F.3.3 Nodo Cliente

- **Función:** Generar y recibir llamadas de VoIP.
- **Señales de entrada:** Señal digital que corresponde a una llamada de VoIP proveniente de un nodo cliente de la microred.



- **Variables de entrada:**
  - Tasa de bits de 8 Kbps por llamada.
  - Valores de retardo, *jitter* y pérdida de paquetes correspondientes a las llamadas recibidas.
- **Señales de salida:** Señal digital que corresponde a una llamada de VoIP generada por este nodo cliente.
- **Variables de salida:** Tasa de bits de 8 Kbps por llamada.

#### F.4 EVALUACIÓN DEL MODELO

La metodología propone realizar una evaluación del modelo obtenido con el fin de ajustar los valores de los límites y los rangos considerados por las variables de los diferentes procesos teniendo en cuenta los atributos de cada objeto (o componente) y las relaciones funcionales respectivas de forma que los resultados obtenidos sean lo más cercano de la realidad. Los factores que se deben tener en cuenta para realizar la evaluación son:

- Verificación de la correcta descripción de las variables. Evaluar, si es posible, que se estén empleando variables redundantes o que sean necesarias más variables de las utilizadas.
- Examinar la complejidad resultante para cada objeto (o componente) en que se divide el sistema, considerando el número de atributos y servicios que posee, las variables que maneja y la interacción entre las mismas.
- Evaluar si el modelo generado satisface los objetivos planteados.
- Evaluar si con la complejidad del proyecto, de manera global, resulta procedente continuar.
- Por último, se debe evaluar en compañía de las personas interesadas en el desarrollo del proyecto de simulación, si el porcentaje en el cual se está cumpliendo con los objetivos propuestos inicialmente es tal que se puede continuar con él o es necesario el replanteamiento completo del modelo.

Después de analizar cada uno de los objetos, y teniendo en cuenta el estándar IEEE 802.11 y la propuesta conjunta de SEE Mesh y Wi Mesh para el 802.11 TGs, se puede decir que el tipo y número de variables definidas para cada componente satisfacen los requisitos para la representación de la información de entrada y salida de cada uno de los procesos del sistema total.

La complejidad de cada componente es muy baja debido a que la cantidad de variables a analizar es pequeña, lo cual permite visualizar claramente los comportamientos y procesos de interés definidos en los objetivos y fines de esta simulación.

De acuerdo al modelo planteado y a los objetivos definidos, se puede concluir que este modelo permite evaluar y observar adecuadamente el comportamiento de cada uno de los nodos pertenecientes a la red y evaluar su desempeño ante los diferentes eventos que puedan presentarse en la red. Finalmente se puede afirmar que es viable continuar con el proyecto.

## ANEXO G. IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA EN MALLA SOBRE NCTUNS 3.0

NCTUns provee una interfaz gráfica de usuario profesional y de alta integración, en la cual el usuario diseña y edita la topología de la red, configura los módulos de protocolos que manejará cada nodo de la red, asigna valores y define parámetros específicos de cada dispositivo.

Desde la interfaz de usuario, se programa y se visualiza la animación de la transferencia de paquetes durante el proceso de simulación, el desplazamiento de los terminales móviles y la presentación de resultados mediante gráficos estadísticos. Además, el usuario puede consultar el desarrollo de los procesos que se está ejecutando en determinado dispositivo durante la simulación, sin necesidad de pararla o cancelarla.

Una red inalámbrica en malla está compuesta de puntos de acceso en malla y de clientes móviles en modo infraestructura 📶. NCTUns, soporta dos tipos de puntos de acceso en malla, los cuales son: puntos de acceso en malla OSPF 📶 (corre OSPF como protocolo de enrutamiento) y puntos de acceso en malla STP 📶 (corre STP como protocolo de enrutamiento).

En NCTUns, un punto de acceso en malla tiene dos interfaces inalámbricas IEEE 802.11b. La primera opera en modo infraestructura para atender las estaciones clientes WLAN, mientras la segunda opera en modo *ad hoc* para transmitir inalámbricamente los paquetes entre los puntos de accesos en malla. Una WMN puede conectarse a una red fija tal como Ethernet o una red óptica. En cada caso, se necesita de un Multigateway malla 📶 para conectar estas dos redes.

### G.1 ADICIÓN DE PUNTOS DE ACCESO EN MALLA

Para adicionar puntos de acceso en malla existen dos métodos: el primero consiste en utilizar los íconos que aparecen en barra de herramientas que se representan por las figuras 📶 ó 📶 de acuerdo al tipo de protocolo de enrutamiento que se quiera configurar (OSPF ó STP, respectivamente) cada punto de malla se selecciona haciendo clic en su correspondiente ícono y debe arrastrarse hasta el área de trabajo para formar la topología de red. El segundo método permite adicionar más de un puntos de acceso en malla de manera más rápida a través de la opción *Insert Mesh Access Points* que se encuentra en el menú *Tools/Wireless Mesh Network/Insert Mesh Access Points*, que se muestra en la Figura G-1.

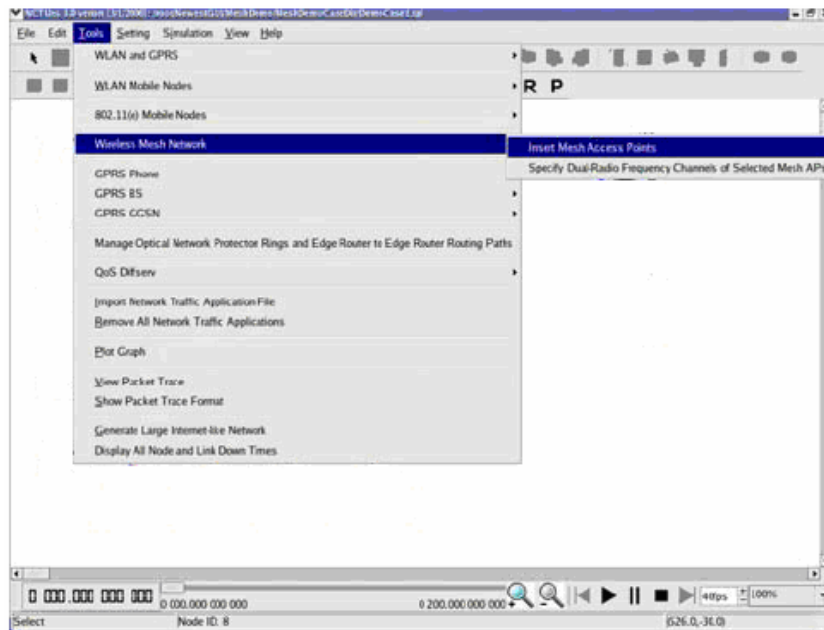
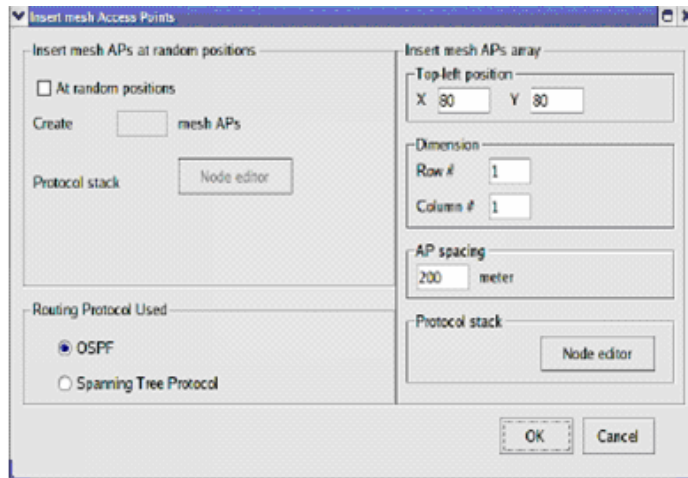


Figura G-1. Interfaz gráfica de usuario en NCTUns

En la ventana de configuración, un usuario puede elegir que tipo de punto de acceso en malla va a adicionar, cuantos se van a insertar, la distancia entre ellos y su posición. Si un usuario desea cambiar la configuración de la pila de protocolos de todos los puntos de acceso en malla, puede hacerlo haciendo clic en *Nodo editor*. La Figura G-2 muestra la ventana de inserción de los MAPs.

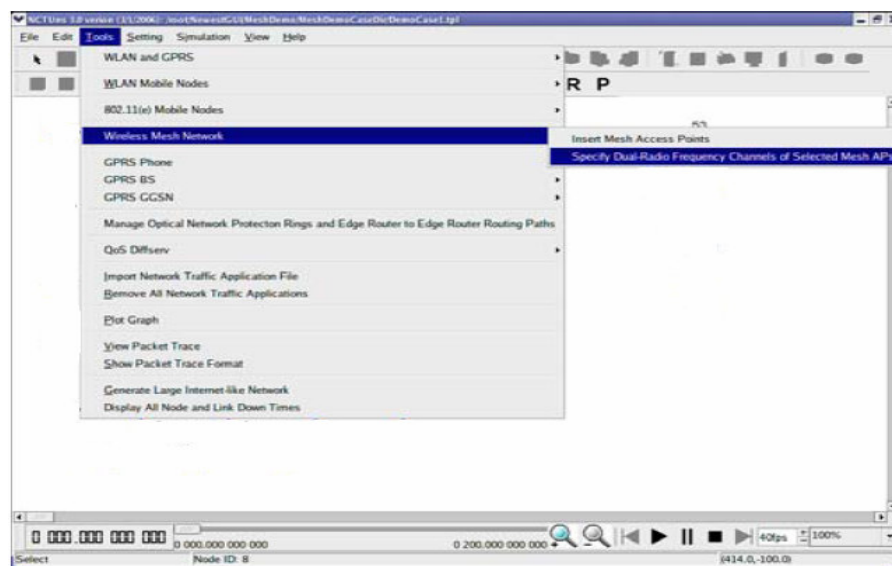


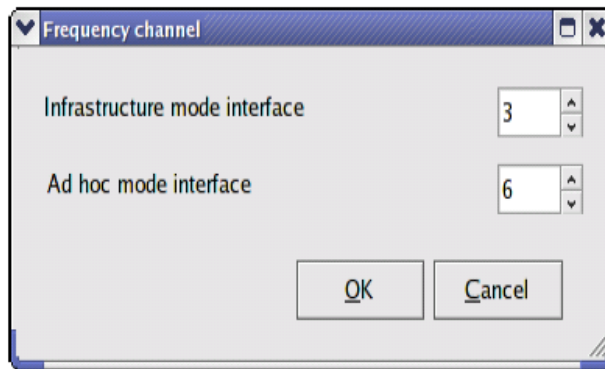
**Figura G-2. Ventana de inserción de MAPs**

## G.2 CONFIGURACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LAS INTERFACES INALÁMBRICAS DE LOS PUNTOS DE ACCESO EN MALLA

Cada punto de acceso en malla tiene dos interfaces inalámbricas. Una opera en modo *ad hoc* y la otra opera en modo infraestructura. Por defecto, la interfaz en modo infraestructura utiliza el mismo canal de frecuencia que el nodo móvil en modo infraestructura. Esta configuración permite que los nodos móviles en modo infraestructura se conecten a los puntos de acceso en malla sin cambios en la configuración. Si se desea cambiar la configuración por defecto de algunos puntos de acceso en malla, se puede realizar este proceso en cada uno de ellos. Si por el contrario, se desea cambiar la configuración de todos a la vez, entonces todos los puntos de acceso en malla necesitan seleccionarse a través de la opción del menú *Edit/Select All Wireless Mesh Network Access Point*.

Después de seleccionar los puntos de acceso deseados, debe hacerse clic en el menú *Tools/Wireless Mesh Network/Specify Dual Radio Frequency Channels of Selected Mesh APs* donde se pueden cambiar los canales de frecuencia al mismo tiempo para todos los puntos de acceso en malla seleccionados. La Figura G-3 muestra la ruta a esta opción y la ventana de configuración de la frecuencia.



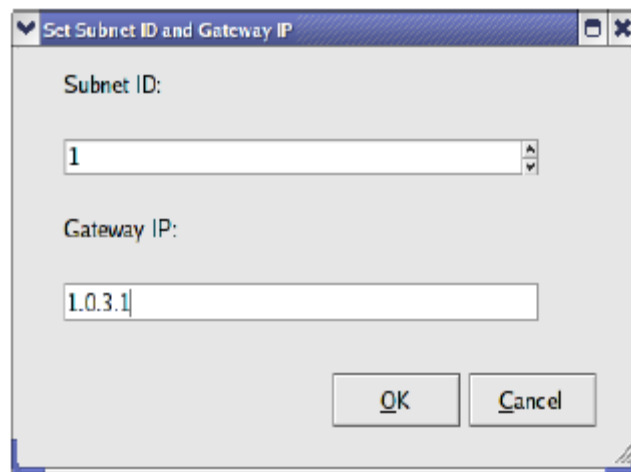


**Figura G-3. Ventana de configuración de las frecuencias de los MAPs**

### **G.3 ADICIÓN DE NODOS MÓVILES EN MODO INFRAESTRUCTURA**

Después de configurar la topología de red en malla con los MAPs, un usuario podrá añadir estaciones móviles (es decir, nodos móviles en modo infraestructura) en el área de trabajo. El usuario puede añadir tales nodos uno por uno (haciendo clic sobre el icono que representa el equipo móvil 📶 y arrastrándolo hasta el área de trabajo) o ejecutando la opción presente en el menú *Tools/WLAN-Mobile Nodes/Insert WLAN Mobile Nodes* que permite añadir muchos nodos al mismo tiempo.

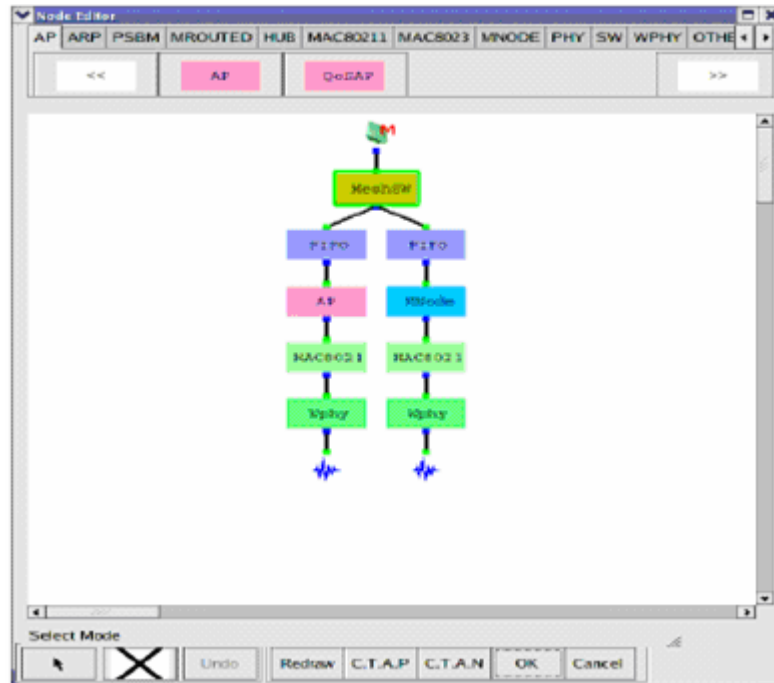
Además, se necesita asignar direcciones IP y MAC a cada nodo móvil. Esto puede hacerse seleccionando primero los nodos móviles deseados y luego ejecutando la opción del menú *Tools/WLAN Mobile Nodes/Generate Infra-structure Mobile Nodes IP and Mac Address*, tal como aparece en la Figura G-4.



**Figura G-4. Asignar dirección MAC e IP a un nodo móvil en modo infraestructura**

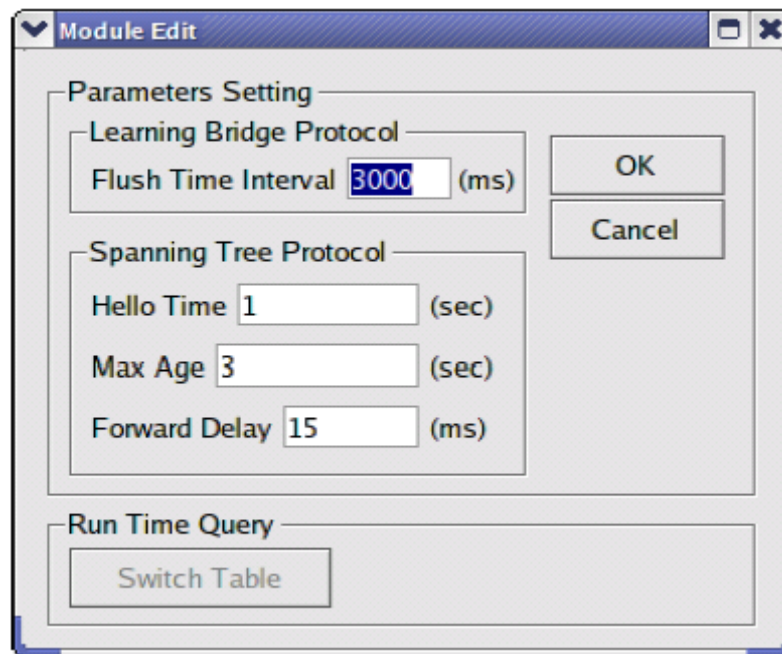
### **G.4 PILA DE PROTOCOLOS DE LAS REDES INALÁMBRICAS EN MALLA**

La Figura G-5 muestra la pila de protocolos para los puntos de acceso en malla configurado con el protocolo de enrutamiento STP, en esta puede observarse que en el nivel superior de la pila se encuentre un módulo denominado *MeshSW* que es el encargado de habilitar todas las funciones de enrutamiento del protocolo STP. Este modulo puede configurarse haciendo doble clic sobre él para observar la ventana de configuración que se muestra en la Figura G-6.



**Figura G-5. Editor de nodo para los MAPs STP**

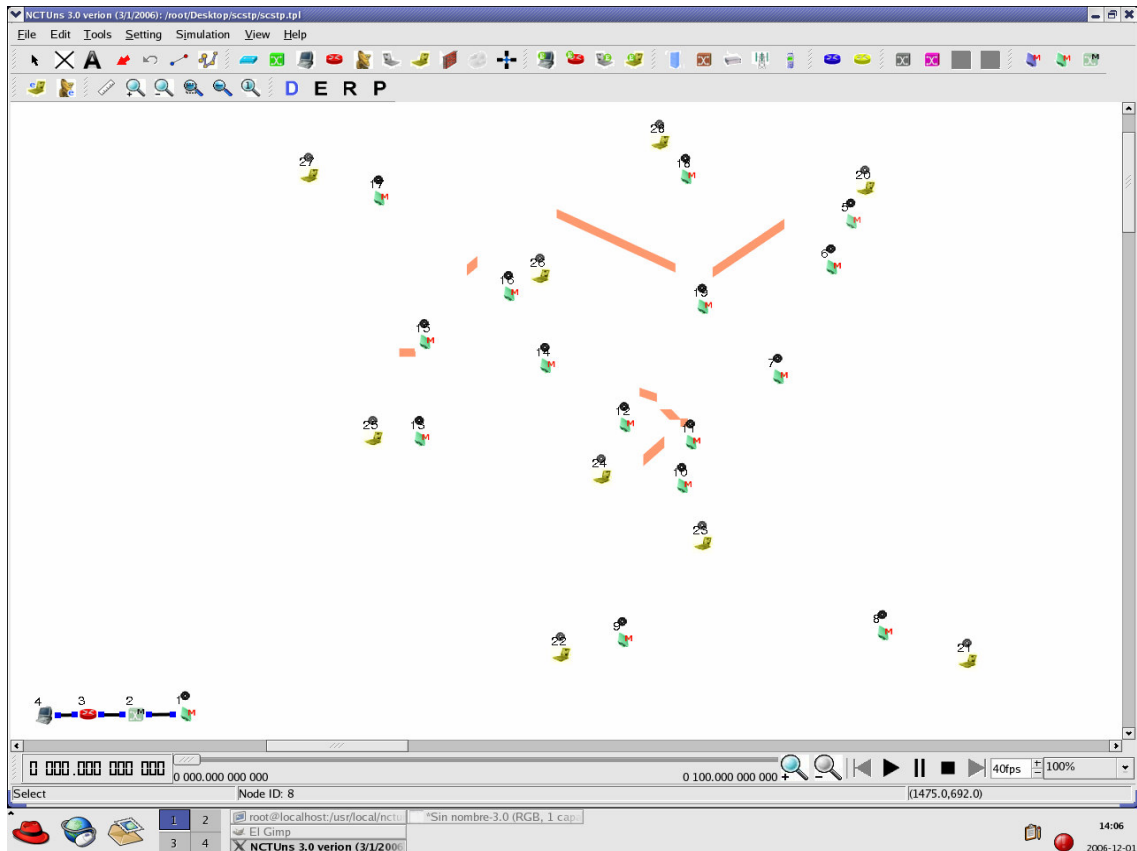
Un nodo en el simulador NCTUns representa un a dispositivo de red. El editor de nodos proporciona un entorno apropiado para una configuración flexible de los diferentes módulos de protocolos que se utilizan dentro de un nodo de red. El editor de nodos permite al usuario probar fácilmente la funcionalidad y la ejecución de un protocolo diferente o nuevo que haya sido diseñado con un fin concreto.



**Figura G-6. Ventana de configuración del módulo MeshSW**

Finalmente, la implementación del diseño obtenido en el capítulo 4 del documento final de este trabajo de grado sobre el simulador NCTUns 3.0 se muestra en la Figura G-7. Se debe tener en cuenta que para colocar los dispositivos sobre el área de trabajo el simulador debe estar en el modo Dibujar

Topología, el cual proporciona una manera cómoda e intuitiva de estructurar la topología de red. El botón que indica que se está en este modo se representa por la figura **D**.

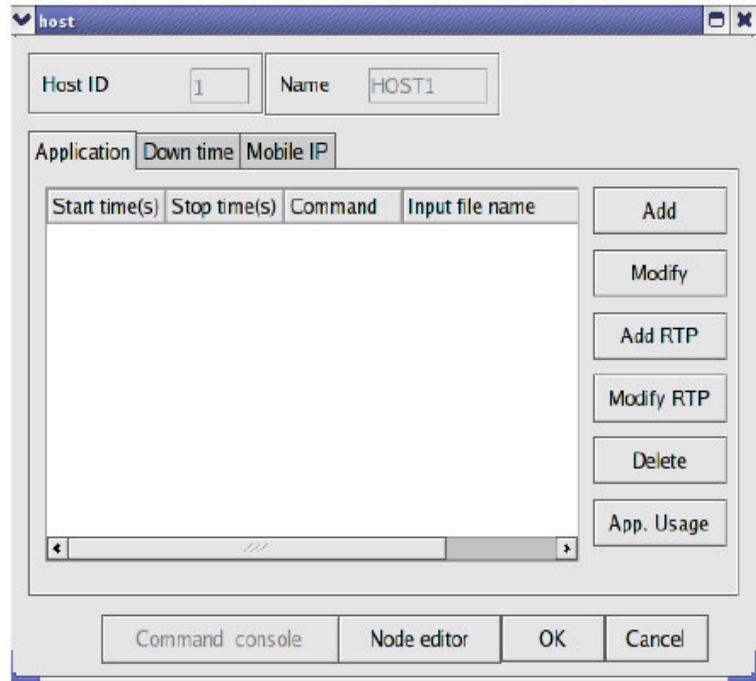


**Figura G-7. Implementación del diseño sobre NCTUns 3.0**

## **G.5 CONFIGURACIÓN DE LOS NODOS**

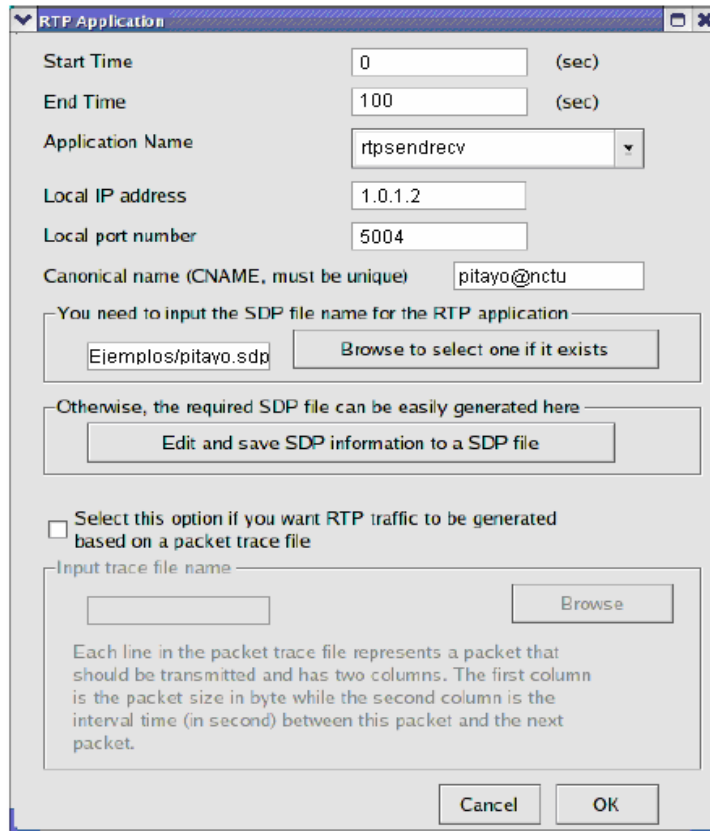
Una vez la topología de red se encuentre definida sobre el área de trabajo y se hayan realizado los anteriores pasos correctamente, se procede a configurar las propiedades de cada nodo, tales como el tipo de tráfico que se va a manejar, tiempo de simulación, intervalos de tiempo en el que un nodo falla, etc. Para acceder a la configuración de cada nodo simplemente se da doble clic sobre el ícono de cada nodo. La Figura G-8, muestra la ventana de configuración de un nodo cliente en modo infraestructura.

Es importante tener en cuenta que para realizar este paso es necesario guardar el archivo de simulación y que el simulador se encuentre en el modo de *Editor de Topología*. El botón que indica que se está en este modo es **E**.



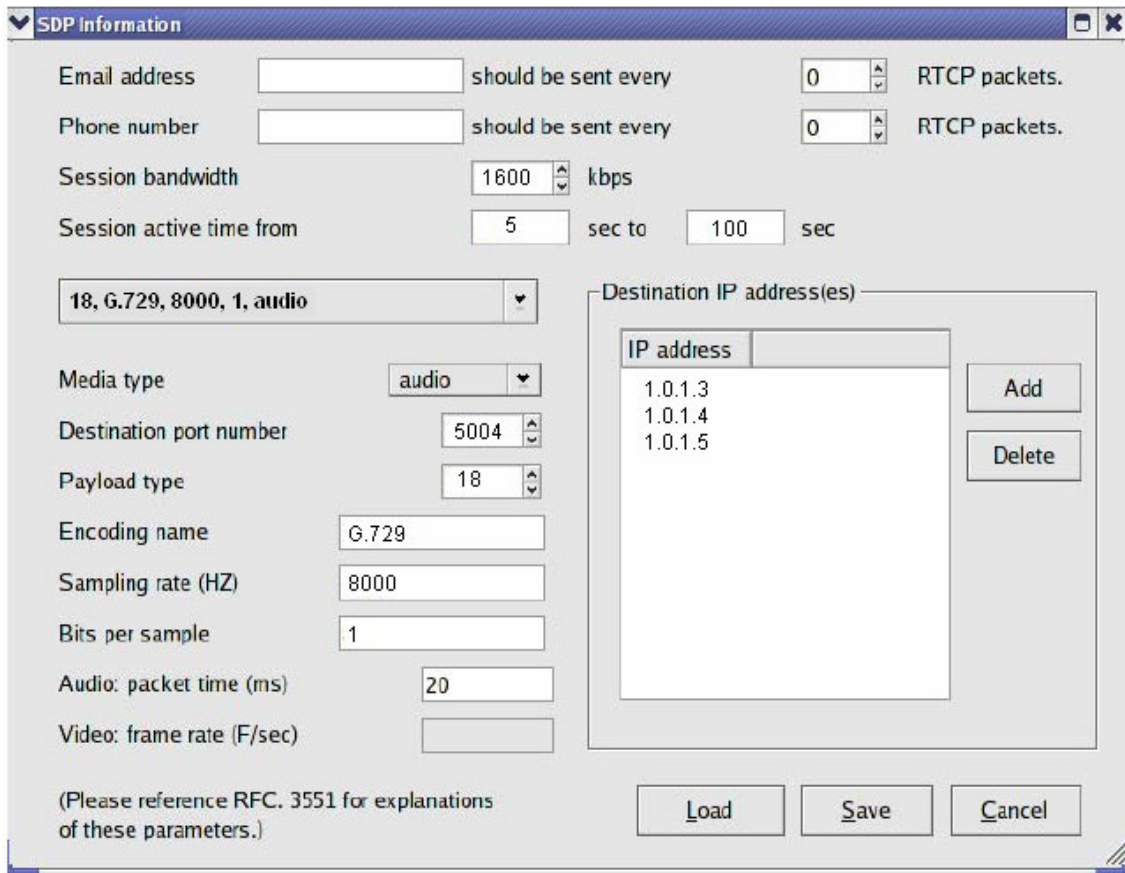
**Figura G-8. Ventana de configuración de un nodo cliente**

Una vez se encuentre dentro de la ventana de configuración de cada nodo es posible configurar la generación de las llamadas de VoIP a través de la opción *Add RTP* que despliega una ventana de configuración como la que se observa en la Figura G-9, en la cual se debe especificar la dirección IP local de cada nodo, el puerto, tiempos de inicio y finalización de la llamada.



**Figura G-9. Configurar generación de llamadas VoIP**

La aplicación *rtpsendrecv* que puede configurarse en el campo *Application Name* es propia del simulador y permite enviar y recibir paquetes RTP. La especificación de los detalles de la llamada, tales como el tipo de codec a utilizar para los distintos tipos de datos (audio o video), la dirección IP del nodo cliente al cual se desea llamar, se realiza a través de un archivo de tipo SDP que se carga en cada uno de los nodos cliente. Para esto se debe hacer clic sobre el botón *Edit and save SDP information to a SDP file* y seguidamente aparece una nueva ventana de configuración en la que se especifican estos detalles, tal aparece en la Figura G-10.



**Figura G-10. Ventana de configuración para especificar detalles de la llamada**

Otra funcionalidad de la herramienta NCTUns permite configurar los nodos para que dejen de funcionar en un intervalo de tiempo determinado, lo cual es provechoso para estudiar las propiedades de enrutamiento y restablecimiento de rutas de las redes inalámbricas en malla. Esta configuración puede realizarse a través de la opción *Down Time* que se encuentra en la ventana de configuración de cada nodo a la cual se accede haciendo doble clic sobre el mismo (ver Figura G-8).

Después de implementar la topología de red y configurar los nodos adecuadamente, para correr la simulación es necesario tener en cuenta que el simulador debe estar en el modo *Simulation-Run*, el cual se representa en NCTUns por la letra **R**. Luego debe hacerse clic en el menú *Simulation/Run* y se espera a que el simulador genere los archivos respectivos. Para observar la animación de los paquetes y ver el camino que toman los datos por la red se da clic sobre el botón play ► del simulador. Finalmente, el usuario puede observar las estadísticas a través de las gráficas haciendo clic en el menú *Tools/Plot Graph*. Para este caso en particular, debido al uso de la aplicación *Add RTP* es posible observar las gráficas de los parámetros que determinan la calidad de la voz como lo son el retardo, *jitter* y la pérdida de paquetes que se producen cuando los nodos se comunican a través de múltiples saltos.



---

[1] IEEE Std. 802.15.4, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). IEEE, 2003.

Disponible en: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2003.pdf>>

[2] A. Bellido, J. Torres, J. Muñoz, D. Miñana, M. Madrid, J. Olmeda. Redes Móviles y Redes Inalámbricas. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <[http://personales.alumno.upv.es/~jormuocu/trabajo\\_grupo.pdf](http://personales.alumno.upv.es/~jormuocu/trabajo_grupo.pdf)>

[3] G. Karayannis. Understanding the Role of IEEE 802.15.4 & ZigBee™ in AMR & Submetering. AMRA 2003 International Symposium. Disponible en: <<http://www.palowireless.com/zigbee/resources.asp>>

[4] IEEE Std. 802.11-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE, 1999. Disponible en: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-1999.pdf>>

[5] P. Brenner. A technical tutorial on the IEEE 802.11 protocol. BreezeCOM. 1997. Disponible en: <[http://sss-mag.com/pdf/802\\_11tut.pdf](http://sss-mag.com/pdf/802_11tut.pdf)>

[6] IEEE Std. 802.16, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. IEEE, 2004.

Disponible en: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>>

[7] A. Montoya, J. Ortega. Criterios para interconexión de sitios remotos bajo los estándares IEEE 802.11 y 802.16. Proyecto de Grado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca. Popayán, 2005.

[8] C. Muñoz, J. Muñoz. Metodología para la Simulación de Equipos de Telecomunicaciones. Proyecto de Grado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca. Popayán, 1995.