



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## **DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN

AUTORA: OÑATE VIERA VANESSA DE LOS ÁNGELES

TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE  
COMUNICACIÓN INALÁMBRICO PARA INTERCONECTAR LA SMART  
GRID FORMADA POR LOS RECONECTADORES U-SERIES WITH  
ADVC CONTROLLER EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE  
LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.”

DIRECTOR: ING. ORTÍZ V. DIEGO  
CODIRECTOR: ING. TRÁVEZ P. WILSON

LATACUNGA, JULIO 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

*INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN*

## **CERTIFICADO**

*DIEGO EDMUNDO ORTIZ VILLALBA (DIRECTOR)*  
*WILSON OSWALDO TRÁVEZ PILLO (CODIRECTOR)*

### **CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO PARA INTERCONECTAR LA SMART GRID FORMADA POR LOS RECONECTADORES U-SERIES WITH ADVANCED CONTROLLER EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.*” realizado por *Vanessa de los Ángeles Oñate Viera*, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico y aplicable para el desarrollo profesional, sí recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de 2 documentos empastados y 2 discos compactos el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a *Vanessa de los Ángeles Oñate Viera* que lo entregue al Ing. José Bucheli, en su calidad de Director de la Carrera.

*Latacunga, Julio de 2014.*

---

*Diego Edmundo Ortiz Villalba*  
DIRECTOR

---

*Wilson Oswaldo Trávez Pillo*  
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

*INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN*

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

OÑATE VIERA VANESSA DE LOS ÁNGELES

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO PARA INTERCONECTAR LA SMART GRID FORMADA POR LOS RECONECTADORES U-SERIES WITH ADVC CONTROLLER EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.”*, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

*Latacunga, Julio de 2014.*

---

Vanessa de los Ángeles Oñate Viera

C.C. 0502513146

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

*INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN*

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, *VANESSA DE LOS ÁNGELES OÑATE VIERA*.

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO PARA INTERCONECTAR LA SMART GRID FORMADA POR LOS RECONECTADORES U-SERIES WITH ADVC CONTROLLER EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.”*, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

*Latacunga, Julio de 2014.*

---

Vanessa de los Ángeles Oñate Viera

C.C. 0502513146

## DEDICATORIA

A mi querida abuelita.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, por el apoyo, comprensión y motivación constante para culminar esta etapa de mi vida, gracias a la perseverancia y los valores que ellos con su ejemplo de vida y sacrificio diario supieron cultivar en mí.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICADO.....	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT.....	XX
CAPÍTULO I.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 GENERAL.....	3
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	3
1.4 SMART GRID – REDES INTELIGENTES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	4
1.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS SMART GRID.....	6
1.6 CONVERGENCIA ENTRE LA RED ELÉCTRICA Y LAS TELECOMUNICACIONES.....	7
1.7 FASES HACIA LA RED INTELIGENTE.....	10
1.7.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y TELECOMUNICACIONES.....	10
1.8 EVOLUCIÓN HACIA LAS REDES INTELIGENTES.....	11
1.9 ELEMENTOS DE UNA RED INTELIGENTE.....	14
1.10 AGENTES INVOLUCRADOS.....	16
1.11 SISTEMAS DE PROTECCIÓN.....	17
1.11.1 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE	

PROTECCIÓN.....	18
1.11.2 EL RECONECTADOR.....	18
a. PARTES DE UN RECONECTADOR.....	18
b. OPERACIÓN DEL RECONECTADOR.....	19
c. APLICACIONES DEL RECONECTADOR.....	21
d. USO DEL RECONECTADOR CON RESPECTO AL MEDIO AMBIENTE.....	21
1.11.3 RECONECTADORES U-SERIES.....	22
1.12 PERTURBACIONES EN REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....	22
1.12.1 TIPOS DE PERTURBACIONES.....	24
a. PERTURBACIONES ALEATORIAS.....	24
b. PERTURBACIONES ESTACIONARIAS.....	24
1.12.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PERTURBACIONES.....	24
a. RUIDOS E IMPULSOS EN MODO DIFERENCIAL.....	24
b. VARIACIONES LENTAS Y RÁPIDAS DE TENSIÓN.....	25
c. PARPADEO (FLICKER).....	27
d. MICROCORTESES.....	28
e. CORTESES LARGOS.....	28
f. DISTORSIÓN.....	29
g. VARIACIONES DE FRECUENCIA.....	30
1.13 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	31
1.13.1 VENTAJAS DE LA RED INALÁMBRICA.....	31
a. ACCESIBILIDAD.....	31
b. MOVILIDAD.....	32
c. PRODUCTIVIDAD.....	32
d. FÁCIL CONFIGURACIÓN.....	32
e. ESCALABILIDAD.....	32
f. SEGURIDAD.....	32
g. COSTES.....	33
1.14 REDES INALÁMBRICAS DE DATOS.....	33
1.14.1 VENTAJAS.....	33
1.14.2 DESVENTAJAS.....	33



1.14.3	REGULACIÓN DEL ESPECTRO.....	33
1.14.4	TECNOLOGÍA WIFI.....	34
1.14.5	COMPONENTES BÁSICOS DE UNA RED WLAN.....	34
a.	ANTENAS.....	34
a.1	TIPOS DE ANTENAS.....	36
b.	PUNTO DE ACCESO.....	38
c.	BRIDGE INALÁMBRICO.....	38
d.	ROUTER INALÁMBRICO.....	38
e.	ADAPTADORES.....	39
1.14.6	TOPOLOGÍA Y CONFIGURACIONES DE REDES INALÁMBRICAS.....	39
a.	CONFIGURACIÓN PEER-TO-PEER.....	39
b.	CONFIGURACIÓN EN MODO PUNTO DE ACCESO.....	40
c.	INTERCONEXIÓN DE REDES.....	41
1.14.7	ESTÁNDAR IEEE 802.11.....	42
1.14.8	WIMAX.....	45
a.	TOPOLOGÍAS DE REDES WIMAX.....	46
b.	CARACTERÍSTICAS DE WIMAX.....	47
c.	EVOLUCIÓN DE WIMAX.....	48
1.15	PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	49
1.15.1	NIVELES DE PROTOCOLO.....	49
a.	IEC 61850.....	50
b.	PROTOCOLO IEC 60870-5-104.....	52
c.	PROTOCOLO DNP3.....	53
d.	MODBUS.....	55
CAPÍTULO 2.....		57
2.1	ANTECEDENTES.....	57
2.2	TOPOLOGÍA DE RED.....	57
2.3	INVESTIGACIÓN DE CAMPO PARA LA TOMA DE LOS NUEVOS PUNTSO DE ENLACE EN LA RED.....	61
2.4	ESTUDIO DE COBERTURA DE LA RED.....	62

		X
2.4.1	TECNOLOGÍA.....	63
2.4.2	COBERTURA.....	63
a.	DIAGRAMA DE RED.....	64
a.1	ANÁLISIS DE LOS ENLACES.....	65
2.4.3	TOPOLOGÍA DE RED.....	88
2.4.4	DIRECCIONAMIENTO IP.....	91
	 CAPÍTULO 3.....	 92
3.1	INTRODUCCIÓN.....	92
3.2	ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS DEL SISTEMA.....	92
3.3	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA.....	 93
3.3.1	ESPECIFICACIONES DE DISPOSITIVOS DE RADIO FRECUENCIA.....	 94
3.3.2	ESPECIFICACIONES MÁSTILES DE ELEVACIÓN.....	96
3.3.3	ESPECIFICACIONES SWITCH DE GESTIÓN.....	97
3.4	DISPOSICIÓN DE EQUIPOS A IMPLEMENTARSE POR SECTORES.....	 98
3.4.1	ESTACIONES REMOTAS.....	98
3.4.2	ESTACIONES REPETIDORAS.....	99
3.5	CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS.....	99
3.5.1	CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS DE RADIO FRECUENCIA.....	 99
3.6	IMPLEMENTACIÓN EN SITIO.....	107
3.6.1	IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REMOTA PIEDRA COLORADA.....	 107
3.6.2	IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REMOTA BELLAVISTA.....	109
3.6.3	IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REMOTA TANDALIVÍ.....	113
3.6.4	CENTRO DE CONTROL DE OPERACIONES ELÉCTRICAS EL CALVARIO.....	 115
3.7	PRUEBAS DE CONEXIÓN Y ENLACE.....	116
3.7.1	EL CALVARIO HOST.....	117
3.7.2	COE – ILLUCHI – EL CALVARIO.....	119

3.7.3	COE – ILLUCHI – BELLAVISTA.....	120
3.7.4	COE – ILLUCHI – TANDALIVI.....	122
3.7.5	COE – BELLAVISTA.....	124
3.7.6	COE – PIEDRA COLORADA.....	126
3.7.7	COE – TANDALIVI – BELLAVISTA.....	128
3.7.8	COE – TANDALIVI – ILLUCHI.....	130
CAPÍTULO 4.....		132
4.1	CONCLUSIONES.....	132
4.2	RECOMENDACIONES.....	134
BIBLIOGRAFÍA.....		135
ANEXOS.....		137

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Arquitectura de la futura Grid.....	7
Figura 1.2	Localización de las tecnologías prioritarias para las Smart Grids.....	16
Figura 1.3	Detalle de las partes constitutivas de un reconectador....	19
Figura 1.4	Ejemplo de operación de un reconectador.....	20
Figura 1.5	(a) Ruido eléctrico presente en la señal senoidal proporcionada por la red eléctrica, (b) Impulso eléctrico.....	25
Figura 1.6	Variación de tensión.....	26
Figura 1.7	Variación lenta de tensión.....	27
Figura 1.8	Flicker, variación rápida de tensión.....	27
Figura 1.9	Microcortes de tensión.....	28
Figura 1.10	Corte largo de tensión.....	29
Figura 1.11	Forma de onda de tensión con gran distorsión armónica.	30
Figura 1.12	Forma de onda de tensión con variación.....	31
Figura 1.13	Patrón de radiación de una antena Yagi.....	35
Figura 1.14	Radiación de una antena omnidireccional.....	37
Figura 1.15	Radiación de antenas direccionales.....	38
Figura 1.16	Arquitectura peer to peer.....	40
Figura 1.17	Arquitectura basada en Puntos de Acceso.....	41
Figura 1.18	Utilización de varios Puntos de Acceso: terminales con capacidad de roaming.....	41
Figura 1.19	Interconexión de LAN mediante antenas direccionales....	42
Figura 1.20	Arquitectura del estándar IEC 61850.....	52
Figura 1.21	Esquema MODBUS.....	56
Figura 2.1	Ubicación geográfica del centro de control y los reconectores.....	58
Figura 2.2	Perfil topográfico Anchilivi – COE.....	59
Figura 2.3	Perfil topográfico Sinchaguasín – COE.....	59
Figura 2.4	Perfil topográfico Novacero – COE.....	60
Figura 2.5	Perfil topográfico Piedra Colorada – COE.....	60

Figura 2.6	Perfil topográfico Bellavista – COE.....	60
Figura 2.7	Ubicación geográfica de las estaciones repetidoras.....	62
Figura 2.8	Diagrama de Red.....	65
Figura 2.9	Identificación de parámetros de comunicación Novacero – Tandalivi Radio Mobile.....	69
Figura 2.10	Identificación de la zona de Fresnel enlace Novacero – Tandalivi.....	70
Figura 2.11	Identificación de parámetros de comunicación enlace Piedra Colorada – Tandalivi Radio Mobile.....	74
Figura 2.12	Identificación de la zona de Fresnel enlace Piedra Colorada – Tandalivi Radio Mobile.....	74
Figura 2.13	Identificación de parámetros de comunicación enlace Tandalivi – Tanque 1 Radio Mobile.....	78
Figura 2.14	Identificación de la zona de Fresnel enlace Tandalivi – Tanque 1 Radio Mobile.....	79
Figura 2.15	Identificación de parámetros de comunicación enlace COE– Tanque 1 Radio Mobile.....	80
Figura 2.16	Identificación de la zona de Fresnel enlace Piedra Colorada – Tandalivi Radio Mobile.....	80
Figura 2.17	Identificación de parámetros de comunicación enlace COE– Bellavista Radio Mobile.....	81
Figura 2.18	Identificación de la zona de Fresnel enlace COE – Bellavista Radio Mobile.....	82
Figura 2.19	Identificación de parámetros de comunicación enlace COE– Sinchaguasín Radio Mobile.....	83
Figura 2.20	Identificación de la zona de Fresnel enlace COE – Sinchaguasín Radio Mobile.....	83
Figura 2.21	Identificación de parámetros de comunicación enlace Mulalillo – Sinchaguasín Radio Mobile.....	85
Figura 2.22	Identificación de la zona de Fresnel enlace Mulalillo – Sinchaguasín Radio Mobile.....	85
Figura 2.23	Identificación de parámetros de comunicación enlace Anchilivi – Mulalillo Radio Mobile.....	86

Figura 2.24	Identificación de la zona de Fresnel enlace Anchilivi – Mulalillo Radio Mobile.....	86
Figura 2.25	Identificación de parámetros de comunicación enlace Juigua – Mulalillo Radio Mobile.....	87
Figura 3.1	Radio AirMAX Ubiquiti Network.....	96
Figura 3.2	Mástil de elevación con accesorios.....	96
Figura 3.3	Switch de Gestión de Información.....	98
Figura 3.4	Configuración de acceso al radio de UBIQUITI.....	100
Figura 3.5	Página principal de gestión WEB.....	101
Figura 3.6	Página de dirección de red.....	102
Figura 3.7	Página de Ajustes Inalámbricos.....	103
Figura 3.8	Página de Ajustes Avanzados.....	104
Figura 3.9	Página de Servicios.....	105
Figura 3.10	Página de Sistema.....	106
Figura 3.11	Disposición del radio AirMax de Ubiquiti Network direccionado hacia la estación repetidora Tandalivi.....	107
Figura 3.12	Disposición de la estación remota Piedra Colorada.....	108
Figura 3.13	Identificación de parámetros de comunicación Bellavista – Tanque 1 Radio Mobile.....	109
Figura 3.14	Identificación de la zona de Fresnel enlace Bellavista – Tanque 1 Radio Mobile.....	110
Figura 3.15	Disposición del radio AirMax de Ubiquiti Network direccionado hacia la estación repetidora Tanque 1.....	111
Figura 3.16	Disposición de la estación remota Bellavista.....	112
Figura 3.17	A: Disposición del radio AirMax de Ubiquiti Network direccionado hacia la estación remota Piedra Colorada, antena direccional 23dBi.....	113
Figura 3.18	Sistema de Puesta a Tierra utilizando Punta Franklin – Estación Repetidora Tandalivi.....	114
Figura 3.19	Disposición del COE ELEPCO S.A. El Calvario, A: Ubicación del radio AirMax de Ubiquiti Network direccionado hacia la estación remota Tanque1, antena direccional 23dBi.....	115

Figura 3.20	Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción AirGrid M5HP de AIR OS.....	116
Figura 3.21	Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE-El Calvario (Host).....	118
Figura 3.22	Ping COE-El Calvario Host.....	118
Figura 3.23	Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE-Illuchi-El Calvario.....	119
Figura 3.24	Ping COE-Illuchi-Calvario.....	120
Figura 3.25	Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE-Illuchi-Bellavista.....	121
Figura 3.26	Ping COE-Illuchi-Bellavista.....	122
Figura 3.27	Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE - Illuchi-Tandaliví.....	123
Figura 3.28	Ping COE - Illuchi-Tandaliví.....	123
Figura 3.29	Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE – Bellavista.....	125
Figura 3.30	Ping COE-Bellavista.....	125
Figura 3.31	Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE - Piedra Colorada.....	127
Figura 3.32	Ping COE - Piedra Colorada.....	127
Figura 3.33	Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE - Tandaliví-Bellavista.....	129
Figura 3.34	Ping COE-Tandaliví-Bellavista.....	129
Figura 3.35	Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE - Tandaliví-Illuchi.....	131
Figura 3.36	Ping COE-Tandaliví-Illuchi.....	131

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Comparativa en flujos.....	5
Tabla 1.2	Comparativa en control.....	5
Tabla 1.3	Características técnicas Reconectores U-Series.....	22
Tabla 1.4	Cuadro comparativo entre los principales estándares IEEE 802.11.....	44
Tabla 1.5	Estándares WiMAX.....	48
Tabla 2.1	Coordenadas de ubicación geográfica del centro de control y los reconectores.....	58
Tabla 2.2	Coordenadas de ubicación geográfica del centro de control y los repetidores.....	61
Tabla 2.3	Distancias entre enlaces y ángulos de elevación.....	64
Tabla 2.4	Enlace 1, Ubicación Geográfica.....	65
Tabla 2.5	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Navacero y Tandalivi.....	69
Tabla 2.6	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Piedra Colorada y Tandalivi.....	73
Tabla 2.7	Enlace 2, Ubicación Geográfica.....	74
Tabla 2.8	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Piedra Colorada y Tandalivi.....	78
Tabla 2.9	Enlace 3, Ubicación Geográfica.....	79
Tabla 2.10	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos COE y Tanque 1.....	79
Tabla 2.11	Enlace 4, Ubicación Geográfica.....	81
Tabla 2.12	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos COE y Bellavista.....	81
Tabla 2.13	Enlace 5, Ubicación Geográfica.....	82



Tabla 2.14	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos COE y Sinchaguasín.....	82
Tabla 2.15	Enlace 6, Ubicación Geográfica.....	84
Tabla 2.16	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Mulalillo y Sinchaguasín.....	84
Tabla 2.17	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Anchilivi y Mulalillo.....	85
Tabla 2.18	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Juigua y Mulalillo.....	87
Tabla 2.19	Descripción de elementos de la topología lógica empleada en la Figura 2.27.....	90
Tabla 2.20	Distribución de direcciones IP.....	91
Tabla 3.1	Especificaciones técnicas Dispositivos de Radiofrecuencia.....	95
Tabla 3.2	Especificaciones técnicas Switch.....	97
Tabla 3.3	Enlace 7, Ubicación Geográfica.....	109
Tabla 3.4	Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Bellavista – Tanque 1.....	110
Tabla 3.5	Identificación de estaciones.....	117
Tabla 3.6	Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-El Calvario Host.....	119
Tabla 3.7	Identificación de estaciones.....	119
Tabla 3.8	Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-Illuchi-Calvario.....	120
Tabla 3.9	Identificación de estaciones.....	121
Tabla 3.10	Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-Illuchi-Bellavista.....	122
Tabla 3.11	Identificación de estaciones.....	122

Tabla 3.12	Los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE – Illuchi - Tandaliví.....	124
Tabla 3.13	Identificación de estaciones.....	124
Tabla 3.14	Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-Bellavista.....	126
Tabla 3.15	Identificación de estaciones.....	126
Tabla 3.16	Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE - Piedra Colorada.....	128
Tabla 3.17	Identificación de estaciones.....	128
Tabla 3.18	Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-Tandaliví-Bellavista.....	130
Tabla 3.19	Identificación de estaciones.....	130
Tabla 3.20	Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-Tandaliví-Illuchi.....	131

# 1 RESUMEN

Como parte de las actividades desarrolladas por ELEPCO S.A. para mejorar los índices de calidad de energía, TTIK y FMIK, se han instalado reconectadores en los alimentadores primarios de distribución del sistema eléctrico de Cotopaxi, con lo cual se ha incrementado la selectividad del sistema de protecciones. Los reconectadores están ubicados estratégicamente en los alimentadores y en las derivaciones. Cuando se presenta una falla permanente en el alimentador, se requiere que personal de mantenimiento acuda para detectar la causa y realizar los trabajos de reparación correspondientes. Los reconectadores están equipados con relés que disponen de módulos de comunicación para enviar información sobre la operación y estado del reconectador hacia el centro de operaciones con la finalidad de identificar la falla y la posible causa en el menor tiempo posible; ésta información, permite también realizar ajustes en la configuración de las protecciones, gracias a que registran los valores reales de la corriente de falla; utilizando al máximo las capacidades de los relés. La Smart Grid que se va a implementar en el presente proyecto empleando los equipos U-Series with ADVC Controller de la marca Schneider Electric, será capaz de monitorear permanentemente las condiciones de la red eléctrica; por tal razón será necesario implementar un sistema de comunicación inalámbrica mediante equipos de radiofrecuencia, que facilite la interconexión de los reconectadores con el Centro de Control; ya sea, de forma directa o a través de repetidores, garantizando compatibilidad con los protocolos de transmisión de datos de los equipos U-Series with ADVC Controller para finalmente generar una interface que permita tener una correcta supervisión y control de las estaciones remotas.

**PALABRAS CLAVES:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA, COMUNICACIONES INALÁMBRICAS, REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES, RECONECTADORES.

## 2 ABSTRACT

As part of the activities ELEPCO SA to reduce power quality indices, and FMIK TTIK, reclosers were installed in the primary distribution feeders Cotopaxi power system, which has increased the selectivity of the protection system. Reclosers are strategically placed in the feeders and derivations. When a permanent fault occurs somewhere in the feeder requires maintenance staff go to find the cause and make the appropriate repair work. Reclosers are equipped with relays that have communication modules to send information about the operation of the recloser to center of operations in order to locate the fault and the possible cause in the shortest time possible, this information also allows adjustments to protections as recognized the actual values of fault current; using the full potential of the relays. The Smart Grid that will be implemented as a final graduation project with U-Series with ADVC Controller equipment Schneider Electric brand, will be able to continuously monitor the conditions of the grid so it will be necessary to implement a communication system to facilitate the interconnection of reclosers Control Center either directly or through repeaters, ensuring compatibility with data transmission protocols of the U-Series with ADVC Controller equipment.

**KEY WORDS:** ELECTRONICS ENGINEERING WIRELESS COMMUNICATIONS, SMART ELECTRICITY NETWORKS, RECLOSER.

# 1 CAPÍTULO I

## FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO PARA INTERCONECTAR LA SMART GRID FORMADA POR LOS RECONECTADORES U-SERIES WITH ADVANCED CONTROLLER EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.”

### 1.1 ANTECEDENTES

En varios congresos sobre Smart Grids se ha llegado a la conclusión que el actual sistema energético a nivel mundial es complejo e ineficiente. El modelo de vía única entre grandes generadores de electricidad y consumidores tiende a ser superado por un nuevo escenario con múltiples generadores y muy diversos tipos de consumidores que quieren ser activos, controlando su consumo, e incluso que se les incentive a ello, fomentando un uso racional de la energía.

En los últimos tiempos, el sector eléctrico ecuatoriano ha sufrido numerosos cambios, entre los que cabe destacar la innovación tecnológica en cuanto a manejo, monitoreo y control; como lo establece la REGULACION No. CONELEC-005/08 PARA LA SUPERVISIÓN Y CONTROL EN TIEMPO REAL DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO POR PARTE DEL CENACE.

Este escenario, con multitud de puntos de producción eléctrica, algunos muy alejados de los grandes centros urbanos y otros dentro de las ciudades, impone a las redes de distribución requisitos de gestión más exigentes puesto que deben soportar gran cantidad de generación eléctrica prácticamente imprevisible y de forma variable frente a la demanda.

Por otra parte, la aparición de los contadores electrónicos inteligentes que permiten la telegestión y telemedida de forma que los consumidores puedan conocer sus pautas de consumo y por tanto, requerir energía de manera mucho más racional, incluso “a la carta”, con demandas energéticas de características específicas en momentos distintos.

Implementar proyectos innovadores futuros, en las Empresas Eléctricas Ecuatorianas es un requisito para generar el cambio del sistema de gestión que supone la puesta en marcha de estas nuevas redes, sus costes y beneficios, así como el desarrollo futuro en los próximos años.

Una Smart Grid aplica tecnologías disponibles para llevar conocimientos a los sistemas eléctricos de forma que las redes eléctricas funcionen de manera más inteligente, llevar confiabilidad a niveles nunca antes alcanzados manteniendo su balance económico incorporando plenamente fuentes renovables y tradicionales de energía. Elepco S.A., dispone en su sistema de redes de distribución aéreas, equipos reconectores con relés cuya tecnología es apropiada para la creación de una red inteligente.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO**

Debido al desarrollo de la electrónica y al crecimiento de tecnologías en varios ámbitos tales como, las redes industriales, los sistemas de comunicaciones inalámbricas y las denominadas Smart Grid usadas para la distribución de energía eléctrica a los usuarios; sobre todo este último ha experimentado un crecimiento acelerado; por lo que, es imperioso que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación, tengan una formación adecuada sobre estas tecnologías y se familiaricen con su investigación y manipulación de modo práctico. En el desarrollo de este proyecto se diseñará e implementará un sistema de comunicación inalámbrico para interconectar la Smart Grid formada por los reconectores U-Series With ADVC Controller en la red de distribución eléctrica de la

Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., por lo que es importante indicar que el desarrollo de este proyecto contribuye al buen desenvolvimiento de la red de distribución eléctrica de ELEPCO S.A., debido a que se disminuirán los tiempos de respuesta, cuando se desee reponer el sistema eléctrico, en lugares alejados a los que el personal técnico tardaría mucho tiempo en llegar, además se puede obtener registros inmediatos de las causas o efectos de las fallas en el sistema permitiendo generaran soluciones adecuadas para disminuir posibles fallas futuras.

Además, no se puede dejar de lado la responsabilidad que los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga tenemos con las empresas del País al poner al servicio los conocimientos adquiridos durante nuestros años de estudio.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema de comunicación inalámbrico para interconectar la Smart Grid formada por los reconectores U-Series With ADVC Controller en la red de distribución eléctrica de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

#### **1.3.2 ESPECÍFICOS**

- Investigar sobre la evolución y desarrollo de las Smart Grid en redes de distribución eléctrica.
- Identificar la ubicación de los reconectores U-Series instalados en la red de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
- Analizar e investigar las particularidades que presentan las redes de comunicación inalámbrica mediante el uso del estándar IEEE 802.11x para la interconexión de una Smart Grid en redes de distribución eléctrica.

- Diseñar una red de comunicación inalámbrica mediante el estándar IEEE 802.11x que permita la interconexión de la Smart Grid formada por los reconectores U-Series With ADVC Controller de la marca Schneider Electric con el Centro de Control de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
- Instalar los equipos que conforman la red para la interconexión de los reconectores.
- Monitorear los datos de parámetros eléctricos del sistema mediante el WSOS software propietario del fabricante de los reconectores U-Series.

#### **1.4 SMART GRID – REDES INTELIGENTES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN**

"Red inteligente" generalmente se refiere a una clase de tecnología que la gente está utilizando para llevar los sistemas de prestación de servicios públicos de electricidad en el siglo XXI, el uso de control y automatización remota basada en ordenador. Se hacen posibles estos sistemas por la tecnología de comunicación de dos vías y el tratamiento informático que se ha utilizado durante décadas en otras industrias; empezando a ser utilizadas en las redes eléctricas, desde las centrales eléctricas y los parques eólicos hasta el final a los consumidores de electricidad en los hogares y las empresas. Las redes inteligentes ofrecen muchos beneficios a los servicios públicos y los consumidores, en su mayoría observados en grandes mejoras en la eficiencia energética y la fiabilidad de la red eléctrica y en las casas y oficinas de los usuarios de energía. [1]

*"La Smart Grid integra electricidad y comunicaciones en una red eléctrica que soporta la nueva generación de energía interactiva y servicios de comunicación, y suministra electricidad de calidad digital al usuario final. En este sentido, la red eléctrica debe estar siempre disponible, viva, interactiva, interconectada y fuertemente acoplada con las comunicaciones en una red compleja de energía y comunicaciones en tiempo real". [2]*



Una red que integra sistemas de Generación, Transmisión, Subtransmisión, Distribución y Cargas. Actuando sobre todos los componentes de la red, mejorando la eficiencia, fiabilidad, factores económicos y la sustentabilidad del servicio. [3]

En la Tablas 1.1 y 1.2 se presentan las comparativas básicas en flujos y control respectivamente:

**Tabla 1.1** Comparativa en flujos

<b>Flujos</b>	<b>Red Actual</b>	<b>Red Futura</b>
<b>Energía</b>	De centrales a usuario	En todas direcciones
<b>Información</b>	Dirigida a centros de mando	En todas direcciones
<b>Dinero</b>	De usuarios a Departamentos de cobros	En todas direcciones

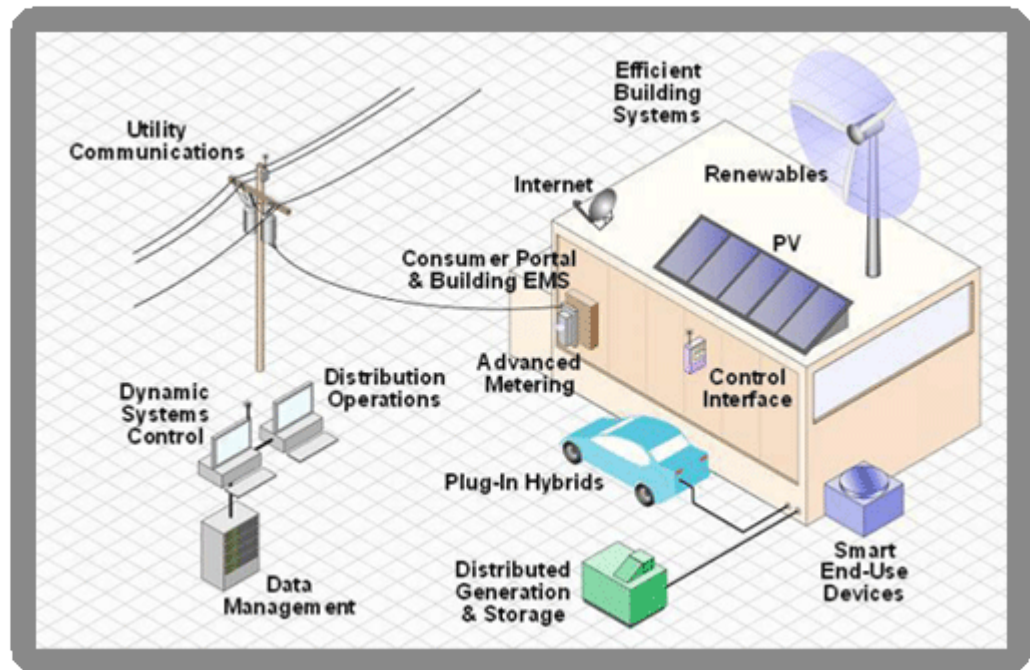
**Tabla 1.2** Comparativa en control

<b>Control</b>	<b>Red Actual</b>	<b>Red Futura</b>
<b>Operaciones</b>	Centralizada	Distribuidas
<b>Control</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Local: Sistemas de protección (área limitada)</li> <li>Centralizado: Sistemas SCADA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distribuido según jerarquía, negociación/coordinación</li> <li>Realizado por sistemas inteligentes</li> </ul>
<b>Sensorización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poca</li> <li>Componentes Electromecánicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extensa sensorización</li> </ul>

## 1.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS SMARTGRID

Una Red Inteligente cuenta con productos y servicios innovadores; así como, seguimiento inteligente, control, comunicación y tecnologías de auto-reparación con el fin de:

- Mejorar la facilidad de conexión y el funcionamiento de los generadores de todos los tamaños y tecnologías.
- Permitir a los consumidores desempeñar un papel en la optimización de la operación del sistema.
- Proporcionar a los consumidores mayor información y opciones para la elección de la oferta
- Reducir significativamente el impacto medioambiental del sistema eléctrico de suministro.
- Optimizar la eficiencia de los servicios existentes, mejorar el factor de potencia, gestión de voltaje, proporcionar una plataforma para manejo de flujo de potencia bidireccional.
- Generar sostenibilidad, soluciones para la generación distribuida, así como el aumento de la vida útil de los activos a través del monitoreo y análisis de rendimiento.
- Manejar la Interoperabilidad e Integración de Nuevas Tecnologías: Almacenamiento (Storage), Comunicaciones inalámbricas, FDIR, Monitoreo y Diagnóstico (Pre-falla en equipamientos). [4]



**Figura 1.1** Arquitectura de la futura Grid

## 1.6 CONVERGENCIA ENTRE LA RED ELÉCTRICA Y LAS TELECOMUNICACIONES

La convergencia de infraestructuras de energía y telecomunicaciones hará posible un sistema distribuido y controlado para el cambio de paradigma del sistema energético, apoyado en el cambio del paradigma, que ya se ha producido, en el sistema de comunicaciones, que dará forma a la red de energía del futuro.

La necesidad del ahorro de energía es algo fuera de toda duda, pero ésto implica, inevitablemente, automatizar todo el proceso de control mediante una red convergente de energía – telecomunicaciones – información. Las nuevas tecnologías permiten crear una única infraestructura física inherentemente segura, multipunto a multipunto, para la distribución de energía e información, siendo una base fundamental para la estrategia futura de la convergencia y el ahorro.

Uno de los aspectos más importantes de los sistemas de generación basados en energías renovables es la correlación temporal entre la

demanda y la generación, porque cambian los conceptos básicos de los sistemas de generación convencionales.

La clave para aprovechar estos recursos es la adaptación de la demanda al suministro (control de la demanda) y no al contrario. Aquí reside el alto potencial de un acercamiento integrado o convergente a las redes de electricidad y telecomunicaciones.

Las redes de comunicaciones y la infraestructura de las Tecnologías de la Información (TI) de la mayoría de las empresas de servicios públicos han evolucionado exponencialmente. Existe una combinación de tecnología obsoleta y heredada que carece de posibilidad de integración, lo cual hace que la transición hacia una red “conectada” sea más desafiante.

Las empresas de servicios públicos sirven a mercados geográficamente muy variados y generalmente tienen una combinación de clientes rurales y urbanos en los sectores residencial, comercial e industrial. Esa misma diversidad se extiende a sus activos de comunicaciones, que han evolucionado en los últimos 50 años.

Muchas compañías de servicios públicos han implementado grandes redes de comunicaciones que operan redes de voz y datos fijos y móviles en el territorio de servicio. Cada uno de estos sistemas tiene distintos requerimientos de ancho de banda, seguridad y rendimiento, y pueden ser desarrollados sobre distintas plataformas utilizando protocolos con derechos de propiedad. Algunos tienen una arquitectura fragmentada, lo cual lleva a costes operativos más altos y podrían carecer del ancho de banda necesario para la comunicación bidireccional en tiempo real de la red eléctrica inteligente y de la escalabilidad necesaria para adoptar una gama de dispositivos y aplicaciones de red en constante cambio.

Las empresas de servicios públicos experimentarán en breve una explosión de datos debido a un crecimiento exponencial de los dispositivos inteligentes, contadores y monitores que llegan en línea como parte de la red eléctrica inteligente. La mayoría de las estrategias y sistemas de datos

heredados no están preparados para manejar los volúmenes que se van a generar. Estos nuevos datos requerirán un mayor almacenamiento, ancho de banda y seguridad. También deben estar disponibles para funciones analíticas para ofrecer un análisis más profundo con el fin de entender los nuevos patrones de uso y desarrollar nuevos modelos de precio.

Los problemas de seguridad que se han detectado a principios de 2009 en el despliegue de las “Smart Grids” en Estados Unidos han demostrado la necesidad de una nueva arquitectura de comunicaciones. La seguridad que hay que añadir a las redes IP es lo más complejo de la historia de las comunicaciones (firewalls, IDSs, spam, spoofing, troyanos, virus, suplantación de identidad).

El Instituto Nacional de Normas y Tecnología, (NIST – agencia del Departamento de Comercio de EEUU), ha identificado algunos problemas potenciales relacionados con la privacidad de los datos en lo que respecta a las redes eléctricas inteligentes, entre otros el robo, el seguimiento del comportamiento del cliente y la vigilancia en tiempo real.

La información procedente de estos dispositivos puede ser combinada en formas inesperadas y revelar información que los consumidores no desean que se conozca.

A pesar de que las comunicaciones no son el foco principal de concentración de las empresas de energía pública, la red eléctrica inteligente requiere una sólida red de comunicaciones que permita el soporte de las funciones tradicionales de las empresas de servicios públicos en la capa de energía. También debe contar con la flexibilidad de adaptarse a los nuevos requisitos de la capa de aplicaciones. Debe permitir el soporte de la respuesta de demanda, dispositivos avanzados de contadores y fuentes de energía distribuida. La red de comunicaciones debe proporcionar integración transparente, comunicación en tiempo real y gestionar el flujo de datos que está siendo protegido por los componentes de la red eléctrica inteligente a la vez que mantiene la seguridad. [5]

## 1.7 FASES HACIA LA RED INTELIGENTE

El desarrollo e implantación de las Smart Grids será algo progresivo y tendrá una fuerte dependencia con los avances tecnológicos y políticos que hoy en día se están llevando a cabo. Aunque son numerosos los campos en los que se trabaja actualmente, a continuación se describen los avances más destacados. [5]

- Centros de Transformación
- Equipos de alta tensión
- Subestaciones
- Protección y automatización de la red
- Sistemas de información y telecomunicaciones
- Regulación y mercado eléctrico

### 1.7.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y TELECOMUNICACIONES

Las comunicaciones entre los diferentes dispositivos del Centro de transformación y el Centro de Control y Supervisión no han tenido hasta ahora un estándar que permita una comunicación de datos eficiente, dificultando la implantación de los sistemas SCADA en los centros de transformación. (Eléctrica, 2010) Además, la interfaz con los relés era en muchos casos inexistente. Para solventar estos problemas se ha creado el protocolo internacional IEC 61850, que define la comunicación entre diferentes dispositivos conectados a una red de área local y se han desarrollado nuevos dispositivos, los IEDs, que integran elementos de comunicación para el telecontrol.

Es importante recordar las capas técnicas que componen la red eléctrica inteligente al desarrollar la estrategia y la hoja de ruta hacia la transformación. Al nivel más alto, las tecnologías de la red eléctrica inteligente pueden dividirse en tres capas:

A. Capa de energía, constituida por:

- Generación de energía

- Transmisión
- Subestaciones
- Red de distribución
- Consumo de energía

**B. Capa de comunicaciones, entre las que intervienen:**

- Red de área local (LAN)
- Red de área amplia (WAN)
- Red de área de campo (FAN)/AMI y red de área residencial (HAN), que permiten el soporte de la infraestructura de TI.
- Capa de aplicaciones, incluye:
  - Control de respuesta de demanda
  - Facturación
  - Control de averías
  - Monitoreo de carga
  - Mercados energéticos en tiempo real y nueva gama de servicios al cliente.

Si bien se requerirán cambios en las tres capas, es probable que la capa de comunicaciones sea la que más cambios requiera. De las tres capas, la capa de comunicaciones es la que posibilita la existencia de la red eléctrica inteligente. Actúa como sistema circulatorio para interconectar los distintos sistemas y dispositivos, la capa de energía con la capa de aplicaciones, para comunicar ambas completamente con la cadena de suministro de energía.

## **1.8 EVOLUCIÓN HACIA LAS REDES INTELIGENTES**

La tecnología de Smart Grid nace de los intentos por usar controles de consumo mediante medidores y sistemas de monitorización. En 1980, los medidores automáticos son utilizados para monitorizar las cargas de millones de clientes, lo que derivó en una infraestructura avanzada en 1990 que era capaz de determinar la cantidad de energía que se utilizaba en diferentes momentos del día.

La Smart Grid mantiene una constante comunicación, por lo que los controles se pueden hacer en tiempo real y se pueden utilizar como un puente para la creación de sistemas inteligentes de ahorro de energía en las casas. Uno de los primeros dispositivos de este tipo, fue el de demanda pasiva que permite determinar las variaciones de frecuencia en la provisión de energía en las casas.

Dispositivos domésticos e industriales como los aires acondicionados, heladeras, y calentadores ajustan su ciclo de trabajo para evitar su activación en los momentos en donde exista un pico en la utilización de energía, evitando así la sobrecarga de los sistemas de abastecimiento.

En el 2000, Italia creó el primer proyecto Smart Grid que abarcó cerca de 27 millones de hogares usando medidores inteligentes conectados a través de una línea de comunicación.

Los proyectos más recientes son los que utilizan tecnología inalámbrica o BPL (Broad band Over Power Line). (WAMS, 200) Los procesos de monitorización y sincronización de las redes se desarrollaron enormemente cuando la Bonneville Power Administration creó un nuevo prototipo de sensores que eran capaces de analizar con gran rapidez las anomalías en la calidad de energía eléctrica en áreas geográficas muy grandes. Esto derivó en la primera Wide Area Measurement System (WAMS) en el 2000. Otros países han integrado también esta tecnología, China, está construyendo su WAMS, que estará terminada en el 2016.

En abril de 2006, el Consejo Asesor de la Plataforma Tecnológica de redes tecnológicas del futuro de Europa presentó su visión de Smart Grids. Esta es impulsada por los efectos combinados de la liberación del mercado, el cambio de las tecnologías actuales por las de última generación para cumplir los objetivos ambientales y los usos futuros de la electricidad.

Actualmente, se sigue usando una red eléctrica que fue desarrollada hace más de un siglo, sin embargo, en un futuro inmediato se deberá



afrontar nuevos desafíos que surgen de la liberalización de los mercados y de la evolución de la tecnología en este campo.

Aunque el funcionamiento de las redes actuales es correcto, se debe trabajar para proporcionar un suministro eléctrico seguro y sostenible.

Las nuevas especificaciones que implementará el sector eléctrico serán las siguientes:

- **Participación activa del usuario:** En la red actual el usuario es una parte completamente pasiva, el desarrollo de las redes pretenderá desarrollar una actuación del usuario más participativa, surgiendo oportunidades de microgeneración, demanda energética flexible, servicios adaptados a sus necesidades, etc. Para lograr este punto será necesario incentivar la participación del usuario a la hora de entregar energía generada localmente, en función de su cantidad y la franja horaria.
- **Automatización de la red eléctrica:** Esto permitirá realizar un mantenimiento mucho más eficiente de todos los componentes de la red, incluso implementando soluciones de gestión remota. Por tanto será necesario realizar una fuerte inversión en la renovación de las infraestructuras existentes. Existen proyectos que tratan sobre estos conceptos exponiendo una arquitectura basada en IED's según la norma IEC 61850.
- **Seguridad en la generación centralizada:** El crecimiento de la red y su capacidad de generación, obligará a renovar las centrales generadoras con el fin de asegurar un suministro seguro. De esta forma se mejorará la fiabilidad en el suministro eléctrico ante cualquier perturbación.
- **Generación distribuida y fuentes de energía renovable:** Se establecen niveles de gestión energética local, reducción de pérdidas y emisiones, integración en redes de potencia.
- **Interoperabilidad con las redes eléctricas:** Implementación de las TI, será necesario mejorar el transporte a largas distancias y la integración de fuentes de energía renovable, fortaleciendo la

seguridad europea de suministro a través de unas capacidades de transferencia mejoradas.

- **Gestión de la demanda:** Desarrollo de estrategias para la regulación local de la demanda y control de cargas mediante medición electrónica y sistemas automáticos de gestión de medidas.
- **Aspectos sociales y demográficos:** Consideración del cambio de la demanda producido por la sociedad al incrementar su confort y calidad de vida.
- **Mejora de la calidad eléctrica:** Será posible la elección del grado de calidad eléctrica requerido por cada usuario, permitiendo un abanico de posibilidades a la hora de contratar el servicio energético. De esta forma será posible cubrir las necesidades para aplicaciones que requieren un nivel de calidad elevado en el suministro eléctrico, evitando microcortes, perturbaciones, huecos, etc.
- **Monitorización de la red:** Aunque en la actualidad existen diversos sistemas de monitorización implantados en la red de transporte, éstos se verán ampliados en gran medida, integrándose también en la red de distribución y en los usuarios finales.

## 1.9 ELEMENTOS DE UNA RED INTELIGENTE

El desarrollo de las Smart Grids supone una gran oportunidad para el sector eléctrico, dependiendo en gran medida del progreso y la evolución de tecnologías de índole muy diversa, siendo los principales campos de investigación del sector los relacionados con la electrónica de potencia, las TICs industriales, las tecnologías de control industrial y la automatización.

Existen cinco tecnologías fundamentales para conformar una Smart Grid:

- Las comunicaciones integradas, que conectan componentes de arquitectura abierta y permiten la información y control en tiempo real de manera bidireccional.

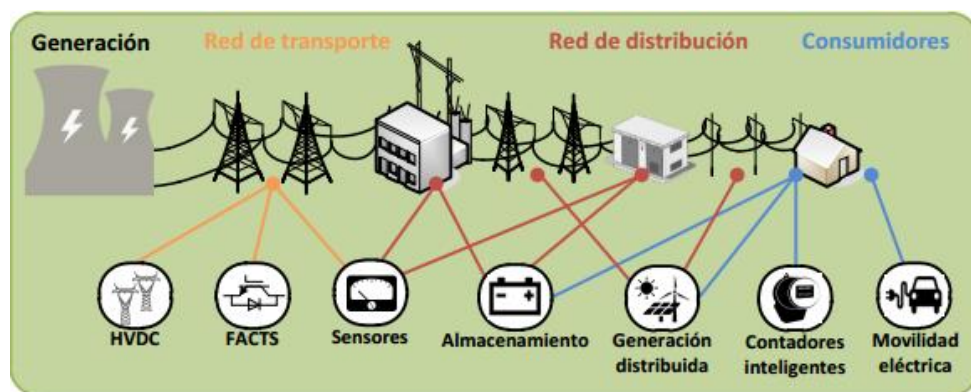
- Sensores y tecnologías de medición para generar una respuesta más rápida y más exacta que el control remoto, permitiendo gerenciar en tiempo real la facturación y la demanda de energía.
- Componentes de tecnología de punta que den cabida a la incorporación de los resultados de la investigación en superconductividad, almacenaje de energía, energía electrónica y de diagnóstico.
- Componentes avanzados de supervisión que permitan un diagnóstico rápido y soluciones adecuadas de cualquier evento en la red.
- Mejores interfaces y soportes que ayuden en la decisión humana, y transformar a los operadores en gerentes de su propia red.

Resumiendo, estas tecnologías controlan, informan, comunican, integran tecnologías y optimizan el uso de la energía, y por ende reducen los costos a nivel de toda la Red Eléctrica Inteligente.

Otra de las grandes transformaciones que permite una Smart Grid es la reducción de los picos de consumo, ya que cambia el concepto actual de "mantener disponible" la potencia (unidades de generación) a cada usuario aun cuando no la esté utilizando. Por existir en la Smart Grid información bidireccional consumo-generación, solo estarán en operación las unidades generadoras requeridas en tiempo real. Esto hace a la red más eficiente energéticamente y minimiza la inversión en los sistemas de generación, transporte y distribución de electricidad.

Debido a la tendencia mundial de que cada inmueble genere energía (eólica o solar), la Red Eléctrica Inteligente permite que esta energía sea incorporada a la red cuando el inmueble no la esté utilizando. Esto conduce a que el usuario se transforme también en generador de electricidad, es decir, en un productor descentralizado. Esta forma de manejar la energía eléctrica pone a disposición de los grandes generadores centralizados potencia instalada en la cual no han realizado ninguna o poca inversión. Además por ser descentralizada la generación se minimizan las pérdidas por transmisión y distribución de electricidad.

La Red Eléctrica Industrial reducirá el consumo de energía global por permitir la bidireccionalidad y la automatización de cada toma corriente en cada hogar y negocio, es decir, el inmueble inteligente donde se puede reducir la factura energética automáticamente, en virtud de lo cual se puede desconectar o conectar, sin la intervención humana, aquellos espacios que necesiten o no del servicio eléctrico



**Figura 1.2** Localización de las tecnologías prioritarias para las Smart Grids.

### 1.10 AGENTES INVOLUCRADOS

- **Usuarios:** El papel interpretado por el usuario en las Smart Grids, dará un cambio radical. Surgirá la demanda de nuevos y mejorados servicios; además, de habilitar la posibilidad para los usuarios de poder conectar la generación energética individual a la red, con el fin de poder vender el excedente energético generado. Otras mejoras que se habilitarán serán la tarificación en tiempo real y la libertad para elegir los suministradores energéticos.
- **Compañías de redes eléctricas y servicios energéticos:** Los propietarios y operadores de las redes serán los responsables de responder a las peticiones de los usuarios de una forma eficiente y con un coste ajustado. Por tanto, estarán obligados a realizar la investigación necesaria para garantizar el cumplimiento de los requisitos demandados. Por otro lado las empresas de servicios energéticos serán las encargadas de hacer tangible el ahorro

obtenido gracias a las mejoras implementadas tanto en la red, como en los hogares, resaltando también el ahorro obtenido gracias a los cambios en los hábitos de consumo energético de las personas.

- **Investigadores y Desarrolladores:** Para llevar a cabo el desarrollo de la red eléctrica será necesario realizar una fuerte inversión en investigación aplicada a la demanda y la generación; así como, en las tecnologías necesarias para realizar la implementación de la red de telecomunicaciones que sustente la transferencia de datos necesaria para la monitorización y control de la red. La cooperación entre las universidades y centros de investigación, compañías eléctricas, fabricantes, reguladores y legisladores será imprescindible para implementar el desarrollo tecnológico requerido.
- **Operadores:** El libre comercio está afectando a la apertura de mercados, normas y procedimientos comerciales. Los clientes se beneficiarán de la oportunidad de poder elegir el proveedor de energía que mejor se adapte a sus necesidades.
- **Generadores:** Las redes eléctricas son complejos sistemas integrados y hay una importante interacción entre generadores, las redes, y la demanda. En el futuro será importante fomentar la participación de agentes que puedan aportar energía a la red, facilitándoles el acceso tanto a nivel tecnológico, como normativo.
- **Reguladores:** El mercado energético y los servicios relacionados, deben ser apoyados por un marco regulador claro y estable, con normas bien establecidas en todo el país.

### 1.11 SISTEMAS DE PROTECCIÓN

En los últimos años la tecnología ha sustituido a un conjunto de equipos eléctricos que por su carácter manual se han degenerado; esta automatización de los equipos ha desplazado al hombre en su desempeño laboral. Estos equipos poseen un sistema de control electrónico que permite supervisarlos a distancia y por ende intervenir en su funcionamiento.

El resultado de esta tecnología ha dado una nueva generación de equipos de maniobra inteligente como es el reconectador que proporciona la confiabilidad de materiales modernos y la tecnología para redes de distribución. El reconectador es un mecanismo actuador magnético de bobinas implementado para operar independientemente de la tensión del circuito principal.

### 1.11.1 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN

Las principales características que un sistema de protección posee se describen a continuación:

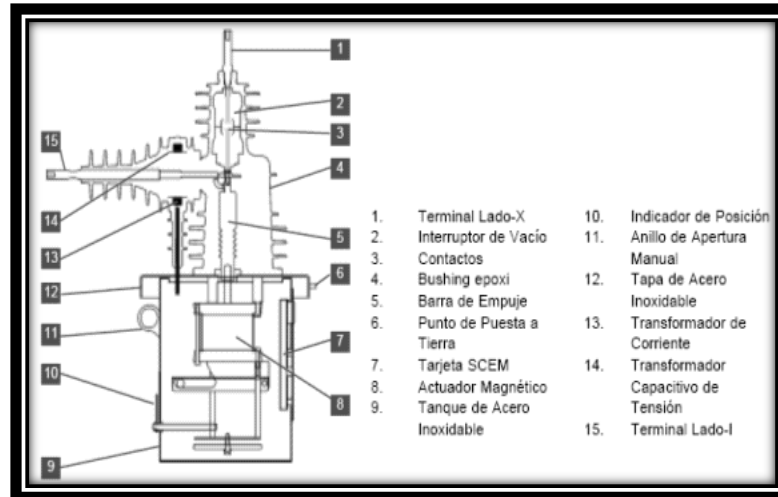
- **Seguridad:** el equipo debe de estar bien aislado, esto con el fin de brindar seguridad a la persona que va a operar.
- **Confiabilidad:** el equipo debe operar en el momento que se le requiera o necesite.
- **Rapidez:** el equipo debe ser rápido en su activación cuando existe una falla; esto para que no ocurra un daño más severo al sistema por ejemplo equipos quemados por sobre corriente.
- **Selectivo:** se refiere a que el equipo debe operar para las fallas ante las cuales fue colocado
- **Respaldo:** todo equipo debe tener su respaldo y este se activara si y solo sí el equipo principal falla.

### 1.11.2 EL RECONECTADOR

Es un dispositivo de interrupción de carga eléctrica, con posibilidad de recierre automático ajustable, supervisión y operación remota.

#### a. PARTES DE UN RECONECTADOR

La estructura de un reconectador está conformada por diferentes partes que permiten el funcionamiento dentro de una red de distribución, en el corte lateral de un reconectador se presentan estas partes:



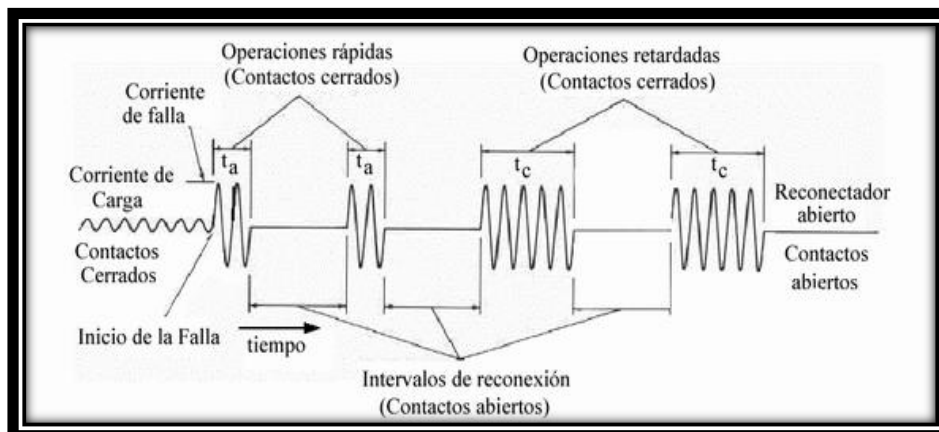
**Figura 1.3** Detalle de las partes constitutivas de un reconector

## b. OPERACIÓN DEL RECONECTOR

Los reconectores cumplen la función de interrumpir el paso de energía en el caso de una falla y volver a su estado cerrado después de un tiempo programado, en dicho caso realiza un chequeo e intento de cierre las veces y bajos las condiciones que este haya sido configurado, a continuación se describe de mejor manera su funcionamiento:

- **Tiempo de reconexión:** Son los intervalos de tiempo en que los contactos del reconector permanecen abiertos entre una apertura y una orden de cierre o de reconexión.
- **Tiempo de reposición:** Es el tiempo después del cual el reconector repone su programación, cuando su secuencia de operación se ha cumplido parcialmente, debido a que la falla era de carácter temporal o fue aclarada por otro elemento de protección.
- **Corriente mínima de operación:** Es el valor mínimo de corriente para el cual el reconector comienza a ejecutar su secuencia de operación programada. La secuencia de operación típica de un reconector para abrir en caso de una falla permanente dependerá de la característica de la respuesta corriente vs. tiempo y de los parámetros de configuración. Para explicar de mejor manera, se puede hacer el siguiente supuesto: la programación de un reconector está dada por dos aperturas rápidas y dos aperturas

lentas, con tiempos obtenidos respectivamente, de las curvas características del reconnector.



**Figura 1.4** Ejemplo de operación de un reconnector

De acuerdo con la Figura 1.4, en condiciones normales de servicio, por la línea protegida circula la corriente de carga normal. Si ocurre una falla de la instalación del reconnector y la corriente del cortocircuito es mayor a la corriente mínima de operación preestablecida, el reconnector opera por primera vez según las curvas de operación en un tiempo  $t_a$ . Permanece abierto durante un cierto tiempo, usualmente 1 segundo, al cabo del cual reconecta la línea fallada.

Si la falla ha desaparecido el reconnector permanece cerrado y se restablece el servicio. Si por el contrario, la falla permanece, el reconnector opera por segunda vez bajo las curvas de operación y después de  $t_a$  segundos abre nuevamente sus contactos. Posteriormente al cumplirse el segundo tiempo de reconexión el reconnector cierra sus contactos y si aún la falla persiste, abre por tercera vez pero de acuerdo al tiempo de mantenimiento correspondiente a la curva lenta de operación.

Una vez que se cumple el tiempo de la tercera y última reconexión, reconecta por última vez cerrando sus contactos. Si aún la falla está presente, el reconnector al cabo de  $t_c$  segundos abre definitivamente. En caso que el reconnector no haya completado su secuencia de operación, después de transcurrido el tiempo de reposición, repone su programación



que tenía antes que ocurriera la falla, quedando en condiciones de ejecutar completamente su secuencia de operación en caso de presentarse una nueva condición de falla en la línea.

### **c. APLICACIONES DEL RECONECTADOR**

Los reconectores pueden ser usados en cualquier punto de un sistema de distribución donde el rango del reconector es adecuado para los requerimientos del sistema. La ubicación lógica para reconectores corresponde a las indicadas por las respectivas letras:

- A.** En subestaciones, como el dispositivo de protección del alimentador primario que permite aislar el alimentador en caso de falla permanente.
- B.** En líneas de distribución a una distancia de la subestación, para seccionar alimentadores largos y así prevenir salidas del alimentador entero cuando una falla permanente ocurre cerca del final del alimentador
- C.** En ramales importantes desde el alimentador principal para proteger el alimentador principal de interrupciones y salidas debido a fallas en el ramal.
- D.** En pequeños ramales monofásicos.

### **d. USO DEL RECONECTADOR CON RESPECTO AL MEDIO AMBIENTE**

Los reconectores modernos combinan el alto desempeño y la confiabilidad en la interrupción en vacío con la alta rigidez dieléctrica del gas SF<sub>6</sub> usado dentro del tanque, proporcionando control sobre el medio ambiente; lográndose una unidad compacta y libre de mantenimiento. Teniendo en cuenta que el gas SF<sub>6</sub> es utilizado solamente como medio aislante, no habrá ningún peligro para la salud del medio ambiente proveniente de subproductos tóxicos, producidos por arcos eléctricos.

### 1.11.3 RECONECTADORES U-SERIES

Solución de protección completa para redes aéreas de voltaje medio desde la subestación, pasando por las derivaciones hasta líneas remotas de sistema monofilar con retorno por tierra.

Las mediciones de corriente y tensión en cada fase se incluyen de forma estándar. Se utiliza acero inoxidable marino para todas las superficies de metal expuestas

Las funciones del controlador incluyen: protección, supervisión, medición, control, comunicaciones y análisis de armónicos. [6]

En la Tabla 1.3 se indican las características técnicas de los Reconectores U-Series.

**Tabla 1.3** Características técnicas Reconectores U-Series

	<b>Serie N</b>	<b>Serie U</b>	<b>Serie W</b>
<b>Tensión (kV)</b>	38	27	24
<b>Corriente (A)</b>	800	630	400
<b>Interrupción (kA)</b>	16	12.5	6
<b>Aislamiento</b>	SF6	Dieléctrico sólido	Dieléctrico sólido
<b>Contactos</b>	Vacío	Vacío	Vacío

### 1.12 PERTURBACIONES EN REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

En los últimos años se está registrando en todos los países industrializados una creciente preocupación hacia la “*calidad del producto de la energía eléctrica*” o, dicho de otra forma, hacia la “*calidad de la onda de tensión*”.

Las alteraciones de la “calidad de la onda” tienen lugar en los propios procesos de producción, transporte y distribución, así como en su utilización por determinados tipos de receptores.

La energía eléctrica es suministrada en la forma de un sistema trifásico de tensiones de naturaleza sinusoidal.

Hay cuatro parámetros que caracterizan a la onda de tensión y que permiten medir su grado de pureza:

- Frecuencia
- Amplitud
- Forma
- Simetría

Las centrales eléctricas producen una onda sinusoidal de 60 ciclos por segundo prácticamente perfecta, por lo que, desde el punto de vista del suministro al cliente, los parámetros mencionados se consideran constantes en la generación. Sin embargo, en el proceso de transporte y distribución de la energía desde las centrales hasta los puntos de consumo final, que tiene lugar a través de las redes eléctricas, estas magnitudes sufren alteraciones que pueden afectar a determinados usuarios.

Estas alteraciones tienen su origen en las propias instalaciones eléctricas como consecuencia de maniobras, averías, etc., en fenómenos naturales en descargas atmosféricas y en el funcionamiento normal de determinados receptores en puentes rectificadores, hornos de arco, etc. que las transmiten a los demás receptores a través de la red eléctrica.

Su eliminación completa resulta, por lo tanto, imposible. Por ello, es necesario adecuar los receptores, con el fin de disminuir al máximo las emisiones que generan y que pueden afectar al funcionamiento de otros receptores, así como reducir en lo posible las repercusiones que pueden tener dichas alteraciones sobre su propio funcionamiento normal.

### 1.12.1 TIPOS DE PERTURBACIONES

Las perturbaciones en la red eléctrica se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### a. PERTURBACIONES ALEATORIAS

Son “fenómenos aleatorios pasajeros que tienen su origen tanto en los elementos de la red eléctrica, como en la propia instalación del usuario. La consecuencia típica de estas perturbaciones es una caída de tensión transitoria, y en ocasiones un corte más o menos prolongado en algunas zonas de la red. Las causas típicas de estas perturbaciones son los rayos, las maniobras en alta tensión, las variaciones bruscas de cargas y los cortocircuitos”. [8]

#### b. PERTURBACIONES ESTACIONARIAS

Son “fenómenos de carácter permanente, o que se extienden a lapsos bien definidos que desde el punto de vista de los fenómenos que estudiamos, podemos considerarlos como permanentes.

Estas perturbaciones tienen, en su mayoría, origen en el funcionamiento de ciertos equipos localizados normalmente en la instalación del abonado”.

### 1.12.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PERTURBACIONES

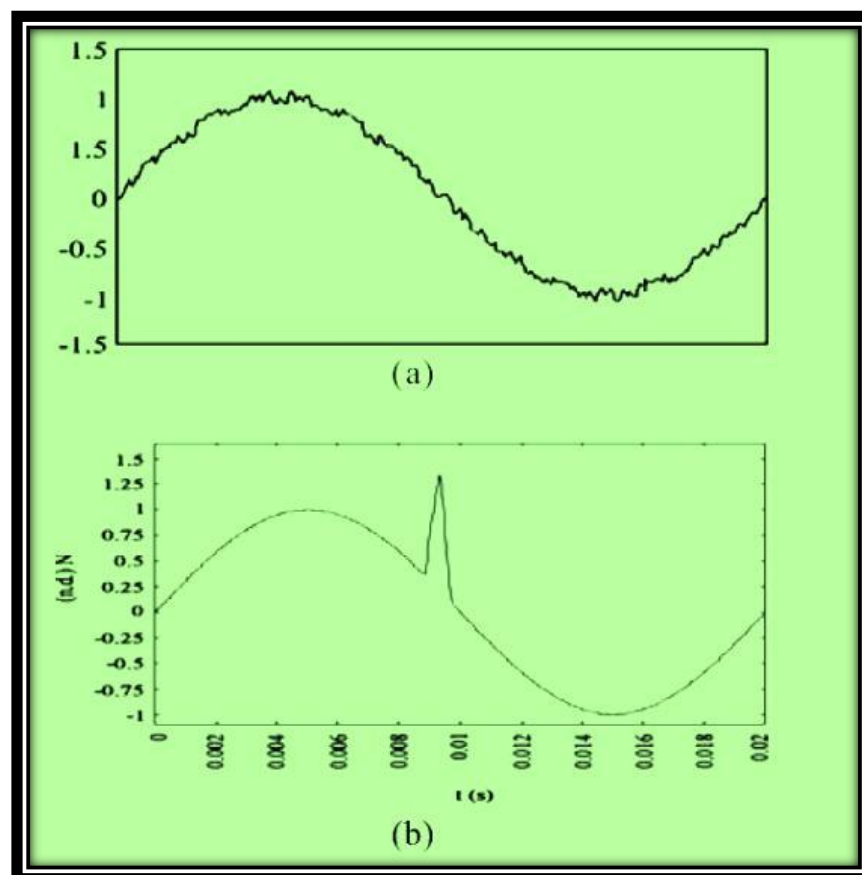
Las perturbaciones más frecuentes en la red eléctrica son las siguientes:

#### a. RUIDOS E IMPULSOS EN MODO DIFERENCIAL

Son perturbaciones de tensión que tienen lugar entre los conductores activos de alimentación fase y neutro en sistemas monofásicos; fases o fase y neutro en sistemas trifásico. Si son frecuentes y de escaso valor (decenas de voltios más o menos), se llaman ruidos. Si son esporádicos y de valor elevado (cientos de voltios), se denominan impulsos; es decir, cuando su duración es inferior a 2 ms. Los ruidos eléctricos se producen debido al funcionamiento de máquinas eléctricas con escobillas, soldadoras de arco, timbres, interruptores, etc., los cuales se encuentran conectados en algún punto cercano a la carga utilizada.

Por otro lado, los impulsos eléctricos suelen producirse por conexión y desconexión de bancos de condensadores, funcionamiento de hornos de arco, máquinas con escobillas, interruptores, termostatos y por descargas eléctricas. De todas las perturbaciones, son las más aleatorias y menos predecibles. [9]

Este tipo de perturbaciones puede producir daños muy serios en los equipos. Una forma de onda de tensión con ruido eléctrico se muestra en la Figura 1.5 (a), mientras que en la figura 1.5 (b), se muestra una forma de onda de tensión con la presencia de un impulso eléctrico.



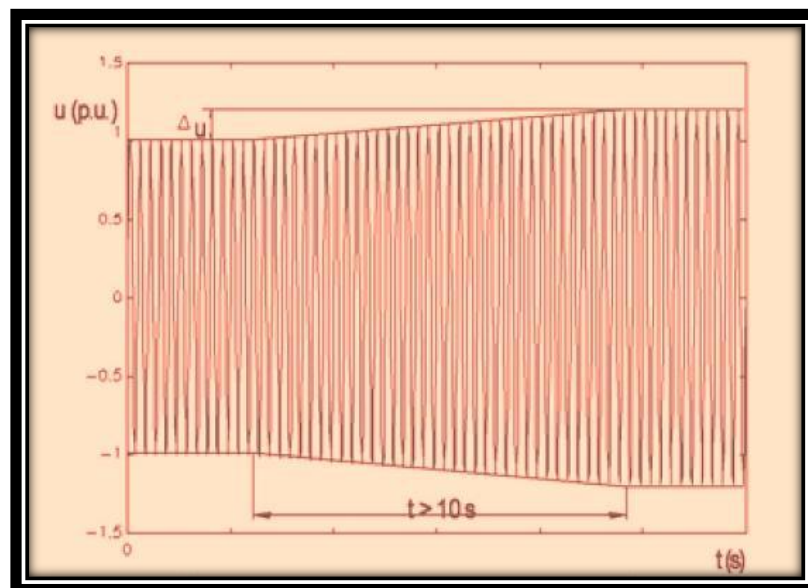
**Figura 1.5** (a) Ruido eléctrico presente en la señal senoidal proporcionada por la red eléctrica, (b) Impulso eléctrico.

## b. VARIACIONES LENTAS Y RÁPIDAS DE TENSIÓN

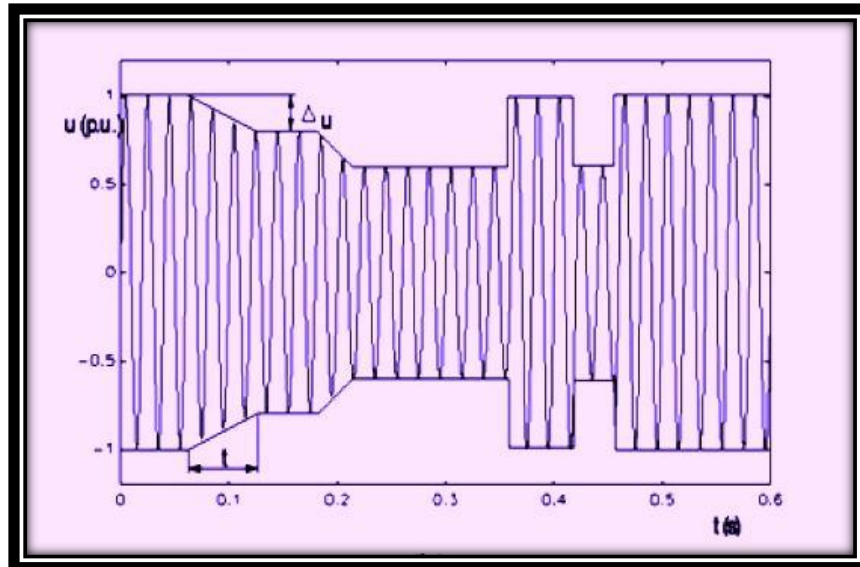
Se considera una variación lenta de tensión, aquella que se presenta con una duración de 10 segundos o más. Se produce debido a la variación de las cargas en redes eléctricas con impedancia alta de cortocircuito. Si

sobrepasan los límites estáticos permitidos por los equipos, pueden producir fallos en su operación. Este tipo de variación de tensión se muestra en la figura 1.6. Por otra parte, una variación rápida de tensión tiene una duración menor a los 10 segundos. Se producen debido a la conexión y desconexión de cargas grandes y maniobras en las líneas de la red eléctrica. El daño que pueden causar en los equipos depende de su amplitud y su duración, dado que un equipo puede soportar una mayor amplitud en un menor tiempo y viceversa. Como casos particulares de estas perturbaciones, se encuentran el parpadeo flicker y los microcortes.

Este tipo de variación de tensión se muestra en la figura 1.7.



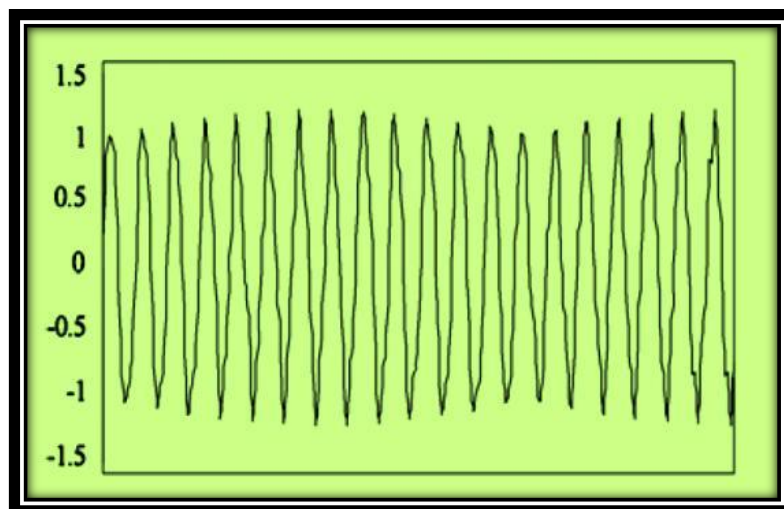
**Figura 1.6** Variación de tensión



**Figura 1.7** Variación lenta de tensión

### c. PARPADEO (FLICKER)

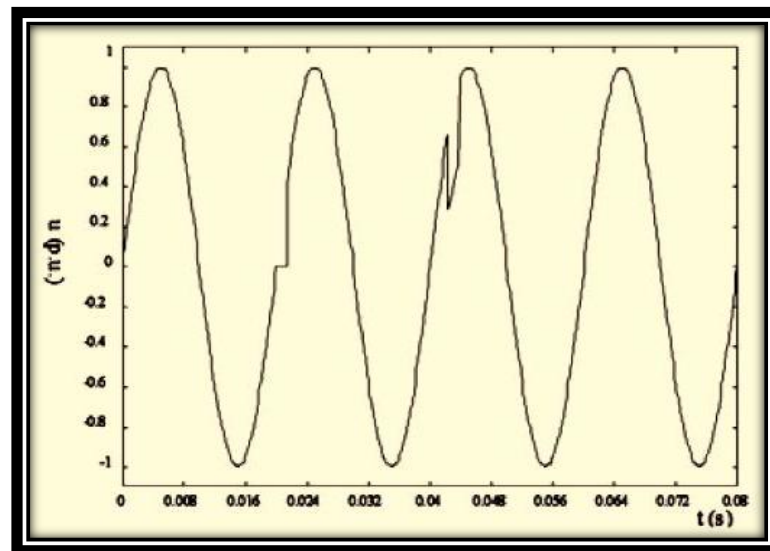
Es una variación rápida de tensión de forma repetitiva, similar a la modulación de amplitud de una onda de alta frecuencia por una onda de baja frecuencia, la cual se puede observar en la figura 1.8. Produce en las lámparas un parpadeo visible y molesto; se debe principalmente al funcionamiento de hornos de arco y equipos de soldadura. En general no produce daños en los equipos a menos que la variación sea muy pronunciada.



**Figura 1.8** Flicker, variación rápida de tensión

#### d. MICROCORTES

Son anulaciones en la tensión de la red eléctrica (o reducciones por debajo del 60% de su valor nominal) con una duración menor a un ciclo. Se deben principalmente a defectos en la red eléctrica o en la propia instalación del usuario. Pueden producir mal funcionamiento en cargas muy sensibles y errores en las computadoras. Un ejemplo de una forma de onda de tensión con microcortes se muestra en la figura 1.9.

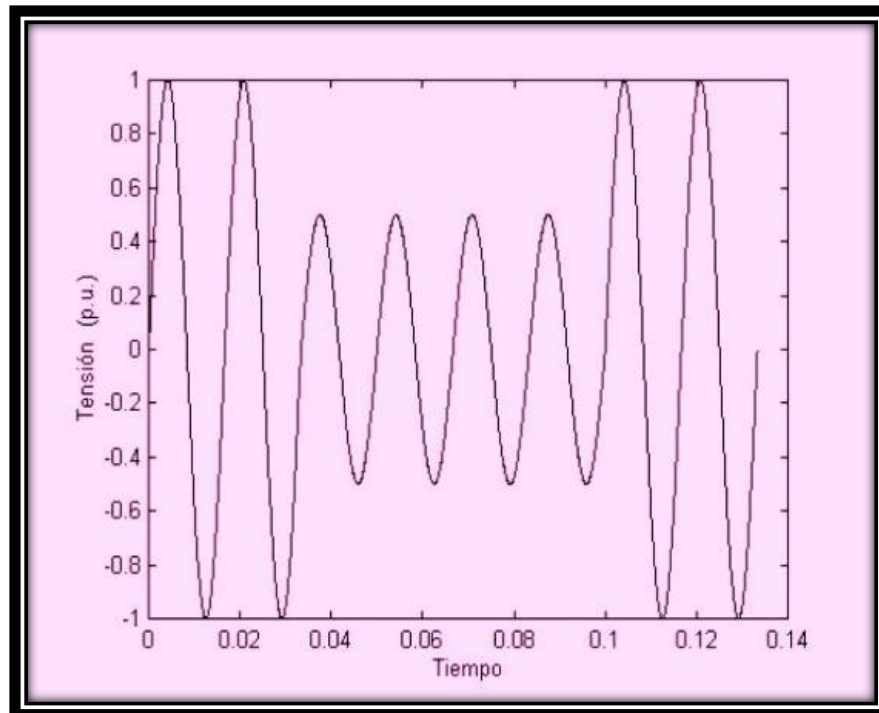


**Figura 1.9** Microcortes de tensión.

#### e. CORTES LARGOS

Son anulaciones de la tensión de red (o reducciones por debajo del 50% de su valor nominal) de duración mayor a un ciclo. Se producen generalmente por fallas o desconexión de las líneas de alimentación y por averías en los centros de generación y de transformación. Obviamente, este tipo de perturbaciones ocasiona un fallo total del equipo que está siendo alimentado; sin embargo, algunas computadoras pequeñas pueden soportar un corte de poca duración (dos ciclos aproximadamente). La figura 1.10, muestra un corte largo de tensión, que si bien, ésta no cae a cero, si es menor al 50% del valor nominal.

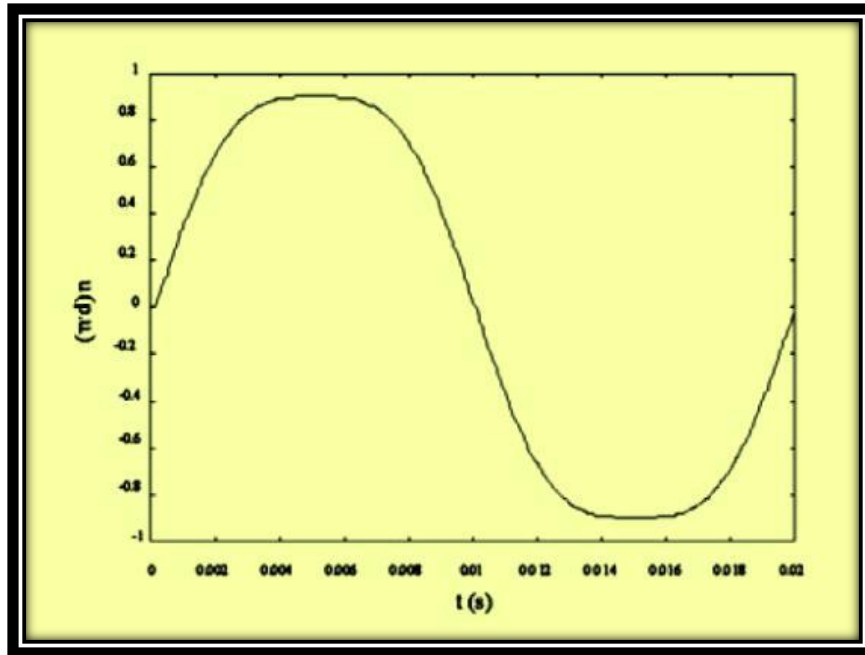




**Figura 1.10** Corte largo de tensión.

#### f. DISTORSIÓN

Es una deformación de la forma de onda de tensión, debida a la presencia de armónicos. Su nombre técnico es Distorsión Armónica Total (THD por sus siglas en inglés). Se debe principalmente a la conexión a la red eléctrica de máquinas con núcleo magnético saturado, convertidores estáticos (rectificadores controlados y no controlados, sistemas de alimentación ininterrumpida, fuentes conmutadas) y otras cargas no lineales. Casi todas las cargas críticas como lo son los equipos electrónicos soportan una distorsión máxima del 5%.

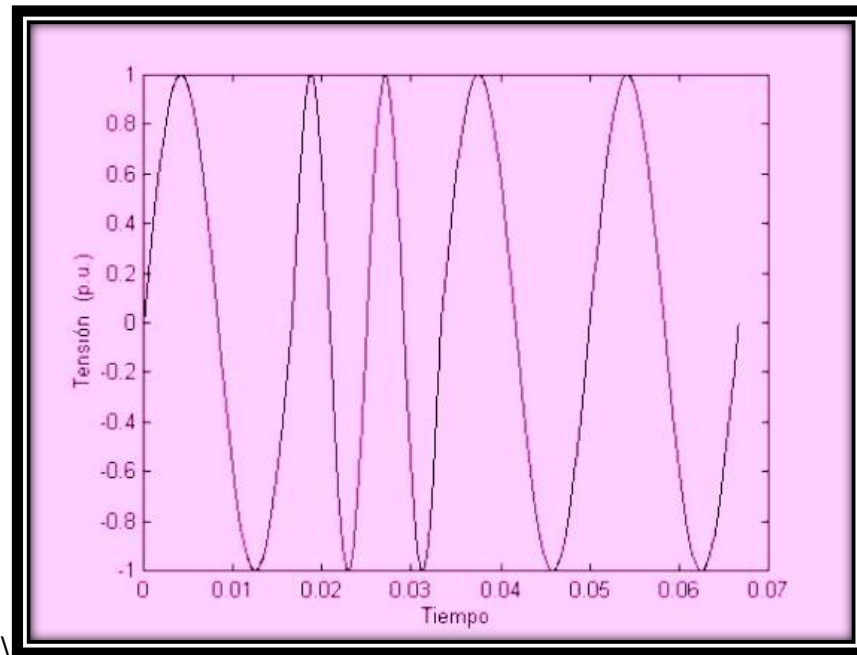


**Figura 1.11** Forma de onda de tensión con gran distorsión armónica.

#### g. VARIACIONES DE FRECUENCIA

Son cambios en la frecuencia de señal senoidal proporcionada por la red, que es de 60 Hz. Normalmente resulta muy raro que se presente este problema en la red eléctrica en condiciones normales y puede llegar a ocurrir debido a la interconexión de los centros de generación de energía eléctrica. Generalmente sólo se producen en centros con generación aislada de tensión como lo pueden ser redes eléctricas rurales aisladas que obtienen energía eléctrica a partir de generadores de combustión interna, paneles fotovoltaicos, generadores eólicos o en plataformas de explotación petrolera.

En la Figura 1.12, se muestra la forma de onda de tensión con variaciones de frecuencia.



**Figura 1.12** Forma de onda de tensión con variación

### 1.13 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

En los últimos años, las telecomunicaciones han experimentado un gran avance impulsadas, entre otros, por la evolución de las comunicaciones vía radio. Actualmente, la expansión de la tecnología WI-FI, y la posterior aparición de WiMAX; han supuesto un avance anticipado con respecto al panorama de las tecnología sin hilos permitiendo trabajar en diferentes configuraciones y topologías.

#### 1.13.1 VENTAJAS DE LA RED INALÁMBRICA

Entre las ventajas de las redes inalámbricas a corto y largo plazo, se incluyen:

##### a. ACCESIBILIDAD

Todos los equipos portátiles y la mayoría de los teléfonos móviles de hoy día vienen equipados con la tecnología Wi-Fi necesaria para conectarse directamente a una LAN inalámbrica. Las personas pueden acceder de forma segura a sus recursos de red desde cualquier ubicación dentro de su

área de cobertura. Generalmente, el área de cobertura es su instalación, aunque se puede ampliar para incluir más de un edificio.

#### **b. MOVILIDAD**

Los empleados pueden permanecer conectados a la red incluso cuando no se encuentren en sus mesas. Los asistentes de una reunión pueden acceder a documentos y aplicaciones. Los vendedores pueden consultar la red para obtener información importante desde cualquier ubicación.

#### **c. PRODUCTIVIDAD**

El acceso a la información y a las aplicaciones clave de su empresa ayuda a su personal a realizar su trabajo y fomentar la colaboración. Los visitantes (*como clientes, contratistas o proveedores*) pueden tener acceso de invitado seguro a Internet y a sus datos de empresa.

#### **d. FÁCIL CONFIGURACIÓN**

Al no tener que colocar cables físicos en una ubicación, la instalación puede ser más rápida y rentable. Las redes LAN inalámbricas también facilitan la conectividad de red en ubicaciones de difícil acceso, como en un almacén o en una fábrica.

#### **e. ESCALABILIDAD**

Conforme crecen sus operaciones comerciales, puede que necesite ampliar su red rápidamente. Generalmente, las redes inalámbricas se pueden ampliar con el equipo existente, mientras que una red cableada puede necesitar cableado adicional.

#### **f. SEGURIDAD**

Controlar y gestionar el acceso a su red inalámbrica es importante para su éxito. Los avances en tecnología Wi-Fi proporcionan protecciones de seguridad sólidas para que sus datos sólo estén disponibles para las personas a las que le permita el acceso.

## **g. COSTES**

Con una red inalámbrica puede reducir los costes, puesto que se eliminan o se reducen los costes de cableado durante los traslados de oficina, nuevas configuraciones o expansiones.

### **1.14 REDES INALÁMBRICAS DE DATOS**

#### **1.14.1 VENTAJAS**

- Ubicuidad
- Instalación sencilla y rápida.
- Flexibilidad y escalabilidad.

#### **1.14.2 DESVENTAJAS**

- Interferencias intrasistema e intersistema.
- Cobertura y capacidad limitadas.
- Seguridad comprometida.

#### **1.14.3 REGULACIÓN DEL ESPECTRO**

Las bandas de frecuencia utilizadas mayoritariamente por las redes sin hilos y especialmente por los equipos Wi-Fi son las de 2,4 y 5 GHz, que están clasificadas como uso común compartido. La caracterización como uso común permite que diversos operadores o usuarios puedan utilizar de forma simultánea estas frecuencias, de acuerdo a normas establecidas por la regulación para mitigar las posibles interferencias entre emisiones.

La limitación de potencias máximas de emisión está orientada a buscar un equilibrio entre la cobertura de los puntos de acceso y las posibles interferencias entre emisores. En el caso de las bandas de uso común del espectro, la regulación limita la potencia máxima de acuerdo con la potencia isotrópica radiada.

Con respecto al uso de Wi-Fi en la banda de 5 GHz, las potencias permitidas en estas bandas varían y son dependientes de diversos factores,

como el uso en interiores, exteriores o la implantación de mecanismos de control de potencias.

#### **1.14.4 TECNOLOGÍA WIFI**

Una red Wi-Fi es una red de comunicaciones de datos y, por lo tanto, permite conectar servidores, PC, impresoras, etc., con la particularidad de alcanzarlo sin necesidad de cableado, además de incorporar cualquier variación de la tecnología sin hilos de los estándares IEEE 802.11, que permiten la creación de redes de área local sin hilos conocidas como WLAN, y que son plenamente compatibles con los de cualquier otro fabricante que utilice estos estándares.

Las características generales de funcionamiento de una red Wi-Fi son las mismas que las de una red con cableado. La particularidad es que el Wi-Fi utiliza el aire como medio de transmisión.

#### **1.14.5 COMPONENTES BÁSICOS DE UNA RED WLAN**

Las redes WLAN está integradas por usuarios, dispositivos de acceso al medio y dispositivos de usuario final cuya interacción permite la conectividad y facilita la transmisión de datos, entre los que se encuentran:

##### **a. ANTENAS**

Una antena es un dispositivo, conductor metálico diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

Una antena es un dispositivo hecho para transmitir (radiar) y recibir ondas de radio (electromagnéticas). Existen varias características importantes de una antena que deben de ser consideradas al momento de elegir una específica para su aplicación:

- **Ancho de banda**

El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es "satisfactoria". Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, también se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena.

En WLANs las antenas tiene que estar sintonizadas para la banda de 2.4 GHz ó 5 GHz. Una antena funcionará de modo eficiente sólo si su ancho de banda coincide con las frecuencias de radio utilizadas.

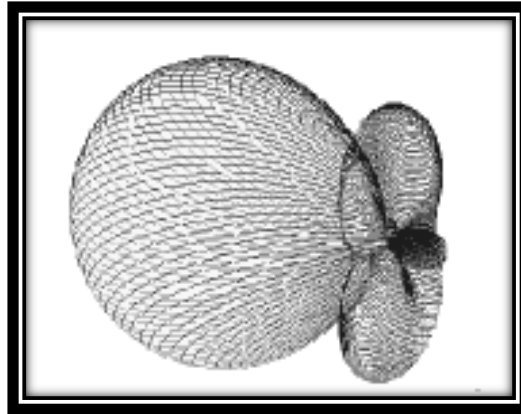
- **Potencia**

Las antenas operan con un determinado nivel de potencia entregado por el transmisor. En el caso de 802.11 se ajustan normalmente a la potencia máxima permitida de acuerdo a la región, para la emisión de puntos de acceso o NICWiFi.

- **Patrón de radiación**

Es la representación gráfica de las propiedades de una antena, en coordenadas polares o rectangulares, de cómo distribuye la energía en el espacio.

Puede representar las intensidades de los campos, si se traza en términos de intensidad de campo eléctrico ( $E$ ) o las densidades de potencia ( $P$ ) en varias posiciones angulares en relación con una antena. La forma del patrón de radiación de una antena define su directividad. En la Figura 1.13 se representa el diagrama de radiación en tres dimensiones de una antena Yagi de seis elementos.



**Figura 1.13** Patrón de radiación de una antena Yagi

- **Ganancia de la antena**

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

La mayoría de fabricantes especifica la ganancia en dBi lo que representa la ganancia comparada con una antena isotrópica.

- **Polarización de la Antena**

La polarización de una antena se refiere sólo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo general, polarizada horizontal o vertical), en forma elíptica o circular. Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico radiado gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente.



- **Resistencia de radiación**

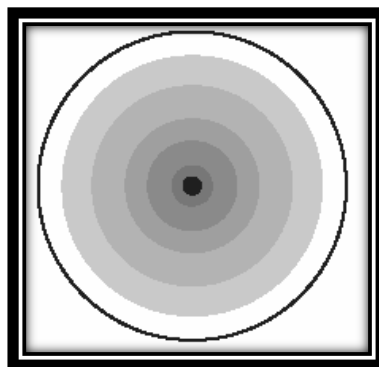
Debido a la radiación, en las antenas se presenta pérdida de potencia; por ello se ha establecido un parámetro denominado resistencia de radiación, cuyo valor podemos definir como el valor de una resistencia típica en la cual, al circular la misma corriente que circula en la antena, disiparía la misma cantidad de potencia.

### a.1 TIPOS DE ANTENAS

Existen diferentes tipos de antenas para las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, cada una de las cuales tiene una aplicación y entorno de uso específico, ofreciendo una capacidad de cobertura determinada. Normalmente, a medida que la ganancia de una antena se incrementa se alcanzan distancias de cobertura mucho mayores, pero sólo en una dirección determinada. Los patrones de radiación son los que definen la directividad de una antena determinada.

- **Antenas Omnidireccionales**

Una antena omnidireccional es aquella diseñada para proveer un patrón de radiación de 360°. Propagan la señal de RF en todas las direcciones en el plano horizontal aunque tienen un rango limitado en el plano vertical. Son las más comunes en WLAN y se utilizan cuando se requiere dotar de cobertura en todas las direcciones. Sus ganancias pueden llegar hasta 18 dBi. Proporcionan la cobertura más amplia dentro de edificios, pudiendo formar celdas circulares mínimamente solapadas a lo largo del edificio.

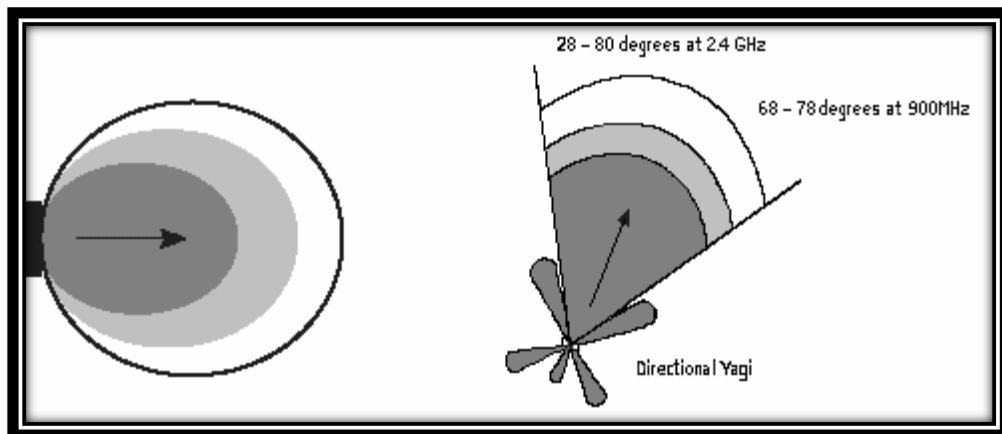


**Figura 1.14** Radiación de una antena omnidireccional

- **Antenas Direccionales**

Las antenas direccionales transmiten y reciben energía RF más en una determinada dirección que en otras. Este patrón de radiación es similar a la luz producida por un flash o un foco. La antena no añade potencia a la señal sino que simplemente redirige la energía entregada por el transmisor en una determinada dirección. Al distribuir más energía en una dirección y menos en el resto la ganancia de las antenas direccionales se incrementa y su ángulo de radiación generalmente decrece, proporcionando una mayor distancia de cobertura pero reduciéndose el ángulo de cobertura. Existen diferentes tipos de antenas direccionales, cada una con una forma y estilo determinado, incluyendo Yagis, antenas Patch y parabólicas.

Las antenas deben de dotar a la onda radiada con un aspecto de dirección. Es decir, deben acentuar un sólo aspecto de dirección, y anular o mermar los demás. Esto es necesario ya que sólo nos interesa radiar hacia una dirección determinada.



**Figura 1.15** Radiación de antenas direccionales

**b. PUNTO DE ACCESO**

Un punto de acceso inalámbrico (WAP o AP por sus siglas en inglés: Wireless Access Point) en redes WI-FI es un dispositivo que interconecta dispositivos de comunicación alámbrica para formar una red inalámbrica

transmitiendo datos entre los dispositivos conectados, actúa como punto central de una red inalámbrica autónoma.

#### **c. BRIDGE INALÁMBRICO**

Está diseñado para conectar dos o más redes ubicadas en general en diferentes edificaciones, proporciona elevadas velocidades de datos y un throughput superior para las aplicaciones intensivas en cuanto a los datos.

#### **d. ROUTER INALÁMBRICO**

Es un dispositivo utilizado en redes, permite la conexión de redes inalámbricas y se encarga de regir los paquetes de datos para que fluyan hacia la red correcta de un determinado destino. La tecnología de comunicación con que cuenta es a base de ondas de radio, también permiten conexión ADSL, la cual permite el manejo de internet de banda ancha y ser distribuido hacia otras computadoras.

#### **e. ADAPTADORES**

Son tarjetas para expansión de capacidades que sirve para enviar y recibir datos sin la necesidad de cables en las redes WLAN. Están diseñadas para ciertos tipos de estándares de redes inalámbricas, por lo que tienen una velocidad máxima de transmisión de datos en bits por segundo (bps) acorde al estándar.

### **1.14.6 TOPOLOGÍA Y CONFIGURACIONES DE REDES INALÁMBRICAS**

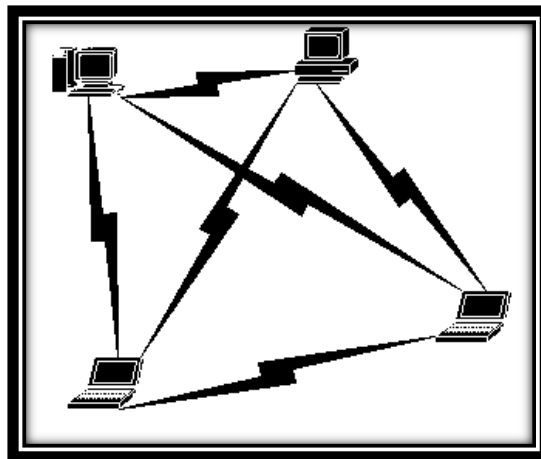
La versatilidad y flexibilidad de las redes inalámbricas es el motivo por el cual la complejidad de una LAN implementada con esta tecnología es tremendamente variable. Esta gran variedad de configuraciones ayuda a que este tipo de redes se adapte a casi cualquier necesidad.

Estas configuraciones se pueden dividir en dos grandes grupos, las redes Peer to Peer y las que utilizan Puntos de Acceso.

### a. CONFIGURACIÓN PEER-TO-PEER

También conocidas como redes ad-hoc, es la configuración más sencilla ya que en ella los únicos elementos necesarios son terminales móviles equipados con los correspondientes adaptadores para comunicaciones inalámbricas.

En este tipo de redes, el único requisito deriva del rango de cobertura de la señal, ya que es necesario que los terminales móviles estén dentro de este rango para que la comunicación sea posible. Por otro lado, estas configuraciones son muy sencillas de implementar y no es necesario ningún tipo de gestión administrativa de la red.



**Figura 1.16** Arquitectura peer to peer

### b. CONFIGURACIÓN EN MODO PUNTO DE ACCESO

También conocidas como configuraciones en Modo Infraestructura, manejan el concepto de celda, ya utilizado en otros sistemas de comunicación inalámbrica como la telefonía móvil. Una celda podría entenderse como el área en el que una señal radioeléctrica es efectiva. A pesar de que en el caso de las redes inalámbricas esta celda suele tener un tamaño reducido, mediante el uso de varias fuentes de emisión, es posible combinar celdas para cubrir de forma casi total un área más extensa.

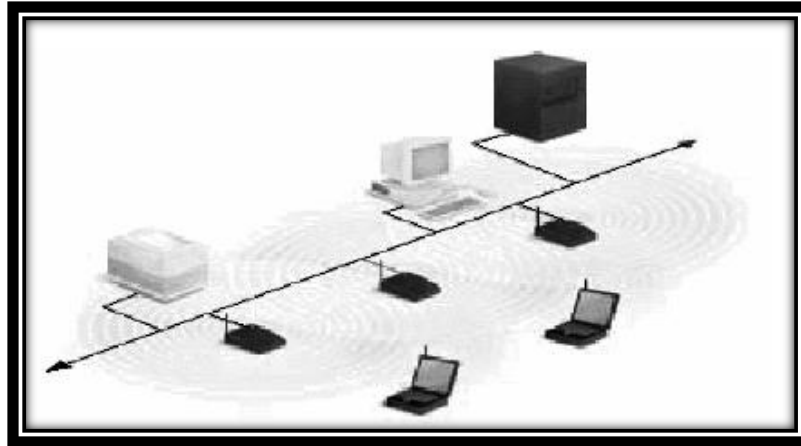
La estrategia empleada para aumentar el número de celdas, y por lo tanto el área cubierta por la red, es la utilización de los llamados Puntos de Acceso, que funcionan como repetidores, y son capaces de doblar el alcance de una red inalámbrica, puesto que ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre una estación y un punto de acceso.

Los Puntos de Acceso son colocados normalmente en alto, pero solo es necesario que estén situados estratégicamente para que dispongan de la cobertura necesaria para dar servicio a los terminales que soportan. Un único punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un radio de al menos treinta metros y hasta varios cientos de metros.



**Figura 1.17** Arquitectura basada en Puntos de Acceso

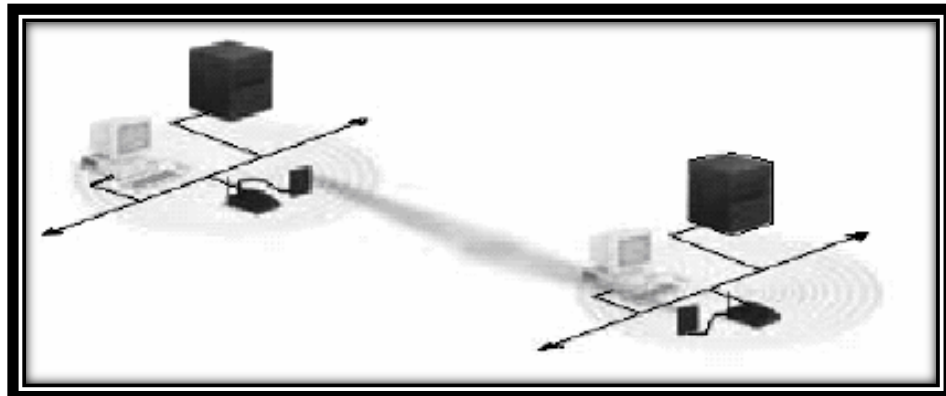
La configuración de Punto de Acceso es capaz de dotar a una red inalámbrica de muchas más posibilidades. Además del evidente aumento del alcance de la red, permite lo que se conoce como roaming, es decir que los terminales puedan moverse sin perder la cobertura y sin sufrir cortes en la comunicación. Esto representa una de las características más interesantes de las redes inalámbricas.



**Figura 1.18** Utilización de varios Puntos de Acceso: terminales con capacidad de roaming

### c. INTERCONEXIÓN DE REDES

Las posibilidades de las redes inalámbricas pueden verse ampliadas gracias a la interconexión con otras redes, mediante el uso de antenas direccionales u omnidireccionales es posible conectar dos redes separadas por varios cientos de metros compartiendo recursos dispersos, coordinando tareas diversas y aumentando la cobertura geográfica.



**Figura 1.19** Interconexión de LAN mediante antenas direccionales

#### 1.14.7 ESTÁNDAR IEEE 802.11

La versión original del estándar IEEE 802.11 publicada en 1997 especifica dos velocidades de transmisión teóricas de 1 y 2 mega bit por

segundo (Mbit/s) que se transmiten por señales infrarrojas (IR) en la banda ISM a 2,4 GHz. IR sigue siendo parte del estándar, pero no hay implementaciones disponibles.

El estándar original también define el protocolo CSMA/CA (Múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones) como método de acceso. Una parte importante de la velocidad de transmisión teórica se utiliza en las necesidades de esta codificación para mejorar la calidad de la transmisión bajo condiciones ambientales diversas, lo cual se tradujo en dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas. Estas y otras debilidades fueron corregidas en el estándar 802.11b, que fue el primero de esta familia en alcanzar amplia aceptación entre los consumidores.

- **802.11a**

La revisión 802.11a al estándar original fue ratificada en 1999. El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 GHz y utiliza 52 (OFDM) con una velocidad máxima de 54 Mbit/s, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbit/s. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso necesario. 802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares.

- **802.11b**

La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999. 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbit/s y utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original. El estándar 802.11b funciona en la banda de 2.4 GHz. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbit/s sobre TCP y 7.1 Mbit/s sobre UDP.

802.11b es usualmente usada en configuraciones punto y multipunto como en el caso de los AP que se comunican con una antena omnidireccional con uno o más clientes que se encuentran ubicados en un área de cobertura alrededor del AP. El rango típico en interiores es de 32 metros a 11 Mbit/s y 90 metros a 1 Mbit/s. Con antenas de alta ganancia externas el protocolo puede ser utilizado en arreglos fijos punto a punto típicamente rangos superiores a 8 Km incluso en algunos casos de 80 a 120 km siempre que haya línea de vista.

- **802.11g**

En Junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g. Este utiliza la banda de 2.4 Ghz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbits, o cerca de 24.7 Mbits de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión. El mayor rango de los dispositivos 802.11g es ligeramente mayor que en los del 802.11b pero el rango que el cliente puede alcanzar 54 Mbit/s es mucho más corto que en el caso del 802.11b.

- **802.11n**

En enero de 2004, la IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11 la velocidad real de transmisión podría llegar a los 500 Mbps (lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores), y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b.

802.11n se construye basándose en las versiones previas del estándar 802.11 añadiendo MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). MIMO utiliza múltiples transmisores y antenas receptoras permitiendo incrementar el tráfico de datos.



**Tabla 1.4** Cuadro comparativo entre los principales estándares IEEE 802.11

Protocolo	Fecha de lanzamiento	Frecuencia de Operación	Velocidad de datos típica	Velocidad de datos máxima	Alcance en interiores
<b>Legacy</b>	1997	2.4-2.5 GHz	1 Mbit/s	2 Mbit/s	-
<b>802.11a</b>	1999	5.15-5.35/5.47-5.725/5.725-5.875 GHz	25 Mbit/s	54 Mbit/s	~30 metros
<b>802.11b</b>	1999	2.4-2.5 GHz	6.5 Mbit/s	11 Mbit/s	~30 metros
<b>802.11g</b>	2003	2.4-2.5 GHz	25 Mbit/s	54 Mbit/s	~30 metros
<b>802.11n</b>	2008	2.4 GHz o 5 GHz	200 Mbit/s	540 Mbit/s	~50 metros

#### 1.14.8 WiMAX

Desde el nuevo milenio, las redes inalámbricas no han hecho más que proliferar. WiFi, el estándar creado por el IEEE, ha permitido a los usuarios moverse alrededor de muchos sitios sin necesidad de que los dispositivos portátiles o PDA tengan cables. Ahora es el turno de WiMAX, que promete ampliar la banda ancha inalámbrica reduciendo costos.

Contrariamente al acceso inalámbrico WiFi, que sólo permite la conexión con la Web dentro de zonas muy restringidas, las estaciones base de WiMAX podrían extender el espectro de conectividad a 50 kilómetros, lo que supone un gran avance en comparación con los 91 metros de WiFi, y ni qué decir sobre los 9 metros de Bluetooth.

La mayor distancia de cobertura es clave para permitir que los proveedores de servicios sean capaces de ofrecer acceso a Internet de banda ancha directamente a los hogares, sin tener que tender un cable

físico hasta el final; lo que se conoce como la "última milla", que conecta a cada uno de los hogares con la red principal de cada proveedor. En un escenario típicamente casero, el receptor WiMAX que provee acceso a Internet podría estar conectado al router WiFi que enlaza todos los dispositivos que utilizan la red en la casa.

Por este motivo, WiMAX está considerada como una alternativa más barata a las líneas de suscripción digital y a los accesos de cable de banda ancha, puesto que los costos de instalación de una infraestructura inalámbrica son mínimos si se comparan con las versiones cableadas.

- **Estándar 802.16**

El estándar 802.16 ocupa el espectro de frecuencias ampliamente, usando las frecuencias desde los 2 hasta los 11 GHz para la comunicación de la última milla (de la estación base a los usuarios finales) y ocupando frecuencias entre 11 y 60 GHz para las comunicaciones con línea vista entre las estaciones bases.

- a. **TOPOLOGÍAS DE REDES WIMAX**

Las topologías propias de una red WiMAX pueden ser:

- **De distribución**

Análogo a las redes de infraestructura WiFi, La estación base ocupa el rol del punto de acceso y centraliza el acceso de los usuarios distribuidos por la celda en la red fija y la salida hacia Internet. Además, se ocupa de gestionar el canal y distribuir los recursos en función de las necesidades de calidad de cada usuario.

- **Malladas**

Análogo a las redes ad hoc, permiten la comunicación directamente entre estaciones móviles sin necesidad de pasar por una estación base. La gestión de los recursos es entonces distribuida. Un inconveniente de esta

última característica es que, por razones de compatibilidad en los sistemas de gestión, a menudo todos los equipos han de ser del mismo fabricante.

- **Estándares WiMAX**

Como el WiMAX es un estándar más reciente que el WiFi, el número y la complejidad de los estándares que lo componen es menor que en el caso precedente. Básicamente, sólo hay dos estándares a tener en cuenta: el IEEE 802.16-2004 y el IEEE 802.16e-2005.

Originalmente, el estándar 802.16 se finalizó el año 2001 y comprendía las funcionalidades básicas del WiMAX. Trabajaba en la banda de los 10 en los 66 GHz, que exigía visibilidad directa para la comunicación. Con canales muy anchos (hasta 28 MHz) y modulaciones eficientes, el estándar permitía capacidades teóricas de hasta 134 Mbps. El año 2003 se va publicar un estándar complementario, el 802.16a, que básicamente extendía el estándar original para bandas de frecuencias más bajas, que permitían la comunicación sin visibilidad directa, mejoraba la cobertura dentro de edificios y permitía establecer redes donde los mismos terminales WiMAX actúan como repetidores (meshnetworks). El estándar 802.16d, más conocido como 802.16-2004, unificaba ambos estándares en uno solo, y además, incorporaba algunas correcciones sobre los estándares originales. Éste es el estándar de referencia actualmente, y para el cual empiezan a aparecer los primeros equipos. Con posterioridad se diseñó el estándar 802.16e, que incluía soporte para la movilidad con velocidades de hasta 120 km/h, así como soporte para la itinerancia, en la banda de frecuencias inferior de las utilizadas por WiMAX. Este estándar ha pasado a ser conocido como 802.16e-2005.

Esta enorme flexibilidad en términos de bandas de frecuencia, anchuras de lado por canal, velocidades, etc. sólo se consiguió mediante un estándar de gran complejidad y con un gran número de parámetros y configuraciones posibles, muchas incompatibles entre sí. Además, aunque fuera técnicamente posible trabajar en este rango de frecuencias y anchuras de lado, la regulación de los diferentes países no necesariamente lo permite.

Así, se han asignado segmentos del espectro para usos compatibles con la tecnología 802.16-2004 en las bandas de 3,5 GHz y 5,8 GHz.

En todos los casos, las anchuras de lado por canal permitidas son más reducidas de lo que el estándar permite, con valores que oscilan entre los 3,5 y los 10 MHz como máximo en realidad.

Como consecuencia de este doble requisito regulatorio y técnico, el IEEE acordó definir un número de configuraciones que fueron implementadas por todos los fabricantes y que aseguraron la interoperabilidad entre los productos.

#### **b. CARACTERÍSTICAS DE WIMAX**

- Distancias de hasta 80 kilómetros, con antenas muy direccionales y de alta ganancia.
- Velocidades de hasta 75 Mbit/s, 35+35 Mbit/s, siempre que el espectro esté completamente limpio.
- Facilidades para añadir más canales, dependiendo de la regulación de cada país.
- Anchos de banda configurables y no cerrados, sujetos a la relación de espectro.
- Permite dividir el canal de comunicación en pequeñas subportadoras (dos tipos: guardias y datos).

#### **c. EVOLUCIÓN DE WIMAX**

En la Tabla 1.5 se indica la descripción de los niveles de evolución del estándar WiMAX

**Tabla 1.5** Estándares WiMAX

<b>Estándar</b>	<b>Descripción</b>
<b>802.16</b>	Utiliza espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de visión directa, con una capacidad de hasta 134 Mbit/s en celdas de 3 a 7.5 km. Soporta calidad de servicio.
<b>802.16a</b>	Ampliación del estándar 802.16 hacia bandas de 2 a 11 GHz, con sistemas NLOS y LOS, y protocolo PTP y PTMP.
<b>802.16c</b>	Ampliación del estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10-66 GHz.
<b>802.16d</b>	Revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles probados por el WiMAX Forum. Aprobado como 802.16-2004.
<b>802.16e</b>	Ampliación del estándar 802.16 que incluye la conexión de banda ancha nómada para elementos portátiles del estilo notebooks.
<b>802.16m</b>	Extensión del 802.16 que entrega datos a velocidad de 1 Gbit/s en reposo y 100 Mbit/s en movimiento.
<b>802.16m-2011</b>	Conocido como Mobile WiMAX Release 2, interfaz de aire avanzada, con tasas de 100 Mbit/s móvil y 1 Gbit/s de datos fija, con OFDMA.

### 1.15 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

El sistema eléctrico de la ELEPCO S.A. se compone de plantas de generación eléctrica, subestaciones, equipos de protección remotos y su centro de control, los mismos que se encuentran distantes geográficamente, de allí la necesidad de comunicarse con ellos usando los medios físicos disponibles, como puede ser fibra óptica, cable de cobre, red telefónica, satelital y WIFI; lo que requiere además, de la disponibilidad de uno o varios protocolos que permitan la iteración entre los equipos de las diferentes entidades que conforman esta red.

Por esta razón es necesario investigar qué tipos de protocolos son utilizados en el sector eléctrico, cuál es su tendencia en el mundo y la disposición de los equipos que ELEPCO S.A. tiene instalados

### **1.15.1 NIVEL DE PROTOCOLO**

Los protocolos de comunicaciones definen las reglas para la transmisión y recepción de la información entre los nodos de la red, de modo que para que dos nodos se puedan comunicar entre si es necesario que ambos empleen la misma configuración de protocolos. Entre los protocolos empleados en los sistemas de distribución eléctrica se distinguen los principales:

- IEC 61850
- IEC60870-101/104
- DNP3
- Modbus

Cada protocolo define su propio formato de los paquetes en el que se especifica el origen, destino, longitud y tipo del paquete, así como la información redundante para el control de errores. Además algunos de ellos pueden operar en diferentes interfaces como puede ser RS485/232 y Ethernet bajo TCP/IP, independiente de esta interface su propósito y funcionamiento es transparente.

#### **a. IEC 61850**

Este protocolo ha sido desarrollado y adoptado en la actualidad como norma internacional para la comunicación de dispositivos en subestaciones, es responsable de la definición de la comunicación entre dispositivos electrónicos inteligentes (IED). Especifica modelos de datos comunes para los IED, así como el proceso de ingeniería completo. IEC 61850 ya ha tenido un efecto significativo en el ámbito de la ingeniería de protección debido a su funcionalidad se encuentra siendo usado en un gran número de subestaciones. Los dispositivos con protocolo IEC 61850 demuestran gran interoperabilidad entre equipos de varias marcas.

- IEC 61850 no se limita al formato de transmisión, pero también define un modelo de datos completa. También introduce un lenguaje basado en XML (descripción de configuración de subestaciones Idioma - SCL) que ofrece un método independiente del fabricante de los dispositivos que describen y sus **configuraciones**.

- **ESTRUCTURA BÁSICA DEL ESTÁNDAR**

En cuanto a la estructura, el estándar IEC 61850 esta seccionado de acuerdo con las características y funcionalidades en orden secuencial de la siguiente forma:

- Introducción y principios generales.
- Requerimientos
  - ✓ Glosario
  - ✓ Requerimientos generales
  - ✓ Sistema y gerencia de proyectos
  - ✓ Requerimientos de comunicación para funciones y modelos de dispositivos.
- Configuración y descripción SCL.
- Estructura de comunicación básica
  - ✓ Servicios de comunicación ACSI
  - ✓ Tipos de datos comunes CDC
  - ✓ Definición de los LNs
- Mapeo de servicio de comunicación específica.
  - ✓ Mapeo sobre MMS, GOOSE y GSSE
  - ✓ Mapeo a Ethernet.
- Pruebas de conformidad.

- **Arquitectura**

La arquitectura del estándar para intercambio de datos en el plano físico responde al siguiente modelo:

- ✓ **Nivel de Estación**

En este nivel interviene el operador, está habilitado el HMI y el Gateway.

La red Ethernet a utilizar es denominada “BUS de Estación”.

✓ **Nivel de Bahía**

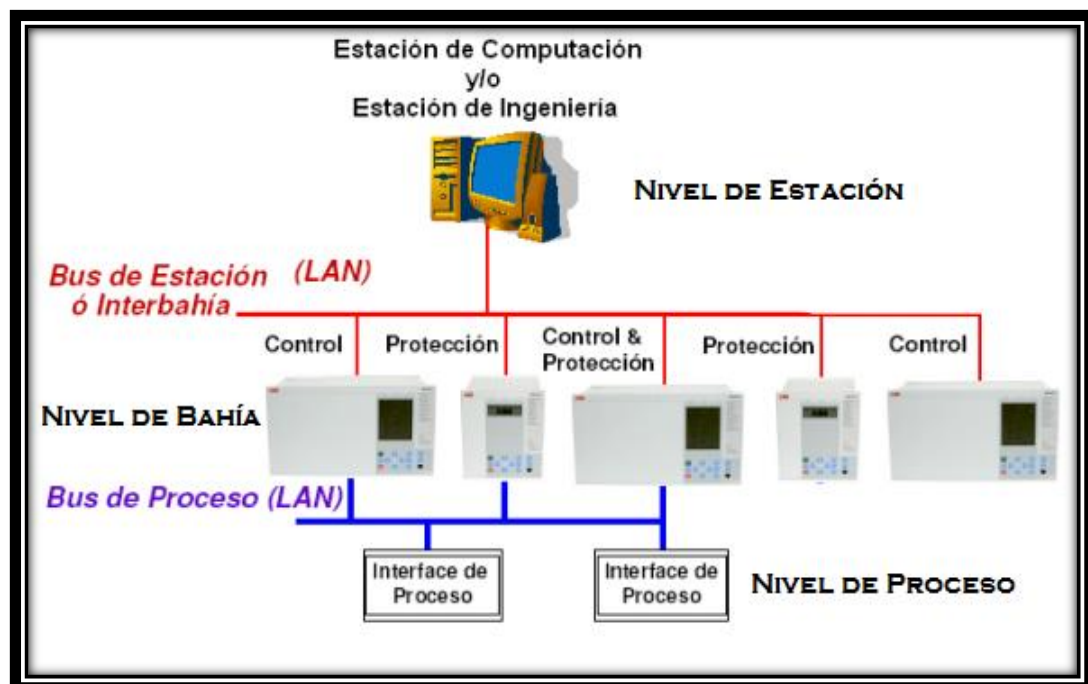
Durante éste nivel se empiezan a ejecutar los IEDs.

La red Ethernet que se utiliza aquí es llamada “BUS de Bahía”.

✓ **Nivel de Proceso**

Se refiere únicamente a la ejecución de BUSES, generalmente éstos se crean en una red de anillo, debido a la confiabilidad que deben tener es recomendable utilizar doble anillo para duplicar la seguridad y utilizar concentradores confiables.

En la Figura 1.20 se ilustra la arquitectura del estándar IEC 61850.



**Figura 1.20** Arquitectura del estándar IEC 61850

**b. PROTOCOLO IEC 60870-5-104**

También conocido como IEC 870-5-104 es un estándar internacional, lanzado en 2000 por la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional). Como puede verse en la designación completa de la norma de 'Acceso a la red



para IEC 60870-5-101 utilizando perfiles de transporte estándar', la capa de aplicación se basa en la norma IEC 60870-5-101.

IEC 60870-5-104 permite la comunicación entre la estación de control y la subestación a través de una red estándar TCP / IP. El protocolo TCP se utiliza para la transmisión segura de datos orientados a la conexión.

IEC 60870-5-104 limita los tipos de información y parámetros de configuración definidos en la norma IEC 60870-5-101, lo que significa que no todas las funciones disponibles en la norma IEC 60870-5-101 se apoyan en IEC 60870-5-104. Por ejemplo IEC 60870-5-104 no soporta sellos de tiempo cortos (formato 3-byte), la longitud de los diferentes elementos de dirección se ajusta a los valores máximos definidos. Pero en la práctica, los vendedores a menudo combinan la capa de aplicación IEC 60870-5-101 con el perfil de transporte IEC 60870-5-104, sin prestar atención a estas restricciones. Esto podría entonces conducir a problemas, si un dispositivo se aplica estrictamente la norma.

La interoperabilidad entre los dispositivos de diferentes fabricantes está asegurada, por el detalle de interoperabilidad, que se define por la norma. En el detalle, el rango de la función se define para cada dispositivo mediante el marcado de las funciones aplicables. El común denominador entre las diferentes listas de proveedores define el posible rango de funciones.

La mayor ventaja de la norma IEC 60870-5-104 es que permite la comunicación a través de una red estándar, mediante la transmisión simultánea de datos entre varios dispositivos y servicios. Aparte de esto, las mismas ventajas y desventajas se aplican a la norma IEC 60870-5-104 IEC 60870-5-101.

### **c. PROTOCOLO DNP3**

Éste protocolo fue desarrollado para alcanzar interoperabilidad abierta y estándar entre elementos de subestaciones, como RTUs, IEDs y PCs, y las estaciones principales de monitoreo y control en las compañías eléctricas. Algo importante y que no disponían los protocolos existentes era el

tratamiento de las estampas de tiempo relacionadas con cada dato, una necesidad para los requerimientos actuales. Desde su inicio, DNP también ha sido ampliamente usado en otras industrias de utilidades como agua, tratamiento de aguas, petróleo y gas.

Originalmente, el uso principal del protocolo es para la comunicación en serie, su versión actual también soporta la operación basada en TCP / IP.

A diferencia de los protocolos relacionados, tales como IEC 60870-5-101, DNP 3.0 comandos de una capa de aplicación muy potente, que permite la decodificación de datos sin el uso de parámetros implícitos. DNP 3.0 es compatible con una variedad de modos de representación de los objetos de información, que ofrece un alto grado de interoperabilidad en la capa de aplicación. Esto se consiguió a costa de una mayor complejidad, lo que hace que la aplicación sea más difícil y exige que se requiera mucho más tiempo para la aplicación y el ensayo.

En comparación con la norma IEC 60870-5-101, la capa de transporte del protocolo permite la transmisión de datos fragmentados de mayores volúmenes. Esto tiene un efecto positivo sobre la comunicación a través de TCP / IP, como todo el ancho de banda de la red puede ser utilizado en su totalidad.

Una ventaja adicional en comparación con la norma IEC 60870-5-101 es proporcionada por la característica adicional de solicitar acuse de recibo desde el terminal remoto. Una subestación puede eliminar datos de su memoria intermedia después de que ha llegado realmente a su destino y ha sido reconocido. Esta característica facilita el uso de los routers simples.

Como es el caso para el IEC 60870-5-101, su capa de enlace se basa en las normas IEC 60870-5-1 e IEC 60870-5-2. Pero sólo se utiliza en el modo de transmisión equilibrada, que se dirige exclusivamente a las conexiones dúplex completo punto a punto. Como DNP 3.0 también se utiliza para la operación halfduplex, un mecanismo para evitar que se añadan colisiones.

Éste mecanismo requiere funcionalidades específicas en los DCE que no siempre pueden estar presentes y la configuración exacta de los tiempos, en

la práctica su uso a menudo implica algunas dificultades. El problema se puede evitar en la operación de TCP / IP, donde no se producen colisiones o se evitan por la red.

Dos formas deben ser desarrolladas por todos los fabricantes para ayudar a garantizar la máxima interoperabilidad entre los dispositivos:

- **DNP Perfil Device**

Define las funcionalidades básicas de protocolo que admite el dispositivo

- **DNP Tabla de Implementación**

Define los objetos de información y su representación que admite el dispositivo.

Además un subconjunto de funciones completas se define y se dividen en tres niveles:

- **Nivel DNP 1**

Es el subconjunto más pequeño y define sólo las funciones más simples y los objetos de información. Este nivel es el más adecuado para los IEDs.

- **Nivel DNP 2**

Está destinado a dispositivos más grandes tales como RTU.

- **Nivel DNP 3**

Se adapta de mejor maneras a las RTUs y ofrece prácticamente toda la gama de funcionalidades DNP 3.0.

#### **d. MODBUS**

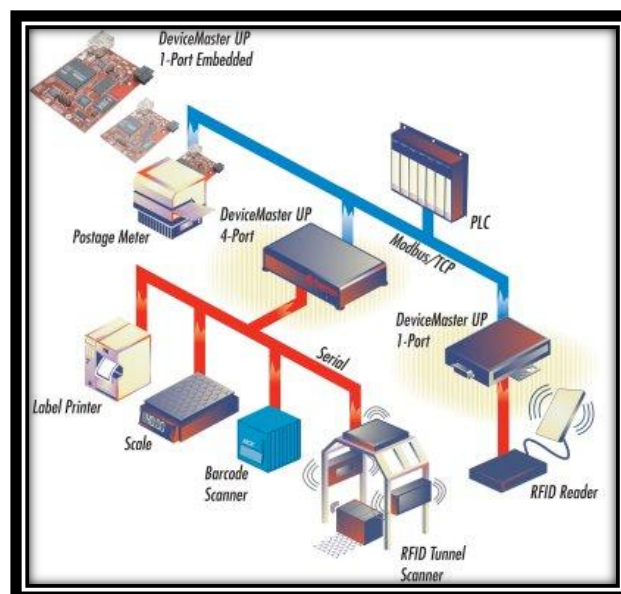
Modbus es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor; convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales.

Las razones por las cuales el uso de *Modbus es superior a otros protocolos de comunicaciones* son:

- Es público
- Su implementación es fácil y requiere poco desarrollo
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones

Modbus se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP).

Existen dos variantes, con diferentes representaciones numéricas de los datos y detalles del protocolo ligeramente desiguales. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII es una representación legible del protocolo pero menos eficiente. Ambas implementaciones del protocolo son serie. El formato RTU finaliza la trama con una suma de control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el formato ASCII utiliza una suma de control de redundancia longitudinal (LRC). La versión Modbus/TCP es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP puerto del sistema 502. [11]



**Figura 1.21** Esquema Modbus

## 2 CAPÍTULO 2

### DISEÑO DEL SISTEMA Y TOPOLOGÍA DE LA RED DE COMUNICACIÓN DE DATOS

#### 2.1 ANTECEDENTES

En este capítulo, se considera el diseño de la topología y de la ubicación de los nodos basados en la localización geográfica que tienen los reconectores en la red de distribución eléctrica; además, se estimará la ubicación relativa de los repetidores; esto será una información relativamente menos precisa que conocer las ubicaciones exactas de nodos y o repetidores que permitirán enlazar cada dispositivo con el centro de control. Se tomarán en cuenta las técnicas propuestas para la estimación de la dirección de las antenas, como por ejemplo las de la IEEE con el apoyo de software especializado en radio enlaces. Se propondrá la utilización del hardware adecuado en los nodos con el fin de proporcionar la información solicitada por el usuario final.

Para garantizar la fiabilidad de los enlaces y su adecuado funcionamiento se realizan los cálculos de pérdidas en el espacio libre, energía irradiada, rebote en obstáculos de las zonas de Fresnel y la relación señal ruido en cada nodo.

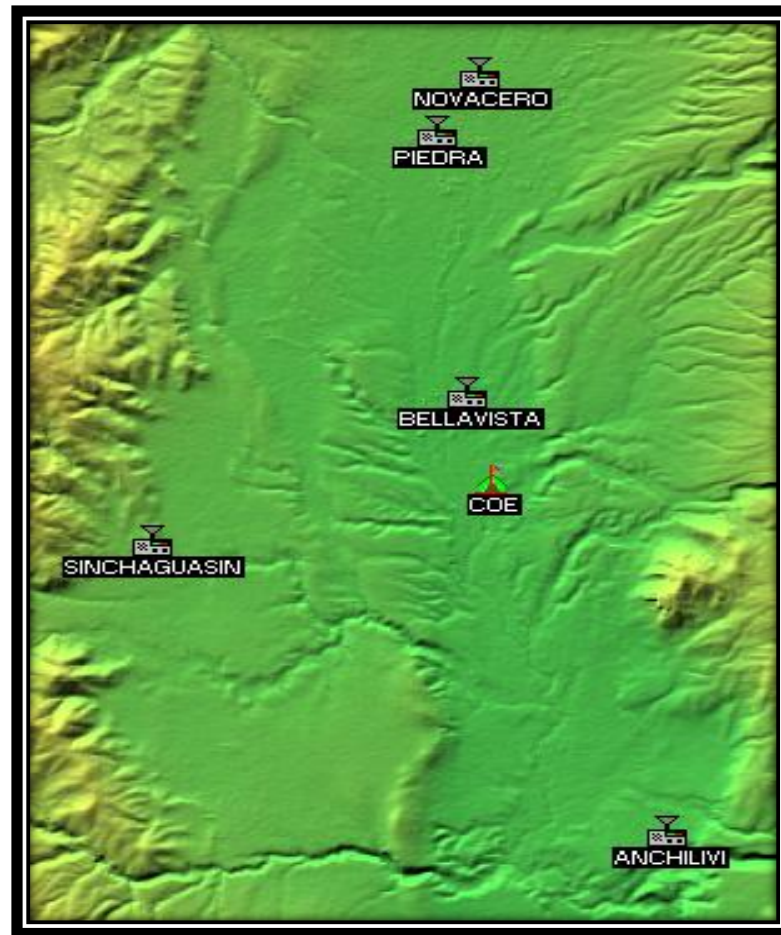
Finalmente se establecerá las configuraciones para los parámetros de LAN y WLAN en los equipos de comunicación ubicados en los distintos nodos. Se establecerá el uso de protocolos de transmisión y recepción de datos en los reconectores con el objeto de poner en marcha el monitoreo de éstos desde el Centro de Control.

## 2.2 TOPOLOGÍA DE RED

La red de Distribución Eléctrica de la Provincia de Cotopaxi cuenta con puntos críticos en diferentes sectores geográficamente distantes del centro de control por tal razón hasta el momento se han instalado 5 reconectores. Las ubicaciones de éstos se detallan en la tabla 2.1

**Tabla 2.1** Coordenadas de ubicación geográfica del centro de control y los reconectores

<b>RECONECTADOR</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>ALTURA[m]</b>
<b>NOVACERO</b>	0°47'41.8"	78°36'55.9"	2933.4
<b>PIEDRA COLORADA</b>	0°48'52.1"	78°37'35.7"	2909.3
<b>BELLAVISTA</b>	0°54'10.2"	78°37'07.8"	2804
<b>SINCHAGUASIN</b>	0°57'8.0"	78°42'03.2"	3054.7
<b>ANCHILIVI</b>	1°02'59.7"	78°33'58.2"	2723.5
<b>CENTRO DE OPERACIONES ELECTRICAS (COE)</b>	0°55'53.1"	78°36'43.2"	2805

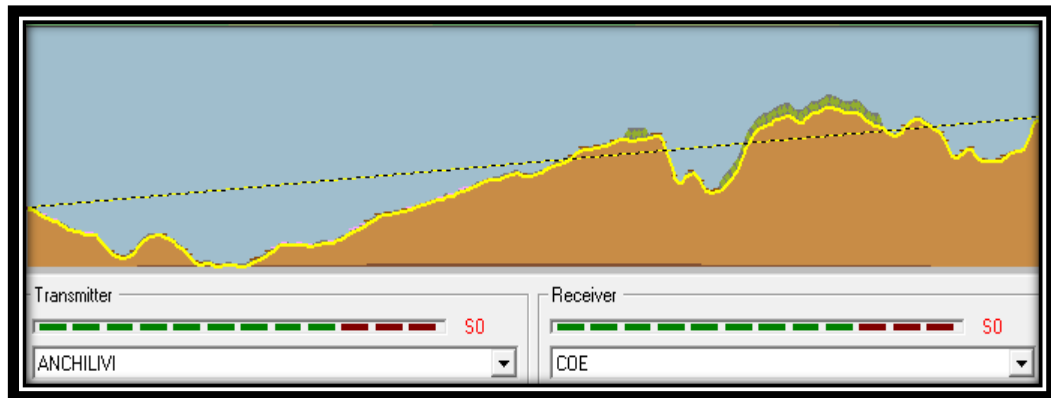


**Figura 2.1** Ubicación geográfica del centro de control y los reconectores

Conocida la ubicación de los reconectores, mediante el uso de herramientas informáticas como radio mobile, se determinan los perfiles topográficos de los puntos con la ubicación del centro de control; se comprueba la presencia de obstáculos significativos que obstruyan la línea de vista entre los distintos puntos de ubicación de los reconectores con el centro de control ubicado en la subestación El Calvario.

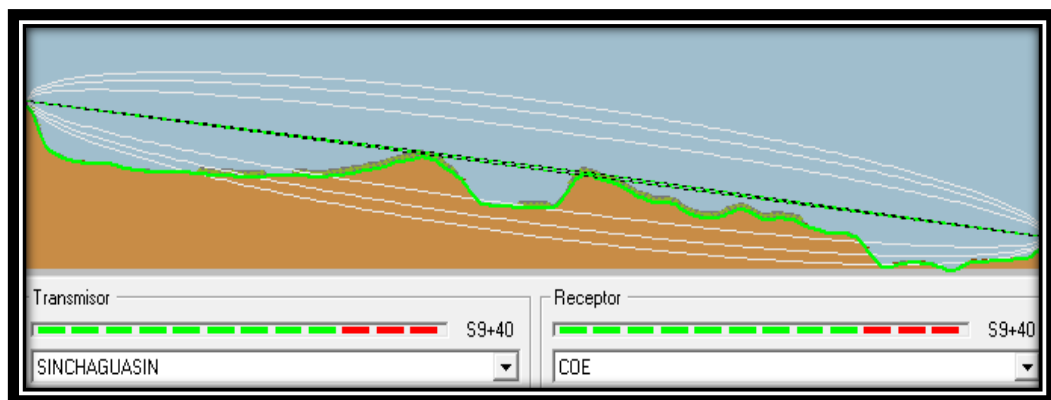
A continuación se ilustran los perfiles topográficos de entre las diferentes estaciones remotas con el Centro de Operaciones Eléctricas de ELEPCO S.A.

- Perfil Anchilivi – COE



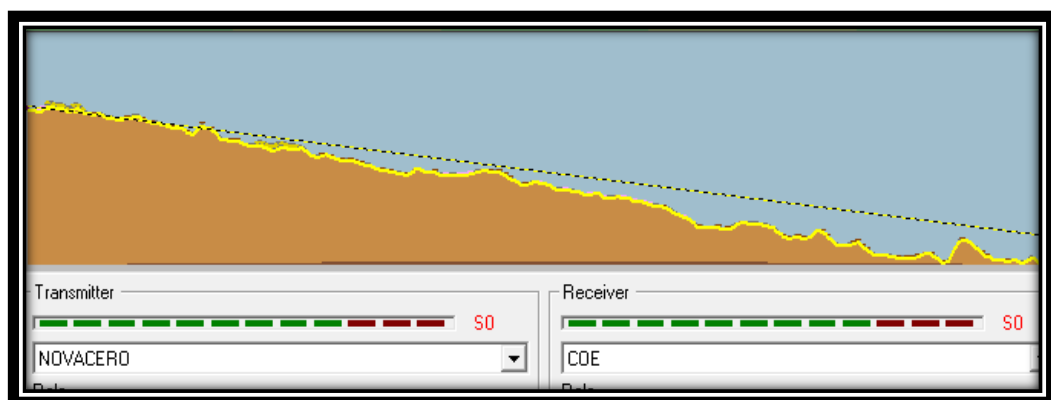
**Figura 2.2** Perfil topográfico Anchilivi – COE

- Perfil Sinchaguasín – COE



**Figura 2.3** Perfil topográfico Sinchaguasín – COE

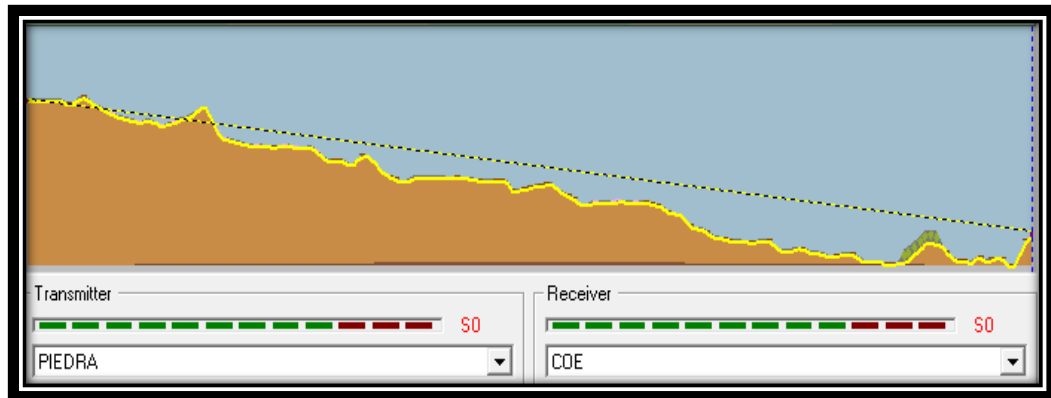
- Perfil Novacero – COE



**Figura 2.4** Perfil topográfico Novacero – COE

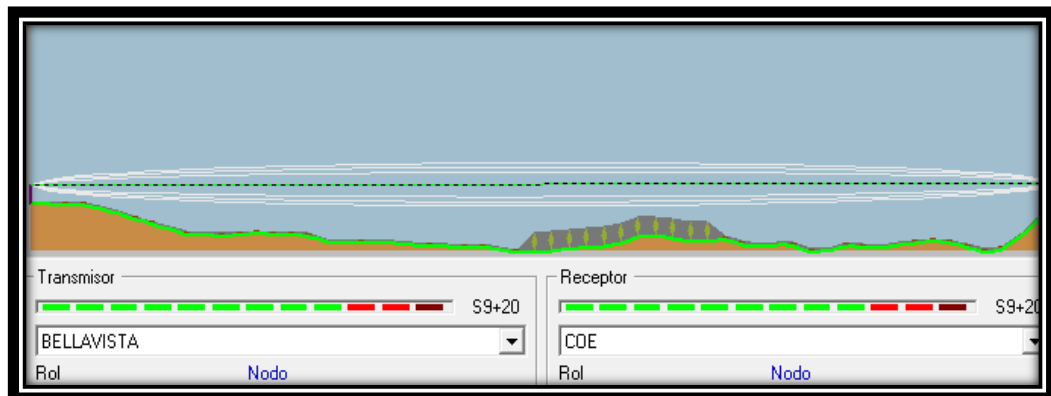


- Perfil Piedra Colorada – COE



**Figura 2.5** Perfil topográfico Piedra Colorada – COE

- Perfil Bellavista – COE



**Figura 2.6** Perfil topográfico Bellavista – COE

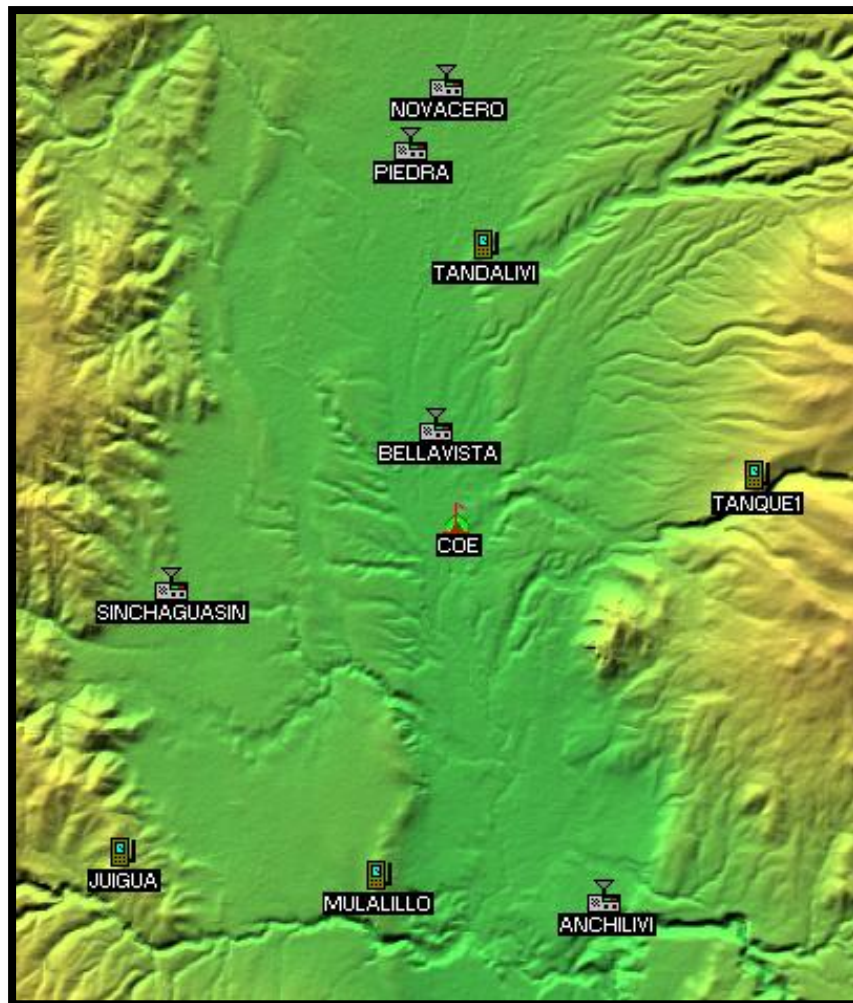
Los resultados obtenidos en la modelación de los perfiles topográficos, muestran los inconvenientes en algunos de los enlaces, esto debido a la presencia de obstáculos con alturas superiores a los extremos donde se ubican los equipos a enlazarse; como consecuencia de esto se tiene ausencia de línea de vista. Esto obliga a buscar opciones diferentes para conseguir enlazar los puntos remotos con el centro de control, siendo la mejor elección la ubicación de repetidores.

### 2.3 INVESTIGACIÓN DE CAMPO PARA LA TOMA DE LOS NUEVOS PUNTOS DE ENLACE EN LA RED

Es necesario realizar un recorrido por diferentes lugares con el objeto de hallar puntos posibles en los que se pueda ubicar los repetidores para conseguir establecer la red de comunicación de los reconectores. Los puntos serán seleccionados según presenten las condiciones adecuadas para la instalación de los equipos, los parámetros que se consideran son: fácil acceso, existencia de sistema eléctrico, seguridad y distancia.

**Tabla 2.2** Coordenadas de ubicación geográfica del centro de control y los repetidores

UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA[m]
TANQUE 1	0°55'06.0''	78°31'07.0''	3631.3
JUIGUA	01°02'10.5''	78°343'01.1''	3491.6
MULALILLO	01°02'36''	78°38'14.0''	3087.6
TANDALIVI	0°50'45.8''	78°36'13.1''	2942



**Figura 2.7** Ubicación geográfica de las estaciones repetidoras

## 2.4 ESTUDIO DE COBERTURA DE LA RED

Determinados los posibles lugares donde se instalarán los repetidores se procedió con el análisis de cobertura, tomando en cuenta que: El sistema de comunicación a implementar en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. permitirá la intercomunicación de la Smart Grid para obtener el máximo aprovechamiento de las funciones de los reconfiguradores, ubicados de acuerdo a la Tabla 2.1.

El sistema estará constituido por estaciones, nodos y terminales bajo la tecnología WiMAX, que es la más adecuada para cubrir las necesidades, garantizar confiabilidad y fiabilidad en su funcionamiento.

### 2.4.1 TOPOLOGÍA

La topología a ser implementada debe considerar las características, ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías inalámbricas descritas en el Capítulo I, dándole mayor relevancia a los parámetros de interconexión requeridos por los reconfiguradores en los puntos remotos; además, se debe tomar en cuenta el ancho de banda que necesita la red para soportar aplicaciones de datos y la latencia que se provoque durante la transmisión de un paquete de datos.

La topología de red a ser implementada debe tomar en cuenta el nivel físico y lógico de la red. A nivel físico la mejor opción en cuanto a topología de una red es realizarla tipo malla, esto permite disponer de una red altamente confiable sin embargo esto provoca la presencia de una mayor latencia durante la transmisión; además, se debe configurar los equipos con protocolos de enrutamiento adecuados y finalmente se debe disponer de más equipos que funcionen como servidor.

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente y considerando que no es necesario que los reconfiguradores se comuniquen entre ellos la topología física que se forma para la red será tipo árbol.

### 2.4.2 COBERTURA

La tecnología WiFi posee un alcance no mayor a 100 metros con línea de vista, el mismo que se ve limitado en función de parámetros inherentes a la ubicación geográfica como obstáculos, disposición de los equipos; y otros propios del hardware del enlace, como la potencia utilizada y la ganancia de las antenas; se puede aumentar el alcance, pero esto impone un aumento de puntos de acceso, mediante la instalación de repetidores; teniendo en cuenta este criterio se establece la ubicación de estaciones repetidoras en puntos críticos considerando el buen uso del ancho de banda.

Las estaciones repetidoras se ubicarán en sitios estratégicos de modo que permitan la amplificación y conformación de la información proveniente del reconfigurador.

**Tabla 2.3** Distancias entre enlaces y ángulos de elevación

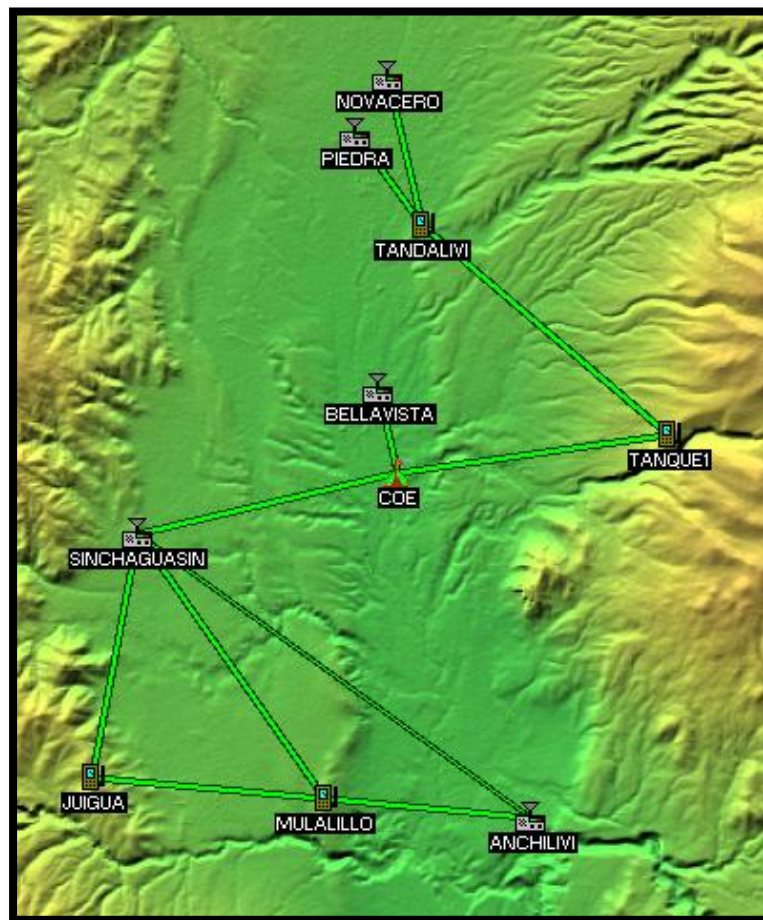
<b>UBICACIÓN ESTACIÓN 1</b>	<b>UBICACIÓN ESTACIÓN 2</b>	<b>DISTANCIA [Km]</b>	<b>ÁNGULO DE ELEVACIÓN</b>
<i>Enlace 1</i>			
<b>Novacero</b>	Tandalivi	5.83	0.053°
<b>Piedra Colorada</b>	Tandalivi	4.34	0.407°
<i>Enlace 2</i>			
<b>Tandalivi</b>	Tanque 1	12.40	-3.264°
<i>Enlace 3</i>			
<b>COE</b>	Tanque 1	10.48	-4.591°
<i>Enlace 4</i>			
<b>COE</b>	Bellavista	3.27	-0.003°
<i>Enlace 5</i>			
<b>COE</b>	Sinchaguasín	10.14	-4.591°
<i>Enlace 6</i>			
<b>Juigua</b>	Sinchaguasín	9.51	-2.661°
<b>Mulalillo</b>	Sinchaguasín	12.35	-0.212°
<b>Anchilivi</b>	Mulalillo	7.93	-2.604°

La cobertura general del sistema de comunicaciones para la interconexión de la Smart Grid, estará generado con enlaces punto a punto y punto multipunto, bajo los estándares WiFi y WiMAX.

#### **a. DIAGRAMA DE RED**

Con el uso de radio mobile se pueden generar un diagrama tentativo para la conformación de la red, para ello se tomaran en cuenta: las distancias entre los nodos (Reconectores) y los repetidores, cantidad de nodos enlazados con un mismo repetidor, y la redundancia que pueda proporcionar la red. Como se indicó anteriormente todos los reconectores deben comunicarse y ser monitoreados desde el Centro de Operaciones

Eléctricas (COE), más no entre ellos, se presenta el esquema siguiente para los enlaces.



**Figura 2.8** Diagrama de Red

La Figura muestra la red con todos los dispositivos que la conforman, sin embargo es necesario que se divida en sub sistemas para un mejor análisis.

### a.1 ANÁLISIS DE LOS ENLACES

**Enlace 1**, está conformado por los nodos: Novacero y Piedra Colorada; el repetidor: Tandalivi, en este caso por tener distancias inferiores a los 6 Km y un ángulo de 120 grados, se opta por realizar un enlace punto multipunto, con el fin de disminuir el hardware a ser empleado.

**Tabla 2.4** Enlace 1, Ubicación Geográfica

UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA[m]
NOVACERO	0°47'41.8"	78°36'55.9"	2933.4
PIEDRA COLORADA	0°48'52.1"	78°37'35.7"	2909.3
TANDALIVI	0°50'45.8"	78°36'13.1"	2942

En el enlace se considera el punto A Novacero (PA= Novacero) y el punto B Tandalivi (PB= Tandalivi).

- **Cálculo de Distancia:**

$$d = \sqrt{[111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [111.32 * (LoPA - LoPB)]^2 + \left(\frac{HPA - HPB}{1000}\right)^2}$$

Dónde:

d = Longitud del trayecto radioeléctrico [Km]

LaPA = Latitud PA

LaPB = Latitud PB

HPA = Altitud PA

HPB = Altitud PB

$$d = \sqrt{[111.32 * (0.7916 - 0.8427)]^2 + [111.32 * (-78.61552 + 78.604)]^2 + \left(\frac{2933.3 - 2942}{1000}\right)^2}$$

$$d = 5.83 [Km]$$

- **Atenuación en el espacio libre:**

$$Lb = 92,42 + 20\log(f[GHz]) + 20\log(d[Km])$$

Dónde:

Lb = Pérdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

K = 92,42 Constante de atenuación en 5.8 GHz.

f = Frecuencia [GHz]

d = Distancia [Km]

$$Lb = 92,42 + 20\log(5.785) + 20\log(5.83)$$

$$Lb = 122.97[dB]$$

- **Atenuación total:**

$$At = Lb + Alluvia + Avegetación$$

Dónde:

$A_t = \text{Atenuación total [dB]}$

$L_b = \text{Pérdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]}$

Para obtener la atenuación total en el enlace se deben realizar las siguientes consideraciones geográficas

Alluvia = Atenuación por lluvia 0.01 [dB]

Avegetación = Atenuación por vegetación 0.15 [dB]

$$A_t = 122.97 + 0.01 + 0.15$$

$$A_t = 123.13 \text{ [dB]}$$

- **Zona de Fresnel:**

$$F_n = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * d}}$$

Dónde:

$F_n$  = Lóbulo de cobertura de las antenas que ha de estar libre de obstáculo para que la comunicación entre 2 puntos sea correcta, respecto a la primera capa terrestre.

$f$  = Frecuencia [GHz]

$k = 17.32$ , constante de la velocidad de la luz en [Km]

$d_1$  = Distancia del transmisor al obstáculo [Km]

$d_2$  = Distancia del receptor al obstáculo [Km]

$d$  = Distancia total [Km]

$$F_1 = 17.32 \sqrt{\frac{5.78 * 0.05}{5.785 * 5.83}}$$

$$F_1 = 1.603$$

- **Ángulo Azimuth:**

$$\text{azimuth} = \tan^{-1}(\theta)$$

$$\theta = \frac{\Delta \text{longitud}}{\Delta \text{latitud}}$$



Dónde:

*Azimuth* = Es el ángulo que indicará el punto exacto en el que se debe fijar la antena con respecto al plano horizontal. [°]

$\theta$  = Diferencia entre la variación de longitud y latitud entre los puntos.

$$\theta = \frac{LoPA - LoPB}{LaPA - LaPB}$$

$$\theta = \frac{-78.61552 + 78.604}{0.7916 - 0.8427} = 0.2254$$

$$azimuth = \tan^{-1}(0.2254)$$

$$azimuth = 12.70^\circ$$

Por la disposición en el cuadrante

$$azimuth = 180^\circ - 12.70^\circ$$

$$azimuth = 166.91^\circ$$

- **Ángulo de elevación:**

$$elevación = \tan^{-1}(\theta)$$

$$\theta = \left| \frac{\Delta altura}{distancia} \right|$$

Dónde:

*Elevación* = Es el ángulo que indica la inclinación de la antena con respecto al plano vertical. [°]

$\theta$  = Diferencia entre la variación de alturas y la distancia entre los puntos.

$$\theta = \left| \frac{HPA - HPB}{d} \right|$$

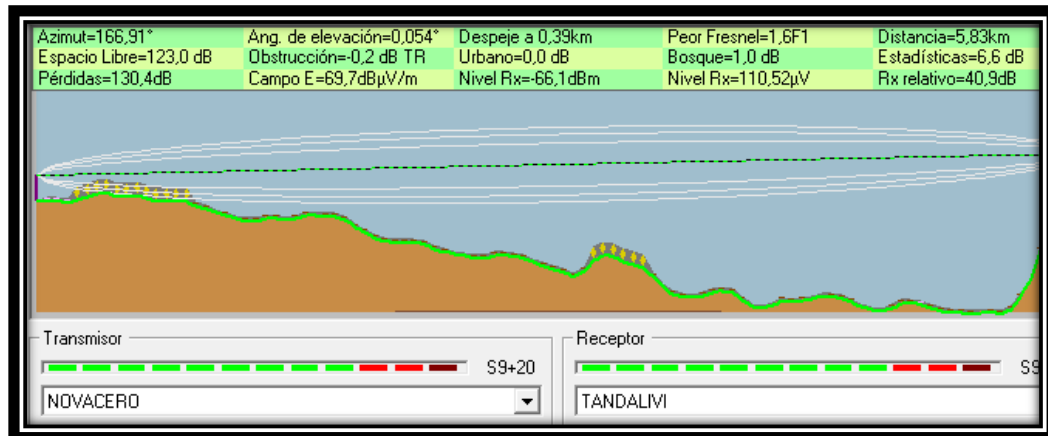
$$\theta = \left| \frac{2993.3 - 2942}{5830} \right| = 8.79e^{-3}$$

$$elevación = \tan^{-1}(8.79e^{-3})$$

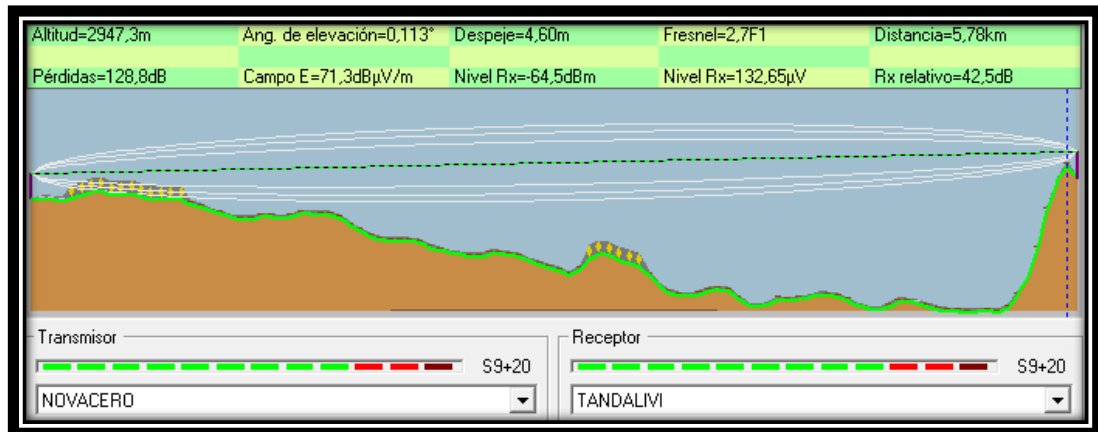
$$elevación = 0.5^\circ$$

**Tabla 2.5** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Navacero y Tandalivi.

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
Novacero – Tandalivi	Longitud del trayecto radioeléctrico	5.83[Km]	5.83[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre	122.97[dB]	123[dB]
	Atenuación total	123.13[dB]	-
	Zona de Fresnel	1.603F1	2.7F1
	Azimut	166.91°	166.91°
	Elevación	0.5°	0.054°



**Figura2.9** Identificación de parámetros de comunicación Novacero – Tandalivi Radio Mobile



**Figura 2.10** Identificación de la zona de Fresnel enlace Novacero - Tandalivi

De acuerdo con la Tabla 2.3; como parte del **Enlace 1**, se tiene como nodo a Piedra Colorada y se mantiene como repetidor a Tandalivi que para los cálculos se organizarán de la siguiente manera:

En el enlace se considera el punto A Piedra Colorada (PA= Piedra Colorada) y el punto B Tandalivi (PB= Tandalivi).

- **Cálculo de Distancia:**

$$d = \sqrt{[111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [111.32 * (LoPA - LoPB)]^2 + \left(\frac{HPA - HPB}{1000}\right)^2}$$

*Dónde:*

d = Longitud del trayecto radioeléctrico [Km]

LaPA = Latitud PA

LaPB = Latitud PB

HPA = Altitud PA

HPB = Altitud PB

$$d = \sqrt{[111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [111.32 * (LoPA - LoPB)]^2 + \left(\frac{HPA - HPB}{1000}\right)^2}$$

$$d = \sqrt{[111.32 * (0.814 - 0.8427)]^2 + [111.32 * (-78.63 + 78.604)]^2 + \left(\frac{2909.3 - 2942}{1000}\right)^2}$$

$$d = 4.31 [Km]$$

- **Atenuación en el espacio libre:**

$$L_b = 92,42 + 20\log(f[\text{GHz}]) + 20\log(d[\text{Km}])$$

Dónde:

$L_b$  = Pérdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

$k = 92,42$  Constante de atenuación en 5.8 GHz.

$f$  = Frecuencia [GHz]

$d$  = Distancia [Km]

$$L_b = 92,42 + 20\log(5.785) + 20\log(4.31)$$

$$L_b = 120.36[\text{dB}]$$

- **Atenuación total:**

$$A_t = L_b + \text{Alluvia} + \text{Avegetación}$$

Dónde:

$A_t$  = Atenuación total [dB]

$L_b$  = Pérdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

Para obtener la atenuación total en el enlace se deben realizar las siguientes consideraciones geográficas

Alluvia = Atenuación por lluvia 0.01 [dB]

Avegetación = Atenuación por vegetación 0.15 [dB]

$$A_t = 120.36 + 0.01 + 0.15$$

$$A_t = 120.52[\text{dB}]$$

- **Zona de Fresnel:**

$$F_n = 17.32 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * d}}$$

Dónde:

$F_n$  = Lóbulo de cobertura de las antenas que ha de estar libre de obstáculo para que la comunicación entre 2 puntos sea correcta, respecto a la primera capa terrestre.

$f$  = Frecuencia [GHz]

$k = 17.32$ , constante de la velocidad de la luz en [Km]

$d_1 =$  Distancia del transmisor al obstáculo [Km]

$d_2 =$  Distancia del receptor al obstáculo [Km]

$d =$  Distancia total [Km]

$$F1 = 17.32 \sqrt{\frac{4.28 * 0.06}{5.785 * 4.34}}$$

$$F1 = 1.75$$

- **Ángulo Azimuth:**

$$\text{azimuth} = \tan^{-1}(\theta)$$

$$\theta = \frac{\Delta \text{longitud}}{\Delta \text{latitud}}$$

Dónde:

**Azimuth** = Es el ángulo que indicará el punto exacto en el que se debe fijar la antena con respecto al plano horizontal. [°]

$\theta =$  Diferencia entre la variación de longitud y latitud entre los puntos.

$$\theta = \frac{LoPA - LoPB}{LaPA - LaPB}$$

$$\theta = \frac{-78.6259 + 78.604}{0.8144 - 0.8427} = 0.7738$$

$$\text{azimuth} = \tan^{-1}(0.7738)$$

$$\text{azimuth} = 37.73^\circ$$

Por la disposición en el cuadrante

$$\text{azimuth} = 180^\circ - 37.73^\circ$$

$$\text{azimuth} = 142.27^\circ$$

- **Ángulo de elevación:**

$$\text{elevación} = \tan^{-1}(\theta)$$

$$\theta = \left| \frac{\Delta \text{altura}}{\text{distancia}} \right|$$

Dónde:

**Elevación** = Es el ángulo que indica la inclinación de la antena con respecto al plano vertical. [°]

$\theta =$  Diferencia entre la variación de alturas y la distancia entre los puntos.

$$\theta = \left| \frac{HPA - HPB}{d} \right|$$

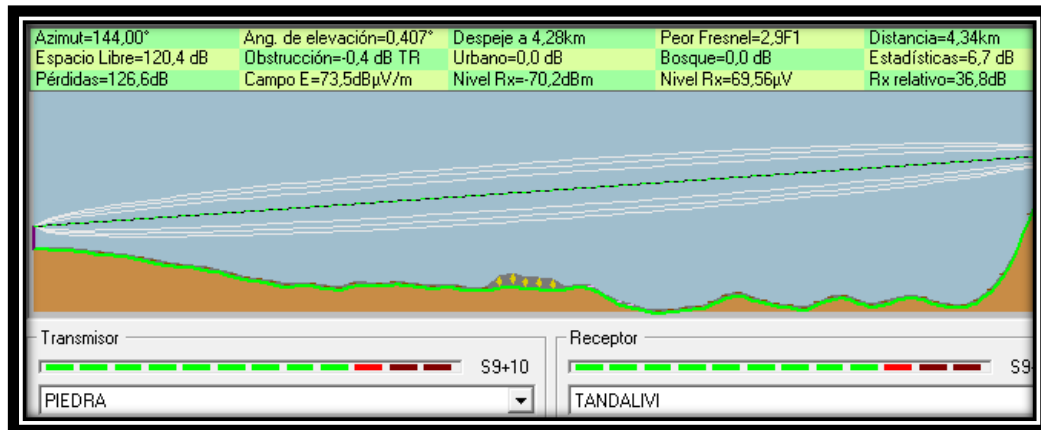
$$\theta = \left| \frac{2909.3 - 2942}{4340} \right| = 7.53e^{-3}$$

$$elevación = \tan^{-1}(7.53e^{-3})$$

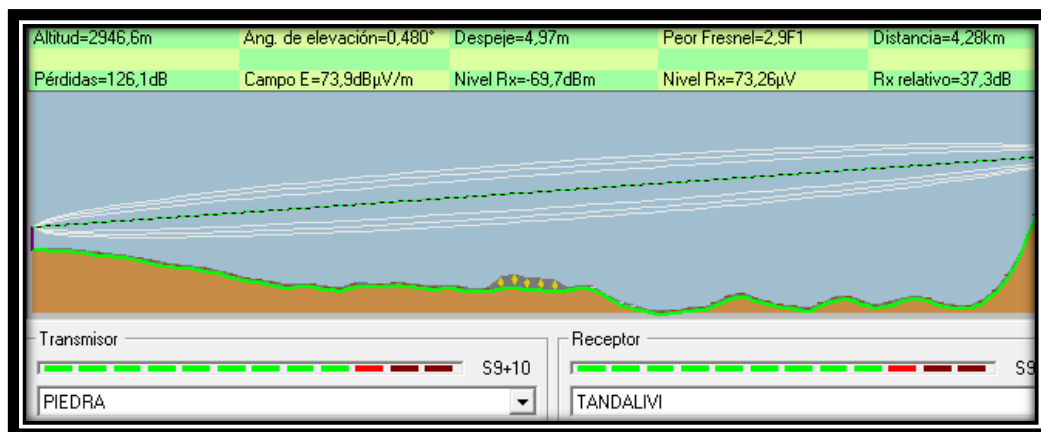
$$elevación = 0.43^\circ$$

**Tabla 2.6** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Piedra Colorada y Tandalivi.

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
<b>Piedra Colorada - Tandalivi</b>	Longitud del trayecto radioeléctrico	4.31[Km]	4.34[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.	120.35[dB]	120.4[dB]
	Atenuación total	120.52[dB]	-
	Zona de Fresnel	1.75F1	2.9F1
	Azimut	142.27°	144°
	Elevación	0.43°	0.407°



**Figura 2.11** Identificación de parámetros de comunicación enlace Piedra Colorada – Tandalivi Radio Mobile



**Figura 2.12** Identificación de la zona de Fresnel enlace Piedra Colorada – Tandalivi Radio Mobile

**Enlace 2**, está conformado por los nodos: Tandalivi y Tanque 1; por la disposición de los puntos geográficamente, se selecciona un enlace punto a punto, con el fin de obtener un lóbulo de radiación concentrado direccional.

**Tabla 2.7** Enlace 2, Ubicación Geográfica

UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA[m]
TANDALIVI	0°50'45.8"	78°36'13.1"	2942
TANQUE1	0°55'6.0"	78°31'7.0"	3631.3

En el enlace se considera el punto A Tandalivi (PA = Tandalivi) y el punto B Tanque 1 (PB = Tanque 1).

- **Calculo de Distancia:**

$$d = \sqrt{[111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [111.32 * (LoPA - LoPB)]^2 + \left(\frac{HPA - HPB}{1000}\right)^2}$$

Dónde:

d = Longitud del trayecto radioeléctrico [Km]

LaPA = Latitud PA

LaPB = Latitud PB

HPA = Altitud PA

HPB = Altitud PB

$$d = \sqrt{[111.32 * (LaPA - LaPB)]^2 + [111.32 * (LoPA - LoPB)]^2 + \left(\frac{HPA - HPB}{1000}\right)^2}$$

$$d = \sqrt{[111.32 * (0.8427 - 0.9176)]^2 + [111.32 * (-78.604 + 78.51794)]^2 + \left(\frac{2942 - 3631.3}{1000}\right)^2}$$

$$d = 12.71 [Km]$$

- **Atenuación en el espacio libre:**

$$Lb = 92,42 + 20\log(f[GHz]) + 20\log(d[Km])$$

Dónde:

Lb = Pérdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

k = 92,42 Constante de atenuación en 5.8 GHz.

f = Frecuencia [GHz]

d = Distancia [Km]

$$Lb = 92,42 + 20\log(5.785) + 20\log(12.71)$$

$$Lb = 129.75[dB]$$

- **Atenuación total:**

$$At = Lb + Alluvia + Avegetación$$

Dónde:

At = Atenuación total [dB]

Lb = Pérdida básica de transmisión en el espacio libre [dB]

Para obtener la atenuación total en el enlace se deben realizar las siguientes consideraciones geográficas

Alluvia = Atenuación por lluvia 0.01 [dB]



*Avegetación = Atenuación por vegetación 0.15 [dB]*

$$At = 129.75 + 0.01 + 0.15$$

$$At = 129.77 \text{ [dB]}$$

- **Zona de Fresnel:**

$$Fn = 17.32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{f * d}}$$

*Dónde:*

*Fn = Lóbulo de cobertura de las antenas que ha de estar libre de obstáculo para que la comunicación entre 2 puntos sea correcta, respecto a la primera capa terrestre.*

*f = Frecuencia [GHz]*

*k = 17.32, constante de la velocidad de la luz en [Km]*

*d1 = Distancia del transmisor al obstáculo [Km]*

*d2 = Distancia del receptor al obstáculo [Km]*

*d = Distancia total [Km]*

$$F1 = 17.32 \sqrt{\frac{3.14 * 9.26}{5.785 * 12.4}}$$

$$F1 = 13.23$$

- **Ángulo Azimuth:**

$$\text{azimuth} = \tan^{-1}(\theta)$$

$$\theta = \frac{\Delta \text{longitud}}{\Delta \text{latitud}}$$

*Dónde:*

*Azimuth = es el ángulo que indicará el punto exacto en el que se debe fijar la antena con respecto al plano horizontal. [°]*

*θ = Diferencia entre la variación de longitud y latitud entre los puntos.*

$$\theta = \frac{LoPA - LoPB}{LaPA - LaPB}$$

$$\theta = \frac{-78.604 + 78.517944}{0.8427 - 0.9176} = 1.1489$$

$$\text{azimuth} = \tan^{-1}(1.1489)$$

$$\text{azimuth} = 48.96^\circ$$

Por la disposición en el cuadrante

$$\text{azimuth} = 180^\circ - 48.96^\circ$$

$$\text{azimuth} = 131.03^\circ$$

- **Ángulo de elevación:**

$$\text{elevación} = \tan^{-1}(\theta)$$

$$\theta = \left| \frac{\Delta \text{altura}}{\text{distancia}} \right|$$

Dónde:

*Elevación = Es el ángulo que indica la inclinación de la antena con respecto al plano vertical. [°]*

$\theta$  = Diferencia entre la variación de alturas y la distancia entre los puntos.

$$\theta = \left| \frac{HPA - HPB}{d} \right|$$

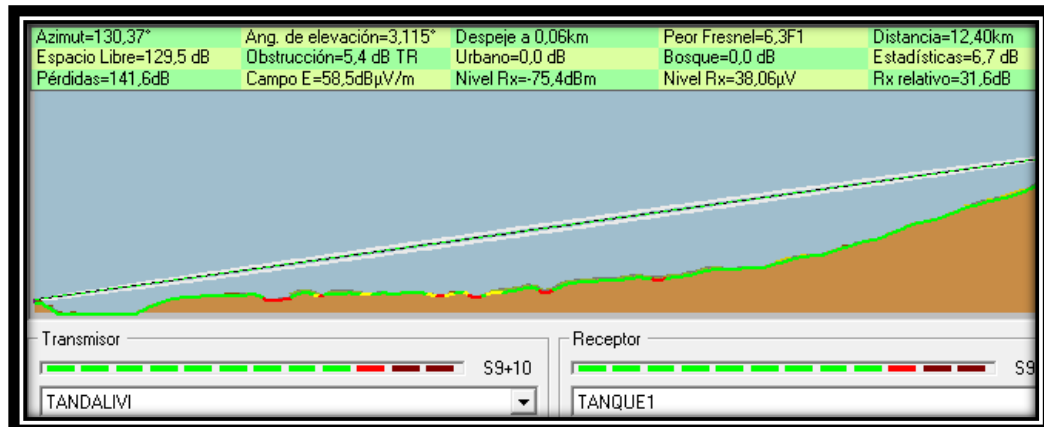
$$\theta = \left| \frac{2942 - 3631.3}{12400} \right| = 0.0555$$

$$\text{elevación} = \tan^{-1}(0.555)$$

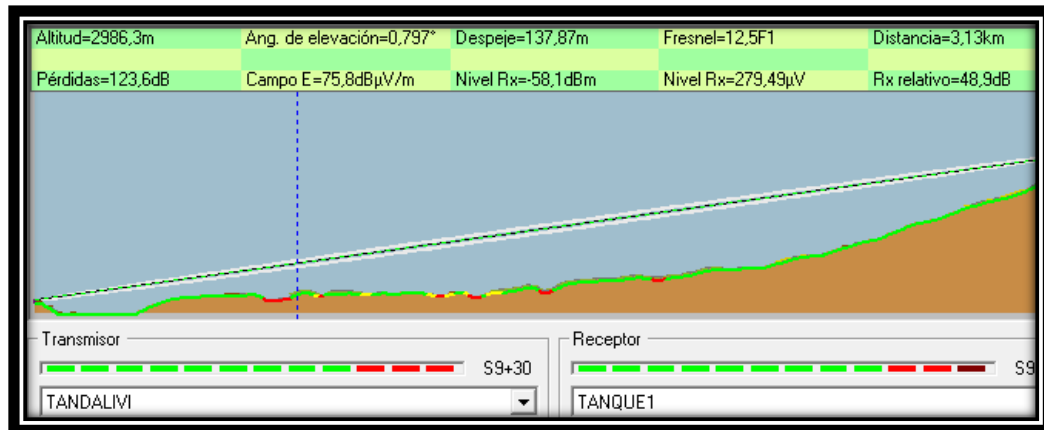
$$\text{elevación} = 3.17^\circ$$

**Tabla 2.8** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Piedra Colorada y Tandalivi.

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
Tandalivi – Tanque 1	Longitud del trayecto radioeléctrico	12.71[Km]	12.4[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.	129.75[dB]	129.5[dB]
	Atenuación total	129.77[dB]	-
	Zona de Fresnel	13.23F1	12.5F1
	Azimut	131.03°	130.27°
	Elevación	3.17°	3.115°



**Figura 2.13** Identificación de parámetros de comunicación enlace Tandalivi – Tanque 1 Radio Mobile



**Figura 2.14** Identificación de la zona de Fresnel enlace Tandalivi – Tanque 1  
Radio Mobile

**Enlace 3**, está constituido por los nodos: Tanque 1 y el Centro de Control de Operaciones COE; los puntos están distribuidos geográficamente de modo que se aplica la topología punto a punto.

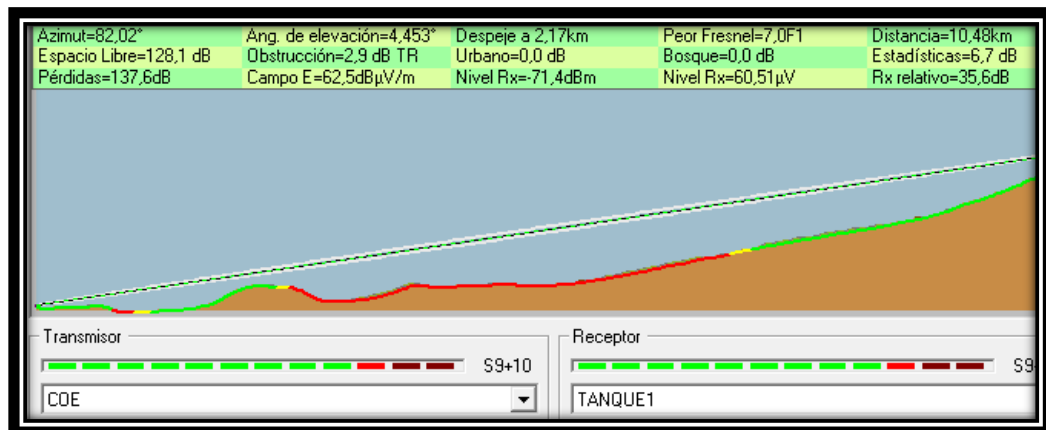
**Tabla 2.9** Enlace 3, Ubicación Geográfica

UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA[m]
COE	0°55'53.1"	78°36'43.2"	2805
TANQUE1	0°55'06.0"	78°31'07.0"	3631.3

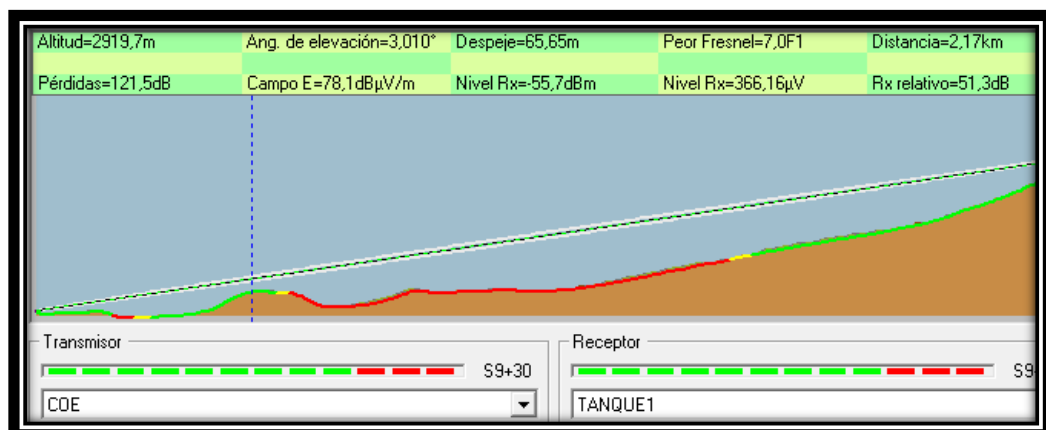
**Tabla 2.10** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos COE y Tanque 1.

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
COE – Tanque 1	Longitud del trayecto radioeléctrico	10.44[Km]	10.48[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.	128.04[dB]	128.1[dB]
	Atenuación total	128.20[dB]	-
			Continúa ➡

	Zona de Fresnel	5.15F1	7.01F1
	Azimut	87.80°	82.02°
	Elevación	4.52°	4.453°



**Figura 2.15** Identificación de parámetros de comunicación enlace COE–  
Tanque 1 Radio Mobile



**Figura 2.16** Identificación de la zona de Fresnel enlace Piedra Colorada –  
Tandalivi Radio Mobile

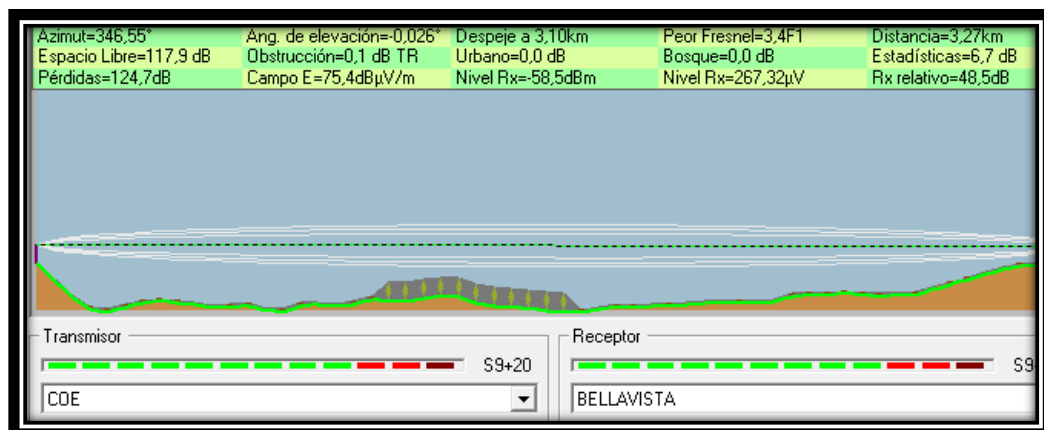
**Enlace 4**, está adaptado por los nodos: Centro de Control de Operaciones COE y Bellavista; los puntos están distribuidos geográficamente de modo que se aplica la topología punto a punto.

**Tabla 2.11 Enlace 4, Ubicación Geográfica**

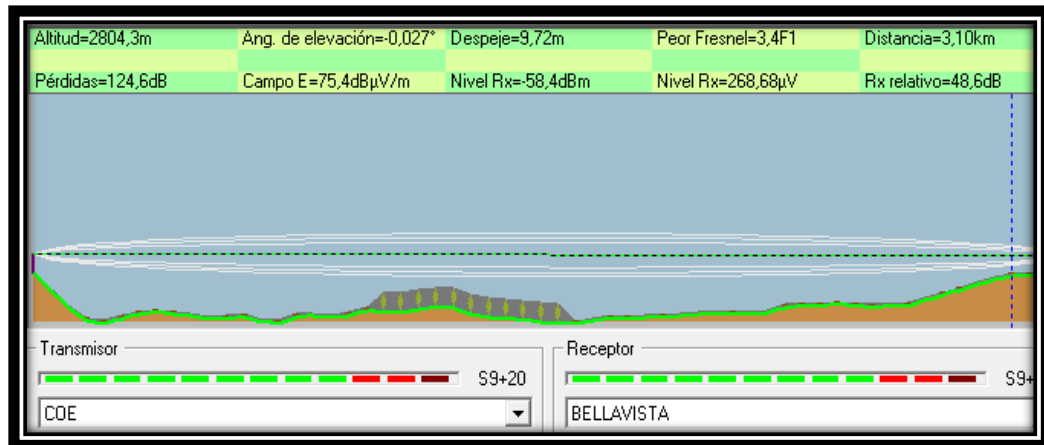
UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA[m]
COE	0°55'53.1"	78°36'43.2"	2805
BELLAVISTA	0°54'10.2"	78°37'07.8"	2804

**Tabla 2.12** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos COE y Bellavista

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
COE – Bellavista	Longitud del trayecto radioeléctrico	3.37[Km]	3.27[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.	118.23[dB]	117.9[dB]
	Atenuación total	118.39[dB]	-
	Zona de Fresnel	2.89F1	3.4F1
	Azimut	346.55°	346.55°
	Elevación	0.017°	0.026°



**Figura 2.17** Identificación de parámetros de comunicación enlace COE– Bellavista Radio Mobile



**Figura 2.18** Identificación de la zona de Fresnel enlace COE – Bellavista  
Radio Mobile

**Enlace 5**, está constituido por los nodos: Centro de Control de Operaciones COE y Sinchaguasín; los puntos se ajustan en un enlace punto a punto debido a la posición geográfica en la que se encuentran localizados

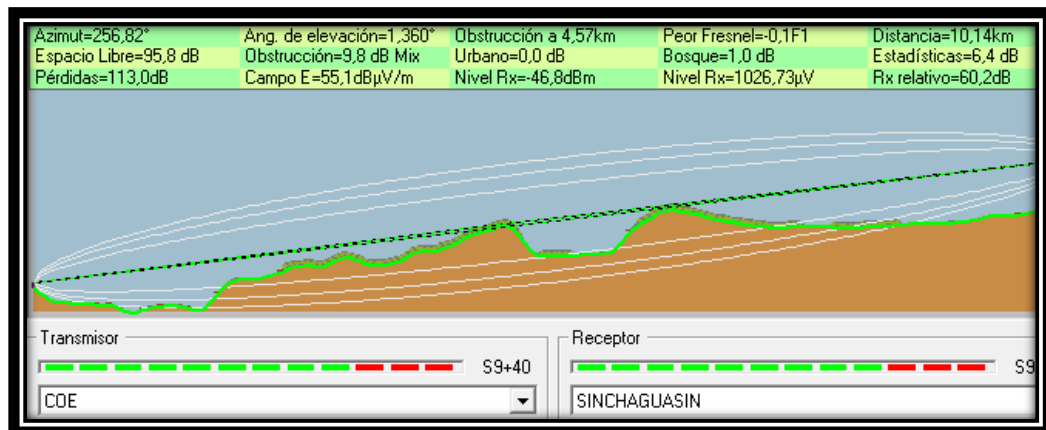
**Tabla 2.13** Enlace 5, Ubicación Geográfica

UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA[m]
<b>COE</b>	0°55'53.1"	78°36'43.2"	2805
<b>SINCHAGUASIN</b>	0°57'8.0"	78°42'03.2"	3054.7

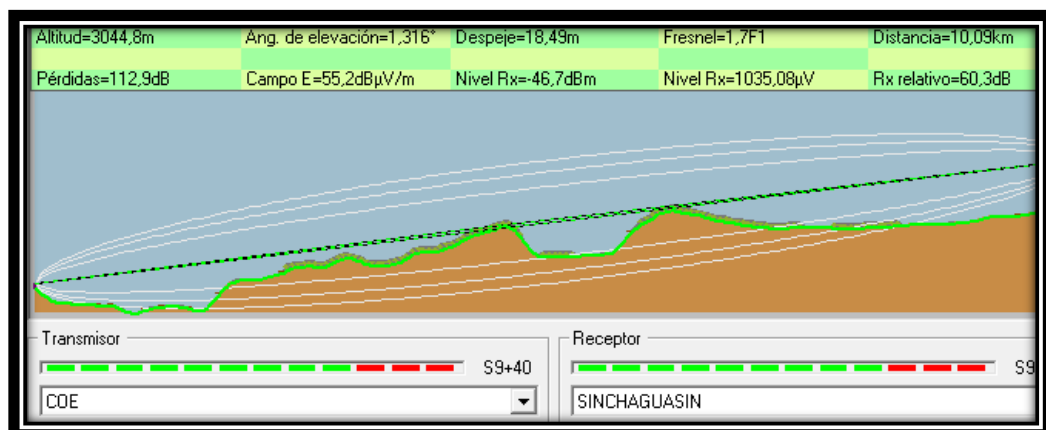
**Tabla 2.14** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos COE y Sinchaguasín.

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
<b>COE – Sinchaguasín</b>	Longitud del trayecto radioeléctrico	10.17[Km]	10.54[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.	127.81[dB]	95.8[dB]
	Atenuación total	127.97[dB]	-
			Continúa ➡

	Zona de Fresnel	1.606F1	1.7F1
	Azimut	283.17°	256.82°
	Elevación	1.406°	1.360°



**Figura 2.19** Identificación de parámetros de comunicación enlace COE– Sinchaguasín Radio Mobile



**Figura 2.20** Identificación de la zona de Fresnel enlace COE – Sinchaguasín Radio Mobile

**Enlace 6**, está constituido por los nodos: Juigua, Sinchaguasín, Mulalillo y Anchilivi; se dispondrán utilizando topología estrella de modo que el repetidor central será Mulalillo, de acuerdo a la disposición geográfica que no supera los 15 Km por cada nodo y con el fin de disminuir el hardware a ser empleado se considera un enlace factible de ser implementado.

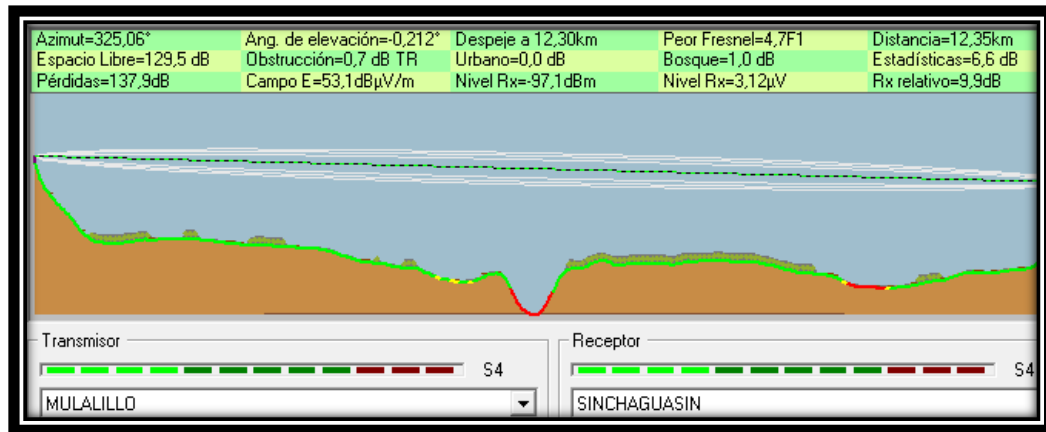


**Tabla 2.15** Enlace 6, Ubicación Geográfica

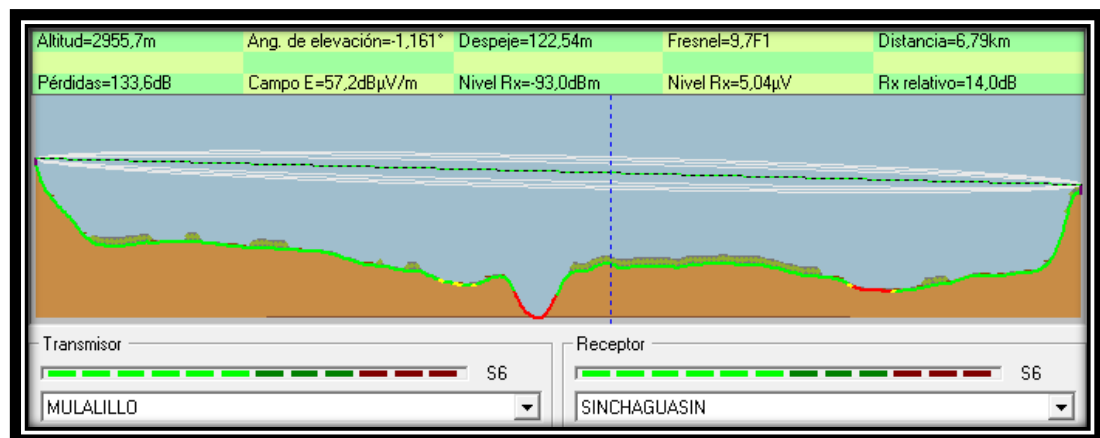
UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA[m]
JUIGUA	1°02'10.5''	78°43'01.1''	3491.6
SINCHAGUASIN	0°57'8.0''	78°42'03.2''	3054.7
MULALILLO	1°02'36''	78°38'14.0''	3087.6
ANCHILIVI	0°57'8.0''	78°42'03.2''	3054.7

**Tabla 2.16** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Mulalillo y Sinchaguasín.

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
<b>Mulalillo – Sinchaguasín</b>	Longitud del trayecto radioeléctrico	12.38[Km]	12.35[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.	129.52[dB]	129.5[dB]
	Atenuación total	129.68[dB]	-
	Zona de Fresnel	12.2F1	9.7F1
	Azimut	325.05°	326.06°
	Elevación	-0.201°	-0.202°



**Figura 2.21** Identificación de parámetros de comunicación enlace Mulalillo – Sinchaguasín Radio Mobile

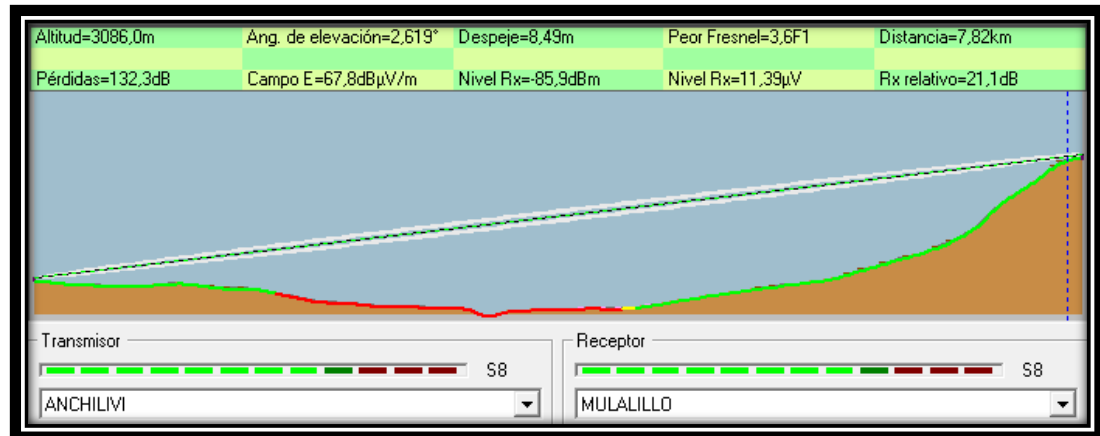


**Figura 2.22** Identificación de la zona de Fresnel enlace Mulalillo – Sinchaguasín Radio Mobile

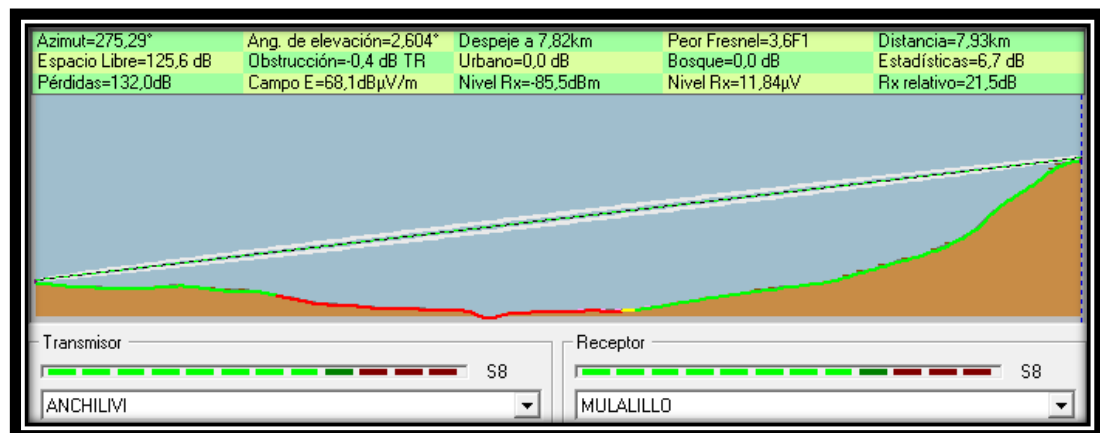
**Tabla 2.17** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Anchilivi y Mulalillo.

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
<b>Anchilivi – Mulalillo</b>	Longitud del trayecto radioeléctrico	7.95[Km]	7.93[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.	125.68[dB]	125.6[dB]
			Continúa ➡

	Atenuación total	125.84[dB]	-
	Zona de Fresnel	2.59F1	3.6F1
	Azimut	275.29°	275.29°
	Elevación	2.62°	2.604°



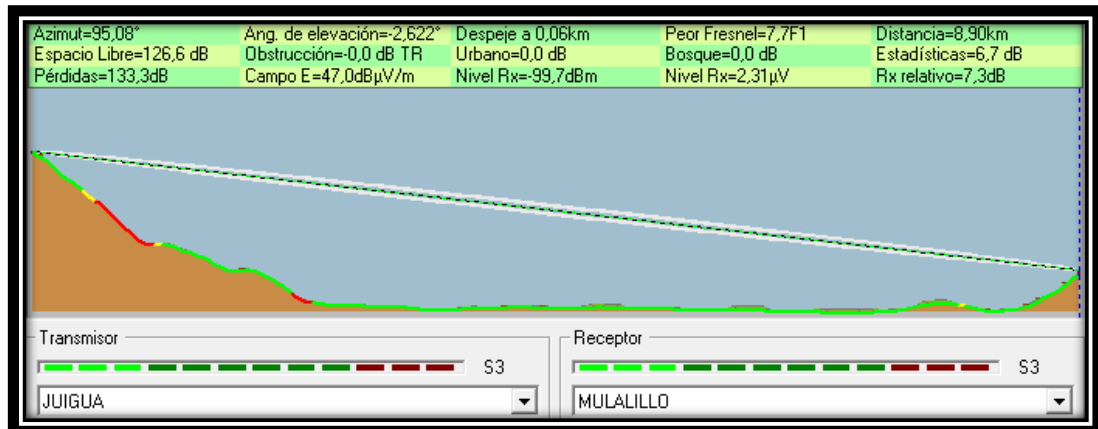
**Figura 2.23** Identificación de parámetros de comunicación enlace Anchilivi – Mulalillo Radio Mobile



**Figura 2.24** Identificación de la zona de Fresnel enlace Anchilivi – Mulalillo Radio Mobile

**Tabla 2.18** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Juigua y Mulalillo.

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
Juigua – Mulalillo	Longitud del trayecto radioeléctrico	8.92[Km]	8.90[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.	126.68[dB]	126.6[dB]
	Atenuación total	126.84[dB]	-
	Zona de Fresnel	7.5F1	7.7F1
	Azimut	95.07°	95.08°
	Elevación	-2.58°	-2.622°



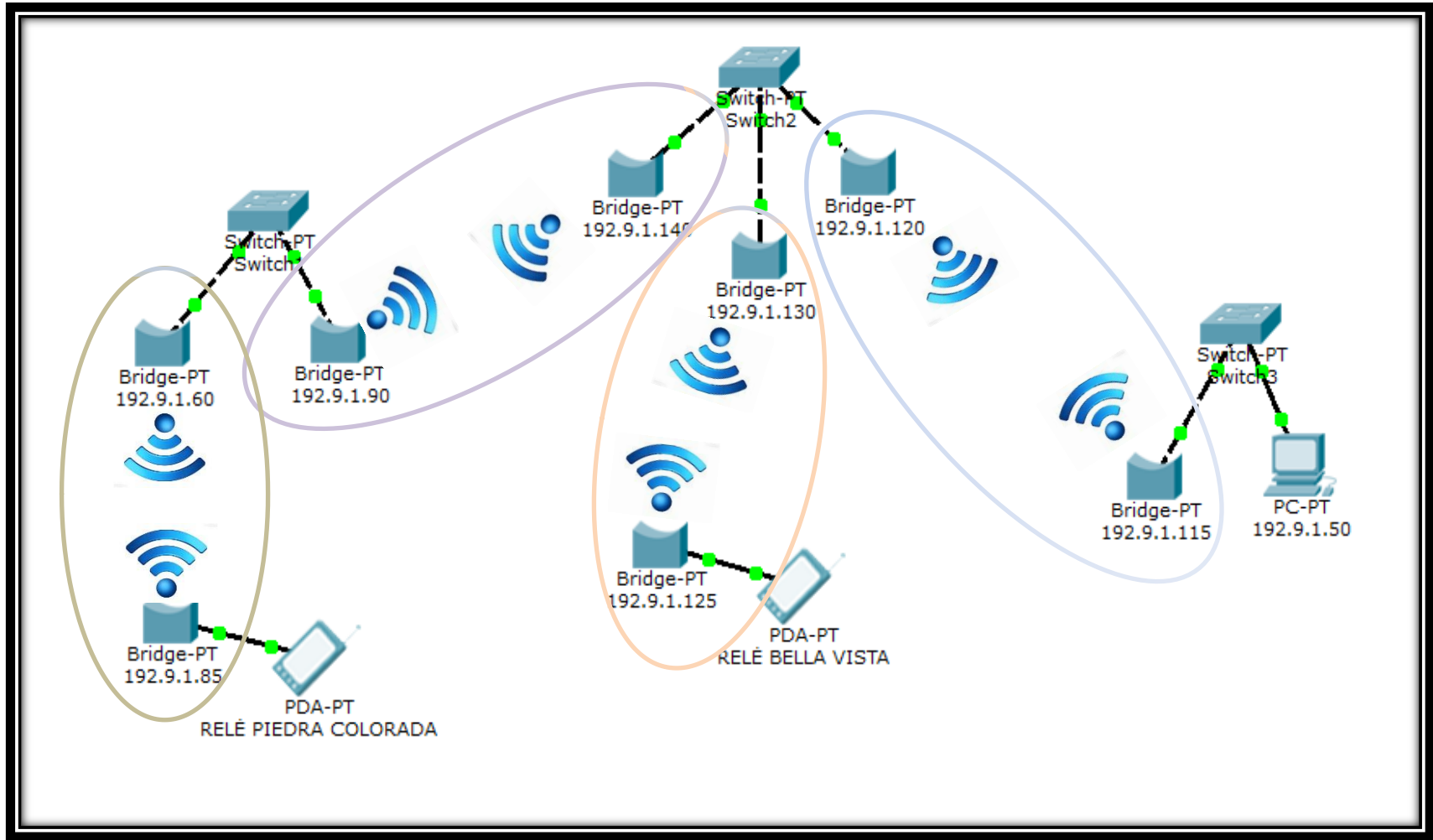
**Figura 2.25** Identificación de parámetros de comunicación enlace Juigua – Mulalillo Radio Mobile

- En el enlace Juigua - Mulalillo, no se presenta zona de Fresnel directa ya que no existen obstáculos en la transmisión visibles.

De los resultados obtenidos en los cálculos de los enlaces, los equipos seleccionados deben cumplir con las siguientes características:

- **Equipos de radio frecuencia** resistentes, de alta potencia, alto rendimiento, que cubran grandes distancias y sean diseñados específicamente para el aire libre como puente punto a punto; además de:
- Memoria Ram: 16MB
- Flash: 4MB Flash
- Polaridad: Adaptación Vertical/Horizontal
- Ganancia de Antena: 23 -28 dBi
- Channel width: 5/10/20MHz
- Velocidad: 802.11 B/G
- Alcance:+ de 15 Km (dependiendo de la antena)
- Tipo de puertos: Ethernet : 1 puerto
- Firewall: Si
- Alimentación: 12 Volt 1 Amper
- Antena: Interna dual y externa
- Canales de operación:1 al 11 o 14
- Frecuencia: Banda 5.8 GigaHertz





### 2.4.3 TOPOLOGÍA DE RED



**Figura 2.27** Topología Lógica del Sistema de Comunicaciones para los Reconnectores ADVc de ELEPCOSA

En la Figura 2.27 respecto a la Topología Lógica del Sistema de Comunicaciones para los reconectores ADVC de ELEPCOSA, se observan 4 sistemas entre estaciones de enlace y puntos de acceso repetidores representados por:

**Tabla 2.19** Descripción de elementos de la topología lógica empleada en la Figura 2.27

ÍCONO	REPRESENTACIÓN	INTERFACE DE COMUNICACIÓN	CONFIGURACIÓN
 Bridge-PT	RADIO	WIRELESS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estación de Enlace</li> <li>• Puntos de Acceso Repetidores</li> </ul>
 Switch-PT	SWITCH	ETHERNET	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión de área local</li> </ul>
 PDA-PT	DISPOSITIVO INTELIGENTE (RELÉ)	ETHERNET	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivo final</li> </ul>
 PC-PT	COMPUTADOR	ETHERNET	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivo final</li> </ul>

## 2.4.4 DIRECCIONAMIENTO IP

Tabla 2.20 Distribución de direcciones IP

SISTEMA	EQUIPOS	INTERFACE DE COMUNICACIÓN	DIRECCIÓN IP	UBICACIÓN
<b>Sistema 1.5</b>	Estación remota de enlace	Wireless	192.9.1.85	Piedra Colorada
	Punto de acceso repetidor	Wireless	192.9.1.60	Tandalivi
	Relé	Ethernet 10BaseT	192.9.1.10	Piedra Colorada
<b>Sistema 1.6</b>	Estación de enlace	Wireless	192.9.1.115	El Calvario
	Punto de acceso repetidor	Wireless	192.9.1.120	Tanque 1
<b>Sistema 1.7</b>	Estación remota de enlace	Wireless	192.9.1.125	Bellavista
	Punto de acceso repetidor	Wireless	192.9.1.130	Tanque 1
	Relé	Ethernet 10BaseT	192.9.1.20	Piedra Colorada
<b>Sistema 1.8</b>	Estación de enlace	Wireless	192.9.1.90	Tandalivi
	Punto de acceso repetidor	Wireless	192.9.1.110	Tanque 1



## 3 CAPÍTULO 3

### IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y PRUEBAS

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describirán los equipos y dispositivos necesarios para la implementación del Sistema de Comunicaciones de datos en concordancia con el diseño establecido en el Capítulo II, se indicarán características físicas y especificaciones técnicas de cada uno de ellos; además de la disposición tanto en estaciones repetidoras como en los puntos de acceso, reconectores.

Se establecen parámetros de configuración en sitio y remotos de cada equipo que forma parte del sistema, identificación de protocolos e interfaces a emplearse y modos de comunicación.

Las pruebas del sistema de comunicación se realizarán garantizando que el sistema provea una interfaz flexible de control de los equipos reconectores con las siguientes posibilidades:

- Comunicación constante con los equipos de comunicación y reconectores.
- Permitir el manejo de monitoreo extendido y las solicitudes simultáneas de cargado/descargado de información.
- Permitir la integración de nuevos subsistemas con banda libre.

#### 3.2 ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS DEL SISTEMA

La implementación del sistema de comunicación entre el Centro de Operaciones Eléctricas y los puntos de ubicación de los reconectores requerirá de la instalación, conexión y configuración de dispositivos de enlace y

gestión de datos, además del equipo de soporte y conexasión para lo cual se considerará rangos de operación, interfaces de comunicación, distancias máximas de ubicación y topografía del entorno de acuerdo con los resultados del estudio de campo para la obtención de nuevos puntos de red.

La red de comunicaciones de datos se constituye en un solo nivel utilizando una topología de red punto a punto sobre radiofrecuencia en modo half duplex, integrando subsistemas mediante gestión de flujo de datos por switches que deberán estar instalados en los puntos repetidores.

La puesta en marcha del sistema, se realizará en forma aérea mediante ondas de radiofrecuencia cubriendo largas distancias que van desde 4.34 Km. hasta 12.4 Km. Máximo como se indica en la Tabla 2.3; integrando estaciones repetidoras con el propósito de repotenciar y mantener la fidelidad de la señal portadora de la información, permitiendo una comunicación de mayor longitud.

Los cables de comunicación para la conexión Ethernet deben cumplir con el estándar TIA-568B y por las condiciones climáticas a las que se deberá exponer el cable debe ser industrial aislado.

### **3.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA**

EL Sub-módulo de comunicación que posee el relé ADV C U-Series, especifica los siguientes puertos hábiles de comunicación:

- Puerto RS-232 A
- Puerto RS-232 B
- Puerto RS-232 C
- Puerto RS-232 D
- Puerto RS-485
- 10 base T Ethernet

- V23 FSK
- USB

Los puertos suelen tener tres tipos de usos:

- Comunicación WSOS.
- Comunicación para sistemas SCADA.
- Comunicación con el usuario IOEX.

Para Sistemas de Control de Adquisición de Datos se manejan protocolos industriales de comunicación que permiten el monitoreo y control remoto de acuerdo con las diversas necesidades del programador como son:

- DNP3
- IEC 61850
- MODBUS

### **3.3.1 ESPECIFICACIONES DISPOSITIVOS DE RADIOFRECUENCIA**

Considerando los parámetros de comunicación establecidos en el relé, se selecciona el puerto 10 Base T Ethernet con conector RJ-45 para comunicación directa con el equipo de radio frecuencia que se encargará de transmitir la información necesaria hasta el Centro de Operaciones Eléctricas de ELEPCO S.A.; se operará mediante el protocolo abierto MODBUS configurando debidamente el mapa de memorias de acuerdo con los parámetros de corrientes, tensiones, potencias, tiempo de apertura y cierre: entre otros, que solicite la Entidad para el correcto monitoreo y control del dispositivo controlador.

**Tabla 3.1** Especificaciones técnicas Dispositivos de Radiofrecuencia

ÍTEM	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
<b>Tipo:</b>	Radio Tecnología airMAX MIMO TDMA Protocol
<b>Partes:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Radio</li> <li>2. Antena</li> </ol>
<b>Tipo de procesador:</b>	Atheros MIPS 24KC
<b>Ganancia de la Antena:</b>	23 dBi
<b>Distancia máxima:</b>	15 Km
<b>Frecuencia:</b>	5.8 Ghz
<b>Características:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Direccionamiento IP</li> <li>2. Verificación visual directa.</li> <li>3. Alineación por software.</li> </ol>
<b>Interface de conexión:</b>	10BaseT – 100BaseT
<b>Voltaje:</b>	12 V USB + Adaptador POE
<b>Componentes:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Accesorios de montaje</li> </ol>
<b>Interfaz Física:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indicador LED de comunicación.</li> </ol>



**Figura 3.1** Radio AirMAx Ubiquiti Network

### 3.3.2 ESPECIFICACIONES MÁSTILES DE ELEVACIÓN

Los equipos de radio frecuencia se deberán montar en mástiles de acero galvanizado de elevación de diferente tamaño de acuerdo con el diseño presentado en el capítulo II; cada uno cuenta con sus respectivos anclajes de fijación.



**Figura 3.2** Mástil de elevación con accesorios

### 3.3.3 ESPECIFICACIONES SWITCH DE GESTIÓN

Para la Gestión de la información y la interconexión de nuevos subsistemas optimizando el rendimiento de la red de área local se utilizará un Switch de las siguientes características:

**Tabla 3.2** Especificaciones técnicas Switch

ÍTEM	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
Voltaje de entrada:	24 Vdc
N° de Slots:	2
Protección:	IP50
Temperatura:	-40°C a 60°C
N° de puertos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 6 puertos Ethernet 10/100 Base-TX</li> <li>2. 2 puertos SFP de 1Gbps</li> <li>3. 1 puerto de consola</li> </ol>



**Figura 3.3** Switch de Gestión de Información

### 3.4 DISPOSICIÓN DE EQUIPOS A IMPLEMENTARSE POR SECTORES

#### 3.4.1 ESTACIONES REMOTAS

La distribución de los equipos de radio frecuencia se realizó en concordancia con la figura 2.19; contando con un radio y antena montados en una base metálica a 5 metros del suelo, el conexionado eléctrico se encuentra dispuesto en el cubículo donde está colocado el relé, interconectado la interface 10 Base T Ethernet del relé controlador con la LAN del dispositivo emisor de ondas de radio frecuencia, la alimentación se obtiene del panel eléctrico existente en el cubículo de mando.

El direccionamiento físico se coloca de tal manera que la estación remota disponga de línea de vista con la estación repetidora cumpliendo con lo dispuesto en la tabla 2.6 y 2.11 tomando en cuenta ángulos de elevación y azimuth.

### **3.4.2 ESTACIONES REPETIDORAS**

La estructuración de las estaciones repetidoras radica en la necesidad de establecer una comunicación fiable con el Centro de Operaciones Eléctricas de ELEPCO S.A., con éste precedente se adaptaron mástiles de 8 m desde el suelo para el montaje de equipos de radio frecuencia; contando con radios y antenas colocadas en bases metálicas.

El conexionado eléctrico se encuentra dispuesto en un tablero que para su protección se dispondrá en un gabinete metálico; con la misma operación de trabajo se interconecta la red de área local del dispositivo emisor de ondas de radio frecuencia con el Switch, el mismo que permitirá la interconexión de subsistemas de área local; se cuenta con alimentación eléctrica en sitio dispuesta en el tablero de conexiones entregando 110Vac.

Las estaciones repetidoras, debido a agentes externos como descargas eléctricas, sobre voltajes, sobre corrientes, etc.; cuentan con un sistema de puesta a tierra impidiendo que sufran daños severos que afecten su funcionamiento y por ende la del sistema en conjunto.

El direccionamiento físico se coloca de tal manera que la estación repetidora disponga de línea de vista con la estación remota con topología de red punto a punto cumpliendo con la disposición de las tablas 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 tomando en cuenta ángulos de elevación y azimuth.

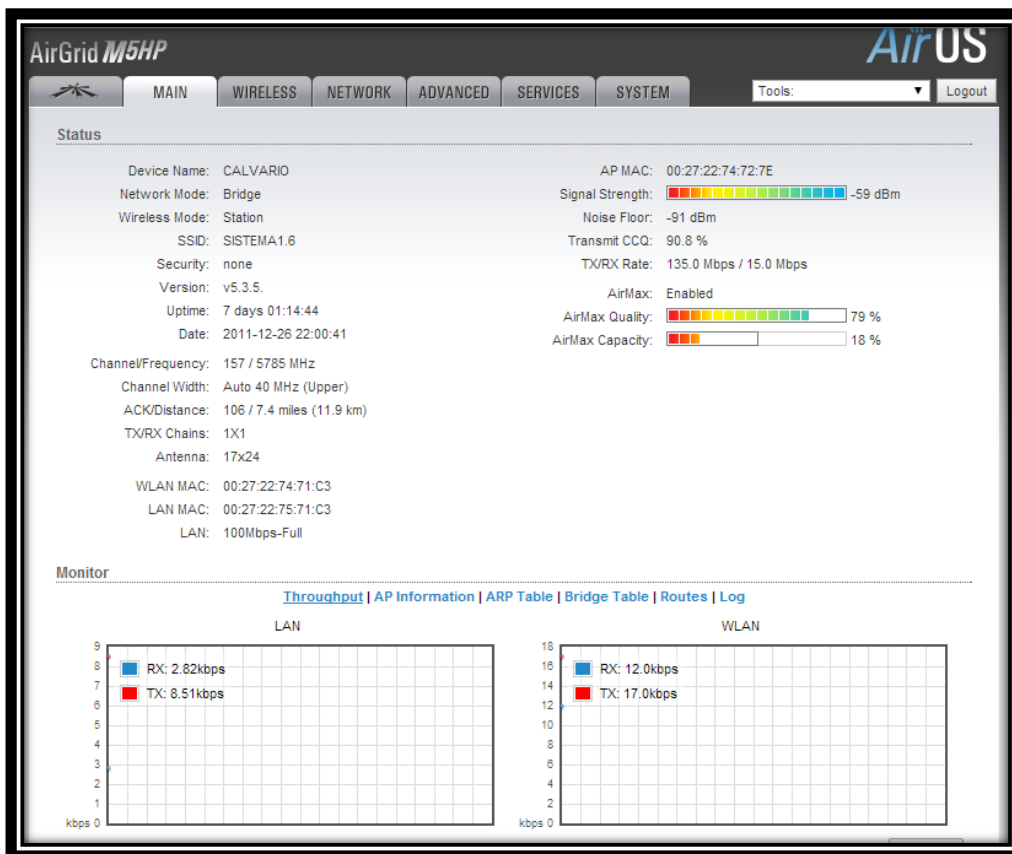
## **3.5 CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS**

### **3.5.1 CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS DE RADIO FRECUENCIA**

La configuración de los dispositivos de radio frecuencia se realizó de forma directa, ya que el dispositivo: Radio AIRMAX de UBIQUITI Networks cuenta con un servidor web que permite el direccionamiento lógico de los mismos, teniendo en cuenta que se utilizará una subred libre en el rango de: 192.9.1.X como se ilustra a continuación:







**Figura 3.5** Página principal de gestión WEB

4. En la página de red se establecerá la configuración IP que permitirá la administración del dispositivo.

**Network Role**

Network Mode: Bridge  
 Disable Network: None

**Network Settings**

Bridge IP Address:  DHCP  Static  
 IP Address: 192.9.1.115  
 Netmask: 255.255.255.0  
 Gateway IP: 192.9.1.1  
 Primary DNS IP:  
 Secondary DNS IP:  
 MTU: 1500  
 Spanning Tree Protocol:   
 Auto IP Aliasing:   
 IP Aliases: [Configure...](#)

**VLAN Network Settings**

Enable VLAN:

**Firewall Settings**

Enable Firewall:  [Configure...](#)

**Static Routes**

Static Routes: [Configure...](#)

[Change](#)

**Figura 3.6** Página de dirección de red

Los parámetros a modificar son los siguientes:

- Modo de red: Bridge (puente), se mantiene la configuración por defecto.
- Configuración de Red:  
 IP de configuración:  
     Dirección IP: 192.9.1.X (de acuerdo a la tabla de direccionamiento IP 2.2.4)  
     Máscara de Subred: 255.255.255.0  
     Puerta de Enlace: 192.9.1.1

Nota: al cambiar y aplicar la nueva configuración de red, es necesario modificar la dirección del adaptador con una dirección que se encuentre en la nueva subred e ingresar nuevamente al navegador.

5. Ingresar a la página de ajustes inalámbricos para establecer el modo de trabajo:

The screenshot displays the 'Basic Wireless Settings' page for an AirGrid M5HP device. The interface includes a navigation menu with tabs for MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED, SERVICES, and SYSTEM. The 'WIRELESS' tab is active. The settings are organized into two sections: 'Basic Wireless Settings' and 'Wireless Security'. In the 'Basic Wireless Settings' section, the following parameters are visible: Wireless Mode (Station), SSID (SISTEMA1.6), Lock to AP MAC (00:27:22:74:72:7E), Country Code (United States), IEEE 802.11 Mode (A/N mixed), Channel Width (Auto 20/40 MHz), Channel Shifting (Disabled), Frequency Scan List (Disabled), Auto Adjust to ERP Limit (checked), Antenna (17x24 - 28 dBi), Output Power (23 dBm), and Max TX Rate (MCS 7 - 65 [150] Mbps, Automatic checked). The 'Wireless Security' section shows Security set to 'none'. A 'Change' button is located at the bottom right of the settings area.

**Figura 3.7** Página de Ajustes Inalámbricos

Los parámetros a modificar son los siguientes:

- Modo inalámbrico: Station (estaciones remotas)  
Node (estaciones repetidoras excepto el enlace Tandalivi – Illuchi)
- SSID del Sistema: Elegir el equipo con el que se va a comunicar, tomar en cuenta la dirección MAC que se deberá transcribir en el campo Look to AP mac.

- Antenna : Elegir la ganancia de la antena, 23 dBi o 28 dBi.
  - Potencia de Salida: 23 dBm.
6. Para ajustes avanzados se deberá configurar los siguientes parámetros:

**AirGrid M5HP** **AirOS™**

MAIN WIRELESS NETWORK **ADVANCED** SERVICES SYSTEM Tools: Logout

---

**Advanced Wireless Settings**

RTS Threshold: 2348  Off

Fragmentation Threshold: 2348  Off

Distance:  miles (23.8 km)

ACK Timeout: 188  Auto Adjust

Aggregation:  Enable

Frames  Bytes

Multicast Data:  Allow All

Enable Installer EIRP Control:

Enable Extra Reporting:

Sensitivity Threshold, dBm: -98  Off

---

**Advanced Ethernet Settings**

Enable Autonegotiation:

Link Speed, Mbps:

Enable Full Duplex:

---

**Signal LED Thresholds**

LED1	LED2	LED3	LED4
Thresholds, dBm: -84	-80	-73	-85

---

**Traffic Shaping**

Enable Traffic Shaping:

**Figura 3.8** Página de Ajustes Avanzados

- Distancia: Referente a la longitud del enlace.
7. La Página de Servicios para el escenario de comunicación aplicando topología punto a punto no requiere de modificaciones.

**AirGrid M5HP** **AirOS**

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED **SERVICES** SYSTEM Tools: ▼ Logout

---

**Ping Watchdog** **SNMP Agent**

Enable Ping Watchdog:

IP Address To Ping:

Ping Interval:  seconds

Startup Delay:  seconds

Failure Count To Reboot:

Enable SNMP Agent:

SNMP Community:

Contact:

Location:

---

**Web Server** **SSH Server**

Use Secure Connection (HTTPS):

Secure Server Port:

Server Port:

Session Timeout:  minutes

Enable SSH Server:

Server Port:

Enable Password Authentication:

Authorized Keys:

---

**Telnet Server** **NTP Client**

Enable Telnet Server:

Server Port:

Enable NTP Client:

NTP Server:

---

**Dynamic DNS** **System Log**

Enable Dynamic DNS:

Host Name:

Username:

Password:   Show

Enable Log:

Enable Remote Log:

Remote Log IP Address:

Remote Log Port:

---

**Device Discovery**

Enable Discovery:

**Figura 3.9** Página de Servicios

8. Para reconocimiento de equipos es necesario ingresar a la página de sistema donde entre otras opciones también se podrá obtener un backup de la configuración ya establecida del equipo habilitando los siguientes campos:

**AirGrid M5HP** **AirOS**

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES **SYSTEM** Tools: Logout

---

**Device** **Date Settings**

Device Name:  Timezone:

Interface Language:  Enable Startup Date:

Startup Date:

---

**System Accounts**

Administrator Username:  Enable Read-Only Account:

---

**Miscellaneous** **Location**

Enable Reset Button:  Latitude:

Longitude:

---

**Configuration Management**

Backup Configuration:

Upload Configuration:  Ningún archivo seleccionado

---

**Device Maintenance**

Firmware Version: XM.v5.3.5  
Build Number: 11245

**Figura 3.10** Página de Sistema

Parámetros a modificar:

- Device Name: Nombre del equipo
- Backup Configuration: Descargar
- Reset to defaults configurations: Reseteo a las configuraciones básicas.

### 3.6 IMPLEMENTACIÓN EN SITIO

#### 3.6.1 IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REMOTA PIEDRA COLORADA

- Disposición del equipo de radio frecuencia:



**Figura 3.11** Disposición del radio AirMax de Ubiquiti Network direccionado hacia la estación repetidora Tandalivi





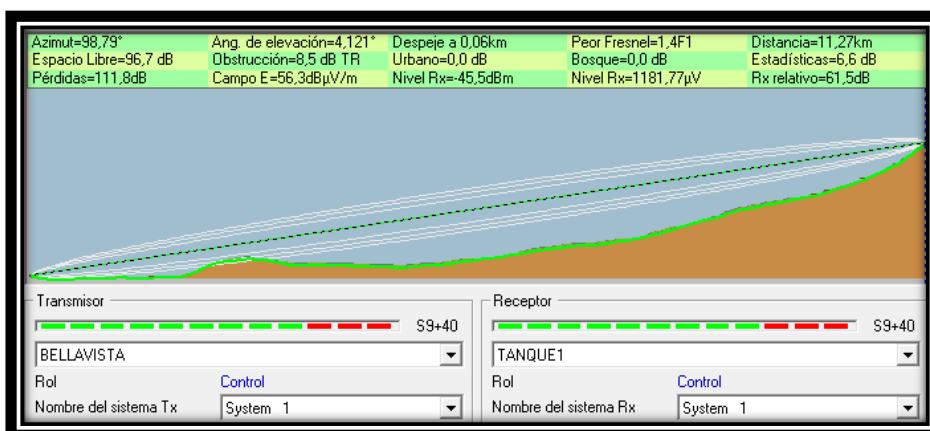
**Figura 3.12** Disposición de la estación remota Piedra Colorada

### 3.6.2 IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REMOTA BELLAVISTA

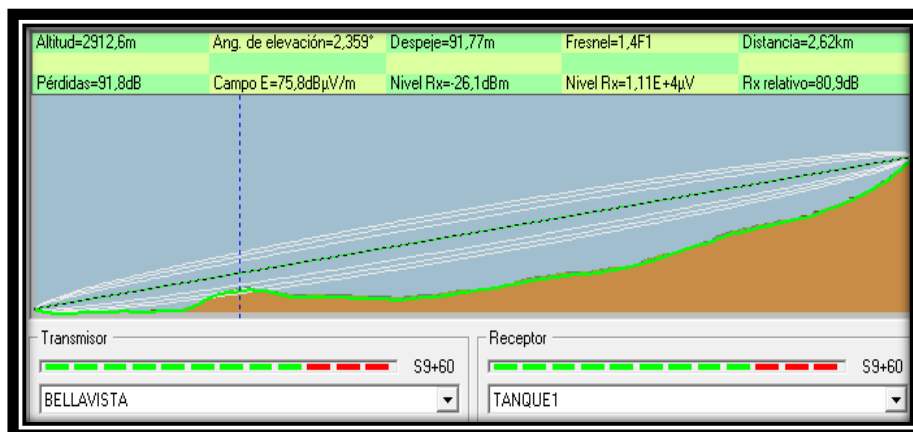
Luego del estudio de campo del Enlace 4, formado por la estación remota Bellavista y el Centro de Operaciones Eléctricas de ELEPCO S.A., cuyos puntos de ubicación GPS se encuentran detallados en la Tabla 2.10 cubriendo una distancia de 4.23 Km en línea de vista directa con el Aeropuerto Internacional Cotopaxi; se confirma la viabilidad del enlace como parte del Sistema de Comunicaciones para los Reconectores U-Series. Sin embargo, luego de implementado el enlace y cumpliendo con los ángulos de elevación y azimuth para el correcto direccionamiento de ambos puntos de enlace, se presentan caídas de potencia imperantes, por lo cual se considera el redireccionamiento del enlace encontrando como punto de repetición óptimo el Tanque 1 – Illuchi con los siguientes parámetros. Ver Anexo A, informe de comunicación dirigido a la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador.

**Tabla 3.3** Enlace 7, Ubicación Geográfica

UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA[m]
<b>BELLAVISTA</b>	0°54'10.2"	78°37'07.8"	2804
<b>TANQUE 1</b>	0°57'8.0"	78°42'03.2"	3054.7



**Figura 3.13** Identificación de parámetros de comunicación Bellavista – Tanque 1 Radio Mobile



**Figura 3.14** Identificación de la zona de Fresnel enlace Bellavista – Tanque 1  
Radio Mobile

**Tabla 3.4** Comparación entre los parámetros calculados y los obtenidos mediante el software Radio Mobile entre los puntos Bellavista – Tanque 1.

Enlace	Parámetros	Calculados	Radio Mobile
<b>Bellavista – Tanque 1</b>	Longitud del trayecto radioeléctrico	11.51[Km]	11.27[Km]
	Pérdida básica de transmisión en el espacio libre.	96.52[dB]	96.7[dB]
	Atenuación total	112.83[dB]	-
	Zona de Fresnel	1.76 F1	1.4 F1
	Azimut	97.03°	98.27°
	Elevación	4.115°	4.121°



**Figura 3.15** Disposición del radio AirMax de Ubiquiti Network direccionado hacia la estación repetidora Tanque 1



**Figura 3.16** Disposición de la estación remota Bellavista

### 3.6.3 IMPLEMENTACIÓN ESTACIÓN REPETIDORA TANDALIVI



**Figura 3.17** A: Disposición del radio AirMax de Ubiquiti Network direccionado hacia la estación remota Piedra Colorada, antena direccional 23dBi  
B: Disposición del radio Rocket de Ubiquiti Network direccionado hacia la subestación de distribución eléctrica Mulalo, antena incorporada 28dBi  
C: Disposición del radio Bullet de Ubiquiti Network direccionado hacia la estación repetidora Tanque 1, antena parabólica 32dBi  
D: Gabinete de conexiones eléctricas



**Figura 3.18** Sistema de Puesta a Tierra utilizando Punta Franklin – Estación Repetidora Tandalivi.



### 3.6.4 CENTRO DE CONTROL DE OPERACIONES ELÉCTRICAS EL CALVARIO



**Figura 3.19** Disposición del COE ELEPCO S.A. El Calvario, A: Ubicación del radio AirMax de Ubiquiti Network direccionado hacia la estación remota Tanque1, antena direccional 23dBi  
B: Gabinete de conexiones eléctricas ya existente en la Subestación de Distribución Eléctrica EL Calvario



### 3.7 PRUEBAS DE CONEXIÓN Y ENLACE

Una vez realizado el conexionado físico de los equipos de radio frecuencia, las estaciones remotas y estaciones repetidoras con su respectiva configuración y direccionamiento, se continuó con las pruebas de fidelidad y fiabilidad de los enlaces portadores de la información desde el Centro de Operaciones Eléctricas de ELEPCO S.A., hacia los puntos de envío y repetición que conforman el sistema de comunicación. Se empleó el software propietario AirGrid M5HP de AIR OS, mismo que se utilizó para la configuración de los radios, direccionamiento de las antenas y finalmente para aplicar pruebas de comunicación transmisión-recepción en función de Kbps enviados y recibidos, como se ilustra en la Fig. 3.20.

Además se comprobó el estado de la comunicación del host local con los equipos remotos de la red mediante protocolo de transporte IP 192.9.1.X de una red de clase C, con puerta de salida 192.9.1.1; mediante el envío de paquetes ICMP de solicitud y de respuesta. Con esta aplicación se puede diagnosticar el estado, velocidad y calidad de cada nodo de la red, considerando los tiempos de transmisión (Tx) y recepción (Rx) de datos, con ping constante y carga de 1000 bytes.



**Figura 3.20** Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción AirGrid M5HP de AIR OS

Se ejecuto el ping de solicitud desde el centro de operaciones hacia todas las direcciones IP de la red, según el diseño establecido en el modelo TCP-IP, enviando paquetes IP desde el computador El Calvario con dirección IP 192.9.1.50 hacia las estaciones remotas a través de los repetidores, para confirmar que el número de paquetes recibidos coincida con el número de paquetes enviados y a la vez determinar la latencia durante la comunicación. A continuación se presenta por separado las pruebas de cada uno de los enlaces entre el COE, las estaciones remotas y los repetidores.

### 3.7.1 EI CALVARIO HOST

En la Tabla 3.5 se indica la distribución lógica IP del Centro de Operaciones y Estación Remota para pruebas de conectividad.

**Tabla 3.5** Identificación de estaciones

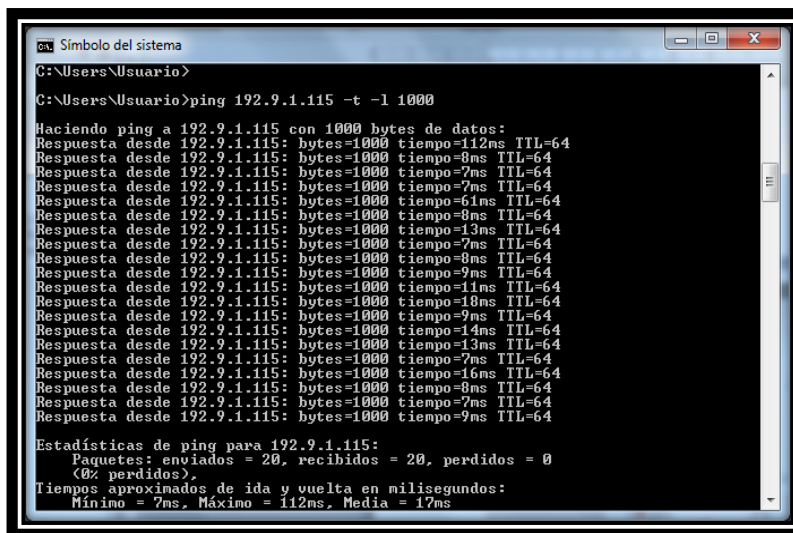
<b>Centro de Operaciones</b>		<b>Estación remota</b>
<b>El Calvario (Computador)</b>		El Calvario (Host-Radio)
<b>192.9.1.50</b>		192.9.1.115
<b>Ruta:</b>	192.9.1.50 – 192.9.1.115	

En la Figura 3.21 se muestra la tasa de envío y recepción de la información, la capacidad del canal en utilización y el estado de la señal.



**Figura 3.21** Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE- El Calvario (Host)

En la figura 3.22, se muestran los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos luego de aplicar un ping constante de 1000 bytes; la Tabla 3.6 muestra los tiempos promedios.



**Figura 3.22** Ping COE-El Calvario Host

**Tabla 3.6** Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-EI Calvario Host:

Minimo	Maximo	Medio	Paquetes enviados	Paquetes recibidos
7 ms	112 ms	17 ms	20	20

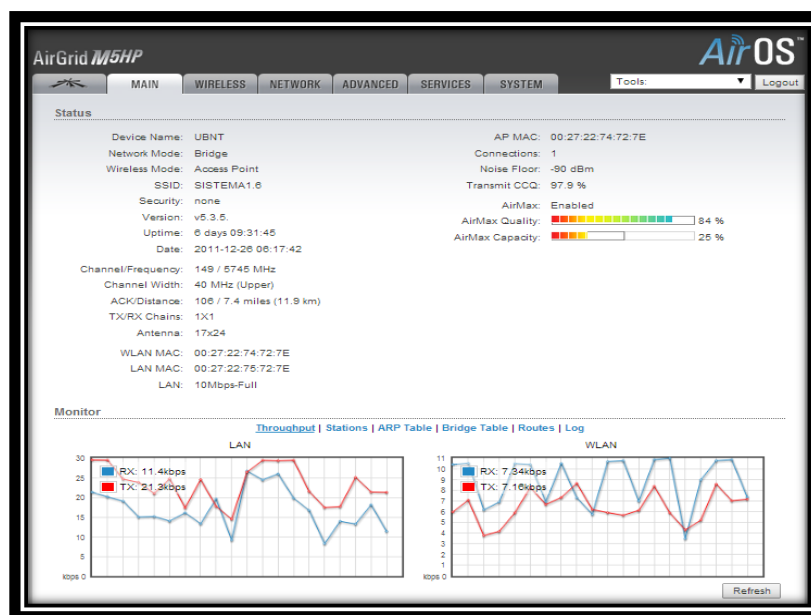
### 3.7.2 COE – ILLUCHI-EL CALVARIO

En la Tabla 3.7 se indica la distribución lógica IP del Centro de Operaciones y Estación Remota para pruebas de conectividad.

**Tabla 3.7** Identificación de estaciones

Centro de Operaciones	Estación remota
El Calvario	Illuchi - El Calvario
192.9.1.50	192.9.1.120
Ruta	192.9.1.50 – 192.9.1.115 – 192.9.1.120

En la Figura 3.23 se muestra la tasa de envío y recepción de la información, la capacidad del canal en utilización y el estado de la señal.



**Figura 3.23** Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE-Illuchi-El Calvario

En la figura 3.24, se muestran los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos luego de aplicar un ping constante de 1000 bytes; la Tabla 3.8 muestra los tiempos promedios.

```

C:\Users\Usuario>ping 192.9.1.120 -t -l 1000

Haciendo ping a 192.9.1.120 con 1000 bytes de datos:
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=17ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=48ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=8ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=13ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=10ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=7ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=10ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=9ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=6ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.120: bytes=1000 tiempo=10ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.9.1.120:
    Paquetes: enviados = 16, recibidos = 16, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 5ms, Máximo = 48ms, Media = 10ms
  
```

**Figura 3.24** Ping COE-Illuchi-Calvario

**Tabla 3.8** tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-Illuchi-Calvario:

Minimo	Maximo	Medio	Paquetes enviados	Paquetes recibidos
5 ms	48 ms	10 ms	16	16

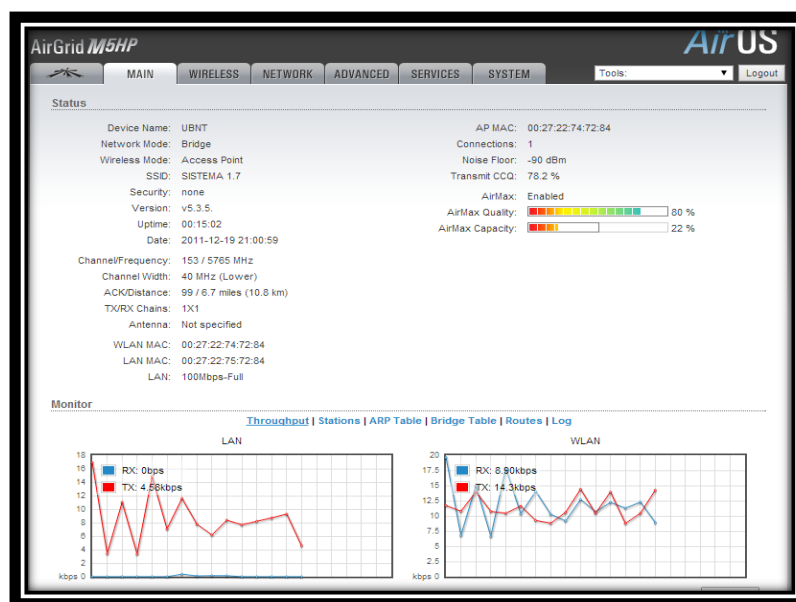
### 3.7.3 COE - ILLUCHI- BELLAVISTA

En la Tabla 3.9 se indica la distribución lógica IP del Centro de Operaciones y Estación Remota para pruebas de conectividad.

**Tabla 3.9** Identificación de estaciones

Centro de Operaciones	Estación remota
<b>El Calvario</b>	<b>Illuchi-Bellavista</b>
<b>192.9.1.50</b>	192.9.1.130
<b>Ruta</b>	192.9.1.50 – 192.9.1.115 – 192.9.1.130

En la Figura 3.25 se muestra la tasa de envío y recepción de la información, la capacidad del canal en utilización y el estado de la señal



**Figura 3.25** Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE-Illuchi-Bellavista

En la figura 3.26, se muestran los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos luego de aplicar un ping constante de 1000 bytes; la Tabla 3.10 muestra los tiempos promedios.

```

Símbolo del sistema
C:\Users\Usuario>ping 192.9.1.130 -t -l 1000

Haciendo ping a 192.9.1.130 con 1000 bytes de datos:
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=27ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=6ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=12ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=12ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=25ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=10ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=7ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=3ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=17ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.130: bytes=1000 tiempo=3ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.9.1.130:
    Paquetes: enviados = 17, recibidos = 17, perdidos = 0
    (0% perdidos).
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 2ms, Máximo = 27ms, Media = 8ms
  
```

**Figura 3.26** Ping COE-Illuchi-Bellavista

**Tabla 3.10** Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-Illuchi-Bellavista

Minimo	Maximo	Medio	Paquetes enviados	Paquetes recibidos
2 ms	27 ms	8 ms	17	17

### 3.7.4 COE - ILLUCHI-TANDALIVI

En la Tabla 3.11 se indica la distribución lógica IP del Centro de Operaciones y Estación Remota para pruebas de conectividad.

**Tabla 3.11** Identificación de estaciones

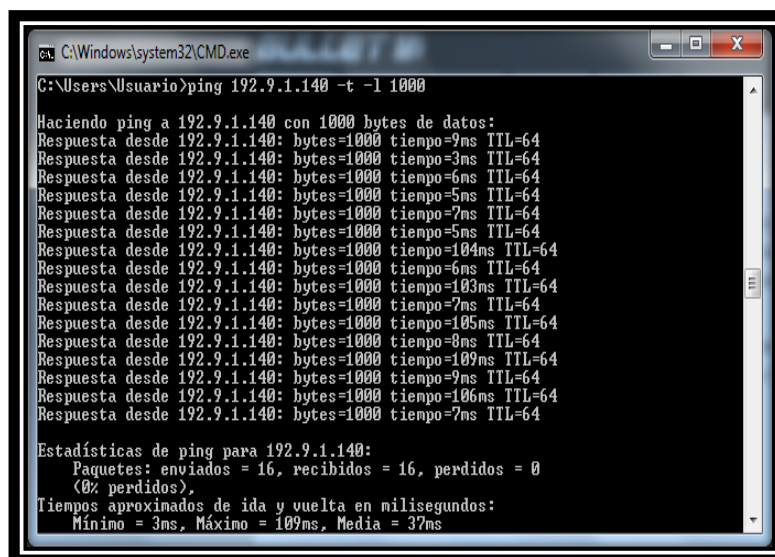
Centro de Operaciones	Estacion remota
<b>El Calvario</b>	Illuchi- Tandaliví
<b>192.9.1.150</b>	192.9.1.140
<b>Ruta</b>	192.9.1.50 – 192.9.1.115 – 192.9.1.140

En la Figura 3.27 se muestra la tasa de envío y recepción de la información, la capacidad del canal en utilización y el estado de la señal.



**Figura 3.27** Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE - Illuchi-Tandaliví

En la figura 3.28, se muestran los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos luego de aplicar un ping constante de 1000 bytes; la Tabla 3.12 muestra los tiempos promedios.



**Figura 3.28** Ping COE - Illuchi-Tandaliví



**Tabla 3.12** Los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE - Illuchi-Tandaliví

Minimo	Maximo	Medio	Paquetes enviados	Paquetes recibidos
<b>3 ms</b>	109 ms	37 ms	16	16

### 3.7.5 COE – BELLAVISTA

En la Tabla 3.13 se indica la distribución lógica IP del Centro de Operaciones y Estación Remota para pruebas de conectividad.

**Tabla 3.13** Identificación de estaciones

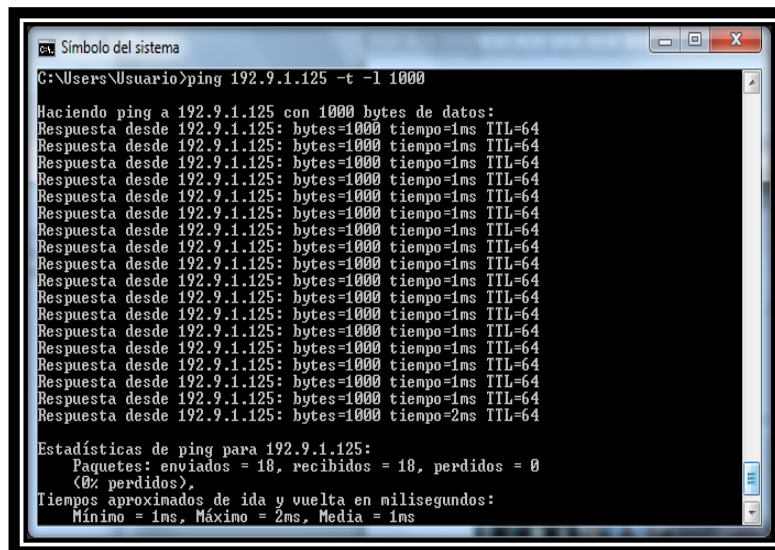
Centro de Operaciones		Estacion remota
<b>El Calvario</b>		Bellavista
<b>192.9.1.50</b>		192.9.1.125
<b>Ruta</b>	192.9.1.50 – 192.9.1.125	

En la Figura 3.29 se muestra la tasa de envío y recepción de la información, la capacidad del canal en utilización y el estado de la señal.



**Figura 3.29** Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE – Bellavista

En la figura 3.30, se muestran los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos luego de aplicar un ping constante de 1000 bytes; la Tabla 3.14 muestra los tiempos promedios.



**Figura 3.30** Ping COE-Bellavista

**Tabla 3.14** Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-  
Bellavista

Minimo	Maximo	Medio	Paquetes enviados	Paquetes recibidos
<b>1 ms</b>	2 ms	1 ms	18	18

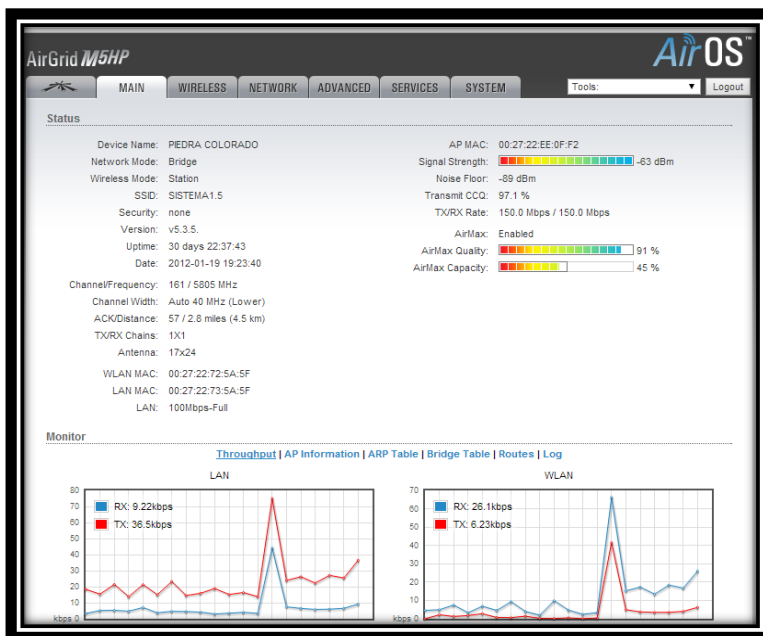
### 3.7.6 COE - PIEDRA COLORADA

En la Tabla 3.15 se indica la distribución lógica IP del Centro de Operaciones y Estación Remota para pruebas de conectividad.

**Tabla 3.15** Identificación de estaciones

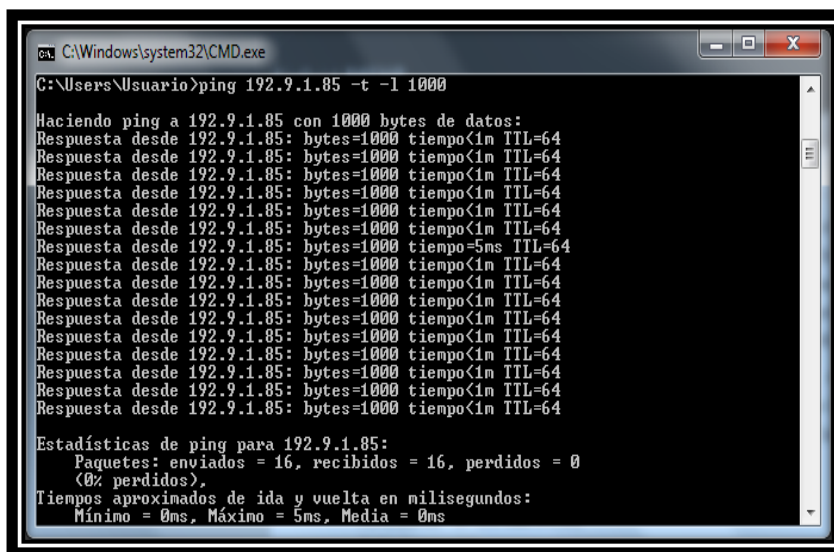
Centro de Operaciones		Estacion remota	
<b>El Calvario</b>		Piedra Colorada	
<b>192.9.1.50</b>		192.9.1.85	
<b>Ruta</b>	192.9.1.50 - 192.9.1.115 - 192.9.1.120 -192.9.1.60 -192.9.1.85		

En la Figura 3.31 se muestra la tasa de envío y recepción de la información, la capacidad del canal en utilización y el estado de la señal.



**Figura 3.31** Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE - Piedra Colorada

En la figura 3.32, se muestran los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos luego de aplicar un ping constante de 1000 bytes; la Tabla 3.16 muestra los tiempos promedios.



**Figura 3.32** Ping COE - Piedra Colorada

**Tabla 3.16** Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE - Piedra Colorada

Minimo	Maximo	Medio	Paquetes enviados	Paquetes recibidos
<b>0 ms</b>	5 ms	0 ms	16	16

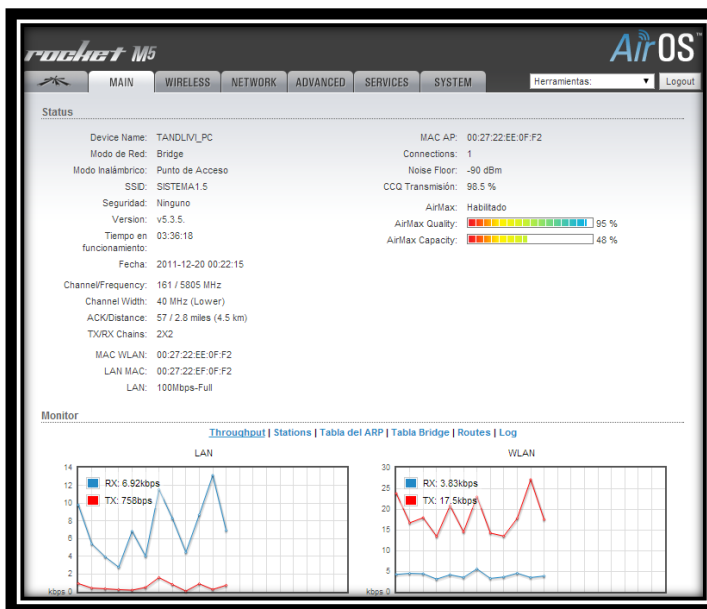
### 3.7.7 COE - TANDALIVI-BELLAVISTA

En la Tabla 3.17 se indica la distribución lógica IP del Centro de Operaciones y Estación Remota para pruebas de conectividad.

**Tabla 3.17** Identificación de estaciones

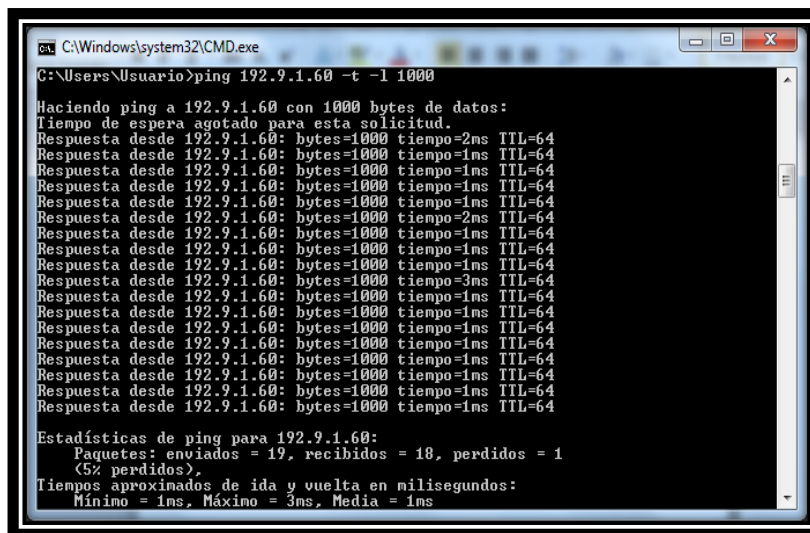
Centro de Operaciones		Estación remota
<b>El Calvario</b>		Tandalivi-Bellavista
<b>192.9.1.50</b>		192.9.1.60
<b>Ruta</b>	192.9.1.50 - 192.9.1.115 - 192.9.1.120 - 192.9.1.60	

En la Figura 3.33 se muestra la tasa de envío y recepción de la información, la capacidad del canal en utilización y el estado de la señal.



**Figura 3.33** Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE -Tandalivi-Bellavista

En la figura 3.34, se muestran los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos luego de aplicar un ping constante de 1000 bytes; la Tabla 3.18 muestra los tiempos promedios.



**Figura 3.34** Ping COE-Tandalivi-Bellavista

**Tabla 3.18** Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-Tandaliví-Bellavista:

Minimo	Maximo	Medio	Paquetes enviados	Paquetes recibidos
1 ms	3 ms	1 ms	19	18

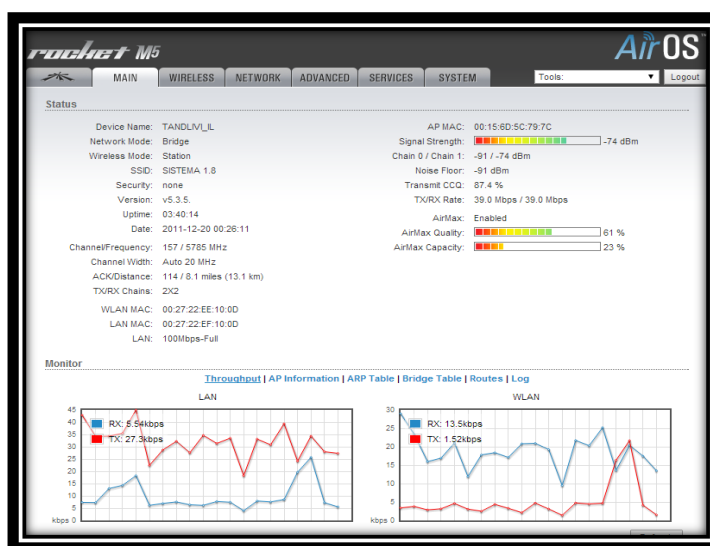
### 3.7.8 COE - TANDALIVI-ILLUCHI

En la Tabla 3.19 se indica la distribución lógica IP del Centro de Operaciones y Estación Remota para pruebas de conectividad.

**Tabla 3.19** Identificación de estaciones

Centro de Operaciones	Estacion remota
<b>El Calvario</b>	Tandaliví-Illuchi
<b>192.9.1.50</b>	192.9.1.90
<b>Ruta</b>	192.9.1.50 - 192.9.1.115 - 192.9.1.120 - 192.9.1.90

En la Figura 3.35 se muestra la tasa de envío y recepción de la información, la capacidad del canal en utilización y el estado de la señal



**Figura 3.35** Comunicación Wire-Lan Transmisión-Recepción COE -Tandaliví-Illuchi

En la figura 3.36, se muestran los tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos luego de aplicar un ping constante de 1000 bytes; la Tabla 3.20 muestra los tiempos promedios.

```

C:\Windows\system32\CMD.exe
C:\Users\Usuario>ping 192.9.1.90 -t -l 1000

Haciendo ping a 192.9.1.90 con 1000 bytes de datos:
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.9.1.90: bytes=1000 tiempo=1ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.9.1.90:
    Paquetes: enviados = 16, recibidos = 16, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms
  
```

**Figura 3.36** Ping COE-Tandaliví-Illuchi

**Tabla 3.20** Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos COE-Tandaliví-Illuchi:

Minimo	Maximo	Medio	Paquetes enviados	Paquetes recibidos
1 ms	2 ms	1 ms	16	16



## 4 CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- El incremento voraz de consumo de energía eléctrica para satisfacer las necesidades humanas en las diferentes ámbitos domésticos, comerciales e industriales, exige sistemas de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica más eficientes que permitan tener un manejo racional y sostenido de la electricidad; orientado a cumplir con las expectativas y requerimientos de los consumidores, pero que a la vez permitan incrementar los índices de calidad, seguridad, rentabilidad y cuidado ambiental de las empresas y personas involucradas en el proceso de inicio a fin.
- El desarrollo de las nuevas tecnologías como la telemática, la informática, instrumentación, redes industriales, sistemas de control y automatización, en conjunto permiten adquirir y concentrar información de procesos industriales y en sitios remotos para facilitar la supervisión, monitoreo y control de datos en diferentes procesos con el fin de optimizar y perfeccionar los sistemas y tareas involucradas.
- Como parte fundamental del proyecto se realizó una investigación a fondo de las Smart grid o redes eléctricas inteligentes en su concepto funcionamiento y ventajas, esta información sumada a su aplicación real en los sistemas eléctricos de protección y control que interconectan las subestaciones de ELEPCO S.A, permite concluir que SMART GRID es la tendencia tecnología que agrupa todos los factores necesarios para una gestión eficiente de la electricidad que permite optimizar la producción y

la distribución de electricidad con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores.

- Según la información proporcionada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A, se pudo conocer la ubicación de los reconectores U-Series instalados dentro del sistema de interconexión siendo las estaciones remotas involucradas la estación Piedra Colorada y Bellavista; con esta ubicación y mediante pruebas realizadas en sitio se analizó las opciones más adecuadas para el diseño de la red de comunicación y los posible escenarios y puntos de ubicación de las estaciones repetidoras.
- A partir de las pruebas realizadas en los diferentes enlaces, tanto con el software AirGrid M5HP de AIR OS para el sistema Wire Lan de los equipos de radio frecuencia, como con el análisis de la Red IP creada, se comprobó el estado de la comunicación del host local con los equipos remotos a través de los repetidores, por medio del envío de paquetes ICMP de solicitud y de respuesta, con esto se confirmó el estado, velocidad y calidad de cada nodo de la red, con ping constante y carga de 1000 bytes, generando un tiempo medio de ida y vuelta de los paquetes de 10.5 ms, lo que constata un buen estado de las conexiones.
- El presente proyecto constituye la fase inicial de un proceso fundamental para ELEPCO S.A. que persigue alcanzar estándares internacionales en base a la integración de nuevas tecnologías para tener sistemas consolidados y procesos eficientes que se reflejen directamente en los beneficios que recibe tanto la empresa como los consumidores del servicio eléctrico. Se entrega un proyecto encaminado al mejoramiento integral de la etapa de distribución de la energía eléctrica, mismo que debe ser fortalecido y complementado con el apoyo de las autoridades y

de la comunidad en si para generar innovaciones y cambios que busquen el bienestar colectivo.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Previo a la selección de los equipos eléctricos de protección y control es muy importante ver la compatibilidad y adaptabilidad de estos equipos con sistemas de diferente fabricante, además de versatilidad y disponibilidad del software y firmware necesario y por ende del soporte técnico confiable del fabricante.
- Cuando se realice el estudio y posterior diseño de sistemas de comunicación inalámbrica se debe tener presente las limitaciones que este tipo de comunicación presenta en zonas montañosas y con vegetación elevada y frondosa, pues estos son agentes que a pesar que no debieran, influyen en la línea de vista de los equipos emisores – receptores, ocasionando una atenuación grave en la señales de manera que interrumpe o corrompe la comunicación.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Osvaldo M. Micheloud, "*Redes inteligentes en sistemas de distribución*", Ed. Santillan: México, 2012.
- [2] Proyecto DENISE – Endesa distribución.
- [3] Boveri, A. B., "*Modernización Red Eléctrica*", México, 1907.
- [4] Basado en el artículo Mermedo M., "Smart Grids", ABB Group, 2013.
- [5] Tomado del artículo "Smart Grids y la Evolución de la Red Eléctrica"; Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. 2010.
- [6] Basado en el artículo Medición de la Calidad de Energía.; Mediciones Eléctricas I.
- [7] Arriola, F. J., "Perturbaciones más habituales en un sistema eléctrico", Jornada sobre perturbaciones eléctricas, análisis y prevención, Bilbao, 1989.
- [8] Asinel - Unesa, "Resultado del plan de medidas de perturbaciones eléctricas", 1ª fase", Abril, 1987.
- [9] Barrora, J. M., "*Convergencia entre la Red Eléctrica y las Telecomunicaciones*", Ed. L&M Data y communications, España, 2010.
- [10] CENACE, "Regulación y control del tiempo real del Sistema nacional. CONELEC, 1-35", 2013.
- [11] Departamento de Ingeniería, U. d, *Tomado del artículo: Sánchez V., "Perturbaciones en la red eléctrica", 2008.*
- [12] Menacho, A., "*Jornada sobre perturbaciones eléctricas, análisis y prevención (Vols. 8-15)*", 1989.
- [13] WAMS. (200), "*Área de Sistemas de Medición*", work editorial, España.
- [14] Eléctrica, *Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones*, Ed. Santillan, 2013.
- [15] Balcells, J. M., "*Resultado del plan. Asinel-Unesa: Asinel-Unesa*", 1987.

- [16] "IEC 61850", Marzo, 2014. [Online]. Available: <http://www.ipcomm.de/protocol/IEC61850/en/sheet.html>.
- [17] "MODBUS RTU", Mayo, 2014. [Online]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Modbus>.
- [18] "Seccionadores15KV," Noviembre, 2013. [Online]. Available: <http://www.schneider-electric.com/products/co/ls/3200-seccionadores-interruptores-interruptor-seccionadores-reconectores-mt/3220-interruptor-aereo/1407-serie-u-serie-n-serie-w/>.

## 6 ANEXOS

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** Glosario de Términos

**ANEXO B:** Informe DGAC

**ANEXO C:** Certificado de Aceptación ELEPCO S.A.

## ANEXO A

### GLOSARIO DE TÉRMINOS

#### A

**ACSI.** Interface de servicio de comunicación abstracta.

#### C

**CRC.** Control de redundancia cíclica.

**CDC.** Tipos de datos comunes.

#### G

**GOOSE.** Objetos genéricos orientados a subestaciones.

**GSSE.** Eventos de estado para Subestaciones

#### H

**HMI.** Interface Humano-Máquina

#### I

**IED.** Dispositivos de inteligencia electrónica

#### L

**LN.** Nodos Lógicos

**LRC.** Control de redundancia longitudinal

#### M

**MMS.** Mensaje de especificación de fabricación



**O**

**OFDMA.** División de frecuencia ortogonal de acceso múltiple

**S**

**SCL.** Lenguaje de configuración de subestación.

## ANEXO B

### INFORME

#### ENLACE DE RADIOFRECUENCIA ELEPCO S.A.

##### **Antecedentes:**

Como parte del diseño e implementación del sistema de comunicación inalámbrico para interconectar la Smart Grid formada por los reconectores U-Series With ADVC Controller en la red de distribución eléctrica de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A, se ha considerado comunicación por radiofrecuencia, teniendo como punto de enlace el reconector ubicado en el sector Bellavista y los Tanques de Presión ubicados en la Central de Generación Illuchi 1, permitiendo la transmisión y recepción de datos.

##### **Desarrollo:**

Nombre del Enlace: Sistema 1.6

Ubicación:

Estación: Sector Bellavista, Av. Miguel Iturralde y S/N; posición referencial:

Latitud: 0°54'10.2"S

Longitud: 78°47'7.8"O

Punto de Acceso: Sector Illuchi, Central de Generación Illuchi 1; posición referencial:

Latitud: 0°55'06.0"S

Longitud: 78°31'07.0"O

Distancia: 1300 m.

Tipo de Enlace: Radio Frecuencia

Tecnología: IEEE 802.11

Topología: Enlace Punto a punto

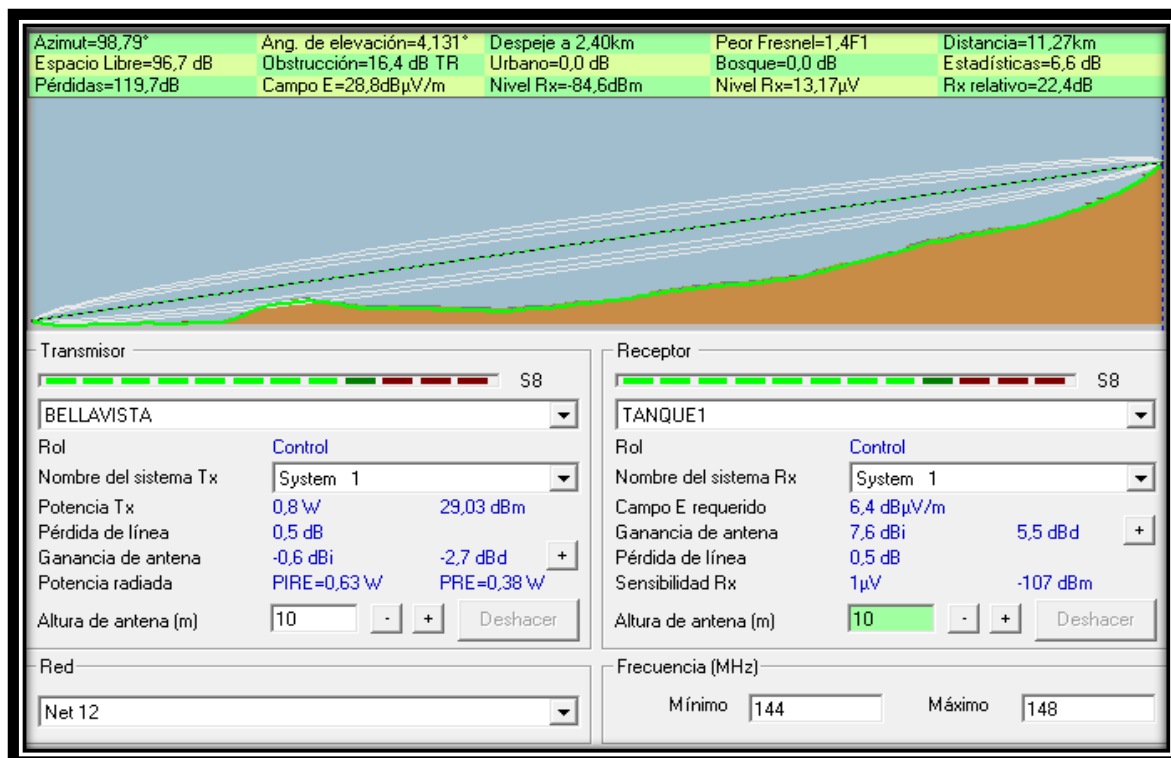
Tipo de antena: Direccional

Ganancia de la antena: 23 DBi

Equipos: Radios Ubiquiti

- Frecuencia de trabajo: 5.785 GHz; (Frecuencia de uso libre).
- Potencia de trabajo:  $\leq 800$  mW.

### Validación del Enlace:



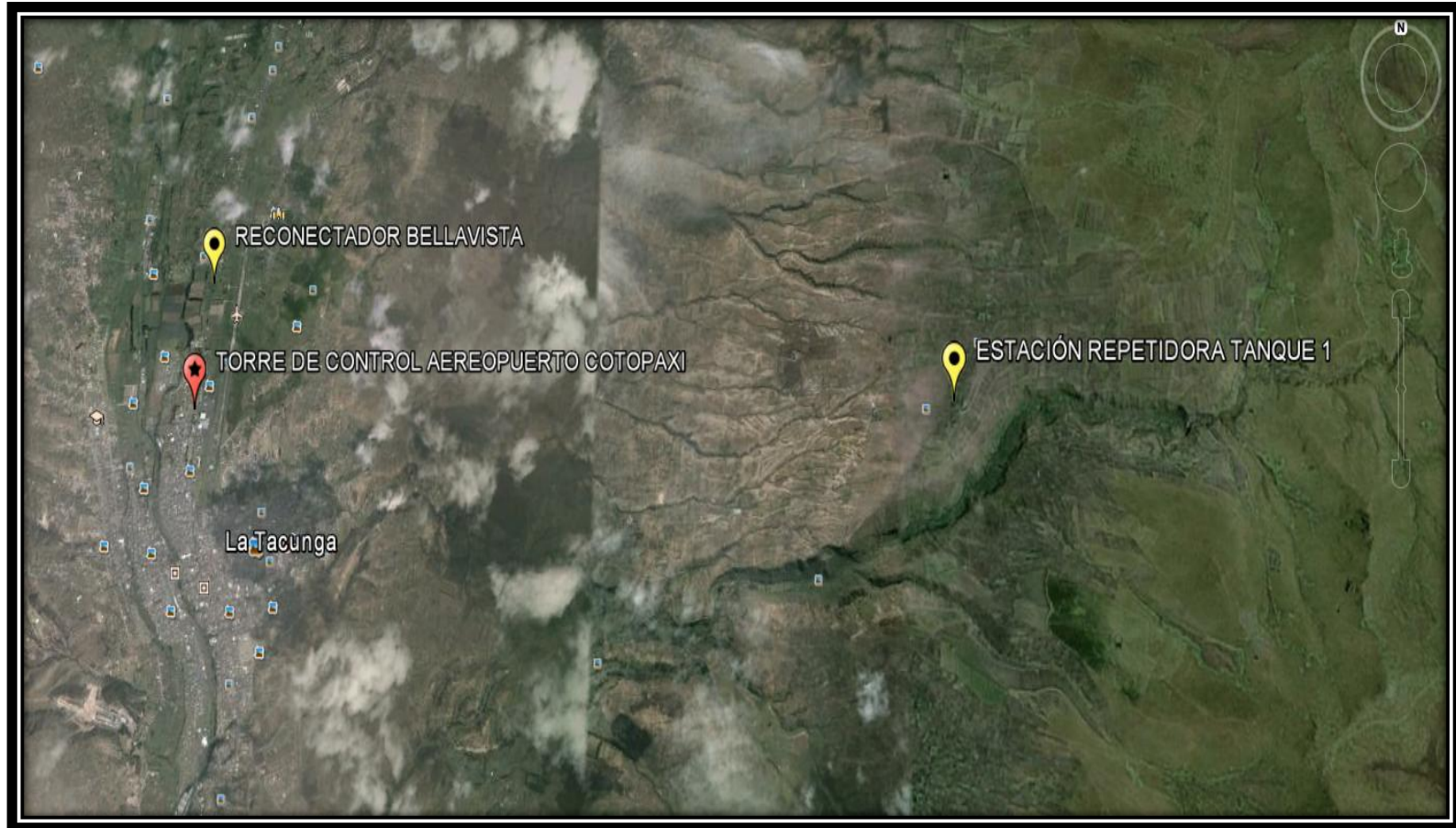
### Características:

Mediante el software Radio – Mobile se puede validar el enlace mediante parámetros como:

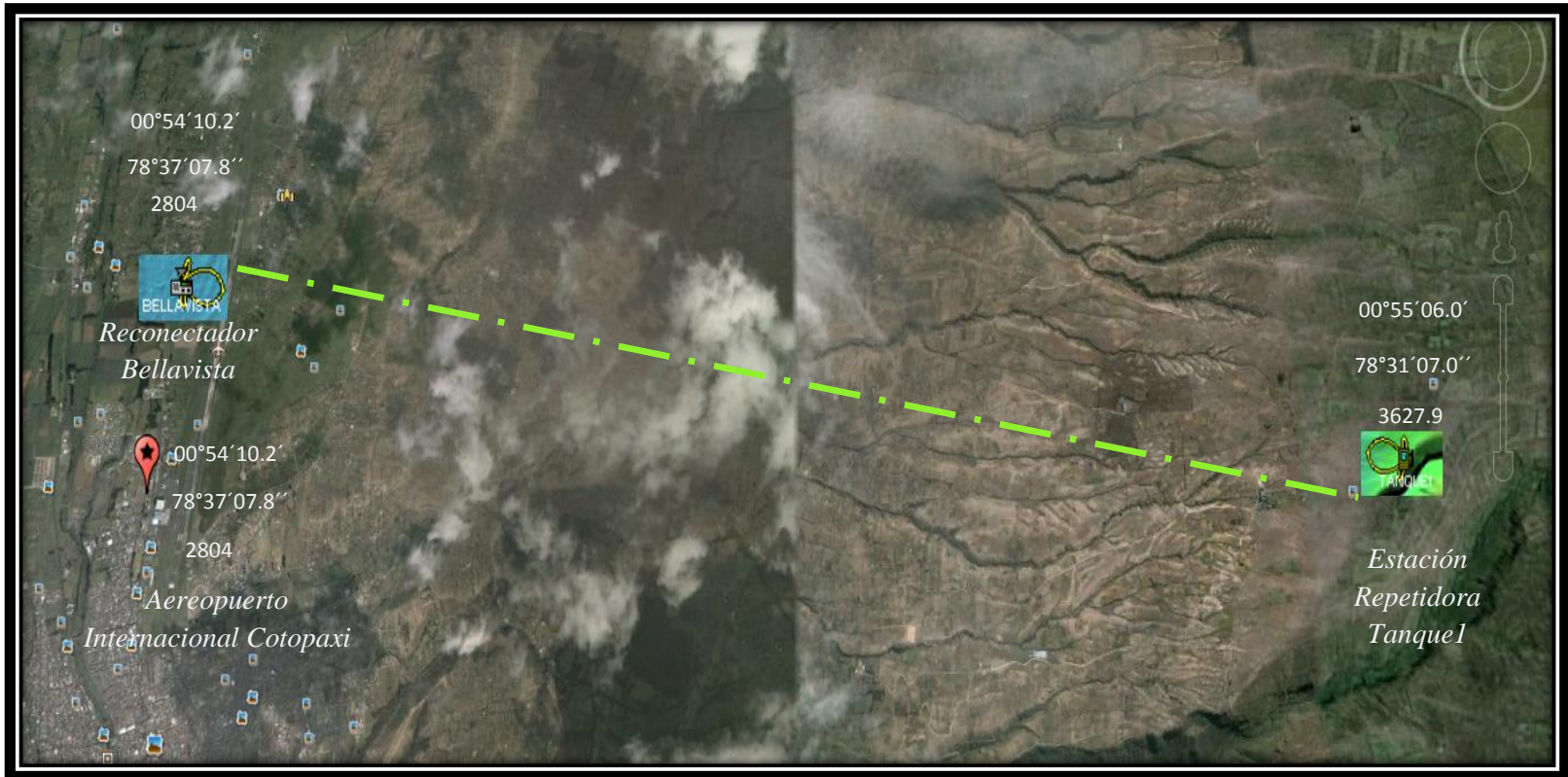
- Zona de Fresnel: 1.4F1; éste parámetro establece el rebote de las ondas de radiofrecuencia por obstáculos, se recomienda ser mayor a 0.6F1 con respecto a la primera capa terrestre.

- Relación Señal a Ruido: -64/-91 es decir 0.70, con capacidad del 35% de transmisión y recepción; cumpliendo con las condiciones de fiabilidad al ser menor que 1.
- Potencia de transmisión y Recepción: 0.63W estableciéndose en el rango de potencia permitido para enlaces de radiofrecuencia en el Ecuador.

**Enlace Físico:**



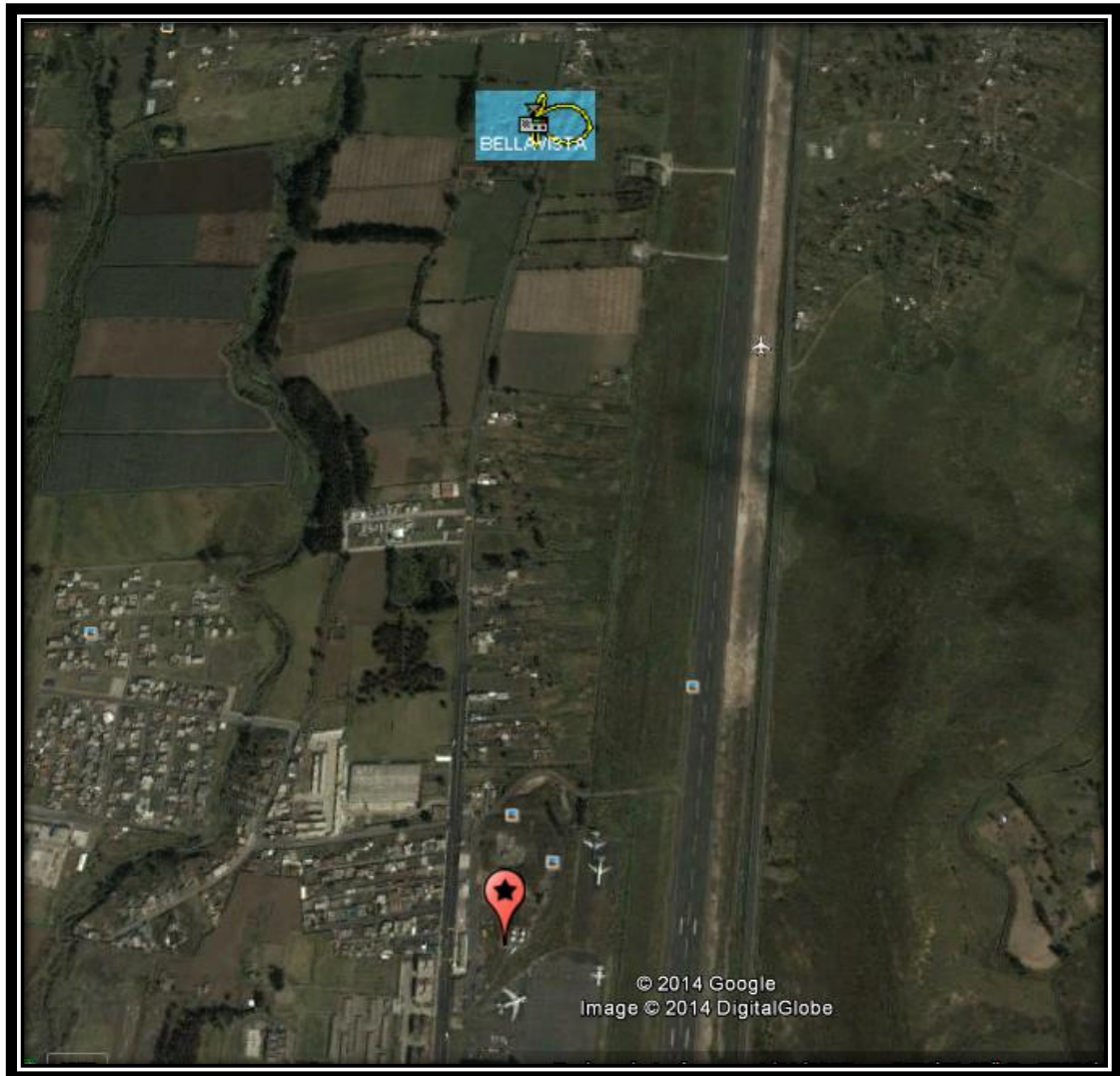
**Ubicación Física – Puntos GPS**



Ubicación Física – Puntos de Enlace



**Ubicación del Punto de Enlace en el Repetidor Bellavista con respecto al Aeropuerto**



## **CERTIFICACIÓN**

Latacunga, Agosto de 2014

**ELABORADO POR:**

---

Vanessa Oñate V.  
C.C. 0502513146

**APROBADO POR:**

---

Ing. José Bucheli A.  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICADO POR:**

---

Dr. Rodrigo Vaca  
**SECRETARIO ACADÉMICO  
UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO**