



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, REDES Y
COMUNICACIÓN DE DATOS**

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA**

**TEMA: “ANÁLISIS DE LA RED ACTUAL DE ADQUISICIÓN
DE DATOS DE CELEC EP-TRANSELECTRIC Y PLAN DE
IMPLEMENTACIÓN PARA LA MIGRACIÓN DE LA RED
BASADA EN TECNOLOGÍA SERIAL A TECNOLOGÍA
ETHERNET EN SUBESTACIONES QUE COMPONEN EL
SISTEMA NACIONAL INTEGRADO”**

AUTOR: MIGUEL LEOPOLDO JARAMILLO CAÑADAS

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, REDES Y COMUNICACIÓN DE
DATOS

CERTIFICADO

Ing. Darwin Aguilar
Ing. Christian Vega

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “Análisis de la red actual de adquisición de datos de CELEC EP-TRANSELECTRIC y plan de implementación para la migración de la red basada en tecnología serial a tecnología Ethernet en subestaciones que componen el Sistema Nacional Integrado”, realizado por el señor Miguel Leopoldo Jaramillo Cañadas, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en su reglamento.



Ing. Darwin Aguilar
DIRECTOR



Ing. Christian Vega
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, REDES Y COMUNICACIÓN DE
DATOS

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Miguel Leopoldo Jaramillo Cañadas

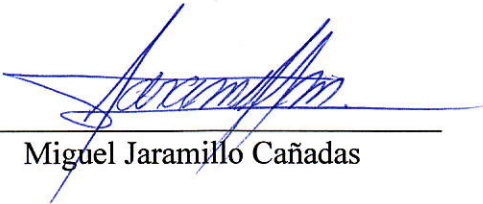
DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Análisis de la red actual de Adquisición de Datos de CELEC EP – TRANSELECTRIC y plan de implementación para la migración de la red basada en Tecnología Serial a Tecnología Ethernet en Subestaciones que componen el Sistema Nacional Integrado”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, 19 de mayo de 2015



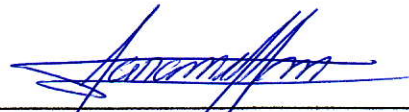
Miguel Jaramillo Cañadas

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, REDES Y COMUNICACIÓN DE
DATOS

AUTORIZACIÓN

Yo, Miguel Leopoldo Jaramillo Cañadas autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución de la presente proyecto de grado denominado “Análisis de la red actual de Adquisición de Datos de CELEC EP – TRANSELECTRIC y plan de implementación para la migración de la red basada en Tecnología Serial a Tecnología Ethernet en Subestaciones que componen el Sistema Nacional Integrado”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 19 de mayo de 2015



Miguel Jaramillo Cañadas

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por la sabiduría recibida la que incentiva mi razón y conocimiento, a mis padres por su amor y su sacrificio incondicional con ello forjaron el rumbo de mi trabajo y bienestar, a la bendición de mis abuelitas, a mi hermana y la querida Michelle de que siempre recibí su ayuda, a todos mis amigos y a compañeros, ellos todos, han sido pilar fundamental a este esfuerzo y dedicación en el inicio de mi carrera académica profesional, gracias por el cariño entregado, paciencia y soporte incondicional.

Gracias por su confianza, y, en hora buena

Miguel Jaramillo

AGRADECIMIENTO

En el proceso para encontrar el cercano anhelo de perfeccionar el contenido de un estudio originado por la aptitud inicial de una persona, considere que además de investigar, analizar y desarrollar el tema, en sus conclusiones, necesariamente debía tener como laurel, el reconocimiento al soporte moral y el asesoramiento académico recibido, estos valores merecen el más sincero agradecimiento a todos y todas las personas que dieron su juicio y fundamento que hicieron posible que pueda culminar este modesto tema que presento.

A todos ellos como a Dios, que me da la energía y sabiduría para entender y tratar de llegar a Él en el infinito universo del cual como una pequeña partícula de su inmensidad, orare con mi trabajo y sacrificio ser agradecido a la bondad de ser.

A Ruth y Luis, mis adorables padres que con amor Dios eligió, gracias por tanto sacrificio brindado que de manera humilde forjaron en mis valores morales y sentimientos de honradez y responsabilidad con mis semejantes. Y mi querida hermana Eva, con quien di mis primeras muestras de afecto por compartir su compañía en el hogar que juntos nos criamos.

A la añoranza y bendiciones de mi abuelita Gloria por sus consejos de respeto a mis padres y el amor a Dios, y que ahora la recibo desde el cielo.

Mi gratitud a toda mi familia, mi abuelita Anita, tías, tíos, primas, primos, aquellos quienes siempre estuvieron preocupados por saber el avance de mis estudios y que constantemente me llenaron con los mejores augurios a que con el esfuerzo cotidiano seguro podría llegar al éxito anhelado y que ahora ciertamente aquel propósito, culmina parte de ellos.

Sí, es preciso mencionar que el diario batallar de mi humilde sacrificio, en la preocupación y angustia del resultado de mis faenas, cambiaba mi semblante al encontrarme con mis queridos y añorados amigos y compañeros Diego, Christian, Jefferson, David, Alexandra, Ricardo, Pato, Bryan, Andrés, Leo, Astu y Diana, juntos nos ilusionamos y nos propusimos en llegar y culminar esta tarea que nos impusimos, gracias a su apoyo que con sus risas, llantos y afectos, ayudaron a llevar momentos difíciles que vivimos pero que felizmente con paciencia y perseverancia logramos superarlos. Cabe aquí expresar la cariñosa ayuda y el sutil consejo de mi querida Michelle, gracias por su valioso amor, apoyo, preocupación, paciencia, tolerancia y porque siempre estuvo conmigo en la buenas y en la malas. A todos ellos presentes con un gran aprecio les expreso mi sincera gratitud.

Debo además, a todo el personal del Departamento de Telecomunicaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC en especial a Paulina Criollo, Anita Zurita, Anita López y Daniel Cadena, entregarles mis más sinceros agradecimientos por sus consejos y enseñanzas que siempre me ofrecieron cuando realice pasantías, y además por hacer posible se acepte y guíen con su experiencia en el desarrollo de este proyecto de tesis, gracias por su valiosa colaboración.

Por último, no podría olvidar y ser agradecido al lugar más indicado elegido por mis padres, la que recibió la ansiedad de mi juventud para que pueda transformar mis sueños, mi querida Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, a la Carrera de Ingeniería Electrónica, su plantel docente y administrativo, a mis profesores, entre ellos Ing. Darwin Aguilar, Ing. Christian Vega, quienes formaron parte de mi realidad, gracias por transmitir sus conocimientos y recomendaciones, créanse que lo sembrado tendrá buena cosecha si el tiempo y Dios lo permite, y estará en buenas manos y cabeza, prometo que podre asimilar lo enseñado y con ello se sentaran las bases para nuevas ideas que la ciencia exige para el servicio de mi país y la comunidad a la que siempre dedicare mi sacrificio.

Gracias muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPITULO I.....	1
DESCRIPCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PROBLEMÁTICA.....	2
1.3 OBJETIVOS	4
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO	5
CAPITULO II	6
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1 REGULACIÓN No. CONELEC – 005/08	6
2.1.1 Adquisición de Datos y Telecomunicaciones	7
2.2 SEÑALES NECESARIAS PARA LA SUPERVISIÓN Y CONTROL.....	10
2.2.1 Señales de necesarias para CENACE	10
2.2.2 Señales de necesarias para CELEC EP - TRANSELECTRIC.....	14

2.3	SISTEMA SCADA/EMS.....	14
2.3.1	UTRs y Sistemas de Adquisición de Datos a nivel de Subestación.....	16
2.3.2	Front End.....	18
2.4	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	20
2.4.1	Protocolo RP – 570	21
2.4.1.1	Características generales	22
2.4.1.2	Capa Física	24
2.4.1.3	Capa de Enlace de Datos.....	24
2.4.1.4	Capa de Aplicación	26
2.4.2	Protocolo DNP 3.0	28
2.4.2.1	Características Generales	28
2.4.2.2	Capa Física	31
2.4.2.3	Capa de Enlace.....	32
2.4.2.4	Capa de Pseudotransporte	34
2.4.2.5	Capa de Aplicación	35
2.4.2.6	DNP 3.0 sobre TCP/IP	36
2.4.3	IEC 60870 – 5	37
2.4.3.1	IEC 60870 – 5 – 101 (IEC 101)	37
2.4.3.2	IEC 60870 – 5 – 104 (IEC 104).....	42
2.4.3.3	Diferencias entre el protocolo IEC 101 con el IEC 104.....	42
2.5	ESTÁNDARES DE INTERFACES DE COMUNICACIÓN	44
2.5.1	RS – 232.....	44
2.5.2	RS – 485.....	45
2.5.3	Ethernet.....	45
2.6	ADQUISICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SEÑALES.....	46
2.6.1	Sistemas Centralizados, Descentralizados y Distribuidos	47
2.7	REDES DE COMUNICACIÓN	48
2.7.1	Redes De Acceso.....	48
2.7.1.1	Centros de Control	48
2.7.1.2	Subestaciones	50
2.7.2	Redes de Transporte.....	51

2.7.2.1	PDH.....	51
2.7.2.2	SDH.....	54
2.7.2.3	MPLS	61
CAPITULO III.....		67
ANALISIS DE LA RED ACTUAL.....		67
3.1	RED DE SUBESTACIONES	69
3.1.1	Unidad Terminal Remota (UTR)	70
3.1.1.1	RTU – 400.....	70
3.1.1.2	RTU – 560.....	71
3.1.2	Sistemas de Adquisición de Datos a Nivel de Subestación	72
3.1.2.1	SICAM PAS.....	72
3.1.2.2	SICAM SAS.....	76
3.1.2.3	PACiS.....	77
3.1.2.4	COM 500.....	78
3.1.2.5	TBOX.....	79
3.1.2.6	DAP Server	80
3.1.2.7	Smart SCADA (Survalent).....	81
3.2	FRONT END	82
3.2.1	Estructura del Front End	83
3.3	CENTROS DE CONTROL	84
3.3.1	Estructura de los Centros de Control	85
3.4	MEDIOS DE COMUNICACIÓN.....	87
3.4.1	PLC	89
3.4.2	Sistemas de Comunicación sobre la Red de Fibra Óptica.....	90
3.4.2.1	Red PDH	91
3.4.2.2	Red SDH	95
3.4.3	Cable de Cobre.....	98
3.4.4	Convertor FO/RS-232.....	99
3.4.5	Servicio Prestado por Terceros	100

3.5 SÍNTESIS Y ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED	100
4.1 REQUERIMIENTOS.....	106
4.1.1 Requerimientos de Sistemas de Adquisición de Datos en Subestaciones...	107
4.1.2 Requerimientos del Sistema de Comunicaciones	107
4.2 PROPUESTA DE DISEÑO	108
Figura 4.1 Tendencia de la Propuesta de Diseño	109
4.2.1 Propuesta de Diseño en Subestaciones	109
4.2.1.1 Sistemas de Adquisición de Datos que soportan IEC 104	110
4.2.1.2 Sistemas de Adquisición de Datos que No soportan IEC 104	113
4.2.1.3 Análisis de Beneficio/Costo	123
4.2.2 Propuesta de Diseño en el Sistema de Comunicaciones	129
4.2.2.1 Estructura de Propuesta.....	129
4.2.2.2 Validación de Propuesta.....	132
4.3 ANALISIS DEL DISEÑO PROPUESTO	134
4.3.1 Ventajas.....	134
4.3.2 Desventajas	137
4.3.3 Estructura Lógica	137
CAPITULO V	140
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	140
5.1 CONCLUSIONES	140
5.2 RECOMENDACIONES	143
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	145

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estructura del Sistema SCADA Genérico	15
Figura 2.2. Componentes del Sistema SCADA/EMS	16
Figura 2.3. Típica Estructura de UTR	16
Figura 2.4. Medios de Transmisión entre Front End y UTR	17
Figura 2.5. Topologías de UTRS en SCADA/EMS	17
Figura 2.6. Comunicación Fronts Ends – UTR	18
Figura 2.7. Comunicación Fronts Ends – Centro de Control	19
Figura 2.8. Modelo EPA	21
Figura 2.9. Jerarquía Acorde Especificaciones RP – 570 y RP – 571	22
Figura 2.10. Trama de Longitud Fija	25
Figura 2.11. Trama de Longitud Variable	25
Figura 2.12. Capas de DNP 3.0	30
Figura 2.13. Topología Jerárquica DNP 3.0	32
Figura 2.14. Trama del Protocolo DNP 3.0	32
Figura 2.15. Trama del Campo de Control del DNP 3.0	33
Figura 2.16. Formato de APDU	35
Figura 2.17. Encapsulamiento DNP 3.0 sobre TCP/IP	36
Figura 2.18. Trama de la Capa de Enlace del Protocolo IEC 101	39
Figura 2.19. Trama Fija o Variable de IEC 60870-5-101	40
Figura 2.20. ASDU de Capa de Aplicación del Protocolo IEC 101	41
Figura 2.21. Pila del Protocolo IEC 60870 – 5 – 104	42

Figura 2.22. Trama de la Capa de Enlace del Protocolo IEC 104	43
Figura 2.23. RS – 485 Multipunto	45
Figura 2.24. Trama Ethernet	46
Figura 2.25. Ejemplo SAS Centralizado	47
Figura 2.26. Estructura Jerárquica Centros de Control	50
Figura 2.27. Niveles de PDH	52
Figura 2.28. Estructura Multitrama E1	52
Figura 2.29. Estructura de STM – 1	54
Figura 2.30. Bytes de SOH	55
Figura 2.31. Multiplexación SDH.....	57
Figura 2.32. Elementos de una Red SDH	58
Figura 2.33. Protección 1:1	60
Figura 2.34. Protección 1:N	60
Figura 2.35. Multiprotolo MPLS	61
Figura 2.36. Elementos de una Red MPLS	62
Figura 2.37. Nested LSP	63
Figura 2.38. Cabecera MPLS	64
Figura 2.39. Pila de Etiquetas	65
Figura 3.1. Estructura del Subsistema de Adquisición de Datos	69
Figura 3.2. RTU - 560	71
Figura 3.3. SICAM PAS Full Server	72
Figura 3.4. Estructura SICAM PAS en Subestación.....	74

Figura 3.5. Ruggedcom RS8000	74
Figura 3.6. Ruggedcom RS8000T.....	75
Figura 3.7. Ruggedcom RS400	75
Figura 3.8. Estructura SICAM SAS en Subestación.....	76
Figura 3.9. Estructuras de Anillo con Sistemas PACIS	78
Figura 3.10. Estructuras COM 500	79
Figura 3.11. T-Box.....	79
Figura 3.12. T-Box RTU y Gateway.....	80
Figura 3.13. DAP Server.....	81
Figura 3.14. Estructura del Front Ends	83
Figura 3.15. Estructura General de los Centros de Control	85
Figura 3.16. Estructura del Centros de Control COT.....	86
Figura 3.17. Mapa Red de Fibra Óptica CELEC EP - TRANSELECTRIC	88
Figura 3.18. Equipos PLC.....	89
Figura 3.19. Estructura Red de Fibra Óptica.....	91
Figura 3.20. Estructura SDH de CELEC EP - TRANSELECTRIC	96
Figura 3.21. UTR Vs Gateway en la Red de Adquisición de Datos	101
Figura 3.22. Estadísticas de Modelos de Sistemas	101
Figura 3.23. Estructura de Red de Adquisición de Datos del SNI.....	103
Figura 3.24. Protocolo Usados en Red de Adquisición de Datos	104
Figura 3.25. Interfaces Usadas en Red de Adquisición de Datos	104
Figura 3.26. Comparación UTR/Gateway Vs. Protocolo	107

Figura 4.1. Tendencia de la Propuesta de Diseño	109
Figura 4.2. Switch RS400 Ruggedcom	111
Figura 4.3. Estructura de Elan SCS en Subestación.....	116
Figura 4.4. SPT4-NET	117
Figura 4.5. Estructura de Elan SCS en Subestación.....	118
Figura 4.6. Conversor IEC101-104 en SICAM SAS	119
Figura 4.7. Router CGR 1120	120
Figura 4.8. Arctic IEC-104.....	122
Figura 4.9. Conversor IEC 101-104 en COM 500	122
Figura 4.10. Propuesta del Sistema de Comunicaciones.....	131
Figura 4.11. Proceso Lógico de Adquisición de Datos.....	138

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación entre capas del protocolo RP – 570 y modelo OSI.....	22
Tabla 2 Comparación entre capas del protocolo DNP 3.0 y modelo OSI.....	29
Tabla 3 Grupo de Objetos de Datos	30
Tabla 4 Comparación entre capas del protocolo IEC 60870-5-101 y modelo OSI ...	38
Tabla 5 Características de Hardware de Arctic IEC-104.....	121
Tabla 6 Características de Sistemas que pueden trabajar con IEC 104	125
Tabla 7 Características de Sistemas que no pueden trabajar con IEC 104 (1)	126
Tabla 8 Características de Sistemas que no soportan IEC 104 (2)	127

RESUMEN

El presente proyecto está enfocado a la conversión de tecnología serial hacia Ethernet (IP) en la comunicación de las subestaciones con los Centros de Control de la red de adquisición de datos, la cual es la encargada de transmitir los datos necesarios para la supervisión y control de los elementos del Sistema Eléctrico de Potencia del SNT y de Centrales Generadoras.

Este proyecto en primer lugar analiza todos los inconvenientes que existe actualmente en la red de adquisición de datos basada en tecnología de comunicación serial y establece requerimientos que deben ser cumplidos por la nueva propuesta de diseño, para ello recopila información teórica y datos técnicos que sirven como plataforma para la evaluación de los equipos y sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación, los resultados obtenidos de esta evaluación indican que existen sistemas que permiten una implementación del protocolo IEC 104 que trabaja con arquitectura TCP/IP pero también existen sistemas que no están en condiciones de trabajar con el protocolo IEC 104, para lo cual se analiza varias alternativas basándose en los requerimientos que permitan habilitar esta opción. Por otro lado tomando en consideración que la implementación de la Red MPLS se encuentra en marcha se establece tres opciones para que las subestaciones puedan anexarse a dicha red y aprovechar todos los beneficios que ella brinda para un mejor rendimiento de la red de adquisición de datos. Finalmente en base al desarrollo del proyecto se expone conclusiones y recomendaciones así como proyectos de implementación a futuros.

PALABRAS CLAVES

- **RED DE ADQUISICION DE DATOS**
- **SUBESTACIONES**
- **COMUNICACIÓN SERIAL**
- **PROTOCOLO IEC 104**
- **RED MPLS**

ABSTRACT

This project is focused on the conversion of serial technology to Ethernet (IP) in the communication of the substations with the Control Centers on the Data Acquisition Network, which is responsible for transmitting the data necessary for monitoring and control elements of the Electrical Power System of the SNT and power plants.

This project first analyzes all the problems that exist on the Data Acquisition Network that have a serial communication and establishes requirements to be achieved by the new design, for it gathers theoretical and technical data that serve as a platform for evaluation of equipment and data acquisition systems at the substation level, the results of the evaluation indicate that exist systems that allow an implementation of the IEC 104 protocol that works with TCP/IP architecture but there are systems that are not able to work with the IEC 104 protocol, in this case there are many alternatives based on the requirements that allow this option enabled. On the other side considering that the implementation of the MPLS network, three options can be chosen for substations can be attached to the network and reap the benefits it provides for better network performance data acquisition. Finally based on project development are established conclusions and recommendations and future implementation projects.

KEYWORDS

- **DATA ACQUISITION NETWORK**
- **SUBSTATION**
- **SERIAL COMMUNICATION**
- **PROTOCOL IEC 104**
- **MPLS NETWORK**

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

TRANSELECTRIC nació el 13 de enero de 1999 como sociedad anónima en consecuencia de la liquidación del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), posteriormente, a partir del 2010, TRANSELECTRIC forma parte de una de las Unidades de Negocio de la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP).

TRANSELECTRIC desde sus inicios ha sido la encargada de operar el Sistema Nacional de Transmisión (SNT) con el fin de transportar energía eléctrica producida por hidroeléctricas, térmicas, etc. hacia todo el país, a través de una red compuesta por torres, cables y subestaciones distribuidas estratégicamente (incluyendo subestaciones móviles).

Sobre toda la red de energía eléctrica, TRANSELECTRIC tiene levantada una red de telecomunicaciones, la cual, permite el monitoreo y control de cada nodo de la red que está formando por subestaciones y centros de generación. En estos nodos se adquieren información que es enviada tanto al centro de control del COT (Centro de Operación de Transmisión) que procesa información de transmisión, como también al centro de control de la corporación CENACE que en general es la responsable de administrar el funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado (SNI), formando de esta manera la red de adquisición de datos.

La red de adquisición de datos de TRANSELECTRIC tecnológicamente ha evolucionado paralelamente a las necesidades que conlleva el crecimiento paulatino de la red en todo el país. Es así que en un principio el monitoreo de la red se basaba en el sistema *SPIDER*, con protocolo RP – 570, a nivel físico se implementó interfaces seriales (RS – 232) utilizando como medio de comunicación a Power Line Carrier (PLC), con la particularidad que la información era transmitida a un solo Centro de Control.

Posteriormente CENACE implementó un nuevo sistema de monitoreo llamando Energy Managment System (EMS) que junto con dispositivos de comunicación y servidores concentradores de datos forman parte de los Front Ends Remotos ó eLAN, lo cuales son los únicos equipos de la red que funcionan como concentradores de datos. Por otro lado, en equipos que pertenecen al sistemas de monitoreo de generadoras, subestaciones nuevas y modernizadas de la red, tienen una tecnología basada en protocolos IEC – 101 y DNP 3.0 e incluso disponen de interfaces Ethernet, sin embargo, se ha mantenido las interfaces RS – 232 con la diferencia que CELEC EP – TRANSELECTRIC implementó la fibra óptica como medio de trasmisión en un 64% de los enlaces de la WAN, el resto de enlaces usan cable de cobre, PLC ó servicios prestados por empresas privadas.

De esta manera, la información actualmente es recolectada en cada subestación y generadoras del país, para luego ser enviadas hacia los Fronts Ends, y consecutivamente reenviada a los centros de control del CENACE y COT, en estos dos sitios la información es analizada con el fin de monitorear y controlar remotamente todo el SNI¹.

1.2 PROBLEMÁTICA

En la generación y transmisión de energía eléctrica del Ecuador, se están desarrollando varios proyectos como por ejemplo hidroeléctricas Coca Codo Sinclair, Sopladora, Zamora, entre otros, los mismos que necesitan de una red de transmisión de energía suficientemente capaz para transmitir todo este recurso a diferentes nodos distribuidos a nivel nacional, para ello CELEC EP - TRANSELECTRIC ha puesto en marcha nuevos proyectos de expansión como por ejemplo, el proyecto de 500 kV entre otros, que a su vez necesita de un sistema de control y monitoreo suficientemente robusto, veloz y flexible para su correcto manejo local y remoto. Estas características no son totalmente solventadas por la tecnología que actualmente está instalada, ya que durante varios años la adquisición de datos para el monitoreo y control de ciertas subestaciones que componen la red de

¹ El Sistema Nacional Integrado (SNI) es un conjunto de elementos conectados entres si, que componen un Sistema Eléctrico, con el fin de producir y transmitir energía eléctrica en todo el país incluso posee conexiones internacionales

transmisión de energía se ha basado en tecnología serial RS-232, limitando las ventajas que tiene la fibra óptica instaladas en cada subestación y en la red de WAN.

La tecnología serial actualmente implementada presenta el problema de ser poco flexible al momento de instalar nuevos equipos o enlaces necesarios para el crecimiento constante de la red o para la implementación de nuevos servicios de comunicación, esto nace debido a que los equipos utilizados para el monitoreo y control tienen sus limitaciones, principalmente en el número de puertos disponibles. Además, es común que en mantenimientos de rutina que se realizan en los equipos de la red de adquisición de datos se produzca caídas en los enlace de comunicación, esto suele suceder cuando se cambia un dispositivo con problemas por un nuevo o por otro con similares características; la caída también puede ser causada por la desconexión involuntaria del conector del enlace. Estas caídas de enlace afectan directamente a la disponibilidad de la red.

Los equipos de cada subestación y centros de control tanto de CELEC EP – TRANSELECTRIC como de CENACE se encuentran en un proceso de actualización tanto en hardware como en software para la expansión de la red de sistema eléctrico nacional, entonces para superar todos los requerimientos y necesidades que surgen continuamente en la red es importante que la adquisición de datos se desarrolle bajo una tecnología que permita optimizar recursos de telecomunicaciones y sea flexible respecto a la instalación y mantenimiento de la red.

Un alternativa de diseño de red que pudiera satisfacer estas necesidades y requerimientos es la tecnología IP que basándose en Ethernet permitirá modernizar la red de adquisición de datos, sobretodo porque la mayoría de software pioneros en la supervisión, control y adquisición de datos en el sector eléctrico como SCADA Network Manager, explotan sus mayores capacidades utilizando protocolos basados en arquitectura TCP/IP. Estos argumentos sumada a la gran aceptación en el mercado y talento humano altamente capacitado en TCP/IP, hacen que esta tecnología pueda ser una alternativa para el crecimiento y actualización de la red de adquisición de datos del Sistema Nacional Integrado (SNI) deseada.

Por lo expuesto anteriormente es necesario realizar una investigación de métodos que permitan a los protocolos de comunicación que actualmente están implementados en el SNI, realizar una transformación de tecnología serial tecnología a Ethernet, para posteriormente dar una alternativa de diseño de la red de adquisición de datos basada en tecnología Ethernet (IP), y así, poder aprovechar las ventajas que nos brinda esta tecnología como por ejemplo elevar considerablemente la velocidad en la transmisión de datos punto-multipunto, flexibilidad, disponibilidad, redundancia en enlaces de comunicación, facilidad de transmitir por un solo cable varios servicios de comunicación contrario a la tecnología RS-232 que esta dedicado una tarea específica, disminuir el ruido electromagnético, y sobretodo aprovechar al máximo los beneficios de un sistema distribuido de fibra óptica y canales Ethernet de alta capacidad que conecta todos los nodos de la red de adquisición de datos actualmente.

1.3 OBJETIVOS

General

Analizar el Sistema de Comunicaciones de la red de adquisición de datos que enlaza la red de subestaciones con los Centros de Control para proponer un diseño de red basado en tecnología Ethernet (IP) que aproveche los beneficios de una infraestructura de red de transporte actualmente instalada en el SNT con fibra óptica.

Específicos

- Investigar detalladamente conceptos básicos y la estructura de protocolos de comunicaciones que se encuentran implementados en la red de adquisición de datos para obtener un conocimiento más amplio de cómo está funcionando la red y sobretodo conocer métodos que permitan un cambio de tecnología serial a tecnología Ethernet.
- Determinar el estado actual de la red de la adquisición de datos, analizando dispositivos que maneje tecnología serial, para saber con qué recursos contamos actualmente en la red.

- Proponer un nuevo diseño de red basada en el estado actual de la red, realizando un análisis de los equipos necesarios para la migración de una tecnología serial RS-232 a una tecnología que tenga mayores beneficios como Ethernet.
- Analizar los parámetros de la propuesta de un nuevo diseño de la red de adquisición de datos para identificar costos y beneficios que conllevaría la migración total de la red actual con tecnología serial a una nueva red IP basada en tecnología Ethernet.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

Analizar la red actual de adquisición de datos, específicamente en protocolos de comunicación basadas en tecnología serial a través de interfaces RS-232 que se encuentran en los RTUs, sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación, Front Ends y centros de control, para que en base a este análisis proponer alternativas que permitan que todo el nuevo diseño de red se base en comunicaciones Ethernet con tendencia a tecnología IP para el control y supervisión en los centros de control del CENACE y CELEC EP – TRANSELECTRIC.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 REGULACIÓN No. CONELEC – 005/08

La regulación No. CONELEC – 005/08 es una serie de normas dispuestas y aprobadas por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) el 19 de Junio de 2008, el cual, exigen a los transmisores generadores, grandes consumidores y distribuidores del campo eléctrico, otorgar toda la información necesaria para la administración, coordinación y operación de todo el SNI en tiempo real que la realiza el Consejo Nacional de Electricidad (CENACE) que es el encargado de gestionar las transacciones técnicas y financieras del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

Este documento trata de temas como las responsabilidades que deben tener los agentes del MEM, el transmisor y CENACE, así como características técnicas que se debe cumplir en el envío de información hacia los centros de control. Cabe resaltar que este proyecto de tesis se enfocará principalmente en temas técnicos y requerimientos relacionados con el Sistema de Adquisición de Datos², Sistema de Comunicaciones, Concentradores de datos y Centros de Control, todos estos forman parte del Sistema en Tiempo Real (STR).

Este reglamento hace mención a que los agentes del MEM y el transmisor deben adaptarse a la tecnología de comunicación de CENACE, incluso si se produce una modernización del sistema, los agentes serán obligados a la implementación de nuevas tecnologías, razón por la cual es permitido cualquier propuesta que permita el mejoramiento y modernización del STR.

² Sistema de Adquisición de Datos es un conjunto de elementos distribuidos en todos los nodos que componen el SNI, cuya función es recolectar y enviar la información en tiempo real para su análisis en los Centros de Control.

2.1.1 Adquisición de Datos y Telecomunicaciones

Los agentes del MEM y del transmisor tienen la obligación de tener instalado un sistema de adquisición de datos dedicado con un medio de transmisión simple o redundante, el cual permita obtener un alta disponibilidad y confiabilidad para ayudar a cumplir con los objetivos de supervisión y control del CENACE.

Existe dos métodos donde se puede entregar la información por parte de los agentes del MEM y del transmisor para posteriormente ser trasladados al centro de control.

El primer método se basa en concentradores de datos (eLANs) ubicados en las subestaciones de Quevedo, Pascuales, Santa Rosa y Molino pertenecientes al Sistema Nacional de Transmisión (SNT), en donde se encuentran las regletas de frontera que son puntos de conexión, los cuales permiten dividir elementos del sistema de potencia con los equipos de adquisición de datos.

El segundo método, consta en entregar la información directamente al servidor de adquisición de datos (RDAS), localizados en las instalaciones de CENACE a través del protocolo ICCP, el mismo que será utilizado para el intercambio de información entre los centros de control de los agentes del MEM, del transmisor y de las conexiones internacionales.

- **Adquisición de Datos**

Los sistemas de adquisición de datos son un conjunto de elementos que se encuentran distribuidos en el SNI, los mismos que recolectan y envían información de todas las subestaciones y centrales de generación para su supervisión y control en el CENACE. Estos elementos son los siguientes:

- Unidades Terminales Remotas (UTRs), gateways o equipos de adquisición de datos, todos estos se conectan a los concentradores de datos o directamente a los RDAS.
- Sistema SCADA de las subestaciones y centrales generadoras que serán conectadas con el sistema de monitoreo EMS, a través de los concentradores de datos o directamente utilizando el protocolo ICCP.
- Centros de Control de los agentes del MEM, del transmisor u conexiones internacionales serán conectados utilizando el protocolo ICCP para una conexión computador – computador.

Es importante mencionar que entre las responsabilidades de los agentes del MEM y del transmisor, consta en tener implementado un sistema de adquisición de datos basado en este reglamento y con capacidad de expansión, que permitan una operación local y remota de la subestación o generadora, con el fin de lograr una disponibilidad no menor al 99.5%.

Además, es obligación de los agentes de MEM, del transmisor y CENACE dar mantenimiento continuo a cada uno de los equipos de la red de adquisición de datos colocadas en sus instalaciones y trabajar conjuntamente en dos tipos de pruebas para la oficialización de equipos. Estas pruebas son:

- Pruebas de Objetos las mismas que son ensayos de envíos de información desde los equipos de adquisición de datos hacia los centros de control, sin tomar en consideración el equipo primario (disyuntores, transformadores, generadores, seccionadores)
- Pruebas Primarias, que son ensayos en el envío de información desde los equipos primarios hacia los Centros de Control. Las mediciones analógicas que surjan de estas pruebas deben cumplir con una precisión igual o menor al 1%. Mientras que los tiempos de respuestas no deben ser mayores a 7 segundos en mediciones analógicas, 3 segundos en alarmas e indicaciones, y 4 segundos en los setpoints.

▪ Sistema de Telecomunicaciones

Los equipos que forman parte del sistema de comunicación deben garantizar el intercambio de información desde los agentes del MEM y el transmisor hasta el punto de frontera donde CENACE tiene servidores y equipos de comunicación. Para ello se debe considerar un sistema de comunicación que permita:

- **Comunicación Dedicada de Datos:** Para la conexión con los sistemas de adquisición de datos.
- **Comunicación Dedicada Computador – Computador:** Para las conexiones directamente conectadas con los centros de control
- **Comunicaciones de Voz:** Para la coordinación de operaciones en tiempo real entre operarios.
- **Velocidades De Transmisión:** La velocidad mínima que deberá tener el sistema de comunicación análogo en la transmisión de datos será de 1200 bps. Sin embargo dependiendo del medio de transmisión las velocidades podría ser mayores a 19200 bps.
- **Protocolos de Comunicación:** La comunicación desde los centros de control hacia los agentes del MEM y transmisor se deben basar el protocolo internaciones tales como el protocolo IEC – 60870 – 5 – 101, DNP 3.0 serial y el protocolo ICCP.

Los agentes o el transmisor pueden tener respaldo en la información tomando en consideración enlaces redundantes y para las conexiones que utilicen el protocolo ICCP deben tener una velocidad de transmisión de 64000 bps como mínimo.

2.2 SEÑALES DE TIEMPO REAL NECESARIAS PARA LA SUPERVISIÓN Y CONTROL

2.2.1 Señales de necesarias para CENACE

Todos los agentes del MEM y del transmisor son obligados a entregar a CENACE información de señales de indicaciones, mediciones de energía, mediciones analógicas (mediciones de potencia activa y reactiva, voltaje y frecuencia), cambios en el estado de interruptores, alarmas y actuación de protecciones que serán obtenidas en los sistemas de adquisición de datos de cada nodo con una secuencia de eventos registrados cronológicamente cada un milisegundo para posteriormente permitir al centro de control realizar un trabajo eficiente en la supervisión y control del SNI.

La información que solicita CENACE para modelar del Sistema de Tiempo Real está clasificada según las posiciones. Cada una de ellas tienen sus propias características de señalización, control y medición, expuestas a continuación según la posición que se encuentren³:

a) Subestaciones

✓ Posiciones de línea

- Estado de interruptores.
- Estado de los seccionadores.
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor.
- Alarmas
- Comando del interruptor.
- Mediciones de MW y MVAR.

³ Esta información fue adquirida de documento de Regulación No. CONELEC 008/05

✓ Barras

- Estado del interruptor de enlace o transferencia u otros asociados a las barras.
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor asociado a las barras.
- Alarmas
- Comando del interruptor
- Medición de voltaje de barras
- Medición de frecuencia donde sea aplicable

✓ Equipo de transformación (alto voltaje)

- Estado del interruptor
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor
- Si existe LTC en alto voltaje:
 - Estado de manija manual/automático del LTC
 - Estado del modo de regulación manual/automático del LTC desde el CENACE
 - Estado de la manija local/remoto para control del LTC
- Alarmas
- Comando del interruptor
- Comando del LTC subir/bajar Voltaje(si existiera LTC en el lado de alto voltaje)
- Mediciones de MW y MVAR
- Posición del tap (pasos del LTC si existiera en alto voltaje)
- Medición de la temperatura del aceite

✓ Equipo de transformación (bajo voltaje)

- Estado del interruptor
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor

- Estado de manija manual/automático del LTC
- Estado del modo de regulación manual/automático del LTC desde el CENACE
- Estado de la manija local/remoto para control del LTC
- Alarmas
- Comando del interruptor
- Comando del LTC subir/bajar voltaje(si existiera LTC en el lado de bajo voltaje)
- Mediciones de MW y MVAR
- Medición del estado de la posición del tap (pasos del LTC)
- Mediciones de MWh y MVARh (bidireccional)

✓ **Capacitores y reactores**

- Estado del interruptor
- Estado de los seccionadores
- Estado de la manija local/remoto para control del interruptor
- Alarmas
- Comando del interruptor
- Medición de MVAR del capacitor o reactor

b) Generadores

- Estado del interruptor del generador
- Estado de los seccionadores
- Alarmas
- Mediciones de V, MW y MVAR del generador
- Mediciones de MW y MVAR de auxiliares en caso de Térmicas
- Mediciones de MWh y MVARh del generador
- Medición del limitador de carga
- Medición de nivel de presa
- Medición de los caudales de ingreso, para el caso de centrales hidráulicas.
- Medición de niveles de tanques de combustible
- Medición de caudal de flujo, presión y temperatura de combustible

c) Alarmas de Comunicaciones

Las alarmas de comunicaciones se clasificarán en genéricas y particulares:

✓ Alarmas genéricas:

- Alarma de falla en la alimentación de los relés de comandos
- Alarma de falla en la alimentación del panel de alarmas
- Alarma de falla general en la UTR (“stall alarm”)
- Alarma de falla en la alimentación de los cargadores de los bancos de baterías.
- Alarma de falla en el modem
- Alarma de falla en el transmisor/receptor de datos.
- Alarma de falla en el medio de comunicación: corte del enlace o tasa de bits errados.

✓ Alarmas particulares:

Dependerán del tipo de enlace de comunicaciones utilizado: PLC, fibra óptica, microondas, etc. y deberán ser provistas por la empresa suministradora del enlace.

d) Comandos de Control

Un comando es una instrucción impartida por el CENACE sobre los equipos de los Agentes para controlar o modificar condiciones del Sistema de Potencia, esta acción se realiza indirectamente sobre los equipos de los agentes, sin embargo, en el momento que ocurra fallas en la instalaciones o en la comunicación, CENACE por medio del COT o viceversa, puede intervenir remotamente abriendo o cerrando disyuntores para controlar y normalizar el Sistema Eléctrico de Potencia.

2.2.2 Señales de necesarias para CELEC EP - TRANSELECTRIC

CELEC EP – TRANSELECTRIC a través del Centro de Control COT, necesita un conjunto de información que es adquirida siguientes señales para realizar la supervisión y control de las subestaciones del Sistema Nacional de Transmisión (SNT).

- Señales posición de línea 230 kV y 138 kV
- Señales posición de acoplador
- Señales posición de transformador de alta tensión
- Señales posición de transformador de media tensión
- Señales posición de transferencia
- Señales posición de alimentador
- Señales posición de capacitor
- Señales posición de reactor

De cada una de estas señales se adquiere la siguiente información⁴:

- Mediciones de frecuencia, potencias, voltaje
- Comandos de control
- Estados de la señal
- Alarmas

2.3 SISTEMA SCADA/EMS

El sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) es un sistema operativo que precisamente como su nombre los indica, permite supervisar, controlar y adquirir información de procesos, remotamente en tiempo real.

Como podemos observar en la *Figura 2.1* el sistema SCADA recolecta información de los dispositivos de control e instrumentación mediante RTU, luego a través de los sistemas de comunicación transfiere la información a hasta una Estación

⁴ Esta información puede variar dependiendo de la Señal.

Maestra y finalmente se despliega la información en pantalla a los operadores de los Centros de Control a través de un computador con interfaz HMI (Human – Machine Interface).

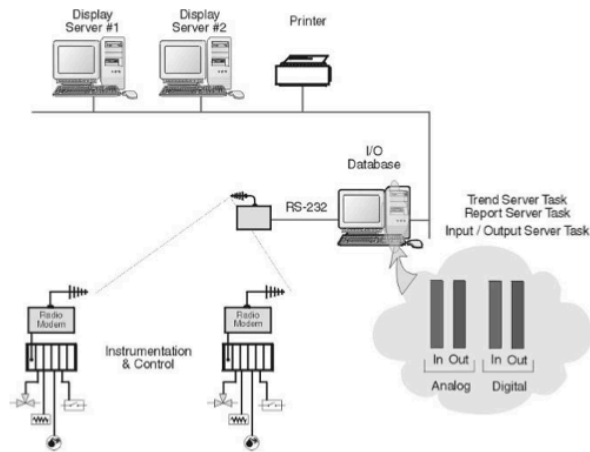


Figura 2.1 Estructura de Sistema SCADA Genérico

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

Jerárquicamente subsistemas que componen el sistema SCADA/EMS en el SNI son:

- **Subsistema de Adquisición de Datos:**

- Unidades Terminales Remotas (UTR)
- Front Ends
- Sistemas de comunicaciones

- **Subsistema de computación:**

- Computadores de procesamiento
- Controladores de comunicaciones
- Interfaces de red

- **Subsistema MMI (Man-Machine Interface)**

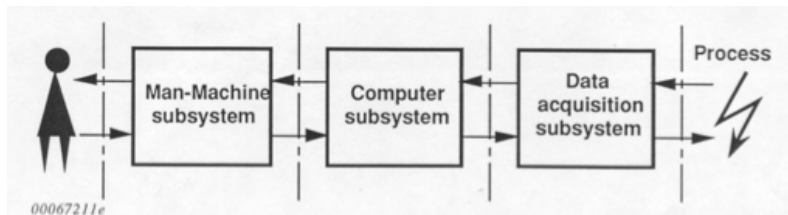


Figura 2.2 Componentes del Sistema SCADA/EMS

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

2.3.1 Unidad Terminal Remota (UTR) y Sistemas de Adquisición de Datos a nivel de Subestación

Los UTR y Sistemas de Adquisición de Datos a nivel de subestación son equipos que junto a un software, adquiere datos de los dispositivos de bahía, y las envía hacia los concentradores de datos, incluso algunos de estos equipos independiente toman acciones de control.

Los sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación tienen diferentes estructuras que incluyen, UTRs, Gateway, IEDs, dispositivos de bahía, etc. Estas estructuras varían dependiendo del fabricante o del uso que se quiera dar y serán analizadas en el Capítulo III.

Por otro lado, los UTRs que se comunican directamente con los Front Ends o que incluso forman parte del Sistema de Adquisición de Datos en la subestación, generalmente tienen la siguiente estructura

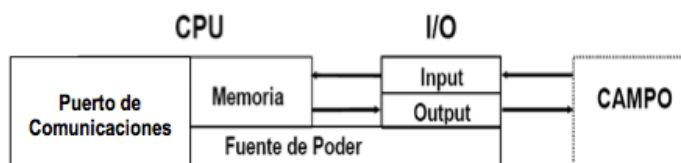


Figura 2.3 Típica estructura de UTR

Fuente: (Vallecilla, 2007)

Como podemos observar en la *Figura 2.3*, el UTR adquiere datos a través de interfaces RS – 232, RS – 422 ó RS – 485, las procesa y las envía a través de un Puerto de Comunicaciones de que tiene ser flexible con medio de comunicación como:

- RS – 232, RS – 422 ó RS – 485
- Ethernet
- Dial up
- Satélite
- Radio
- Microonda.

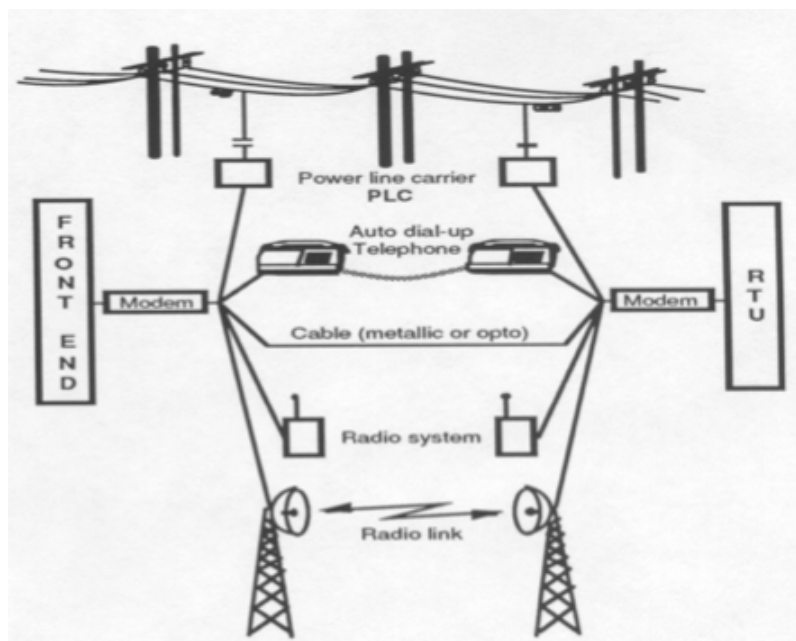


Figura 2.4 Medios de Transmisión entre Front End y UTR

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

▪ Topologías de los RTU

El sistema SCADA/EMS permite varias topologías para la comunicación entre UTR y Front End, o también es posible una comunicación peer – to – peer entre RTUs, o incluso puede funcionar como repetidora de otra RTU que no pueda alcázar a la estación maestra. Las configuraciones permitidas son:

- Punto – punto
- Serie
- Multi-drop
- Estrella
- Lazo

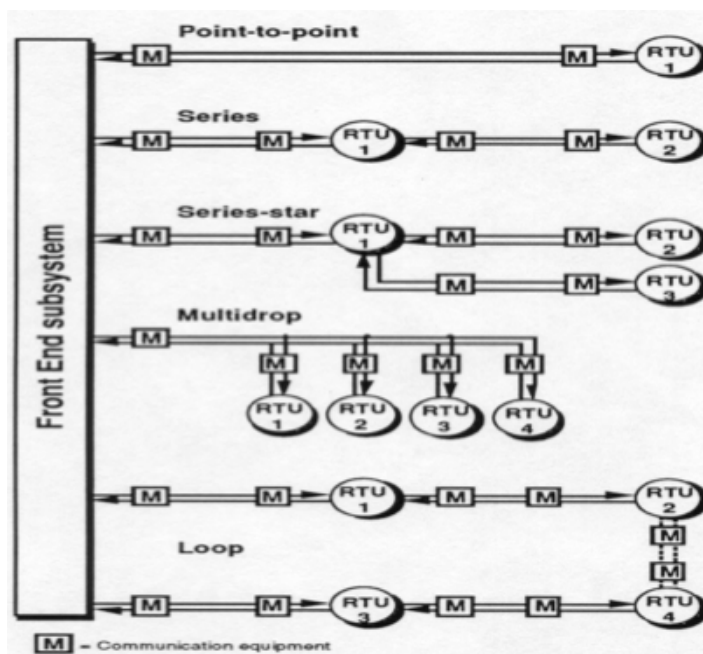


Figura 2.5 Topologías de UTRs en SCADA/EMS

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

2.3.2 Front End

La comunicación que existe entre las UTRs y la estación maestra (Centros de Control) se lo realiza a través de equipos de comunicación redundante llamados Front End que recolecta información ejecutando rutinas de llamado⁵ para luego reenviarlo a los Centros de Control.

Los Front Ends también tiene la capacidad de monitorear las líneas de comunicación activas y las de respaldo, y en caso que exista alguna falla el sistema puede conmutar automáticamente entre estas líneas.

⁵ Rutinas de llamados son todos los mensajes de requerimientos que son enviados al UTR, su orden de envío depende de una prioridad. Este proceso puede ser interrumpido temporalmente por envío de comandos o requerimientos de actualización de datos

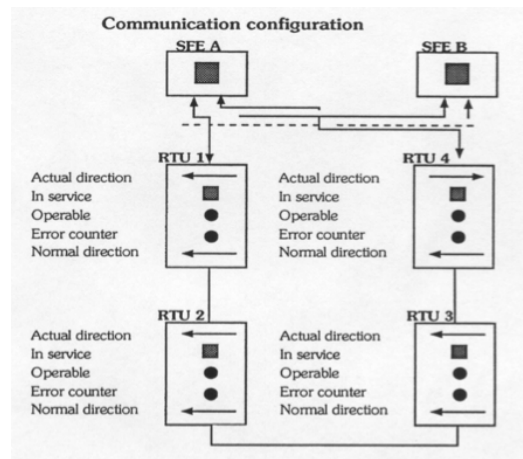


Figura 2.6 Comunicación Fronts Ends - UTR

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

Los sistemas Front End también tienen la capacidad de concentrar información en servidores de almacenamiento y actualizar periódicamente la base de datos a través de un módulo. Esta información concentrada en los Front Ends es reenviada en orden de prioridad a los Centros de Control para su procesamiento y análisis, sin embargo mensajes de estado de UTRs, de eventos y de diagnóstico no se concentran en los Front Ends, sino pasan directamente a los Centros de Control.

El sistema SCADA tiene una arquitectura redundante para la instalación de Front Ends y Centros de Control, la misma que permite elevar la disponibilidad del sistema y está estructurada de la siguiente manera:

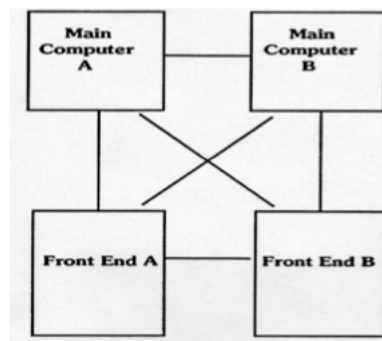


Figura 2.7 Comunicación Fronts Ends – Centro de Control

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

2.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación son un conjunto de reglas que son establecidas por dos o más identidades con el fin de transmitir información a través de cualquier medio. Ciertos protocolos divide en capas a esta transmisión de información y cada capa la usa como bloques para la construcción de la pila.

De esta manera podemos definir que existen dos tipos de protocolos de comunicación:

- Protocolos de bajo nivel que se desarrollan en capas inferiores como por ejemplo aquellos que tienen como característica adaptar los datos transmitidos al medio de transmisión.
- Protocolo de alto nivel que son aquellos que definen toda la comunicación de extremo a extremo, es decir, la capa de aplicación logra establecer comunicación entre servidores y clientes conectados en la red. Otra característica de estos protocolos es que tiene su propio proceso de direccionamiento para llegar del origen al destino.

Los protocolos implementados en el SNI son de alto nivel y están basados en tecnología RS – 232 en capas inferiores. Estos protocolos permiten la encapsulación de datos recopilados por los UTRs para posteriormente ser enviados a los concentradores de datos y luego a los Centros de Control son los siguientes:

- Protocolo RP – 570
- Protocolo IEC – 870 – 5 – 101
- Protocolo DNP 3.0
- Protocolo ICCP que se utiliza en Centros de Control que se encuentren directamente conectadas con otros Centros de Control.

Estos protocolos se basan en el Modelo OSI, el cual es un modelo conceptual que ha ayudado al desarrollo de estándares para la comunicación, este modelo define siete capas de manera jerárquica para la transmisión de datos. Los protocolos de comunicación que son utilizados en el sistema SCADA, toman este modelo de referencia y lo simplifica en el modelo EPA (acrónimo en inglés Enhanced Performance Architecture), el cual está formado por 3 capas: Capa física, Capa de enlace y Capa de Aplicación.

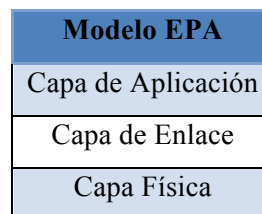


Figura 2.8 Modelo EPA

2.4.1 Protocolo RP – 570

El RP – 570 es un protocolo de comunicación industrial de alto nivel y fue desarrollado por la compañía Suiza ABB (ASEA Brown Boveri) en el comienzo de los años 90. Este protocolo nace como una abreviación del protocolo basado en la norma IEC 57 (actualmente IEC 870).

La función principal del protocolo RP – 570 es establecer un acoplamiento en la comunicación entre los RTU de las subestaciones y los Front-Ends datos en el SNI, basando su funcionamiento en la codificación que realiza el estándar FT 1.2 en la capa de enlace.

El protocolo RP – 571 es una extensión del RP – 570 y es utilizado como gateway como se puede observar en la siguiente figura:

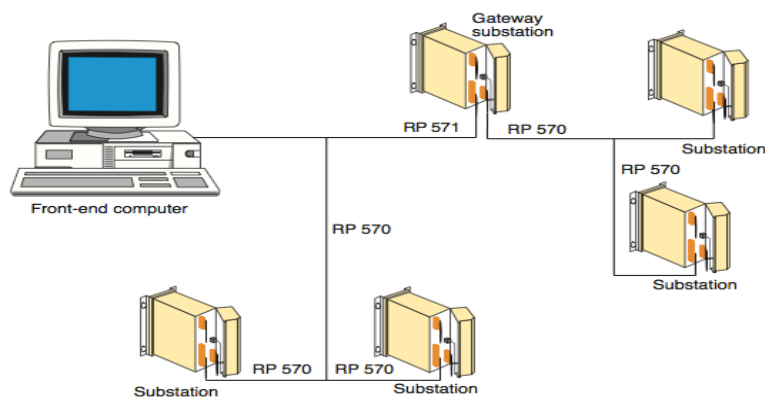


Figura 2.9 Jerarquía de Red acorde especificaciones de RP – 570 y RP – 571

Fuente: (ABB, 2004)

2.4.1.1 Características generales

El protocolo tiene dos modos de transmitir datos, el primero de ellos es el modo de dialogo que se usa cuando existe una comunicación entre el Front End y la subestación, mientras que el segundo es el Modo Monologo que es usado en una comunicación dentro de la subestación.

El protocolo RP – 570 hace referencia al modelo EPA para su desarrollo estructural. La siguiente *Tabla 1* nos permitirá ver de mejor manera la relación entre RP – 570 y el modelo OSI:

Tabla 1

Comparación entre capas del protocolo RP – 570 y modelo OSI

RP -570	MODELO OSI
Capa de Aplicación (RP – 570 ó RP – 571)	Capa de Sesión, de Presentación y de Aplicación
Capa de Enlace (FT 1.2)	Capa de Enlace, de Red y de Transporte
Capa Física (RS – 232 ó V.24)	Capa Física

Fuente: (Luis Corrales, 2007)

El protocolo RP – 570 basa su funcionamiento en la capa de enlace, es ahí donde se encuentran los mensajes que son intercambiados entre los Front End y las subestaciones.

Existe una variedad de mensajes que son codificados en los octetos del campo de función de la trama del protocolo RP – 570 y son clasificados según el sentido que tenga la comunicación según indique el campo de dirección, dicho esto, se tiene mensajes:

a) Mensajes Transmitidos desde los Front End a la subestación:

- ✓ **Mensajes al RTU:** Sirven para monitorear la integridad de la subestación, para solicitar información del RTU y para empezar la comunicación.
- ✓ **Mensajes de pregunta:** el Front End solicita información de nuevos cambios que se han realizado al RTU.
- ✓ **Comandos del proceso:** son utilizados para que el RTU realice acciones específicas dispuestas desde el Front End.

b) Mensajes Transmitidos desde la subestación hacia los Front End:

Estos mensajes ayudan a actualizar la información de los Front Ends, con nuevos cambios que se presenten en las subestaciones y se agrupan según su función en:

- ✓ **Mensajes de proceso:** son mensajes que continuamente informan al Front End sobre los procesos que se estén realizado en la subestación.
- ✓ **Mensajes de etiquetados en el tiempo:** son mensajes que indican cambios ocurridos en los datos del proceso.
- ✓ **Mensajes de respuesta:** contiene información de respuesta a interrogantes solicitadas previamente por el Front End.
- ✓ **Mensajes de estado:** Indica frecuentemente y cada vez que se solicitado acerca del estado de la subestación.
- ✓ **Mensajes especiales:** estos mensajes funciona cuando la subestación se encuentra conectado a una red telefónica pública.

2.4.1.2 Capa Física

Como podemos observar en el Tabla 1, la capa física del protocolo RP – 570 cumple con las mismas características que la primera capa de modelo OSI, es decir, se encarga de recibir y transmitir la corriente de bits no estructurados que circulan en el medio de transmisión.

En esta capa se describe la interfaces eléctricas para el medio físico y posteriormente los lleva a las siguientes capas superiores, es así, que según el protocolo RP – 570 en esta capa se maneja estándares RS – 232 y V.24.

El modo de transmisión es Simplex y el sentido de comunicación los realiza el campo de dirección en la capa superior.

2.4.1.3 Capa de Enlace de Datos

En el protocolo RP – 570, la capa de enlace es manejado por el protocolo FT. 1.2 recomendado por la IEC TC57⁶ y es la encargada de agrupar bits que vienen de la capa física para formar tramas con reglas que determine el protocolo. Este trabajo la capa de enlace lo determina formando dos tipos de tramas las cuales puede ser formada por un número fijo o variable de bytes.

Se usa trama de longitud fija cuando el destinatario como el que origino el mensaje sabe la dimensión del mensaje y cuando se trasmite comandos y reconocimientos simples que no contienen datos verdaderos. La trama es la siguiente:

⁶ IEC TC57 es el Comité Técnico 57 de la Comisión Electrotécnica Internacional, que desarrolla estándares internacionales para el intercambio de información en sistemas de potencia.

D7(MSB)				D0(LSB)			
Carácter de Inicio							
0	0	0	1	0	0	0	0
Dirección (1er byte del usuario)							
Función (2do byte del usuario)							
Checksum							
Carácter de Parada							
0	0	0	1	0	0	0	0

Figura 2.10 Trama de Longitud Fija

Por otra parte, la trama de longitud variable contiene de 2 a 255 octetos:

D7(MSB)				D0(LSB)				
Carácter de Inicio								CABECERA
0	1	1	0	1	0	0	0	
Longitud								
Longitud								
Carácter de Inicio								LONGITUD DE INFORMACIÓN
0	1	1	0	1	0	0	0	
Dirección (1er byte del usuario)								
Función (2do byte del usuario)								
:	:	:	:	:	:	:	:	
0<=N<=253 byte del usuario								TERMINACIÓN
Checksum								
Carácter de Parada								
0	0	0	1	0	1	1	0	

Figura 2.11 Trama de Longitud Variable

Los campos de los dos tipos de tramas se explican a continuación:

- **Carácter de inicio:** cuando se usa trama de longitud fija este campo se llena con el número 16 y cuando es variable con el número 104.
- **Longitud:** Forma parte de la cabecera de la trama de longitud variable e indica la dimensión de los datos.
- **Checksum:** Este campo sirve para identificar la integridad del mensaje.
- **Carácter de parada:** indica la finalización de la trama.
- **Campo de dirección:** por medio de este campo el receptor identifica el mensaje que ha sido envidado desde el origen, el cual debe estar en el rango de 1 a 255.
- **Campo de función:** este campo lleva un número de secuencia y/o un código de mensaje que permite preguntar o responder información necesaria para el monitoreo de la subestación. Este código depende del campo de dirección.

2.4.1.4 Capa de Aplicación

Funciones como la retransmisión de mensajes, manejo de prioridad, polling⁷ y ciertos requerimientos para la comunicación son de responsabilidad de la capa de superior del protocolo RP – 570.

▪ **Retransmisión De Mensajes**

En la trama de la capa inferior de enlace existe un campo llamado checksum o mensajes que permite verificar el estado del mensaje en el receptor, si en el Front End o en la subestación encuentra una falla en el checksum, el receptor pide la retransmisión del mensaje hasta que llegue correctamente el mensaje. Si en el Front End, después de un número finito de intentos el mensaje no llega correctamente, entonces se asume que la subestación esta fuera de operación.

⁷ Polling es la tarea que realiza el master (Front End) para mantener actualizada su base de datos enviando peticiones a estaciones remotas.

Cuando se está trabajando en modo de dialogo, en la trama de la capa de enlace dentro del campo de función existen dos bits que sirven de secuencia para establecer un orden en el dialogo, la subestación verifica que el orden sea el correcto, caso contrario pide a la capa de aplicación la retransmisión del mensaje.

Para el restablecimiento de la comunicación la subestación almacena los últimos datos del campo de función, número de secuencia y el mensaje hasta que se retransmita el mensaje correctamente con el número de secuencia correcto y continúa con la transmisión, caso contrario, destruye el mensaje si recibe como número de secuencia al cero.

▪ **Manejo de Prioridad**

La capa de aplicación procesa los datos recibidos por la capa de enlace dependiendo de la prioridad que haya sido asignada. Cada mensaje establecido en el campo de función de la trama de capa de enlace, tiene un nivel de prioridad específica: P1, P2 o P3. Siendo P1 la prioridad de más alto nivel y obviamente P3 es la más baja, por ejemplo un mensaje de alta prioridad (P1) es el TSTA que permite saber el estado interno del dispositivo, un mensaje de prioridad P2 es el TDR que contiene datos transparentes al protocolo, y un mensaje de baja prioridad P3 es SYSM que indica el retorno de los códigos erróneos de una subestación.

▪ **Principio de la Interrogación**

Esta función indica que la capa de aplicación de la subestación solo transmitirá si es que habido cambios de información desde la última petición.

▪ **Mensajes de Comando**

Los Front Ends son los únicos con la capacidad de enviar mensajes de comando a las subestaciones por medio de cualquier mensaje de petición para la recopilación de datos de las subestaciones, de lado contrario, las subestaciones tienen que estar dispuestas para entregar dicha información.

2.4.2 Protocolo DNP 3.0

DNP (Distributed Network Protocol) es un protocolo de comunicaciones industrial que define interoperabilidad entre estaciones maestras, RTU y IEDs (Intelligent Electronic Devices) es un protocolo creado por Harris Controls en 1990 y basado en normas del IEC 60870-5⁸. La estructura de este protocolo se fundamenta en tres capas: física, enlace de datos y aplicación.

Sin embargo para un mejor rendimiento de las UTRs avanzadas y de los mensajes transmitidos, aparece la versión 3 de este protocolo la cual añade una pseudo-capa de transporte sumando de esta manera servicios de articulación y desmontaje de mensajes.

La arquitectura de este protocolo permite el uso de convertidores de protocolos para la comunicación entre dispositivos usando diferentes protocolos, por ejemplo, en el caso de que la estaciones usen DNP 3.0 y los concentradores de datos usen otro protocolo.

2.4.2.1 Características Generales

DNP 3 es un protocolo abierto y no propietario que permite múltiples usuarios y tiene la capacidad de transmitir datos con una topología punto – punto con una comunicación maestro-esclavo por medio de comunicaciones seriales (incluso IP) de una manera confiable mediante una secuencia determinística y confirmaciones de integridad del mensaje en la capa de enlace y de aplicación.

Este protocolo no es de propósito general, sino está desarrollado para tareas de adquisición de datos y envío de comandos de control entre una estación maestra y una esclava en aplicaciones de sistemas SCADA. En donde, el modo de operación puede ser normal y balanceada, realiza transmisión con o sin conexión, permite

⁸ Normas del comité 57, grupo de trabajo 3 del IEC que es el encargado de desarrollar protocolos para aplicaciones de telecontrol, sistema SCADA y sistemas de automatización distribuida.

transmisiones no solicitadas, estampado de tiempo (tiempo exacto de la información de un evento), sincronización. Estas características son fundamentales en el momento de monitorear y controlar una subestación remotamente.

Tomando como referencia al modelo OSI, el protocolo DNP 3.0 tiene la siguiente estructura:

Tabla 2

Comparación entre capas del protocolo DNP 3.0 y modelo OSI

DNP 3.0		MODELO OSI
Capa de Aplicación		Capa de Sesión, Presentación y Aplicación
Capa de Pseudotransporte	Capa de Transporte (Limitado)	Capa de Transporte
	Capa de Red (Limitado)	Capa de Red
Capa de Enlace		Capa de Enlace
Capa Física		Capa Física

Fuente: (Cobo, 2007)

Como podemos observar en la *Tabla 2*, el protocolo DNP 3.0 sigue el modelo EPA con 3 capas, con la diferencia que añade una capa denominada Pseudotransporte, la misma que cumple con funciones limitadas de las capas de Red y Transporte del modelo OSI.

Sobre las estructura de 4 capas que forma el protocolo DNP 3.0, se levanta capa superior denominada Capa de Usuario de DNP 3, la misma que, por el lado del Master usa esta capa para interactúa con los datos y realizar peticiones hacia los estaciones. Del otro lado tenemos a la estación que utiliza esta capa de usuario para capturar datos que han sido solicitados por el master. La siguiente *Figura 2.12* corrobora lo dicho:

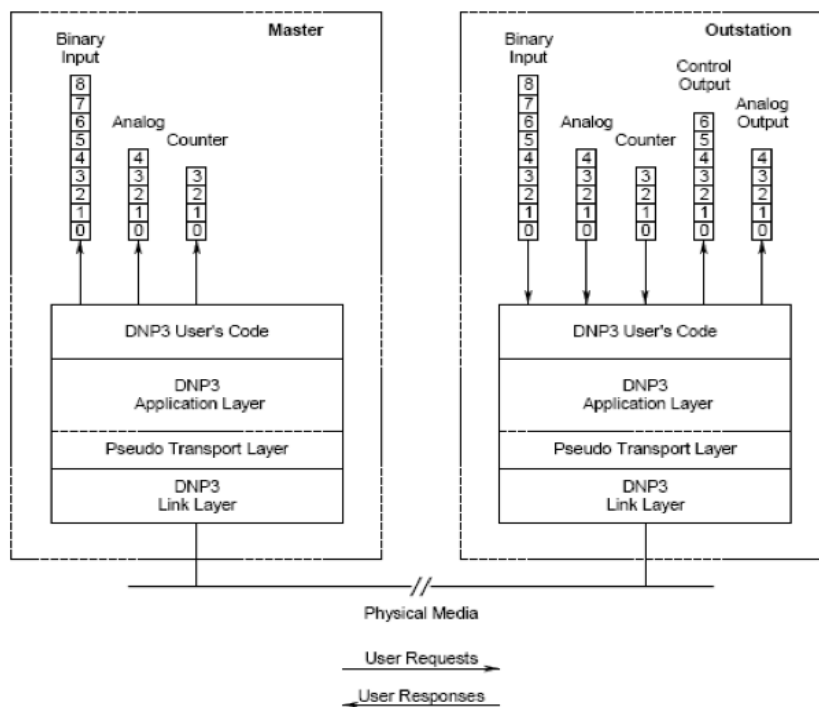


Figura 2.12 Capas de DNP 3.0

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

La información que maneja DNP 3.0 y que es formada en la capa de aplicación son conocidos como objetos. Y se encuentran clasificados según su función por rangos de grupo como se muestra en el siguiente *Tabla 3*:

Tabla 3

Grupo de Objetos de Datos

Rango de grupos	Descripción del Grupo de Objeto
0-9	Entradas Binarias
10-19	Salidas Binarias
20-29	Contadores
30-39	Entradas Analógicas
40-49	Salidas Analógicas
50-59	Objetos de Tiempo
60-69	Objetos de Clases
70-79	Objetos de Archivos
80-89	Objetos de dispositivos
90-99	Objetos de Aplicación
100 o más	Objetos Numéricos alternativos

Fuente: (Luis Corrales, 2007)

- **Mensajes Transmitidos**

DNP 3.0 clasifica a los tipos de datos que van a ser transmitidos en dos grupos: Datos estáticos y datos de eventos, estos últimos se dividen a su vez en tres diferentes prioridades que son: prioridad alta (1), prioridad media (2) y prioridad baja (3).

2.4.2.2 Capa Física

Inicialmente se recomendaba que la capa física del protocolo DNP 3.0 tenga tecnología serial que soporte 8 bits de datos, un bit de inicio, un bit de parada, sin paridad como las de del estándar RS – 232, sin embargo posteriormente la capa física se definió sobre Ethernet (TCP/IP). Este tema se desarrollara más adelante en este capítulo.

Las funciones de la capa física son de enviar, recibir, conectar o desconectar el enlace y de estado (indicar la disponibilidad del medio) .

DNP 3.0 soporta 3 tipos de transmisión: simplex, half dúplex y full dúplex. La transmisión de datos lo realiza de manera de broadcast, es decir, cuando se envía un mensaje, todos los nodos conectados a la red pueden escucharlo. El protocolo DNP 3.0 puede utilizar 3 tipos de topologías:

- **Punto-Punto:** Conexión Maestro – Esclavo
- **Punto – Multipunto:** Conexión de múltiples esclavos con una sola estación maestra. Se puede habilitar o no la comunicación entre esclavos.
- **Múltiples maestros:** Esta topología puede ser usada para crear redundancia en los maestros.
- **Jerarquía:** Este tipo de topología es utilizada en la red del SNI, en donde existen concentradores de datos intermedios.

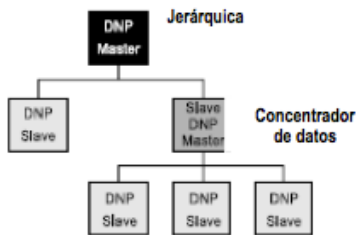


Figura 2.13 Topología Jerárquica DNP 3.0

Fuente: (Cobo, 2007)

En DNP 3.0, las topologías mencionadas anteriormente, más la función peer – peer, que permite que un esclavo actúe como maestro hasta obtener información de otro esclavo y luego volver a su estado normal, podría ocasionar que existan colisiones en la transmisión, por esta razón se añaden tiempos de retardo y prioridades en los mensajes.

2.4.2.3 Capa de Enlace

La capa de enlace de datos es la responsable de mantener confiable al enlace físico estableciendo una comunicación lógica. DNP 3.0 está orientada o no a la conexión, es decir, el emisor del mensaje puede o no recibir acuse de recibo del destinatario. Además esta capa realiza el direccionamiento entre dispositivos dentro de la trama.

La cabecera de la trama de la capa de enlace tiene 10 bytes seguida de una secuencia opcional de bloques de datos cuya longitud va a depender del segmento de la capa superior encapsulado en los datos de la trama LPDU, este segmento tiene una longitud máxima de 250 octetos, a continuación se anexa un bloque de datos con longitud máxima de 16 bytes y finalmente la trama termina con 16 bytes de CRC.

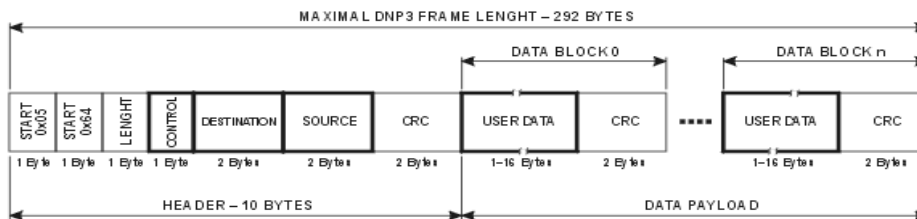


Figura 2.14 Trama del protocolo DNP 3.0

Fuente: (Cobo, 2007)

Cada uno de los campos de la trama es detallado a continuación:

- **Inicio:** permite la sincronización de la trama.
- **Longitud:** especifica en bytes la longitud de la trama completa.
- **Control:** este campo tiene funciones de petición y respuesta de ACK (capa de enlace), reset o inicio de enlace de comunicación, test o prueba del estado del enlace debido a estas funciones este campo se divide en otros campos.

D7(MSB)				D0(LSB)			
Control							
DIR	PRM	FCB (RES)	FCV (DFC)	Código de Función			

Figura 2.15 Trama del campo de Control del protocolo DNP 3.0

Dónde:

- **DIR:** Indica el sentido de transmisión
- **PRM:** indica si la trama fue enviada desde la estación maestra o desde la secundaria.
- **FCB:** Bit de conteo de tramas, solo lo utiliza la estación maestra para dar seguimiento a las tramas enviadas.
- **RES:** Reservado.
- **FCV:** Dígito de validación que permite el funcionamiento del dígito FCB.
- **DFC:** Dígito de control de flujo de datos, este dígito varía dependiendo de la disponibilidad que tenga el buffer.
- **Código de Función:** Estos códigos son aquellos que dan las características al byte de control y obedecen a un grupo de código agrupados por el sentido de la comunicación, es decir, maestro – esclavo o viceversa.

- **Dirección Destino:** Dirección de la estación hacia cual se envía la trama.
- **Dirección Origen:** Dirección de la estación de donde viene la trama.
- **Datos de Usuario:** Bloques de información que tienen una longitud máxima de 16 bytes.
- **CRC (Código de Redundancia Cíclica):** sirve para la detección de falas en las tramas transmitidas. En DNP 3.0 este campo se añade a cada bloque de Datos de Usuario que son transmitidos dentro del bloque de datos.

La capa de enlace de datos del protocolo DNP 3.0 es la misma usada en el protocolo de comunicación IEC 870 – 5 – 101, debido a que recibe las TPDU (segmento de capa de pseudotransporte) y la convierte en una trama LPDU (trama de la capa de enlace).

2.4.2.4 Capa de Pseudotransporte

Para soportar el funcionamiento de UTR avanzadas y mensajes que sobrepasen la longitud máxima de la trama, la capa de pseudotransporte segmenta los fragmentos de la capa de aplicación (TSDU), en tramas de capa de enlace de datos LSDUs.

Los segmentos de la capa de pseudotrasporte se denominan TPDU (Transport Protocol Data Unit) y contiene una cabecera llamada TH (Transport Header) con los siguientes datos:

- **FIN:** indica si vienen o no más tramas a continuación.
- **FIR:** Indica la primera trama de una secuencia de tramas.
- **SECUENCIA:** Este es el número de segmento y se utiliza para verificar que cada segmento está llegando en orden.

Estos campos ayudan a la transmisión y re-ensamblaje del fragmento en la capa de aplicación.

2.4.2.5 Capa de Aplicación

Los objetos que se manejan en este protocolo están formados por datos de usuario que son aquellos que pueden ser visualizados por la capa de aplicación mediante un software. Estos datos pueden ser alarmas, eventos, información desde una estación maestra (MTU) hasta un esclavo (RTU), existe también el envío de comandos los cuales no tienen datos.

Los mensajes que se manejan en la capa de aplicación pueden tener formatos de: petición o requerimiento (Maestro hacia Esclavo), respuesta y comandos (Esclavo hacia Maestro). Estos mensajes dependiendo de su tamaño pueden ser fraccionados en segmentos llamados APDU (Application Protocol Data Unit) que quepan en los buffers, el tamaño recomendado es 2048 bytes

El APDU está formado por dos campos:

- APCI (Application Protocol Control Information) que es la cabecera del mensaje, este a su vez, se divide en:
 - o Control de Aplicación (AC): que controla el flujo de la comunicación
 - o Códigos de Función (FC): que define la propuesta del mensaje.
- ASDU (Application Service Data Unit): Son los datos del mensaje

APCI		ASDU
AC	FC	Datos

Figura 2.16 Formato de APDU

2.4.2.6 DNP 3.0 sobre TCP/IP

En los últimos años con la aparición de la arquitectura TCP/IP debido a sus enormes ventajas se ha producido una revolución en las redes de comunicación, por esta razón, el Comité Técnico DNP 3.0 Users Group no se quedó atrás y definió un método de encapsulamiento de protocolo DNP 3.0 sobre paquetes TCP/IP, una vez hecha la encapsulación en DNP 3.0 puede viajar a través de redes Ethernet.

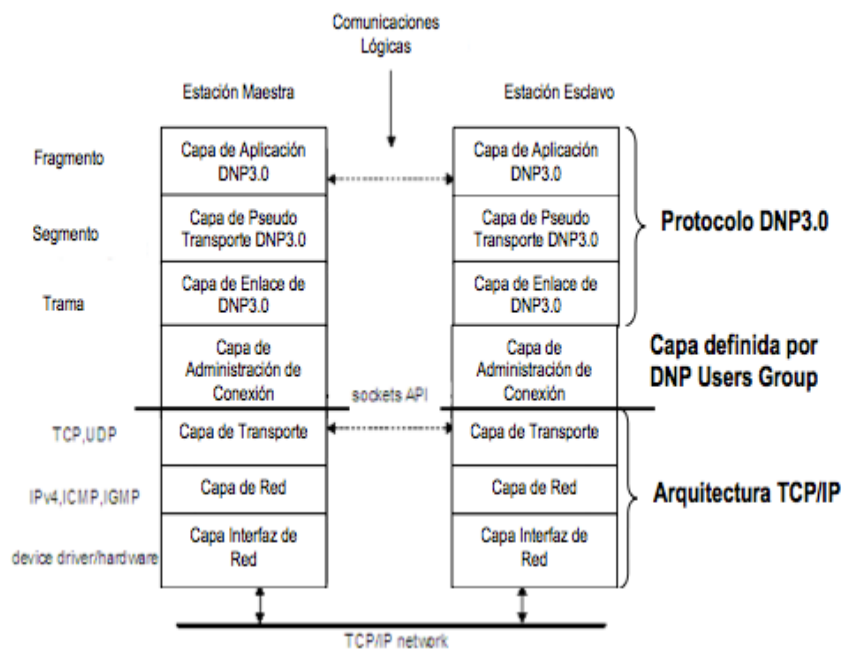


Figura 2.17 Encapsulamiento del protocolo DNP 3.0 sobre TCP/IP

Fuente: (DNP USERS GROUP, 2004)

El encapsulamiento se da a nivel de Capa de Enlace del protocolo DNP 3.0 sobre los segmento de la Capa de Transporte del protocolo TCP/IP, esto permite que sobre TCP/IP se distribuya las tramas de la capa de enlace DNP 3.0 hacia el destino.

Como podemos observar en la *Figura 2.17*, una vez que se haya construido el mensaje DNP 3.0, este se encapsula en un segmento TCP sumando una cabecera de 20 bytes, luego pasa a la Capa de Internet donde se forma el datagrama, posteriormente se forma la trama Ethernet y finalmente es enviada por el medio de transmisión hasta su destino que realiza. Cabe resaltar que en el mensaje DNP 3.0 debe estar desactivado las confirmaciones, debido a que TCP garantiza la comunicación de extremo a extremo.

Entre la Capa de Enlace de DNP 3.0 y la Capa de Transporte TCP/IP existe una capa intermedia llamada Capa de Administración de Conexión, la cual realiza el control y la adaptación para enlazar las capas de la Arquitectura TCP/IP con el protocolo DNP 3.0. La implementación de esta capa se la realiza mediante un API (Application Programming Interface), esto se lo realiza en Capa de Transporte de TCP/IP por medio de un socket (con un numero de puerto 20000).

2.4.3 IEC 60870 – 5

IEC 60870 – 5 es un conjunto de documentos y protocolos de comunicación desarrollada por el Comité Técnico 57 (Grupo 3) entre los años 1988 y 2000, cuyas funciones se basan en telecontrol, teleprotección y telecomunicaciones, usado generalmente en sistemas SCADA para la comunicación entre estaciones maestras, IED y UTR. Entre la lista de protocolos desarrollados por este comité se encuentra el protocolo IEC 60870 – 5 – 101 (IEC 101) y el IEC 60870 – 5 – 104 (IEC 104).

2.4.3.1 IEC 60870 – 5 – 101 (IEC 101)

El protocolo IEC 60870 – 5 – 101 se especializa con protocolos de transmisión y estándares para tareas de telecontrol mediante comunicaciones serial de bajo ancho de banda, además soporta las estampas de tiempo cortas (tiempo exacto de la información de un evento).

a) Características Generales

Este protocolo compite con el protocolo DNP 3.0 debido a que en los dos protocolos sus tramas se basan en el Formato de Trama FT 1.2. Además, este protocolo se basa en el modelo EPA de tres capas y se relaciona con el modelo OSI de la siguiente manera:

Tabla 4*Comparación entre capas del protocolo IEC 60870-5-101 y modelo OSI*

IEC 60870-5-101		MODELO OSI
IEC 60870-5-101 Companion Standard		Capa de Aplicación, Presentación, Sesión
Balanceada (FT 1.2)	Pseudo balanceada (FT 1.2)	Capa de Transporte, Red y Enlace
RS - 232	X.24/X.27	Capa Física

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

La información que maneja este protocolo lo diferencia por objetos, y cada uno de estos tiene una dirección específica con una clasificación según la prioridad (Alta o baja prioridad) .

El direccionamiento de IEC 60870 – 5 – 101 lo realiza tanto en la capa de enlace como en la de aplicación.

b) Capa Física

La transmisión de datos en la capa física el protocolo IEC 60870 – 5 – 101 lo realiza por medio de comunicación serial entre canales DTE (Data Terminal Equipment) y DCE (Data Communication Equipment).

La capa física tiene la capacidad de transmitir datos en forma simplex, half dúplex o full dúplex en topologías como:

- Punto-Punto: Conexión Maestro – Esclavo.
- Punto – Multipunto: Conexión de múltiples esclavos con una sola estación maestra.
- Topología en línea
- Topología en línea redundante

c) Capa de Enlace

En la capa de enlace tiene la función la primario y secundario que es la capacidad de que solo el primario (master) puede iniciar la comunicación, y el secundario (esclavo) tiene que responder.

Tiene dos modos de transmitir información entre dos estaciones:

- ✓ **Trasmisión No Balanceada:** Es una transmisión común entre maestro y esclavo, en esta transmisión el maestro interroga permanentemente al esclavo, por esta razón no es necesario un método para evitar las colisiones.
- ✓ **Trasmisión balanceado:** Esta es la misma es que una transmisión Maestro – Esclavo con la diferencia que la estación esclavo puede informar al maestro que tiene cambios en la información y solicita ser interrogada. Esta transmisión solo puede ser usada en enlaces punto a punto.

La trama que se construye en esta capa sigue el formato de FT 1.2 y tiene la característica de ser asíncrono, longitud fija o variable de 0 a 255 (octetos de información de usuario). El formato recomienda empezar con un bit de Inicio, ocho bits de datos, un bit de paridad, un bit de finalización y 8 bits de checksum por trama.

La estructura general de la trama de la capa de enlace es la siguiente:

<Cabecera>				<----- Cuerpo ----->					
S	L	L	S	C	A	ASDU	CS	E	
LPCI				ASDU			LPCI		
LPDU									

Figura 2.18 Trama de la Capa de Enlace del Protocolo IEC 60870-5-101

El mensaje que viene desde la capa de aplicación se denomina ASDU (Application Service Data) a este bloque se le añade LPCI (Link Protocol Control Information) para formar la trama de la capa de enlace que se denomina LPDU (Link Protocol Data Unit).

El campo de LPCI es un campo que ayuda a la verificación del mensaje con la ayuda de los siguientes campos:

- S: Carácter de arranque
- L: Longitud de octetos de ASDU + C + A
- C: Carácter de control de enlace que contiene información de dirección del mensaje, tipo de servicio y funciones de control para evitar perdida o duplicación de mensajes.
- A: Campo de dirección del enlace
- CS: Carácter de verificación
- E: Carácter de cierre

La trama puede tener dos tipos de longitudes: Fija se usa generalmente cuando existe datos; y Variable cuando solo se transmite comandos de control.

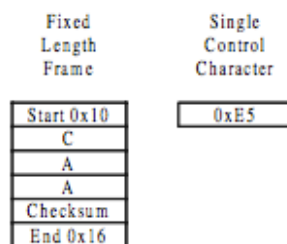


Figura 2.19 Trama Fija o Variable de IEC 60870 – 5 – 101

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

d) Capa de Aplicación

La capa de aplicación de IEC 101 y IEC 104 estan estructuras y cumplen con las mismas funciones de construir ASDU y direccionar el mensaje. El ASDU (Application Service Data) es un bloque de datos los cuales son enviados desde un UTR hacia una estación maestra, las ASDU son tramas de longitud variable y tiene la siguiente estructura:

T	Q	COT	CA	OA	IE	TT	OA	IE	TT
Identificador de la unidad de datos				I/O 1				I/O n		

Figura 2.20 ASDU de la Capa de Aplicación del Protocolo IEC 60870-5-101

EL ASDU está formado por los siguientes campos:

- Tipo de Identificación (T): Es un byte que identifica el tipo de mensaje los cuales según su rango pueden ser:
 - 1 – 27: Tipo estándar
 - 128 – 135: Reservado para enrutamiento de mensajes
 - 136 – 255: Privado – uso especial
- **Qualifier de estructura variable (Q):** Indica el número de objetos de información en el ASDU.
- **Causa de Transmisión (COT):** este campo se encarga del control de enrutamiento del mensaje.
- **CA:** Distingue la dirección de la estación master de la estación esclavo.
- **Dirección de Objeto (OA):** Dirección del objeto de información. Estos campos son dos en el ASDU, uno es usado para monitorear y el otro para controlar.
- **Elementos de Información (IE):** Conjunto de elementos de información.
- **TT:** Time Tag, es decir, una etiqueta del objeto de información.

2.4.3.2 IEC 60870 – 5 – 104 (IEC 104)

El IEC 60870 – 5 – 104 forma parte de los protocolos desarrollados en el IEC 60870 – 5 y se caracteriza por ser un protocolo de transmisión y acceso a la red mediante transporte de la arquitectura TCP/IP sobre redes LAN y WAN. Este protocolo se basa en IEC 60870 – 5 – 101 con ciertas variaciones en la capa de transporte, capa de red, capa de enlace y capa física.

Layer	Source	Selections
User Process	IEC 60870-5-101	Application functions
Application	IEC 60870-5-101	ASDUs and Application Information Elements.
Transport	TCP / IP Transport and network protocol suite	
Network		
Link		
Physical		

Figura 2.21 Pila del protocolo IEC 60870 – 5 – 104

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

Como podemos observar en la figura anterior, el IEC 60870 – 5 – 104 mantiene las características de la capa de aplicación y datos de objetos pero reemplaza completamente las capas de enlace y física del IEC 60870 – 5 – 101.

Para el uso de este protocolo en redes de comunicación industriales, los centros de control deben tener instalado el driver IEC 60870 – 5 – 104 cliente, mientras que los RTU deben tener IEC 60870 – 5 – 104 server.

2.4.3.3 Diferencias entre el protocolo IEC 101 con el IEC 104

a) APDU

En IEC 101 la capa de aplicación entrega el ASDU a la capa de enlace para que añada su cabecera y forme el LPDU, en cambio, en IEC 104 la capa de aplicación entrega el ASDU a la capa de transporte y al ASDU se añade un APCI (Application Protocol Control Information) para formar un APDU. Para propósitos de envío de comandos se elimina el ASDU, es decir, el APDU es el mismo que APCI. Como se puede observar en la siguiente *Figura 2.22*:

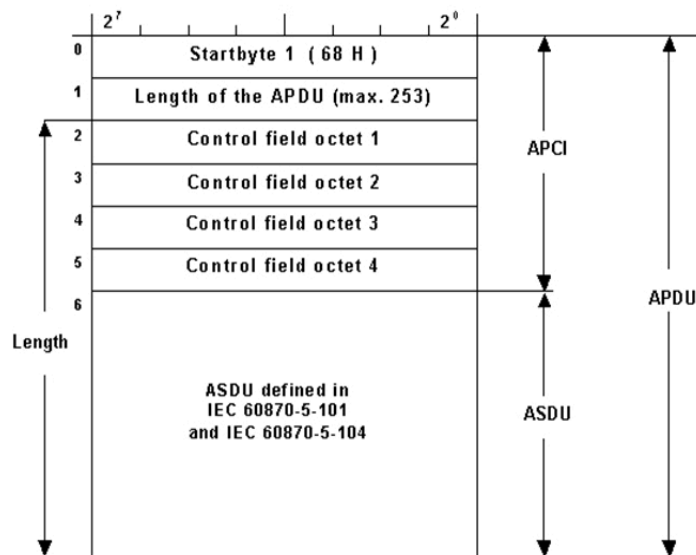


Figura 2.22 Trama de la Capa de Enlace del Protocolo IEC 60870-5-104

Fuente: (Gordon Clarke, 2004)

Como se puede observar en la *Figura 2.24*, el APCI tiene 6 octetos los cuales son:

- ✓ Inicio: indica el inicio de la trama.
- ✓ Longitud: es la dimensión del ASDU más los cuatro campos de control.
- ✓ 4 octetos de Control de Campo que pueden tener 3 formatos de información, Supervisión y Unnumbered (sin número):
 - **Información (I):** se utiliza cuando el ASDU contiene información.
 - **Supervisión (S):** Se utiliza cuando no hay ninguna información adjunta, entonces se puede deducir que la función de supervisión se limita a controlar el transporte de APDU.
 - **Sin número (U):** Es utilizado para iniciar o parar el flujo de información.

b) Puerto y Dirección

La dirección IP que se utiliza en la capa de red puede ser cualquier valor dentro del protocolo IP. En la capa de transporte para formar el socket necesario para el protocolo TCP, IEC 104 tiene reservado el puerto 2404.

c) ASDU

Como se mencionó anteriormente en capas superiores no se ha variado la estructura que propuso el protocolo IEC 101, sin embargo para evitar problemas de retraso impredecibles que puede cambiar el orden de entrega del APDU, es necesario realizar cambios en el ASDU, estos cambios son:

- Eliminar los dos octetos TT (time-tags)
- Reemplazar el comando de prueba tipo 104 por el tipo 107 que contiene un time-tag dentro del ASDU.

Se añaden comandos que incluyen siete octetos de time-tag

2.5 ESTÁNDARES DE INTERFACES DE COMUNICACIÓN

Un estándar de interfaces detalla los parámetros eléctricos y mecánicos que permitan una comunicación exitosa entre equipos de diferentes marcas de fabricación.

2.5.1 RS – 232

El estándar RS – 232 (Recommended Standard 232) publicado por la EIA/TIA, es una interfaz de red que junto a una norma permiten la comunicación serial de datos binarios entre un DTE (Data Terminal Equipment) y un DCE (Data Communication Equipment). Una norma equivalente a este estándar es la V.24 publicada por la UIT. Este estándar trabaja en la capa física de modelo OSI.

La interfaz RS – 232 puede trabajar de manera síncrona o asíncrona en tipos de canales simplex, half dúplex o full dúplex, físicamente RS – 232 está formada por un conector DB – 25 o DE – 9 (DB – 9).

Se puede cambiar el modo de trabajo asíncrono a síncrono solamente conectando el pin de reloj (pin 15) entre los extremos de la conexión.

Permite una velocidad máxima de 19200 bps a una distancia máxima de 15 m.

2.5.2 RS – 485

RS – 485 también conocido como EIA – 485, es un estándar de comunicación que pertenece a la capa física del modelo OSI. Permite una comunicación serial fiable en una red multipunto. Puede ser utilizado en distancias de hasta 1200 m a una tasa de transmisión de 100 kbps.

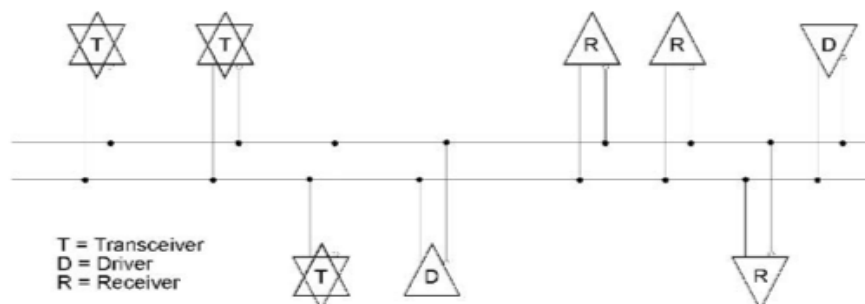


Figura 2.23 RS – 485 multipunto

Fuente: (Luis Corrales, 2007)

El medio físico de transmisión puede soportar hasta 32 estaciones conectadas en solo hilo con una tasa de transmisión entre 300 y 19200 bps.

2.5.3 Ethernet

Ethernet es un estándar de redes LAN para el acceso al medio por detección de la onda portadora. Define características de cableado y señalización para la detección de colisiones (CSMA/CD) pero también Ethernet proporciona servicios en la capa de enlace de datos del modelo OSI construyendo una trama.

Características como la dirección MAC y la trama de Ethernet han influenciado en el desarrollo de otros protocolos consiguiendo una integración excelente entre red LAN con una red corporativa.

Como se mencionó anteriormente el estándar Ethernet extiende sus características hasta la capa de enlace, para ello, el estándar IEEE 802.3 definió la siguiente estructura de trama:

Preámbulo	Delimitador de inicio de trama	MAC de destino	MAC de origen	802.1Q Etiqueta(opcional)	Ethertype (Ethernet II) o longitud (IEEE 802.3)	Payload	Secuencia de comprobación (32-bit CRC)	Gap entre frames
7 Bytes	1 Byte	6 Byte	6 Bytes	(4 Bytes)	2 Bytes	De 46 (o 42) hasta 1500 Bytes	4 Bytes	12 Bytes
64–1522 Bytes								
72–1530 Bytes								
84–1542 Bytes								

Figura 2.24 Trama Ethernet

Fuente: (Wikipedia, 2011)

En redes MAN el estándar Ethernet tiene una cobertura 1 km a 10 km, mientras que en redes WAN puede alcanzar 10 km a 10000 km de cobertura con una velocidad de 10/100/1000 Mbps.

2.6 ADQUISICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SEÑALES

Los Sistemas de Adquisición y Distribución de señales (SADS) son una clase de un sistema electrónico que adquiere señales de un dispositivo para su medida y control. En un SADS las entradas son variables físicas, eléctricas o no, y las salidas son variables físicas o presentadas de forma visual o acústica.

En un sistema de medición y control se debe adquirir señales analógicas o digitales, procesarlas y presentarlas e incluso algunas veces registrarlas en una base de datos, para ellos el sistema SADS debe cumplir con las funciones de transducción, conversión analógica – digital y el acondicionamiento de la señal.

La estructura de un SADS de medida y control puede variar dependiendo de los parámetros de entrada/salida, o dependiendo de la distribución de la capacidad de procesamiento, esto ha originado que haya algunas alternativas de sistemas:

2.6.1 Sistemas Centralizados, Descentralizados y Distribuidos

Cuando existen varias entradas al sistema, es común que las señales compartan un mismo recurso (Ej.: un mismo procesador) o varios recursos (Ej.: cadena de medida), tomando en consideración lo dicho, los Sistemas de Adquisición de Señales (SAS) pueden ser:

- a) **SAS Centralizados:** El procesamiento y control de las señales lo realiza un solo elemento central aunque haya varios puntos de medidas, como por ejemplo el sistema de la siguiente *Figura 2.25*:

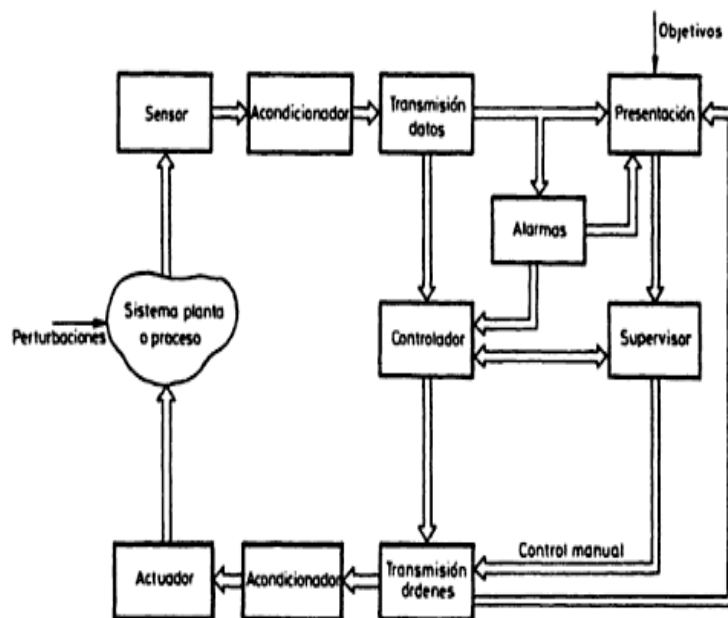


Figura 2.25 Ejemplo SAS Centralizado

Fuente: (Luis Corrales, 2007)

Dependiendo del nivel de integración los SAS centralizados se clasifican en tres tipos:

- **Tipo 1:** Son aquellos SAS que se conectan varios instrumentos independientes a través de un bus como por ejemplo el RS – 485.

- **Tipo 2:** Se refiere a las tarjetas de circuito impreso conectables a un bus
 - **Tipo 3:** Son circuitos integrados complejos que se encargan de la mayoría de funciones para adquirir señales analógicas.
- b) **SAS Descentralizados:** El procesamiento de las señales se encarga varios procesadores coordinados, cada uno de ellos se encarga de una zona.
- c) **SAS Distribuidos:** Existe mayor cantidad de procesadores que los SAS descentralizados, son los encargados de procesar señales en zonas más pequeñas y se conectan con otros procesadores a través de una red de interconexión. En general los SAS distribuidos tienen mayor fiabilidad y menor costo de cableado que los SAS centralizados⁷.

Dependiendo de estos sistemas, va a depender la velocidad con la que se procese las señales adquiridas.

2.7 REDES DE COMUNICACIÓN

2.7.1 Redes De Acceso

Las redes de acceso son aquellas redes de comunicación donde se encuentran los usuarios finales, en el monitoreo del sector eléctrico forman parte de estas redes los Centros de Control y las subestaciones.

2.7.1.1 Centros de Control

Los Centros de Control llamados también Unidad Central o Terminal Maestra (MTU), es el elemento más alto en la jerarquía de comunicaciones SCADA, dentro de los centros de control se procesan y analizan los datos enviados desde los RTU con un orden de prioridad, para que en base a estos datos se tomen acciones de mando. En los centros de control existen también computadores con Interfaces Hombre – Máquina (HMI) que permiten la interacción de los operadores con los procesos que se desarrollan en cada subestación con el fin supervisar y controlar remotamente toda la red del sistema eléctrico.

▪ **Jerarquía de los Centros de Control del SNI**

Debido a la enorme responsabilidad que conlleva la supervisión y control de todo el sistema de eléctrico que se expande en el Ecuador, se ha definido Centros de Control con distintos niveles de responsabilidad que trabajan independientemente en su propia infraestructura y también coordinadamente con otros Centros de Control para brindar una operación segura, con calidad y económica. Estos niveles se clasifican de la siguiente manera:

- ✓ Centro de Control Nacional denominado CENACE y es el responsable de la operación en tiempo real del SNI que incluye, instalaciones de generación, transmisión, distribución y coordina las conexiones internacionales. Este Centro de Control está desarrollado bajo el sistema SCADA/EMS.
- ✓ Centro de Control de transmisión que es responsable de supervisar y controlar la transmisión de la electricidad en el país, entre sus funciones también contempla ser respaldo del Centro de Control Nacional y trabajar en conjuntamente con el mismo.
- ✓ Centro de Control de Generación
- ✓ Centro de Control de Distribución que es responsable de operar el sistema eléctrico de una ciudad o área de concesión.

El presente proyecto de tesis enfoca su desarrollo en el Centros de Control Nacional y de transmisión, por esta razón, no se ha dado mucha importancia a los demás Centros de Control.

En el siguiente diagrama, se resume la distribución jerárquica de los Centros de Control en el Ecuador:

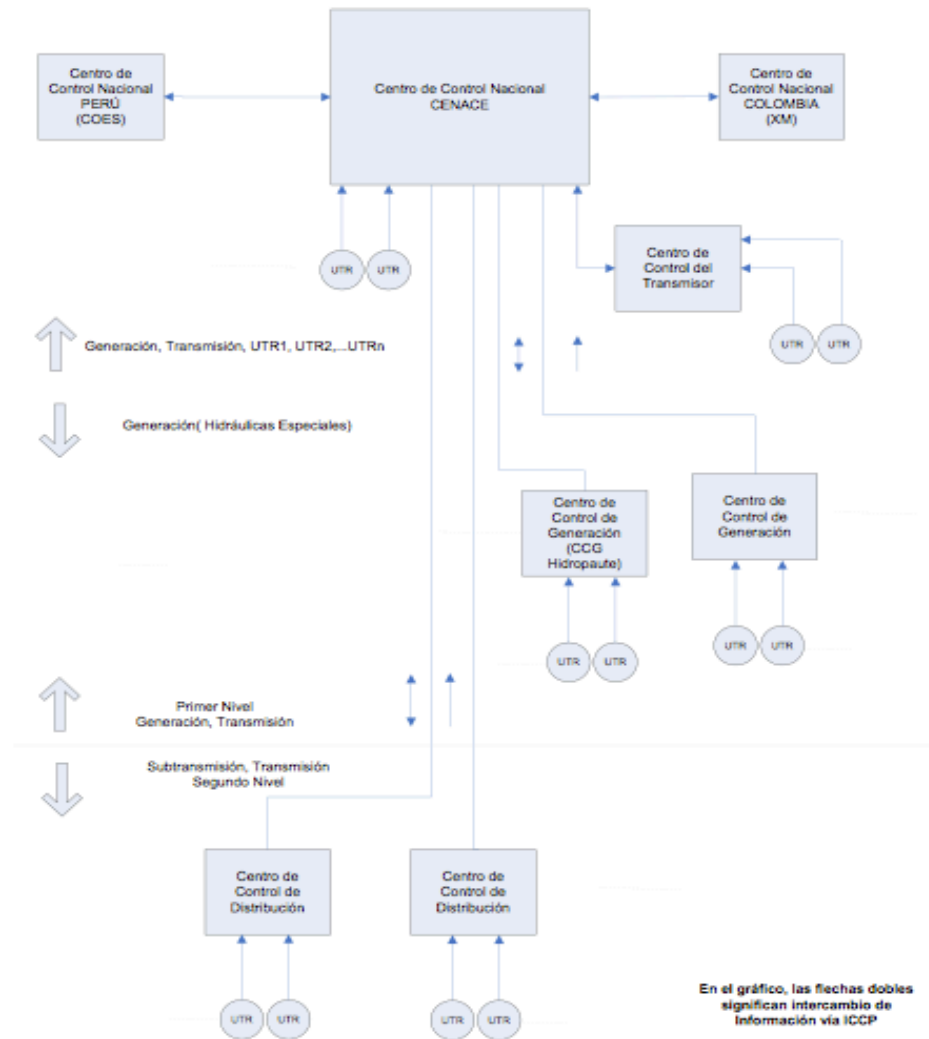


Figura 2.26 Estructura Jerárquica de Centros de Control en el Ecuador
Fuente: (CONELEC, 2008)

2.7.1.2 Subestaciones

Una subestación forma parte fundamental de un sistema de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Dentro de las subestaciones se encuentra instalada equipos de un sistema eléctrico de potencia, cada una con sus respectivos dispositivos de instrumentación y control que a través UTR o sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación son supervisados y controlados remotamente desde los Centros de Control a través de un sistema de adquisición de datos SCADA.

2.7.2 Redes de Transporte

Las redes de transporte son núcleo de las redes de comunicación, formado por un conjunto de nodos de conmutación, interconectados a través de diferentes topologías para el enrutamiento del tráfico y señalización. La red de transporte está constituido por medios físico de gran capacidad como la fibra óptica que permite la transferencia de grandes volúmenes de información necesarios para el intercambio de información entre las redes de acceso.

Las redes de transporte han ido evolucionando considerablemente con la aparición del protocolo IP, el cual ayudado a una conmutación de paquetes más efectiva dentro de los nodos de la red.

CELEC EP – TRANSELECTRIC maneja varias tecnologías en la red de transporte para la adquisición de datos en tiempo real de SNI, dentro de las cuales tenemos a las redes PDH, SDH y MPLS.

2.7.2.1 PDH

PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) es uno de los primeros estándares de transmisión digital que tiene la capacidad de transferir grandes capacidades de información a través de varios canales dentro de un mismo medio, usando técnicas de multiplexación por división de tiempo (TDM) y equipos digitales de transmisión.

PDH se basa en canales de 64 kbps, los cuales van multiplicando en cada nivel de multiplicación sobre el mismo medio físico, como se muestra en la siguiente figura:

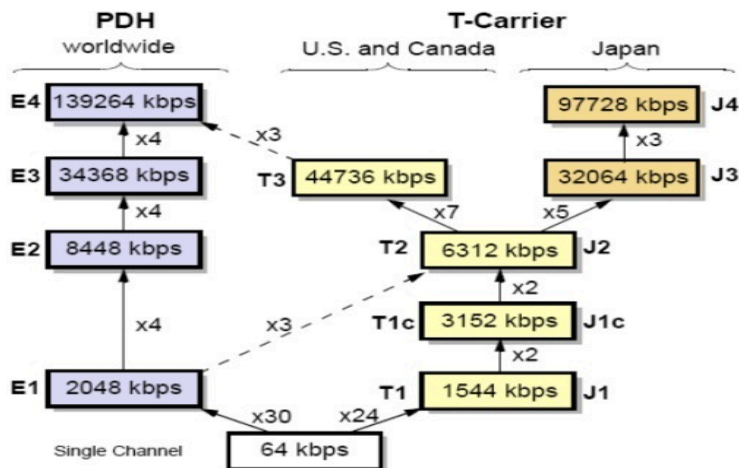


Figura 2.27 Niveles de PDH

Fuente: (Wikipedia, 2011)

Como podemos observar en la *Figura 2.27*, existen tres tipos de jerarquías de niveles de PDH, el europeo (E1), americano (T1) y el japonés, sin embargo en Latinoamérica trabaja con la jerarquía Europea.

▪ **Jerarquía De Niveles Europea**

La jerarquía Europea basa su funcionamiento en E1, el cual está compuesto de 30 canales de 64 kbps y 2 canales reservados para la señalización y sincronización. Dando un total de 2048 kbps de capacidad total (*Figura 2.27*).

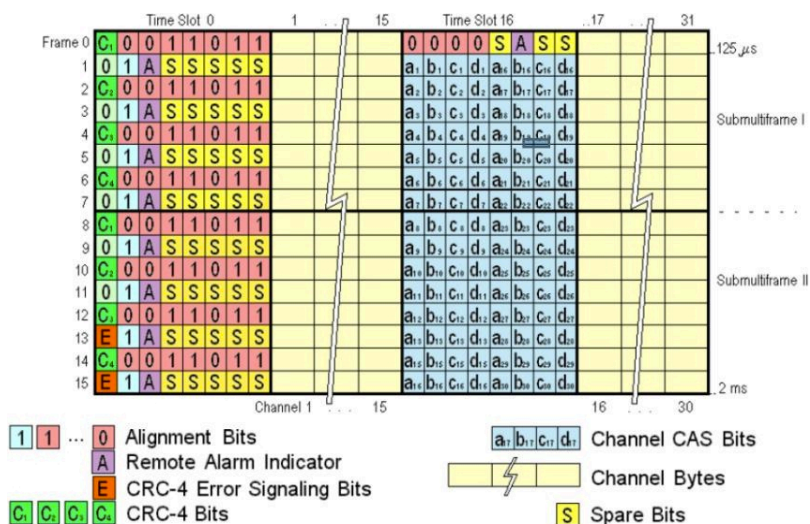


Figura 2.28 Estructura multitrama E1

Fuente: (Wikipedia, 2011)

Como podemos observar en la *Figura 2.27* estructura E1 está formada por 32 Time Slots de 8 bits cada una. Cada trama tiene una duración $125 \mu s$. Los primeros 8 bits de cada trama son usados como encabezados, y los restantes 248 son utilizados para los datos del usuario.

El Slot 0 esta reservados para administración y cumple con las siguientes funciones:

- Sincronización
- Alineamiento de trama (FAS): Cuando se pierden 4 palabras consecutivas se produce la pérdida de alineamiento, para volver a la sincronización se debe leer correctamente 3 palabras consecutivas, mientras esto ocurre se produce una alarma AIS.
- Información de estado del enlace
- Indicador de alarma remota
- Verificación de Redundancia cíclica (CRC)

Slot 16 está reservado para señalización que puede ser de dos tipos:

- Señalización por Canal Asociado (CAS): Requiere el uso exclusivo de todo el canal.
- Señalización por Canal Común: No requiere el uso de todo el canal.

PDH como su nombre lo indica es una tecnología plesiócrono, esto quiere decir que no todas las señales multiplexadas llegan con misma velocidad de transmisión, entonces para su sincronización se tiene que añadir o quitar bits (bits de justificación) en los niveles de jerarquía. En la segunda jerarquía de los niveles del PDH, la transmisión se la realiza bit a bit, lo cual dificulta la transmisión en altas velocidades.

2.7.2.2 SDH

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) es un estándar internacional de transmisión digital basado en técnicas TDM que apareció a consecuencia de las limitaciones que tenía su antecesor PDH, a la necesidad de tener un sistema más flexible y a la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión.

i. Estructura de un STM - 1

Un STM – 1 tiene una duración de $125 \mu s$ (se repite 8000 veces/segundo) y está estructurado por una matriz de 9 filas y 270 columnas, cada elemento tiene 8 bits, entonces la velocidad de transmisión resulta:

$$STM - 1 = 8000 \times (9 \times 270) \times 8 = 155\,520 \text{ kbps}$$

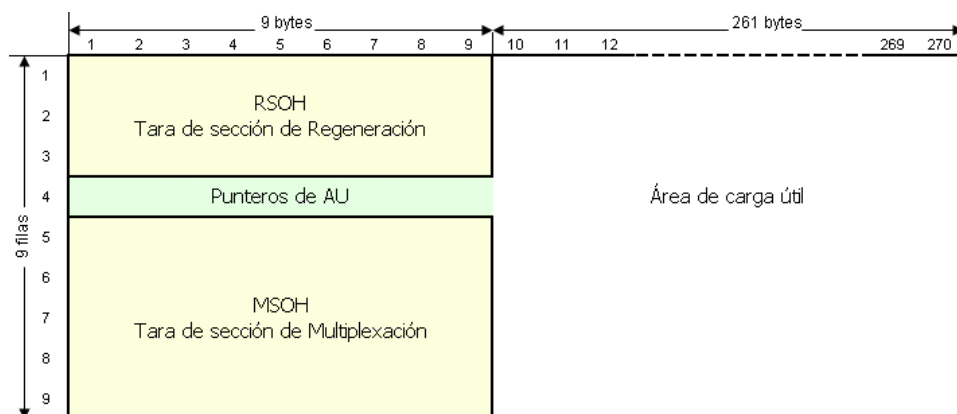


Figura 2.29 Estructura de STM – 1

Fuente: (Wikipedia, 2011)

Como podemos observar en la *Figura 2.29*, un STM -1 está compuesto por tres áreas fundamentales son:

- a. **Tara de Sección (SOH):** Corresponde a las 9 primeras columnas y se divide en dos partes: (*Figura 2.29*)

a.1. RSOH (Sección de Regeneración) :

- Alineamiento de trama (A1,A2)
- Traza de sección de regenerador (J0)
- Canal de Servicio para Ingeniería (E1, E2)
- Canal de usuario (F1),
- Canal de comunicación de datos (D1-3, D4-12)
- Monitorización de errores (B1, B2).

a.2. MSOH (Sección de Multiplexación):

- Señalización de conmutación automática (K1, K2)
- Estado de sincronización (S1),
- Indicación de error en la sección de multiplexación (M1)

Frame A1	Frame A1	Frame A1	Frame A2	Frame A2	Frame A2	Tracking J0	X	X
BIP-8 B1	Radio ▲	Radio ▲	EOW E1	Radio ▲		Usuario F1	X	X
Data D1	Radio ▲	Radio ▲	Data D2	Radio ▲		Data D3		
Pointer H1	Pointer H1	Pointer H1	Pointer H2	Pointer H2	Pointer H2	Pointer H3	Pointer H3	Pointer H3
BIP B2	BIP B2	BIP B2	APS K1			APS K2		
Data D4			Data D5			Data D6		
Data D7			Data D8			Data D9		
Data D10			Data D11			Data D12		
Sync. S1	Z1	Z1	Z2	Z2	FEBE M1	EOW E2	X	X

Figura 2.30 Bytes de SOH

Fuente: (Wikipedia, 2011)

b. Punteros de Justificación: Dentro de un sistema de comunicaciones síncrono la pérdida de carga útil pueden existir por causa de la acumulación de jitter, este problema los soluciona los punteros ya que estos, apuntan a la dirección inicial del Contenedor Virtual (CV), es decir, el CV puede estar flotando dentro del área de carga pero el puntero siempre los va a localizar.

- c. **Carga Útil:** Cada byte que forma parte de la carga útil corresponde a un canal de 64 kbps.

Los siguientes niveles jerárquicos se van formando al multiplexar a nivel de byte algunas estructuras STM -1, obteniendo valores de STM – 4 (622 Mbps), STM – 16 (2.5 Gbps), STM – 64 (10 Gbps) y STM – 64 (40 Gbps).

ii. Multiplexación SDH

Una de las ventajas que tiene SDH, es tener un proceso de adaptación de las tramas de sistema más pequeños (PDH) en nuevas tramas definidas en SDH como STM – 1 (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbps.

Cada trama del estándar PDH puede ir encapsulada dentro de una estructura llamada contenedor que es la unidad básica de empaquetamiento. El contenedor va a variar dependiendo del tamaño de la señal tributaria PDH, por ejemplo un C-12 para un E1 (2048 kbps), C-4 para 139264 kbps, C-3 para 44736 0 34368 kbps, C-2 para 6312 kbps y C-11 para 1544kbps. Como ejemplo se a tomará el proceso de multiplexación que realiza SDH para un E1, guiados por la *Figura 2.31* y por los siguientes pasos:

- 1) Como se mencionó anteriormente dependiendo de la capacidad que se quiera transportar, el contenedor será diferente. Cuando se inserta la información en el contenedor se realiza un proceso de justificación usando técnicas de relleno de bits, esto se lo hace para compensar las variaciones de frecuencia en tasas de bits para PDH y SDH.
- 2) Luego, el Contenedor (C-n) se inserta en un Contenedor virtual (VC-n), donde se añade un “Path Overhead” cuya función es el mantenimiento y supervisión de la señal a través de la red.

- 3) Posteriormente, se agrega un puntero al VC-n para formar una Unidad Tributaria (TU-n). Esto permite que el VC pueda flotar en el área de carga.
- 4) Después se realiza un proceso de multiplexación por entrelazado de byte de un conjunto de TUs para dar forma a Grupo de Unidad Tributaria (TUG-n), este proceso se lo realiza de manera sincrónica.
- 5) En ciertos casos (dependiendo de la capacidad transmitida), el conjunto de TUG-n forman VC.
- 6) Un VC-n se convierte una Unidad Administrativa (AU-n).
- 7) Luego un conjunto de AU formará parte de un Grupo de Unidades Admirativas (AUG).
- 8) Finalmente, un AUG junto a la SOH formar un STM-n

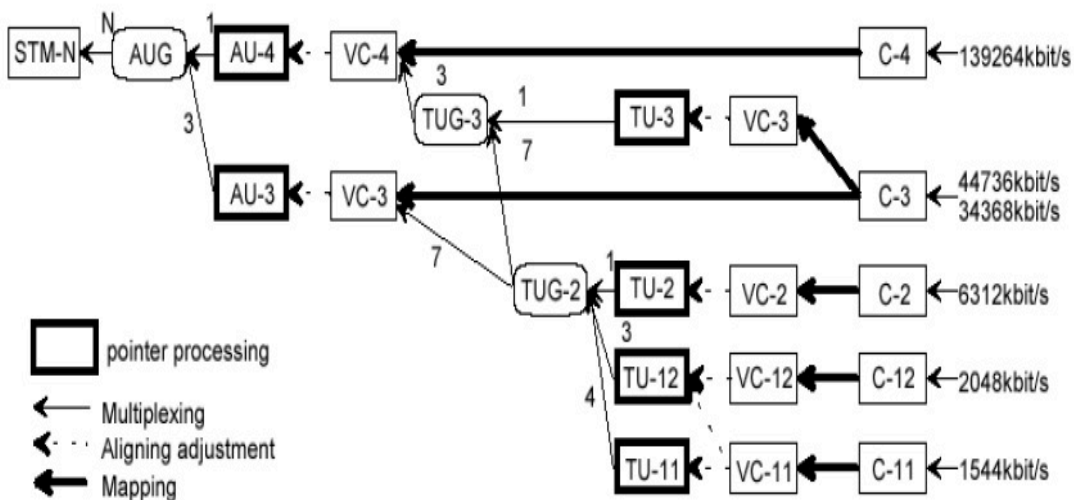


Figura 2.31 Multiplexación SDH

Fuente: (Wikipedia, 2011)

Una vez terminado el proceso de multiplexación, la trama STM-n es transmitida a lo largo de la red utilizando códigos de línea NRZ y RZ cuando el medio de transmisión es fibra óptica, pero en caso particular cuando se utiliza un medio eléctrico se usa el código de línea CMI

iii. Estructura de una Red SDH

La estructura de una red SDH está formada por los siguientes componentes:

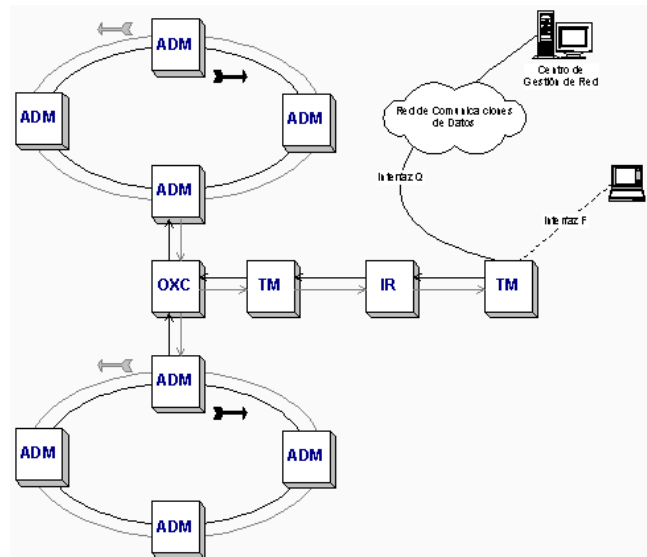


Figura 2.32 Elementos de una Red SDH

Fuente: (Tejedor, 2001)

a. Elementos de Red:

- **Regeneradores Intermedios (IR):** Son aquellos que regeneran la señal si se está atenuando.
- **Multiplexores Terminales (TM):** Se encargan de combinar señales sincronas o plesiócronicas para formar STM-n
- **Multiplexores de Inserción/Extracción (ADM):** Son aquellos que tienen la capacidad de insertar o extraer señales de menor velocidad.
- **Crossconectores Digitales (DXC):** Permite la conmutación entre múltiples Contenedores y además mapea las señales tributarias PDH en Contenedores Virtuales.

- b. **Adaptadores de interface Q:** Son aquellos que adaptan los elementos de red con los TMN

- c. Dispositivos de mediación:** son aquellos dispositivos como routers o bridges, que a través de ellos, existe una comunicación entre los Elementos de Red y los Sistemas de Operaciones de la TMN.
- d. Hardware y Software:** Es el sistema de gestión basado en arquitectura Cliente-Servidor, que es el encargado de procesar y presentar la información.

Cabe aclarar que elementos de red tiene dos interface F y Q que sirven para la comunicación con los Sistemas de Operaciones de la TMN (Telecommunication Manage Networks) con la red, la interfaz Q es utilizada para comunicaciones remotas y basa su funcionamiento en tecnología Ethernet, mientras que la interfaz F se la utiliza localmente por medio de una comunicación serial.

iv. Protecciones de la Red SDH

La red SDH transporta enormes volúmenes de información, es así que una pequeña falla que se produzca en los enlaces de comunicación, puede causar un impacto nocivo en los servicios que brinda la red, esta es la razón por la que se han diseñado diferentes arquitecturas de protección, entre ellas la protección MSP (Multiplex Section Protection)

MSP proporciona protección a la red SDH contra fallos a nivel de multiplexación. MSP basa su funcionamiento en la conmutación automática de los enlaces activos hacia enlaces de reserva, si hubiera alguna falla en el enlace activo.

Protecciones MPS se caracterizan por tener dos tipos de protección 1:1 y 1: N que se detallan a continuación:

✓ Protección MSP 1:1

Se caracteriza por tener una protección uno a uno, esto quiere decir que en caso que haya una falla en el enlace A se conmuta automáticamente enlace de reserva exclusivo del enlace A.

Es posible que en enlace de reserva cuando no esté en uso, se use para transmitir tráfico extra.

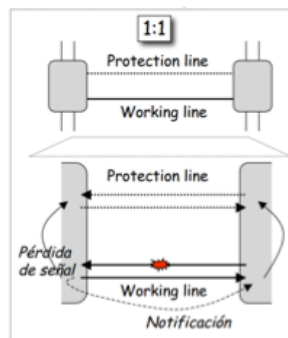


Figura 2.33 Protección 1:1

Fuente: (Wikipedia, 2011)

✓ Protección 1:N

Este tipo de protección utiliza un solo canal de reserva para un conjunto de enlaces activos, que en el caso de falla, son conmutados automáticamente con un orden de prioridad hacia el enlace de reserva.

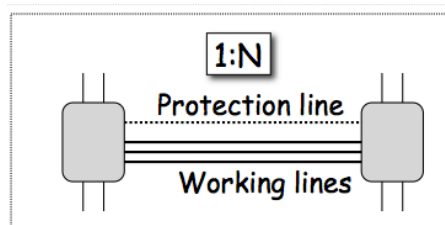


Figura 2.34 Protección 1: N

Fuente: (Pablo Betancourt, 2013)

2.7.2.3 MPLS

MPLS (Multi Protocol Label Switching) es protocolo independiente de transporte de datos creado por la IETF que asigna una Etiqueta de Trayecto Corto a las tramas que circulan dentro de la red, la cual permite indicar a los routers cuál es el trayecto que deben seguir los datos evitando de esta manera búsquedas complejas de rutas en la tabla de enrutamiento.

MPLS inicialmente fue diseñado para reducir el procesamiento de paquetes en los routers de una red backbone basado en IP, sin embargo este estándar ha superado estas expectativas y se han desarrollados múltiples características y una serie de mejoras para elevar su desempeño.

a) Características Generales

MPLS debido a sus características ha tenido gran acogida en las redes de comunicaciones de backbone, y cada día existe más demanda de esta tecnología, por esta razón, MPLS va introduciendo nuevas mejoras en sus características y funcionalidades, algunas de estas, son mencionadas a continuación:

- MPLS combina los beneficios de IP switching de capa de enlace de datos, con el IP routing de capa de red, es una tecnología de capa 2.5 (*Figura 2.34*).
- Soporta múltiples protocolos de la capa de red y opera virtualmente sobre protocolos de capa de enlace, es decir, puede encapsular paquetes de otros protocolos de red como IP, ATM, SDH, y tramas Ethernet.

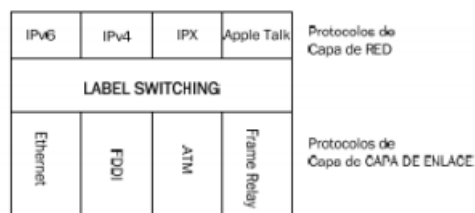


Figura 2.35 Multiprotocolo MPLS

Fuente: (Segarra, 2009)

- Su funcionamiento se basa en la asignación de etiquetas. MPLS tiene un mecanismo de mapear direcciones IP a etiquetas simples.
- No se encuentra ligado a las características que determina la capa de enlace del modelo OSI y elimina la necesidad de tener múltiples redes de capa 2 para satisfacer diferentes tipos de tráfico.
- Ofrece un servicio orientado a la conexión:
 - Mantiene un estado de comunicación entre los nodos.
 - Mantiene Circuitos Virtuales.
- Soporte de VPNs, calidad y servicion (QoS), y clases de servicio (CoS).
- Ingeniería de Trafico.
- Mecanismos de protección ante fallas

b) Estructura de un Red MPLS

Como podemos observar en la *Figura 2.36*, los elementos de red que componen la estructura MPLS son los siguientes:

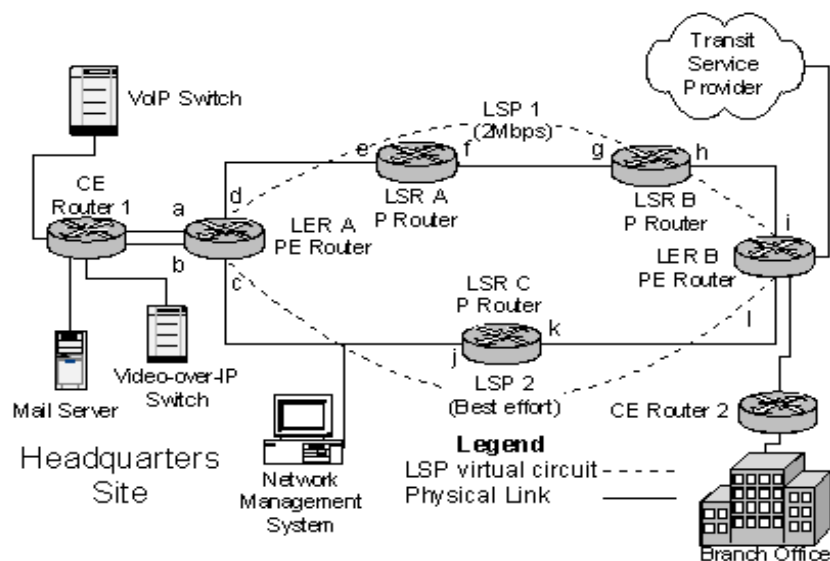


Figura 2.36 Elementos de una red MPLS

Fuente: (Segarra, 2009)

- 1) **LER (Label Edge Router):** Son los routers que se hallan en el borde de la red MPLS y son la entrada o salida del túnel de una red MPLS. Son los encargados de poner (Push Action) o quitar (Pop Action) etiquetas, por ejemplo al ingresar un datagrama IP a una red MPLS, el LER lee su tabla de enrutamiento para saber el destino del datagrama y colocar la respectiva etiqueta, del mismo modo, cuando llega un paquete etiquetado con un destino fuera de la red MPLS, el LER quita la etiqueta, ve su tabla de enrutamiento y envía el datagrama.
- 2) **LSR (Label Switching Router):** Son los routers permiten la conmutación etiquetas dentro del núcleo de la red MPLS⁹, cumplen con la función de cambiar una etiqueta por otra, esta operación se denomina “Swap Action”.
- 3) **LSP (Label Switching Path):** Es el túnel unidireccional establecido entre dos extremos que se va formando por la concatenación de varios LSR. Los LSP no necesariamente tiene como inicio y final un LER, sino también puede formarse entre LSRs, este tipo de configuración se denomina “Nested LSP” como se muestra en la *Figura 2.37*

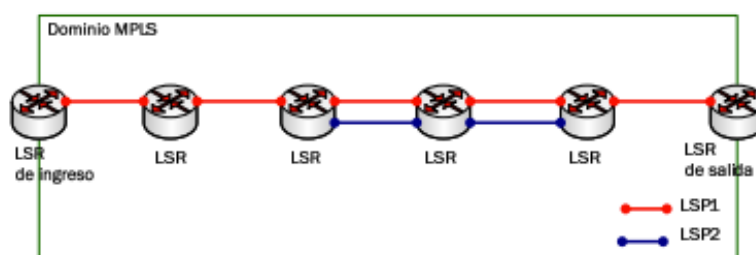


Figura 2.37 Nested LSP

Fuente: (Segarra, 2009)

- 4) **LDP (Label Distribution Protocol):** Es un protocolo para la distribución de etiquetas entre los equipos de red. Los LSR utiliza este protocolo para intercambiar información acerca de cómo llegar a próximos routers y las etiquetas que son necesarias para ello. Este proceso también puede ser realizado por otro protocolo llamado RSVP¹⁰

⁹ Cuando se maneja VPN, los LER son llamados “Enrutadores PE”, y los LSR “Enrutadores P”

¹⁰ RSVP es un protocolo de la capa de transporte diseñado para reservar recursos de una red.

- 5) FEC (Forwarding Equivalence Class):** Es el tráfico de red que tienen los mismos características por ende se coloca la misma etiqueta a cada paquete y son enviados por el mismo LSP¹¹.

c) Etiqueta MPLS

La etiqueta MPLS es un conjunto de campos que define la trama que es añadida por los LER, cuando un datagrama quiere entrar al dominio MPLS. La cabecera está formada por los siguientes campos (*Figura 2.38*):



Figura 2.38 Cabecera MPLS

Fuente: (Wikipedia, 2004)

- **Label (Etiqueta):** Es el valor de la etiqueta determinada por FEC. Su valor se usa como indicador dentro de la tabla de envío que se encuentra en LER.
- **Exp (Experimental):** Es el encargado del encolamiento o descarte de paquete, este campo es utilizado por QoS para dar prioridad a los paquetes, o es usado por CoS para identificar la clase de servicio que pertenezca.
- **S (Botton-of-Stack):** Sirve para el apilado jerárquico de etiquetas, es decir, sirve como indicador para saber si existen o no más paquetes encolados.
- **TTL (Tiempo de vida):** Indica el número de saltos que debe seguir un paquete IP hasta llegar a su destino.

¹¹ No todos los paquetes que tienen un misma etiqueta pertenecen a una misma FEC

d) Funcionamiento de una Red MPLS

Básicamente MPLS al momento de realizar la conmutación de paquetes a alta velocidad, no desarma el paquete para procesar información del origen y destino, sino solamente etiqueta los paquetes y los reenvía, provocando un “Enrutamiento independiente del protocolo”. Este funcionamiento se basa en principios que son detallados a continuación:

✓ Pila de Etiquetas MPLS

MPLS funciona anexando un encabezado a cada paquete. El encabezado es un conjunto de una o más etiquetas que se apilan el modo L.I.F.O¹², la primera etiqueta en la pila se denomina “Top Label” y la última “Bottom Label”, entre estas dos últimas pueden existir cualquier número de etiquetas “Middle Label”.

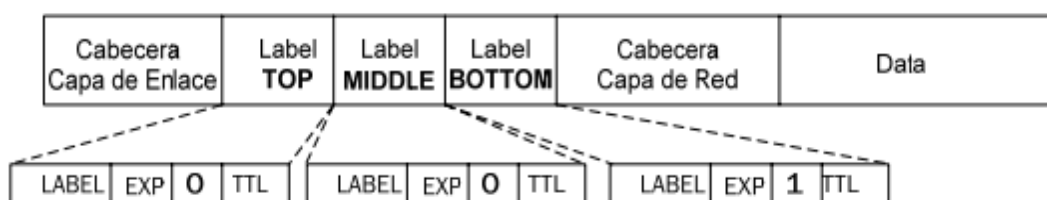


Figura 2.39 Pila de Etiquetas

Fuente: (Segarra, 2009)

Como se muestra en la *Figura 2.39*, el campo S (Stack) en los Top y Middle Label tienen un valor de 0, hasta el Bottom Label que tiene un valor de 1, el determina el final de apilamiento de etiquetas.

✓ Conmutación de etiquetas

El enrutamiento de la capa de red puede tener dos maneras de establecer los LSP, una es de forma automática usando componentes de control y la otra de forma manual usando componentes de plano.

¹² En una pila de datos L.I.F.O significa último dato en entrar, primero en salir.

- **Componente de Control (Control Plane):** Su función es crear y almacenar información en la tabla de envío. Tiene que ser configurada previamente a la transmisión para el intercambio de información de rutas y etiquetas, generalmente este componente se lo realiza mediante protocolos de enrutamiento BGP, OSPF, EIGRP, TDP, LDP o RSVP
- **Componente de envío (Data Plane):** Su función es decidir por donde se va a enviar el paquete, esta decisión lo toma dependiendo de la tabla de envío que tiene el router o por la información que tiene el paquete.

Cuando un paquete no etiquetado desea entrar a un túnel MPLS, previamente a la transmisión del paquete, el LER se realiza una búsqueda por etiquetas para asignar una determinada etiqueta a un paquete (FEC), luego los agrupa en una pila de etiquetas y los reenvía¹³ al próximo enrutador.

Cuando un paquete etiquetado llega a un router, se puede realizar tres operaciones:

- **Operación SWAP:** La etiqueta es cambiada por otra, y el paquete toma una trayectoria que pertenezca a la nueva etiqueta.
- **Operación PUSH:** Una nueva etiqueta, encapsula la etiqueta anterior. Esto da lugar a un jerarquía de paquetes MPLS.
- **Operación POP:** Se produce el desencapsulado de la etiqueta. En caso de que no exista otra etiqueta dentro, entonces quiere decir que el paquete ha llegado a su destino y abandona el túnel MPLS.

Existe la posibilidad que la etiqueta sea removida en el penúltimo salto de una red MPLS este proceso se denomina PHP, esto es útil cuando la red MPLS transporta grandes volúmenes de tráfico, entonces los penúltimos nodos ayudan al procesamiento de etiquetas para no sobrecargar al último nodo.

¹³ Este proceso se lo realiza en el Switch Fabric y no en le CPU del router.

CAPITULO III

ANALISIS DE LA RED ACTUAL

CELEC EP – TRANSELETRIC conforme a la Regulación No. CONELEC 005/08, es el responsable de operar y monitorear el Sistema Nacional de Transmisión (SNT) a través de su propio Centro de Control denominado COT, adicionalmente realiza trabajos coordinadamente con CENACE. Para cumplir con esta responsabilidad CELEC EP – TRANSELETRIC tiene implementado un sistema de comunicación con una infraestructura de alta capacidad distribuida en todo el país, sobre la cual se encuentra implementada la Red de Adquisición de Datos que no solamente se conectan los nodos del SNT, sino también enlaza al Centro de Control perteneciente a CENACE y nodos de algunas otras centrales generadoras con el fin de realizar la actividad de monitoreo en tiempo real de cada una de la subestaciones de generación y transmisión que componen el Sistema Nacional Interconectado (SNI).

Actualmente la supervisión y control en tiempo real del SNI, se lo hace bajo el sistema SCADA/EMS que recomienda la implementación de un sistema de tiempo real con tres subsistemas: Subsistema de Adquisición de Datos, Subsistema de Computación y Subsistema MMI (*Man-Machine Interface*).

El Subsistema de Adquisición de Datos en el cual se enfoca este proyecto de tesis, es el responsable de obtener toda la información de los dispositivos de instrumentación y sensores a través de RTU o gateways que se encuentran en cada subestación respectivamente, ahí se procesa la información y se la envía hacia los Front Ends que se encargan de concentrar la información que viene de todas la subestaciones del país para posteriormente reenviarla hacia el Subsistema de Computación donde es procesada y analizada para finalmente desplegarla en pantalla a los operadores en los Centros de Control del COT y CENACE a través del Subsistema MMI. Estas tres instancias por donde pasa la información se encuentran interconectadas por una red de transporte con gran

capacidad de transmisión propia de CELEC EP – TRANSELETRIC. De esta manera se tiene un estructura de un Sistema de Adquisición de Señales (SAS) Distribuido (*Figura 3.1*).

Este proceso es la base fundamental para la interacción remota entre los equipos que forman el Sistema Eléctrico de Potencia con los Centros de Control para el correcto funcionamiento, monitoreo y control del Sistema Eléctrico Nacional.

Existen tres tipos de protocolos implementados en toda la red de adquisición de datos del SNI que son el protocolo RP – 570, IEC 60870 – 5 – 101 y DNP 3.0, los cuales fueron implementados según las circunstancias que se daban en ese momento de la instalación de los equipos. Es así que cuando se inició con la construcción de la red de adquisición de datos no existían un estándar internacional que rijan todas las comunicaciones industriales sino cada marca de equipos tenía su propio protocolo, en consecuencia, CENACE junto con TRANSELECTRIC obtuvo equipos de adquisición de datos de la marca ABB, los cuales tenían el protocolo RP – 570 propio de ABB. Análogamente en el país todavía no existía una regulación que exija el uso de un determinado protocolo de comunicación en todo el Sistema Eléctrico de Potencia del Ecuador, es así que las Centrales Generadoras en un proceso de modernización del Subsistema de Adquisición de Dato encontraron mayores ventajas en el protocolo DNP 3.0 para realizar el monitoreo del Sistema de Generación, y de igual manera TRANSELECTRIC adopto el protocolo IEC 60870 – 5 – 101 ya que es un protocolo diseñado principalmente para el monitoreo de subestaciones de transmisión.

- **Elementos de la Red de Adquisición de Datos**

Como podemos observar en la *Figura 3.1*, la estructura del Subsistema de Adquisición de Datos está compuesta por una red de subestaciones, Front Ends y los Centros de Control de CENACE y COT. Todos estos elementos que forman el Subsistema de Adquisición de Datos están interconectados por una red de transporte de alta capacidad operada por CELEC EP – TRANSELECTRIC, como se muestra en la *Figura 3.1*.

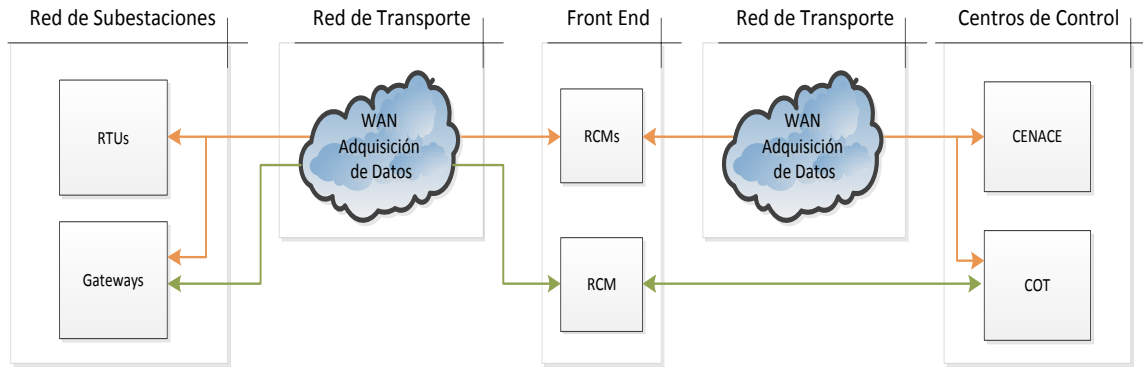


Figura 3.1: Estructura del Subsistema de Adquisición de Datos¹⁴

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2014)

Como podemos observar en la *Figura 3.1*, la información de los IEDs, dispositivos de bahía, etc, es adquirida por los RTUs o por sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación. Existen dos rutas que toma la información adquirida en la subestaciones, la primera de ellas (*Figura 3.1 Ruta naranja*) recolecta información de los RTUs y gateways, y se interconecta con los Centros de Control de CENACE y COT; la segunda ruta (*Figura 3.1 Ruta verde*) la información adquirida solo por los sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación (gateways) es conectada directamente al Centro de Control del COT.

A continuación se detallará cada uno de los elementos que forman parte de la estructura del Subsistema de Adquisición de Datos.

3.1 RED DE SUBESTACIONES

Es conocida también como red de última milla está formada por un conjunto de subestaciones que pertenecen al SNT o a las centrales de generación. Más allá de las funciones propias que cumplen las subestaciones en el Sistema Eléctrico de Potencia, en una Sistema de Tiempo Real las subestaciones son nodos de comunicación de la red o Subsistema de Adquisición de Datos. La mayoría de estos nodos cuenta con fibra óptica para la comunicación interna y externa, y en nodos que no existe este medio de transmisión, se tiene enlaces de Power Line Carrier (PLC) digital y analógico, cable de cobre o enlaces LTO.

¹⁴ La Red de Subestaciones está compuesto nodos de Transmisión y algunos nodos de Centrales Generadoras.

3.1.1 Unidad Terminal Remota (UTR)

▪ **Funcionamiento**

En la red de adquisición de datos que se encuentra implementado en el SNI dentro de los nodos se encuentran instalados UTRs de la marca ABB los cuales son los encargados de adquirir directamente información de los dispositivos de instrumentación y sensores para luego enviarlas a los Front Ends o a nodos adyacentes.

▪ **Equipamiento Actual**

Existen dos modelos de UTR instalados en los nodos de la red de adquisición de datos, en su mayoría son RTU 400 pero también existe el RTU 560, cuyas características son detalladas continuación.

3.1.1.1 RTU – 400

El RTU – 400, es un dispositivo de adquisición de datos a nivel de subestación instalado en 25 nodos pertenecientes a CENACE y en las centrales generadoras de Santa Rosa, Hidronación, Ingenio San Carlos, Gonzalo Zevallos, Gas Pascuales y Trinitaria.

RTU 400 tiene un Sistema de Adquisición de Señales (SAS) descentralizado, es decir, a través de un procesador MC68000 de 32 bits es utilizado para el funcionamiento interno y otro de 16 bits que sirve para el funcionamiento del Bus Paralelo de Comunicaciones (PBC).

El RTU 400 tiene varias tarjetas que se encargan de la adquisición de señales analógicas y digitales, señales de mediciones de energía, mientras que para el control del dispositivo tiene salidas para la ejecución de comandos.

Para su comunicación con el Front End posee un modem que maneja el protocolo de comunicación RP – 570 que implemento ABB en sus equipos, siendo posible ajustar la velocidad de transmisión entre 50 y 4800 bps.

3.1.1.2 RTU – 560

Es un equipo de adquisición de datos que se solo se encuentra instalado en la subestación Dos Cerritos. Este equipo tiene un Sistema de Adquisición de Señales (SAS) Distribuido, es decir usa varios procesadores, con sus respectivas memorias, bus de datos e interfaces. Usa un procesador por cada función que esté realizando el Communication and Data Processing Unit (CMU), cada módulo que es instalado en el RTU – 560 tiene su propio CMU independiente.

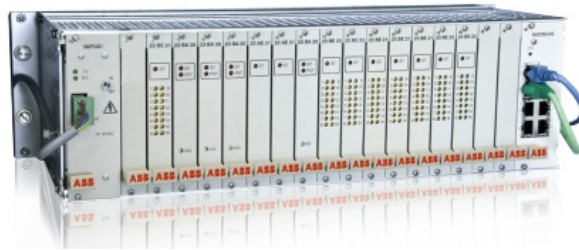


Figura 3.2 RTU - 560

Fuente: (ABB, 2015)

Para la administración de datos utiliza el mismo principio que RTU 400, con la diferencia que maneja una variedad de protocolos de comunicación. Actualmente en este equipo se encuentra habilitado el protocolo RP – 570 para la comunicación con los Front Ends a través de interface RS – 232.

❖ Inconvenientes

El principal inconveniente de los UTR instalados en la red de adquisición de datos, se encuentra en el modelo RTU 400, donde en primer lugar tiene un SAS descentralizado, es decir solo con un procesador interno, el procesamiento de señales puede llegar a saturarse y volverse lento su funcionamiento.

En segundo lugar el sistema de comunicación del RTU 400 no es flexible en la integración de nuevos protocolos de comunicación, debido a que solo funciona con el protocolo RP – 570 de ABB, de igual manera el hardware no permite la integración de otras interfaces de comunicación más que la tecnología serial con un máximo en la tasa de transmisión de 4800 bps, la cual es una velocidad demasiado baja en comparación a las que actualmente se maneja en el campo de comunicaciones de datos.

3.1.2 Sistemas de Adquisición de Datos a Nivel de Subestación

Son sistemas de adquisición de datos que son configurados para el monitoreo, control y protección de equipos que componen el Sistema Eléctrico de Potencia a través de bahías¹⁵. Todos estos sistemas se comunican con los Front Ends a través del protocolo IEC 60870-5-101 (IEC 101).

3.1.2.1 SICAM PAS

SICAM PAS (*Power Automation System*), es un sistema de automatización abierto, flexible y amigable con el usuario desarrollado por SIEMENS, que funciona como Gateway para sistemas de nivel superior (Centros de Control). Se encuentra instalado en 25 subestaciones pertenecientes a CELEC EP – TRANSELECTRIC y en las Centrales de Generación de San Francisco y Santa Elena III.



Figura 3.3 SICAM PAS Full Server

Fuente: (Siemens, 2014)

El SICAM PAS es instalado en dos ordenadores de estación única (*Fullserver*), que trabajan simultáneamente con otros dispositivos de adquisición de datos *SIPROTEC* para la supervisión y control remoto de equipos de la industria eléctrica. De esta manera se genera un sistema de adquisición de datos distribuido a nivel de subestación aumentando el rendimiento, la conectividad y la disponibilidad.

¹⁵ Bahías: Dispositivos terminales de Sistemas de Adquisición de datos cuya función es medir y controlar de forma local o remota equipos de que componen un Sistema Eléctrico de Potencia.

a) Características Generales

- Sistema de base de datos
- Gestión de datos en tiempo real (Infraestructura distribuida)
- La Interface de usuario se compone de tres programas independientes
 - o SICAM PAS UI – Configuración
 - o SICAM PAS UI – Operación
 - o SICAM PAS Visualizador de Valores
- SICAM PAS implementa funciones de recepción y procesamiento de la información, diagnóstico del sistema, adquisición de datos y conversión de protocolo.
- SICAM PAS particularmente respalda la norma IEC 61850 para la comunicación entre las subestaciones y los IEDs.
- SICAM PAS puede utilizar componentes de hardware, normas de comunicación existentes, así como sus conexiones.
- Tiene una orientación al mundo de Windows.
- Maneja el protocolo de comunicación IEC 101 para la comunicación con los Centros de Control.

b) Estructura

La estructura de que se encuentra implementada actualmente en algunas subestaciones del SIN, tienen la siguiente estructura:

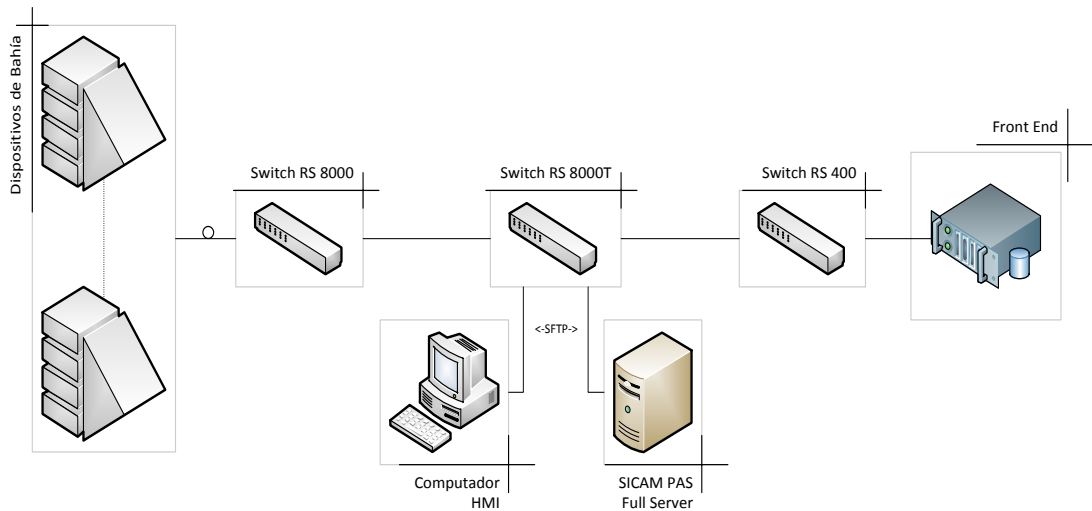


Figura 3.4 Estructura SICAM PAS en Subestación

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2014)

Los elementos que forman la estructura SICAM PAS instalado en algunas subestaciones son:

- ✓ **Dispositivos de bahía:** Es un conjunto de dispositivos de medición, control y protección generalmente son SIPROTEC.
- ✓ **Switches de subestación:**
 - **Switch RS 8000:** Son switches industriales de capa 2 y 3 cuyo funcionamiento se basa en Ethernet, diseñado por Ruggedcom para trabajar en el campo eléctrico y en entornos adversos del medio ambiente. En la red interna de la subestación el RS 8000 (8-100BaseFX) conmutada la información que viene de las bahías a través de fibra óptica.



Figura 3.5 RuggedCom RS8000

- **Switch RS 8000T (6-10/100BaseTX + 2-100BaseFX):** Es un switch de la misma familia que el RS 8000, con la diferencia que conmuta información que viene del RS 8000 para ser procesada en el SICAM PAS Full Server para posteriormente desplegar la información en un computador con HMI, este proceso lo realiza media SFTP¹⁶ y también para ser enviada a los Front Ends.

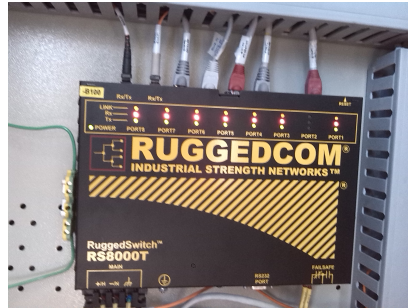


Figura 3.6 RuggedCom RS8000T

- ✓ **Switch de enlace troncal:** Es un switch RS 400 de la marca Ruggedcom que funciona como conmutador Ethernet y convertidor de protocolo, es decir la red interna de la subestación el RS 400 conmuta datos basado en Ethernet y los convierte en serial bajo el protocolo IEC 101.



Figura 3.7 RuggedCom RS400

SICAM PAS Full Server: Es un hardware donde se instala el sistema SICAM PAS, para que realice el procesamiento de las señales adquiridas y las envíe hacia los Front Ends.

¹⁶ El protocolo SFTP permite una serie de operaciones sobre archivos remotos. Proporciona a la red acceso a archivos, transferencia de archivos, y funcionalidades de gestión de archivos a través de cualquier medio de comunicación.

3.1.2.2 SICAM SAS

Es un sistema descentralizado diseñado para el monitoreo, control y protección de una subestación de forma local o remota, se encuentra instalado solo en las Subestaciones de Tena y Francisco de Orellana pertenecientes a CELEC EP - TRANSELECTRIC. El SICAM PAS tiene una estructura modular lo cual permite que el sistema tenga la capacidad de expandirse. Tiene módulos para la conexión de las unidades de bahía mediante puerto RS-485 y RS-232. Y se comunica con los Front Ends a través del protocolo IEC 101.

- **Estructura**

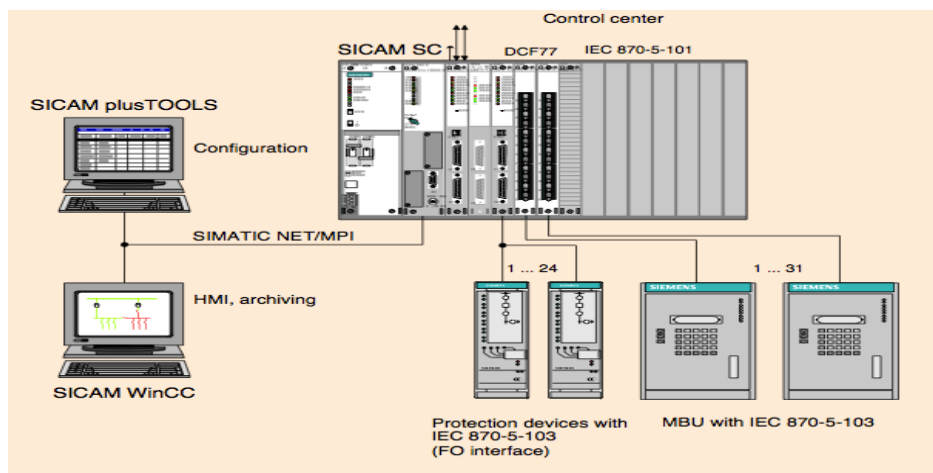


Figura 3.8 Estructura SICAM SAS en Subestación

Fuente: (Siemens, 1998)

Como se ve en la *Figura 3.8*, los elementos que forman la estructura SICAM PAS instalado en algunas subestaciones son:

- **Dispositivos de bahía:** Conjunto de dispositivos encargados de la medición, control y protección de los equipos del Sistema Eléctrico de Potencia por medio del protocolo IEC 870-5-103.
- **SICAM SC:** Es el controlador de la subestación que por medio de módulos integra y controla a los dispositivos de bahía, el procesador de datos SICAM Plus Tools y el computador con HMI, los cuales son los elementos de la estructura SICAM SAS y posteriormente transmite la información adquirida hacia los Front Ends utilizando el protocolo IEC101. Tiene instalado módulos para trabajar con interfaces seriales (RS – 232/485) y con fibra óptica.

- **Software SICAM Plus Tools:** Es el CPU del sistema instalado en un ordenador para efectuar la configuración de adquisición de datos.
- **Interface HMI SICAM WINCC:** Es el SCADA de SIEMENS que funciona como un sistema de visualización que permite la interacción del operador con los equipos de la subestación.

SIMATIC MPI (*Multi Point Interface*): Es el puerto de programación del CPU. Sirve como interfaz para descargar la configuración del sistema que se ha parametrizado anteriormente con PlusTools SICAM, y para la conexión de la interfaz hombre-máquina SICAM WinCC.

3.1.2.3 PACiS

En las subestaciones que manejan este sistema tienen instalado un PACiS Gateway fabricado por Schneider que es un software instalado en una PC industrial. Este Gateway forma parte de un sistema de adquisición de datos que tiene un esquema de procesamiento centralizado físicamente (en las funciones del RTU) y completamente distribuido (dentro de una subestación o entre subestaciones). Su función básica es el control, visualización y almacenamiento de los datos recogidos de las bahías.

El PACiS Gateway en la subestaciones que pertenecen a CELEC EP – TRANSELECTRIC establecen la comunicación entre IEDs y los Front Ends mediante el protocolo IEC 101, en cambio en la Centrales Generadoras el Ambi y Alao establecen la comunicación mediante el protocolo DNP 3.0.

- **Estructura**

El sistema PACiS puede ser estructurado con otra arquitectura Maestro-Eslavo, la cual se encuentra implementada en la red de adquisición de datos del SNI. Esta arquitectura toma la estructura original y la añade un gateway el mismo que comunica a la subestación con el Front End posteriormente.

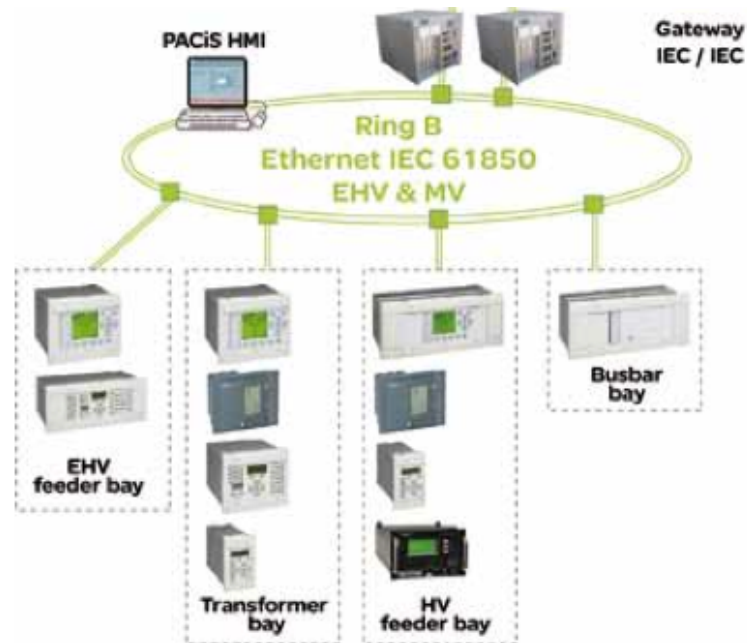


Figura 3.9 Estructuras de Anillo con Sistemas PACiS

Fuente: (Schneider, 2011)

Como se muestra en la *Figura 3.9* el Sistema PACiS tiene una topología de anillo en donde PACiS recolecta información todos los UTRs conectados al anillo a través de Ethernet IEC 61850, esta información es llevada hacia dos lugares que también se encuentran conectados al anillo:

- Ordenador del operador de la subestación, en donde a través de HMI, la información es presentada en pantalla para el monitoreo y control local.

Gateway en donde se conectan todos los UTRs a través de tecnología Ethernet IEC 61850, el Gateway realiza una conversión de protocolo a IEC 101 y reenvía la información hacia los Centros de Control donde es recibida por un RCP (Remote Control Point), esta conexión la realiza a través de los Front Ends por medio de una interface RS – 232 con el protocolo IEC 101.

3.1.2.4 COM 500

COM 500 es servidor de comunicaciones fabricado por ABB que funciona como Gateway en la subestación San Idelfonso y en la Central Generadora Termogas. COM 500 se ejecuta en la plataforma MicroSCADA para mapear señales de los dispositivos de bahía y el Front End.

COM 500 soporta una variedad de protocolos para la conexión a los sistemas de nivel superior (hacia Front End) maneja protocolo RP – 570 a través de interfaces RS – 232, y a nivel inferior (Dispositivos de bahía) maneja el protocolo Modbus. Este sistema de adquisición de datos es instalado en una PC con Windows NT. La tarea principal de COM 500 es manejar la transferencia de datos entre dispositivos de proceso y hasta los Front Ends. La transferencia de datos por lo general implica la conversión de protocolo. También otras tareas como la supervisión y verificación de la comunicación la autoridad de mando están involucrados.

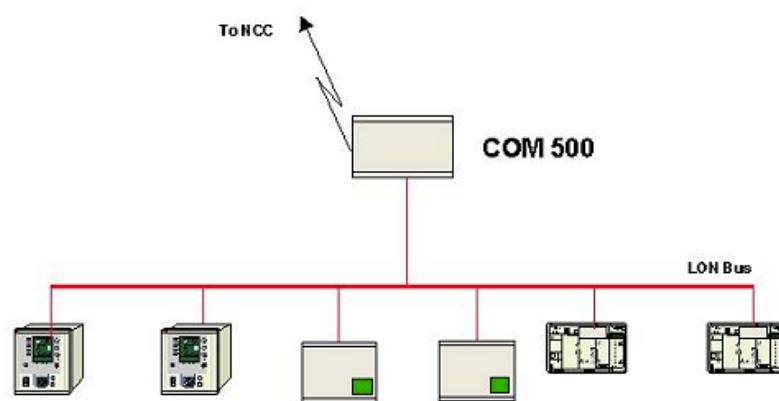


Figura 3.10 Estructuras COM 500

Fuente: (ABB, 2000)

3.1.2.5 TBOX

Es un sistema distribuido de la marca Semaphore, diseñado para el monitoreo y control de una subestación de forma local o remota que solo se encuentra instalado en dos centrales generadoras que se conectan a la red de adquisición de datos del SNT. Tiene un estructura modular lo cual permite que el sistema tenga la capacidad de expandirse y de que cada módulo procese la información independientemente.



Figura 3.11 TBOX

Fuente: (Semaphore, 2015)

La estructura del TBOX físicamente está constituida por un módulo RTU que funciona a adquiere señales de los dispositivos de bahía y señales de entrada/salida de procesos, y un Gateway TG-200 que a través del “SCADA Operating Software” adapta la señales adquiridas al protocolo IEC 101 (Central Termoguayas – Esclusas) y DNP 3.0 (Central Hidrobanico) para la comunicación con Front Ends mediante interfaces seriales RS-232.



Figura 3.12 T-BOX RTU y Gateway

Fuente: (Semaphore, 2015)

3.1.2.6 DAP Server

Es un servidor multifunción a nivel de subestación de la marca ALSTOM, tiene un SAS Centralizado el cual tiene funciones de adquisición de datos de los IEDs, dispositivos de bahía, etc, tiene interfaces HMI para el control local y funciona de gateway para la comunicación con lo Front Ends a través interfaces RS 232 con el protocolo IEC 101 . El DAP Server se encuentra instalado en la subestación de Pomasqui y en la Central Generadora Eléctrica Guayaquil que se conectan a la red de adquisición de datos del SNT.

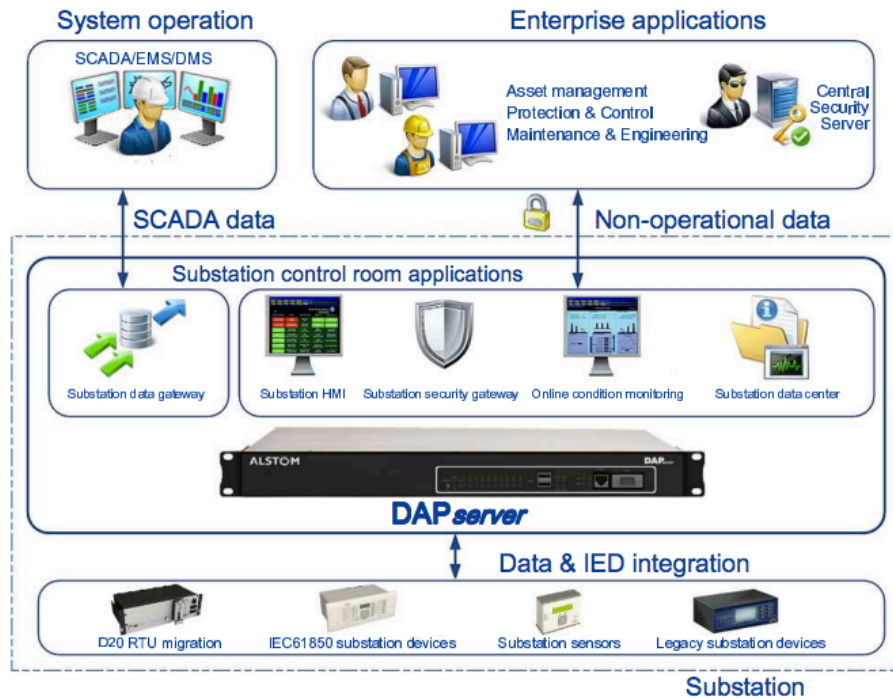


Figura 3.13 DAP Server

Fuente: (Alstom, 2014)

3.1.2.7 Smart SCADA (Survalent)

Es un software de adquisición de datos de la marca Survalent Technology que está instalado en una PC industrial de las centrales generadoras Electroquil y Generoca. La estructura de este sistema es similar al SICAM PAS y está compuesto de concentrador de datos modelo SCOUT, switches de subestación Ruggedcom modelo RSG2100, switches de enlaces troncales Ruggedcom modelo RX1500, Reloj de sincronización Schweitzer Engineering Laboratorios SEL modelo 2407, Terminal Server Ruggedcom modelo RS416, sistema de comunicación, medidores eléctricos y un panel de alarmas.

El sistema realiza una comunicación con el Front End a través de interfaces RS - 232 del switch de enlace troncal con el protocolo IEC 101.

❖ Inconvenientes

Los inconvenientes dependen de los sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación que se encuentran instalados en cada subestación, de las cuales podemos destacar:

- Existe una limitación en el hardware del SICAM SC perteneciente al sistema SICAM SAS, es decir, debido a que este SICAM SC se colocan tarjetas o módulos para la habilitación de nuevas funciones o interfaces, va a existir un momento en el que todas los espacios que sirven para conectar las tarjetas van a estar copados, obligando de esta manera a adquirir otro SICAM SC o desconectar tarjetas “no tan importantes” para dar espacio a nuevas tarjetas.
- Otra limitación que tiene SICAM SAS, es que la comunicación con los Front Ends es basada en el protocolo IEC – 870 – 5 – 101 y no es flexible a la integración de otros protocolos.
- En algunos de los sistemas de adquisición de datos, la comunicación con las bahías es limitada debido a que se lo realiza a través del protocolo IEC – 870 – 5 – 103 que define una comunicación serial, enlace no balanceado y una velocidad ya se de 9600 ó 19200 baudios.

3.2 FRONT END

Los Front Ends además de funcionar como concentradores de datos, fueron implementados debido a que los UTR no podían comunicarse con dos Centros de Control, entonces la función principal de los Front Ends es receptor las interrogantes de los Centros de Control del CENACE y CELEC EP - TRANSELECTRIC (punto-multipunto), e interrogar al UTR respectivo (punto-punto) este proceso sucede también de forma inversa y multiplicado por cada UTR que se encuentra instalado en la red de adquisición de datos. Actualmente los Front Ends están compuestos por dispositivos EMS-RCM (*EMS Redundant Communication Module*).

La red de adquisición de datos de SNI, tiene instalado 4 Front Ends distribuidos estratégicamente en la Subestaciones de Zhoray, Pascuales, Santa Rosa y Quevedo.

3.2.1 Estructura del Front End

La estructura de los Front End que se encuentra instalada en la Red de Adquisición de Datos del SNI tiene una topología tipo Estrella y está constituida por una serie de elementos de red interconectados como se muestra la *Figura 3.14*¹⁷.

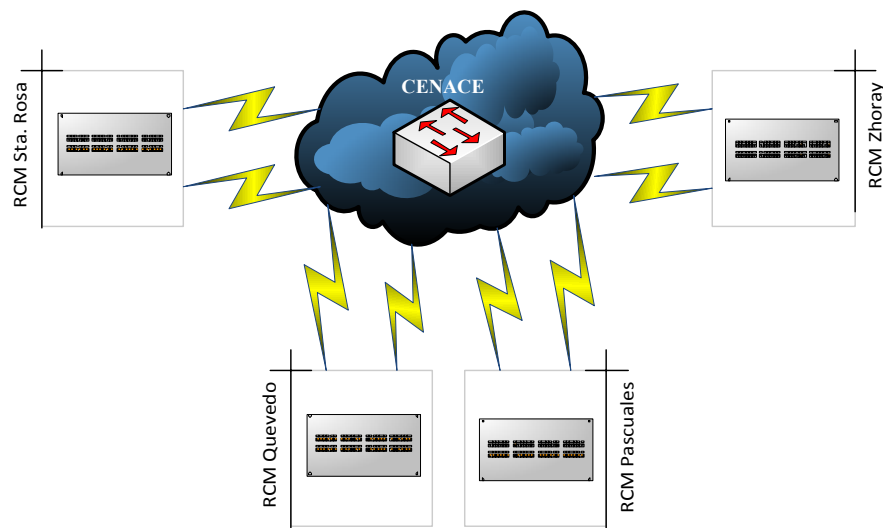


Figura 3.14 Estructura del Front Ends

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2015)

✓ EMS RCM (EMS Redundant Communication Module)

El dispositivo RCM de la marca ABB es modulo que recibe todos los enlaces de los UTRs y de los sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación, realiza un proceso de multiplexación de la información y lo reenvía por dos puertos Ethernet (IP) hacia un nodo principal de la topología estrella.

¹⁷ La *Figura 3.11* muestra la estructura de los Front Ends que tiene conjuntamente CENACE y COT, adicionalmente CELEC EP – TRANSELECTRIC tiene su propio Front End para nodos que son monitoreados exclusivamente por el Centro de Control COT.

✓ **Switch**

La nube de CENACE está formado por un Switch Catalyst de la marca CISCO, donde se conectan los pares de enlaces de cada Front End, dentro de switch se realiza la conmutación de paquetes y las envía al Centro de Control de CENACE y COT.

❖ **Inconvenientes**

Los inconvenientes que existen en las instalaciones de los Front Ends recaen en la disminución de la velocidad de transmisión que se produce a causa de una comunicación serial de lado, donde se pegan los RTU o los sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación. A partir de ese punto la velocidad de transmisión con la que se envía la información hacia los Centro de Control es considerablemente rápido debido al uso de tecnología Ethernet a través de fibra óptica.

3.3 CENTROS DE CONTROL

Los centros de control son sitios donde se centraliza y se procesa toda la información adquirida en los RTUs a través de los Front Ends y se la visualiza en pantallas utilizando interface Humano-Maquina (HMI). Facilitando la supervisión y monitoreo de la red de adquisición de datos desde un punto de control único hacia cada uno de las subestaciones que forman parte de SNI.

Los centros de control actualmente instalados en la red de adquisición de datos son:

- **COT (Centro de Operación de Transmisión):** Aquí se concentra y se procesa la información de transmisión de energía eléctrica de todo el Sistema Nacional de Transmisión (SNT). Existen sistemas de adquisición de datos de las subestaciones los cuales son supervisados y controlados solo por este centro de gestión, es decir, la información adquirida de la subestaciones no pasan por los Front Ends, sino se conectan directamente al Centro de Control COT.

- **CENACE (Centro Nacional de Control de Energía):** En este centro de control trabaja conjuntamente con el COT y concentra datos de generación, transmisión y distribución de la energía en coordinación con el Sistema Nacional Interconectado (SNI).

El proceso de modernización y expansión de la red de adquisición de datos del SNI que se ha ido efectuando paulatinamente con el pasar de los años, han provocado que en los Centros de Control se concentre un mayor volumen de información, lo cual hace que los Centros de Control tengan mayor responsabilidad en la supervisión y control del SNI.

3.3.1 Estructura de los Centros de Control

Los Centros de Control tanto del COT como del CENACE tiene la misma estructura, está constituida por una serie de elementos de red interconectados como se muestra la *Figura 3.15*.

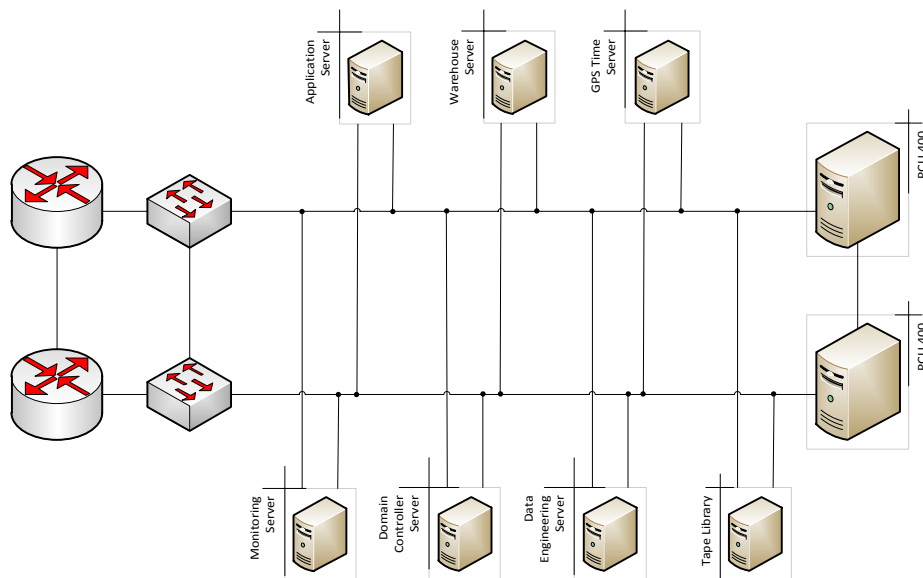


Figura 3.15 Estructura General de los Centros de Control

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2015)

La estructura de los Centros de Control como se muestra en la *Figura 3.15* tiene una topología de malla con enlaces redundantes.

Sin embargo, en el Centro de Control del COT se anexan directamente algunos UTRs y sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación a través de un RCM, los cuales son monitoreados exclusivamente por el COT. Como se puede observar en la *Figura 3.16*.

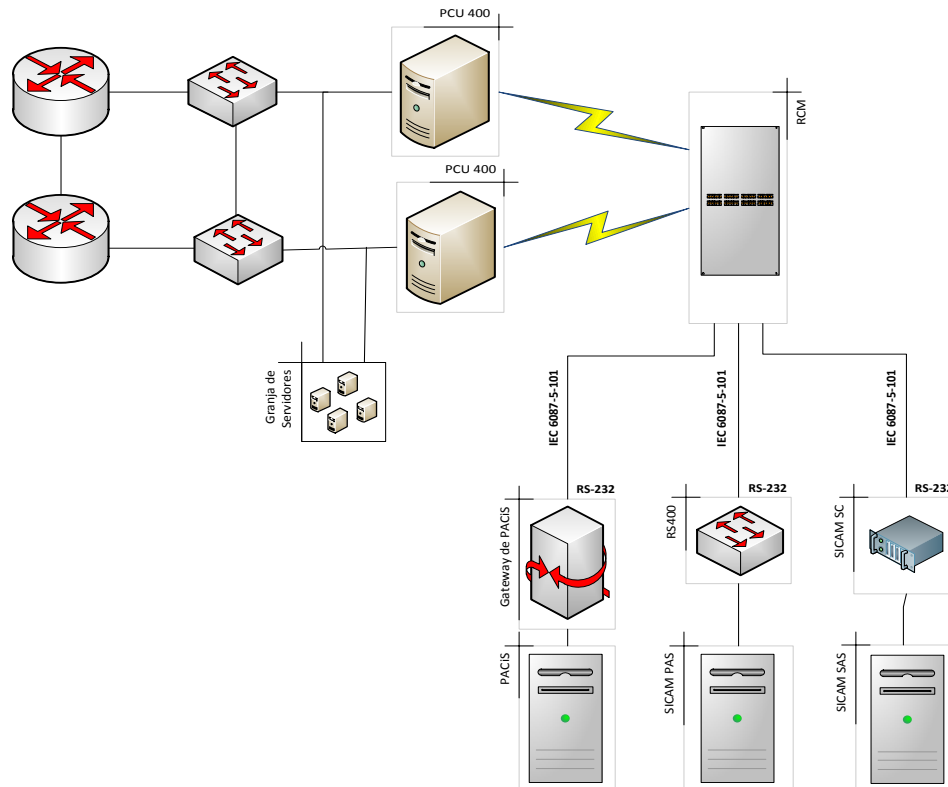


Figura 3.16 Estructura del Centros de Control COT

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2015)

a) Routers

La estructura de los Centros de Control está compuesta por 2 routers los cuales comunican toda la red de adquisición de datos con el Centro de Control a través de un anillo de Fibra Óptica formado por enlaces de los Front Ends y otro Centro de Control. Los routers tienen enlaces redundantes en caso que exista una falla en un router.

b) Switches

Los centros de control también contienen switches Catalyst 3750, los cuales conmutan información principalmente para los servidores PCU400, y para la sala de operadores donde se encuentran computadores con interfaces HMI para la supervisión y control remoto de todo el SNI o del SNT.

Por medio de switches se crean enlaces primarios, los cuales son canales correspondientes al Servidor PCU400 – 1 y enlaces secundarios que son canales del servidor PCU400 – 2, de esta manera si el primario falla, es sistema conmuta automáticamente al canal secundario.

Solamente cuando se pierde toda la información de los RTU o sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación, se puede considerar como falla en el Servidor PCU400, caso contrario, cuando se pierda cierta información entonces se revisa las conexiones de los Front Ends o en los equipos de adquisición de datos de la subestaciones.

c) Servidor PCU 400

El PCU 400 es un servidor robusto, flexible y escalable de concentración de datos de la marca ABB que recolecta periódicamente la información de la red de adquisición datos en los Centro de Control y la procesa, para luego a través de una red LAN (TCP/IP) se conecta con otros servidores de aplicaciones SCADA para finalmente desplegarla en pantalla a los operadores.

El PCU 400 maneja diferentes protocolos de intercambio de información estándar DNP 3.0, IEC 60870- 5 – 101 e IEC 60870 – 5 – 104 configurados independientemente por canales para la comunicación con RTU, IEDs y Sistema de Automatización a nivel de subestación. Cada unidad se conecta hasta 64 líneas de comunicación asíncrona a velocidades de hasta 64 kbit/s.

3.4 MEDIOS DE COMUNICACIÓN

La infraestructura del sistema de telecomunicaciones de CELEC EP – TRANSELECTRIC soporta los servicios de teleprotección, canales de voz y datos en tiempo real para la Adquisición de datos del Sistema Nacional Interconectado (SNI).

Estos servicios se encuentran integrados en una red de transporte principalmente basados en Fibra Óptica¹⁸ dentro de una red de telecomunicaciones con una longitud de 3.567 km soportada en el anillo de la red de transmisión de 230 kV y en enlaces de Fibra Óptica radiales¹⁹ que alcanza a varias subestaciones a través de las líneas de transmisión de 138 kV y 230 kV, en subestaciones que no llegue la Fibra Óptica se cuenta con enlaces de PLC (*Power Line Carrier*) digital, de esta manera se llega a todas la subestaciones distribuidas en el Ecuador.



Figura 3.17 Mapa de la Red Nacional de Fibra Óptica de CELEC EP - TRANSELECTRIC

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2012)

La red de transporte es la encargada de establecer una comunicación de alta capacidad y a altas velocidades de transmisión entre subestaciones y los Centros de Control pasando por los Front Ends.

¹⁸ El cable que es utilizado en el anillo de Fibra Óptica es el OPGW que brinda seguridad en infraestructuras de transmisión eléctrica.

¹⁹ Enlaces radiales son aquellos que unen los nodos de backbone con los nodos secundarios.

3.4.1 PLC

CELEC EP – TRANSELECTRIC desde hace 30 años tiene un sistema de telecomunicaciones PLC (*Power Line Communication*) que utiliza una onda portadora entre las frecuencias de 40 y 500KHz (menor a la frecuencia eléctrica 60Hz) a una velocidad de 1200 bps full duplex, para la comunicación entre nodos a través de las líneas de alta tensión del Sistema Nacional de Transmisión (SNT).

Los equipos PLC que se encuentran instalados en SNI son de la marca ABB o General Electric. Además dentro de servidor eLAN, el sistema PLC tiene una aplicación para el monitoreo de los estados del enlace llamado TIE RTU Diagnostic.

Físicamente el canal PLC que es utilizado para la adquisición de datos está compuesto por 4 canales, de los cuales 3 son utilizados para la comunicación de voz y el cuarto para transmisión de datos. Este cuarto canal es de uso exclusivo para la red de adquisición de datos, y está compuesto por 4 cables (2 de transmisión y 2 de recepción) que llegan los módems de las subestaciones y a los módems de Front End Remoto.

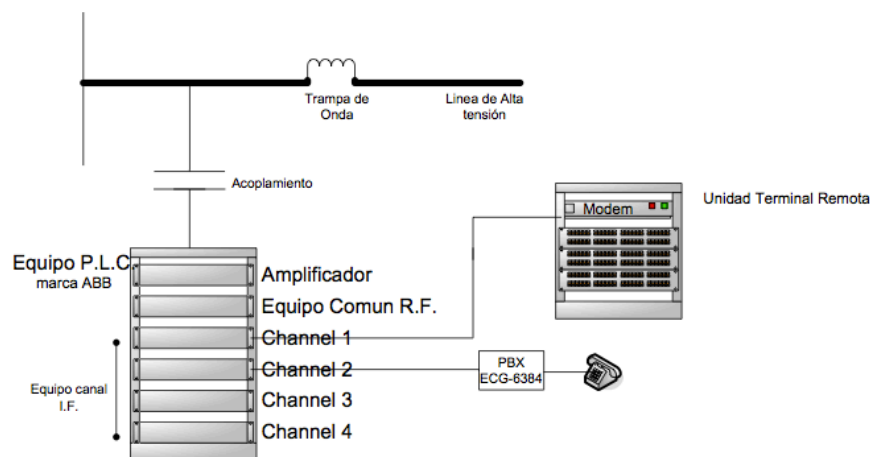


Figura 3.18 Equipos PLC

Fuente: (Vallecilla, 2007)

Existen enlaces DPLC (*Digital PLC*) que utilizan el mismo principio de PLC con la diferencia que se trasmite de manera digital a 128 Kbps. Estos medios de comunicación son utilizados en los siguientes enlaces:

- Enlace Babahoyo – Milagro
- Enlace Esmeraldas - Santo Domingo
- Enlace Chone – Hidronación
- Enlace San Gregorio – Front End Quevedo
- Enlace Mulaló – Vicentina
- Enlace Pucara – Ambato
- Tramo Totoras – Santa Rosa
- Tramo Francisco de Orellana – Tena
- Tramo Tena – Puyo
- Tramo Termoesmeraldas – Santo Domingo

❖ Inconvenientes

Los inconvenientes del Sistema PLC nace por la característica propia de un enlace PLC que limita la medida óptima de transmisión en 100 metros por los que a distancias mayores se utiliza repetidoras, consecuentemente estas repetidoras y otros elementos que conforman el sistema PLC necesitan un mantenimiento cada vez más seguido debido a que la mayoría estos equipos fueron instalados hace 30 años.

3.4.2 Sistemas de Comunicación sobre la Red de Fibra Óptica

Los beneficios que trae la transmisión por Fibra Óptica instalada por CELEC EP – TRANSELECTRIC para la adquisición de datos es aprovechada principalmente por la red de PDH que a través de equipos con interfaces V.24 se conectan directamente con UTRs o sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación, encapsulan la información, se conectan a un ODF y transporta la información hacia su destino a alta velocidad, una vez llegada al destino un equipo PDH realiza el mismo proceso pero de manera inversa.

Existen nodos que alcanza la red SDH, en donde pueden suceder dos procesos: Se puede encapsular la tecnología PDH en tecnología SDH y transportar la información desde su origen hasta su destino o se puede conectar directamente los equipos de adquisición de datos al equipo SDH a través de interfaces V.24, encapsular la información en tramas SDH, conectarse a un ODF y transportar la información hacia su destino, donde otro equipo SDH hará el mismo procedimiento de forma inversa.

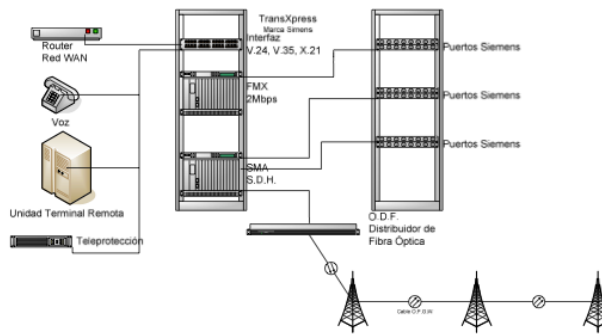


Figura 3.19 Estructura Red de Fibra Óptica

Fuente: (Vallecilla, 2007)

3.4.2.1 Red PDH

La red PDH está desarrollada bajo la tecnología PDH con troncales de E1 (G-703) utilizando como medio de transmisión. Las subestaciones en las cuales llega la Fibra Óptica como medio de transmisión, utilizan la Red PDH para encapsular la información recolectada por los UTR o sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación, y que sea llevada hacia los Front Ends. Esta misma red es utilizada para la comunicación entre los Front Ends con los Centros de Control de CENACE y COT y para enlaces redundantes entre los Front Ends.

La red PDH tiene reservado un E1 (2048 Mbps) para la red de adquisición de datos, la cual es una capacidad suficiente para la transmisión de datos de supervisión y monitoreo desde la subestaciones hasta los Centros de Control

- **Estructura de la Red PDH**

La Red PDH alcanza a la mayoría de subestaciones que forman parte de la red de adquisición de datos, sin embargo en las subestaciones que no llega la red PDH, se tiene enlaces PLC o DPLC que llevan la información al nodo más cercano donde exista un equipo multiplexor, el cual permita el ingreso de la información a la red PDH. De igual manera en la red PDH existen enlaces en los cuales la tecnología PDH se adapta a la tecnología SDH, para aprovechar de mejor los beneficios de la fibra óptica. Los nodos que forman la red PDH distribuidos por zonas son:

Zona Norte

- CENACE
- COT
- Santa Rosa
- Vicentina
- Edificio TE (Quito)
- Pomasqui
- Tulcán
- Jamondino
- Ibarra
- Santo Domingo
- Daule – Peripa
- Totoras
- Portoviejo
- San Gregorio
- Montecristi
- Quevedo
- Baños
- Puyo
- Agoyán
- San Francisco
- Riobamba
- Mulaló
- Pucará

Zona Sur

- Dos Cerritos
- Zhoray
- Santa Elena
- Pascuales
- Milagro
- Molino
- Cuenca
- Loja
- Policentro (Guayaquil)
- Nueva Prosperina
- Salitral
- San Idelfonso
- Sinincay
- Trinitaria
- Caraguay
- Machala
- Esclusas Termoguayas
- Las Esclusas
- Zorritos
- Baba

▪ Equipamiento Actual

Los equipos que se encuentran implementados en la red PDH cumple con características básicas como:

- Multiplexación para señales de voz y datos.
- Utiliza códigos de señalización que transmiten a través de CAS
- Poseen tarjetas ópticas y eléctricas para la conexión de servicios de voz, datos y teleprotección.
- Poseen tarjetas CUC para interfaces eléctricas E1, las cuales permiten la adaptación con equipos SDH
- Interfaces V.24 para la transmisión de datos según la norma G.703
- Tienen bahías de expansión para tarjetas para el crecimiento paulatino de la red.

Los enlaces en los cuales se aplican estas tecnologías son las siguientes:

- Enlace Dos Cerritos – Milagro
- Enlace San Idelfonso – Milagro
- Enlace Milagro – Front End Zhoray
- Enlace Cuenca – Molino
- Enlace Sinincay – Front End Zhoray
- Enlace Babahoyo – Front End Zhoray
- Enlace Salitral – Front End Pascuales
- Enlace Termoguayas – Front End Pascuales
- Enlace Pascuales – Front End Pascuales
- Enlace Policentro – Pascuales
- Enlace Santa Elena - Pascuales
- Enlace Posorja – Front End Pascuales
- Enlace Trinitaria – Front End Pascuales

- Enlace Nueva Prosperina – Front End Pascuales
- Enlace Esclusas – Caraguay
- Enlace Caraguay – Front End Pascuales
- Enlace Lago Chongon – Front End Pascuales
- Enlace Santo Domingo – Front End Quevedo
- Enlace Baba – Front End Quevedo
- Enlace Hidronación – Front End Quevedo
- Enlace Portoviejo – Front End Quevedo
- Enlace Vicentina – Front End Santa Rosa
- Enlace Pomasqui – Front End Santa Rosa
- Enlace San Francisco – Front End Santa Rosa
- Enlace Totoras – Front End Santa Rosa
- Enlace Riobamba – Totoras
- Enlace Agoyán – Totoras
- Enlace Ibarra – Front End Santa Rosa
- Enlace Baños – Front End Santa Rosa
- Tramo Riobamba – Front End Zhoray
- Tramo Loja – Front End Zhoray
- Tramo Santa Elena – Front End Pascuales
- Tramo Salitral - Front End Pascuales
- Tramo Santa Elena – Front End Quevedo

Existen nodos los cuales tienen equipos de adquisición de datos que solo los opera CELEC EP – TRANSELESTRIC, estos equipos se conectan directamente al Centro de Control COT mediante enlaces de la red PDH es decir, si pasar por los Front Ends. Estos enlaces son:

- Enlace Pascuales – COT
- Enlace Lago Chongon – COT
- Enlace Santa Rosa – COT
- Enlace Baba – COT
- Enlace Móvil Montecristi – COT
- Enlace Santo Domingo – COT
- Enlace Ibarra – COT

- Enlace Montecristi – COT
- Enlace Nuevo Babahoyo– COT
- Tramos Nueva Prosperina – Caraguay
- Tramos Esclusas - Caraguay
- Tramo Caraguay – COT
- Tramo Baños – Puyo
- Tramo Puyo – COT
- Tramo Loja – COT

❖ **Inconvenientes**

Los inconvenientes físicos que tiene la red PDH es en el tema de expansión y mantenimiento de la red, debido a que los espacios donde se conectan las tarjetas son limitados y con el constante crecimiento de la red de adquisición de datos es necesario añadir más tarjetas para los enlaces de comunicación. En la actualidad se ha resuelto este problema quitando enlaces que eran de redundancia para la protección de la red y han sido reemplazados por enlaces de servicios, en otros casos para dar solución a este problema es obligado adquirir un nuevo equipo PDH, lo cual genera otro problema que es el costo y dificultad de encontrar ese equipo en el mercado debido a que PDH es una tecnología casi obsoleta por su antigüedad, este último problema también se hace presente cuando en el mantenimiento de los equipos PDH se tenga que cambiar una tarjeta dañada.

3.4.2.2 Red SDH

La red SDH, es una de la tecnologías de transporte que pertenece a CELEC EP – TRANSELECTRIC, la cual se distribuye en todo el país ofreciendo capacidades desde un E1 (2048 Mbps) hasta capacidades de un STM-64 (4032 E1s=10 Gbps).

▪ Estructura de la Red SDH

La red SDH implementada en el país está conformada por una red de backbone y enlaces radiales (Red de Acceso), los cuales tienen similares condiciones de la red de Fibra Óptica, adicionalmente tiene un nodo principal o matriz que se encuentra en el Edificio CELEC EP – TRANSELECTRIC en Quito, donde se concentra la mayor parte de servicios y donde se gestiona las redes PDH, SDH y otras. Como muestra en la *Figura 3.20*.

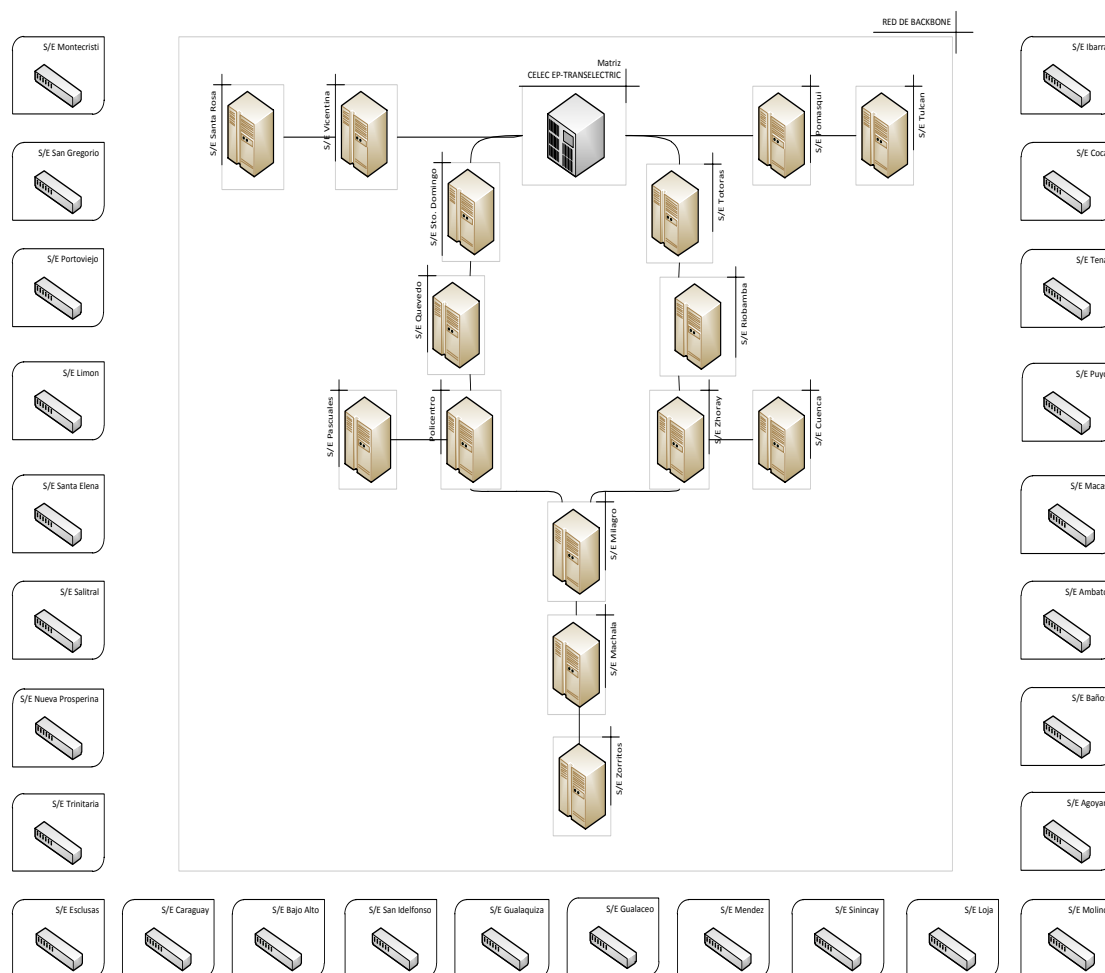


Figura 3.20 Estructura de la red SDH de CELEC EP - TRANSELECTRIC²⁰

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2014)

²⁰ En el centro de la Figura 3.20 se tiene la red de backbone, y a los bordes se tiene la red de acceso, en donde cada subestación tiene su enlace respectivo hacia la red de backbone SDH.

▪ **Equipamiento de la Red SDH**

En el Edificio CELEC EP – TRANSELECTRIC donde se encuentra el nodo Matriz están instalados principalmente los siguientes equipos:

- **Double Core (DC):** Es un SMA multiplexor que maneja tributarios de altas capacidades, equipamiento sencillo y modular.
- **Single Core (SC):** Es aquel que permite mayor agregación y desagregación tributarios E1.
- **Fuente de Sincronización:** Permite sincronizar la transmisión de toda la red SDH, a través de conexiones STM – N, esta fuente sincroniza a equipos multiplexores remotos de la red.

El equipamiento de la red de backbone de SDH básicamente está compuesto por equipos Add – Drop Multiplexer (ADM).

▪ **Características Generales de los equipos instalados en la Red SDH**

Tanto en el nodo principal ubicado en el edificio matriz como los nodos de backbone y de enlaces radiales, tienen equipos SDH cumplen con ciertas características mencionadas a continuación:

- Los multiplexores son de alta capacidad de conmutación.
- Amplifican la señal a la salida.
- Permiten la integración de tecnologías PDH, Ethernet, MPLS.
- Tiene una unidad de conmutación para TDM y una para paquetes.
- Tiene una estructura modular la cual a través de tarjetas permite ampliar la capacidad y numero de interfaces eléctricas a nivel de E1 (PDH), STM – 1, Ethernet, FastEthernet e interfaces ópticas a nivel de STM – N ó GigaEthernet.

- Poseen tarjetas para el mapeo y desmapeo de capacidades tributarias.
- Poseen tarjetas Cross-Conectoras

En cada nodo que conforma la red SDH existe ODFs los cuales son organizadores de fibra óptica donde se conecta la fibra óptica que viene del exterior del nodo, con los Patch Cords de fibra óptica necesario para realizar interconexiones entre equipos activos de la red SDH.

❖ Inconvenientes

Al igual que sucede con la red PDH, debido al crecimiento de la red y a la demanda de servicios de red de transporte, han provocado que en ciertos enlaces que eran de protección, sean utilizados para satisfacer la demanda, dejando enlaces vulnerable a fallas.

En SDH el ancho de banda está reservado para un circuito particular, ya sea que se esté usando o no, en consecuencia una aplicación puede tener un ancho de banda insuficiente pero no puede utilizar otro ancho de banda adicional que no se encuentre en uso, debido a esta situación es imposible aplicar QoS en una red SDH. En un entorno SDH el ancho de banda tiende a ser del orden de E1, debido a que las IP convergen sobre redes, este ancho de banda puede ser rápidamente agotado.

3.4.3 Cable de Cobre

El cable de cobre es utilizado en los UTR o sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación que se encuentran en el mismo lugar donde se encuentra un Front End o un nodo. Estos medios de comunicación son utilizados en los siguientes nodos:

- Loja
- Villonaco
- Milagro
- Puyo
- Tena
- Gonzalo Zevallos
- Trinitaria
- Caraguay
- Santa Elena

Y en los siguientes Front Ends

- Quevedo
- Santa Rosa
- Zhoray
- Pascuales

3.4.4 Conversor FO/RS-232

Los Conversores FO/RS-232 son dispositivos que convierte de fibra óptica a RS-232. Son utilizados en dos casos:

- 1) En los nodos donde no hay equipos SDH ó PDH pero existe la fibra óptica como medio de transmisión entonces se utilizan conversores FO/RS-232, para transmitir la información adquirida en la subestaciones y trasladarla a un nodo cercano donde se pueda enlazar con un equipo de SDH, PDH o conectarse directamente al Front End.
- 2) Debido a que la comunicación serial RS-232 tiene un cobertura máxima de 15m entonces para distancia mayores se utilizan conversores RS-232/FO para que a través de la fibra óptica alcance a otro conversor FO/RS-232 que convierte el medio de transmisión y es conectado al equipo destino.

Los enlaces que están instalados estos equipos en los extremos son:

- Enlace Villonaco – Loja
- Enlace Electrica de Guayaquil - Salitral
- Enlace Electroquil – Front End Pascuales
- Enlace Generoca – Front End Pascuales
- Enlace Central Quevedo – Front End Pascuales
- Enlace el Ambi - Alpachaca
- Tramo Termoesmeraldas II – Termoesmeraldas I
- Tramo Santa Elena – Central Santa Elena

3.4.5 Servicio prestado por terceros

En los tramos donde CELEC EP – TRANSELECTRIC no llega con sus enlaces radiales o de PLC, se tiene convenios con otras empresas privadas, las cuales proveen la conexión del nodo de adquisición de datos que no llega los enlaces radiales hacia un nodo el cual cuenta con el servicio de transporte de CELEC EP – TRANSELECTRIC. Estos enlaces son:

- Enlace Ingenio San Carlos – Milagro
- Enlace Hidrobanico – Front End Zhoray
- Tramo Riobamba – Central Alao
- Tramo Milagro – Electroquil

Las empresas privadas que ofrecen este servicio son:

- Level 3 (www.level3.com)
- Punto Net (www.puntonet.ec)

3.5 SÍNTESIS Y ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED

Como se mencionó anteriormente la estructura de la red de adquisición de datos está conformado por una red de subestaciones, Front Ends y los Centros de Control, estas entidades se encuentran conectadas a través de una red de transporte perteneciente a CELEC EP – TRANSELECTRIC.

La red de subestaciones está compuesta mayormente por sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación (gateways) en relación a los UTRs, los cuales adquieren información de los IEDs, dispositivos de instrumentación y sensores para enviarlas hacia los Front Ends. Como podemos observar en la siguiente *Figura 3.21*.

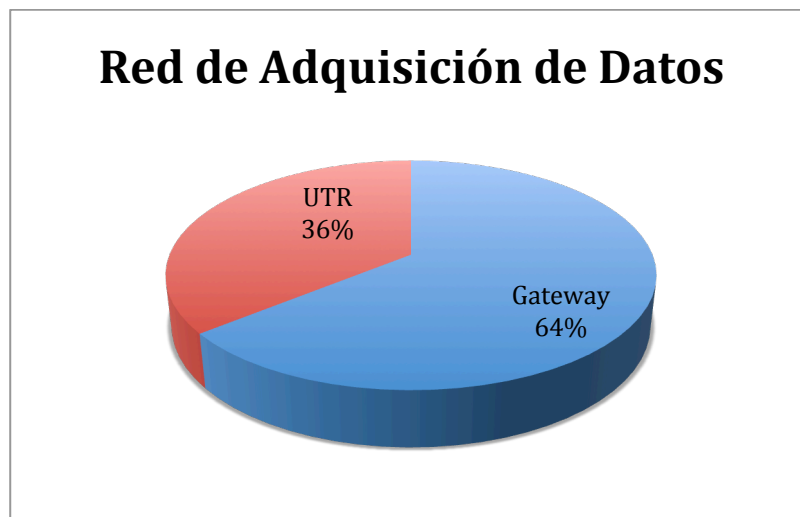


Figura 3.21 UTR vs Gateway instalados en la Red de Adquisición de Datos

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2014)

El Subsistema de Adquisición de Datos implementado en el SNI, existen 2 modelos de RTU instalados que son RTU 400 y RTU 560, mientras que sistemas de adquisición de datos (gateways) existen 4 modelos que son SICAM PAS, SICAM SAS, PACiS, TBOX, Survalent, DAP Server y COM 500, distribuidos en la red. (Figura 3.22).

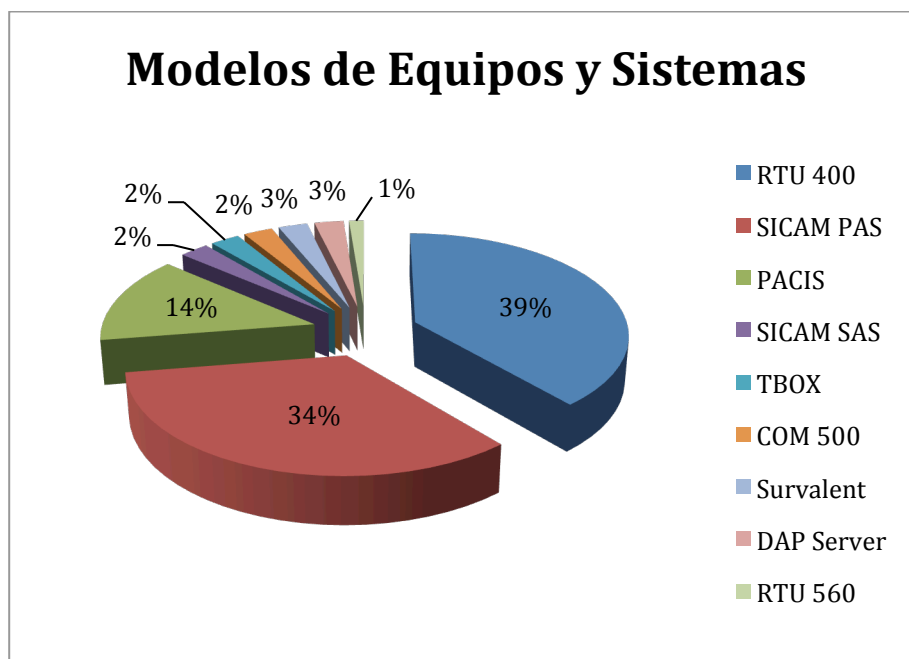


Figura 3.22 Porcentaje de Modelos de Sistemas Implementados en el SNI

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2014)

El Front End está compuesto por un panel RCM donde la información adquirida de las subestaciones es recibida por interfaces RS-232 y luego es reenviada a través de dos conexiones Ethernet (IP) hacia los Centros de Control. Existen dos modos de uso de los Front Ends:

- **Modo Compartido:**

Este modo funciona con una Red de 4 Front Ends donde se concentra la información que es compartida por los Centros de Control de CENACE y COT.

Los modelos de los equipos y sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación que se conectan al RCM a través de interfaces RS-232 a la red de Front Ends son RTU 400/560, PACiS, PAS y COM500.

Por otro lado, las dos interfaces con tecnología Ethernet (IP) del RCM, se conecta a un switch del CENACE donde se juntan los demás Front Ends de red y posteriormente a través de este mismo switch la información es enviada hacia los Centros de Control de CENACE y COT

- **Modo Independiente:**

El Front End concentra información para el uso exclusivo del Centro de Control COT. Los modelos de sistema de adquisición de datos que se conectan a las interfaces RS-232 del RCM son PACiS, SAS y PAS.

En cambio las dos interfaces Ethernet (IP) del RCM, se conectan directamente a los servidores PCU 400 del Centro de Control COT.

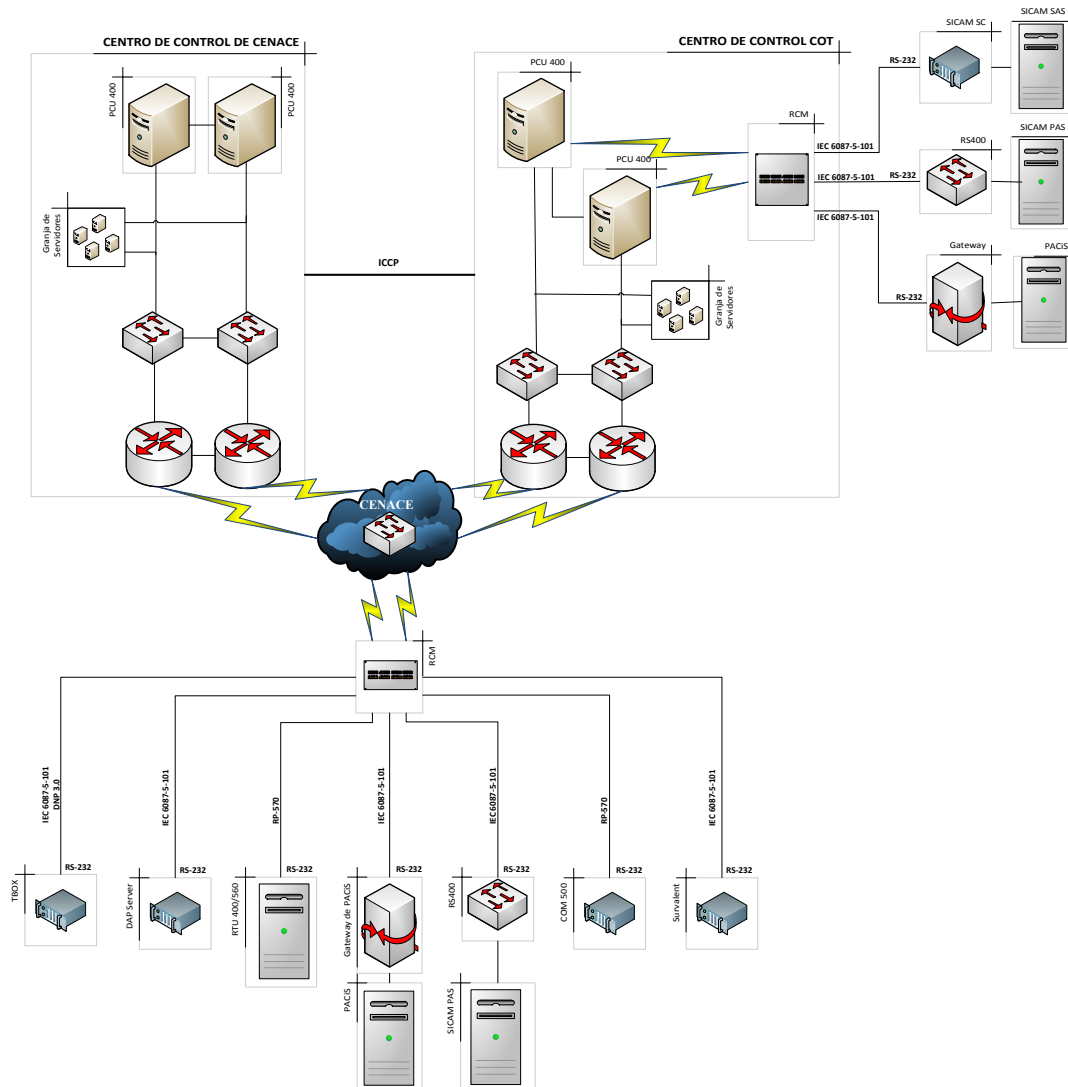


Figura 3.23 Estructura de la Red de Adquisición de Datos del SNI

Como podemos observar en la *Figura 3.23* la comunicación entre las subestaciones y los Front Ends, se realiza mediante protocolos de comunicación de alto nivel como IEC 60870-5-101²¹, RP-570 y DNP-3 los cuales físicamente se basan en tecnología serial que permiten el monitoreo y control distribuido del Sistema Eléctrico de Potencia de cada subestación.

²¹ Los nodos que se conectan directamente al Front End del COT utilizan solo el Protocolo IEC 60870-5-101

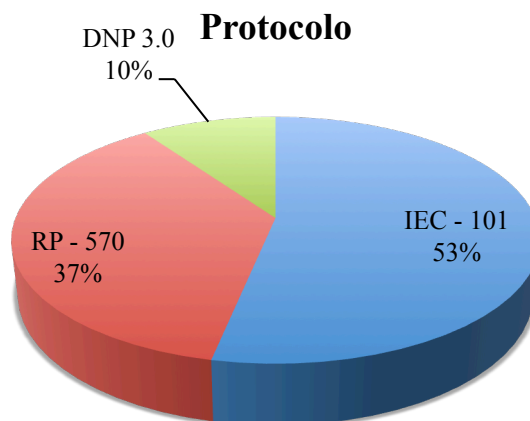


Figura 3.24 Protocolo utilizados en la Red de Adquisición de Datos

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2014)

Como podemos observar en la *Figura 3.24*, más de la mitad (53%) de los equipos de adquisición de datos utiliza el protocolo IEC 60870-5-101 para la comunicación de la subestaciones o de las Centrales de Generación con los Front Ends, en segundo lugar con un 37% tenemos al protocolo RP – 570 que principalmente utilizan los RTU 400 y 560, y finalmente solo el 10% de los equipos de adquisición de datos utilizan el protocolo DNP 3.0 para la comunicación con el exterior de la subestación, cabe resaltar DNP 3.0 es utilizado por las centrales generadoras que se conectan a la Sistema de Comunicación del SNT.

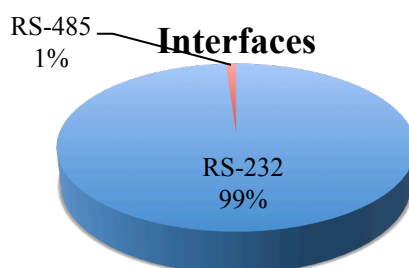


Figura 3.25 Interfaces usadas en la Red de Adquisición de Datos

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2014)

Como podemos observar en la *Figura 3.25*, un 99% de las interfaces tanto de los UTRs como de los sistemas de adquisición de datos instaladas en la subestación son bajo el estándar RS – 232. El 1% restante corresponde al gateway implementado en la Central de Generación Termoesmeraldas el cual utiliza una interfaz RS – 485.

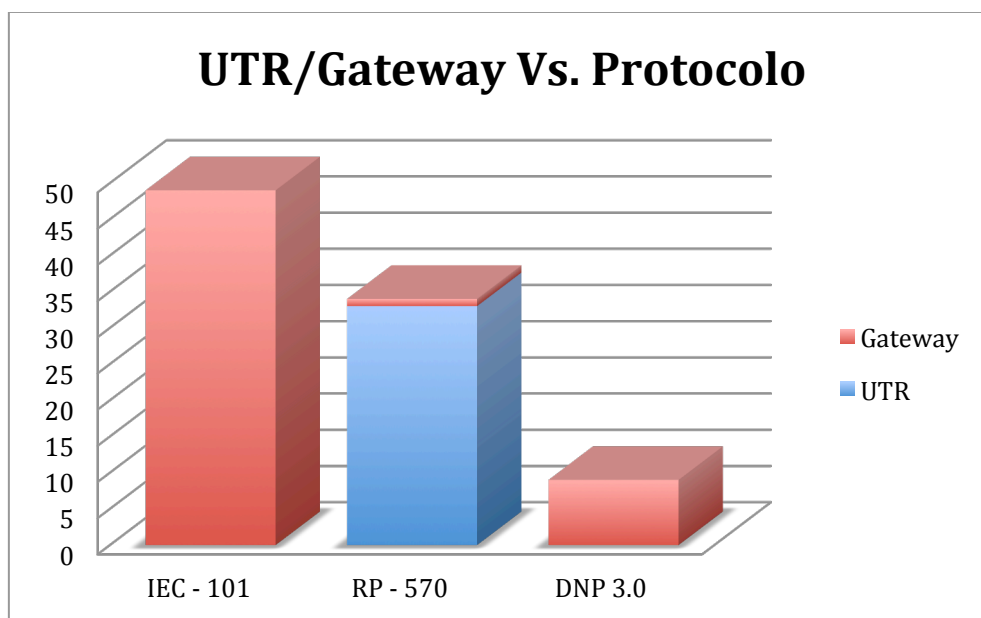


Figura 3.26 Comparación UTR/Gateway vs. Protocolo

Fuente: (CELEC EP - TRANSELECTRIC, 2014)

En la *Figura 3.26* podemos observar que todos los sistemas de adquisición de datos a nivel de subestaciones utilizan un gateway con protocolo IEC 6087 – 5 – 101 y DNP 3.0 para la comunicación con los Front Ends, sin embargo existe una excepción en los sistema COM500 que utiliza el protocolo RP – 570, análogamente todos los UTR utilizan el protocolo RP – 570 para la misma comunicación.

El protocolo que es utilizado para la comunicación entre los Front Ends y los Centros de Control en una red de adquisición de datos es DNP 3.0 sobre TCP/IP.

Además de la conexión entre subestaciones con Fronts Ends y entre Centros de Control con Front Ends, se tiene una comunicación por medio del protocolo ICCP (*Inter-Control Center Communications Protocol*) el cual es un protocolo para la comunicación entre los Centros de Control del COT y CENACE a través de la WAN de Fibra Óptica.

La comunicación entre las subestaciones y los Fronts Ends se lo realiza a través de PLC, Conversor FO/RS-232, cable de cobre, red de fibra óptica (Red PDH o SDH) o por servicios prestados por terceros.

CAPITULO IV

PROPUESTA DE DISEÑO

En este capítulo se expondrá los requerimientos y una propuesta de diseño de la red de adquisición de datos, considerando los equipos y la infraestructura que tiene CELEC EP – TRANSELECTRIC para la adquisición de datos desde las subestaciones hasta los Centros de Control.

4.1 REQUERIMIENTOS

Como parte de la propuesta de diseño es importante identificar todos los requerimientos y necesidades que deben ser cubiertas con el desarrollo del proyecto para posteriormente analizar las opciones de infraestructura disponibles para así seleccionar la mejor opción para el diseño de la Red.

Los requerimientos nacen principalmente en la necesidad de dar solución a inconvenientes que existen en equipos y en tecnología instalados actualmente en la Red de Adquisición de Datos, los cuales fueron mencionados en el capítulo anterior. Estos inconvenientes que actualmente existen, pueden ser solucionados a través de un proceso de migración de protocolos seriales existente a protocolos basados en la arquitectura TCP/IP tanto de los Sistemas de Adquisición de Datos a nivel de subestaciones, como en el Sistema de Telecomunicaciones.

4.1.1 Requerimientos de Sistemas de Adquisición de Datos en Subestaciones²²

El equipamiento necesario en subestaciones y centrales de generación, podrá tener características de concentrador de datos, UTR, convertidor de protocolos o Gateway y podría incluir la siguiente funcionalidad:

- a. Disponer de entradas digitales y analógicas para la recolección de información de la subestación en caso de ser una UTR.
- b. Permitir la integración de UTRs con protocolo RP570.
- c. Permitir la integración de IEDs existentes en las subestaciones a través del protocolo IEC 61850.
- d. Permitir la integración con equipos y/o sistemas de adquisición de datos de las subestaciones que manejan protocolo IEC 101.
- e. Disponer de una interfaz de usuario (HMI), que permita efectuar el control de la subestación de manera local.
- f. Recolectar toda la información de la subestación para su envío hacia los Centros de Control con protocolo IEC 104.
- g. Soportar la interrogación desde dos maestras²³ por medio del protocolo IEC 104.
- h. Disponer de dos puertos Ethernet para la comunicación con los switches.

4.1.2 Requerimientos del Sistema de Comunicaciones

Con el fin de contar con un diseño preliminar que se ajuste a los requerimientos planteados, para cumplir con el alcance y objetivos de este proyecto, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos para el diseño de una arquitectura de telecomunicaciones exclusiva para adquisición de datos desde las subestaciones hacia los centros de control:

²² Los Requerimientos expuestos fueron tomados del Documento “DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LOS CENTROS DE CONTROL DE CENACE Y CELEC EP – TRANSELECTRIC”

²³ Dos Centros de Control de CENACE y COT

- a. El equipo de telecomunicaciones debe ser diseñado para trabajar en sitios con gran interferencia electromagnética, debido a los altos niveles de voltaje que se manejan en las subestaciones donde será instalado.
- b. CELEC EP – TRANSELECTRIC cuenta con una red de fibra óptica anillada, la misma que puede ser aprovechada para definir la topología de red de los switches principales (anillo, estrella, radial, etc.). Adicionalmente se analizará el esquema más adecuado para la conexión de los equipos de adquisición de datos (concentradores, gateways, UTRs, etc), hacia los switches.
- c. La configuración final de la arquitectura de telecomunicaciones propuesta deberá ser justificada y sustentada con sus respectivos criterios técnicos.
- d. Se deberá analizar en la arquitectura propuesta, la inclusión de mecanismos de seguridad informática que permita garantizar la integridad de los sistemas que disponen los centros de control.
- e. Especificar qué tipo de equipamiento mínimo se puede utilizar para obtener la arquitectura propuesta.
- f. Los equipos de adquisición de datos de las subestaciones tendrán una red LAN física y lógica independiente de las redes TCP/IP del Sistema de Adquisición de Señales (SAS) y corporativa de CELEC EP – TRANSELECTRIC.

4.2 PROPUESTA DE DISEÑO

Una vez analizado el estado actual de red de adquisición de datos en el Capítulo 3, podemos distinguir dos puntos críticos donde principalmente la inflexibilidad de la tecnología de comunicación implementada ha provocado que el sistema se encuentre en total desigualdad con otros sistemas con protocolos más nuevos y flexibles. Nace así la necesidad de una propuesta de diseño para modernización de equipos (solo en subestaciones que sea necesario) y/o la migración de protocolos a otros más flexibles a tecnologías de nueva generación.

Los puntos críticos donde se basa la propuesta de diseño son en los equipos de los sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación y en los Sistemas de Comunicación. La propuesta tiene tendencia a la tecnología Ethernet (IP) para comunicación entre Centros de control y las subestaciones, ya que presenta varias ventajas frente al uso de protocolos de comunicación serial. Estas ventajas serán analizadas posteriormente en el numeral 4.3.

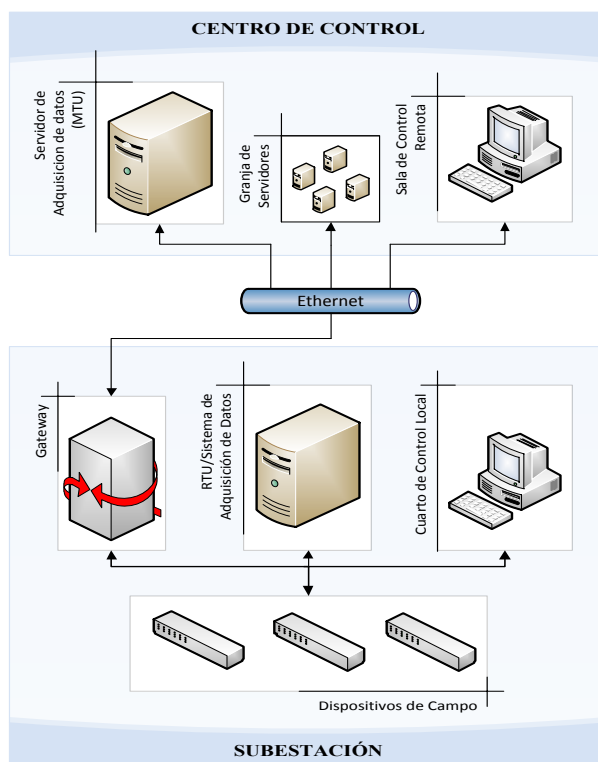


Figura 4.1 Tendencia de la Propuesta de Diseño

4.2.1 Propuesta de Diseño en Subestaciones

En base al análisis de la red actual realizada en el Capítulo III, podemos concluir que existen una variedad de equipos y sistemas de adquisición de datos a nivel de subestaciones que tienen la posibilidad de trabajar con el protocolo IEC 104 tanto en hardware como en software, pero del lado contrario, también existen equipos y sistemas que originalmente no tienen la capacidad de trabajar con IEC 104, en este caso se buscará alternativas para adaptar a estos equipos y sistemas a características que exigen los requerimientos para implementar una comunicación con el protocolo IEC 104.

4.2.1.1 Sistemas de Adquisición de Datos que soportan IEC 104

El 62% de los equipos y sistemas de adquisición de datos tiene la capacidad de trabajar con el protocolo IEC 104 cuyo funcionamiento se basa en la arquitectura TCP/IP, es decir tienen algunas características que son requeridas para la modernización del sistema de adquisición de datos de los Centros de Control de CENACE y CELEC EP – TRANSELECTRIC. Estos sistemas son:

- **RTU 560**

El único equipo RTU 560 que se encuentra instalado en la Subestación Dos Cerritos, para cumplir con los requerimientos necesita de un hardware y software adicional:

Para que el RTU 560 trabaje con el protocolo IEC 104, a nivel de hardware es necesario adquirir una Unidad de Comunicación 560CMU05 el cual tiene las siguientes características:

- Modulo Central del RTU 560 con un CPU de 32 bits.
- 4 interfaces de comunicación serial (RS-232 o RS-485)
- 2 interfaces Ethernet 10/100BaseT
- La comunicación con Sub-RTUs, IEDs o dispositivos de medición lo puede realizar a través de interfaces RS-485 ó mediante interfaces Ethernet.
- La comunicación con el Centro de Control y el sistema HMI local se lo puede realizar a través de la interface serial RS-232 ó mediante interfaces Ethernet.

Una vez implementado el 560CMU05 es necesario habilitar el protocolo de comunicación IEC 104, para ello es necesario adquirir el Software *RTUtil560* el cual es una herramienta de ingeniería de señales que genera todos los archivos solicitados para ejecutar las unidad de comunicación 560CMU05, además realiza la conversión de protocolo apoyando el proceso de enrutamiento de señales desde una pequeña estación a nivel más bajo hasta el nivel más alto (Centros de Control) a través de la arquitectura TCP/IP.

▪ SICAM PAS:

El software SICAM PAS Full Server básicamente permite la configuración del protocolo IEC 104 para la comunicación con los Centros de Control, puede funcionar con un máximo de 5 Centros de Control y permite la integración de otros protocolos.

La estructura del SICAM PAS implementado en las subestaciones del SNI, tiene un Switch RS400 de la marca Ruggedcom, este switch tiene habilitado 4 puertos de Ethernet, de los cuales 2 ya se encuentran en utilizados por conexiones internas de la subestación, pero los dos restantes pueden ser utilizador para la comunicación con el Front End a través del protocolo IEC 104, un puerto Ethernet puede ser utilizado para una ruta principal y el otro para una ruta secundaria.

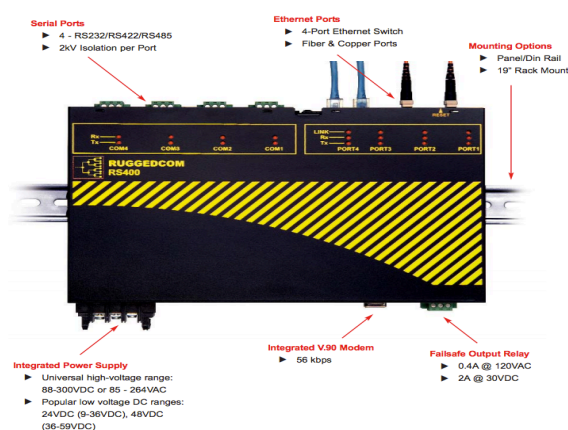


Figura 4.2 Switch RS400 Ruggedcom

Fuente: (RuggedCom, 2006)

A nivel de software, CELEC EP – TRANSELECTRIC tiene adquirida la Licencia para habilitar el protocolo IEC 104 esclavo.

Para habilitar esta opción tenemos que ir a la Interfaz de Usuario SICAM PAS UI – Configuración, en esta parte nos presenta 4 opciones:

- Configuración: Creación de protocolos, interfaces, equipos.
- Asignación de variables: Direccionamiento de las Señales.
- Topología: Estructura de la subestación, nivel de tensión, campo, equipo.

En la parte de “Configuración” nos permitirá realizar la conversión de protocolo a IEC 104.

- **PACiS**

El sistema PACiS que se encuentra instalado en la red de adquisición de datos cumple con todos los requerimientos. Físicamente la PC donde se encuentra instalado el PACiS Gateway tiene interfaces Ethernet de alta capacidad de transmisión.

A nivel de software, CELEC EP – TRANSELECTRIC tiene adquirida la Licencia para habilitar el protocolo IEC 104 Esclavo en PACiS Gateway.

Entonces el gateway tiene la capacidad de convertir el protocolo de comunicación IEC 61850 (del nivel inferior) a IEC 104 para la comunicación con los Centros de Control.

- **TBOX**

El sistema TBOX que se encuentra instalado en la Red de Adquisición de Datos permite la configuración del protocolo IEC 104, físicamente el módulo TG-200 instalado en el nodo tiene una interface Ethernet 10/100BaseT pero es recomendable adquirir otro módulo TG-200 para tener una estructura redundante en caso de que exista una falla en la comunicación con los Centros de Control a nivel de subestación.

A nivel de software el “SCADA Operating Software” instalado en el nodo tiene la opción de trabajar con el protocolo de comunicación IEC 104.

Esta misma alternativa puede ser implementada tanto en la Central Termoguayas – Esclusas que usa el protocolo IEC 101 y en la Central Hidrobanico que utiliza el protocolo DNP 3.0.

- **Smart SCADA (Survalent)**

La infraestructura y el software Smart SCADA del sistema Survalent implementada en los nodos de la Red de Adquisición de Datos tiene la capacidad de trabajar con el protocolo IEC 104, la responsabilidad de este proceso recae en el Concentrador de Datos SCOUT que físicamente tiene un puerto Ethernet 10Base T y

otro puerto 10/100Base TX los cuales podrían ser habilitados para que trabajen con el protocolo IEC 104 con el fin de comunicarse con el Switch de Enlace Troncal RX1500. Este Switch tiene una variedad de puertos de fibra óptica (monomodo 1000LX y multimodo 100FX) y puertos Ethernet (10/100/1000TX) para la comunicación con los Centros de Control mediante el protocolo IEC 104 que ya fue estructurado en el Concentrador de Datos SCOUT.

- **DAP Server**

La plataforma del DAP Server consiste de una aplicación cliente, para recoger los datos desde los equipos de la subestación, y una aplicación servidor, para publicar los datos hacia los Centros de Control, esta última aplicación es la que nos interesa, y soporta los protocolos IEC 104. Físicamente el DAP Server tiene 3 puertos Ethernet 10/100 BaseT.

4.2.1.2 Sistemas de Adquisición de Datos que No soportan IEC 104

El 38% restante de los equipos y sistema de la red de adquisición de datos es necesario cambiar los equipos de la subestación a unos más nuevo o instalar un conversor de tecnología serial a tecnología Ethernet. Estos equipos son los RTU 400 y los sistemas COM500 y SICAM SAS. A continuación se hará el análisis de las alternativas que tienen estos equipos y sistemas para acoplarse a la tecnología Ethernet (IP) a través del protocolo IEC 104.

- **RTU 400**

El RTU 400 tiene dos limitantes importantes que no permiten la implementación del protocolo IEC que son: inflexibilidad en la integración de nuevos protocolos para la comunicación con los Centros de Control y, a nivel de hardware este equipo no tiene tarjetas con interfaces Ethernet que puedan satisfacer los requerimientos del protocolo IEC 104, es así que para dar solución a estos problemas limitantes se propone a continuación varias alternativas:

Alternativa 1:

Se debería modernizar totalmente los nodos de la red de adquisición de datos que tengan el RTU 400, es decir, reemplazar los equipos RTU 400 por sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación que ya han sido probados y se encuentran funcionando en la misma red de adquisición de datos con resultados positivos.

Estos sistemas pueden ser el SICAM PAS o PACiS los cuales son sistemas flexibles a nuevas tecnologías, son robustos y se tiene licencias para que la comunicación con los Centros de Control se lo realice con el protocolo IEC 104.

Alternativa 2:

Esta alternativa se basa en el funcionamiento anterior que tenía la red de adquisición de datos de SNI, que consistía en tener eLAN los cuales concentraban los datos adquiridos por los RTU 400 y las reenviaba hacia los Centros de Control a través de un anillo de fibra óptica con interfaces Ethernet.

Este mismo principio puede ser implementado en cada subestación, es decir la adquisición de datos de los dispositivos de bahía lo realiza el RTU 400, posteriormente reenvía la información a un eLAN instalado dentro de la subestación mediante el protocolo RP – 570, dentro del eLAN se procesa la información y se la reenvía hacia los Centros de Control mediante un protocolo basado en TCP/IP.

Esta alternativa es solventada por una variedad de eLANs de la marca Ruggedcom²⁴, pero para esta opción fue elegida el eLAN SCS (Substation Communications Server) que cumple con los requerimientos solicitados por CELEC EP – TRANSELECTRIC, ya que tiene las siguientes características:

²⁴ Los eLAN que se encontraban instalados anteriormente en los Front Ends eran de la marca BOW Network, esta empresa fue comprada por Ruggedcom.

- Acceso libre y flexible a toda la subestación y dispositivos de bahía distribuidos.
- Conversión y normalización de Protocolos
- Recuperación automática de información fallida.
- Diseñado para trabajar con protocolos del EMS/SCADA.
- Opciones de seguridad
- Soportar múltiples interfaces

El eLAN SCS tiene la capacidad de trabajar con la amplia gama de aplicaciones de eLAN™, incluyendo más de 40 protocolos donde se encuentra el protocolo DNP 3.0 (serial y IP), IEC 101 y RP – 570, para lo cual es necesario adquirir licencias para utilizar cada uno de estos protocolos.

No existe la posibilidad de trabajar directamente con IEC 104, sin embargo existe la posibilidad de habilitar el protocolo IEC 101 y mediante un dispositivo Conversor se puede convertir del protocolo IEC 101 al IEC 104 (*Figura 4.3 (a)*), ó sino se puede utilizar el DNP 3.0 (IP) que se basa en la arquitectura TCP/IP igual que IEC 104 (*Figura 4.3 (b)*).

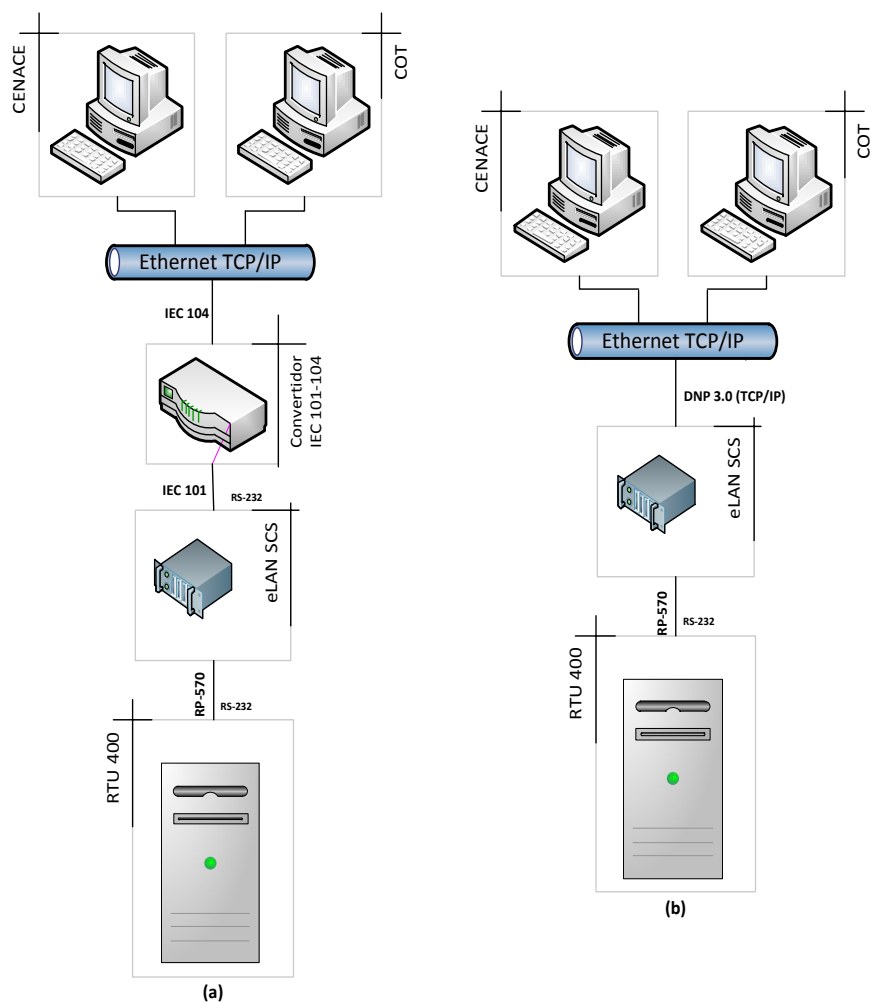


Figura 4.3 Estructura de eLAN SCS en Subestación

El hardware necesario para el eLAN SCS es el siguiente:

- RuggedBackbone RX1500: es un router y switch de capa 2 y 3.
- RuggedAPE (Application Processing Engine): Es una plataforma independiente que permite cargar y ejecutar aplicaciones de seguridad y software directamente en un dispositivo RX1500.
- Mínimo dos puertos Ethernet
- Puertos seriales.

Instalar eLAN en cada subestación se tendrá la ventaja fundamental de usar una amplia gama de soluciones RUGGEDCOM ELAN para los usuarios dentro de la red de adquisición de datos además se tendrá un acceso seguro a la información de IEDs o dispositivos de bahía, en un formato que entienden, siempre disponible.

Alternativa 3:

Esta alternativa consiste en realiza una traducción del protocolo RP – 570 al IEC 104, mediante un producto SPT (SCADA Protocol Translator) de la marca Applied Systems Engineering Inc (ASE), el cual nos brinda 3 opciones para realizar este proceso: utilizando el dispositivo SPT-ARM, SPT4-NET ó SPT-PC. Estas tres opciones tienen similares características, lo que les diferencia una de otra son los características físicas.



Figura 4.4 SPT4-NET

Fuente: (Applied Systems Engineering Inc, 2007)

En base a los requerimientos, se escogió el SPT4-NET ya que fue diseñado para ser instalado en sitios remotos y contiene las siguientes características:

- Es un traductor de protocolo y concentrador de información.
- Proporciona una amplia gama de protocolos de transporte de datos y las aplicaciones más comunes en la industria SCADA.
- Permite el acceso de múltiples Centros de Control a un puerto simple del RTU.
- Tiene un microprocesador ELAN AMD.

- Diseñado para operar en ambiente de subestación.
- Tiene 4 puertos seriales RS-232.
- Tiene un puerto Ethernet 10/100BaseT
- Soporta protocolos IEC 101, IEC 104, DNP 3.0 y RP-570

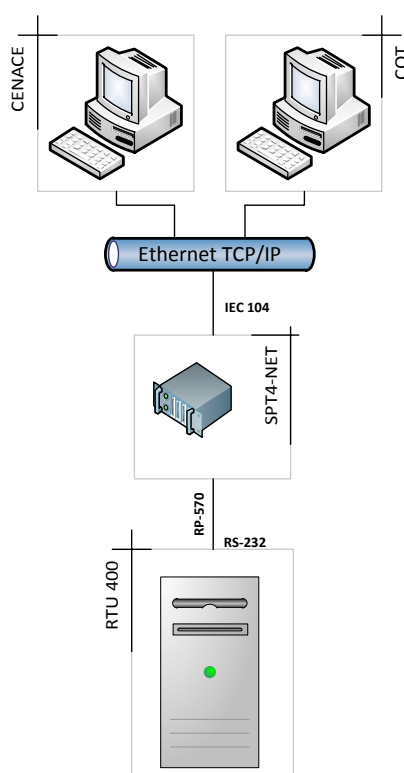


Figura 4.5 Estructura de eLAN SCS en Subestación

Como se puede observar en la *Figura 4.5*, el SPT4-NET iría instalado entre el RTU – 400 y la red WAN de la red de adquisición de datos, de esta manera los datos adquiridos por el RTU – 400 son transmitidos hacia el SPT4-NET a través de una interface RS-232 usando el protocolo RP - 570, luego el equipo SPT4-NET realiza una conversión de protocolo y reenvía la información hacia los dos Centros de Control mediante interfaces Ethernet con el protocolo IEC 104.

▪ SICAM SAS

SICAM SAS tiene una comunicación con los Front Ends utilizando el protocolo IEC 101, sin embargo para cumplir con los requerimientos para la comunicación con los Front Ends a través del protocolo IEC 104, se propone 3 alternativas:

Alternativa 1:

SIEMENS en su página web oficial²⁵ recomienda que sea substituidos por el sistema SICAM PAS debido a que SICAM SAS es un sistema antiguo, inflexible y no es escalable para nuevas tecnologías.

Alternativa 2:

Otra alternativa que se puede adoptar para trabajar con el protocolo IEC 104, es instalar un equipo intermedio entre el SICAM PAS y la WAN de adquisición de datos que permite el acoplamiento rápido y rentable del protocolo de comunicación IEC 101 a IEC 104 (y viceversa), aprovechando el hecho de que estos protocolos son altamente compatibles a nivel de aplicación. (Figura 4.6).

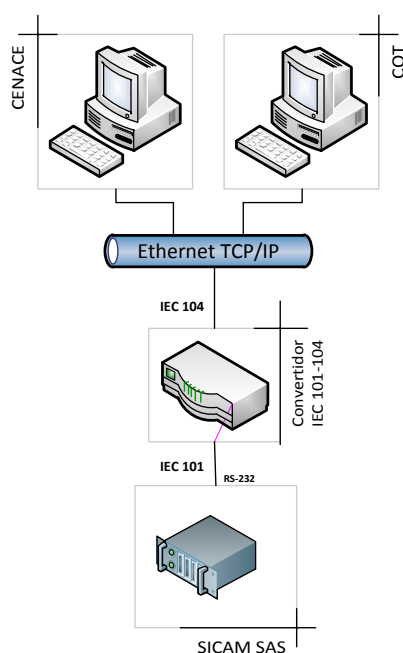


Figura 4.6 Conversor IEC101-104 en SICAM SAS

²⁵ (Siemens, 2013)

Como podemos observar en la *Figura 4.6*, para dar una solución a los problemas de protección y confiabilidad a nivel físico se colocó 2 convertidores IEC 101 – 104, los cuales tienen una comunicación a nivel inferior (SICAM PAS) mediante el protocolo IEC 101 a través de interfaces RS – 232, y a un nivel superior (WAN de adquisición de datos) tiene una comunicación mediante el protocolo IEC 104 a través de interfaces Ethernet.

Esta alternativa es solventada por varios equipos en el mercado, a continuación se presentan algunos equipos que cumplen con esta función.

- **Router CGR 1120**

Es un dispositivo de la marca Cisco, el cual tiene las siguientes características:

- Está diseñado para un despliegue indoor.
- Conversión entre IEC 104 y IEC 101
- Administración de Red.
- Soporta comunicaciones Ethernet, serial, PLC, etc.
- Ofrece la configuración de listas de acceso, encriptación, funciones de firewall para la seguridad de la red de la subestación.
- Gestión de la red de comunicaciones.



Figura 4.7 Router CGR 1120

Fuente: (CISCO, 2014)

La instalación de este equipo en la red de adquisición de datos puede optimizar el uso de recursos, debido a que actualmente los SICAM SAS se encuentra instalados en la Subestación de Francisco de Orellana a través y la Subestación de Tena, cuya comunicación con los Front Ends es unificada en la Subestaciones Tena. En base a este estado actual, se puede instalar un equipo CGR1120 en la subestación Tena que comunique al Centro de Control con la subestación Tena a través de PLC y con la propia subestación Tena, incluso con una al vista al futuro este dispositivo instalado puede servir como un enlace radial de la red de backbone.

○ **Arctic IEC-104 Gateway**

Es un dispositivo de la marca Viola Systems, el cual tiene las siguientes funciones:

- Comunicación segura con una VPN interna y Firewall
- Autodiagnóstico para la comunicación
- Compresión de paquetes a baja velocidad.
- El software soporta protocolo de red (PPP, IP, ICMP, etc), túnel VPN (SSH servidor y cliente).
- Su configuración puede ser realizada a través de interface Ethernet usando un navegador web, SSH, Telnet y consola.

Arctic IEC-104 tiene las siguientes características físicas:

Tabla 5

Características de Hardware de Arctic IEC-104

Interfaces Serial 1	Consola, RS-232, 19200 bps
Interface Serial 2	IEC-101, RS-232 DTE, RS-485, 300-460800 bps
Ethernet (RJ-45)	10/100BaseT
Fuente de Poder	6 - 26 VDC
Temperatura ambiente	-20 ⁰ C a 70 ⁰ C
Humedad Relativa	5% a 85%
Dimensiones ancho/alto/grosor	108/175/45 mm

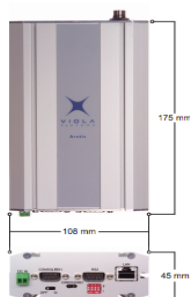


Figura 4.8 Arctic IEC-104

Fuente: (Viola Systems, 2013)

- **COM 500**

El servidor de comunicación COM 500 que se encuentra instalado en una PC de un nodo de en la red de adquisición de datos trabaja con el protocolo RP – 570, para cumplir con los requerimientos basados en el protocolo IEC 104 se tiene las siguientes alternativas.

Alternativa 1:

COM 500 tiene la capacidad de trabajar con el protocolo IEC 101, entonces como primer paso es deshabilitar el protocolo RP-570 que actualmente está implementado y habilitar el protocolo IEC 101 en modo esclavo para posteriormente instalar un equipo “Convertor de Protocolo” entre el COM 500 y la WAN de adquisición de datos, tal como se mencionó en la “*Alternativa 2*” del sistema SICAM SAS, obteniendo la estructura:

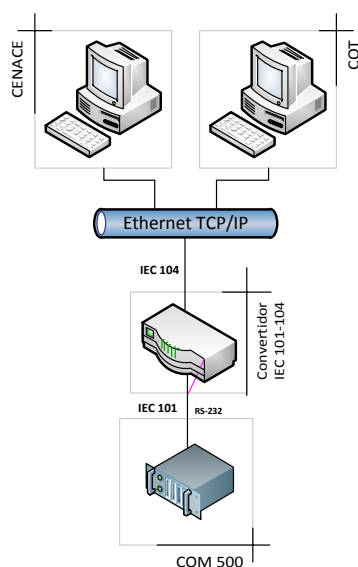


Figura 4.9 Convertor IEC101-104 en COM 500

Alternativa 2:

El servidor COM 500 tiene una interface denominada CPI (Communication Programming Interface), la cual puede ser utilizada para la implementación de cualquier otro protocolo que no esté habilitado de fábrica, es decir es posible programar una conversión protocolo usando el CPI a través de programación en Lenguaje C.

Debido a que los protocolos IEC 101 y IEC 104 son de similares características en la capa de aplicación, para facilitar la programación es recomendable primeramente habilitar el protocolo IEC 101 y luego realizar la programación respectiva para realizar la conversión del protocolo IEC 101 al protocolo IEC 104.

Físicamente, la PC donde se encuentra instalado el COM 500 tiene interfaces Ethernet suficientes para cumplir con los requerimientos solicitados.

4.2.1.3 Análisis de Beneficio/Costo

El análisis beneficio/costo se divide en dos panoramas, el primero se refiere a los equipos y sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación que tiene la posibilidad de trabajar con el protocolo IEC 104 sin mayores cambios (*Tabla 6*); y en segundo se tiene a los equipos y sistemas los cuales es necesario un cambio considerable para que se pueda realizar una comunicación con los Centro de Control mediante el protocolo IEC 104 (*Tabla 7*). Los parámetros considerados para el análisis en cada caso son:

- Equipo/Sistema de Adquisición de datos: Son los modelos de los equipos o sistemas que se encuentran instalados en las subestaciones.
- Hardware: Se refiere al equipo el cual se conecta físicamente la red de transporte y debe tener como requisito una interface Ethernet. Este campo puede variar dependiendo del equipo que se está analizando.

- Software: Se refiere al programa que realiza la conversión del protocolo o que tenga la capacidad de habilitar el protocolo IEC 104.
- Beneficios: En este campo se muestra las características que tiene el equipo o sistema.
- Cantidad: Se refiere a cuantos equipos podrían ser instalados en las subestaciones donde se puede aplicar dicha solución.
- Costo: En este campo se indicará un valor referencial de inversión para que el equipo o sistema trabaje con el protocolo IEC 104.

Para el cálculo del costo se ha considerado el valor propio del equipo que se propone implementar, licencia, 20% adicional del valor del equipo para su instalación y 10 metros como máximo de cableado estructurado. Estos rubros corresponden a una sola subestación por lo que se deberá multiplicar por el número total de todas las subestaciones donde se pudiera aplicar la respectiva solución.

Análisis de Beneficio/Costo equipos y sistemas capaces de trabajar con el protocolo IEC 104

Como se puede observar en la Tabla 6, el total de inversión es mínimo para que estos equipos manejen el protocolo IEC 104. Los equipos que necesita más inversión son el RTU 560 y TBOX, debido a que es necesario instalar tarjetas que habiliten las interface Ethernet. Los demás sistemas el costo mostrado solo equivale al valor de la licencia, cabe resaltar que solo la licencia del sistema SICAM PAS ha sido adquirida por CELEC EP – TRANSELECTRIC.

Tabla 6

Características de los Equipos y Sistemas de Adquisición de Datos que pueden trabajar con IEC 10

Equipo/Sistema de Adquisición De Datos	HW	SW	CARACTERÍSTICAS	CANT	COST (USD)
RTU 560	Módulo 560CMU05	RTUtil560	<ul style="list-style-type: none"> • Software y Hardware modular y escalable • 4 interfaces RS-232 • 2 interfaces Ethernet 10/100BaseT 	1	497,00
SICAM PAS	Switch RS400	SICAM PAS UI	<ul style="list-style-type: none"> • Software y Hardware modular y escalable, • Configuración amigable • Sistema abierto • Cumple con IEC 61850 • 2 interfaces Ethernet disponibles 10/100BaseTX 	27	0
PACiS	NIC de la PC	PACiS Gateway	<ul style="list-style-type: none"> • Cumple con IEC 61850 • Cyber-Seguridad • Puertos Ethernet dependen de la PC 	11	900,00
TBOX	TG-200	SCADA Operating Software	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración Remota • Un puerto Ethernet 10/100BaseT 	2	2180,00
Survalent	Switch RX1500	Smart SCADA	<ul style="list-style-type: none"> • Software confiable, • Interfaces Ethernet 10/100/1000BaseTX 	2	900,00
DAP Server	DAP Server	DAP Server	<ul style="list-style-type: none"> • Características propias de fábrica para trabajar con IEC 104. • 3 puertos Ethernet 10/100Base T 	2	900,00

Análisis de Beneficio/Costo equipos y sistemas que no son capaces de trabajar con IEC 104

Para el análisis beneficio/costo se han considerado 3 alternativas para que los equipos y sistemas tengan la capacidad de comunicarse con el Centro de Control a través del protocolo IEC 104.

▪ **Alternativa 1**

Tabla 7

Características de los Equipos y Sistemas de Adquisición de Datos que no pueden trabajar con IEC 104 (Alternativa 1)

Equipo o Sistema de Adquisición de Datos	PROPUESTA	HW	SW	CARACTERÍSTICAS
RTU 400	Migrar a Sistema de Adquisición de Datos SICAM PAS	SICAM PAS	SICAM PAS	<ul style="list-style-type: none"> • Características propias de fábrica para trabajar con IEC 104 • Software y Hardware modular y escalable. • Configuración amigable • Sistema abierto • Cumple con IEC 61850 • 2 interfaces Ethernet disponibles 10/100BaseTX
SICAM SAS				
COM 500				

El hecho de cambiar todos los RTU 400, SICAM SAS y COM 500 por un sistema SICAM PAS es la alternativa más óptima que estaría a la vanguardia de una tecnología de punta, sin embargo para que se implemente esta alternativa que se debe realizar una inversión millonaria, debido a que no solo se instala el software SICAM PAS, sino se debe instalar switchess, IEDs, etc, esto multiplicado por 35 subestaciones, la inversión se saldría de un presupuesto moderado, adicionalmente en la actualidad en el Ecuador se han suspendido las modernizaciones de sistemas en las subestación debido que precisamente se necesita una inversión enorme. Por esta razón no se considerará a esta alternativa como la más apropiada.

▪ **Alternativa 2**

Tabla 8

Características de los Equipos y Sistema de Adquisición de Datos a nivel de Subestación que no soportan IEC 104

Equipo/Sistema de Adquisición de Datos	PROPUESTA	HW	SW	CARACTERÍSTICAS	CANT	COSTO (USD)
RTU 400	Utilizar eLAN a nivel de subestación	eLAN SCS	Aplicaciones de eLAN	<ul style="list-style-type: none"> • Soporta múltiples interfaces • Tiene opciones de Seguridad. • Recuperación automática de información fallida. • Conversión y normalización de Protocolos. • 2 puertos Ethernet • Una sola fuente de energía • Proporciona amplia gama de protocolo de transporte de datos • Múltiples Centros de Control a un puerto del RTU. • Un puerto Ethernet 10/100BaseT 	31	449.624,00
	Convertor de Protocolo	SPT4-NET	SPT	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser configurado para funcionar con VPN • 6 interfaces Ethernet 10BaseT y 100Base-TX. • Características de capa 3 • Configurable para implementar QoS • Una sola fuente de energía • Puede ser instalado solo en la S/E Tena • Comunicación segura con VPN interna y Firewall. • Comprensión de paquetes a baja velocidad. • Interface Ethernet 10/100BaseT • Una sola fuente 6–26 VDC de voltaje nominal 	31	99.634,00
SICAMSAS	Convertor de Protocolo Cisco	CGR 1120	Software embebido en el hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Beneficios dependen del convertor que sea aplicado a esta solución. 	1	1.800,00
	Convertor de Protocolo Violas	Artic IEC-104 Gateway	Software embebido en el hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede programar una aplicación que cumpla con requerimientos específicos 	2	1.200,00
COM 500	Habilitar el protocolo 101 y utilizar un convertor de protocolo	Convertor de Protocolo Cisco o Violas	Software embebido en el hardware		2	Cisco: 5.280,00 Violas: 2840,00 ²⁶
	Programa la interface CPI	Micro SCADA			2	9600,00 ²⁷

²⁶ Estos rubros corresponden al valor del convertor más el valor de la licencia IEC 101 en el COM500.

²⁷ Para el cálculo de este rubro se consideró que un programador tiene un sueldo de \$1,600 aproximadamente, el cual tardara 6 meses en programar la interface CPI

En la alternativa 2 se presenta una serie de equipos los cuales cumplen con funciones de gateway. Como podemos observar la *Tabla 8* es necesaria una inversión considerable en las subestaciones que trabajan con RTU 400 en comparación con las demás subestaciones.

En el caso de las subestaciones donde se encuentran instalados RTU 400 que maneja el protocolo RP 570 se presentan 2 opciones, las cuales son: Implementar un eLAN o instalar un conversor SPT4-NET, como podemos ver en la *Tabla 6*, la segunda opción es menos costosa que la primera, sin embargo no nos ofrece las garantías de calidad y confiabilidad que tiene el eLAN Ruggedcom de Siemens como marca reconocida a nivel mundial en el Sector eléctrico.

Con respecto al tratamiento que debe tener las dos subestaciones donde se encuentren instalados el SICAM SAS, se tiene dos opciones las cuales se basan en el mismo principio de convertir el protocolo IEC 101 al IEC 104 y además tienen la capacidad de configurar VPN que pueden ser aprovechados por la red MPLS de la WAN. Si observamos la *Tabla 6* la diferencia de costos entre las dos opciones es mínima, sin embargo la implementación del CGR 2010 es más sencilla debido que se instalará un solo equipo en la Subestación Tena donde se unen los dos únicos SICAM SAS que viene de la Subestación Francisco de Orellana de la misma Subestación Tena. Adicionalmente el CGR 2010 es un equipo más robusto que no solo es un conversor de protocolo sino es un router que puede servir como un enlace radial de la Red WAN con la ventaja que la marca CISCO nos ofrece garantía de calidad confiabilidad y alta disponibilidad.

Finalmente, para las subestaciones que se encuentran instalados el COM500, se tiene dos opciones que son: la instalación de un conversor y la otra es programar la interface CPI el cual pueda realizar la conversión del protocolo RP-570 al IEC 104, esta última opción ha sido implementada en otros países obteniendo resultados positivos y esta misma programación se puede reutilizar en otros equipos que permitan programar la conversión de protocolos aprovechando al máximo esta inversión.

4.2.2 Propuesta de Diseño en el Sistema de Comunicaciones

El Sistema de Comunicación en un Sistema de Adquisición de Datos en tiempo real es imprescindible para la comunicación entre las subestaciones y los Centros de Control, actualmente este trabajo lo realiza en red PDH distribuida en todo el Ecuador. Como se analizó en el Capítulo III, la red PDH presenta dificultades de flexibilidad en los equipos instalados en cada nodo de la Red de Adquisición de Datos.

Por otro lado, actualmente CELEC EP – TRANSELECTRIC se encuentra en un proceso de implementación de una Red MPLS que estará constituida por un Backbone y enlaces radiales con el fin alcanzar a todas la subestaciones del SNT incluyendo los Centros de Control de CENACE y COT.

Lo que se pretende con la implementación de la red MPLS es integrar servicios de adquisición de datos para el monitoreo de las subestaciones, voz, datos y telecontrol en un solo equipo MPLS dentro de cada subestación.

4.2.2.1 Estructura de Propuesta

El diseño de la Red que se propone a continuación está basado en 3 casos donde los Sistemas de Adquisición de Datos a nivel de subestación se enlazan a la Red MPLS, estos casos dependen de la ubicación del nodo de la Red MPLS en la Red de Subestaciones. Estos casos son:

Caso A: Como se mencionó anteriormente la red MPLS está constituida por un backbone y enlaces radiales. Los equipos MPLS que forman el backbone tienen la característica de ser switches de Backbone y a la vez switches de acceso. Cada uno de estos switches está instalado en ciertas subestaciones estratégicamente ubicadas, de esta manera el equipo o sistema de adquisición de datos aprovecha que en la subestaciones está instalado un switch MPLS de Backbone y se conecta directamente a mismo. Como se puede observar en la *Figura 4.10 (a)*.

Caso B: En la subestaciones donde no llega la cobertura de la red de MPLS de backbone se cuenta con enlaces radiales con el fin de dar mayor cobertura de la red MPLS. Estos enlace radiales esta conformados por equipos MPLS que funcionan solo como switches de acceso y se conectan a los Switches de MPLS de Backbone mediante fibra óptica, entonces los equipos y sistemas de adquisición de datos que no abarque el *Caso A*, se enlazarán a la Red MPLS a través de estos switches de acceso. Como se puede observar en la *Figura 4.10 (b)*.

Caso C: Este caso será aplicado en ciertas Subestaciones donde el *Caso A* ó el *Caso B* no sea posible realizarse. Entonces para que estas Subestaciones se enlacen a la Red MPLS se instalará un Switch capa 3 el cual permita en primer lugar la integración de varios servicios (adquisición de datos, voz, datos, etc) en diferentes VLANs y en segundo lugar que tenga características de enrutamiento de información hacia los switches de acceso de la red MPLS. Como se puede observar en la *Figura 4.10 (c)*.

En cada Centro de Control será instalado Switches de acceso los cuales van a recibir toda la información de los equipos y sistemas de adquisición de datos de todas las subestaciones del SNT a través de una VLAN dedicada solo a la adquisición de datos. (*Figura 4.10*).

Finalmente la gestión de la infraestructura física y de las subredes virtualizadas será centralizada, y lo llevará a cabo el Centro de Gestión de CELEC EP – TRANSELECTRIC en Quito.

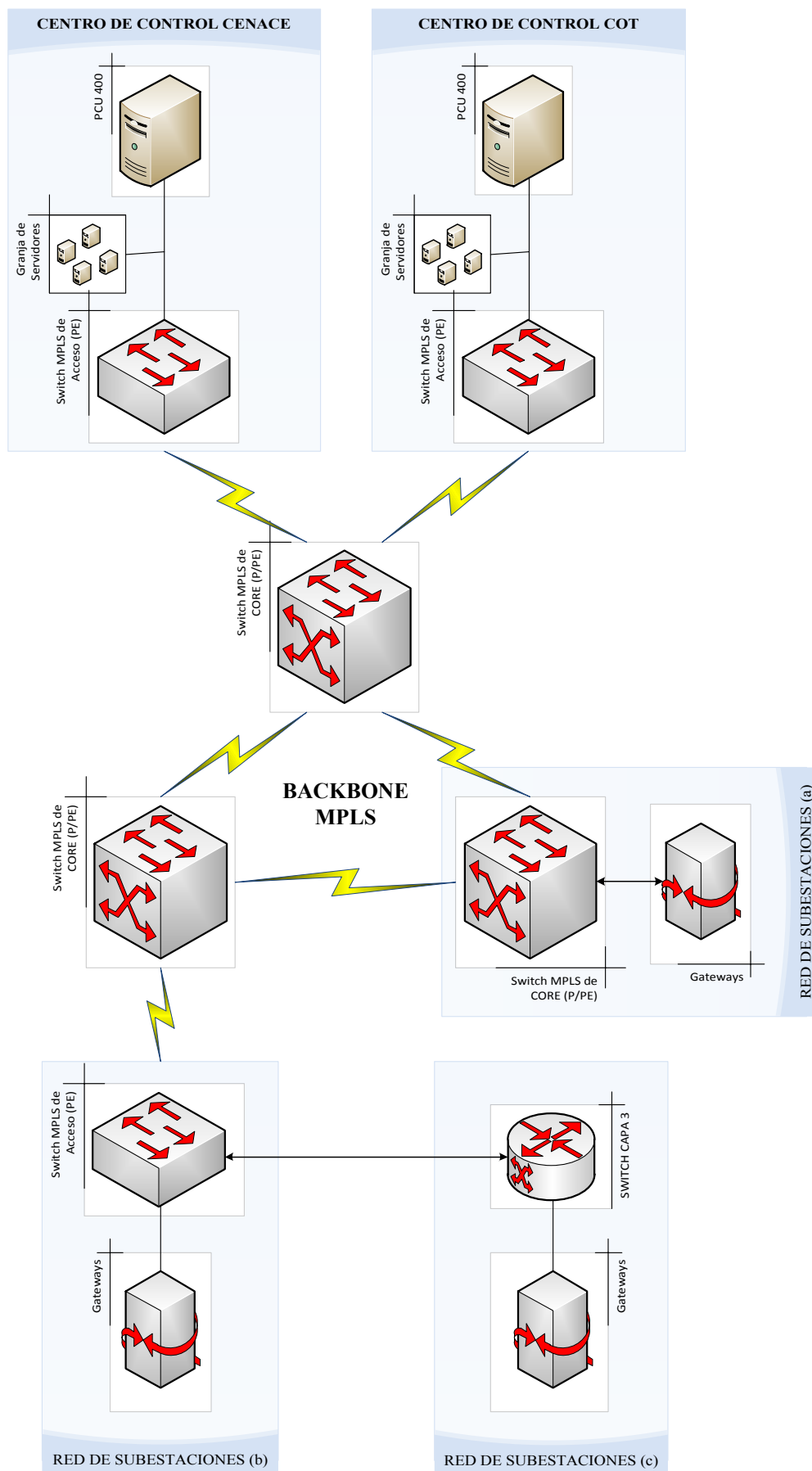


Figura 4.10 Propuesta del Sistema de Comunicaciones de la Red de Adquisición de Datos

Los equipos que componen la red MPLS son de la marca Alcatel – Lucent, el backbone tiene switches modelo 7210 SAS-X, mientras que los equipos de los enlaces radiales son switches 7210 SAS-M.

Estos dos modelos de equipos MPLS forman parte de una familia de switches 7210 que soporta tecnología Ethernet, IP, MPLS, PBB, MPLS-TP junto con QoS y OAM, el 7210 SAS proporciona flexibilidad de implementación e inteligencia operativa para extender Carrier Ethernet en toda la red de acceso Metro Ethernet.

4.2.2.2 Validación de Propuesta

▪ EQUIPAMIENTO

Como se dijo anteriormente los equipos de la red MPLS fueron diseñados para implementación de Carrier Ethernet a través de una red de acceso Metro Ethernet²⁸, esta característica es la razón principal por la que se prefiere una tecnología Carrier Ethernet en una red donde se pretende integrar una serie de servicios como adquisición de datos en tiempo real, voz, telecontrol, datos etc, ya que evita los cuellos de botella en el ancho de banda que pueden ocurrir cuando un gran número de pequeñas redes (redes de subestaciones) están conectadas a una única red más grande.

Carrier Ethernet se adapta a la tecnología de transporte y de acceso que tiene CELEC EP – TRANSELECTRIC actualmente y a los objetivos que se pretende a futuro, debido a que Carrier Ethernet se desarrolla de 3 maneras:

- **Ethernet convencional:** Es el Ethernet “puro”, cuya implementación es la menos costosa pero puede ser difícil de modificar o ampliar.
- **Ethernet sobre SDH:** Esta característica puede ser aprovechada por la infraestructura SDH que tiene CELEC EP – TRANSELECTRIC.

²⁸ La tecnología Carrier Ethernet en una Red de Área Metropolitana (MAN) es conocida como Metro Ethernet.

- **Ethernet sobre MPLS:** Esta característica ofrece una escalabilidad superior, gestión del ancho de banda y donde se centra la propuesta del sistema de comunicaciones para la red de adquisición de datos del SNT y ciertas centrales generadoras.

- **MPLS**

MPLS es una tecnología que se encuentra en proceso de implementación con el fin de integrar varios servicios de red de Core de CELEC EP – TRANSELECTRIC. Una vez instalada la red MPLS se puede adaptar perfectamente a las necesidades y requerimientos que exige la WAN de adquisición de datos debido a las siguientes características:

- MPLS es una tecnología WAN totalmente probada en redes de comunicación industriales a gran escala, incluyendo redes del sector eléctrico donde se ha tenido un éxito total en la implementación de una red MPLS para las comunicaciones entre los Centros de Control y las subestaciones en otros países.²⁹
- MPLS facilita el transporte de la varios tipos de tecnologías de comunicaciones antiguas o de nueva generación, incluyendo tecnologías basadas en comunicaciones seriales propias de los UTRs del Sistema SCADA, o también tecnología IEC 61850 que es utilizado en dispositivos IEDs, sin embargo para un efectivo proceso de comunicaciones entre las subestaciones y lo centros de control, el protocolo IP es un elemento clave para que la red MPLS sea inteligentes y veloz.
- La red MPLS tiene la habilidad de converger rápidamente y de virtualizar una WAN en subredes independientes, basándose en estas características MPLS ofrece seguridad a la información transmitida como también protege al sistema ante una falla.

²⁹ (Alcatel-Lucent, 2012)

- Adicionalmente la Red MPLS tiene la capacidad de soportar QoS, la cual se pretende ser aplicada dependiendo de la prioridad que tenga el mensaje que se envía entre el Centro de Control y la subestación.

▪ **TOPOLOGIA**

La arquitectura de anillo que se propone como backbone de la red MPLS, ofrece un entorno eficiente y fiable, ya que en caso de falla, el tráfico puede ser desviado en la dirección opuesta de cómo estaba funcionando el anillo antes de la falla y así evitar que se afecte considerablemente la disponibilidad de la red de MPLS.

Además esta topología ofrece una forma muy eficiente para agregar tráfico a través de enlaces radiales o incluso se pudiera añadir un equipo MPLS de backbone dependiendo de la necesidad que se tenga en ese momento

4.3 ANALISIS DEL DISEÑO PROPUESTO

La búsqueda de alternativas que permitan satisfacer las necesidades y requerimientos basadas en los inconvenientes que tiene el estado actual de la red de adquisición de datos, arrojan soluciones con tendencia a la arquitectura TCP/IP que pueden ser implementadas tanto en el sistema de adquisición de datos a nivel de subestaciones, como en la WAN de adquisición de datos.

4.3.1 Ventajas

La implementación de una nueva red en el sistema de adquisición de datos con tendencia IP tendrá una serie de ventajas sobre el estado actual de la red:

- No se requiere de equipos remotos de concentración de datos (Front Ends), debido a que el esquema de adquisición, de por sí, será distribuido.
- Optimización de la infraestructura y recursos de telecomunicaciones.
- Fácil escalabilidad de los sistemas de adquisición de datos.
- Uso eficiente del ancho de banda disponible.

- Robustez de la red IP.
- Menores tiempos de adquisición de datos.
- Uso de protocolos estándar.
- Fácil integración con otros sistemas (centro de control, sistemas de automatización).
- Mejora en la gestión de equipos de la red de telecomunicaciones.
- Incremento de la disponibilidad del sistema (disponibilidad de repuestos).
- Un cambio en el tipo de red requiere solo un cambio en el tipo de router, sin afectar a los sistemas finales.

A nivel de subestación la propuesta se centra en la instalación de gateways en cada subestación cuya función será traducir la información del protocolo utilizado en la red interna de la subestación, al protocolo IEC 104 usado en la red de destino que vendría a ser los Centros de Control.

Una vez que las comunicaciones entre las subestaciones y los Centros de Control se la desarrolle bajo un protocolo IEC 104 que tiene una arquitectura TCP/IP, se puede aprovechar de manera efectiva y eficiente todos los servicios que nos brinda la red MPLS, tales como:

- **PROTECCION DE ENLACES**

En ciertos nodos de la red SDH de CELEC EP - TRANSELECTRIC, transmite información en ambas direcciones para proporcionar una protección de extremo a extremo, duplicando el tráfico en el anillo. En una infraestructura MPLS IP típicamente Ethernet de alta velocidad, la red realiza un redireccionamiento rápida (FRR) para proporcionar protección al enlace, lo que elimina la necesidad de duplicar el tráfico en el anillo. Entonces todo el ancho de banda puede ser utilizado en su totalidad y FRR asegura el tráfico sea desviado en un tiempo menor a 50 ms en caso de falla del nodo o del enlace en el anillo.

- **QoS**

En una red WAN donde una variedad de servicios convergen en una infraestructura común, la implementación de QoS es esencial. La tecnología MPLS puede discriminar tráfico basándose en una clasificación de atributos de capa 1, capa 2, capa 2.5 o capa 3 y dar prioridad al tráfico de mayor importancia.

Dentro de la estructura del protocolo de comunicación IEC 104 se maneja una jerarquía de prioridades para clasificar información que sea requerida por los Centros de Control de manera urgente, constante o periódicamente. Estas jerarquías proporcionan el máximo aislamiento y la equidad a través de diferente tráfico mientras se optimiza la utilización del enlace ascendente. Con múltiples niveles de jerarquía, colas y programación de prioridad, la red MPLS puede gestionar los flujos de tráfico para garantizar que los parámetros de rendimiento (tales como ancho de banda, retardo y jitter) para que se cumplan en cada aplicación.

- **VIRTUALIZACIÓN**

La red MPLS provee un aislamiento virtual de varios tipos de tráfico en una infraestructura común, esto permite una separación de tráfico basándose en el objetivo de las aplicaciones mejorando de esta manera el ancho de banda y la seguridad. Esta característica la red MPLS lo logra aplicando VPNs IP.

Una VPN IP es una VPN de capa 3 que se aplica específicamente para un tráfico IP. La VPN IP es un servicio de enrutado que reenvía el tráfico basándose en una dirección IP.

Por otro lado la capacidad de virtualización que tiene MPLS mejora en gran medida la seguridad de la red. Mediante la separación lógica del enrutamiento y el flujo de datos, los servicios públicos son capaces de salvaguardar información específica para cada dominio segmentado, al realizar este proceso se asegura una mayor seguridad para una variedad de aplicaciones.

4.3.2 Desventajas

La principal desventaja que puede ocurrir en la red de adquisición de datos, es la vulnerabilidad de tienen los protocolos de comunicación basados en TCP/IP frente a ataques cibernéticos y otras amenazas de seguridad, por ejemplo puede existir el caso de que un intruso ingrese a una subestación físicamente, esquite las seguridades e ingrese a la red de adquisición de datos y obtener información reservada e incluso puede dar de baja a un nodo de la red de adquisición de datos. Para evitar este problema es tener unas políticas de seguridad muy bien establecidas como: listas de acceso de control, filtros, encriptación de información, autenticaciones de señales, IDS (Intrusion Detection System), IPS (Instusion Protection System) y ocultar la red a través de NAT.

Otra desventaja que puede existir a futuro en la red, es la actualización del firmware en los equipos MPLS que puede surgir debido a nuevas necesidades de la red, entonces para evitar este problema se debe realizar un estudio minucioso de las consecuencias que puede ocurrir en la actualización del firmware y establecer medidas preventivas.

Por otro lado, en el momento en el que se esté migrando toda la tecnología serial hacia una nueva tecnología IEC 104 a nivel de subestaciones, implicará poner en marcha equipos y software afectando de esta manera la disponibilidad de la comunicación en esta subestación mientas se establezca nuevamente la comunicación con los Centros de Control.

4.3.3 Estructura Lógica

Como se mencionó anteriormente los equipos que fueron adquiridos para formar la red WAN fueron diseñados para la tecnología Carrier Ethernet y están configurados para trabajar en el campo de IP/MPLS. Lógicamente se produce un proceso secuencial el cual será detallado a continuación paso a paso para comunicación la entre los Centros de Control y las subestaciones³⁰:

³⁰ Las funciones del Router CE físicamente lo realiza el Switch de Acceso y también en algunos casos lo realiza el Switch de Backbone.

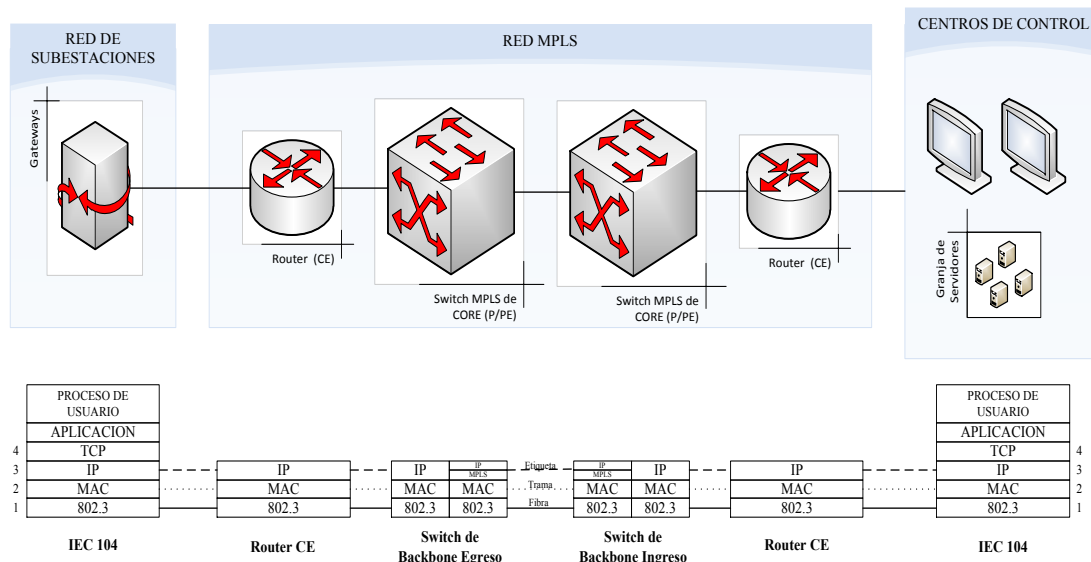


Figura 4.11 Proceso lógico de adquisición de datos.

1. En la capa de Procesos de Usuario del protocolo IEC 104 existen funciones de monitoreo y control las cuales constantemente interroga a las subestaciones para que obtener información. De esta manera comienza el proceso de adquisición de datos.
2. En la capa de aplicaciones se encuentran las aplicaciones de elementos de información las cuales son interrogantes que se las realiza el Centro de Control a las subestaciones, estas interrogantes son enviadas a la capa de transporte.
3. La interrogantes que se crean en la capa de aplicación se la añade con un encabezado que tiene un campo que diagnostica del estado del segmento y un socket (con numero de puerto 2404) formando el segmento TCP que posteriormente es enviado a la capa de red.
4. En la capa de red se la añade un encabezado con la dirección IP de origen (servidor PCU400) y destino (gateway de la subestación), para formar el datagrama y pasarlo a la capa de enlace de datos.

5. En la capa de enlace de datos se añade al datagrama la dirección MAC de origen (servidor PCU400) y destino (router CE) para formar la trama y se lo envía posteriormente a la capa física.
6. En la capa física el mensaje es enviado bit a bit a través del estándar 802.3
7. El router CE recibe la información físicamente mediante el estándar 802.3, luego desencapsula la información, verifica la MAC, luego la capa de red decide cual es el siguiente salto dependiendo de la IP destino, entonces se añade la MAC origen (Router CE) y destino (Switch de Backbone) y finalmente reenvía la información hacia el Switch de Backbone.
8. El switch de Backbone de Ingreso recibe la información, verifica la MAC, examina la IP y decide cual FEC corresponde al destino y coloca una etiqueta MPLS y envía la información hacia el siguiente salto que es el Switch de Backbone de Egreso.
9. El switch de Backbone de Egreso recibe la información a través de fibra óptica, verifica la MAC, verifica la etiqueta y luego la extrae, examina la IP y decide el próximo salto, añade la dirección MAC origen (Switch de Backbone de egreso) y destino (Router CE) y finalmente envía la información hacia el router CE.
10. El router CE recibe la información, verifica la MAC, examina la IP y reenvía la información hacia el Gateway que se encuentra en la Subestación.
11. El gateway recibe la información, verifica la MAC, verifica la dirección IP, realiza el proceso de verificación de estado del mensaje y el número de puerto 2404 y se la pasa a la capa de aplicación.

Finalmente el gateway realiza la traducción de protocolo de IEC 104 al protocolo que se esté usando dentro de la subestación para interrogar al dispositivo de bahía o IED respectivo para adquirir información que fue solicitada por el Centro de Control. Esta información adquirida es encapsulada en un ASDU de la capa de aplicación del protocolo IEC 104 y se produce nuevamente el proceso de transmisión hacia el Centro de Control.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El desarrollo de este proyecto logró establecer una integración entre el sistema de comunicación de los equipos de adquisición de datos a nivel de subestación con el sistema de comunicaciones a nivel de transporte a través de gateways que adaptan protocolos utilizados en el interior de la subestación, en protocolos basados en la arquitectura TCP/IP para que de esta manera se realice un enlace adecuado con la tecnología MPLS/IP aprovechando todos los beneficios de la red de fibra óptica actualmente instalada para enlazar la red de subestaciones con los Centros de Control
- La investigación de los equipos, protocolos de comunicación y de la estructura que componen el sistema de adquisición de datos de cada subestación, permitió realizar un levantamiento de información para analizar los distintos funcionamientos, inconvenientes, necesidades y posibles soluciones a los mismos, de los sistemas de adquisición de datos en cada subestación. Esta información sirvió como punto de partida para propuesta de diseño de este proyecto.
- Los equipos y sistemas a nivel de subestación que trabajan con el protocolo RP – 570 que se encuentran instalados en el 37% de las subestaciones analizadas, tienen un tratamiento complejo para que trabajen con el protocolo IEC 104, debido a que a nivel lógico este protocolo en la capa física no es flexible a la integración de nuevas tecnologías, es decir, solo permite tecnología serial con interfaces RS – 232, sin embargo se dio solución instalando Gateways específicos que realicen la conversión del protocolo RP – 570 al protocolo IEC 104.

- En base al análisis de los equipos y sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación que se encuentran actualmente implementados, el 57% del total los equipos y sistemas analizados son flexibles a la integración de nuevas tecnologías de comunicación, esto quiere decir que estos equipos y sistemas necesitan una inversión mínima para realizar cambios a nivel de hardware y software que permita trasladar de una tecnología serial a una tecnología Ethernet. Caso contrario, el 43% restante del total de que equipos analizados necesitan una inversión considerable para trabajar con el protocolo IEC 104, esto se debe a que estos equipos son antiguos y totalmente inflexibles a la integración de nuevas tecnologías de comunicación por lo que es necesario añadir Gateway que realicen la conversión de protocolos de comunicación serial a Ethernet (IP) para que se encuentren en el mismo nivel tecnológico que el sistema de comunicaciones.
- La propuesta del nuevo diseño de red está dividida en 2 etapas: Etapa de migración de tecnología a nivel de subestación donde cada equipo actualmente instalado fue analizado para plantear alternativas las cuales permitan que trabajen con el protocolo IEC 104 para la supervisión y control remota de los Centros de Control. La otra etapa es la migración a tecnología MPLS a nivel de transporte, la cual se encuentra en proceso de implementación donde este proyecto propone 3 alternativas para que las subestaciones puedan anexarse a la red MPLS. Este proyecto logro realizar una integración lógica de estas dos etapas para que se pueda implementar servicios con canales dedicados, QoS, virtualización, seguridad, confiabilidad e ingeniería de tráfico a través de la red MPLS.
- Con el desarrollo de este proyecto se logró encontrar varias alternativas las cuales permitan que los sistemas de comunicación tanto de la red de subestaciones (IEC 104) como de la red de transporte (MPLS) se encuentren en un mismo nivel tecnológico basado en IP, proponiendo de esta manera una solución para eliminar el cuello de botella que existía en la transmisión de datos entre la subestación y la red de transporte.

- En el desarrollo de la propuesta de diseño se evaluaron parámetros de hardware, software, licencias y cableado estructurado para determinar los costos que conlleva la implementación de estos elementos para la migración de tecnología serial a Ethernet, obteniendo varios resultados de los cuales la alternativa más adecuada es cambiar todo el sistema de adquisición de datos en subestaciones que tenían implementado RTU 400, COM 500 y SICAM SAS, debido a que en estos sistemas actualmente instalados se concentra la mayor parte de inconvenientes como: inflexibilidad a la expansión de la red, cuellos de botella debido a la baja tasa de transmisión comparada a la red de transporte, baja velocidad de procesamiento de señales adquiridas, entre otros. Sin embargo para implementar esta alternativa se necesita una inversión millonaria, es así que se ha optado por mantener los mismos sistemas para añadir gateways que realice una conversión de protocolos para que la supervisión y control de los Centros de Control se realice a través del protocolo IEC 104.
- Tener una tecnología de comunicación antigua e inflexible como RP 570 no solo afecta considerablemente al rendimiento de la Red de Adquisición sino también afecta al costo que se debe tener para la implementación de este proyecto, debido a que aproximadamente el 90% de la inversión requerida se centran en equipos que convierten RP – 570 a IEC 104.

5.2 RECOMENDACIONES

- Previa o paralelamente a la implementación de este proyecto es recomendable realizar un nuevo documento de regulación para la supervisión y control en tiempo real del SNI, que permita la implementación de tecnologías de vanguardia para el Sistema de Adquisición de Datos.
- Para la implementación de este proyecto es recomendable tomar en consideración los tiempos de conversión de protocolos que realizan los gateways, los cuales deben estar en un rango permitido para la comunicación entre los Centros de Control y las subestaciones.
- Se recomienda que la implementación de este proyecto se la realice por fases, es decir dividir a la red de subestaciones en grupos, en donde cada uno de ellos contengan un trabajo común en la instalación.
- Además durante la implementación se debe tener un enlace de backup con una comunicación antigua y estable con el Centro de Control con el fin poner a prueba los equipos con los escenarios más drásticos que pueden ocurrir de manera fortuita en el Sistema de Adquisición de Datos, para que una vez puesto en marcha este proyecto no se corra el riesgo de tener problemas con los equipos y sistemas que puedan afectar considerablemente a la disponibilidad del sistema.
- Debido al problema que existe con los equipos y sistemas de adquisición de datos a nivel de subestación que manejan RP – 570, es recomendable considerar la alternativa de modernización con el fin de que estas subestaciones manejen una tecnología de vanguardia y sobretodo que sean flexible a futuras tecnologías de adquisición de datos.

- Como recomendación para un proyecto a futuro, se puede considerar el hecho de programar interfaces CPI en el equipo COM500 con el fin de realizar la conversión de protocolos que se manejan a nivel de bahías hacia el protocolo IEC 104 para la comunicación con los Centro de Control. Este mismo fundamento de programación puede servir para implementar en otros Gateways programables de otras modelos y marcas.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

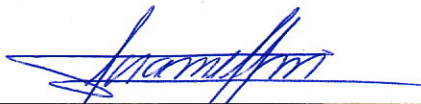
- ABB. (29 de Febrero de 2000). COM 500 Engineering. Zúrich, Zúrich, Suiza.
- ABB. (24 de Julio de 2004). Remote Terminal Unit RTU560. Mannheim, Baden-Wurtemberg, Alemania.
- ABB. (17 de Noviembre de 2015). RTU560 Product Line. Zúrich, Zúrich, Suiza.
- Alcatel-Lucent. (14 de November de 2012). Deploying IP/MPLS Communications Networks for Smart Grids. París, París, Francia.
- Alstom. (9 de Febrero de 2014). DAP server Multi-function substation server. Levallois-Perret, Nanterre, Francia.
- Applied Systems Engineering Inc. (3 de Noviembre de 2007). *SPT4-NET Protocol Translator/Data Concentrator*. Recuperado el 4 de Mayo de 2015, de Protocol Translator: <http://www.ase-systems.com/spt4-net/protocol-translator.asp#support>
- Areny, R. P. (1993). *Adquisición y Distribucion de Señales*. Barcelona: Marcombo.
- Axon Group. (2012 de Noviembre de 2012). *Teoría en Protocolo IEC 60870-5-104*. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de Axon Group: http://www.axongroup.com.co/protocolo_iec_I60870_5_104.php
- CELEC EP - TRANSELECTRIC. (18 de Marzo de 2012). *Transelectric*. Recuperado el 16 de Enero de 2015, de CELEC EP: <https://www.celec.gob.ec/transelectric>
- CELEC EP - TRANSELECTRIC. (14 de Diciembre de 2014). Colección de diagramas de red de subestaciones del STR . Quito , Pichincha, Ecuador .
- CELEC EP - TRANSELECTRIC. (07 de Abril de 2015). DIagramas CCT Network. Quito, Pichincha, Ecuador .
- CISCO. (5 de Abril de 2014). *Cisco 1000 Series Conncteted Grid Routers*. Recuperado el 11 de Mayo de 2015, de CISCO: http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/connectedgrid/cgr1000/1_0/software/configuration/guide/scada/scada1/sca_pro_cgr1000.html
- Cobo, R. (20 de Octubre de 2007). *OneTouch Electroindustria*. Recuperado el 13 de Marzo de 2015, de www.emb.cl: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=804&tip=7>
- CONELEC. (2008). *Regulacion No. 008/05*. Quito: CONELEC.

- DNP USERS GROUP. (14 de Diciembre de 2004). *Transporting DNP3 over Local and Wide Area Networks*. Recuperado el 1 de Abril de 2005, de xirui567: <http://xirui567.blog.ccidnet.com/job-htm-action-download-itemid-39723-aid-3001.html>
- Figueiras, A. R. (2002). *Una Panorámica de las Telecomunicaciones*. Madrid: Prentice Hall.
- Gordon Clarke, D. R. (2004). *Practical Modern-Scada-Protocols: Dnp3, IEC 60870.5 and Related-Systems*. British: Elsevier.
- IPCOMM GmbH. (7 de Abril de 2013). ipRoute-IEC101/104. Erlangen, Baviera, Alemania.
- Luis Corrales, P. (23 de Octubre de 2007). Interfaces de Comunicación Industrial. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Mauell. (3 de Diciembre de 2014). Protocol Converter IEC 60870-5-104 (Ethernet) to IEC 60870-5-101 (RS 232). Harderwijk, Gueldres, Países Bajos.
- Pablo Betancourt, A. C. (20 de Enero de 2013). Evaluación técnica de la red de fibra óptica de CELEC EP - TRANSELECTRIC a través de la empresa TRANSNCEXA S.A E.M.A presta sus servicios de telecomunicaciones a nivel nacional e internacional. Quito, Pichincha, Ecuador.
- RACOM. (18 de Febrero de 2014). *RACOM*, 8.01. Recuperado el 20 de Marzo de 2015, de DNP 3: <http://www.racom.eu/eng/support/prot/dnp3/index.html>
- RuggedCom. (27 de Noviembre de 2006). RuggedComSwitch RS 8000. Woodbridge, Ontario, Canada.
- Schneider. (2011 de Abril de 2011). PACiS. Rueil-Malmaison, Nanterre, Francia.
- Segarra, A. L. (23 de Octubre de 2009). Estudio de Redes Privadas Virtuales Basadas en la Tecnología MPLS . Quito, Pichincha, Ecuador.
- Semaphore. (23 de Enero de 2015). *TBOX*. Recuperado el 9 de Abril de 2015, de Semaphore: <http://www.servelec-semaphore.com/products/t-box/gateway/tg-200.php>
- Siemens. (19 de Octubre de 1998). SICAM SAS. Stuttgart, Baden-Wurtemberg, Alemania.
- Siemens. (10 de Octubre de 2013). *SICAM SAS communication options*. Obtenido de Industry Online Support: <https://support.industry.siemens.com/tf/ww/en/posts/sicam-sas-communication-options/98887/?page=0&pageSize=10>

- Siemens. (16 de Noviembre de 2014). SICAM - Substation Automation and RTU. Nuremberg, Bavaria, Germany.
- Tejedor, R. J. (11 de Abril de 2001). *La tecnología líder del transporte óptico: SDH (II)*. Obtenido de Ramón Millán: http://www.ramonmillan.com/tutoriales/sdh_parte2.php
- Vallecilla, J. C. (8 de Junio de 2007). Instalación, pruebas y mantenimiento del sistema de adquisición de datos eLAN para el monitoreo y control del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE). Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Villalba, J. A. (2010 de Marzo de 2010). Estudio y Pruebas del Protocolo de Comunicación DNP 3.0. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Viola Systems. (08 de Marzo de 2013). Articulo IEC-104 Gateway. Lemminkäisenkatu, Turku, Finlandia.
- Wikipedia. (16 de Agosto de 2004). *Multiprotocol Label Switching*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching
- Wikipedia. (31 de Mayo de 2011). *Ethernet*. Obtenido de Wikipedia: es.wikipedia.com/wiki/Ethernet
- Wikipedia. (14 de Junio de 2011). *Jerarquía digital síncrona*. Recuperado el 30 de Marzo de 2015, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa_digital_s%C3%ADncrona

FECHA DE ENTREGA: 20 de Mayo de 2015

En la ciudad de Sangolquí, firman en constancia de la entrega del presente proyecto de Grado titulado "ANÁLISIS DE LA RED ACTUAL DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE CELEC EP-TRANSELECTRIC Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN PARA LA MIGRACIÓN DE LA RED BASADA EN TECNOLOGÍA SERIAL A TECNOLOGÍA ETHERNET EN SUBESTACIONES QUE COMPONEN EL SISTEMA NACIONAL INTEGRADO", en calidad de Autor el Sr. Miguel Jaramillo Cañadas, estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica, Redes y Comunicación de Datos, y recibe por parte del Departamento de Eléctrica y Electrónica el Director de Carrera de Redes y Comunicación de Datos, es Señor Dr. Nikolai Espinosa.



Miguel Jaramillo Cañadas

2100160544



Dr. Nikolai Espinosa

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, REDES Y
COMUNICACIÓN DE DATOS