

CARACTERIZACIÓN DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA  
AUTOMATIZAR EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EDEQ S.A. E.S.P

JORGE DIEGO CORTÉS RESTREPO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, FÍSICA Y CIENCIAS  
DE LA COMPUTACIÓN  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PEREIRA  
2015

CARACTERIZACIÓN DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA  
AUTOMATIZAR EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN EDEQ S.A. E.S.P

JORGE DIEGO CORTÉS RESTREPO

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero  
Electrónico.

Director

M.Sc. HUGO BALDOMIRO CANO GARZÓN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, FÍSICA Y CIENCIAS  
DE LA COMPUTACIÓN  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PEREIRA  
2015

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pereira, Febrero 6 de 2015

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por darme voluntad, capacidad, fuerza y la disciplina a lo largo de este trayecto para poder lograr una meta más en la vida. De igual manera a mi familia porque sin su apoyo y su paciencia no hubiera sido posible este gran logro.*

*A mi director Hugo Baldomiro Cano Garzón por su tiempo, dedicación y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto.*

*A Carlos Andrés Pulgarín quien dedicó gran parte de su tiempo y me apoyó incondicionalmente para poder culminar con este proyecto y finalmente a la Empresa de Energía del Quindío EDEQ S.A E.S.P para la cual trabajo por su apoyo y por prestarme los medios necesarios para poder llevar a cabo éste logro.*

*Gracias.*

# RESUMEN

La Empresa de Energía del Quindío-EDEQ S.A ESP está implementando el proyecto de Automatización de la Distribución (AD) basado en reconectores, planificando la instalación de los equipos de automatización en puntos estratégicos, tomando como base un estudio cuidadoso acerca de los mejores sitios donde deban quedar localizados los equipos, maximizando la calidad del servicio y minimizando la inversión, con el fin de dimensionar en forma óptima el proyecto. Otro de los hitos importantes del proyecto de AD y objeto principal del presente documento es lo concerniente a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), dado que seleccionar el canal de comunicación que conjugue tres grandes elementos de las comunicaciones: ancho de banda, disponibilidad y seguridad de respuesta, es clave para lograr enlazar estos equipos convirtiendo la red de distribución de energía en un sistema confiable logrando con ello tener la mejor alternativa con bajos costos y haciendo viable la instalación de los mismos, con esto se logra ser más competitivos en el mercado dándole al mismo tiempo un mejor servicio al usuario final debido a que se optimizan los índices de calidad del servicio (ENS, SAIDI y SAIFI).

Gracias a los avances de la tecnología, ahora se puede integrar al SCADA, por medios de comunicación alternativos como lo es GPRS, los cuales tienen una disponibilidad y confiabilidad inferior a la de una fibra óptica, pero pueden ser de gran ayuda para operar un sistema eléctrico con muchas características de ruralidad. La radiofrecuencia es una alternativa económica y tiene una buena fiabilidad lo que la hace un medio de comunicación atractivo sobre todo si se tiene en cuenta que es muy eficiente aún en sitios rurales.

En el presente documento se analizan los medios de comunicación tales con GPRS, radiofrecuencia (RF) y fibra óptica (F.O.) tendientes a poder determinar cuál de esos canales poseen las mejores características para utilizarlos en sitios específicos de la red de distribución de energía eléctrica que opera la Empresa de Energía del Quindío-EDEQ S.A ESP.

# CONTENIDO

CAPÍTULO 1 .....	13
1 INTRODUCCIÓN .....	13
1.1 Definición del problema.....	13
1.2 Justificación.....	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo general .....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 Antecedentes.....	16
CAPÍTULO 2 .....	18
2 AUTOMATIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN BASADO EN RECONECTADORES	18
2.1 Fases estratégicas para la implementación de la automatización basada en reconectores.....	24
2.1.1 Adecuación del caso base: Fase 0. ....	25
2.1.2 Ubicación de reconectores NC para aislamiento de falla: Fase 1. ....	26
2.1.3 Ubicación de reconectores NA para transferencia de carga: Fase 2...	27
2.1.4 Control en tiempo real automatización de la distribución: Fase 3. ....	29
2.2 Análisis Técnico del proyecto de la Automatización de la Distribución (AD)...	31
2.3 Análisis de la viabilidad Técnico-Económica para reconectores para aislamiento de falla vigencia 2010.....	31
2.3.1 La función a optimizar.....	32
2.3.2 Perspectivas.....	32
2.4 Análisis viabilidad Técnico-Económica para reconectores para aislamiento de falla. ....	32
2.4.1 Análisis Técnico Económico.....	33
2.4.2 Resultados de planeamiento vs datos reales .....	34

CAPÍTULO 3 .....	35
3 ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE LOS CANALES DE TELECOMUNICACIÓN .....	35
3.1 Descripción de sistema de potencia de EDEQ.....	35
3.2 Descripción de los canales de comunicación de AD de EDEQ.....	36
3.3 Descripción y análisis del sistema GPRS. ....	39
3.3.1 El funcionamiento de la red GPRS.....	41
3.3.2 Disponibilidad de la red GPRS.....	42
3.3.3 Conexión a la red GPRS.....	43
3.3.4 Costos de implementación.....	45
3.4 Descripción y análisis del sistema Radio frecuencia-RF. ....	46
3.4.1 Disponibilidad del sistema Radio frecuencia-RF.....	48
3.4.2 Conexión a la red Radio frecuencia-RF.....	49
3.4.3 Implementación de un sistema de Radio frecuencia-RF para la red de distribución .....	50
3.4.4 Costos de implementación.....	51
3.5 Descripción y análisis del sistema Fibra óptica-FO.....	52
3.5.1 Disponibilidad de la red Fibra Óptica .....	53
3.5.2 Conexión a la red Fibra Óptica .....	54
3.5.3 Implementación de un sistema Fibra Óptica para la red de distribución..	54
3.5.4 Costos de implementación.....	56
CAPITULO 4 .....	58
4 ANÁLISIS DE DATOS TOMADOS GPRS Y RADIOFRECUENCIA .....	58
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES .....	64
BIBLIOGRAFIA.....	65
ANEXO 1:.....	68
El funcionamiento del sistema Radio frecuencia-RF.....	68
ANEXO 2: .....	71

El funcionamiento de la red Fibra Óptica ..... 71

ANEXO 3: ..... 75

Registro de algunos datos tomados para comprobar la fiabilidad de los canales de comunicación..... 75



# LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1 COMPARACIÓN ENTRE UNA RED INTELIGENTE Y LA RED TRADICIONAL .....	17
FIGURA 2-1 EL RECONECTADOR Y SUS PARTES .....	21
FIGURA 2-2. ESQUEMA DE NIVELES DE TENSIÓN Y COBERTURA DEL SERVICIO EDEQ .....	24
FIGURA 2-3. GRAFICA DE PORCENTAJE PROMEDIO DE DISPONIBILIDAD DEL SERVICIO .....	27
FIGURA 2-4 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DIVIDIDO POR ÁREAS OPERATIVAS.....	28
FIGURA 2-5 INTELIGENCIA DESCENTRALIZADA EN EL ESTADIO CENTENARIO DE ARMENIA .....	30
FIGURA 2-6 AUTOMATIZACIÓN ESTADIO CENTENARIO .....	30
FIGURA 2-7 RECONECTADORES INSTALADOS EN EL 2010.....	31
FIGURA 3-1 RECONECTADOR INSTALADO AD EDEQ SA ESP.....	36
FIGURA 3-2 ESQUEMA DE COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON EL SCADA.....	37
FIGURA 3-3 RELACIÓN DE PRIMEROS RECONECTADORES INSTALADOS EN EDEQ S.A E.S.P .....	38
FIGURA 3-4. SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR GPRS.....	42
FIGURA 3-5 ENLACE VPN CONEXIÓN ENTRE EL PROVEEDOR DEL SERVICIO Y LA EMPRESA .....	44
FIGURA 3-6 MONTAJE TÍPICO DE UN SISTEMA REMOTO.....	47
FIGURA 3-7 SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR RADIOENLACE EDEQ S.A ESP .....	48
FIGURA 3-8 ARQUITECTURA DE LA CONECTIVIDAD DE LA FIBRA ÓPTICA EN EDEQ S.A ESP.....	54

# LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1 RESULTADOS DE PLANEAMIENTO VS DATOS REALES .....	34
TABLA 3-1-COSTOS DEL CANAL DE COMUNICACIÓN POR GPRS .....	46
TABLA 3-2. COSTOS DEL CANAL POR GPRS PARA EDEQ S.A ESP .....	46
TABLA 3-3 COSTOS DEL CANAL DE COMUNICACIÓN POR RF .....	51
TABLA 3-4 COSTOS DEL CANAL POR RF PARA EDEQ S.A ESP .....	51
TABLA 3-5. COSTOS DEL CANAL DE COMUNICACIÓN POR F.O. ....	57
TABLA 3-6 COSTOS DEL CANAL POR F.O. PARA EDEQ S.A ESP .....	57
TABLA 4-1. COMPROBACIÓN FIABILIDAD DEL CANAL GPRS.....	58
TABLA 4-2-COMPROBACIÓN FIABILIDAD DEL CANAL RF .....	59

# LISTA DE ABREVIATURAS

AD	Automatización de la distribución
ANE	Agencia Nacional del Espectro
AMI	Advanced Metering Infrastructure (Infraestructura de Medición Avanzada)
AMR	Automatic Meter Reading (Lectura automática de medidores)
AOM	Administración Operación y Mantenimiento
API	Application Programming Interface (Interface de Aplicación Programable)
APN	Access Point Name (Nombre del punto de acceso)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange (Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información)
BT	Baja Tensión
BSS	Base Station Subsystem (Subsistema de la estación base)
CAA	Capital aportado por los accionistas
CENS	Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A E.S.P
CNTV	Comisión Nacional de Televisión
CPPC	Costo Promedio Ponderado de capital
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum (espectro ensanchado por secuencia directa)
ERE	Espectro Radio Eléctrico
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum (espectro ensanchado por salto de frecuencia)
F.O.	Fibra Óptica
FTP	Foiled Twisted Pair (par trenzado frustrado o pantalla global)
GPRS	General Packet Radio Service (Servicio general de paquetes vía radio)
IEC	International Electrotechnical Commission (comisión electrotécnica internacional)
IED	Intelligent Electronic Devices (dispositivos electrónicos inteligentes)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica)
IP	Internet Protocol (Protocolo de internet)
IPC	Índice de Precios al Consumidor

LAN	Local Area Network (Red de área local)
MinTIC	Ministerio de Tecnologías de Información y las Comunicaciones
NAN	Neighborhood Area Network (Red de área vecinal)
NENS	Nivel de Energía No Servida
NAT	Network Address Translación (traducción de direcciones de red)
OR	Operador de Red
PDA	personal digital assistant (asistente digital personal)
PSTN	Public Switched Telephone Network (Red telefónica pública conmutada)
PLC	Power Line Carrier
REI	Red Eléctrica Inteligente
RTU	Remote Terminal Unit (Unidad terminal remota)
SAIDI	System average interruption duration index
SAIFI	System average interruption frequency index
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (control de supervisión y adquisición de datos)
SPI	Serial Peripheral Interface (Interface serial perimetral)
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de control y transmisión)
TI	Tecnologías de la Información
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TCP/IP	Protocolos de control y comunicación/Protocolo de Internet
TDM	Time Division Multiplexing (multiplexación por división de tiempo)
TIR	Tasa Interna de Retorno
TMR	Tiempo Medio de Reparación
T&D	Transmisión y Distribución
TWACS	(Two–Ways Automatic Communications System)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Sistema universal de telecomunicaciones móviles)
VPN	Virtual Private Network (Red privada virtual)
WACC	Weighted Average Cost of Capital (Promedio Ponderado del Costo de Capital)
WAN	Wireless Area Network (Red de área inalámbrica)

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Definición del problema

Uno de los problemas que afrontan las empresas del sector eléctrico hoy en día es la regulación, la estabilidad, confiabilidad y continuidad del sistema, factores importantes para suplir las necesidades de servicio al usuario final, es por esto que todos los equipos deben estar funcionando en forma sincronizada con el fin de poder evitar cortes de energía repentinos y sin previo aviso a los usuarios. El sistema de distribución Local (SDL) de la Empresa de Energía del Quindío-EDEQ está conformado por equipos de transformación, unidades de transporte de energía y equipos de corte y maniobra estos últimos debidamente tele comandados, que funcionando en conjunto, permiten la distribución de energía ajustado a los esquemas de calidad fijados en la resolución CREG 097/2008.

Existen algunos lugares alejados del centro de control, localizados en la capital del Quindío, en donde se hace difícil tener una comunicación eficiente con los sistemas de corte tele comandados y para los cuales es necesario utilizar un mejor sistema de telecomunicación que facilite el eficiente funcionamiento de los equipos logrando con ello mantener la continuidad del servicio al usuario final.

Es necesario realizar un estudio del sistema de comunicaciones, en lo referente a las tecnologías de la información y las comunicaciones, utilizando filosofías de Smart Grid (red inteligente) para poder construir la automatización de la distribución, ya que actualmente la red no es monitoreada de forma eficiente, por lo tanto se plantean las siguientes preguntas: ¿Se deben analizar sistemas TIC que puedan atender en forma óptima la automatización de la distribución en el área de influencia de EDEQ SA ESP?, además, saber ¿qué medios emplean las empresas para poder hacer su sistema más eficiente?.

El término red inteligente a menudo se asocia con los medidores inteligentes que hacen posible ofrecer una facturación detallada al consumidor por franjas horarias lo que le permitiría diferenciar las horas de consumo permitiéndole un mejor uso de la red.

Una red inteligente envía electricidad desde los proveedores a los consumidores usando una tecnología digital bidireccional para controlar las necesidades del consumidor. Esto ayuda a ahorrar energía, reducir costos e incrementar su uso y permitir una mejor transparencia. El concepto de la red eléctrica inteligente está todavía en evolución con una amplia variedad de puntos de vista mostrando a que debe parecerse la red eléctrica inteligente y lo que realmente comprenderá. Actualmente existe una considerable actividad acerca de la definición de normas específicas aplicables al Smart Grid.

Existen tecnologías como las TWACS (Two-Ways Automatic Communications System) que leen eficientemente medidores eléctricos. El equipo de comunicaciones de la subestación asegura el máximo rendimiento de los datos de medición, mediante comunicaciones paralelas y procesamiento de mensajes. Una gran variedad de opciones de redes de retorno conducen los datos desde el punto final hasta las instalaciones de la empresa de servicios públicos. La configuración altamente afinada del sistema TWACS garantiza el rápido procesamiento del intervalo del medidor y otros datos del punto final. Las empresas de servicios públicos pueden utilizar opciones de software basadas en navegador o en línea de instrucciones para analizar los datos.

Las aplicaciones TWACS también están disponibles para la gestión de cortes de energía, respuesta a la demanda y control de carga. Además, TWACS permite la medición con un sistema pre-pago, opciones de conexión y desconexión remota, soluciones inalámbricas de enlace corto para la lectura de medidores de gas y agua, y un visualizador residencial para la comunicación directa con los consumidores.

## 1.2 Justificación

Las empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica han sido sometidas a una regulación cada vez más estricta alrededor de indicadores de calidad y confiabilidad. La continua incorporación de nuevas tecnologías al sistema está cambiando la concepción del tradicional sistema de distribución hacia el nuevo concepto de redes inteligentes o Smart Grids.

Los operadores de red (OR), para lograr competitividad, deben mantener la calidad en un alto nivel y para lograr esto se debe contar con herramientas tecnológicas que brinden soporte para evaluar, consolidar datos, tener precisión en el manejo de sus equipos, flexibilidad en soporte técnico, etc.

Los sistemas actuales de telecomunicación son tecnologías maduras, pero no todas funcionan de forma óptima en la geografía del área de operación de la EDEQ SA ESP. Debido a esto se hace necesario caracterizar las tecnologías, buscando la eficiencia en fiabilidad del canal.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 *Objetivo general*

Caracterizar las tecnologías de las telecomunicaciones que sirven a la automatización de la distribución de energía eléctrica basado en reconectores implementado en el SDL de la EDEQ SA ESP.

### 1.3.2 *Objetivos específicos*

- Describir el funcionamiento básico de la automatización de la distribución basado en reconectores en el SDL de EDEQ SA ESP.
- Identificar los protocolos de comunicación entre los reconectores y el SCADA.

- Analizar la fiabilidad de los canales de telecomunicación (FO, RF, GPRS) en el SDL.
- Clasificar las diferentes opciones mostrando un ranking técnico económico de la telecomunicación del sistema para la automatización de la distribución en la empresa de energía EDEQ S.A E.S.P.

#### **1.4 Antecedentes**

La integración dinámica de los desarrollos en Ingeniería Eléctrica y los avances de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), dentro del negocio de la energía eléctrica (generación, transmisión, distribución y comercialización, incluyendo las energías alternativas), permite que las áreas de coordinación de protecciones, control, instrumentación, medida, calidad y administración de energía, etc., sean concatenadas en un solo sistema de gestión con el objetivo primordial de realizar un uso eficiente y racional de la energía.

Al anterior concepto también se podría dar la integración de otros actores en el área de la medición y control, como lo son las fuentes de gas y el servicio de agua. Así las redes eléctricas inteligentes entran a hacer parte de un macro concepto de dominio territorial, como lo es el de las ciudades inteligentes o (Smart City en Inglés).

Las REI (Smart Grid en inglés) son una forma de gestión eficiente de la electricidad que utiliza la tecnología informática para optimizar la producción y la distribución de electricidad con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores.

El término red inteligente se asocia a menudo con el concepto de medidores inteligentes capaces de ofrecer una facturación detallada por franjas horarias lo que permitiría a los consumidores no solo el elegir las mejores tarifas que ofrecen las diferentes empresas eléctricas, sino diferenciar entre las horas de consumo, lo que permitiría un mejor uso de la red. Este sistema también permitiría mapear con más precisión el consumo y anticipar mejor las necesidades futuras a nivel más local. En Figura 1-1 se muestra el cuadro comparativo entre la red inteligente y la red tradicional.



<b>Red inteligente</b>	<b>Red Tradicional</b>
Digital	Electromecánica
Comunicación bidireccional	Comunicación Unidireccional
Estructura en red	Estructura Jerárquica
Sensores por toda la red	Pocos sensores
Auto monitoreo	Ciego
Auto restablecimiento	Restauración manual
Adaptativo y aislante	Fallas y desconexiones
Verificación remota	Verificación manual
Control Exhaustivo	Control manual
Muchas opciones para los consumidores	Pocas opciones para los consumidores

**Figura 1-1 Comparación entre una Red Inteligente y la Red Tradicional**

La irrupción de las energías renovables en el panorama energético ha cambiado notablemente los flujos de energía en la red eléctrica, ahora los usuarios no sólo consumen electricidad sino que también la producen a través de la misma red. Por tanto, el flujo de energía es ahora bidireccional. Una red inteligente envía electricidad desde los proveedores a los consumidores usando una tecnología digital bidireccional para controlar las necesidades del consumidor. Esto ayuda a ahorrar energía, reducir costos e incrementar la usabilidad y transparencia. El usar la energía de manera eficiente, ayuda a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y el calentamiento global.

## CAPÍTULO 2

### 2 AUTOMATIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN BASADO EN RECONECTADORES

Para llevar la energía al usuario final se deben tener en cuenta la fiabilidad y su distribución. A pesar de que hoy en día la fiabilidad es muy alta, aún existe una gran pérdida económica y social debida a la falta de electricidad en determinadas ocasiones. Además, muchas veces las propias compañías no detectan algunos apagones hasta que los usuarios finales les informan y es habitual que sea necesario el desplazamiento físico de los empleados para determinar qué partes de la red están dañadas. Por otro lado se debe atacar rápidamente el fallo para evitar provocar otro en cascada debido a la congestión y a las sobrecargas que se producen. La implementación de sistemas automáticos inteligentes puede hacer que las empresas de energía eléctrica tengan un conocimiento en tiempo real de toda la red permitiendo una rápida reacción, la detección previa de problemas potenciales y la minimización del impacto de un fallo.

Las infraestructuras por las cuales actualmente se transporta la electricidad son obras que se han realizado hace muchos años y por lo tanto con una tecnología y prestaciones ya muy obsoleta. Así como en el campo de las telecomunicaciones ha habido mucho cambio e inversiones, no lo ha habido en el sector eléctrico que sigue funcionando con instalaciones y servicios de hace muchos años. Es preciso la inversión en nuevas infraestructuras, que asociados a la reducción de los costos de las telecomunicaciones, los avances en sensores, sistemas más inteligentes, procesadores más potentes y rápidos harán que la generación, distribución y gestión de energía sea más barata, ecológica y permita ofrecer una nueva serie de nuevos servicios a los usuarios finales [1].

En el 2000, Italia creó el primer proyecto Smart Grids que abarcó cerca de 27 millones de hogares usando medidores inteligentes conectados a través de una línea de comunicación. Actualmente, seguimos usando una red eléctrica que fue desarrollada

hace más de un siglo, sin embargo, en un futuro inmediato deberemos afrontar nuevos desafíos que surgen de la liberalización de los mercados y de la evolución de la tecnología en este campo [17].

Actualmente las empresas de energía eléctrica están siendo sometidas a esquemas de regulación cada vez más estrictas en lo referente a los indicadores de regulación y confiabilidad del sistema. Con la incorporación de nuevas tecnologías dentro del sistema de distribución tradicional se está cambiando el concepto hacia redes inteligentes o Smart Grids. Con la introducción de dispositivos tales como reconectores se han dado los primeros pasos para la transición hacia las redes inteligentes con el objetivo de prevenir o disminuir la duración de las fallas, dando continuidad en la prestación de energía, logrando con ello brindar una mejor calidad del servicio. El objetivo de automatizar las redes de distribución es mejorar la calidad de energía así como hacer más eficiente el sistema eléctrico en general por medio de la automatización de los procesos de distribución. La automatización de la distribución plantea dos objetivos fundamentales:

- a) La prevención de fallas.
- b) La disminución del impacto de la falla, objetivos que se enmarcan dentro de las políticas de la Empresa de Energía del Quindío (EDEQ).

Para medir la calidad del servicio de energía, las empresas toman como base la continuidad del servicio que se puede ver alterado cuando hay fluctuaciones del nivel de tensión, variaciones en frecuencia, cortes en el suministro, caídas de tensión y picos de tensión, distorsión armónica que son ondas indeseables para la distribución y que son consideradas de mala calidad porque superan los 60 Hz/s, frecuencia a la cual se debe emitir. Las causas más frecuentes en el sistema de distribución son en gran medida la continuidad del suministro y las variaciones del nivel de tensión y armónicos, en cuanto a la regulación de la frecuencia es responsabilidad del sistema de generación.

Al hablar del concepto de calidad del servicio se habla de un concepto bastante amplio y no se puede sintetizar en un solo parámetro. Un ejemplo de ellos son las

fluctuaciones lentas o rápidas en donde es posible tomar medidas correctivas rápidamente puesto que las fuentes del problema son normalmente conocidas. En lo referente a los cortes del suministro de energía que afectan al usuario se pueden cuantificar de acuerdo a su aparición y duración.

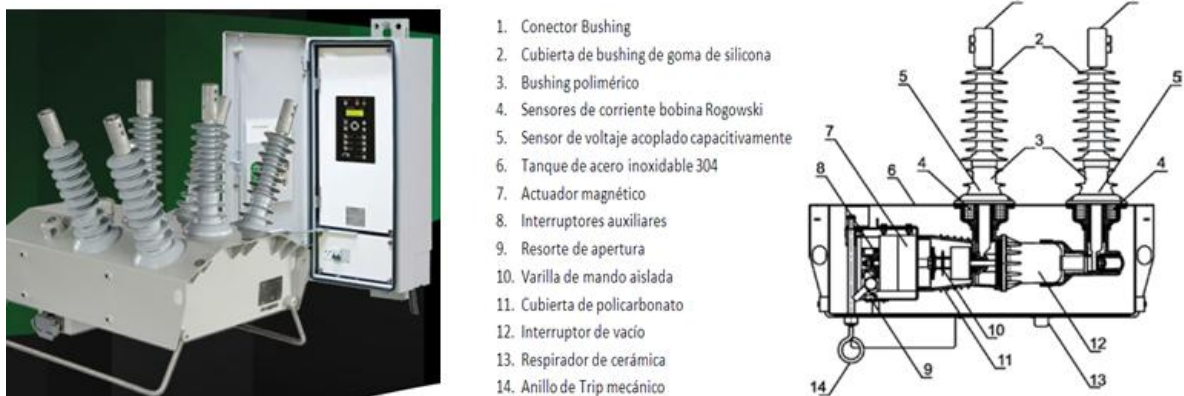
La confiabilidad del servicio de energía eléctrica se puede medir con índices de desempeño tales como el registro de eventos pasados y la confiabilidad. Normalmente las empresas de energía llevan un registro estadístico de eventos pasados con los cuales se puede evaluar el desempeño de sus sistemas pudiendo predecir sus índices de confiabilidad para así poder tomar decisiones acerca de las modificaciones de los elementos que la conforman o de su topología.

Los reconectores se han convertido en elementos importantes en lo que respecta a la coordinación de protecciones con otros elementos de protección o con otros reconectores, además de configuraciones radiales del sistema. Estos equipos poseen un sistema de control electrónico que permiten supervisarlos a distancia y por lo tanto intervenir en su funcionamiento; son dispositivos de interrupción (interruptores) de carga eléctrica, con posibilidad de recierre automático ajustable, supervisión y operación tele comandada.

El reconector es un interruptor con reconexión automática, instalado preferentemente en líneas de distribución. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para volver a energizar la línea. Está dotado de un control que le permite realizar varias reconexiones sucesivas, pudiendo además, variar el intervalo y la secuencia de estas reconexiones. De esta manera, si la falla es de carácter permanente el reconector abre en forma definitiva después de cierto número programado de operaciones, de modo que aísla la sección fallada de la parte principal del sistema.

Un avance en la automatización de la red consistiría en que, ante una falla, esta operación se realizará de forma automática entre los equipos de telecontrol sin necesidad de una intervención del centro de control. Los equipos de telecontrol se comunicarían entre ellos – por ejemplo, por medio de un protocolo IP a través de un

medio físico de tercera generación (3G) – que permitiría salvar la distancia entre ellos sin un cableado físico. En la Figura 2-1 se puede ver el reconector y la descripción de sus partes.



**Figura 2-1 El reconector y sus partes**

Fuente: [http://www.amperonline.com/sites/amperonline.com/files/recloser\\_-\\_osm15-27\\_brochure\\_es\\_noja-542-07espanol\\_0.pdf](http://www.amperonline.com/sites/amperonline.com/files/recloser_-_osm15-27_brochure_es_noja-542-07espanol_0.pdf)

A este tipo de soluciones se les denomina soluciones Self-Healing, ya que permiten que, de forma autónoma, la red se reconfigure ante una falla que se haya producido evitando la operación manual desde el centro de control, lo cual no impedirá que la operación sea visualizada y controlada desde el centro de control. La inteligencia distribuida en la red hará que las órdenes del sistema superior no lleguen a los equipos de Telecontrol sino que de forma autónoma tomarán las decisiones necesarias [2].

Los sistemas de control del futuro se diferenciarán de los actuales en la aplicación de controles más automatizados, en lugar de controles para supervisión. Asimismo, permitirán incrementar la integridad de la cadena de valor: Generación → Transmisión → Distribución → Cliente en lugar de la autoprotección de equipos solamente [8].

Debido a que los sistemas de distribución presentan longitudes tan grandes, tienen muchas ramificaciones y su demanda es muy variada, se hace difícil la ubicación de estos elementos de manera óptima. Una ubicación inadecuada de estos elementos se puede ver reflejada en lo siguiente:

- Pérdidas económicas debido al valor de la energía no servida.

- Sobrecostos debido a que se debe instalar mayor número de elementos de los que requiriere el sistema.
- Continuos cortes en el suministro de energía, provocando distorsiones tanto en el desarrollo habitual de cualquier actividad como en el confort de las personas.
- Empeoramiento de los índices de confiabilidad.
- Penalizaciones a las empresas distribuidoras por parte de los entes reguladores por no cumplir los estándares de calidad del servicio.

Sumado a los aspectos mencionados anteriormente, las empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica han venido siendo sometidas a una regulación cada vez más estricta alrededor de indicadores de operación de calidad y confiabilidad, lo que ha motivado a que las empresas realicen inversiones tecnológicas buscando mejoras en la gestión y prestación de servicio [21].

Para solucionar el problema de la ubicación de reconectores en sistemas de distribución se pueden involucrar diferentes aspectos como el costo de los equipos (costos de instalación) y la confiabilidad de la red (indicadores de confiabilidad y continuidad). Las empresas de energía tienen un gran reto cuando se refiere a la reubicación óptima de reconectores pues en este tema aún se está investigando y hay proyectos encaminados a solucionar este problema.

La ubicación óptima de reconectores es una de las principales estrategias utilizadas en el mundo entero para incrementar la eficiencia en la operación automática del sistema de distribución. Cuando se genera una falla, se debe identificar si es transitoria o permanente; ante una falla transitoria el reconector adelantara su función de recierre, pero si la falla es permanente un adecuado esquema de restauración del servicio, basado en transferencia de carga hacia circuitos vecinos, permite minimizar el número de usuarios desconectados.

Este esquema de restauración del servicio sólo es posible con una adecuada operación de reconectores NC que aislen la sección en falla y la operación de reconectores NA que transfieran carga para restauración del servicio. Por este motivo, la ubicación óptima de estos dispositivos en la etapa de planeamiento es un

factor de vital importancia en la operación de los sistemas de distribución automatizados [20]. Por el alto costo de los sistemas de automatización en las redes de distribución, antes de implementarlo se hace necesario conocer la mejor solución para el restablecimiento de las redes de distribución bajo análisis, puesto que la solución óptima se debe enfocar hacia el menor costo posible.

EDEQ inició labores el primero de enero de 1989, prestando servicio en todo el departamento del Quindío con excepción de Armenia. Posteriormente se adelantaron las gestiones correspondientes para llevar a cabo el traspaso de la División Eléctrica de Empresas Públicas de Armenia a la EDEQ y a partir del 1 de julio del mismo año, se amplió la prestación del servicio en todo el Departamento [6].

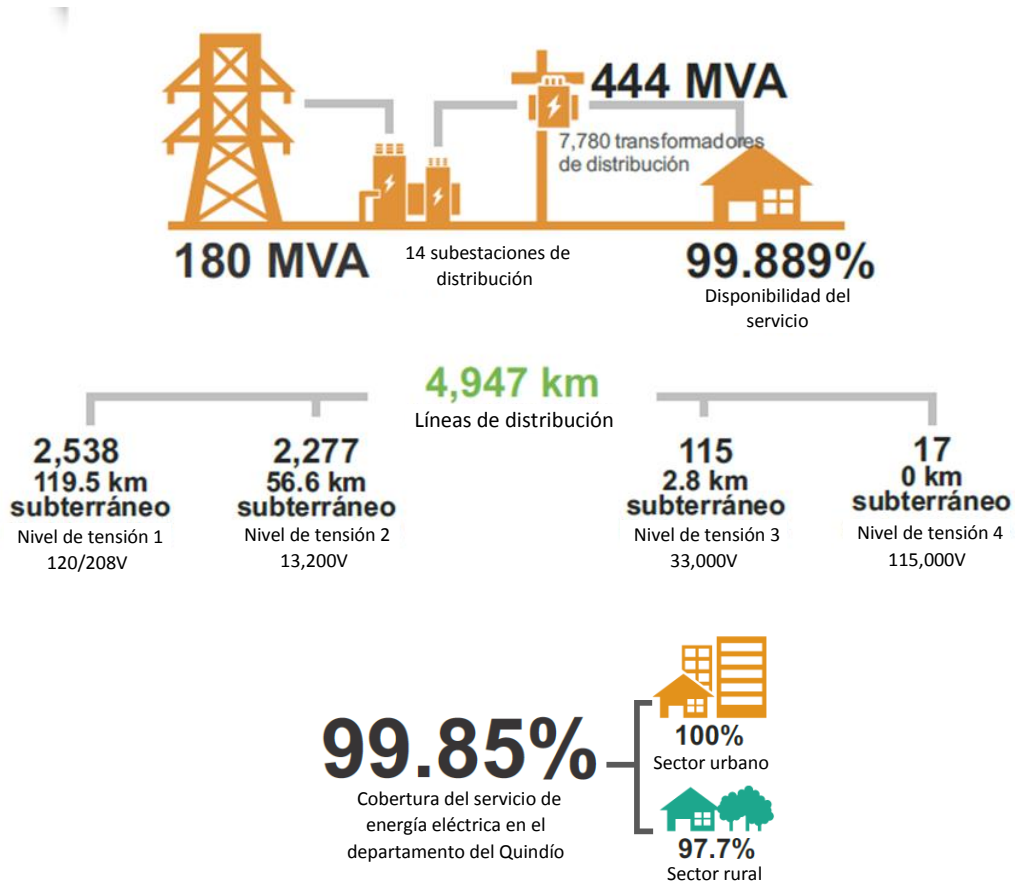
Durante su historia EDEQ ha invertido en el mejoramiento y sistematización de las subestaciones y redes para prestar un mejor servicio a la comunidad. La empresa de está a la vanguardia de todos los avances tecnológicos y cuenta con un ágil sistema de información que le permite una comunicación continua entre las sedes ubicadas en todos los municipios del departamento [3].

La Empresa de Energía del Quindío S.A. ESP – EDEQ S.A. E.S.P. es una empresa colombiana de servicios públicos, de naturaleza mixta que se rige por las Leyes 142 y 143 de 1994 y provee soluciones integrales en Distribución y Comercialización de energía eléctrica en el departamento del Quindío.

EDEQ S.A. E.S.P. hace parte del Grupo EPM, el cual ostenta el 92.8% de la propiedad a través de su filial EPM Inversiones y EPM como su casa matriz. En diciembre de 2013 la empresa cumplió 25 años de creación y operación.

El mercado atendido por EDEQ S.A. ESP está compuesto por 164,552 clientes a diciembre de 2013, distribuido entre sector residencial en los estratos socioeconómicos 1, 2, 3, 4, 5, 6, sectores comercial, industrial y oficial tanto en el mercado regulado<sup>1</sup> como no regulado<sup>2</sup> [4].

El Sistema de Distribución Local de EDEQ S.A. E.S.P. tiene una cobertura del 99.85 % y está conformado de acuerdo a lo que se muestra en la Figura 2-2.



**Figura 2-2. Esquema de niveles de tensión y cobertura del servicio EDEQ**

La Empresa de Energía del Quindío-EDEQ, en su proceso de mejora continua, actualmente viene abordando el problema de mejoramiento de la calidad del servicio a través de la automatización del sistema de distribución local (SDL) aplicando 4 fases estratégicas.

### 2.1 Fases estratégicas para la implementación de la automatización basada en reconectores

A continuación se describen las fases operativas que se tuvieron en cuenta para la automatización del sistema de distribución.



### **2.1.1 Adecuación del caso base: Fase 0.**

El objetivo de esta etapa se centra en depurar diferentes aspectos del SDL que ayudan a caracterizar adecuadamente el comportamiento de la red y afectan de forma directa la calidad de la operación y la obtención de resultados por simulación. Entre los principales aspectos están:

- Adecuada caracterización de la carga.
- Definición de políticas de coordinación de protecciones.
- Planeamiento de la expansión de redes de distribución.

Para lograr una adecuada implementación de una Automatización de la Distribución (AD) basado en reconectores, es necesario ajustar las redes del SDL y lograr que el sistema sea auto restaurativo y adaptativo, para lo cual se debe desarrollar lo siguiente:

- Elaborar diseño muestral con el fin de sacar conclusiones a través de curvas de demanda diversificada y explorar sobre la magnitud y longitud de los periodos de demanda de consumos máximos y mínimos.
- Realizar planeamiento de la expansión de redes de distribución posibilitando el cambio de conductores en donde se requiera, habilitando nuevos tramos de red para transferencia de carga, localización de equipos de corte, maniobra y/o protección. Como insumo principal para el planeamiento además de la caracterización de la carga es necesario tener actualizados los sistemas de información geográfica SIG [19].
- Ajustar la coordinación de protecciones para definir esquemas de protección que logre una coordinación de protecciones adaptativa para atender los diferentes estados operativos del SDL. Algunos de los ajustes son:
  - Instalación de neutro sólidamente aterrizado en la subestaciones de distribución.
  - Esquema de instalación de dispositivos contra sobretensión en lugares de alto nivel cerámico.
  - Definición de los estados operativos “cero” de cada circuito, este estado define el circuito en su estado natural sin transferencia de carga alguna; se clasifican

las troncales y ramales del circuito, se define como troncal el tramo del circuito por el cual en algún momento puede conducir corriente de transferencia hacia un circuito vecino.

- Se mejora la técnica de salvar fusibles, que consiste en hacer que el control de sobre corrientes (IED) determine si la falla puede ser despejada o no, antes de que el fusible comience a fundirse y usar esa información para decidir, instantáneamente, si se debe intentar, o no, una maniobra de salvar fusibles. Un reconector sólo puede operar con más rapidez que la mayoría de los fusibles de derivación en fallas de magnitud relativamente baja [25].

### **2.1.2 Ubicación de reconectores NC para aislamiento de falla: Fase 1.**

Los reconectores normalmente cerrados (NC) son ubicados y dimensionados considerando información asociada a la confiabilidad del sistema. Durante la vigencia 2010, EDEQ procedió con la instalación de 9 reconectores NC, para aislamiento de fallas. El método se evaluó en 6 circuitos del SDL. En el modelo se contempló lo siguiente:

- Agregación de curvas de carga por centro de carga. Para lograr un cálculo más fino del valor energía no suministrada (ENS), se utiliza el método de agregación de curvas, la cual consiste en utilizar la caracterización de la curva diaria según el tipo de cliente (residencial, comercial e industrial) [12].
- Desempeño del proceso de reparaciones. Se define como reparación a toda acción de mantenimiento correctivo tendiente a solucionar una situación de interrupción del servicio causada por eventos de naturaleza aleatoria como fallas de los componentes del SDL, accidentes, vandalismos, fenómenos extremos de la naturaleza, etc. [26].

La duración de una reparación es una variable aleatoria que depende en gran medida de la cantidad y calidad de los recursos disponibles para reparar (personal, vehículos, equipos y herramientas, materiales y repuestos) y de la forma en que se organizan (logística). Los resultados obtenidos con la instalación de los reconectores NC, en las ubicaciones propuestas por la metodología, muestran un incremento en la disponibilidad del servicio tal como se ilustra en la Figura 2-3.

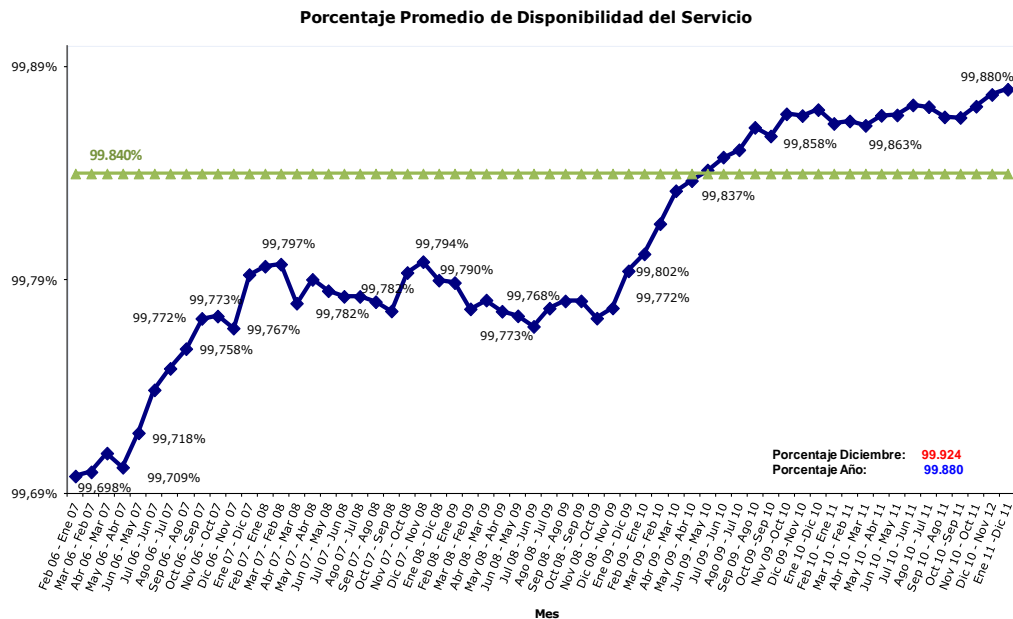


Figura 2-3. Grafica de Porcentaje Promedio de Disponibilidad del Servicio

Fuente: Programa para el mejoramiento continuo de la calidad del servicio EDEQ S.A ESP

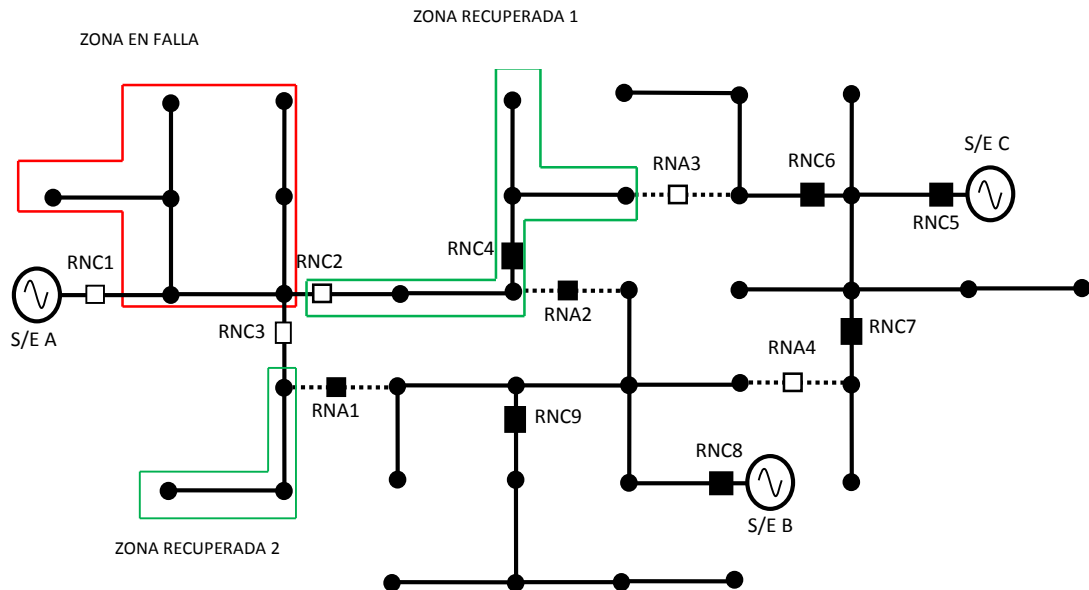
**2.1.3 Ubicación de reconectores NA para transferencia de carga: Fase 2.**

En esta etapa se utilizan los resultados de la primera para ubicar de forma óptima los reconectores normalmente abiertos (NA), teniendo en cuenta el mejoramiento de la calidad del servicio y los costos de inversión.

El problema de la ubicación óptima de reconectores NA en sistemas de distribución asume conocida la ubicación de los reconectores NC y es formulado como un problema de optimización multiobjetivo, donde los objetivos considerados son: minimizar los costos fijos (instalación de los reconectores NA, mano de obra, etc.) y la confiabilidad de la red, medida a través de un indicador de sensibilidad asociado al nivel de la energía no servida (NENS), sujeto (ambos objetivos) a un conjunto de restricciones técnicas y operativas.

Con el fin de ilustrar el comportamiento del problema de localización óptima de reconectores NC y NA se presenta la Figura 2-4 donde existen tres circuitos alimentadores que tienen la posibilidad de recibir carga de otro circuito que se

encuentre en condición de falla y la cantidad de carga que puede ser transferida desde el circuito fallado hacia circuitos vecinos, puede ser determinada en función del conocimiento de la cargabilidad de los circuitos receptores.



**Figura 2-4 Sistema de distribución dividido por áreas operativas**

Analizando lo anterior se puede deducir que aparece un comportamiento zonificado o por áreas, dadas por el conjunto de reconectadores NC y NA que permiten aislar la falla y restaurar las zonas externas a ella, respectivamente. Este comportamiento es de vital importancia porque la energía no servida en un área, permanece constante y es independiente del tramo en el que se presente la falla, debido a que ante ésta siempre operarán los mismos reconectadores.

En forma general la ubicación de elementos reconectadores en sistemas de distribución, para minimización del nivel de energía no servida, puede ser formulada como sigue:

Funciones objetivo:

- Minimizar: El nivel de energía no servida (NENS)

- Minimizar: El costo total de instalación de reconectores

Conjunto de restricciones:

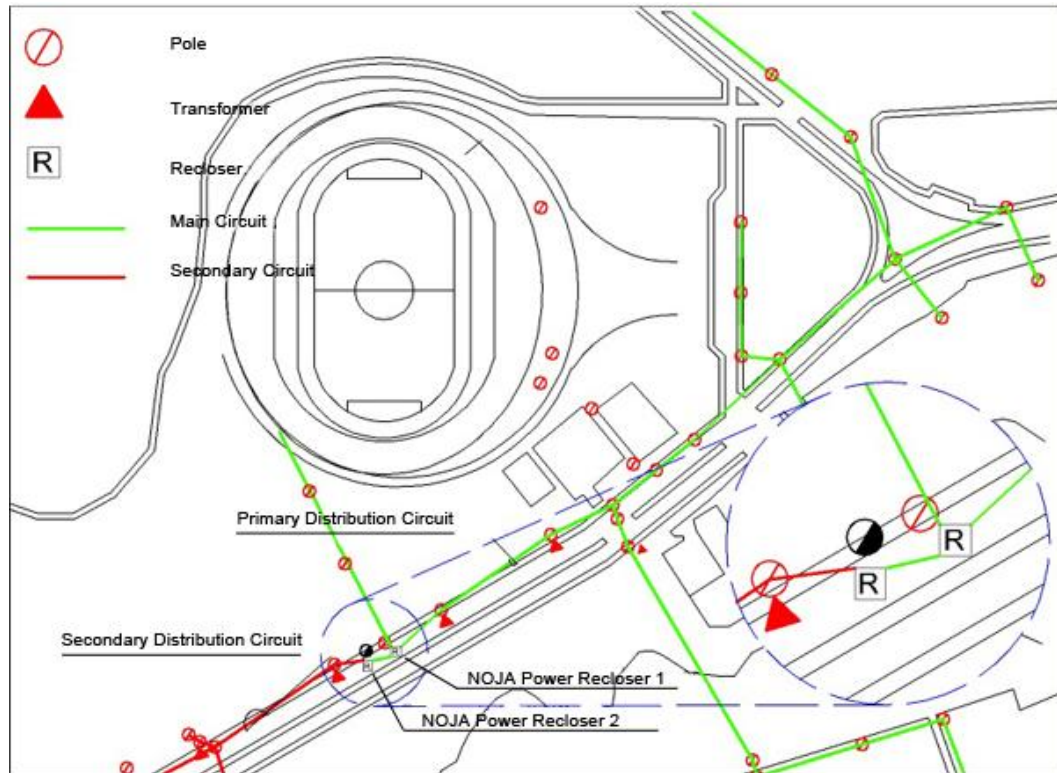
- Capacidad máxima de corriente por los alimentadores
- Regulación de tensión en todos los nodos
- Número máximo de reconectores a ubicar
- Capacidad límite de inversión permitida

#### **2.1.4 Control en tiempo real automatización de la distribución: Fase 3.**

Este tipo de control se analiza a partir de la utilización de reconectores ubicados de forma óptima en la red. Su actuación está definida por parámetros de protección entre equipos reconectores y se definen de dos tipos: transferencia de carga y malla (loop). La reconfiguración automática del SDL ante condiciones de fallas permanente se atiende bajo dos estrategias:

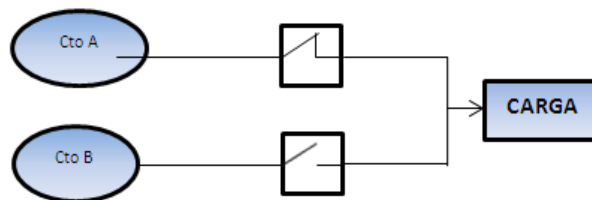
- a) Inteligencia descentralizada: La estrategia define su actuación para transferir una carga de un circuito A hacia un circuito B, utilizando un reconector NC y otro reconector NA. Esta estrategia es autónoma y configurada en los reconectores involucrados, informando al centro de control su actuación. Esta estrategia es utilizada en cargas clasificadas como especiales. EDEQ implantó esta configuración en el Estadio Centenario de la ciudad de Armenia logrando tiempo de conmutación de 302ms. En la Figura 2-5 se puede observar el tipo de configuración empleada.
- b) Inteligencia centralizada: Los resultados de la reconfiguración de circuitos ante fallas permanentes generan en el SDL configuraciones que pueden hacer que los parámetros de protección sean ineficaces. La coordinación de los dispositivos de sobre corriente no se mantiene en los nuevos estados operativos, la dirección del flujo de energía se invierte en algunas zonas en las que las cargas se alimentan a partir de una fuente diferente. Además, los niveles de corriente de falla disponibles pueden estar significativamente diferentes en la nueva configuración. Esto se traduce en operaciones y desenergizaciones de carga innecesarias. Para entender

este problema EDEQ planteó la instalación de un autómata en el centro de control que comunicado por canales apropiados como la fibra óptica, radio frecuencia y/o GPRS con protocolos como el DNP3.0 TCP/IP y IEC68070-5-104, permiten el control de las zonas de transferencia gobernando la actuación de los reconectores y modificando los grupos de protección ante nuevos estados operativos.



**Figura 2-5 Inteligencia Descentralizada en el Estadio Centenario de Armenia**  
 Fuente: [www.nojapower.com.br/press/2011/fifa-fornece-energia-confiavel-copa-do-mundo-da-fifa.html](http://www.nojapower.com.br/press/2011/fifa-fornece-energia-confiavel-copa-do-mundo-da-fifa.html)

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el diagrama del funcionamiento de la transferencia automática.



**Figura 2-6 Automatización Estadio Centenario**

Fuente: [www.nojapower.com.br/press/2011/fifa-fornece-energia-confiavel-copa-do-mundo-da-fifa.html](http://www.nojapower.com.br/press/2011/fifa-fornece-energia-confiavel-copa-do-mundo-da-fifa.html)

## 2.2 Análisis Técnico del proyecto de la Automatización de la Distribución (AD)

El método de localización óptima de reconectores para aislamiento de fallas de la fase 1 desarrollado por el equipo de Ingeniería del SDL, se evaluó para vigencia 2010 en 6 circuitos del sistema de distribución de energía eléctrica que sirve al departamento del Quindío y que es operado por la Empresa de Energía del Quindío S.A ESP (EDEQ S.A ESP) [18].

En la Figura 2-7 se puede observar la descripción de los 9 reconectores analizados en 6 circuitos ubicados en diferentes sectores del departamento del Quindío, en ella se muestra el código del reconector, el circuito al cual pertenece, la fecha de instalación y la fecha de integración al control de supervisión y adquisición de datos (SCADA).

No	Placa	Circuito	Fecha de instalación	Fecha Integración al SCADA
1	R-001	Av. Bolívar 2	Octubre 17 de 2010	Agosto 16 de 2012
2	R-002	Av. Bolívar 2	Octubre 17 de 2010	Agosto 16 de 2012
3	R-007	Circuito 1	Octubre 15 de 2010	Agosto 16 de 2012
4	R-008	Montenegro 1	Octubre 14 de 2010	Agosto 16 de 2012
5	R-009	Montenegro 1	Octubre 14 de 2010	Agosto 16 de 2012
6	R-011	Quimbaya 2	Octubre 19 de 2010	Agosto 16 de 2012
7	R-012	Panaca	Octubre 11 de 2010	Agosto 16 de 2012
8	R-013	Tebaida	Octubre 18 de 2010	Agosto 16 de 2012
9	R-014	Tebaida	Octubre 19 de 2010	Agosto 16 de 2012

**Figura 2-7 Reconectores Instalados en el 2010**

## 2.3 Análisis de la viabilidad Técnico-Económica para reconectores para aislamiento de falla vigencia 2010

Mediante un cuidadoso análisis se logró optimizar la energía no suministrada.

### 2.3.1 La función a optimizar

Con la función objetivo expresada en la ecuación (2-1) se minimiza de la Energía No Suministrada-(ENS) [10].

$$\text{Min ENS} = \sum_{j=0}^{fp} \left( \sum_{i=ri}^{Nfp} P_{prom j} * \left( \sum_{t=tf_j}^{tf_j+td_j+tr_j} \sum_{k=0}^3 C_k A_k \right) \right) \quad (2-1)$$

Sujeto a:

- La asignación de posiciones de los reconectores no debe superar el número máximo fijado.
- La posición de reconectores no puede ser la misma.

### 2.3.2 Perspectivas

Como resultado del análisis técnico económico, de la instalación de reconectores en los circuitos remodelados y además realizando una valoración técnico económico, se tiene lo siguiente:

- Costo de energía no suministrada (ENS).
- Impacto en los costos de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM).
- Impacto en el costo Unitario (CU).

El proyecto general de automatización de distribución (AD) SDL Quindío, busca la mejora en los índices de calidad del servicio.

## 2.4 Análisis viabilidad Técnico-Económica para reconectores para aislamiento de falla

Para ver la viabilidad de la instalación de los reconectores se hizo un análisis técnico económico teniendo en cuenta variables financieras y técnicas operativas.



**2.4.1 Análisis Técnico Económico**

El dimensionamiento óptimo de reconectores se hace utilizando los resultados del modelo de localización óptima de reconectores para falla y se plantea un modelo Econométrico que logra encontrar resultados óptimos con base en la técnica meta heurística de AGCB, cuya función objetivo es la Maximización de la TIR para la ejecución del modelo, se requiere de los siguientes datos de entrada:

**2.4.1.1 Variables financieras:**

Costo Unitario Energía [\$/kWh]	404
Vida Útil de los equipos del proyecto (años)	30
Costo Reconector (\$)	36.660.941

Nota: se considera el valor del equipo instalado

Índice de Precio al consumidor	IPC=0.04
Promedio ponderado de costo de capital	WACC=0.133

**2.4.1.2 Variables Técnicas Operativas.**

Tiempo Medio de Reparación. TMR.	4 horas
Costo de la Cuadrilla por Hora.	\$ 179.375
Costo de Reemplazo de Batería/5 años.	\$ 220.000
Termografía y Mantenimiento/año.	\$ 179.375
Costo de batería/5 años.	\$ 95.000
Costo del plan datos/mes.	\$ 60.000

**2.4.1.3 Consideraciones.**

- a. La Tasa Interna de Retorno-TIR calculada del comportamiento real es un cálculo de tendencia, dado que el planeamiento está definido a 30 años, de los cuales el grupo de reconectores lleva un (1) año en servicio desde su integración.
- b. Esta herramienta compuesta por ambos modelos permite la instalación y reubicación de reconectores en el SDL, con valiosos resultados para EDEQ SA ESP desde el punto de vista de confiabilidad y ahorro en cuanto a CENS y CAOM. Además, se logra obtener una herramienta de bajo costo para el entrenamiento de ingenieros jóvenes en el posicionamiento de equipos reconectores, logrando adquirir destrezas desarrolladas a través de los años por ingenieros de mayor experiencia.

**2.4.2 Resultados de planeamiento vs datos reales**

El planeamiento de ubicación y dimensionamiento de la localización de los Reconectores instalados en los 6 circuitos analizados definió una Tasa Interna de Retorno-TIR de 21.35% de la cual alcanzó en su comportamiento real una TIR de 19.76%., en la Tabla 2-1 se pueden observar los resultados obtenidos.

	Placa	Operación	No. Recloser	Periodo (años)	Fallas Permanentes Totales	Fallas Transitorias Totales	Fallas Transitorias disipadas por Reconectores	Indisponibilidad Total (horas)	Energía ENS (MW-h)	Energía salvada (MW-h)
Circuito 1	R-007	Planeada	1	1	1	15	7	4,3762	4,0067	1,8707
		Real	1	1	2	12	4	4,7	2,0497	3,0841
Panaca	R-012	Planeada	1	1	2	20	7	5,6086	2,0009	3,5728
		Real	1	1	10	24	14	40,0694	4,3224	5,7178
Quimbaya 2	R-011	Planeada	1	1	1	6	1	3,1457	7,5365	1,9533
		Real	1	1	9	14	7	1,366	0,59662	0,36318
Montenegro 1	R-008	Planeada	2	1	1	6	3	3,1676	4,1266	3,1381
	R-009	Real	2	1	3	8	7	3,2163	0,9224	2,6623
Tebaida	R-013	Planeada	2	1	4	46	33	11,7037	24,3371	23,3561
	R-014	Real	2	1	22	41	31	11,5169	9,8538	6,2332
Av. Bolívar 2	R-001	Planeada	2	1	2	20	16	6,3431	13,5110	16,8502
	R-002	Real	2	1	2	18	14	0,6997	1.2444	0,1803

**Tabla 2-1 Resultados de planeamiento vs datos reales**

Fuente: [18]

## CAPÍTULO 3

### 3 ANALISIS DE DISPONIBILIDAD DE LOS CANALES DE TELECOMUNICACIÓN

Las TIC son en gran parte la columna vertebral de la automatización de redes de distribución, pero las condiciones geográficas y económicas dificultan la implementación de un sistema específico, es por este motivo que la EDEQ S.A ESP identificó la utilización del sistema de comunicación híbrido basado en el GRPS, radiofrecuencia-RF y fibra óptica-FO, logrando en gran medida sortear estas dificultades, trayendo consigo mejoras sustanciales en la calidad del servicio de energía eléctrica en el departamento del Quindío.

En países en vías de desarrollo, es frecuente que zonas rurales de gran extensión carezcan por completo de infraestructuras de telecomunicación, lo cual supone un obstáculo para el desarrollo y la calidad de vida de las personas [3]. Para el caso del departamento del Quindío el nivel de cobertura de las redes de distribución está en un 99,85% [7], lo cual facilita la implementación de los diferentes sistemas de telecomunicación.

#### 3.1 Descripción de sistema de potencia de EDEQ

Actualmente, EDEQ cuenta con 14 subestaciones, 76 reconfiguradores instalados y comunicados por GPRS, Radio Frecuencia-RF y Fibra óptica-FO. Para el presente estudio se analizarán 24 reconfiguradores conectados de la siguiente forma: 13 por GPRS y 11 por Radio frecuencia-RF. A la fecha no se pueden tener datos de análisis por fibra óptica debido a que aunque se tengan las conexiones en este tipo de medio, faltan todavía elementos para habilitar los canales de comunicación.

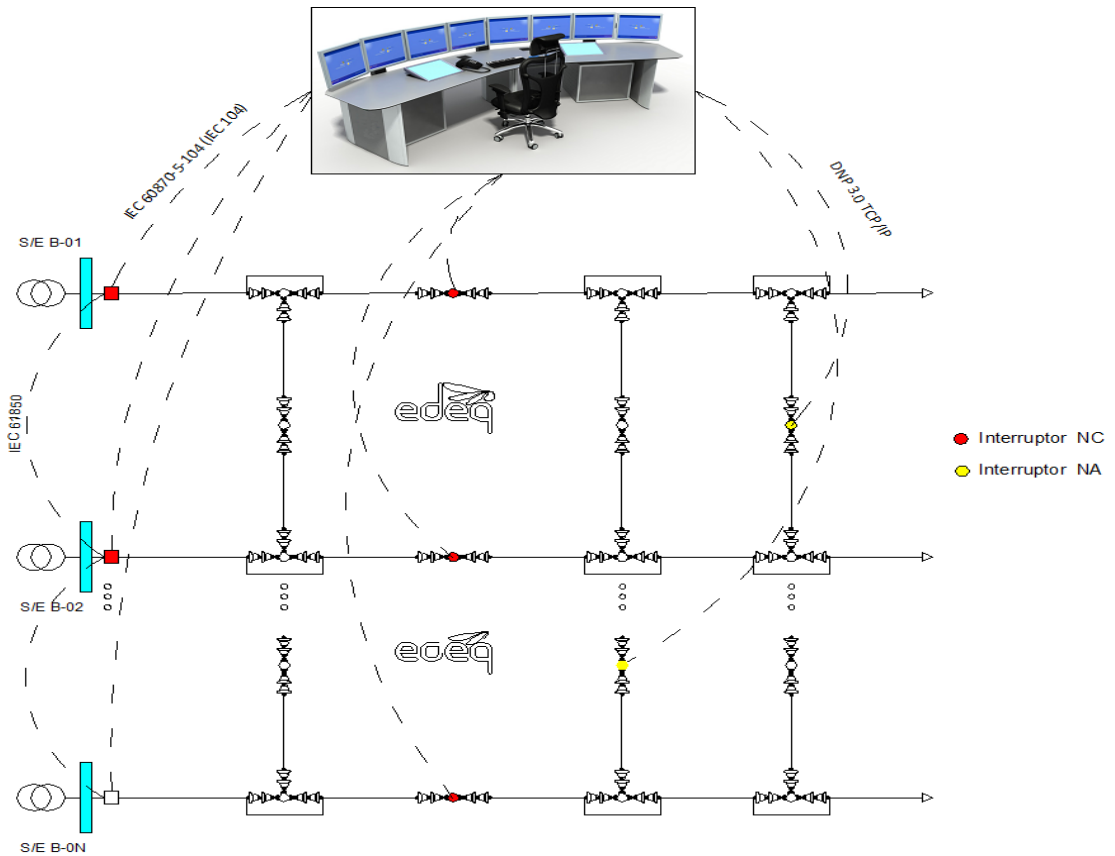
En la Figura 3-1 se muestra un reconectador instalado por EDEQ en su sistema de distribución de energía para su automatización.



**Figura 3-1 Reconectador instalado AD EDEQ SA ESP**

### **3.2 Descripción de los canales de comunicación de AD de EDEQ.**

El telecontrol y la tele gestión de un sistema de Automatización de Redes de Distribución basado en reconectores, se implementa por canales inalámbricos y alámbricos con protocolos de comunicación estándar como son IEC 60870-5-104 y DNP 3.0, TCP/IP, como es observa en la Figura 3-2.



**Figura 3-2 Esquema de comunicación del sistema de distribución con el SCADA**

Los canales inalámbricos son radiofrecuencia-RF, GRPS, Wifi, Wimax, Zigbee, Bluetooth, microondas, satelital digital y los canales alámbricos son fibra óptica-FO, Power Line Communications-PLC, BPL.

Para el presente estudio se analizarán los canales disponibles en la EDEQ SA ESP, los cuales son: radio frecuencia-RF, fibra óptica-FO y GPRS que es una tecnología digital de telefonía móvil.

En la Figura 3-3 se puede observar la relación de los reconectores analizados con los circuitos a los cuales pertenece cada uno y el tipo de comunicación empleada.

No	Placa	Circuito	Fecha de instalación	Tipo de Comunicación	Tecnología Futura	Fecha Integración al SCADA
1	R-003	Subterráneo 3	2009	GPRS	F.O.	2012
2	R-004	Subterráneo 3	2010	GPRS	F.O.	2012
3	R-006	Circuito 1	2010	GPRS	No definida	2012
4	R-007	Circuito 1	2010	GPRS	No definida	2012
5	R-009	Montenegro 1	2010	GPRS	No definida	2012
6	R-011	Quimbaya 2	2010	GPRS	No definida	2012
7	R-015	Tebaida	2012	GPRS	No definida	2012
8	R-016	Herradura	2012	GPRS	No definida	2012
9	R-017	Herradura	2012	GPRS	No definida	2012
10	R-026	Pueblo Tapao	2012	GPRS	No definida	2012
11	R-027	Yulima	2012	GPRS	No definida	2012
12	R-029	Ciudad Dorada	2012	GPRS	No definida	2012
13	R-031	Campestre	2012	GPRS	FO	2012
14	R-062	Hojas Anchas	2013	RF	RF	2013
15	R-063	Acacias	2013	RF	RF	2013
16	R-064	Quimbaya 1	2013	RF	RF	2013
17	R-066	Corbones	2013	RF	RF	2013
18	R-067	La Cima	2013	RF	RF	2013
19	R-068	Limites	2013	RF	RF	2013
20	R-069	Industrial Cabaña	2013	RF	RF	2013
21	R-070	El mesón	2013	RF	RF	2013
22	R-072	La Floresta	2013	RF	RF	2013
23	R-073	Quindos	2013	RF	RF	2013
24	R-074	Niagara	2013	RF	RF	2013

**Figura 3-3 Relación de primeros reconvertidores instalados en EDEQ S.A E.S.P**

### 3.3 Descripción y análisis del sistema GPRS

La Empresa de Energía del Quindío cuenta con 14 subestaciones de energía que están interconectadas y telecontroladas al 100% desde un único sistema SCADA. Varios estudios anteriores a este proyecto mostraban que no era posible equipar algunas subestaciones con un sistema de comunicación y telecontrol remoto, ya que los análisis de la relación costo beneficio presentaban resultados negativos.

La falta canales de comunicación en donde la relación costo beneficio sea viable y en donde se conjuguen 3 grandes elementos de las comunicaciones como son: ancho de banda, disponibilidad y seguridad ha dificultado integrar dichas subestaciones al SCADA durante varios años. Tecnologías WAN como GPRS y luego UMTS/3G, pueden ser la solución a algunos de éstos problemas pero antes hay que tener algunas consideraciones y restricciones para poder seguir manteniendo los niveles de costo-beneficio.

Con los avances de la tecnología disponible y sus bajos costos de adquisición se pueden reevaluar, en muchas subestaciones, la posibilidad de integrarlas al SCADA por medios de comunicación alternativos como lo es GPRS, los cuales tienen una disponibilidad y confiabilidad inferior a la de una fibra óptica, pero pueden ser de gran ayuda para operar un sistema eléctrico con características rurales. Establecer un medio de comunicación vía GPRS nos puede resolver además el problema de la gestión remota de los IEDs, funcionalidad indispensable para el mantenimiento, operación y configuración de todos los equipos de la red.

Frecuentemente se requiere que los equipos instalados en la red de distribución, como las subestaciones ubicadas en áreas rurales, sean interconectadas al SCADA central y puedan obtener la información necesaria y operar la red de una forma segura y confiable con el fin de mejorar la calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica.

La implementación del servicio eléctrico en áreas rurales retiradas de los cascos urbanos ha incrementado los costos de mantenimiento de la infraestructura. La



necesidad de mejorar los niveles de servicio, han llevado a las empresas del sector eléctrico a involucrarse en la búsqueda de procedimientos que brinden una reducción de costos, disminuyan los tiempos de interrupción del servicio de energía eléctrica, como también los tiempos de reparación y puesta en servicio. Para que todo esto sea posible, es necesario que las subestaciones ubicadas en áreas rurales o equipos de control instalados en la red de distribución estén dotadas de un sistema de comunicación que sea seguro, con alta disponibilidad y el ancho de banda suficiente para realizar las funciones de operación y mantenimiento remoto.

Las comunicaciones LAN/WAN basadas en Ethernet y TCP/IP son ahora comunes para comunicar subestaciones y centros de control, usualmente requieren un medio con comunicación permanente, lo cual complica la implementación de sistemas por llamadas a través de la PSTN. Cada estación debe de estar en la capacidad de enviar datos en tiempo real al centro de control. Los estándares universales de comunicación como los son las redes TCP/IP, han llevado al surgimiento del protocolo IEC 61850 que está especializado para la infraestructura eléctrica.

Para el telecontrol y la telegestión, los reconfiguradores instalados en campo fueron adquiridos con puertos de comunicación serial RS232, además utilizan el protocolo DNP3.0 para telecontrol y pueden utilizar protocolos como 60870-5-104 para ser gestionados remotamente. La información en el protocolo DNP3.0 se lleva mediante comunicación serial RS232 hasta un modem Viola Arctic instalado en el gabinete del reconfigurador, el cual mediante una aplicación JAVA, desarrollada por Sinapsis, la empaqueta y la envía a través de la red celular mediante GPRS.

La comunicación para la tele gestión es básicamente un canal transparente entre un puerto serial del reconfigurador y un equipo PC dedicado a la gestión conectado a la misma plataforma de comunicaciones AXON. Para esto el modem Viola Arctic provee un segundo puerto serial de comunicación que posee interface física SPI. Para convertir este medio físico SPI a RS 232, en el gabinete del reconfigurador, se instala un equipo denominado DENDRIUM SLIM. La misma aplicación JAVA interna del terminal Siemens ejecuta un proceso independiente para la comunicación con el puerto SPI para telegestión y la del puerto RS232 para telecontrol.

Debido a la característica multithread del terminal Siemens, se logra que no haya afectación de una comunicación por causa de la otra. La información viaja de igual forma que para el telecontrol y para la telegestión hasta la plataforma AXON, una vez allí, los equipos autorizados podrán acceder escribiendo y leyendo información de los diferentes SOCKETS (puertos TCP) por cada reconectador, todos gestionados por la plataforma de comunicaciones AXON. Ya que se trata de canales transparentes, la tele gestión se puede realizar por medio de una terminal de datos ASCII si el reconectador lo permite, o a través de un software propietario del reconectador que tenga tiempos y modos de transmisión configurables.

### **3.3.1 El funcionamiento de la red GPRS**

El GPRS (General Packet Radio Service) es una tecnología digital de telefonía móvil. Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación (GSM) y la tercera (UMTS), proporciona altas velocidades de transferencia de datos (especialmente útil para conectar a Internet) y se utiliza en las redes GSM; es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM (donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado) a la conmutación de paquetes.

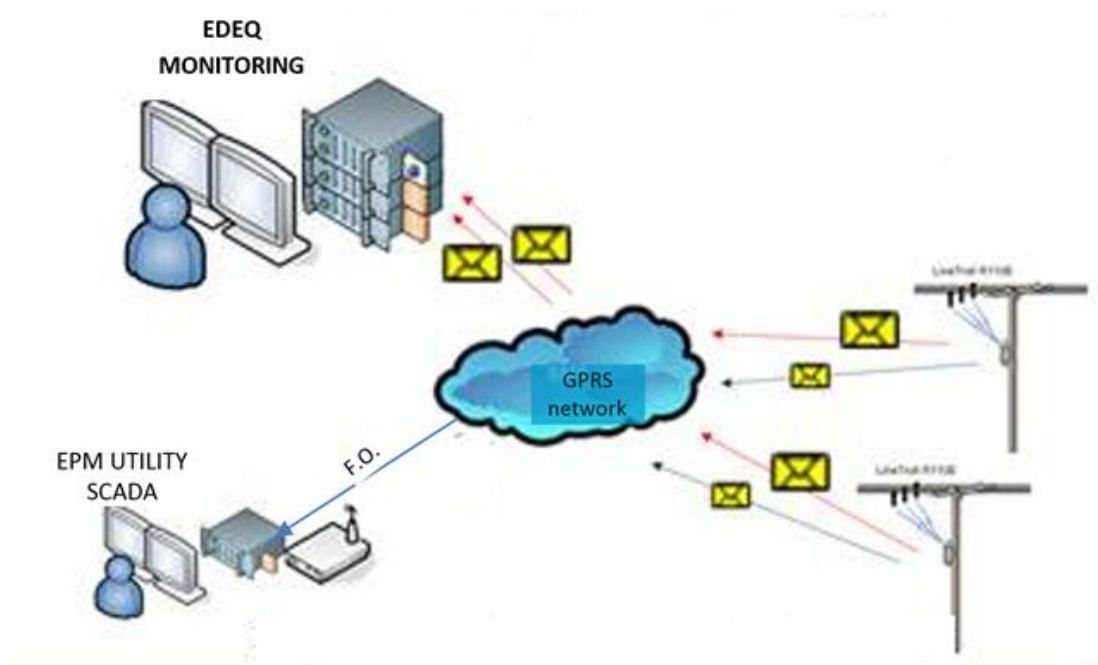
Los canales RX y TX operan en un modo full dúplex con 8 ranuras de tiempo o time-slots. Estas ranuras de tiempo son negociadas entre la unidad móvil y la red del proveedor de servicios celulares, dependiendo de la congestión de la red en momentos de demanda pico, puede ocurrir que no hallan ranuras de tiempo disponibles para GPRS, por lo que la conectividad se pierde por aproximadamente un minuto o más. Debido a esto es preferible no usar GPRS para interconectar subestaciones importantes, de igual forma no se debe implementar la función de cargar remotamente parámetros de configuración en las cuales la pérdida de conectividad puede traer como consecuencia la pérdida de datos.

### 3.3.2 Disponibilidad de la red GPRS

Cuando se habla de disponibilidad de la red GPRS surgen dudas cuando se pretende instalar un sistema de comunicaciones el cual es administrado por un agente externo a la empresa, se generan preguntas tales como: ¿Qué pasa cuando hay una falla en la red de potencia? ya que en estos momentos es cuando más se necesita que la red de telecontrol funcione correctamente o ¿Qué pasa cuando hay un evento como festividades de la región donde se incrementa el uso de la telefonía celular? ¿Puede colapsar el sistema de comunicación?

**Para dar respuesta a la primera pregunta, es necesario indagar acerca del proveedor de servicios de servicios GSM/GPRS, si las BSS, Base Station Subsystem, tienen la capacidad de trabajar trabajar durante aproximadamente 3 días, desde el momento en que ocurre evento, por medio de un medio de una planta de energía ya sean a Diesel o Gasolina. En la**

Figura 3-4 se puede ver un sistema de comunicación por GPRS.



**Figura 3-4. Sistema de comunicación por GPRS**

En el caso que ocurra congestión de usuarios, es el elemento más limitante del uso de la tecnología GPRS para procesos de control. La tecnología ha sido diseñada para trabajar a una velocidad de acceso medio-baja para dispositivos como PDAs, portátiles, celulares, etc. Los datos transmitidos por GPRS comparten la red con las llamadas de teléfonos celulares sobre GSM, por tal motivo es necesario alguna priorización, desafortunadamente, la mayor parte de los proveedores de servicio GPRS, le dan la mayor prioridad al servicio telefónico. Este punto es de gran importancia y se debe buscar que los proveedores de servicio celular puedan ofrecer varios mecanismos para establecer la prioridad de los datos transmitidos por la red.

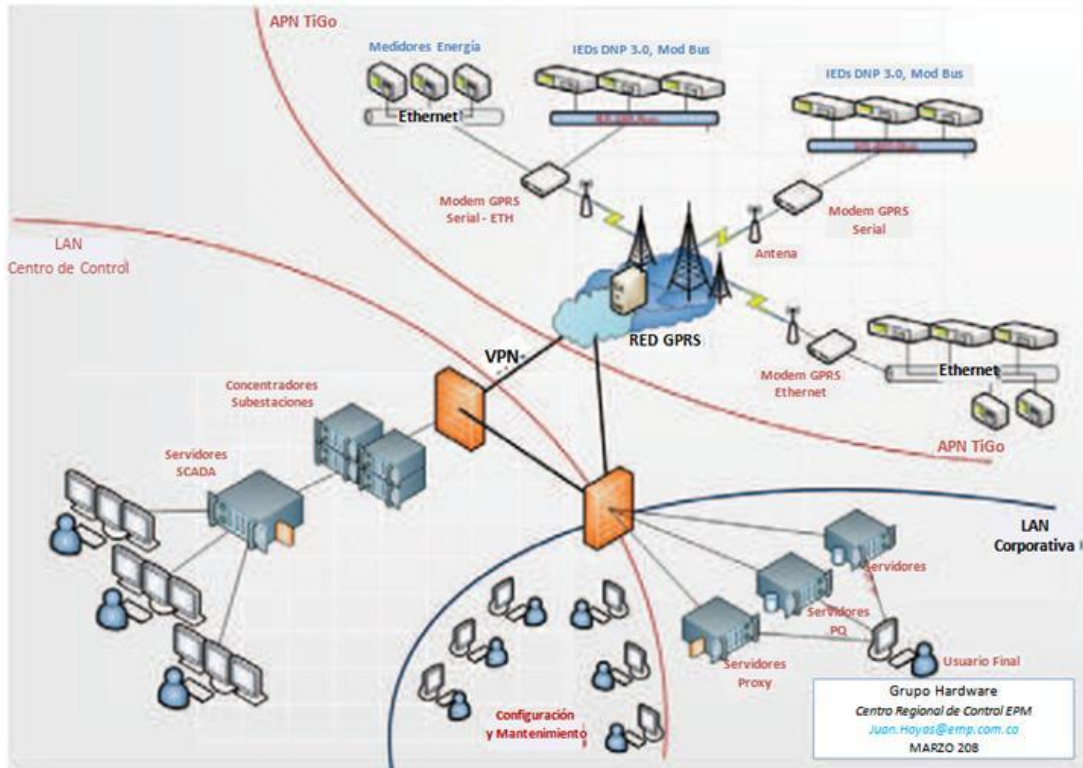
### **3.3.3 Conexión a la red GPRS**

La mayoría de proveedores de la tecnología GPRS, asignan una APN para diferenciar los servicios ofrecidos como las redes que tienen dentro de su dominio. Una APN o Access Point Name que es el nombre de un punto de acceso para GPRS a configurar en el dispositivo celular para que pueda acceder a Internet o a la red privada de la empresa. Los APN pueden ser variados y son usados en redes tanto públicas como privadas.

El nombre del APN es determinado en conjunto con el proveedor de servicios. Dentro de la APN configurada por el proveedor se establecen los rangos de direcciones IP estáticas que se desean utilizar para poder establecer un enlace LAN-to-LAN entre la red GPRS y la red de la empresa. Se busca establecer una conexión sobre un esquema LAN-to-LAN, para lo cual es necesario que los equipos terminales, modem GPRS o Routers puedan realizar Network Address Translation (NAT) y conectarse automáticamente a la red GPRS del operador. Como resultado cada equipo en la subestación obtiene una dirección IP arreglada dentro del rango de direcciones accesible desde el centro de control.

La conexión entre el proveedor de servicio y la empresa se realiza por medio de un enlace VPN (Virtual Private Network) [18], con el fin de garantizar la seguridad de la información transmitida a través de la red pública como se muestra en la

**Figura 3-5 Enlace VPN Conexión entre el proveedor del servicio y la empresa**



**Figura 3-5 Enlace VPN Conexión entre el proveedor del servicio y la empresa**

Fuente: Grupo Hardware Centro Regional de Control EPM

Esta aplicación posee varios componentes maestros que permiten interrogar los dispositivos en campo y varios esclavos que dejan disponible la información obtenida para el centro de control. El protocolo de telecontrol DNP3.0 se configura en modo “no solicitado”, es decir los reconectores reportan de forma automática y autónoma los eventos (cambios de estado), lo que permite contar con los datos en tiempo real y además realizar operaciones sobre los equipos de forma remota en cualquier momento.

La comunicación por GPRS es estable y segura si se cuenta con:

- d) Buena densidad de señal celular.
- e) Configuración de firmware adecuada para evitar bloqueos y reinicios manuales.
- f) Creación de un APN y VPN.
- g) Buena disponibilidad del servicio de parte del proveedor.

#### **3.3.4 Costos de implementación**

Los costos son una de las razones más importantes por las cuales los proyectos salen adelante o se dan como desiertos. Si los costos mensuales de la conexión GPRS exceden el presupuesto designado, a largo tiempo se convierte en una inversión no rentable, que conllevaría a seguir operando y manteniendo la subestación como en el pasado.

Con en la mayoría de los proveedores GPRS, los costos de la solución, en el caso de comprar planes de datos limitados, dependen de 2 factores:

- Un plan mensual de datos el cual limita la cantidad máxima de datos que se puede transmitir.
- El costo adicional de cada MB que sea enviado, después de haber agotado la cantidad máxima obtenida en el paquete de datos.

En la actualidad varios proveedores están ofreciendo equipos con planes de datos ilimitados, a un precio muy asequible, inferiores a US\$ 30, eliminando la preocupación sobre la cantidad de datos que podemos capturar de los equipos ubicado en la red de distribución.

En el mercado se pueden conseguir módems con interfaz serial o con interfaz Ethernet RJ45, dependiendo de la estructura de red que se desee implementar. En el caso que se requiera realizar una LAN-to-LAN o implementar una red Ethernet entre varios equipos de una subestación es necesario que el modem GPRS posea funciones de enrutamiento con puertos Ethernet RJ45 y posibilidad de realizar NAT con conversiones estáticas. El costo de éste equipo oscila entre US\$ 400 y US\$ 500. Los módems con interfaz serial necesitan adquirir un router adicional el cual pueda realizar

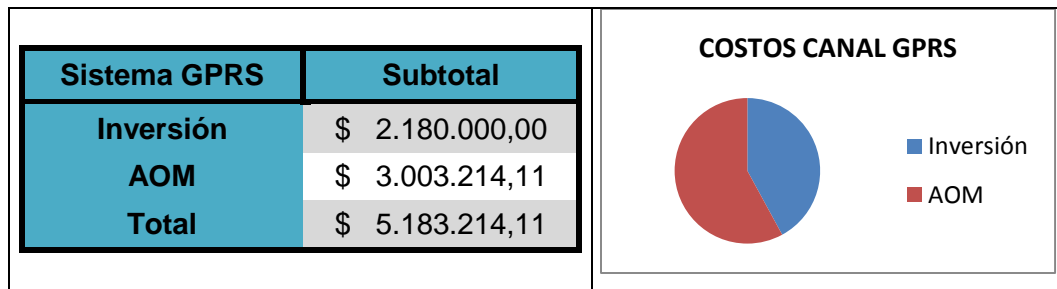
el NAT. Los costos de este módem serial oscila entre US\$ 200 y US\$ 300 y el router Cisco 1721 el cual cumple con las funcionalidades descritas anteriormente.

Para poder implementar el sistema de comunicación por GPRS se requieren los siguientes elementos para los cuales se analizaran precios de los equipos tomando como vida útil 10 años, como se muestran en Tabla 3-1.

Equipo	Valor	Frecuencia
Modem GPRS	\$ 1.700.000	Única
Plan de datos	\$ 24.600	Mensual
Integración al SCADA	\$ 480.000	Única
Mantenimiento	\$ 270.000	Anual

**Tabla 3-1-Costos del canal de comunicación por GPRS**

En la Tabla 3-2 se pueden ver los costos del canal de comunicación por GPRS teniendo en cuenta la Administración Operación y Mantenimiento-AOM.



**Tabla 3-2. Costos del canal por GPRS para EDEQ S.A ESP**

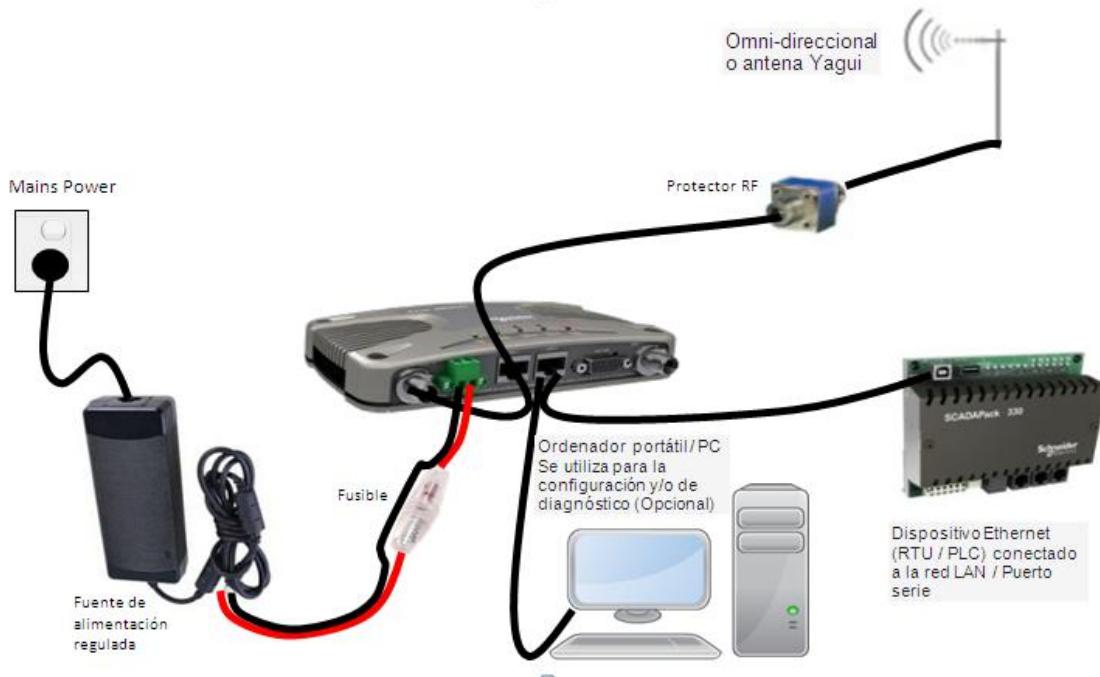
### 3.4 Descripción y análisis del sistema Radio frecuencia-RF

Las comunicaciones inalámbricas representan un recurso clave de la emergente red inteligente. Si bien la red inteligente está lejos de ser completa, las empresas de servicios públicos han implementado redes de millones de medidores inteligentes de manera exitosa y están aprovechando las comunicaciones inalámbricas bidireccionales para transmitir datos sobre el consumo de manera precisa, instaurar una mayor conciencia en términos de energía, aplicar los programas de respuesta a la demanda y ejecutar otras aplicaciones de la red inteligente.

Los radios, para automatización de distribución, cuentan con una interface de aplicación programable (API) que los habilita para enviar, recibir y procesar datos de otros radios y/o dispositivos de campo conectados a ellos. La empresa eléctrica puede crear, descargar, y ejecutar programas a nivel del dispositivo de campo para funciones avanzadas y características como medición, automatización de distribución y control de carga. Dado que las API's son únicas para cada radio, cada dispositivo dentro de la red puede ser programado para desarrollar funciones múltiples como monitoreo de elementos clave, control de productos adicionales o disparo de alarmas ante un cambio de estado [14]. La solución está diseñada para ofrecer una compatibilidad con la base instalada así como soportar actualizaciones de capacidades futuras.

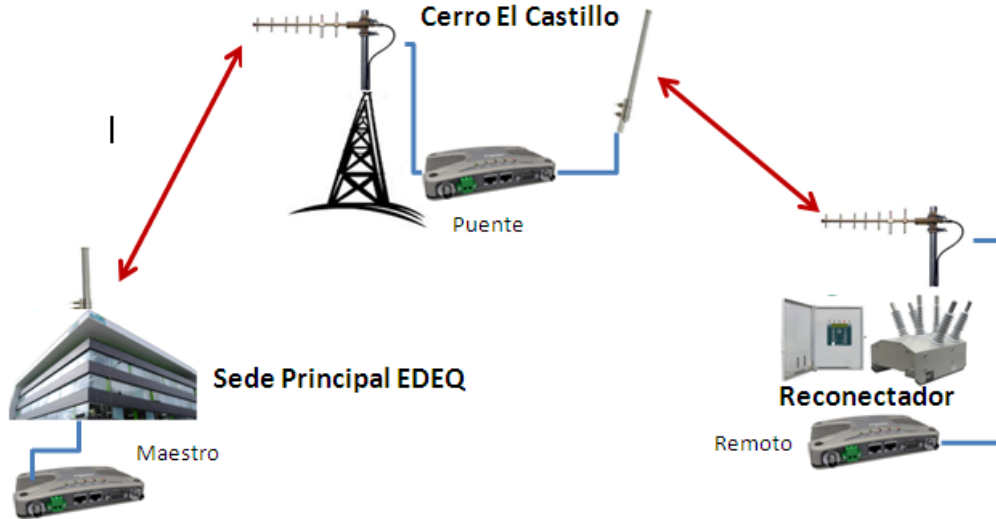
Los radios en la red son dispositivos inteligentes que pueden ser integrados con muchos otros elementos de distribución como UTR's, seccionadores, restauradores, bancos de capacitores, detectores de fallas y transformadores de distribución para aplicaciones avanzadas de control y automatización. En la Figura 3-6 se puede observar un sistema de comunicación por radio utilizado en EDEQ S.A ESP.





**Figura 3-6 Montaje típico de un sistema remoto**

Los radios utilizan ruteo de paquetes dinámico y responden a condiciones cambiantes de la red; no existen trayectorias fijas de comunicación. Los radios pueden dar prioridad individual a cada mensaje para asegurar el ruteo dinámico a través de la red. El salto de frecuencia asíncrono de espectro disperso permite que múltiples radios utilicen simultáneamente el mismo ancho de banda transmitiendo múltiples mensajes y asegurando así la escalabilidad, en la Figura 3-7 se puede ver el sistema de comunicación por radio que utiliza la EDEQ. La solución de Automatización de Distribución (AD) cuenta con la característica única de programación a nivel del radio para diversas aplicaciones incluyendo interrogación remota, monitoreo casi en tiempo real, control y reporte por excepción, traducción de protocolos, lógica programable, y optimización del ancho de banda de la red [14]. En el anexo 1 se explica el funcionamiento de la comunicación por radiofrecuencia.



**Figura 3-7 Sistema de comunicación por radioenlace EDEQ S.A ESP**

### **3.4.1 Disponibilidad del sistema Radio frecuencia-RF**

Con la creación de la Agencia Nacional del Espectro (ANE) (enero de 2010), Colombia ha entrado en una etapa de gestión y reorganización del espectro radioeléctrico, apoyada por una normatividad y apoyo gubernamental manifestado a través del Ministerio de Tecnologías de Información y las Comunicaciones (MinTIC– [www.mintic.gov.co](http://www.mintic.gov.co)), con excepción del espectro electromagnético atribuido al servicio de TV cuya administración corresponde a la Comisión Nacional de Televisión CNTV, en coordinación con el Ministerio de Tecnologías de Información y Comunicaciones. La ANE tiene un rol de asesoría y apoyo al MinTIC y es este quien en definitiva toma las decisiones sobre el manejo del espectro radio eléctrico (ERE) [5].

La transmisión vía radio está limitada a la disponibilidad de frecuencias dentro de la Agencia Nacional del Espectro correspondiente rango del espectro radioeléctrico. En Colombia el espectro radioeléctrico ha sido definido constitucionalmente como un bien público, cuya gestión y control debe ser realizada por el Estado a través principalmente del MinTIC y otros organismos del gobierno creados a partir de la Ley 1341 de 2009. El espectro radioeléctrico es el conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz y que se propagan por el espacio sin guía artificial [15].

El objeto de la Agencia Nacional del Espectro es brindar el soporte técnico para la gestión y la planeación, la vigilancia y control del espectro radioeléctrico, en coordinación con las diferentes autoridades que tengan funciones o actividades relacionadas con el mismo [11].

El uso de frecuencias radioeléctricas requiere de permiso previo otorgado por el Ministerio de Tecnologías de Información y Comunicaciones y dará lugar al pago de los derechos que correspondan. Cualquier ampliación, extensión, renovación o modificación de las condiciones, requiere de nuevo permiso, previo y expreso.

En lo que atañe al empleo de frecuencias destinado a servicios de telecomunicaciones es importante tener en consideración que es posible que se presenten interferencias; estas pueden ocasionar, o no, que se degraden, interrumpen o impidan el funcionamiento de un servicio de telecomunicaciones. La interferencia proviene de fenómenos naturales como tormentas eléctricas, o por artefactos eléctricos como por ejemplo motores.

#### **3.4.2 Conexión a la red Radio frecuencia-RF**

El nombre de red, define un grupo de radios que pueden comunicarse entre sí directamente o por medio de otro. Cada radio remoto debe sincronizarse con un Access Point o Bridge que tenga el mismo nombre de red. Esto previene falsos sincronismos con otros sistema cercanos similares.

#### **3.4.3 Implementación de un sistema de Radio frecuencia-RF para la red de distribución**

La conectividad de los medidores inteligentes y otras comunicaciones de la red de área vecinal NAN (Neighborhood Area Network) puede tener lugar en un espectro con licencia privada o un espectro de 900 MHz sin licencia. Con una experiencia limitada en la operación de sus propias redes inalámbricas y una gran cantidad de mensajes de marketing de algunos proveedores de sistemas con licencia, algunas empresas de

servicios públicos pueden atribuir incorrectamente ventajas importantes a soluciones que utilizan un espectro con licencia privada.

El significado de “sin licencia” es que el espectro radioeléctrico está disponible al público para su uso o los usuarios no requieren una licencia oficial para operar en esta banda. Los radios sin licencia “Trio radios” usan tecnología “FHSS” de alta rapidez entre los canales en sincronía con la radio principal, esto permite que sea poco probable que distintos sistemas estén en el mismo canal al mismo tiempo, esto versus al problema de los sistemas DSSS.

Toda comunicación inalámbrica, con o sin licencia, enfrenta el riesgo de interferencia. Las suposiciones de interferencia en las bandas sin licencia de 900 MHz son muy exageradas, y las implementaciones tecnológicas, como espectro disperso por salto de frecuencia (FHSS), mitigan los problemas de interferencia restantes [16]. El espectro de radiofrecuencia (RF) es un recurso escaso. A fin de aumentar al máximo el uso de este recurso, la mayoría de los países cuentan con organismos gubernamentales encargados de la asignación y administración del espectro.

El canal de comunicación por radiofrecuencia-RF se ha implementado teniendo en cuenta la línea de vista entre el retransmisor y el edificio de la EDEQ dando buenos resultados. En casos donde no es posible tener línea de vista se ha hecho puente con el cerro El Castillo.

#### **3.4.4 Costos de implementación**

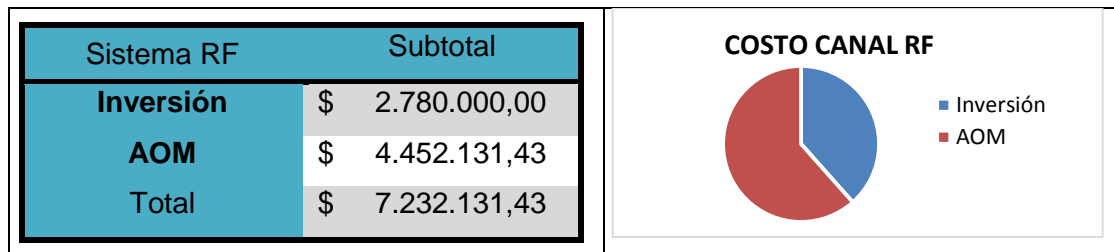
La transmisión por radiofrecuencia tiene muchas ventajas comparadas con otros canales de comunicación, en lo referente a costos de funcionamiento, bajo consumo de energía de los equipos en campo, son confiables en ambientes industriales remotos y bajo condiciones ambientales extremas con bajas o altas temperaturas, nivel de humedad extrema, etc. tiene la ventaja de ser fácil de configurar en cuanto a las ampliaciones de capacidad de canales. Permite manejar un gran número de unidades remotas con un mínimo número de canales de comunicación. Este canal de

comunicación es de bajo costo y fácil mantenimiento, su principal desventaja radica en el alto costo inicial en la implementación de un sistema nuevo. Los sistemas más empleados para aplicaciones en la red de distribución están en la banda de 800 MHz y 900 MHz. En general el sistema vía radio tiene como ventaja la buena confiabilidad y alta disponibilidad si se cuenta con los respaldos necesarios. En la Tabla 3-4 se pueden ver los costos de un canal de comunicación por RF.

Para poder implementar el sistema de comunicación por RF se requieren los siguientes elementos para los cuales se analizaran precios de los equipos con una vida útil de 10 años, como se muestran en Tabla 3-3.

Equipo	Valor	Frecuencia
Radio RF	\$ 2.300.000	Única
Repetidora	\$ 15.000	Mensual
Integración al SCADA	\$ 480.000	Única
Mantenimiento	\$ 210.000	Semestral

**Tabla 3-3 Costos del canal de comunicación por RF**



**Tabla 3-4 Costos del canal por RF para EDEQ S.A ESP**

### 3.5 Descripción y análisis del sistema Fibra óptica-FO

Las fibras ópticas han sido utilizadas ampliamente como un medio de transmisión para redes de comunicaciones de datos basadas en tierra y redes de área local (conocidas por sus siglas en inglés LAN, *Local Area Network*).

El crecimiento de las redes de transmisión (datos y TDM), la demanda de nuevos servicios por parte de los usuarios y la aparición de nuevos operadores de red, exigen que la arquitectura de la red de fibra óptica ofrezca las adecuadas facilidades en

cuanto a flexibilidad y calidad para satisfacer un mercado que está y seguirá cambiando.

La red de fibra óptica debe evolucionar y ser competitiva de tal manera que satisfaga en gran parte los requerimientos de flexibilidad, seguridad, capacidad y manejo de velocidades de transmisión cada vez mayores. Es por esto que se debe explorar nuevas posibilidades de expansión, ya que los actuales esquemas de solución no son totalmente adaptativos a todos los escenarios en donde se puedan brindar servicios de telecomunicaciones; por tal razón se deben introducir infraestructuras de tipo aéreo que puedan brindar nuevas alternativas de acceso y mejorar en términos generales el modelo de negocio del portafolio de servicios que ofrece la compañía [9].

La EDEQ tiene una red de fibra óptica con casi 250 km de cable. Esta red comunica el Edificio Principal de la EDEQ con cada una de las subestaciones y puntos de recaudo ubicados en todo el departamento del Quindío. Como la fibra óptica de EDEQ llega a cada cabecera municipal del departamento del Quindío, se abrió la posibilidad de hacer negocio con esta infraestructura de fibra. De esta manera, se le alquilan hilos oscuros a otras entidades, por ejemplo UNE, Empresa de Telecomunicaciones de Pereira y Policía Nacional.

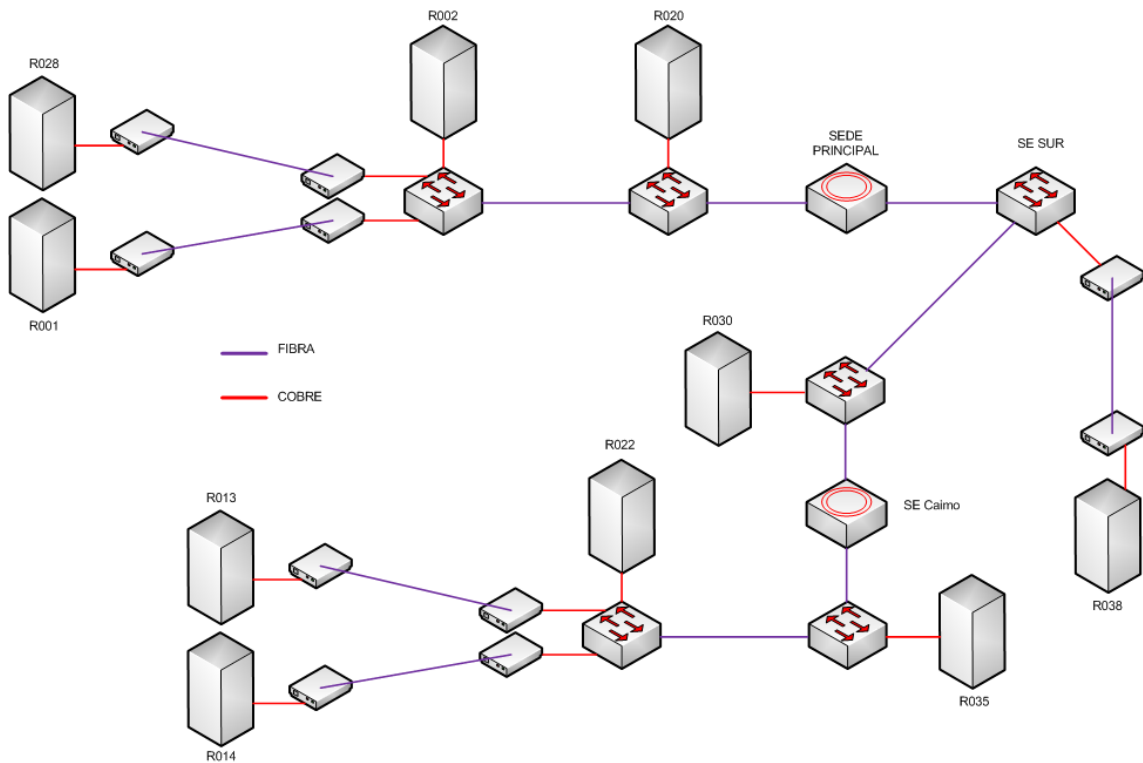
A UNE-ETP se le alquilan hilos oscuros para llevar servicios de televisión e internet a los municipios de Tebaida, Montenegro y Quimbaya, mientras que a la Policía Nacional se le alquilan hilos para cada uno de los 12 municipios del departamento. Adicionalmente, recientemente se entregó un proyecto de fibra a la Policía, que consistía en comunicar las 100 cámaras de vigilancia que se instalaron en la ciudad de Armenia.

Los cables de fibra óptica blindados y dieléctricos se pueden usar en instalaciones aéreas, sin embargo los cables dieléctricos no contienen ningún componente metálico, por tanto tiende a minimizar los relámpagos y evitar el cruce del campo eléctrico desde las líneas de alimentación. Los cables blindados ofrecen protección mecánica adicional contra los ataques de los roedores, pero deben conectarse a tierra [22]. En el anexo 2 se describe el funcionamiento por fibra óptica.

### **3.5.1 Disponibilidad de la red Fibra Óptica**

La tecnología de fibra óptica tiene la limitante del alto costo de inversión inicial debido a que al ser medio físico entre el reconfigurador instalado de la red y el centro de control. Este canal fue implementado por EDEQ SA ESP para anillar las subestaciones de potencia que conforman el SDL, actualmente está en proceso de implementación el canal de fibra óptica para 10 reconfiguradores.

A continuación se presenta un esquema de la forma como se tienen conectados algunos reconfiguradores y subestaciones por fibra óptica. En la Figura 3-8 se observa que en los puntos R002, R020, R030, R022 y R035 se emplearán Switch marca CISCO que sirven de puente y a la vez de "Hub" para el reconfigurador en el punto. Los puntos en la sede principal son el puente de la fibra que llega del R020 y va a la subestación-SE Sur. La SE sur se tomará como nodo de concentración donde se instalará un switch CISCO. Se deben retirar los enrutadores VIOLA donde sea posible (en los reconfiguradores RC10). En la SE Caimo, al igual que en la Sede principal, se realiza un puente de la fibra que llega del R030 y va al R035.



**Figura 3-8 Arquitectura de la conectividad de la fibra óptica en EDEQ S.A ESP**

### 3.5.2 Conexión a la red Fibra Óptica

La principal ventaja de la red de fibra óptica es permitir enviar una gran cantidad de información a velocidades del orden de los Gbps. Para el montaje de la fibra óptica, el OR apalanca la implementación en la infraestructura existente de la red eléctrica, es oportuno dimensionar la red de fibra óptica con hilos oscuros adicionales con el objetivo de ofertar el servicio a entes de gobierno o privado para los servicios de telecomunicación.

### 3.5.3 Implementación de un sistema Fibra Óptica para la red de distribución

La fibra óptica se emplea como medio de transmisión para redes de telecomunicaciones, ya que por su flexibilidad los conductores ópticos pueden agruparse formando cables. Las fibras usadas en este campo son de plástico o de



vidrio, y algunas veces de los dos tipos. Para usos interurbanos son de vidrio, por la baja atenuación que tienen.

Para las comunicaciones se emplean fibras multimodo y monomodo, usando las multimodo para distancias cortas (hasta 5000 m) y las monomodo para acoplamiento de larga distancia. Debido a que las fibras monomodo son más sensibles a los empalmes, soldaduras y conectores, las fibras y los componentes de éstas son de mayor costo que las fibras multimodo [1].

Referente a la instalación y explotación del cable, nos encontramos frente a la cuestión esencial de que tensión es la máxima que debe admitirse durante el tendido para que el cable no se rompa y se garantice una vida útil de unos 20 años. Las técnicas de empalme pueden ser:

- Empalme mecánico con el cual se pueden provocar pérdidas del orden de 0.5 dB.
- Empalme con pegamentos con el cual se pueden provocar pérdidas del orden de 0.2 dB.
- Empalme por fusión de arco eléctrico con el cual se logran pérdidas del orden de 0.2 dB.

Uno de los parámetros claves a la hora de implementar un enlace óptico, es la atenuación (o pérdida) que sufre la señal en el trayecto del enlace, puesto que determina la distancia máxima a la que puede viajar una señal, de manera que se obtenga una recepción aceptable de ésta. Existen tres tipos de pérdidas importantes que se puede dar en la fibra óptica así:

- Pérdidas de Inserción: corresponden a la variación entre la potencia de la señal de salida y la señal de entrada. La idea de este parámetro, es tratar de minimizarlo, es decir, que sea lo más pequeño posible. Esto, se debe a que la pérdida de potencia en un componente cualquiera, sea ínfima. Típicamente, resultados prácticos arrojan aproximadamente un valor entre 0.1 y 1 dB.
- Pérdidas de Retorno: Estas pérdidas corresponden a la variación de potencia entre la señal reflejada y la potencia de la señal de entrada. Una alta pérdida de retorno implica una baja reflexión. Por lo que este parámetro se desea maximizar, es decir,

minimizar las reflexiones en un componente. Típicamente debe estar sobre los 60 dB.

- Aislamiento (Pérdida hacia atrás): Corresponde a la disminución de potencia óptica, en dB, provocada por la inserción de un aislador en sentido inverso. La idea es lograr un aislamiento bien alto, del orden de los 60 dB. Mientras más alto es el valor del aislamiento, el aislador funciona mejor.

Los pulsos de luz de una señal óptica experimentan un incremento en su ensanchamiento y distorsión, cuando éstos viajan a través de la fibra óptica. Esto puede producir una superposición de las colas de los pulsos con el comienzo de los otros, dando como resultado un incremento de errores de detección en el receptor óptico.

Los atributos del enlace se ven afectados por factores ajenos al propio cable de fibra óptica, tales como los empalmes, los conectores y la instalación. Los métodos de estimación de los parámetros necesarios para el diseño del sistema están basados en mediciones, modelos y otras consideraciones. Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de la temperatura, etc.) [24].

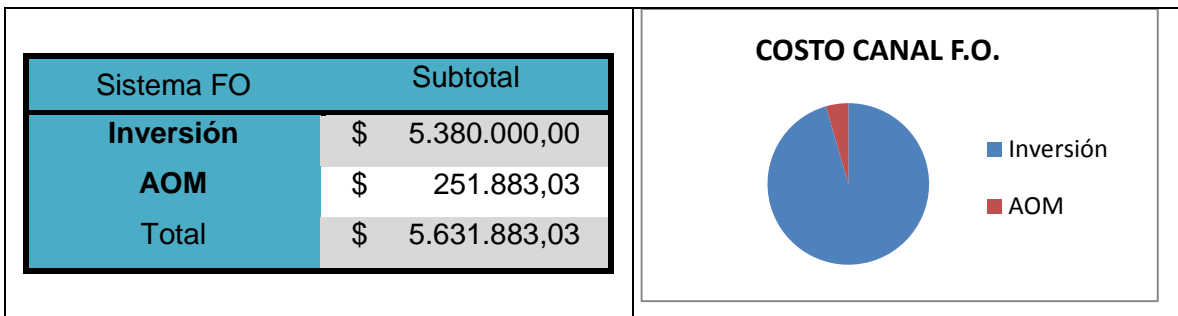
#### **3.5.4 Costos de implementación**

En lo referente a los costos de implementación de la fibra óptica se tienen que aunque es un medio eficaz para transmitir, los costos de instalación son altos comparados con otros medios de comunicación. A continuación se puede observar en la Tabla 3-6 el costo de un canal de comunicación por fibra óptica.

Para poder implementar el sistema de comunicación por F.O. se requieren los siguientes elementos para los cuales se analizaran precios de los equipos para una vida útil de 10 años, como se muestran en Tabla 3-5.

Equipo	Valor	Frecuencia
Fibra óptica	\$ 3.500.000	\$/Km
FPT	\$ 1.400.000	Mensual
Integración al SCADA	\$ 480.000	Única
Mantenimiento	\$ 210.000	5 Años

**Tabla 3-5. Costos del canal de comunicación por F.O.**



**Tabla 3-6 Costos del canal por F.O. para EDEQ S.A ESP**

# CAPÍTULO 4

## 4 ANALISIS DE DATOS TOMADOS GPRS Y RADIOFRECUENCIA

Se tomaron datos de fiabilidad del canal de comunicación por GPRS, Tabla 4-1 y radiofrecuencia-RF, Tabla 4-2 dando como resultado una mejor confiabilidad en el canal GPRS pero con el inconveniente, en algunos casos, que puede haber pérdida de conectividad del operador del canal trayendo como consecuencia pérdida de datos y cuando se trata de atención en tiempo real se requiere información de forma inmediata.

No	Reconector	Circuito	Tipo de Control	Estado	Tecnología Actual	Protocolo	Confiabilidad			Tiempo de respuesta		
							Enviados	Recibidos	Disponibilidad del canal	Min. (ms)	Máx. (ms)	Prom (ms)
1	R-003	Subterrá 3	RC-01	NC	GPRS	DNP3 serial	257485	250471	97.28%	263	2059	355
2	R-004	Subterrá 3	RC-01	NC	GPRS	DNP3 serial	270042	266570	98.71%	261	2069	363
4	R-006	Circuito 1	RC-01	NC	GPRS	DNP3 serial	276884	274076	98.98%	261	2026	333
5	R-007	Circuito 1	RC-01	NC	GPRS	DNP3 serial	276610	273730	98.95%	260	2020	337
7	R-009	Montene 1	RC-01	NC	GPRS	DNP3 serial	270993	267571	98.74%	252	2070	371
8	R-011	Quimbaya 2	RC-01	NC	GPRS	DNP3 serial	278335	275166	98.86%	259	2045	348
10	R-015	Tebaida	RC-01	NA	GPRS	DNP3 serial	256434	249319	97.23%	250	2077	413
11	R-016	Herradura	RC-01	NC	GPRS	DNP3 serial	270829	267303	98.70%	251	2032	367
12	R-017	Herradura	RC-01	NC	GPRS	DNP3 serial	270390	266129	98.42%	256	2061	361
13	R-026	Pueblo Tapao	RC-10	NC	GPRS	DNP3 TCP/IP	274513	271422	98.87%	232	2037	360
14	R-027	Yulima	RC-10	NC	GPRS	DNP3 TCP/IP	270401	265650	98.24%	232	2048	363
15	R-029	Ciudad Dorada	RC-10	NC	GPRS	DNP3 TCP/IP	279389	276457	98.95%	233	2063	350
16	R-031	Campestre	RC-10	NC	GPRS	DNP3 TCP/IP	276222	273557	99.04%	218	2058	384

Tabla 4-1. Comprobación fiabilidad del canal GPRS

No	Reconectador	Circuito	Distancia (Km)	Estado	Tecno. Actual	Confiabilidad			Tiempo de respuesta		
						Enviados	Recibidos	Disponibilidad del canal	Mín. (ms)	Máx. (ms)	Prom. (ms)
1	R-062	Hojas Anchas	3.99	NC	RF	53545	52151	98%	47	3092	110
2	R-063	Acacias	11.07	NC	RF	156430	141243	91%	47	3992	141
3	R-064	Quimbaya 1	33.41	NC	RF	77451	75747	98%	47	1213	108
5	R-066	Corbones	9.46	NC	RF	33803	33295	99%	47	1257	102
6	R-067	La Cima	16.06	NC	RF	115378	91463	80%	46	3294	253
7	R-068	Límites	5.06	NC	RF	45770	44777	98%	47	1012	107
8	R-069	Ind. Cabaña	1.43	NC	RF	45505	42102	93%	20	1163	120
9	R-070	El mesón	21.75	NC	RF	45996	45075	98%	47	1124	108
11	R-072	La Floresta	1.33	NC	RF	28047	28047	100%	23	443	43
12	R-073	Quindos	13.63	NC	RF	51102	49892	98%	47	1760	126
13	R-074	Recreo	9.07	NC	RF	33918	33581	99%	47	1044	99

**Tabla 4-2-Comprobación fiabilidad del canal RF**

En lo referente a la RF es muy eficiente y económica pero se debe tener en cuenta la buena disposición de las antenas teniendo línea de vista entre el reconectador y las antenas repetidoras o con el edificio principal. En cuanto a los datos tomados se notó que el reconectador R-067 comunicado por radiofrecuencia no presenta buena comunicación, lo que se puede ver en la Tabla 4-2, a este reconectador en especial se le hicieron 3 análisis dando resultados similares, a lo cual se llega a la conclusión de que la antena puede estar mal direccionada o se puedan tener pérdidas por ser un tramo tan largo. Se debe tener en cuenta que a medida que se incremente la distancia entre el receptor y el emisor se deben incrementar las estaciones repetidoras debido a que las ondas van perdiendo intensidad a medida que se propagan debilitando la señal. Estas estaciones se encargarán de recibir la señal y amplificarla eliminando posibles interferencias para que lleguen a su destino en condiciones óptimas.

En lo referente a las pruebas se deben hacer individualmente puesto que cuando se hacen en conjunto los resultados son erróneos. Para este tipo de análisis, inicialmente, se hicieron pruebas en grupo tratando de tomar mayor cantidad de datos en menos

tiempo y se concluyó que el porcentaje de fiabilidad era muy bajo, al repetirlos en los mismos reconectores pero de forma individual se logró un porcentaje de fiabilidad muy bueno, lo que confirma que el análisis debe hacerse de forma individual. En anexos se pueden ver algunos de los resultados que arroja el análisis y se observa que el canal de fibra óptica presenta fiabilidad del 100%.

## CONCLUSIONES

- Los problemas de los equipos de protección convencionales son: tiempo de cierre lento por ser manuales, uso de equipos adicionales para poder automatizar el cierre de estos equipos, incapacidad de no poder registrar los eventos y localizar las fallas, el uso de aislantes que crea subproductos tóxicos, dependencia de la tensión del circuito principal, entre otros. Los reconectores usan cámaras de extinción de arco en vacío, que son libres de mantenimiento y a su vez el costo de mantenimiento se reduce a cero.
- El resultado de la automatización ha dado una nueva generación de equipos de maniobra bajo la filosofía de las Smart Grids como es el reconector que proporciona la confiabilidad de materiales modernos y la tecnología para redes de distribución. El reconector es un dispositivo de interrupción (interruptor) de carga eléctrica, con posibilidad de recierre automático ajustable, supervisión y operación tele comandada.
- La comunicación por GPRS es una buena solución cuando se trata de comunicar sistemas que no requieren atención inmediata puesto que no se puede tener el canal disponible al 100%, un ejemplo de ello es el poder atender reportes de medidores en donde se logra la información del momento en que se dio el evento debido a los datos recuperados en memoria. Para el caso de los reconectores la comunicación por GPRS es solo aplicable en algunos sectores donde se maneja mejor una mejor cobertura del proveedor del servicio de telefonía.
- Este sistema utiliza la infraestructura existente en líneas telefónicas, sin muchas inversiones iniciales. Su principal inconveniente es la demora en el restablecimiento del servicio en caso de fallas en la red telefónica. Para el caso de manejo de información en tiempo real es práctico, se utiliza en la gran mayoría de los casos como respaldo al sistema principal.
- La radiofrecuencia presenta la ventaja de poderse comunicar dentro de la zona de cobertura sin estar atados a un cable, se requiere poca planificación frente a las redes cableadas, los receptores son pequeños y por lo tanto se pueden trasladar fácilmente.

- Cuando hay algún obstáculo entre el receptor y el transmisor obstaculizando la línea de vista de las antenas, sigue pasando un poco de energía a través de las antenas gracias al fenómeno de difracción en el borde del obstáculo. Cuanta más alta sea la frecuencia, más alta será la pérdida.
- La comunicación por radiofrecuencia tiene muchas ventajas comparadas con otros canales de comunicación, en lo referente a costos de funcionamiento, bajo consumo de energía de los equipos en campo, son confiables en ambientes industriales remotos y bajo condiciones ambientales extremas con bajas o altas temperaturas, nivel de humedad extrema, etc. Este canal de comunicación es de bajo costo y fácil mantenimiento donde el usuario mismo lo puede hacer.
- El canal de comunicación por radio frecuencia-RF proporciona a un usuario de una LAN acceso a la información en tiempo real en cualquier lugar dentro una zona limitada en el que están desplegadas. Este canal es excelente para comunicarse pero no es lo suficientemente confiable puesto que se requiere, para su comunicación que haya línea de vista, en caso de haber algún obstáculo, la comunicación falla.
- Una de los inconvenientes que se tienen en la instalación de la fibra es el vandalismo, ya que a medida que se va instalando la fibra se tienen ataques a la infraestructura con el fin de sacarle el cobre que se cree pueda tener, pero al ver que no lo tiene dejan el cable tirado en el suelo logrando con ello hacer solo el daño.
- Es un sistema altamente confiable que se mejora con la redundancia de los equipos de terminales múltiples (multiplex), que permite el manejo de grandes volúmenes de información a altas velocidades.
- Entre las características que hacen la alternativa más ventajosa se pueden citar características tales como: Insensibilidad a interferencias, poca atenuación, alta velocidad y capacidad de transmisión, gran ancho de banda (se dice que es "ilimitado").
- Las fibras monomodo tiene la menor atenuación y por lo tanto el mayor ancho de banda de todos los tipos de fibra óptica, tienen alcance hasta por lo menos los 10 km, pero con la desventaja de que la electrónica de transmisión, recepción y repetición también es más cara que la de los sistemas multimodo, se precisan



emisores láser más potentes y sofisticados. Debido a que el núcleo es mucho más estrecho que en las fibras multimodo, la conexión entre dos fibras tiene que ser mucho más precisa, encareciendo los conectores y el costo del cable en general.

## RECOMENDACIONES

- Cuando se instalen redes GPRS con más de 50 elementos, es necesario negociar con el proveedor de servicios la posibilidad de obtener una mejor prioridad en el transporte de los datos sobre el transporte de la voz. En caso de que el tráfico ofrecido a la interfaz de radio GPRS esté próximo a la capacidad del canal, los parámetros de la calidad del servicio se degradan considerablemente.
- Respecto a inconvenientes en cuanto a instalación y tendido de fibra óptica, hay que tener en cuenta que la infraestructura de fibra óptica de EDEQ, en su gran mayoría, es aérea y el resto es canalizada.
- Otro inconveniente resaltable, es la cantidad de cables en la postería y ductos subterráneos. Si el poste posee, además de las líneas de energía, demasiados cable operadores limita el espacio para la instalación de los herrajes lo que haría que la red quedara mal tendida.
- Para ayudar a solucionar el inconveniente de la falta de línea de vista se pueden colocar repetidores logrando formar una red de comunicación por este canal. Dependiendo de la frecuencia de la onda, de la hora del día y de las condiciones atmosféricas, una señal puede rebotar varias veces antes de llegar a un receptor.
- Se debe tener en cuenta que a medida que se incremente la distancia entre el receptor y el emisor se deben incrementar las estaciones repetidoras debido a que las ondas van perdiendo intensidad a medida que se propagan debilitando la señal. Estas estaciones se encargarán de recibir la señal y amplificarla eliminando posibles interferencias para que lleguen a su destino en condiciones óptimas.
- Teniendo en cuenta que la atenuación es la reducción de la potencia de la señal óptica con la distancia y tiene una relación inversa con el ancho de banda, se debe tener especial cuidado con los límites de distancia máxima puesto que pueden afectar la detección de los pulsos luminosos afectando su ancho de banda, que es la capacidad de transportar información que tiene una fibra. Si los pulsos se distorsionan demasiado, el detector no podrá distinguir un pulso del anterior y del siguiente, con lo que se pierde información.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ANDREULA, L. (2010). Red de monitoreo y supervisión de las variables eléctricas en sub-estaciones.
- [2] Ángel Silos, E. U. (2013). Inteligencia distribuida en la red eléctricas: soluciones Self-Healing. *Energética XXI*, 7-9.
- [3] ARAUJO, G. C., & ESPINOSA, D. R. (2008). *Redes Inalámbricas para Zonas Rurales*. Perú: Creative Commons Perú.
- [4] C. J. Zapata, J. D. (2010). The rapair process of five Colombian power distribution systems.
- [5] CHAMORRO, L., & BARBOSA, A. (2011). Espectro abierto para el desarrollo estudio caso: Colombia. Colombia: Asociación para el Progreso de las Comunicaciones (APC).
- [6] EDEQ, C. (s.f.). Reseña histórica. Recuperado el 27 de Enero de 2015, de <http://www.edeq.com.co/contenido/contenido.aspx?catID=498&conID=811>
- [7] EDEQ, U. d. (2014 de Febrero de 2013). Resumen ejecutivo. Recuperado el noviembre de 2104, de [http://www.edeq.com.co/documentos/Informes%20de%20Gestion/2013/Informe\\_de\\_Sostenibilidad\\_EDEQ\\_2013\\_resumen\\_ejecutivo.pdf](http://www.edeq.com.co/documentos/Informes%20de%20Gestion/2013/Informe_de_Sostenibilidad_EDEQ_2013_resumen_ejecutivo.pdf)
- [8] ESPINOSA R, A., GONZALEZ C, S., & SIERRA R, B. (2011). Automatización de la distribución presente y futuro. *Boletín IIE*, 47-55.
- [9] ETB. (2007). *Políticas para red de fibra óptica aérea*. Bogotá.
- [10] GARCÉS, A., GOMÉZ CARMONA, O., & GONZÁLEZ ARIAS, A. (2008). Mejoramiento de la confiabilidad en sistemas de distribución mediante reconfiguración de alimentadores. *Scientia et Technica Año XIV, No 38*, Universidad tecnológica de Pereira, 1-3.

- [11] GOBIERNO, e. I. (17 de 11 de 2014). Preguntas y respuestas frecuentes de Espectro Radioeléctrico en Colombia.
- [12] GONZÁLEZ, X. R., & MENESES, C. G. (2008). Estimación de curvas de carga en transformadores eléctricos mediante redes neuronales. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 76-79.
- [13] HARRIS, C. (2008). Comunicaciones de radio en la era digital Volumen dos: Tecnología VHF / UHF. 20-21. Estados Unidos de América.
- [14] LANDYS, G. m. (2010). Automatización de Distribución. Estados Unidos.
- [15] Ministerio, d. T. (2010). Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencia. Colombia.
- [16] Networks., S. S. (2011). Por qué el espectro sin licencia domina la red ineligente. Networks., Silver Spring, 3-4.
- [17] Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica. (2005). Smart Grids y la evolución de la red eléctrica. Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. , 20-22.
- [18] PULGARIN, C., & MURILLO, F. (2011). Informe de la operación real versus el planeamiento de la localización óptima de reconectores para aislamiento de falla. Armenia: EDEQ SA ESP.
- [19] PULGARIN, C., PORRAS, J., GIRALDO, F., & Rivera, H. (2013). Identificación de pérdidas no técnicas de energía en sistemas de distribución mediante aplicación de técnicas de análisis y visualización de información. Pulgarín, CA.; Porras, JA.; Giraldo, F.; Rivera, H; "Identificación de pérdidas no técnicas de energía en sistemas de distribuci X Jornadas de Distribución Nacionales ASOCODIS-.
- [20] PULGARIN, C., PORRAS, J., GRANADA, M., & HINCAPIÉ, R. (2013). Diseño y analisis de la automatización de la distribución en el sistem de distribución local- SDL del la

Empresa de Eneergía del Quindío SA ESP. Congreso Internacional en Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico (págs. 1-8). Habana-Cuba: ALTAE.

- [21] RES 097 Min. Minas y Energía Colombia, M. d. (26 de Sept de 2008). Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución No. 097 de 2008. Colombia.
- [22] Técnicas digitales, f. ó. (s.f.). Recuperado el 7 de Noviembre de 2014, de sitio web de seguridad aérea: [http://www.seguridadaerea.gob.es/media/3785415/modulo05\\_cap10.pdf](http://www.seguridadaerea.gob.es/media/3785415/modulo05_cap10.pdf)
- [23] UDLAP, B. (7 de Noviembre de 2014). Conceptos de radiofrecuencia. Puebla, Mexico. Recuperado el 7 de Noviembre de 2014, de Conceptos de Radiofrecuencia: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/nocedal\\_d\\_jm/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/capitulo1.pdf)
- [24] UIT-T, U. I. (2007). Características de las fibras y cables con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha. Zuiza.
- [25] WILLIAMS, C., McCarthy, C., & Cook, C. (2008). Adaptando la confiabilidad de alimentador de distribución para optimizar el costo por minute ahorrado al cliente. Syc Electric company, Mundo eléctrico, No 76.
- [26] ZAPATA, C. J., BuBUIRAGO, r. O., & SILVA, s. C. (2013). Valoración del desempeño del proceso de reparaciones en un sistema de distribución de electricidad. Scientia et Technica Año XIII, 1-6.

## ANEXO 1:

### El funcionamiento del sistema Radio frecuencia-RF

La comunicación por radiofrecuencia tiene lugar cuando una señal, en el rango de 30kHz a 300Ghz, se propaga de transmisor a receptor. Entre estos últimos no siempre existe lo que se conoce como línea de vista o LOS (line-of-sight) y la señal sufre diversos efectos antes de llegar a su destino. Las comunicaciones de radio de largo alcance, más allá de la línea de vista, tienen lugar en el rango de alta frecuencia (HF) de 1,6 a 30 MHz. Diferentes porciones de esta banda se asignan para servicios específicos de radio, bajo acuerdos internacionales [13].

Se dice que hay línea de vista cuando no existen obstáculos entre el transmisor y el receptor en una ruta directa. Al no existir línea de vista, la transmisión es multiruta. En una transmisión de este tipo la señal sufre efectos como difracción, refracción, reflexión y dispersión, los cuales provocan que la comunicación entre el transmisor y el receptor se complete por diferentes trayectorias [23].

La difracción ocurre cuando la señal cambia de dirección al borde de un obstáculo. A pesar de provocar pérdidas este fenómeno ayuda a la transmisión de la señal cuando no se tiene línea de vista. Por otro lado, la refracción también tiene como consecuencia el cambio de dirección; sin embargo, esta se da cuando la señal pasa de un medio a otro. La refracción se produce siempre y cuando los dos medios tengan un índice de refracción distinto. Siempre que exista refracción se produce otro fenómeno conocido como reflexión. Sin embargo, no siempre existe refracción cuando se da la reflexión. La reflexión de una señal se da cuando la señal choca con un objeto de dimensiones mucho mayores a las de la longitud de onda, lo que provoca que un porcentaje sea transmitido y otro sea reflejado. En el caso de conductores excelentes, la reflexión es total. Es decir, no se refracta la señal y por tanto las pérdidas son menores. La dispersión ocurre cuando la señal choca con objetos de dimensiones pequeñas pero numerosas entre sí, como pueden ser arbustos y señalamientos. Al chocar la señal, ésta se refleja en varias direcciones y puede ser que se provoque un cambio en

frecuencia y polarización de la onda electromagnética. La dispersión solamente se da cuando la señal choca con una superficie rugosa. En el caso de hacerlo con una superficie lisa, el fenómeno que tiene lugar es la reflexión.

Para recibir las señales de radio se debe utilizar una antena. Sin embargo, puesto que la antena va a recoger miles de señales de radio a la vez, se hace necesario un sintonizador a una frecuencia particular. Esto se hace normalmente a través de un resonador, que en su forma más simple es un circuito con un condensador y un inductor que forma un circuito sintonizado. El resonador amplifica las oscilaciones dentro de una banda de frecuencia en particular, mientras que la reducción de oscilaciones en otras frecuencias fuera de la banda.

Una antena es un sistema conductor capaz de radiar y capturar ondas electromagnéticas. Las antenas son usadas como interfaz entre un dispositivo guía y el espacio libre tanto para transmisión como para recepción. El tamaño de las antenas es muy importante. Éste está relacionado con la longitud de la señal y es por lo general un submúltiplo exacto de ésta. Es por eso que a mayores frecuencias, el tamaño de la antena es menor, es decir, son inversamente proporcionales.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (\text{A-1})$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de la onda,  $v$  es la velocidad de la luz y  $f$  es la frecuencia de operación. En EDEQ se emplean, para la transmisión por radiofrecuencia dos tipos de antenas así: antenas Yagui figura 1 y antenas omnidireccionales figura 2.

La potencia es uno de los factores fundamentales al momento de transmitir. Se trata de la potencia que es capaz de proporcionar la etapa final de amplificación de RF del transmisor. Su unidad de medida es el vatio (W), aunque también suele expresarse en forma logarítmica como decibelios por mili vatio (dBm). En los equipos de HF suele ser del orden de las centenas de vatios, mientras que en los de VHF/UHF es del orden de

decenas de vatios. Obviamente, interesa que sea lo más elevada posible, sin sobrepasar los límites establecidos por la administración competente.



**Figura 1 Antena Yagui utilizada en EDEQ**



**Figura 2 Antena Omnidireccional utilizada en EDEQ**

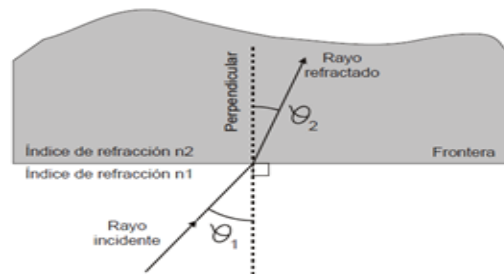


## ANEXO 2:

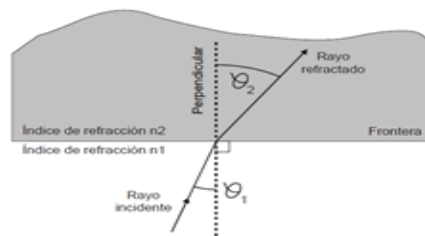
### El funcionamiento de la red Fibra Óptica

Esencialmente, una fibra óptica consiste en un núcleo cilíndrico de sílice rodeado de un revestimiento cristalino. La fibra actúa como un canal (o como una guía de ondas) a lo largo del cual una onda electromagnética puede pasar con muy pocas pérdidas. El funcionamiento de la fibra está regido por las leyes fundamentales de la reflexión y de la refracción. Por ejemplo, cuando una onda luminosa (o rayo luminoso) pasa de un medio con un índice de refracción mayor a uno menor, la onda (o el rayo) se dobla hacia la perpendicular de la superficie que separa ambos medios, como se muestra en la figura 3 (a).

Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que no atraviese el revestimiento, sino que se refleje y se siga propagando. Esto se consigue si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite [1].



(a) Refracción hacia la perpendicular ( $n_2 > n_1$ )

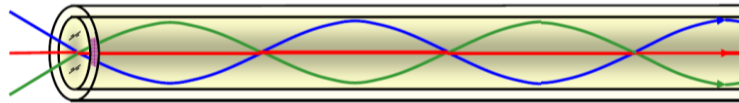


(b) Refracción alejándose de la perpendicular ( $n_2 < n_1$ )

Figura 3 Refracción de un rayo de luz en la frontera de dos materiales

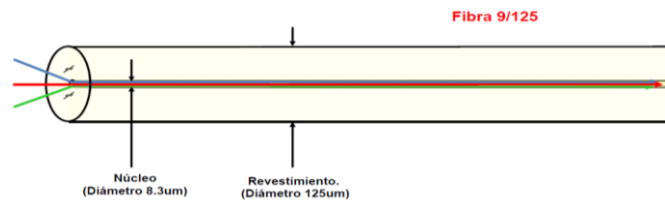
Igualmente, cuando el rayo de luz pasa desde un medio con un índice de refracción menor a otro mayor, el rayo se aleja de la perpendicular a la superficie que separa ambos medios, como se muestra en la figura 3 (b) [22].

Para ilustrar de una forma más clara la manera como recorre el haz de luz el conductor se muestran algunas figuras. Aunque los modos azul y verde recorran una mayor distancia, comparados con el rojo, la variación gradual de índice modera su velocidad de tal forma que la llegada sea simultánea. Todos los modos sufren el mismo retardo, lo que elimina en gran parte el efecto de dispersión. En la Figura 4 se muestra el efecto mencionado.



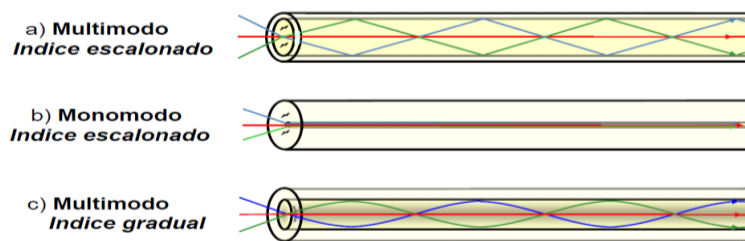
**Figura 4 En la fibra óptica multimodo-perfil de índice gradual**

En la Figura 5 se puede observar el comportamiento de la luz en una fibra óptica monomodo.



**Figura 5 Fibra óptica monomodo**

La Figura 6 muestra el resumen de los tipos de fibra óptica y los perfiles de índice.



**Figura 6 Tipos de fibra óptica y perfiles de índice**

Fuente: <http://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/Tipos%20de%20Fibra%20y%20perfiles.pdf>

Las fibras ópticas ofrecen algunas ventajas significativas sobre los cables convencionales de cobre, como por ejemplo:

- Son capaces de soportar grandes anchos de banda a altas velocidades de transmisión de datos.
- Están relativamente libres de la interferencia electromagnética.
- Tienen un reducido ruido y cruce de datos comparados con los cables de cobre convencionales.
- Tienen relativamente valores bajos de atenuación debido al medio de transmisión.
- Tienen una alta fiabilidad junto con una larga vida operativa.
- Tienen aislamiento eléctrico y están libres de conexión a tierra.
- Tamaño, peso, flexibilidad. Las fibras ópticas tienen diámetros muy pequeños. Un número muy grande de cables puede llevarse en un cable del espesor de un cable coaxial. Por poner un ejemplo, un cable de 10 fibras tiene un diámetro entre 8 a 10 mm y proporciona la misma o mayor información que una troncal de 10 cables coaxiales.
- Aislamiento eléctrico. Las fibras ópticas son casi completamente inmunes a los campos externos. Ellos no padecen diafonía (cross talk), radiointerferencia, etc. Además no transporta corrientes eléctricas peligrosas.
- Seguridad. Una línea óptica es difícil de chuzar sin que pase inadvertido. Esto debido a que es un medio dieléctrico y la luz no es sensible a ningún fenómeno de tipo inductivo.
- Baja pérdida de transmisión. El valor de atenuación es independiente de la velocidad de transmisión de las señales, aunque dicha atenuación si es dependiente de los parámetros físicos, siendo más importante la longitud de onda a la que se transmite.
- Gran rango de temperatura de trabajo, riesgo de incendio nulo. Mantenimiento reducido y descenso de costos.

Las fibras ópticas tienen algunas desventajas:

- Necesidad de un alto grado de precisión cuando se conectan cables y terminales o conectores.

- 
- La desventaja principal de la fibra es la dificultad técnica asociada con las conexiones fiables y baratas, y el desarrollo de una tecnología de circuitos ópticos que puede igualar el potencial de la tasa de datos de los cables.
  - No puede transmitir electricidad para alimentar repetidores intermedios.
  - No existen memorias ópticas.
  - Necesidad de utilizar transmisores y receptores más caros.
  - Necesidad de tener en cuenta la resistencia mecánica de las fibras y la necesidad de asegurar que las curvas que dan los cables tengan radios suficientemente grandes para minimizar las pérdidas o la posibilidad de daños a las fibras [1].

## ANEXO 3:

Registro de algunos datos tomados para comprobar la fiabilidad de los canales de comunicación

### a. Datos tomados respuesta del canal por radiofrecuencia

```
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=60ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=56ms TTL=64
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=580ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=64ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=85ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=72ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=80ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=60ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=133ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=514ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=398ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=81ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=81ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=73ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=86ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.66: bytes=32 tiempo=85ms TTL=64

Estadísticas de ping para 10.43.220.66:
  Paquetes: enviados = 33803, recibidos = 33295, perdidos = 508
    (1% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 47ms, Máximo = 1257ms, Media = 102ms
Control-C
^C
C:\Documents and Settings\Administrador>
```

```
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=140ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=93ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=118ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=142ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=126ms TTL=64
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=152ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=161ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=68ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=574ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=144ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=56ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=92ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=94ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=138ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=142ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=92ms TTL=64
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=61ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=113ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=127ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.63: bytes=32 tiempo=66ms TTL=64

Estadísticas de ping para 10.43.220.63:
  Paquetes: enviados = 156430, recibidos = 141243, perdidos = 15187
    (9% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 47ms, Máximo = 3992ms, Media = 141ms
Control-C
^C
```

## b. Datos tomados respuesta del canal por GPRS

```
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=82ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=87ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=59ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=71ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=99ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=63ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=87ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=91ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=67ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=304ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=79ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=119ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=80ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=121ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=72ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=75ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=124ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=72ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=89ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=112ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=60ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=324ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=69ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.38: bytes=32 tiempo=61ms TTL=64

Estadísticas de ping para 10.43.220.38:
  Paquetes: enviados = 47562, recibidos = 47164, perdidos = 398
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 46ms, Máximo = 1160ms, Media = 104ms
Control-C
^C
C:\Documents and Settings\Administrador>
```

```
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=177ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=66ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=101ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=60ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=417ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=53ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=61ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=73ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=83ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=109ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=98ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=110ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=103ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=62ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=70ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=82ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=59ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=78ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=91ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=115ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=51ms TTL=64
Respuesta desde 10.43.220.30: bytes=32 tiempo=133ms TTL=64

Estadísticas de ping para 10.43.220.30:
  Paquetes: enviados = 33173, recibidos = 32702, perdidos = 471
  (1% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 48ms, Máximo = 1043ms, Media = 103ms
Control-C
^C
C:\Documents and Settings\Administrador>
```

## c. Datos tomados respuesta del canal por fibra óptica en subestaciones

```
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=3ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=3ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=4ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=3ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=2ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.60: bytes=32 tiempo=4ms TTL=60

Estadísticas de ping para 10.43.206.60:
  Paquetes: enviados = 59651, recibidos = 59614, perdidos = 37
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 1ms, Máximo = 105ms, Media = 3ms
Control-C
^C
C:\Documents and Settings\Administrador>
```

```
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60
Respuesta desde 10.43.206.9: bytes=32 tiempo=1ms TTL=60

Estadísticas de ping para 10.43.206.9:
  Paquetes: enviados = 172216, recibidos = 172124, perdidos = 92
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 1ms, Máximo = 144ms, Media = 1ms
Control-C
^C
C:\Documents and Settings\Administrador>
```