

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES ENTRE LAS REMOTAS UBICADAS EN LAS SUBESTACIONES DEL ESTADO MIRANDA HASTA EL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL, UBICADO EN EL CENTRO DE OPERACIONES DE DISTRIBUCIÓN

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al título de Ingeniero Electricista
por el Br. Jimbert Fuentes**

Caracas, 2017

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES ENTRE LAS REMOTAS UBICADAS EN LAS SUBESTACIONES DEL ESTADO MIRANDA HASTA EL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL, UBICADO EN EL CENTRO DE OPERACIONES DE DISTRIBUCIÓN

Prof. Guía: Ing. Carolina Regoli

Tutor Industrial: Ing. Aris Gavidia

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al título de Ingeniero Electricista
por el Br. Jimbert Fuentes**

Caracas, 2017

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas. 14 de noviembre de 2017

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Jimbert A. Fuentes F., titulado:

“PROPUESTA DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES ENTRE LAS REMOTAS UBICADAS EN LAS SUBESTACIONES DEL ESTADO MIRANDA HASTA EL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL, UBICADO EN EL CENTRO DE OPERACIONES DE DISTRIBUCIÓN”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Carlos Moreno
Jurado

Prof. Francisco Varela
Jurado

Prof. Carolina Regoli
Prof. Guía

DEDICATORIA

A Diana, Fabiana y Aiskelly, porque todos mis logros han sido, son y serán para ustedes, para que tengan presente que la perseverancia puede superar cualquier obstáculo y puedan cumplir todas sus metas, las amo.

A Marcial Fernández, Abuelo, gran parte de este logro es tuyo, porque todos los valores que me enseñaste son los que me convirtieron en la persona que soy ahora.

A mi Madre y mis Hermanas, porque siempre las tengo presente en todo lo que hago.

A Pablito y Fede, porque cada uno, en su momento, me abrió las puertas de su hogar y de su corazón.

AGRADECIMIENTOS

A Diana, Fabiana y Aiskelly, por el apoyo que me brindaron en todo momento y todos los esfuerzos y sacrificios que hicieron conmigo y por mí, para poder lograr este objetivo, millones de gracias.

A todos mis familiares que creyeron en mí en todo momento, en especial a Elena, Andrea, Sofía, Marcial, Harold y Zobeida quienes siempre me impulsaron y apoyaron para que pudiera cumplir esta meta.

A todos mis compañeros de estudios, porque cada uno de una u otra manera contribuyeron en esto.

A la Profesora Carolina Regoli, por brindarme su apoyo y sus conocimientos en todo momento y el esfuerzo realizado para lograr este objetivo.

A la Profesora María Eugenia Álvarez, por brindarme su apoyo y sus conocimientos en todo momento.

Al personal de CORPOELEC involucrado en este proyecto, en especial al Ing. Ramón Rosales, Ing. Antonio Rizzo, Ing. Adriana Ferro quienes fueron los que impulsaron el proyecto y me brindaron la oportunidad. Y al personal del COD Miranda en especial al compañero Jesús Delgado, por todo el apoyo y por el excelente trato en mis visitas.

A la Ing. Aris Gavidia por brindarme apoyo y conocimiento en todo momento.

A todos mis compañeros de la Gerencia General de Seguimiento y Control y a mis compañeros del MPPEE, por el apoyo recibido para realizar este proyecto.

Al Ing. Carlos Borges por todo el apoyo y por las oportunidades que me ha brindado.

¡A todos, Gracias!

Fuentes F., Jimbert A.

**PROPUESTA DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES ENTRE
LAS REMOTAS UBICADAS EN LAS SUBESTACIONES DEL
ESTADO MIRANDA HASTA EL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y
CONTROL, UBICADO EN EL CENTRO DE OPERACIONES DE
DISTRIBUCIÓN**

**Prof. Guía: Carolina Regoli. Tutor industrial: Ing. Aris Gavidia. Tesis. Caracas, U.C.V.
Facultad de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción:
Comunicaciones. Institución: CORPOELEC S.A., 2017. 63h+ anexos**

Palabras claves: Automatización de Subestaciones, Enlaces de Comunicación, SCADA.

Resumen.- El Sistema Eléctrico Nacional es muy complejo; debido a los diversos niveles de tensión que maneja y las complicadas interconexiones que posee, todo este proceso requiere de una optimización en los tiempos de respuesta ante cualquier evento que pueda suceder en el sistema y particularmente en las subestaciones, que pueden afectar en la operación de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica. Por ello, este trabajo se enfoca en el proceso de automatización de las Subestaciones Eléctricas, teniendo como principal objetivo la integración de los equipos eléctricos que se encargan de la operación dentro de las subestaciones con el sistema SCADA, específicamente del estado Miranda. Para ello se realizaron visitas a cada subestación de distribución del estado Miranda, con el fin de recopilar toda la información referente a los equipos, para determinar los parámetros que se pueden medir. Una vez conocidos los equipos instalados en cada subestación, se estudiaron los canales de comunicaciones tanto públicos como privados instalados o cerca de cada subestación, y finalmente, se realizó una propuesta para el canal de comunicaciones entre cada subestación y el COD del estado Miranda.

LISTA DE ACRÓNIMOS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line.
COD	Centro de Operaciones de Distribución
CORPOELEC	Corporación Eléctrica Nacional
DNP	Distributed Network Protocol / Protocolo de Red Distribuida
GHz	Giga-hertz
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications / Sistema global para las comunicaciones móviles.
IED	Intelligent Electronic Device / Dispositivo electrónico inteligente
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers / Instituto para los Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
IP	Internet Protocol / Protocolo de Internet.
ISP	Internet Service Provider / Proveedor de servicio de Internet.
ITU	International Telecommunication Union / Unión Internacional Telecomunicaciones.
LAN	Local Area Network / Red de área local.
MAC	Media Access Control / Control de acceso al medio.
MB	Megabytes
Mbps	Megabits per second / Megabit por segundo
MPPEE	Ministerio para el Poder Popular de Eneregía Eléctrica
MTU	Master Terminal Unit / Unidad Terminal Maestra
OSI	Open System Interconnection / Modelo de interconexión de sistemas abiertos.
RF	Radio Frecuencia
RTU	Remote Terminal Unit / Unidad Terminal Remota

SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition / Sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos
SIM	Subscriber Identity Module / Módulo de Identificación de Suscripción
TDM	Time Division Multiplexing / Multiplexación por división de tiempo
UPS	Uninterruptible Power Supply / Sistema de alimentación ininterrumpida
VPN	Virtual Private Network / Red virtual Privada.

ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE ACRÓNIMOS	vii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
ASPECTOS GENERALES	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Justificación	4
1.3 Objetivo general	5
1.4 Objetivos específicos.....	5
1.5 Metodología de la investigación	6
CAPITULO II.....	7
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1 Sistema de Potencia	7
2.1.1 Estructura de un Sistema de Potencia.....	8
2.1.2 Planta de Generación	8
2.1.3 Subestaciones Eléctricas	9
2.1.4 Sistemas de Protecciones.....	9
2.1.5 Líneas de transmisión.....	10
2.1.6 Distribución	10
2.2 Automatización de Subestaciones	11
2.2.1 Niveles de Automatización.....	11
2.3 SCADA.....	13
2.4 Canales de Comunicación	13
2.5 Fibra Óptica	14
2.5.1 Elementos de una Fibra Óptica	15

2.6 GPRS	17
2.7 ADSL.....	18
2.8 VPN.....	19
2.9 Ethernet.....	20
2.10 Dispositivo electrónico inteligente (IED)	21
2.11 Unidad Terminal Remota (RTU).....	21
2.12 Protocolos de Comunicación.....	22
2.12.1 Modbus	22
2.12.2 DNP 3.0.....	23
2.12.3 IEC61850.....	24
CAPITULO III.....	25
3. RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	25
3.1 Recopilación de la información	25
3.2 Formato de Visitas a Subestaciones.....	25
3.3 Diagrama Unifilar	26
3.4 Procesamiento de la Información	27
3.4.1 Digitalización del Diagrama Unifilar	27
3.4.2 Equipos Instalados.....	28
3.4.3 Otros Equipos Instalados.....	31
3.4.4 Móviles.....	32
3.4.5 Seguridad en las Subestaciones	33
3.4.6 RTU 194	35
CAPITULO VI	37
4. PROPUESTAS DE CANAL DE COMUNICACIONES	37
4.1 Enlace de Comunicación por Fibra Óptica	38
4.2 Enlace de Comunicación GPRS.....	40
4.3 Enlace de Comunicación ADSL	42
CAPITULO VI	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	46

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47
BIBLIOGRAFÍA 49
ANEXOS 50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de un Sistema de Potencia.....	7
Figura 2: Pirámide de Automatización	12
Figura 3: Elementos de una Fibra Óptica	15
Figura 4: Conexión GPRS a Internet	17
Figura 5: Conexión ADSL.....	18
Figura 6: Formato de Visita a Subestaciones.....	26
Figura 7: Diagrama Unifilar Digitalizado.....	27
Figura 8: Vista del Tablero de Control	28
Figura 9: Vista Lateral	28
Figura 10: Reconector Panacea Plus	29
Figura 11: Reconector POLARR	29
Figura 12: Noja	30
Figura 13: Vista del Tablero de Control	30
Figura 14: Vista del Tablero de Control posterior.....	30
Figura 15: Concentrador.....	31
Figura 16: Tablero del Concentrador.....	31
Figura 17: Antena Instalada.....	31
Figura 18: Radio Averiado Instalado.....	31
Figura 19: Transformador Móvil	32
Figura 20: Tablero de Control y Comunicaciones.....	32
Figura 21: Subestación Cercada	33
Figura 22: Caseta para Equipos de Control	34
Figura 23: Caseta para Equipos de Control	34
Figura 24: RTU para ser Instalada en la Subestaciones	35
Figura 25: Conexión de IEDs a RTU.....	37
Figura 26: Conexión de Reconectores sin RTU.....	38
Figura 27: Esquema de Conexión Usando Fibra Óptica	39
Figura 28: Vista desde Arriba de la Subestación	40
Figura 29: Antena y Modem GPRS	40
Figura 30: Esquema de Conexión usando GPRS.....	41
Figura 31: Pruebas de Cobertura en Subestaciones	42
Figura 32: Conexión Usando ADSL	42
Figura 33: Nodo ADSL.....	43
Figura 34: Nodo ADSL.....	43
Figura 35: Entrada de Subestación.....	44
Figura 36: Esquema de Las conexiones Propuestas	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de Equipos Encontrados en Subestaciones.....	28
Tabla 2: Resumen de Resultados Obtenidos	36

INTRODUCCIÓN

Con el avance de las tecnologías, las redes de telecomunicaciones se han desarrollado aceleradamente, ya que nos permiten realizar acciones en segundos desde lugares que se encuentran a grandes distancias. Un SCADA es un sistema de telecomunicaciones basado en un software que permite adquirir datos, supervisar y controlar a distancia equipos en una instalación de cualquier tipo, generalmente controlado por un operador.

La Corporación Eléctrica Nacional CORPOELEC está embarcada en una serie de Proyectos para mejorar el servicio eléctrico que presta a los usuarios en términos de calidad y confiabilidad. En este sentido, uno de los aspectos a considerar es la reducción del tiempo de atención de las averías. Una de las acciones orientadas en esa dirección, es el despliegue de una plataforma tecnológica que permita la supervisión y control de la red en tiempo real. Para ello se ha adquirido un Sistema de Supervisión y Control (SCADA) que está siendo instalado en el Centro de Operaciones de Distribución (COD) de Santa Teresa del Tuy en el Estado Miranda y varias Unidades Terminales Remotas (RTU) que serán instaladas en las Subestaciones.

Para desplegar la plataforma de automatización, es necesario llevar las señales disponibles (corrientes, voltajes, ángulos, potencia activa, potencia reactiva, temperatura de los transformadores, etc.) de cada subestación a la respectiva remota y establecer un enlace de comunicaciones bidireccional entre las remotas y los servidores del Sistema SCADA.

En la actualidad, de las subestaciones del estado Miranda no se tiene información sobre los parámetros que se pueden supervisar ni qué equipos hay instalados, ni tampoco cuál sería el canal de comunicación a utilizar. El objetivo de este proyecto es evaluar los sistemas de comunicaciones propios, públicos y privados, disponibles en el estado y proponer las soluciones de comunicaciones para lograr la

supervisión y control de las subestaciones, desde el sistema de supervisión y Control, SCADA MIRAGE, ubicado en el Centro de Operaciones de Distribución (COD) en Santa Teresa del Tuy.

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera: el Capítulo I contiene los aspectos generales donde se puede encontrar el planteamiento del problema, la justificación, el objetivo general, los objetivos específicos y la metodología empleada. El Capítulo II se encuentra los fundamentos teóricos, donde se trata de presentar los conceptos básicos que se deben tener para entender esta investigación. En el Capítulo III, se encuentra todo lo relativo a la recopilación y procesamiento de la información, donde se explica cómo se obtuvo la información, y luego, como se procesó para poder analizar y presentar la propuesta. En el Capítulo IV se realizan las propuestas de los Canales de Comunicación. El Capítulo V presenta las conclusiones y recomendaciones realizadas para realizar el proyecto.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento del problema

Con la cantidad de “eventos” que pueden ocurrir en el Sistema Eléctrico Nacional, se plantea cada vez más la necesidad de contar con sistemas de protección, control y supervisión de las inversiones de las subestaciones eléctricas.

Operar un sistema eléctrico en el que están acopladas varias fuentes generadoras de diversa índole y tamaño, además con complejas redes de transmisión y distribución, que a su vez también se diferencian de acuerdo a su extensión y demanda, representa un desafío mayúsculo, incluso para los operadores más experimentados. En una fracción de segundo, las condiciones del sistema pueden cambiar, exigiendo respuestas rápidas para mantener la estabilidad y evitar eventos que puedan causar la falla de uno de sus subsistemas o incluso un *black-out*.

Para facilitar la gestión de los sistemas eléctricos, las empresas eléctricas cuentan con plataformas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*, Control de Supervisión y Adquisición de Datos) para supervisar y controlar el estado operativo de los diversos componentes de la red. Actualmente, en el Sistema Eléctrico Nacional hay algunos estados que cuentan con los sistemas SCADA instalados, pero el objetivo es implementarlo en todo el país; para ello, CORPOELEC adquirió una serie de plataformas SCADA que permitan la supervisión y control automatizado. En este sentido, se debe hacer el estudio particular en cada estado del país, debido a que no todos utilizan las mismas tecnologías en sus redes; incluso en un mismo estado existen subestaciones que manejan diferentes tipos de equipos de medición y control.

CORPOELEC cuenta con una gran red de fibra óptica interconectada por todo el país para sus sistemas de comunicaciones, llegando inclusive hasta algunas subestaciones. En el estado Miranda se cuenta con el sistema SCADA ya instalado en el COD y las unidades remotas que deben ser instaladas en las subestaciones, pero hace falta información sobre los tipos de aparatos de medición existentes en cada subestación, y no se han realizado estudios de los canales de comunicaciones que pueden usarse para realizar la transmisión de datos hasta el SCADA.

Por lo tanto, nace la necesidad de realizar un estudio en las subestaciones para conocer los equipos que están instalados, los diagramas unifilares de los circuitos y los parámetros que se pueden medir con los equipos instalados, así como también encontrar un canal de comunicaciones por donde se puedan transportar los datos entre las subestaciones y el SCADA ubicado en el COD, de una manera que no requiera una gran inversión, garantizando factibilidad inmediata.

1.2 Justificación

La Automatización es esencial para la calidad de servicio de energía eléctrica, pues reduce los tiempos de respuesta (reacción en casos de eventos), permite guardar y extraer datos fundamentales para analizarlos y llegar a la toma de decisiones. El principal objetivo de un sistema SCADA eléctrico es mantener confiable el suministro de energía a los consumidores, permitiendo monitorizar, controlar y optimizar el proceso de transmisión y distribución eléctrica en tiempo real.

En el sistema eléctrico, milésimas de segundo pueden hacer que una falla pase de no ser percibida por los usuarios a una gran falla en el sistema o *black-out*. Los eventos y perturbaciones del sistema eléctrico son muy rápidos, y el sistema debe estar preparado para detectar y responder con la mayor velocidad posible.

Algunos de los sistemas que se usan actualmente son antiguos, por lo que CORPOELEC está realizando importantes inversiones en modernización y

adquisición de sistemas SCADA, que permitan dar respuesta mucho más rápida ante cualquier incidente ocurrido en el sistema eléctrico, ya que se pueden concentrar en una sola pantalla los parámetros eléctricos necesarios para las maniobras operativas.

Además, el estudio y análisis de cualquier incidente se facilita en gran medida al disponer de los sucesos (actuaciones de las protecciones, apertura de interruptores, etc.) ocurridos en la subestación, junto con la hora exacta en que han ocurrido. De este modo, se pueden tomar las decisiones oportunas con una gran fiabilidad.

1.3 Objetivo general

Realizar una propuesta de sistemas de comunicaciones entre las subestaciones de distribución del estado Miranda y el Centro de Operaciones de Distribución (COD) ubicado en Santa Teresa del Tuy.

1.4 Objetivos específicos

- Verificar el estado de los Equipos de Supervisión y Control instalados en las subestaciones (Remotas, IED, concentradores de datos, tableros de control, etc.) y su estado de operatividad.
- Determinar los parámetros, voltajes, corrientes, ángulos, potencia, temperaturas, etc., que pueden ser supervisados con los equipos ya instalados a fin de determinar las características de las RTU y transductores necesarios.
- Evaluar los enlaces de comunicaciones existentes o disponibles y su estado de operatividad.
- Proponer una solución, que no requiera de una gran inversión y pueda ser aplicada a corto plazo, para las subestaciones que no cuenten con ningún tipo de enlace de comunicación.

1.5 Metodología de la investigación

Fase 1. Recopilación de la Información

En esta fase se realizaron visitas a cada una de las subestaciones para determinar los equipos instalados, los parámetros que miden, diagrama unifilar y condiciones de sitio. Luego se recopiló la documentación necesaria referente a los equipos, parámetros y sistemas de telecomunicaciones. Además se investigó, de acuerdo a las condiciones de sitio, sobre los sistemas de comunicaciones que podrían implementarse, para posteriormente escoger el más adecuado.

Fase 2. Procesamiento de la información

Se realizó el estudio detallado de la información recopilada en la fase 1, así como el diagrama unifilar de cada subestación y se procedió a la elaboración básica de las posibles propuestas, en donde se especificaron las características de cada una.

Fase 3. Elaboración de las Propuestas

Se realizó el diseño de las propuestas elaboradas en la fase 2, y se escogió la propuesta que más se adaptara a cada subestación, según las condiciones de sitio.

Fase 4. Análisis de Resultados

Se analizó el impacto de las soluciones propuestas en cada subestación, estudiando los pros y contras del diseño, con el fin de encontrar la solución que se pudiera ejecutar en el menor tiempo posible y con una mínima inversión.

Fase 5. Elaboración del informe final

Esta es la última fase del proyecto y se elaboró toda la documentación producto de las actividades realizadas en las fases previas y los resultados obtenidos.

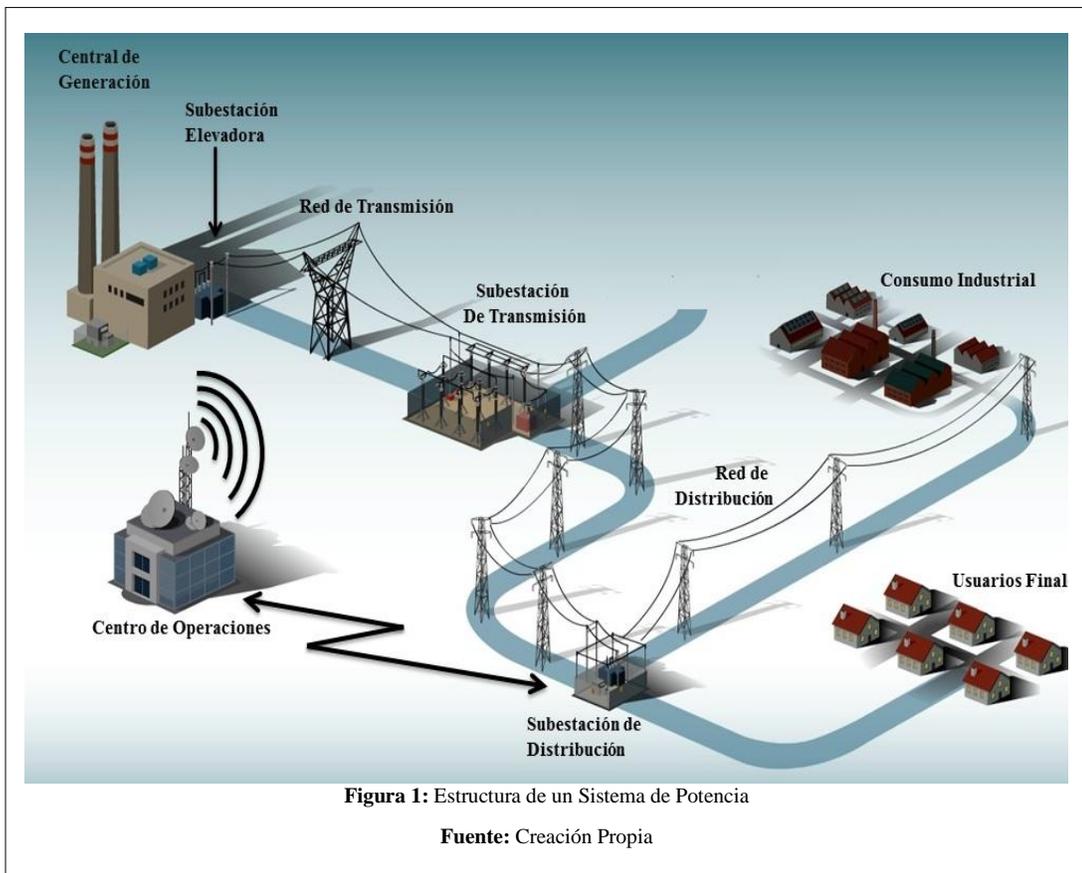
CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo se describen los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo del presente trabajo de grado.

2.1 Sistema de Potencia

Realizar una definición única de sistema de potencia, es algo muy difícil, ya que se puede encontrar una gran cantidad de conceptos que se han establecido según el punto de vista de cada autor, pero en este caso se puede decir que un sistema de potencia es una red eléctrica de potencia que se encarga de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica hasta los consumidores. [1]



2.1.1 Estructura de un Sistema de Potencia

Un sistema de potencia está conformado principalmente por los elementos que se observan en la Figura 1. Consiste inicialmente en la planta de Generación, donde se produce la energía para que luego pase por una subestación de transmisión; luego se dirige por las líneas de transmisión de alto voltaje para dirigirse a la subestación de distribución, donde se va disminuyendo el nivel de tensión y pasan a las líneas de distribución desde donde son repartidas a los usuarios finales.

2.1.2 Planta de Generación

La generación de electricidad, en términos generales, consiste en transformar alguna clase de energía, “no eléctrica”, es decir, energía química, mecánica, térmica, luminosa, etc. en energía eléctrica. Para poder generar energía eléctrica se recurre a instalaciones denominadas plantas de generación, las cuales ejecutan algunas de las transformaciones, citadas al principio, de energía “no eléctrica” en energía eléctrica y constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

De acuerdo a la forma de energía primaria (no eléctrica) a transformar se pueden encontrar los siguientes tipos:

- Generación Térmica
- Generación Hidráulica
- Generación Eólica
- Generación Solar
- Generación Nuclear
- Generación Mareomotriz

- Generación Geotérmica
- Generación Magneto Hidrodinámica
- Generación por Biomásas

2.1.3 Subestaciones Eléctricas

Una subestación eléctrica es un conjunto de dispositivos cuya principal función es la conversión, transformación, regulación y distribución de la energía eléctrica. La subestación debe modificar y establecer los niveles de tensión, para que la energía eléctrica pueda ser transportada y distribuida. El transformador es el equipo principal de una subestación.

Las subestaciones eléctricas pueden ser de transformación, con uno o varios transformadores que elevan o reducen la tensión; o subestaciones de acople o maniobra, que en vez de elevar o reducir la tensión nivelan o acoplan los niveles de tensión para conectar dos o más circuitos.

Las subestaciones normalmente están ubicadas cerca de las plantas generadoras y en la periferia de las ciudades, ya sea al aire libre si se hallan en zonas rurales, o dentro de un edificio, si están en zona urbana.

En las subestaciones pueden encontrarse diferentes fallas, la más frecuente suele ser un cortocircuito, es por ello que suelen contar con diferentes sistemas de protecciones para afrontar dichas fallas.

2.1.4 Sistemas de Protecciones

Las protecciones en una subestación son muy importantes, ya que cada elemento de la subestación puede presentar una falla o cualquier tipo de evento que

puede afectar la operatividad de la subestación completa. Es por ello que se utilizan diversos equipos que detectan las fallas e inician la operación de los dispositivos de interrupción en los circuitos, aislando así los equipos que presentan la falla, para reducir al mínimo su efecto, manteniendo la continuidad del servicio en el resto del sistema.

Actualmente, los sistemas de protección no solo se encargan del correcto funcionamiento de una subestación, sino que además permiten la supervisión y control de sus componentes, así como la interconexión con otras instalaciones, redes de transmisión y distribución. Entre los equipos utilizados para protecciones en subestación, se encuentran: interruptores, reconectores, equipos de señalización, equipos de alimentación auxiliar y equipos de comunicaciones.

2.1.5 Líneas de transmisión

Es un conjunto de dispositivos que se utiliza para transportar energía eléctrica desde una fuente de generación hasta los centros de distribución. Para ello, se busca siempre maximizar la eficiencia, tratando de minimizar las pérdidas por calor o por radiaciones.

Al transmitir la energía se busca elevar la tensión o voltaje y disminuir la corriente para que existan menores pérdidas en el conductor, ya que la resistencia varía con respecto a la longitud, y debido a que estas líneas son demasiado largas las pérdidas de electricidad por calentamiento serían muy grandes. Esa electricidad llega a los centros de distribución que son los encargados de acondicionarla para hacerla llegar a los usuarios.

2.1.6 Distribución

La Red de Distribución es la parte del sistema encargada de acondicionar y hacer llegar la energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales

(medidor del cliente). Esto es coordinado por los Centros de Operaciones de Distribución. En la red de distribución se encuentra la Subestación de Distribución que es un conjunto de dispositivos (transformadores, interruptores, seccionadores, etc.) que se encargan de controlar y reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión hasta niveles de media o baja tensión para su ramificación en varios circuitos que lleguen al usuario final.

2.2 Automatización de Subestaciones

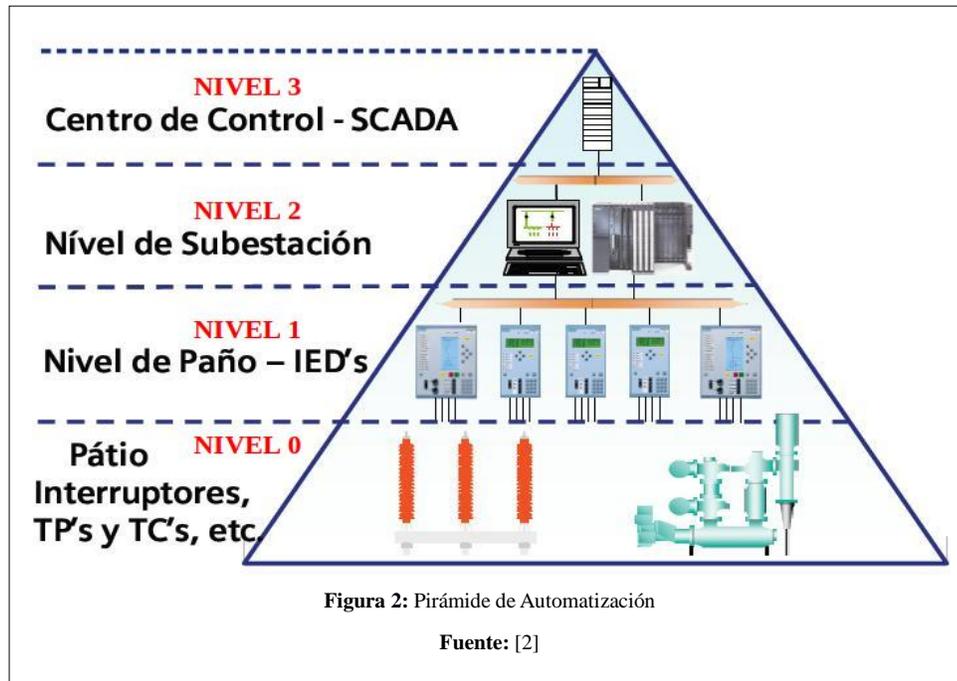
El proceso de automatización de las subestaciones eléctricas está dirigido principalmente a la correcta operación y funcionalidad de los equipos que conforman la subestación eléctrica. Actualmente en muchas Subestaciones hay equipos viejos con una antigüedad entre 20 y más años, lo que complica la automatización; es por ello que la integración en un sistema SCADA de estos equipos se ve obstaculizada por su antigüedad y compatibilidad.

Sin embargo, en la actualidad se ha ido diseñando la automatización de las Subestaciones Eléctricas, según sea el requerimiento en cada caso. El trabajo más complicado está en la integración de todas las subestaciones y equipos en un mismo sistema robusto, que pueda ser supervisado en todo momento, para poder dar respuesta temprana a cualquier evento y de esta manera mantener el correcto funcionamiento del sistema. Las subestaciones automatizadas se pueden integrar con sistemas SCADA, que permiten el almacenamiento y procesamiento de la información. [2]

2.2.1 Niveles de Automatización

Generalmente se pueden encontrar 4 niveles en las subestaciones, empleando una estructura con diferentes niveles de control y tipos de equipos según el nivel y función (por ejemplo: protecciones, controladores, reguladores, medidores, etc.);

todos ellos conectados entre sí para lograr una estructura piramidal, como se muestra en la Figura 2. [2]



- **Nivel 3:** En este nivel se encuentran los equipos de información desde donde se pueden supervisar y controlar los equipos de las subestaciones. Se ubican en los Centros de Control.
- **Nivel 2:** En este nivel se encuentran los equipos donde se procesan y almacenan los datos. Se ubican en la sala de control de las subestaciones, si es el caso o en una sala localizada en el centro de control.
- **Nivel 1:** En este nivel se encuentran los IED's y equipos controladores de campo que sirven como maestros para la adquisición de datos, acciones de control y procesamiento de datos referente a los dispositivos que se encuentren en la subestación.
- **Nivel 0:** En este nivel se encuentran los equipos de patio (interruptores, seccionadores, transformadores de potencia y de instrumentación, reactores, banco de capacitores, etc.), reconectores, relés de protección, etc.

2.3 SCADA

Los SCADA son sistemas utilizados para la supervisión, control y adquisición de datos de los equipos de campo, que permiten a los operadores una herramienta con la cual dar respuesta en menor tiempo a las posibles fallas, almacenar la información de las medidas, maniobras o incidencias de un largo periodo de tiempo. [3]

Con la aplicación del SCADA se pueden tener funciones adicionales a las empleadas normalmente por los sistemas de control convencional, las cuales facilitaran las labores de operación, análisis y mantenimiento. Se pueden nombrar las siguientes funciones adicionales:

- **Supervisión de protecciones:** Esta función se encarga de supervisar las alertas y disparos generados por los IED's.
- **Secuencias automáticas de control:** Con ellas se pueden realizar maniobras de apertura y cierre de interruptores o seccionadores, transferencias de circuitos a través de la interfaz de operación del nivel 2.
- **Marcación de eventos y alarmas:** Con esta función se puede registrar el tiempo de ocurrencia de eventos y alarmas y llevar un orden cronológico de lo sucedido.
- **Comunicación con la red de área local:** Agregando módulos de comunicación de red en cada dispositivo se puede crear una red local que permita la comunicación con todos los equipos de la subestación.

2.4 Canales de Comunicación

Entre un Sistema SCADA y los Centros de Control se puede usar cualquier canal de comunicación, quedando a la libre elección de acuerdo a la necesidad del

lugar donde se instale y a los requerimientos de cada caso. Los medios de comunicación más utilizados son:

- Fibra Óptica
- Tecnología GPRS
- Internet ADSL
- Enlaces de Microondas.
- Enlaces Satelitales

2.5 Fibra Óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que consiste en enviar pulsos de luz, que representan los datos a transmitir, por un hilo muy fino de material transparente que puede ser vidrio o materiales plásticos. El haz de luz queda completamente encerrado por el hilo y se propaga por el interior de la fibra rebotando por las paredes del hilo con un ángulo de reflexión basado en la ley de Snell. La fuente de luz puede originarse de un láser o un diodo led. [4]

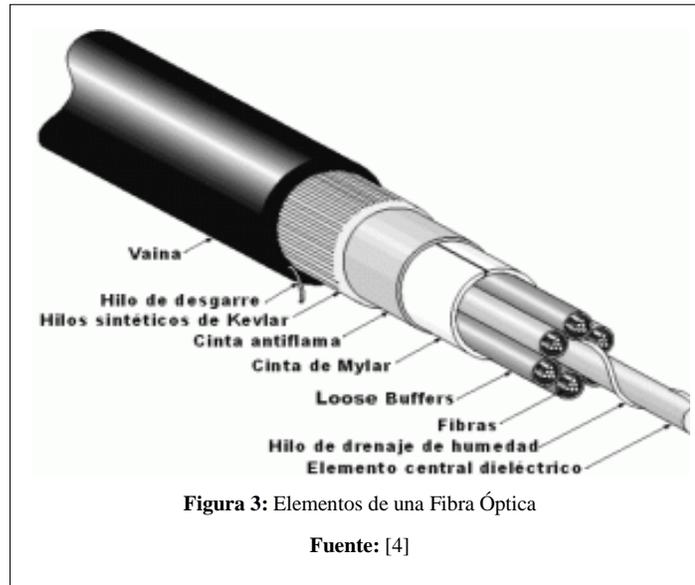
Las fibras se utilizan ampliamente en los sistemas de telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a grandes distancias y con velocidades similares a las de la radio y superiores a las de un cable convencional. Actualmente son el medio de transmisión por cable más avanzado, además que son inmunes a las interferencias electromagnéticas. También pueden ser usadas en redes locales donde se necesite aprovechar sus ventajas. [4]

La principal ventaja es la velocidad en comparación con ADSL. Una conexión ADSL ofrece una velocidad máxima de hasta 20 Mbps de bajada. El cable de fibra óptica está especialmente ideado para transmitir grandes cantidades de información.

Además, este cable no presenta problemas de interferencias ni le afecta la distancia. Es decir, la fibra funciona o no, en cambio el ADSL depende mucho de la distancia que haya desde la central hasta la conexión final. Si se encuentra a más de un kilómetro de la central, la velocidad que llegará será muy inferior a ese máximo de 20 Mbps.

2.5.1 Elementos de una Fibra Óptica

A continuación se puede ver los elementos que componen la fibra óptica y que se pueden apreciar en la Figura 3.

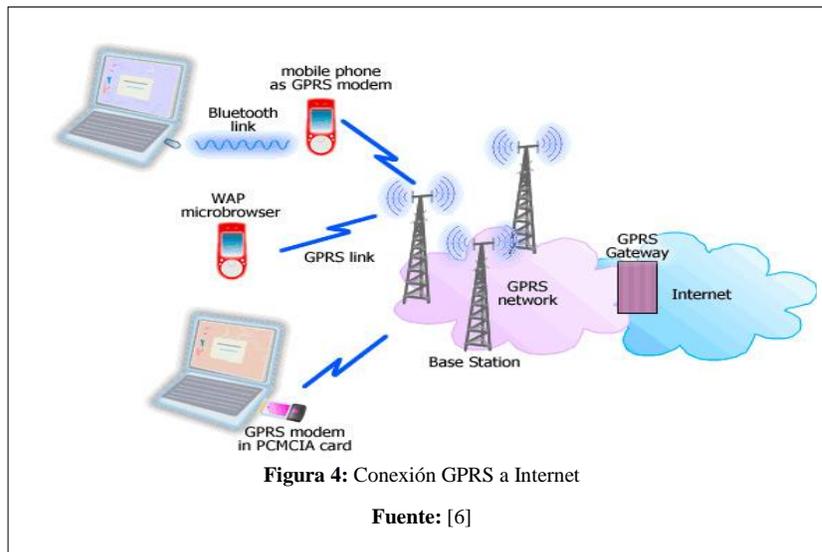


- **Elemento central dieléctrico:** Este elemento central que no está disponible en todos los tipos de fibra óptica, es un filamento que no conduce la electricidad (dieléctrico), que ayuda a la consistencia del cable entre otras cosas.
- **Hilo de drenaje de humedad:** Su fin es que la humedad salga a través de él, dejando al resto de los filamentos libres de humedad.

- **Fibras:** Esto es lo más importante del cable, ya que es el medio por donde se transmite la información. Puede ser de silicio (vidrio) o plástico muy procesado. Aquí se producen los fenómenos físicos de reflexión y refracción. La pureza de este material es lo que marca la diferencia para saber si es buena para transmitir o no. Una simple impureza puede desviar el haz de luz, haciendo que este se pierda o no llegue a destino. En cuanto al proceso de fabricación es muy interesante y hay muchos vídeos y material en la red, pero básicamente las hebras (micrones de ancho) se obtienen al exponer tubos de vidrio al calor extremo y por medio del goteo que se producen al derretirse, se obtiene cada una de ellas.
- **Loose Buffers:** Es un pequeño tubo que recubre la fibra y a veces contiene un gel que sirve para el mismo fin haciendo también de capa oscura para que los rayos de luz no se dispersen hacia afuera de la fibra.
- **Cinta de Mylar:** Es una capa de poliéster fina que hace muchos años se usaba para transmitir programas a PC, pero en este caso sólo cumple el rol de aislante.
- **Cinta antillama:** Es un cobertor que sirve para proteger al cable del calor y las llamas.
- **Hilos sintéticos de Kevlar:** Estos hilos ayudan mucho a la consistencia y protección del cable, teniendo en cuenta que el Kevlar es un muy buen ignífugo, además de soportar el estiramiento de sus hilos.
- **Hilo de desgarre:** Son hilos que ayudan a la consistencia del cable.
- **Vaina:** La capa superior del cable que provee aislamiento y consistencia al conjunto que tiene en su interior. [5]

2.6 GPRS

General Package Radio System (GPRS), es un sistema de transmisión de datos empleando la red de telefonía celular GSM, que sirve para transmitir datos en forma remota en zonas donde exista cobertura. Las compañías que facturan por GPRS lo hacen por kilobytes, siendo una alternativa económica de comunicaciones. En la Figura 4 se puede observar un esquema de comunicación usando GPRS.



El acceso al canal utilizado en GPRS se basa en divisiones de frecuencia sobre un dúplex y TDMA. Durante la conexión, al usuario se le asigna un canal físico, formado por un bloque temporal en una portadora concreta. Ese canal será de subida o bajada dependiendo de si el usuario va a recibir o enviar datos. Esto se combina con la multiplexación estadística en el dominio del tiempo, permitiendo a varios usuarios compartir el mismo canal físico, ya sea de subida o de bajada. Los paquetes tienen longitud constante, correspondiente a la ranura de tiempo del GSM. [6]

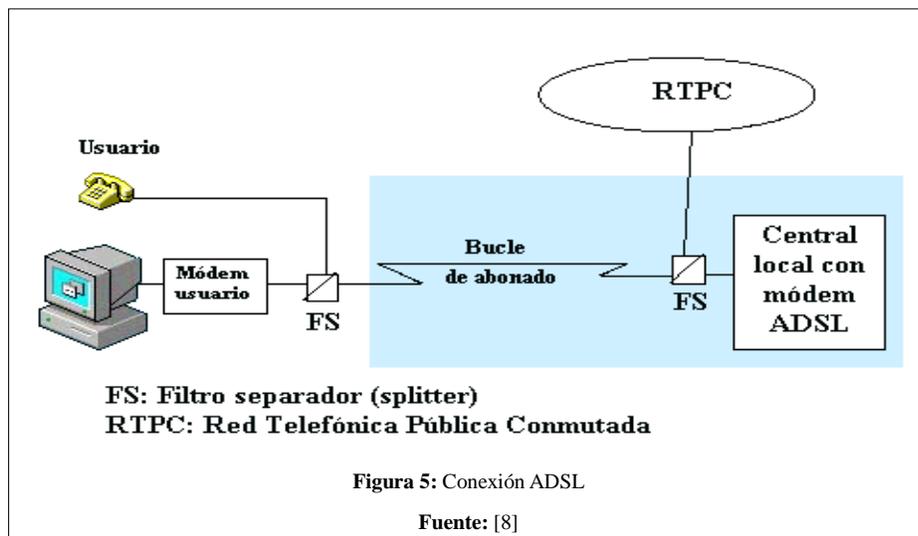
Los módems GPRS conectan uno o varios puertos de comunicación con formato USB, serial RS232 o RS485, o Ethernet a la red de celular, es decir es una especie de teléfono celular pero en vez, o además, de tener audífono y micrófono tienen puerta de comunicación. Establecido el contrato con la compañía de telefonía, hay que insertarle la tarjeta SIM al equipo.

El módem GPRS abre la comunicación hacia una dirección IP configurada en él, de modo que después de ello queda establecida la comunicación. Se requiere entonces que la IP del receptor sea fija, ya que de lo contrario se tendría que reconfigurar el módem en cada conexión, lo que es imposible.

Si no se quiere que sea el módem quien inicie la comunicación la alternativa es crear una VPN (*Virtual Private Network*), de modo que el equipo conectado al módem pasa a ser parte de la red como cualquier otro dispositivo, es decir se comporta como una red LAN (*Local Area Network*); usa Internet como extensión de la red local en forma segura con datos encriptados. [7]

2.7 ADSL

ADSL es una tecnología que permite la conexión a Internet a través de la línea telefónica tradicional, transmitiendo la información digital transformándola a analógica mediante un módem para que viaje a través del cable de pares trenzados de cobre. Un enrutador se encarga de modular las señales que contienen los datos en una banda de frecuencias más alta que la banda que se emplea en las comunicaciones telefónicas. Un filtro, por otra parte, es el encargado de separar las señales de los datos de las señales telefónicas para que las señales no sufran distorsiones. En la Figura 5 se muestra la conexión típica de la tecnología ADSL.



Por lo tanto, ADSL trabaja con tres canales de comunicación en el mismo cable. Un canal se utiliza para la descarga de los datos, el segundo se utiliza para el envío de los datos y el tercer canal es utilizado para las comunicaciones telefónicas.

La línea ADSL es “asimétrica” ya que la capacidad de carga de los datos es menor que la capacidad para su descarga. Esto se hace para aprovechar de una mejor manera los recursos ya que la mayoría de los usuarios suelen descargar más datos de los que envían a la red.

2.8 VPN

Virtual Private Network (VPN), es una tecnología de red que se utiliza para conectar una o más computadoras a una red privada utilizando Internet; una implementación correcta de esta tecnología permite asegurar la confidencialidad e integridad de la información. Para lograr este objetivo se pueden utilizar los siguientes protocolos:

- *IPsec (Internet Protocol Security)*: Permite mejorar la seguridad a través de algoritmos de cifrado robustos y un sistema de autenticación más exhaustivo. IPsec posee dos métodos de encriptado, modo transporte y modo túnel. Asimismo, soporta encriptado de 56 bit y 168 bit (triple DES).
- *PPTP/MPPE*: Tecnología desarrollada por un consorcio formado por varias empresas. PPTP soporta varios protocolos VPN con cifrado de 40 bit y 128 bit, utilizando el protocolo *Microsoft Point to Point Encryption* (MPPE). PPTP por sí solo no cifra la información.
- *L2TP/IPsec (L2TP sobre IPsec)*: Tecnología capaz de proveer el nivel de protección de IPsec sobre el protocolo de túnel L2TP. Al igual que PPTP, L2TP no cifra la información por sí mismo.[9]

2.9 Ethernet

Ethernet es la tecnología de las redes de área local, LAN (*Local Area Network*) que más se utiliza en la actualidad. Funciona en la capa de enlace de datos y en la capa física. Se trata de una familia de tecnologías de red que se definen en los estándares IEEE 802.2 y 802.3.

Para su correcto funcionamiento, Ethernet depende de las dos subcapas separadas en la capa de enlace de datos. La subcapa de control de enlace lógico (LLC por sus siglas en inglés) y la subcapa de control de acceso al medio (MAC).

Antes de que un nodo envíe algún dato a través de una red Ethernet, primero escucha y se da cuenta si algún otro nodo está transfiriendo información; de no ser así, el nodo transferirá la información a través de la red. Todos los otros nodos escucharán y el nodo seleccionado recibirá la información. En caso de que dos nodos traten de enviar datos por la red al mismo tiempo, cada nodo se dará cuenta de la colisión y esperará una cantidad de tiempo aleatoria antes de volver a hacer el envío.

Cada paquete enviado contiene la dirección de la estación destino, la dirección de la estación de envío y una secuencia variable de bits que representa el mensaje transmitido. El dato transmitido procede a 10 millones de bits por segundo y el paquete varía en una longitud de 64 a 1518 bytes; así el tiempo de transmisión de un paquete en la Ethernet está en un rango de 50 a 1200 microsegundos dependiendo de su longitud. La dirección de la estación de destino normalmente es referida por una única interfaz de red. Cada estación recibe una copia de cada paquete, pero ignora los paquetes que son dirigidos a otras computadoras y procesa solamente los que son dirigidos a ella. Las velocidades de envío de paquetes utilizando la tecnología Ethernet son de 10 Mbps (Ethernet estándar), 100 Mbps (Fast Ethernet – 100BASEX) y de 1000 Mbps utilizando el Gigabit Ethernet cuya especificación se encuentra respaldada por la IEEE con número 802.3z. [10]

2.10 Dispositivo electrónico inteligente (IED)

Es el término utilizado en la industria de la energía eléctrica para describir equipos de regulación electrónica inmersos en los sistemas eléctricos, por ejemplo utilizados en interruptores, transformadores y bancos de capacitores.

Los IED's reciben datos de los sensores y diversos dispositivos eléctricos, y puede informar los comandos de control, tales como interruptores que se disparan cuando se detectan voltajes, corrientes o frecuencias anómalas, cuando suceden las variaciones por el aumento o niveles de tensión inferior para mantener el nivel deseado. Los tipos comunes de IED's incluyen los dispositivos, los reguladores de carga, los reguladores de interruptores, los interruptores del banco de condensadores, los reguladores del reconectador, los reguladores de voltaje, etc.[11]

Algunos IED's recientes se diseñan para apoyar a la norma IEC61850 para la Automatización de la Subestaciones, que proporciona interoperatividad y capacidades avanzadas de comunicaciones en el control de las redes eléctricas.

2.11 Unidad Terminal Remota (RTU)

Las Unidades Terminales Remotas o RTU, son dispositivos de adquisición de datos en el campo, cuya función principal es hacer de interfaz entre los equipos de instrumentación y control local y el sistema de adquisición de datos supervisorios. [12]

La arquitectura de la unidad terminal remota consta típicamente de:

- Módulo de Entrada
- Módulo de Control
- Módulo de Procesamiento de Información (CU)
- Módulo de Comunicaciones
- Módulo de Sincronización de Tiempo (GPS)

2.12 Protocolos de Comunicación

Un protocolo de red de comunicación de datos es un conjunto de reglas que gobierna el intercambio ordenado de datos dentro de la red. Los elementos básicos de un protocolo de comunicaciones son: un conjunto de símbolos llamados conjunto de caracteres, un conjunto de reglas para la secuencia y sincronización de los mensajes contruidos a partir del conjunto de caracteres y los procedimientos para determinar cuándo ha ocurrido un error en la transmisión y cómo corregir el error.

Para que exista comunicación en ambos puntos al extremo de un canal se debe emplear la misma configuración de protocolos. Los protocolos gestionan dos niveles de comunicación distintos. Las reglas de alto nivel definen como se comunican las aplicaciones, mientras que las de bajo nivel definen como se transmiten las señales. [13]

Los protocolos más usados en las instalaciones eléctricas son: Modbus serial, DNP3.0 serial y el IEC61850.

2.12.1 Modbus

Modbus es un protocolo de solicitud-respuesta implementado usando una relación maestro-esclavo. En una relación maestro-esclavo, la comunicación siempre se produce en pares; un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta y el dispositivo de inicio (el maestro) es responsable de iniciar cada interacción. Por lo general, el maestro es una interfaz humano-máquina (HMI) o sistema SCADA y el esclavo es un sensor, controlador lógico programable (PLC) o controlador de automatización programable (PAC). El contenido de estas solicitudes y respuestas, y las capas de la red a través de las cuales se envían estos mensajes, viene definido por las diferentes capas del protocolo.

Modbus RTU es la implementación más común disponible para Modbus. Se utiliza en la comunicación serie y hace uso de una representación binaria compacta de los datos para el protocolo de comunicación. El formato RTU sigue a los comandos/datos con una suma de comprobación de redundancia cíclica (CRC) como un mecanismo de comprobación de errores para garantizar la fiabilidad de los datos. Un mensaje Modbus RTU debe transmitirse continuamente sin vacilaciones entre caracteres. Los mensajes Modbus son entramados por períodos inactivos.[14]

2.12.2 DNP 3.0

DNP3.0 (*Distributed Network Protocol 3.0*) es un protocolo estándar de telecomunicaciones que define la comunicación entre estaciones maestras MTUs, RTUs, y otros dispositivos como IED's (*intelligent electronic devices*).

DNP3.0 fue diseñado específicamente para aplicaciones SCADA, para realizar tareas de adquisición de información y envío de comandos de control entre una estación maestra y una estación esclava. Está diseñado para transmitir paquetes de datos de una manera confiable, con mensajes mediante una secuencia determinística.

DNP3.0 es un protocolo de comunicaciones abierto y no propietario con un número significativo de fabricantes, es diseñado basándose en un modelo que incluye tres de las capas del modelo OSI (*Open Systems Interconnections*), denominado EPA (*Enhanced Performance Architecture*); las tres capas son: capa de aplicación, capa de enlace de datos y capa física. Este modelo se basó en el comité técnico IEC (*International Electrotechnical Commission*) TC57. DNP3.0 es muy eficiente por ser un protocolo de capas, ya que asegura alta integridad de datos. Es adecuado para aplicaciones en el ambiente SCADA, para comunicaciones entre Estación Maestra (MTU) - Estación Remota (RTU), comunicación punto-punto y aplicaciones de red. [15]

2.12.3 IEC61850

El protocolo IEC 61850 es considerado el estándar para la automatización de equipos de Subestaciones Eléctricas de diversos fabricantes; fue diseñado como el único protocolo que ofrece una completa solución de comunicación para Subestaciones Eléctricas y la principal característica que ofrece es la interoperabilidad entre los equipos. Este protocolo fue creado luego de la colaboración y cooperación de los principales fabricantes de equipos para las Subestaciones Eléctricas con lo cual fue formado el “IEC 61850 *Community*” (Grupo de fabricantes que colaboran con el desarrollo del protocolo IEC 61850). En la actualidad se vienen realizando investigaciones para la constante evolución de este protocolo. [2]

CAPITULO III

3. RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

A continuación, se describe el procedimiento usado para el levantamiento de la información y las visitas a las subestaciones, así como también el proceso que se siguió para realizar los diagramas unifilares. Luego con toda la información recogida, se procedió a estudiar detalladamente los equipos instalados para proponer el canal de comunicaciones más conveniente para cada caso.

3.1 Recopilación de la información

Se realizó una visita a 23 subestaciones de Distribución del estado Miranda con el fin de obtener un levantamiento de información de los equipos instalados y de los medios de comunicación con que cuenta cada subestación, así como también el diagrama unifilar de las subestaciones, ya que con la dinámica de la operación del sistema puede haber existido algún cambio que no se haya registrado anteriormente. También se revisó cualquier condición operativa y de seguridad que pudiera ser relevante y/o afectar la propuesta que se plantee en cada caso. Cabe destacar que por medidas de seguridad, para poder realizar las visitas, se contó con un personal asignado por el COD y con un personal especialista en subestaciones.

3.2 Formato de Visitas a Subestaciones

Para asegurar que no se pasara nada por alto en las visitas a las subestaciones, se diseñó un formato de visitas donde se documentó la cantidad de circuitos, los equipos que estaban instalados, la infraestructura de la subestación, si contaba con algún tipo de seguridad adicional, si tenía algún sistema de comunicaciones.

Adicionalmente, se tomaron fotografías de los equipos para llevar un registro más detallado. En la Figura 6 podemos observar el formato de visitas diseñado.

NOMBRE DE SUBESTACIÓN				
INFRAESTRUCTURA				
SEGURIDAD				
CASETA DE CONTROL				
SISTEMA DE COMUNICACIÓN ACTUAL				
SISTEMAS DE COMUNICACIÓN CERCANOS				
CANTIDAD DE CIRCUITOS DE ALTA				
CIRCUITO LADO DE ALTA		PROTECCIÓN	SI	NO
NIVEL DE TENSIÓN		MARCA		
CIRCUITO LADO DE ALTA		PROTECCIÓN	SI	NO
NIVEL DE TENSIÓN		MARCA		
CANTIDAD DE CIRCUITOS DE BAJA				
CIRCUITO LADO DE BAJA		PROTECCIÓN	SI	NO
NIVEL DE TENSIÓN		MARCA		
CIRCUITO LADO DE BAJA		PROTECCIÓN	SI	NO
NIVEL DE TENSIÓN		MARCA		
CIRCUITO LADO DE BAJA		PROTECCIÓN	SI	NO
NIVEL DE TENSIÓN		MARCA		
CIRCUITO LADO DE BAJA		PROTECCIÓN	SI	NO
NIVEL DE TENSIÓN		MARCA		
CIRCUITO LADO DE BAJA		PROTECCIÓN	SI	NO
NIVEL DE TENSIÓN		MARCA		
CIRCUITO LADO DE BAJA		PROTECCIÓN	SI	NO
NIVEL DE TENSIÓN		MARCA		
CIRCUITO LADO DE BAJA		PROTECCIÓN	SI	NO
NIVEL DE TENSIÓN		MARCA		
OBSERVACIONES				

Figura 6: Formato de Visita a Subestaciones
Fuente: Creación Propia

3.3 Diagrama Unifilar

Luego de completar el Formulario de Visitas a Subestaciones, se verificó el diagrama unifilar en cada subestación y se realizó un dibujo a lápiz en la misma

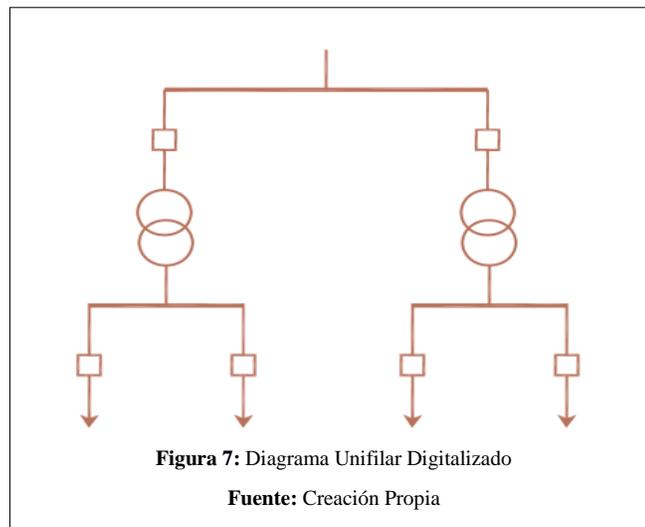
subestación, con el fin de que al momento de procesar la información se pudiera realizar en un programa de dibujo asistido por computadora. Es importante señalar que si el proyecto se ejecuta, este diagrama unifilar ya realizado en un programa de dibujo asistido por computadora, puede ser introducido al sistema SCADA.

3.4 Procesamiento de la Información

Una vez obtenida la información de las 23 subestaciones visitadas, se procedió a analizar los datos levantados. Para ello se estudió cada subestación por separado, siguiendo una estructura organizada paso a paso conformada de la siguiente manera:

3.4.1 Digitalización del Diagrama Unifilar

Se tomó el diagrama unifilar realizado en las visitas a las subestaciones y se realizó la digitalización en un programa de dibujo asistido por computadora. Una vez digitalizado se toma referencia para el análisis de la subestación. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de cómo quedó un diagrama unifilar digitalizado.



3.4.2 Equipos Instalados

Se revisaron los equipos de protecciones instalados en cada circuito, especialmente los reconectores, por lo que hubo que conseguir los manuales de dichos equipos, ya que estos son los que nos proporcionan las señales que puede medir cada equipo y las que se requieren transmitir bien sea a las RTUs o directamente al SCADA a través del canal de comunicaciones que se vaya a aplicar. A continuación se presenta la Tabla 1 con los equipos que se consiguen en las subestaciones.

EQUIPOS	PUERTO DE COMUNICACIÓN				PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN		
	RS232	RS485	ETHERNET	PARALELO	MODBUS	IEC6850	DNP3
VERSIONr		X			X		X
PANACEA	X	X					X
POLAR				X			X
NOJA	X	X			X	X	X
COOPER	X	X			X	X	X
MÓVILES	X		X		X	X	X
RTU194	X		X	X	X	X	X

Tabla 1: Resumen de Equipos Encontrados en Subestaciones
Fuente: Creación Propia

En las Figuras 8 y 9 se muestra la protección que se usa en el lado de alta tensión en la mayoría de las subestaciones visitadas. Este equipo cuenta con un puerto RS485 para comunicarse con los demás equipos y soporta los protocolos de comunicación DNP3 y Modbus.



Figura 9: Vista del Tablero de Control



Figura 8: Vista Lateral

En la Figura 10 se puede ver el tablero de control del Whipp Bournet Panacea que cuenta con un puerto RS485 y un Puerto RS232, este equipo soporta el protocolo DNP3.0



Figura 10: Reconector Panacea Plus

En la Figura 11 se observa el tablero de control Whipp Bourne Polarr, este equipo cuenta con un puerto de comunicaciones paralelo, es el equipo más viejo que se encontró en las subestaciones visitadas y el que tiene menos compatibilidad con los demás equipos, por lo que para poder comunicarse con los otros equipos requiere que en la subestación se coloque una RTU que pueda servir de enlace.



Figura 11: Reconector POLARR

En la Figura 12 se puede observar la caja de control del reconectador NOJA, posee puertos RS232, y RS485. El protocolo de comunicación compatible es el DNP3.0.



Figura 12: Noja

En las Figuras 13 y 14 se pueden observar los reconectores Cooper F6, son los que más se encuentran en las subestaciones. Estos reconectores cuentan con un puerto RS232 y un puerto RS485 y compatibilidad con los protocolos de comunicación DNP3.0 y Modbus.



Figura 13: Vista del Tablero de Control

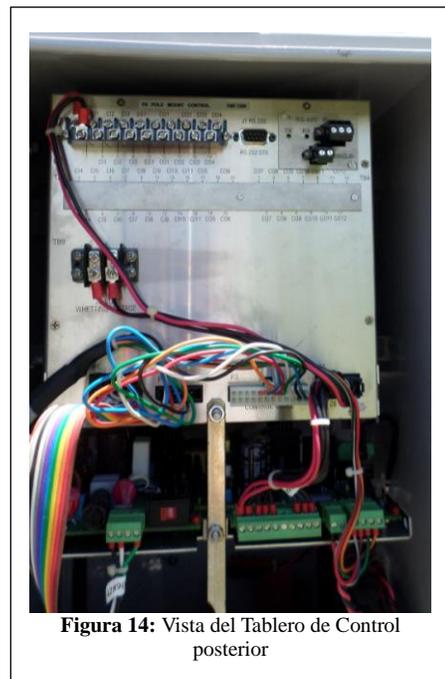


Figura 14: Vista del Tablero de Control posterior

3.4.3 Otros Equipos Instalados

No solamente se encontraron reconectores instalados, sino que en algunos casos habían otros equipos instalados, como unos concentradores viejos, que se puede apreciar en las Figuras 15 y 16, pero no estaban en funcionamiento, por lo que cada reconector es manejado directamente sin usar esta caseta de control, incluso en algunos casos, esas casetas de control sufrieron algún tipo de violación y les fueron sustraídos componentes que impiden su correcto funcionamiento.



Figura 16: Tablero del Concentrador



Figura 15: Concentrador

También se encontraron algunos equipos de comunicación que se usaban anteriormente, basados es señales de radio, pero de igual manera, se encuentran todos desconectados y fuera de servicio, como lo podemos observar en las Figuras 17 y 18.



Figura 17: Antena Instalada



Figura 18: Radio Averiado Instalado

3.4.4 Móviles

Hay subestaciones donde están instalados transformadores móviles, estos transformadores, cuentan con la ventaja de ser más modernos y tienen sus propios sistemas de protecciones y de comunicaciones, por lo que se pueden conectar a la red de comunicaciones que se use en la subestación sin ningún inconveniente ya que tendrán compatibilidad con los equipos que allí se encuentren. A continuación las Figuras 19 y 20 muestran cómo son las móviles que se encontraron.



Figura 20: Transformador Móvil



Figura 19: Tablero de Control y Comunicaciones

3.4.5 Seguridad en las Subestaciones

Este es un punto que se debe tomar en cuenta a la hora de realizar una propuesta de sistemas de comunicaciones, ya que la mayoría de las subestaciones se encuentran en zonas rurales y en ocasiones muy alejadas de la población por lo que son propensas a que personas no autorizadas ingresen a las instalaciones y afecten el funcionamiento e incluso se lleven los equipos. Es por ello que se verificó la infraestructura de la subestación, la entrada y si tenía una caseta segura para los equipos de comunicaciones que pudieran ser instalados. En las Figuras que se muestran en las páginas siguientes se muestra el estado en el que se encontraron las instalaciones durante las visitas.



Figura 21: Subestación Cercada

Hay algunas subestaciones, aunque muy pocas, que se encuentran como la de la Figura 21, donde se ve que solo se encuentra cercada y no tiene ni vigilancia ni una caseta segura para tener dentro de ella equipos de comunicaciones.

En las Figuras 22 y 23 se puede ver que otras subestaciones si están más seguras, ya que cuentan con un perímetro de paredes de concreto y un portón robusto, así como también, algunas cuentan con una caseta de ladrillos y concreto donde se pueden ubicar los equipos de comunicaciones.



Figura 22: Caseta para Equipos de Control



Figura 23: Caseta para Equipos de Control

3.4.6 RTU 194

En la Figura 24 se muestra la RTU 194, disponibles para ser instaladas en las subestaciones que la requieran.

RTU194



DESCRIPCIÓN GENERAL
La RTU194 es un equipo electrónico diseñado para cumplir la función de controlador de bahía en una estación de transformación como parte de un sistema de control local o de telecontrol. Puede ser usado además como controlador de uso general para otras aplicaciones.

FUNCIONES BÁSICAS

- Relevar, mantener actualizados, fechar estados digitales y valores de medida analógicos sobre entradas cableadas desde la planta a controlar.
- Emitir comandos digitales hacia la planta.
- Mostrar el estado relevado y permitir ejecutar comandos desde una consola local de operación.
- Comunicar el estado y permitir comandos desde niveles superiores a través de diferentes protocolos de comunicaciones.
- Relevar información desde equipos esclavos mediante protocolo de comunicaciones.
- Sincronizar tiempos con niveles superiores, GPS o IRIG-B.
- Almacenar información durante periodos de fallo de comunicaciones.
- Verificar su funcionamiento interno reportando fallas a niveles superiores.
- Gestionar las comunicaciones con los niveles superiores.

ESPECIFICACIONES
Adquisición de señales

- Hasta dos tarjetas de IO, cada una de ellas con:
 - 40 ED 110 Vcc (opcionalmente 24-48 Vcc). Las entradas digitales son optoaisladas en grupos de 8 con el mismo común.
 - 10 SD por relé aptas para interrumpir 5A @ 110 Vcc, ambos bornes del contacto NA están disponibles sin agrupar con otros relés.
 - 4 EA +/-20 mA aisladas y flotantes entre sí (se pueden usar también para 4-20ma y 0-1ma, opcionalmente +/- 10V).
- Hasta dos módulos de medidas directas del sistema trifásico a partir de 3 corrientes y 3 tensiones. Se calculan a partir de estas:
 - Tensión RMS fase neutro, fase - fase y promedio.
 - Corrientes RMS de fase y promedio.
 - Potencia activa, reactiva y aparente por fase y total.
 - Factor de Potencia por fase y total.
 - Frecuencia.
 - Armónicos de tensiones y corrientes hasta el 15.
 - Distorsión armónica total de corrientes y tensiones.
- Se puede ampliar mediante:
 - Módulos de expansión para RTU194: EXP194.
 - Módulos de IO de la RTU587: TED32B, TSR8, TSR16, TEA8A, TIN521, TSA4, TPT8, etc.
 - Transductores Inteligentes: TRPT-01, TRCA-08.

Figura 24: RTU para ser Instalada en la Subestaciones

A continuación se muestra la Tabla 2 con los resultados obtenidos de la información levantada en las subestaciones.

SUBESTACIÓN	CIRCUITO 34,5 KV	PROTECCIÓN	MARCA	CIRCUITO 13,8 KV	PROTECCIÓN	MARCA	INFRAESTRUCTURA	SEGURIDAD	CASETA
SUBESTACIÓN 1	1	2	VISIONr	4	4	1. PANACEA 1. POLARR 2. COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 2	MOVIL	N/A	N/A	2	2	1. COOPER 1. NOJA	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 3	1	2	VISIONr	3	3	2. FKI SWITCHGEAR VISIONr 1. NO TIENE	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 4	1	NO	N/A	1	1	1 VISIONr	PAREDES DE MADERA		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 5	MOVIL	N/A	N/A	4	4	3. COOPER 1. NOJA	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 6	2	1	VISIONr	2	2	2 COOPER	DENTRO DE UN CENTRO DE SERVICIO		NO TIENE CASETA
		MOVIL	N/A	3	2	1. PANACEA 1. VISIONr			
SUBESTACIÓN 7	1	1	VISIONr	1	1	1 VISIONr	MEDIA PARED Y REJA		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 8	1	1	VISIONr	2	2	2. COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
	1	MOVIL	N/A	1	1				
SUBESTACIÓN 9	1	1	COOPER	1	1	1. COOPER	REJAS		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 10	1	MOVIL	N/A	7	6	3. NOJA 1. POLARR 2. COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 11	1	1	VISIONr	2	2	2 COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO	VIGILANTE	NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 12	2	1	VISIONr	2	2	3 COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
		1	NO TIENE	3	3	1 POLARR			
SUBESTACIÓN 13	1	1	NOJA	1	1	1 NOJA	CERCADO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 14	1	1	VISIONr	4	4	4. COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 15	1	1	VISIONr	4	4	1. NOJA 1. COOPER 2. VISIONr	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 16	1	1	VISIONr	2	2	1. COOPER 1. POLAR	REJAS		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 17	1	1	COOPER	4	4	4. NOJA	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 18	1	1	VISIONr	1	1	1 COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 19	1	1	VISIONr	2	2	2 COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 20	1	1	VISIONr	3	3	3 COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 21	1	1	VISIONr	2	2	2. POLAR	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 22	1	1	VISIONr	2	2	2 COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA
SUBESTACIÓN 23	2	0	N/A	4	4	4. COOPER	PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		NO TIENE CASETA

Tabla 2: Resumen de Resultados Obtenidos

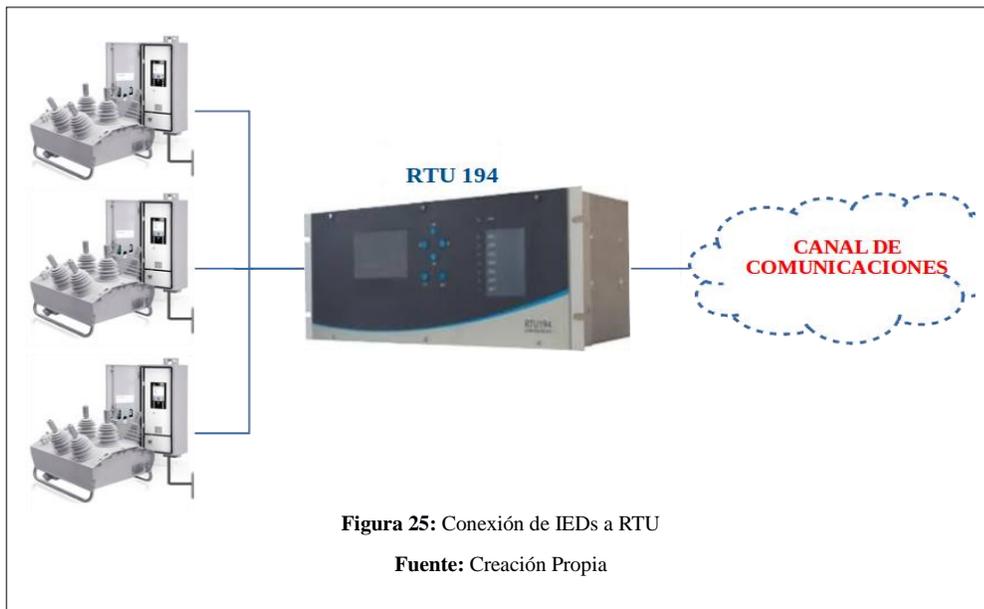
CAPITULO VI

4. PROPUESTAS DE CANAL DE COMUNICACIONES

Una vez realizadas las visitas a las subestaciones, levantada y procesada toda la información, se plantean las propuestas de canales de comunicaciones. Hay que señalar que para cada subestación se realizó una propuesta de un canal de comunicación diferente, de acuerdo a los equipos, seguridad, y requerimiento para cada caso. Sin embargo, en general, este planteamiento se basa en 3 propuestas, de acuerdo a los recursos con los que cuenta la empresa, procurando hacer una mínima inversión pero con un nivel de confiabilidad en el enlace acorde a la responsabilidad que amerita la operatividad del Sistema Eléctrico Nacional.

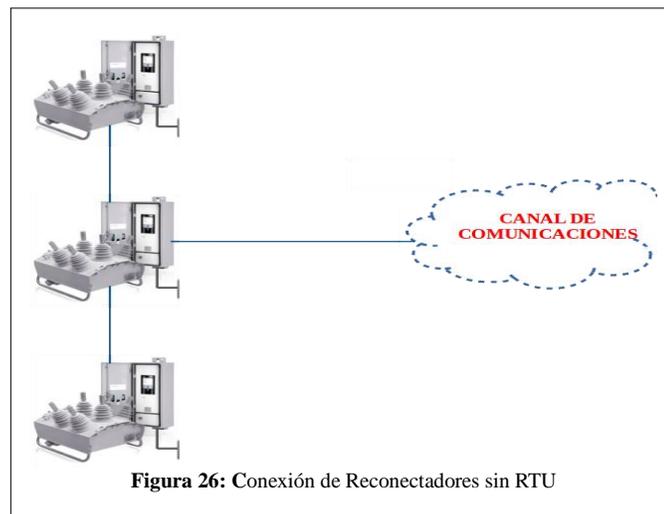
Es importante señalar que antes de enviar las señales por el canal de comunicación propuesto se deben conectar los equipos que se encuentran en la subestación a través de una Red LAN, para estas conexiones básicamente se tienen 2 configuraciones.

En la primera configuración todos los reconectores deben ir a una RTU y de la RTU sale la información para ser enviada por el canal de comunicaciones propuesto hasta llegar al sistema SCADA, como se muestra en la Figura 25.



Esta configuración también se deberá usar en las subestaciones donde hay instalado un reconector POLARR, debido a que este solo tiene un puerto de comunicaciones paralelo, lo que lo imposibilita conectar con los demás reconvertadores.

En la segunda configuración, se conectan los reconvertadores entre ellos y se usa uno como enlace al canal de comunicaciones, como se puede ver en el esquema en la Figura 26.



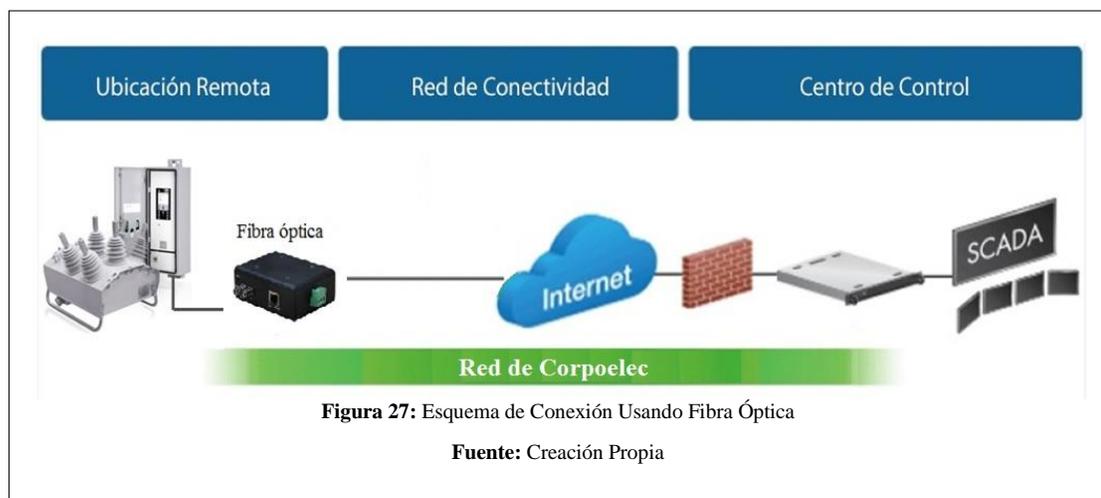
Al hacer una red entre los equipos y usar uno de ellos como enlace al canal de comunicaciones, se disminuyen considerablemente los costos, debido a que no hace falta instalar la RTU, sino que solo se requiere un módem o transductor para establecer la comunicación. Esta configuración se recomienda para subestaciones pequeñas y donde todos los equipos manejen un protocolo en común y usen un mismo puerto para que se puedan interconectar todos los equipos.

4.1 Enlace de Comunicación por Fibra Óptica

Sin dudas es el canal con mayor preferencia para la conexión de las subestaciones, por ser el que tiene mayor fiabilidad y velocidad de transmisión, y

además, se debe recordar que CORPOELEC cuenta con una gran red de Fibra por todo el país, y esa red cada día va en aumento ya que el proyecto de expansión aún se está ejecutando.

En las subestaciones donde se determinó que debería usarse la fibra óptica, se analizaron los planos de por donde pasa la red y se determinó que la distancia hasta la subestación no es muy grande. Es por ello que aunque se debe hacer un empalme y llevar la fibra hasta la subestación la inversión que hay que realizar no es muy elevada, en relación con el beneficio que este enlace traerá. En la Figura 27 se puede ver un esquema de la conexión usando fibra óptica como canal de comunicaciones.



En la Figura 28, se muestra la subestación a la que se propone que se use fibra óptica, más alejada de donde pasa la red de fibra actualmente, se puede observar que para realizar este enlace se necesita un empalme y un tendido de 95 metros de fibra.

Como ya se indicó anteriormente, este es el caso donde el empalme es mayor, en las otras subestaciones donde se propone que se utilice este canal de comunicaciones, se debe hacer una inversión menor. En total se propone usar la fibra óptica como canal de comunicaciones en 10 de las 23 subestaciones visitadas.



Figura 28: Vista desde Arriba de la Subestación

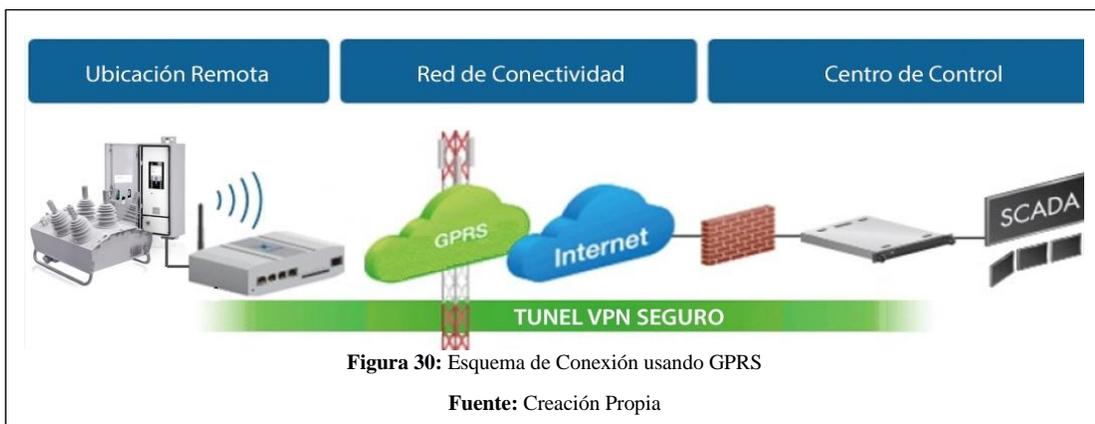
4.2 Enlace de Comunicación GPRS

Otro canal de comunicaciones que se propone es GPRS, debido a que hay subestaciones que quedan muy alejadas y no hay otro enlace de comunicaciones que quede cerca de ellas. Además se reduce considerablemente la cantidad de equipos que se requieren para poder conectarse a la red ya que solo se requiere de un módem y una antena, lo que facilita la implementación de esta tecnología. En la Figura 29 se puede observar una antena y un módem utilizado para conectar algunas subestaciones.



Figura 29: Antena y Modem GPRS

En esta tecnología se usa un módem GPRS como “marcador”, el cual se encarga de realizar llamadas a cada uno de los módem remotos y establecer una comunicación. Cada equipo GPRS 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, con el fin de garantizar la seguridad de la información transmitida a través de la red pública. En la Figura 30 se puede ver el esquema de conexión usando GPRS.



Los consumos promedios en MB para un IED de distribución el cual es interrogado cada 30 segundos y cada hora se le hace una Interrogación General del IED, es de aproximadamente 1MB transmitidos durante 24h. Entonces en una subestación tengo un consumo mensual de 30MB.

Esta tecnología ya se usa en algunas subestaciones del Distrito Capital, por lo que se dio la oportunidad de hacer pruebas con los equipos que se tenían disponibles. De esta manera, se pudo llevar ese módem a las subestaciones para hacer pruebas de cobertura, resultando estas de manera satisfactoria.

En la Figura 31 se puede observar la intensidad de la señal en una de las subestaciones donde se realizaron pruebas de cobertura. Lo que hace completamente viable la aplicación de la propuesta que hemos planteado en estos casos. En total, se plantea usar la Tecnología GPRS en 4 de las 23 Subestaciones.

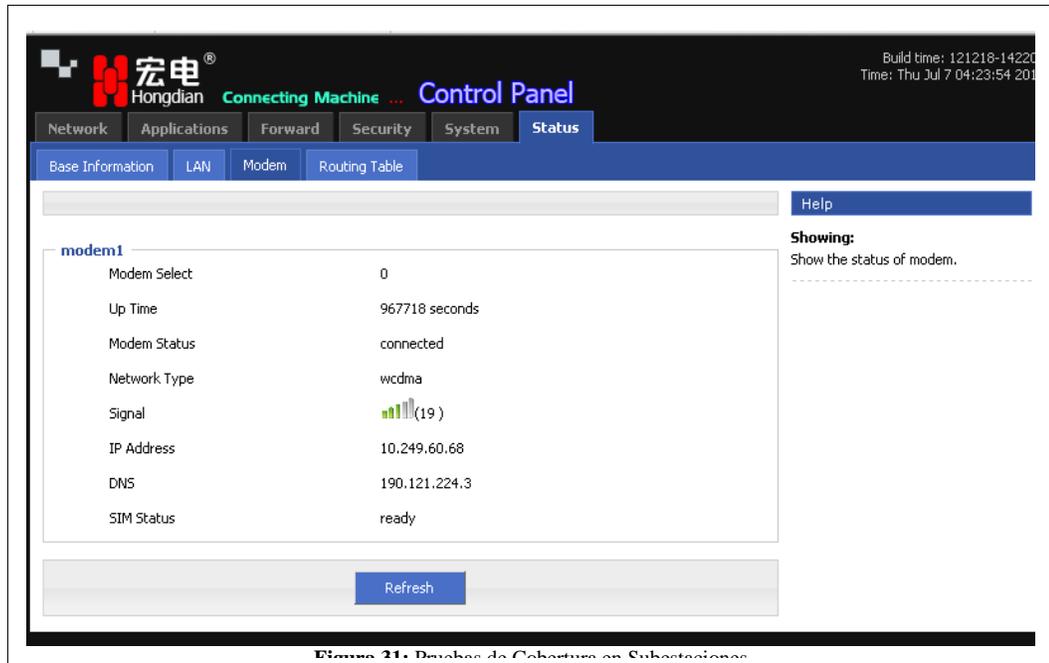


Figura 21: Detalles de Conexión en Subestaciones

4.3 Enlace de Comunicación ADSL

Como tercera opción se plantea usar la tecnología ADSL, esto se debe a que en la mayoría de las subestaciones hay muy cerca, prácticamente en la entrada de ellas, un nodo de la compañía que presta el servicio. Con esta tecnología se puede obtener una mejor confiabilidad que con la tecnología GPRS y la inversión es también menor, ya que solo se necesita la línea telefónica y el módem. Además se pueden aprovechar los convenios inter empresariales que hay entre la empresa prestadora del servicio y CORPOELEC, ya que las dos empresas pertenecen al estado.

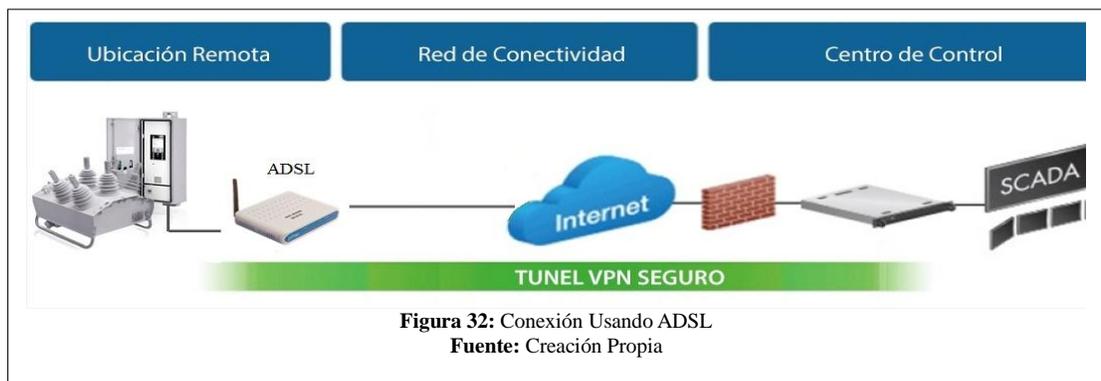


Figura 32: Conexión Usando ADSL

Fuente: Creación Propia

En la Figura 32 se puede apreciar que el principio es el mismo que se usa con GPRS, ya que se necesita un módem y de igual manera crear una VPN con el fin de garantizar la seguridad de los datos que se van a transmitir. Al usar ADSL, se busca tener un enlace con mayor estabilidad que el GPRS, también se obtienen beneficios en cuanto a velocidad de transmisión y disminución de costos. En las Figuras 33, 34 y 35, se muestra algunos nodos que están en las entradas o muy cerca de las subestaciones visitadas. En total se hace esta propuesta para 9 de las 23 subestaciones visitadas.



Figura 33: Nodo ADSL



Figura 34: Nodo ADSL



Figura 36: Entrada de Subestación

Luego de realizar el levantamiento de la información, analizar los equipos instalados en las subestaciones y según los posibles canales de comunicación, estas son las propuestas que se realizan, que en regla general se basa en 3 opciones por lo que se pueden representar en el esquema mostrado en la Figura 36.

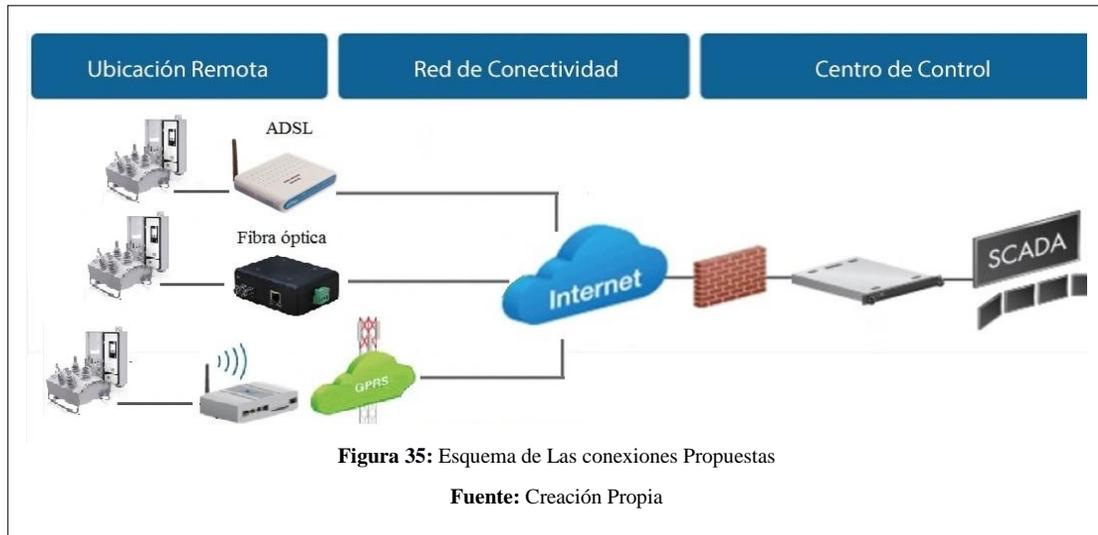


Figura 35: Esquema de Las conexiones Propuestas

Fuente: Creación Propia

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La automatización de las subestaciones eléctricas es cada día más común, debido a que ya se ha convertido prácticamente en una necesidad para poder dar respuesta en el menor tiempo posible y en ocasiones instantáneamente, a los posibles eventos que pueden ocurrir en el Sistema Eléctrico Nacional. En ese sentido, se realizó este proyecto donde se pudo visitar cada subestación de Distribución, con el fin de recoger la información del estado de los equipos instalados, actualizar el diagrama unifilar de cada subestación, estudiar los puertos y protocolos de comunicación instalados en los equipos de la subestación, así como también el nivel de seguridad que hay en las subestaciones para instalar equipos de comunicaciones.

Luego de levantar la información, se ubicaron los manuales de los equipos instalados para tener toda la base técnica con la cual tomar decisiones de cómo se deben conectar los equipos y cuáles podrían ser los canales de comunicación que se pueden emplear en cada subestación, según su disponibilidad y necesidad.

Por lo tanto, luego del análisis de la información se puede concluir que:

- Las soluciones propuestas según las condiciones encontradas en las 23 subestaciones visitadas, se basan en 3 soluciones posibles, las cuales son: fibra óptica (10 Subestaciones), GPRS (4 Subestaciones) y ADSL (9 Subestaciones).
- De acuerdo a los equipos que se encuentren en la subestación, aunque lo ideal es instalar una RTU, no siempre es necesario instalarla, gracias a la compatibilidad de puertos y protocolos de comunicación que poseen los equipos instalados, se crear una red LAN entre ellos y usar uno de los equipos como enlace al canal de comunicaciones.

- Al no tener la obligación de instalar siempre una RTU, disminuyen los costos y aumenta la factibilidad de aplicar el proyecto.
- Siempre que haya un reconector POLARR se debe instalar una RTU debido a la antigüedad y poca compatibilidad de este equipo.

RECOMENDACIONES

Al finalizar el estudio de este proyecto, podemos realizar las siguientes recomendaciones:

- En todos los casos va a ser una mejor opción usar el enlace de fibra óptica siempre y cuando se pueda hacer un empalme cerca de la subestación.
- En las subestaciones donde hayan pocos circuitos, uno o dos y queden muy alejadas, es preferible usar GPRS siempre y cuando tenga cobertura.
- Concretar rápidamente el acuerdo con el proveedor de ADSL, para poder aplicar el proyecto y aprovechar las ventajas del ADSL.
- En la manera que sea posible ir cambiando los re conectores POLARR debido a la poca compatibilidad y obsolescencia del equipo.
- De ser posible reubicar todos los re conectores POLARR en la menor cantidad de subestaciones, con el fin de aprovechar mejor las RTU Disponibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] González, F. “Introducción a los Sistemas de Potencia”, 2018. [En línea]. Disponible: <2001.http://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SP_IPPT-IntroSP.pdf> [Última Consulta: 12/09/2017]
- [2] TOSCANO, M. “Automatización de una Subestación Eléctrica utilizando el Protocolo IEC 61850 y el ICCP para el envío de Datos”, Universidad Ricardo Palma, Perú 2010.
- [3] HOYOS, J. “Tecnología GPRS aplicada al mantenimiento”, Revista CIER N° 58, Marzo 2011.
- [4] “¿Qué es la fibra óptica y cómo funciona?”, Marzo 2016. [En línea]. Disponible: <<http://comofuncionaque.com/que-es-la-fibra-optica-y-como-funciona/>> [Última Consulta: 12/09/2017]
- [5] RODRIGUEZ, A. “Fibra Óptica, qué es y cómo funciona”, Junio 2012. [En línea]. Disponible: <<https://www.fibraopticahoy.com/fibra-optica-que-es-y-como-funciona/>> [Última Consulta: 12/09/2017]
- [6] COBO, R. “GPRS”. [En línea]. Disponible: <<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/octubre-06.pdf>> [Última Consulta: 12/09/2017]
- [7] GPRS, Mayo 2012. [En línea]. Disponible: <<http://pryscom.ec/gprs/>> [Última Consulta: 12/09/2017]
- [8] “Tipos de conexión a la red”. [En línea]. Disponible: <<http://centros.edu.xunta.es/ieseduardopondal/tecnoweb/lecciones/tiposconexion.htm>> [Última Consulta: 12/09/2017]

- [9] GOUJON, A. “¿Qué es y cómo funciona una VPN para la privacidad de la información?”, Septiembre 2012. [En línea]. Disponible: <<https://www.welivesecurity.com/la-es/2012/09/10/vpn-funcionamiento-privacidad-informacion/>> [Última Consulta: 12/09/2017]
- [10] CISCO Networking Academy, «netacad, » CISCO, 2014. [En línea]. Disponible: <<https://static-course->>[Última Consulta: 12/09/2017]
- [11] “Dispositivo electrónico inteligente (IED)”, Diciembre 2010. [En línea]. Disponible: <<https://ramausa.wordpress.com/2010/12/24/dispositivo-electronico-inteligente-ied/>>[Última Consulta: 12/09/2017]
- [12] “Unidades Terminales Remotas” (RTUs), Octubre 2009. [En línea]. Disponible: <http://www.oocities.org/gabrielordonez_ve/Unidades_Remotas_SCADA.htm> [Última Consulta: 12/09/2017]
- [13] Méndez, C. “Optimización de ancho de banda para sistemas GSM”, Mayo 2008. [En línea]. Disponible: <<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/734/A6.pdf?sequence=6>>[Última Consulta: 12/09/2017]
- [14] NATIONAL INSTRUMENTS, “Información Detallada sobre el Protocolo Modbus”, Octubre 2014. [En línea]. Disponible: <<http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>>[Última Consulta: 12/09/2017]
- [15] VILLALBA, J. “Estudio y pruebas del protocolo de comunicación dnp3.0 sobre tcp/ip para la comunicación entre la central de generación cumbayá de la empresa eléctrica quito s.a. y el cenace”, Marzo 2010. [En línea]. Disponible: <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2153/1/CD-2905.pdf>>[Última Consulta: 12/09/2017]

BIBLIOGRAFÍA

UPEL. “Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales”. FEDEUPEL, 3ra ed. 2006.

MUÑOS, C. “Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis”. Editorial Prentice/hall 2nd ed. 2011.

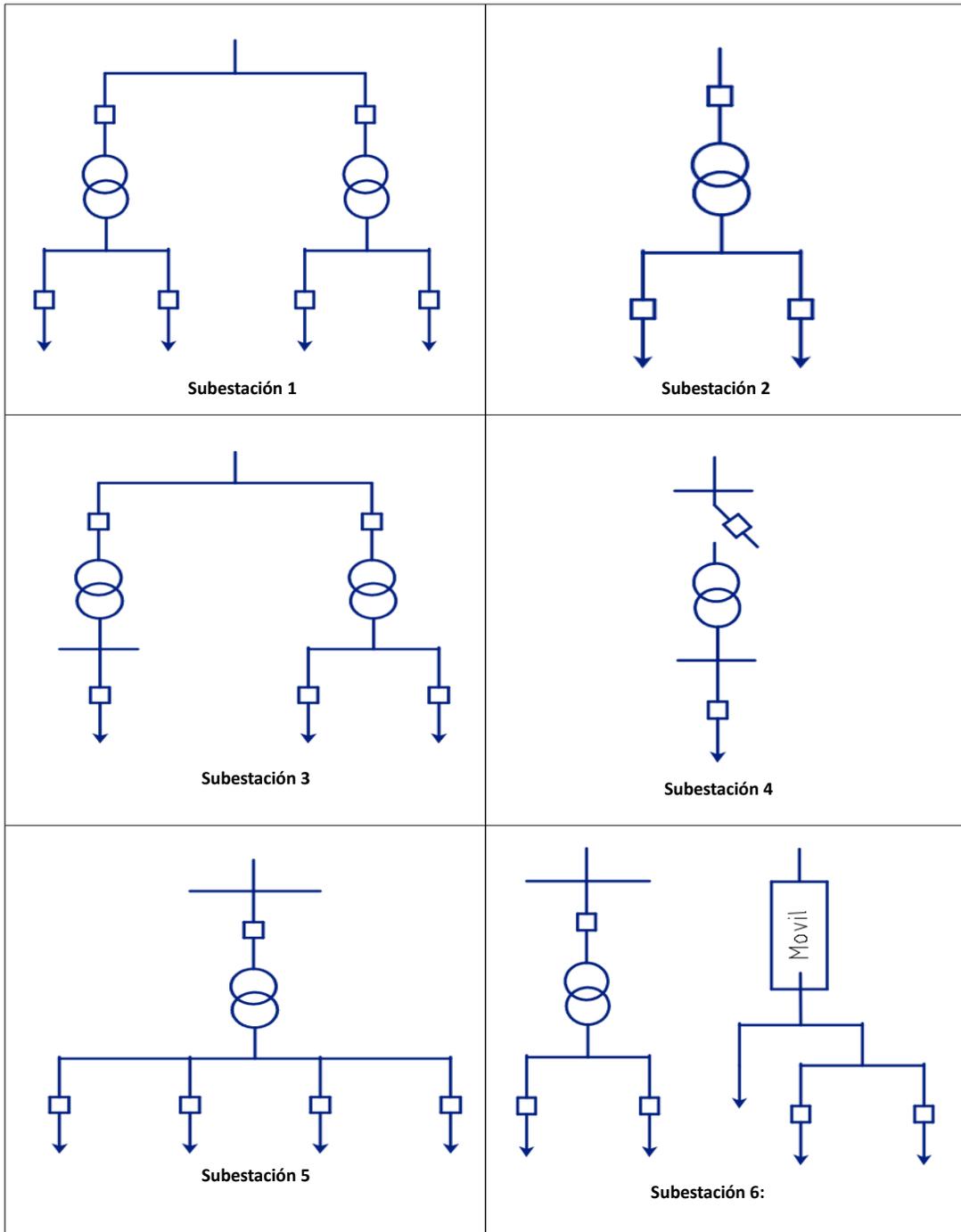
CALANCHE, B. “Diseño de una red inalámbrica de transporte y una red inalámbrica de acceso en diversas áreas de trabajo para la alcaldía de caracas de distrito capital, Venezuela”. Universidad Central De Venezuela Facultad De Ingeniería Escuela de Eléctrica 2016

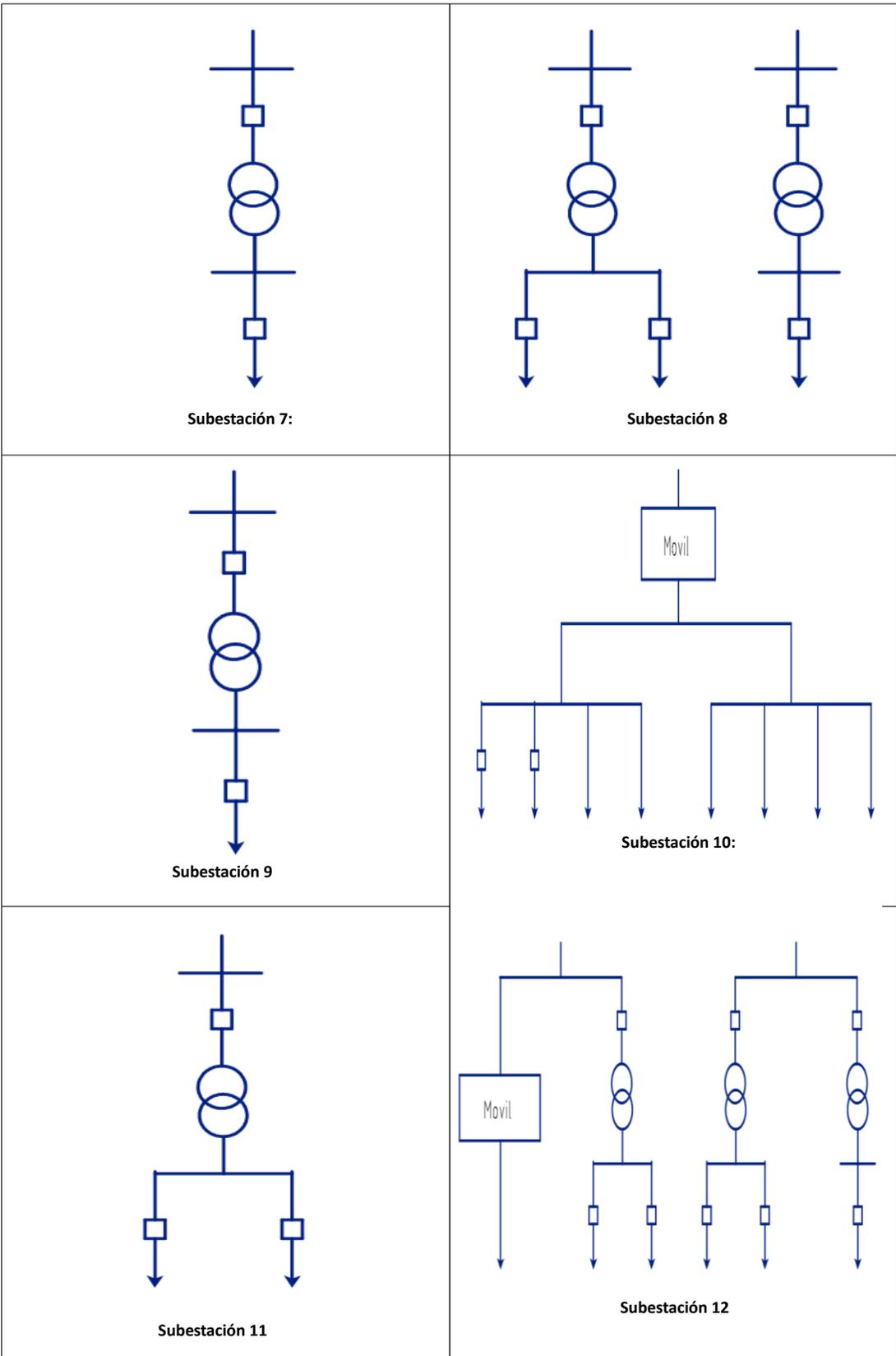
HIDALGO, M. “Planteamiento de una infraestructura para la ubicación de las antenas parabólicas y canalización de las estaciones de radio y/o televisión en el estadio de béisbol La Rinconada”. Universidad Central De Venezuela Facultad De Ingeniería Escuela de Eléctrica 2015

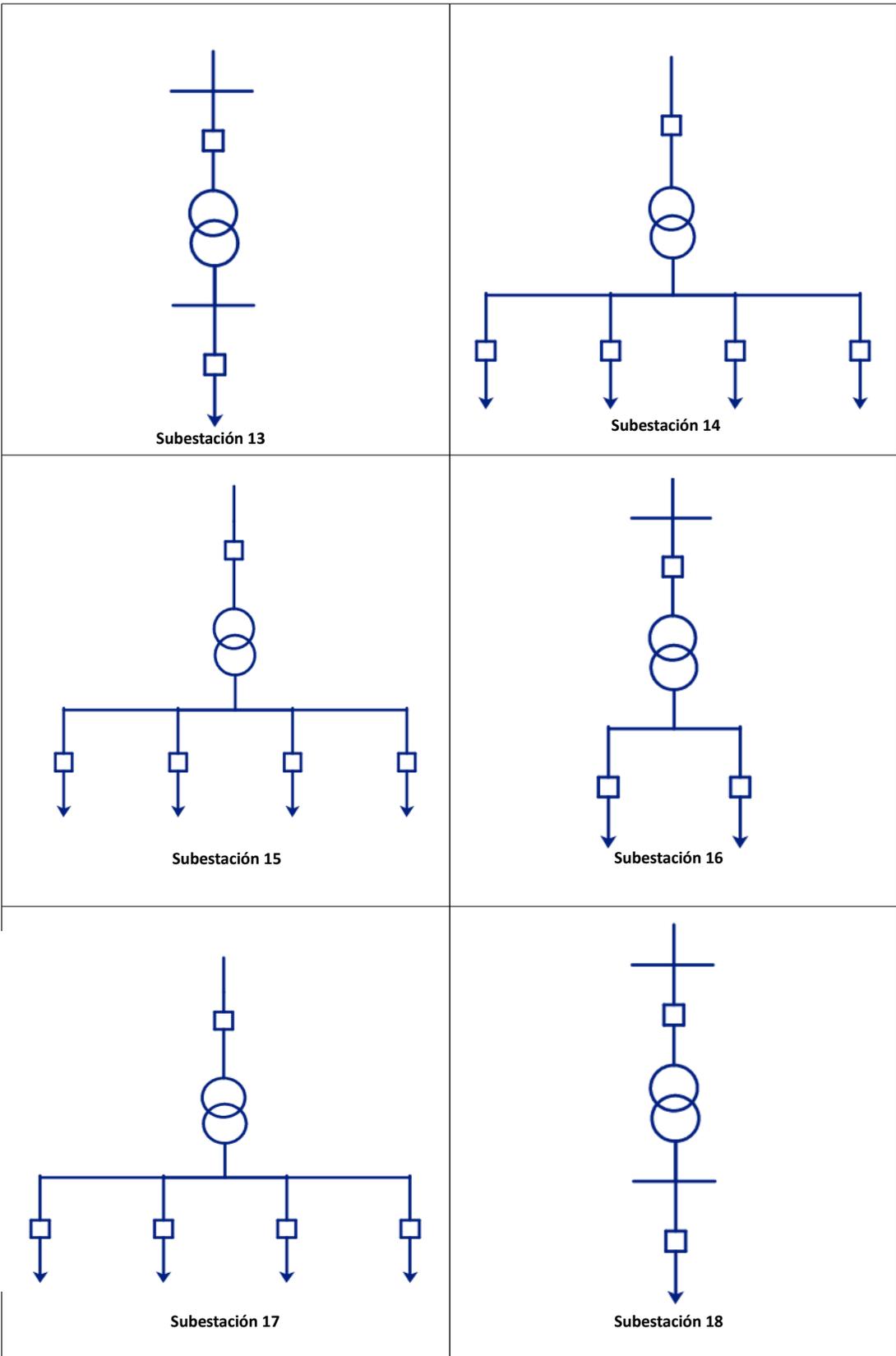
ANEXOS

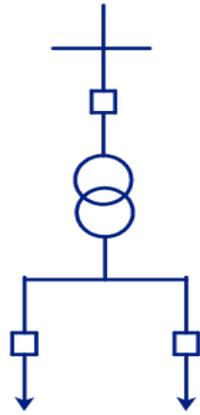
[ANEXO N°1]

Diagramas Unifilares de Subestaciones

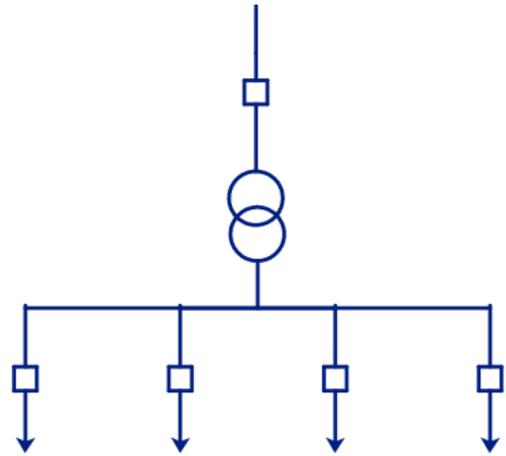




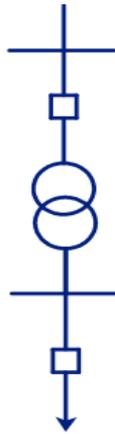




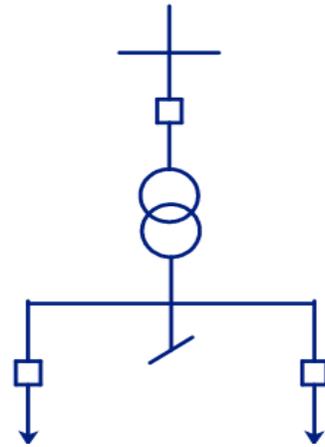
Subestación 19



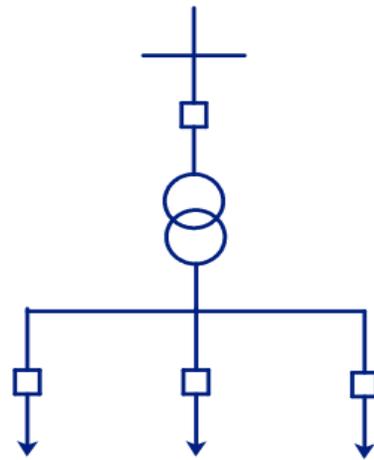
Subestación 20



Subestación 21



Subestación 22



Subestación 23