

**SUPERVISIÓN DE LAS UNIDADES DE TRANSMISIÓN REMOTA DE LA
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP MEDIANTE
PROTOCOLO IEC 60870 5 101**

HERMAN DARIO GONZALEZ BARBOSA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2006

**SUPERVISIÓN DE LAS UNIDADES DE TRANSMISIÓN REMOTA DE LA
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP MEDIANTE
PROTOCOLO IEC 60870 5 101**

Autor:

HERMAN DARIO GONZALEZ BARBOSA

Director:

MIE. OMAR LEONARDO NÚÑEZ GUALDRÓN

Codirector:

MIE(c). CESAR AUGUSTO JARAMILLO AMADOR



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2006

A Dios Todopoderoso por la vida. Por dejarme sentir su presencia en cada una de las experiencias y oportunidades que me ha regalado.

A mi madre Hilda y mi padre Argemiro, a quien amo con todas las fuerzas de mi alma y mi corazón. Gracias por estar ahí siempre, amándome, cuidándome y protegiéndome. Nunca en la vida tendré como pagarles todo lo que ha dado y hecho por mí.

A Jon, Edward mis muy queridos hermanos, por su alegría, cariño y apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

A Juan David mi sobrino, por dibujarme una sonrisa todos los días con su maravillosa presencia, y por regalarme una historia mágica cada vez que llevo a su casa.

A Luisa Fernanda, mi novia por darme siempre esa compañía que siempre espero cuando estoy con ella.

HERMAN DARIO GONZALEZ BARBOSA.

AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo expresa sus más sinceros agradecimientos a las siguientes personas y entidades:

A los Ingenieros, Cesar Augusto Jaramillo Amador y Omar Leonardo Núñez Gualdrón, por su siempre oportuna asesoría y dirección, además de su calidad humana.

Al personal de la Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. y al Jefe de Protecciones Ing. Néstor Dario Marín por la colaboración prestada.

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones por la formación recibida durante el pregrado.

Al Dr. Edward Leonel Gonzalez por la orientación recibida.

Al Ing. Jhon Freddy Gonzalez por la asesoría prestada.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron al desarrollo de éste trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES	3
1.1 UN SISTEMA DE COMUNICACIONES	3
1.2 LA ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO OSI	4
1.3 TRANSMISIÓN DE DATOS	7
1.4 MODOS DE OPERACIÓN ASINCRÓNICA Y SINCRÓNICA	7
1.4.1 OPERACIÓN ASINCRÓNICA	7
1.4.2 OPERACIÓN SINCRÓNICA	8
1.5 OPERACIÓN SEMIDÚPLEX (HDX), FULLDÚPLEX (FDX) Y SIMPLEX (SX)	9
1.6 TRANSMISIÓN SERIE Y PARALELO	10
1.7 TRANSMISIÓN PUNTO A PUNTO Y MULTIPUNTO	11
1.8 COMUNICACIONES INDUSTRIALES	13
1.8.1 INTEGRACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIONES	14

1.9 TELEMETRÍA	18
1.10 TELECONTROL	18
1.11 EL SISTEMA SCADA	19
1.12 LA UNIDAD TERMINAL REMOTA (RTU)	20
2. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	22
2.1 PROTOCOLO DE TRANSMISION DE DATOS MODELO DE REFERENCIA OSI	22
2.2 PROTOCOLOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS BASADOS EN EL MODELO DE TRES CAPAS IEC 60870 - 5 – 101	25
2.2.1 Distributed Network Protocol 3.0 (DNP 3.0)	26
2.2.2 Modbus RTU	29
2.2.4 Ethernet	30
3. PROTOCOLO IEC 60870 5 101	36
3.1 NORMATIVA	36
3.2 REGLAS GENERALES	36
3.2.1 Estructura protocolo	36
3.2.2 Configuración.	36
3.3 NIVEL FISICO	37
3.4 CONFIGURACION TIPO TRANSMISION	37
3.4.1 Nivel enlace	37
3.4.2 Configuración del formato de trama	37
3.4.3 Nivel de Aplicación	38
3.5 CONFIGURACION MODO TRANSMISION	38

3.5.1 Nivel Físico	38
3.5.2 Nivel de enlace.	38
3.6 FORMATO DE LOS CAMPOS	41
3.6.1 Longitud.	41
3.7 CAMPO DIRECCION / ADDRESS FIELD	45
3.7.1 Configuración.	45
3.8 NIVEL APLICACIÓN	46
3.8.1 Estructura ASDU.	46
3.8.2 Definición general ASDU	47
3.9 CAUSA DE LA TRANSMISION / CAUSE OF TRANSMISION	50
3.9.1 Configuración.	50
3.9.2 Causa de la transmisión.	51
3.10 DIRECCION COMUN / COMMON ADDRESS	52
3.10.1 Configuración.	52
3.11 DIRECCION OBJETO De INFORMACION / INFORMATION OBJECT ADDRES	52
3.11.1 Configuración.	52
3.12 SET DE ELEMENTOS DE INFORMACION / SET OF INFORMATION ELEMENTS	53
3.13. ESTABLECIMIENTO DE LA COMUNICACION.	54
4. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE	56
INTRODUCCIÓN	56

4.1 ESTADO DEL ARTE	56
4.2 ESQUEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	59
4.3 HERRAMIENTA SOFTWARE	60
4.3.1. Funcionamiento de la herramienta	62
4.3.2. Análisis de las tramas	63
4.3.3. Visualización	65
4.4. ¿Por qué JAVA?	68
4.4.1 Simplicidad	68
4.4.2 Orientado a objetos	68
4.4.3 Distribuido	69
4.4.4 Robusto	69
4.4.5 Java proporciona.	69
4.4.6 Arquitectura neutral.	70
4.4.7 Seguro.	71
4.4.8 Portable	71
4.4.9 Interpretado.	71
4.4.10 Multithreaded.	71
4.6 ALGUNAS LIMITANTES	72
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFIA	77

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema de comunicaciones	3
Figura 2. Conjunto de Protocolos TCP/IP	5
Figura 3. Aplicaciones protocolos TCP/IP	6
Figura 4. Carácter de código para operación asincrónica.	8
Figura 5. Trama de una transmisión sincronía	9
Figura 6. Ejemplos de transmisión	10
Figura 7. Tipos de Transmisión	11
Figura 8. Sistema Maestra/Esclava.	12
Figura 9. Modelo de Sistema de una Empresa Industrial	15
Figura 10. Unidad de Transmisión Remota RTU	21
Figura 11. Formato de tramas variables	25
Figura 12. Relación cliente servidor	28
Figura 13. Modelo de referencia: Aplicaciones MODBUS	29
Figura 14. Formato de la Trama	39
Figura 15. De Primario a Secundario (PRM = 1)	41
Figura 16. De Secundario a Primario (PRM = 0)	43
Figura 17. Estructura ASDU	46
Figura 18. Calificador de estructura variable	49
Figura 19. Causa de Transmisión	50
Figura 20. Establecimiento de la Comunicación	55

Figura 21. Configuración proyectada para el sistema de supervisión y operación de la ESSA	58
Figura 22. Esquema de comunicaciones punto a punto	60
Figura 23. Visualización de trama de medidas	63
Figura 24. Trama de estados	64
Figura 25. Diagrama unifilar de la subestación Bucaramanga	66
Figura 26. Herramienta software desarrollada	67

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Descripción del Modelo de Capas de TCP/IP	6
Tabla 2. Modelo “EPA”	23
Tabla 3. Comparación de los protocolos más utilizados.	31

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Manual de la herramienta software	78
ANEXO B. El sistema SCADA	95

TITULO: SUPERVISIÓN DE LAS RTU DE LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER E.S.P S.A MEDIANTE EL PROTOCOLO IEC 60870 5 101

Autor: Herman Dario Gonzalez Barbosa

Palabras clave: Simulación, RTU, Software didáctico, Protocolos de comunicación.

Descripción

Para la mejora en la calidad y seguridad del servicio de energía eléctrica uno de los únicos argumentos es la automatización, con un gran numero de subestaciones y centrales, obliga a mantener en cada uno de estos un equipo de técnicos en turnos ocupados en tareas de vigilancia y preparados para actuar en caso de necesidad. Es fácil comprender que la automatización de dichas funciones podría justificarse, en muchos casos, desde una perspectiva exclusivamente económica.

En esta tesis se describen las líneas generales por las que rigen la arquitectura y los protocolos de comunicación de los nuevos sistemas de telecontrol de redes eléctricas.

Se justifica la necesidad de los sistemas de telecontrol para conseguir el correcto funcionamiento de las redes eléctricas, cada vez más determinante para afrontar con éxito la actual liberalización que esta experimentando el sector eléctrico a nivel mundial.

Las redes de acceso podrían usar protocolos estándares del tipo IEC que siguen la pila de tres niveles EPA (Enhanced Performance Architecture, Arquitectura de rendimiento mejorado) de IEC. Aunque el estándar IEC 60870 5 esta siendo cada vez mas aceptados, no define un protocolo completamente cerrado sino, más bien, un conjunto amplio de opciones entre las cuales elegir, permitiendo diferentes funcionalidades dentro del estándar, lo cual hace necesaria la definición de perfiles o subconjuntos para aplicaciones o compañías específicas. Por este motivo se definió en 1995 el estándar IEC 60870 5 101, que define un perfil funcional para tareas básicas de telecontrol. Algunas compañías han implementado protocolos basados en IEC 60870 5 entre los que se destaca el protocolo DNP 3.0 (Distributed Network Protocol, Protocolo de red Distribuido).

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Ing. MIE. OMAR LEONARDO NUÑEZ GUALDRÓN. Codirector: MIE(c). Ing. CESAR AUGUSTO JARAMILLO AMADOR.

TITLE: SUPERVISION OF THE RTU OF THE ELECTRIFICADORA OF SANTANDER E.S.P S.A. BY MEANS OF PROTOCOL IEC 60870 5 101.

Author: Herman Dario Gonzalez Barbosa

Key words: Simulation, RTU, didactic Software, Communication protocols.

Description:

For the improvement in the quality and security of the service of electrical energy of the only arguments it is the automatization, with a great one I number of substations and power stations, it forces to maintain in each one of these a team of technicians in turns occupied in tasks of monitoring and prepared to act in case of necessity. It is easy to include/understand that the automatization of these functions could be justified, in many cases, from an exclusively economic perspective.

In this thesis the main lines are described by which they govern the architecture and the communication protocols of the new systems of telecontrol of mains.

The necessity of the telecontrol systems is justified to be able the correct operation of the mains, more and more determining successfully to confront the present liberalization that this experiencing the electrical sector at world-wide level.

The access networks could use standard protocols of type IEC that follow the battery of three levels EPA (Enhanced Architecture Performance, Architecture of improved yield) of IEC. Although 5 this being every time but accepted standard IEC 60870, does not completely define a closed protocol but, rather, an ample set of options between which to choose, allowing different functionalities within the standard, which makes the definition necessary of profiles or subgroups for applications or companies you specify. For this reason the standard IEC 60870 5 101 was defined in 1995, that defines a functional profile for basic tasks of telecontrol. Some companies have implemented protocols based on IEC 60870 5 between which protocol DNP 3,0 stands out (Distributed Protocol Network, Protocol of Distributed network).

*Work of Degree

** Faculty of Fisicomecánicas Engineerings. Electrical, Electronic school of Engineerings and Telecommunications. Director: Ing. MIE. OMAR LEONARDO NUÑEZ GUALDRÓN. Codirector: MIE(c). Ing. CESAR AUGUSTO JARAMILLO AMADOR

INTRODUCCIÓN

Gracias a los avances de la tecnología iniciados en líneas como la informática y la electrónica, se han abierto un gran número de oportunidades para el mejoramiento y optimización de los procesos industriales de manera eficaz y oportuna. Las máquinas de cómputo acompañadas de *software*; han proporcionado mayor control y agilidad a los procesos industriales que se desarrollan en las diversas áreas de aplicación como son las de la automatización de subestaciones, tema por el cual enfocaremos este proyecto.

Con la aparición del *Altair 8800* de MITS (primer computador fabricado) en los años 70, la computadora fue tomando un papel protagónico en los pequeños, medianos y grandes procesos, sirviendo de inspiración a las grandes empresas que desarrollaron la tecnología, dando inicio a un amplio número de ingeniosos inventos y desarrollos que han llevado a lo que es actualmente la informática industrial; sin embargo, todos estos desarrollos e ideas nuevas aislaron procesos con soluciones demasiado específicas (cerradas) que con el devenir de los años, se han convertido en sistemas legados dentro de las empresas, evitando en cierta medida eliminarlas o sustituirlas para crear redes de cómputo globales que permitan ser analizados por cualquier tipo de empresa.

Estas islas de información o subsistemas legados aislados, provocan retardos en las gestiones empresariales, debido a la necesidad de crear mecanismos de transferencia de datos, de estos sistemas a otros que necesiten dicha información como insumo, sin embargo desde hace varios

años se han venido gestando filosofías y herramientas de integración, tales como JAVA o C++, que han suministrado *frameworks* o marcos para la solución de estos problemas de integración entre redes; del mismo modo se han desarrollado metodologías en la integración de sistemas con pasos lógicamente estructurados para resolver éste tipo de situaciones.

El mundo moderno exige al ser humano un ritmo de vida acorde a su naturaleza dinámica, es así como los avances tecnológicos reducen las dificultades técnicas de diferentes procesos, o los progresos de la medicina ofrecen salud y bienestar a la comunidad. Ante cada situación adversa el ser humano ha razonado en busca de una solución, actitud que le permitió subsistir a través del proceso evolutivo hasta conseguir grandes logros como la conquista del espacio.

La vida real nos lleva a buscar soluciones en todos los núcleos de la sociedad, tales como la familia, el trabajo, y la escuela por mencionar algunos. La enseñanza por ser parte fundamental en la formación integral del individuo no escapa de esta realidad. La pedagogía debe de mantener una dinámica lo más similar posible a la de su entorno para evitar desventajas cognitivas a la hora de la recepción y entendimiento de conceptos por parte del estudiante, mediante el uso de las herramientas disponibles para ello.

Por esto se desarrollo esta herramienta software con el interés de proporcionar una mayor calidad del servicio eléctrico, debido a que los usuarios y las empresas distribuidoras han tomado conciencia de la importancia de tener adecuados estándares de calidad en el producto, necesarios para mantener la operación normal de los equipos

1. GENERALIDADES

1.1 UN SISTEMA DE COMUNICACIONES

El objetivo principal de todo sistema de comunicación es el de intercambiar datos o información entre dos entidades.

Figura 1. Sistema de comunicaciones



Fuente : Autor

La figura 1 muestra un ejemplo básico sobre un sistema de comunicaciones entre una estación de trabajo (destino) y un servidor (fuente), donde se pueden destacar los siguientes componentes básicos:

Fuente: Dispositivo que genera los datos.

Transmisor: Transforma y modifica la información que se desea transmitir.

Canal: puede ser desde una simple línea de transmisión hasta una compleja plataforma para la transmisión de los datos.

Receptor: Es el encargado de la decodificación de los datos transmitidos.

Destino: Toma los datos que necesita del sistema origen (fuente).

En términos generales, se puede decir que en las comunicaciones hacen parte tres grandes agentes: aplicación, computadores y redes. Un ejemplo de la aplicación es una acción que se quiera ejecutar en una subestación eléctrica, con varias aplicaciones implementadas al mismo tiempo, la cual es ejecutada sobre computadores interconectados por medio de diferentes redes.

Con base en estos conceptos, se tiene un modelo de tres capas que son:

- Capa de acceso a la red
- Capa de transporte
- Capa de aplicación

1.2 LA ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO OSI

Los protocolos están presentes en todas las etapas necesarias para establecer una comunicación entre equipos de cómputo, desde aquellas de más bajo nivel (Ej. la transmisión de flujos de bits a un medio físico) hasta aquellas de más alto nivel (Ej. el compartir o transferir información desde una computadora a otra en la red). Tomando al modelo OSI (Open Systems Interconnection) como referencia podemos afirmar que para cada capa o nivel que éste define, existen uno o más protocolos interactuando. Los protocolos son entre pares (peer-to-peer), es decir, un protocolo de algún nivel dialoga con el protocolo del mismo nivel en la computadora remota.

En 1973, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada para la Defensa (DARPA), de los Estados Unidos, inició un programa para la investigación de tecnologías que permitieran la transmisión de paquetes de información entre redes de diferentes tipos y características. El proyecto tenía por objetivo la interconexión de redes, por lo que se le denominó

"Internetting", y a la familia de redes de computadoras que surgió de esta investigación se le denominó "Internet". Los protocolos desarrollados se denominaron el Conjunto de Protocolos TCP/IP, que surgieron de dos conjuntos previamente desarrollados; los Protocolos de Control de Transmisión (Transmission Control Protocol) e Internet (Internet Protocol).

Figura 2. Conjunto de Protocolos TCP/IP

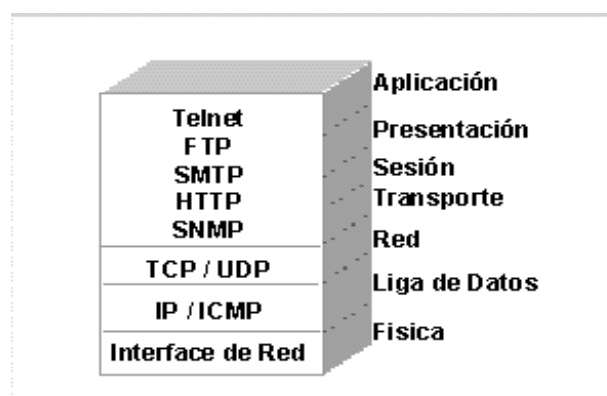
Aplicación						
Presentación	TELNET	FTP	SNMP	SMTP	DNS	HTTP
Sesión						
Transporte	TCP					
Red	IP					
Liga de Datos	802.2				X.25	LLC/SNAP
	802.3	802.5		LAPB		ATM
Física	Ethernet	Token Ring	FDDI	Línea Síncrona WAN		SONET

Fuente: Autor

En la actualidad, las funciones propias de una red de computadoras pueden ser divididas en las siete capas propuestas por ISO para su modelo de sistemas abiertos (OSI). Sin embargo la implantación real de una arquitectura puede diferir de este modelo. Las arquitecturas basadas en TCP/IP proponen cuatro capas en las que las funciones de las capas de Sesión y Presentación son responsabilidad de la capa de Aplicación y las capas de Enlace de Datos y Física son vistas como la capa de Interfase a la Red. Por tal motivo para TCP/IP sólo existen las capas Interfase de Red, la de Intercomunicación en Red, la de Transporte y la de Aplicación. Como puede verse TCP/IP

presupone independencia del medio físico de comunicación, sin embargo existen estándares bien definidos a los nivel de Enlace de Datos y Físico que proveen mecanismos de acceso a los diferentes medios y que en el modelo TCP/IP deben considerarse la capa de Interfase de Red; siendo los más usuales el proyecto IEEE802, Ethernet, Token Ring y FDDI

Figura 3. Aplicaciones protocolos TCP/IP



Fuente: Autor

Tabla 1. Descripción del Modelo de Capas de TCP/IP

Capa de Aplicación.	Invoca programas que acceden servicios en la red. Interactúan con uno o más protocolos de transporte para enviar o recibir datos, en forma de mensajes o bien en forma de flujos de bits.
Capa de Transporte.	Provee comunicación extremo a extremo desde un programa de aplicación a otro. Regula el flujo de información. Puede proveer un transporte confiable asegurándose que los datos lleguen sin errores y en la secuencia correcta. Coordina a múltiples aplicaciones que se encuentren interactuando con la red simultáneamente de tal manera que los datos que envíe una aplicación sean recibidos correctamente por la aplicación remota, esto lo hace añadiendo identificadores de cada una de las aplicaciones. Realiza además una verificación por suma, para asegurar que la información no sufrió alteraciones durante su transmisión.
Capa Internet.	Controla la comunicación entre un equipo y otro, decide qué rutas deben seguir los paquetes de información para alcanzar su destino. Conformar los paquetes IP que será enviado por la capa inferior. Desencapsula los paquetes recibidos pasando a la capa superior la información dirigida a una aplicación.
Capa de	Emite al medio físico los flujos de bit y recibe los que de él provienen.

Interfase de Red.	Consiste en los manejadores de los dispositivos que se conectan al medio de transmisión.
-------------------	--

1.3 TRANSMISIÓN DE DATOS

La transmisión de los datos entre un emisor y un receptor siempre se realiza a través de un medio de transmisión, los cuales pueden ser guiados o no guiados. Los medios guiados son los que se transmiten a través de un medio físico; algunos de estos medios son: par trenzado, cable coaxial, fibra óptica, etc. Los medios no guiados son aquellos que no tienen ningún canal físico, para su transmisión se utiliza el aire, el mar o el vacío.

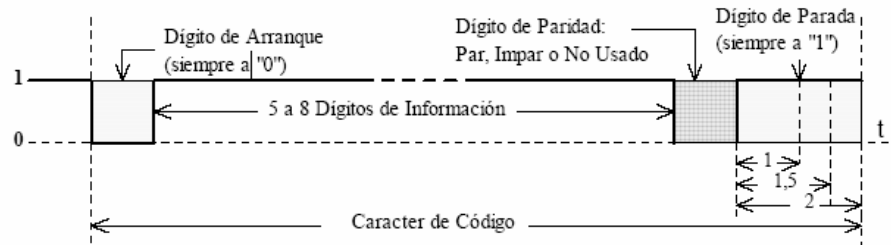
1.4 MODOS DE OPERACIÓN ASINCRÓNICA Y SINCRÓNICA

Cuando se transmite información sobre un canal digital se pueden utilizar dos modos de operación: el modo asincrónico y el modo sincrónico.

1.4.1 OPERACIÓN ASINCRÓNICA

En el modo de operación asincrónica se transmite un carácter de código a la vez. Cada carácter de código incluye dígitos de arranque, paridad y parada, denominados “dígitos redundantes”, los cuales indican al receptor el inicio y fin de un carácter, el dato adicional de paridad se utiliza para efectos de detección de errores. Todos los bits tienen la misma duración excepto el de parada cuya duración es variable (una, una y media o dos veces la duración de los otros) según la aplicación. El carácter de código contiene de 5 a 8 dígitos de información, con una longitud máxima de 11. En la siguiente figura se muestra el formato de un carácter de código para operación asincrónica.

Figura 4. Carácter de código para operación asincrónica.



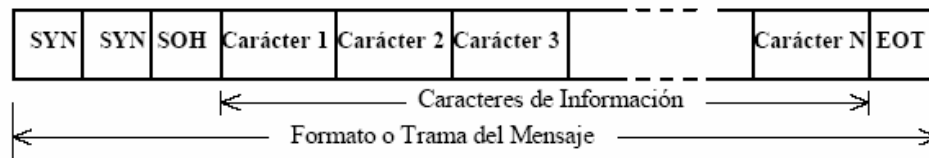
Fuente: Autor

La operación asincrónica se emplea bastante debido a que las interfaces ETD/ETCD son más sencillas y económicas, y es aplicada cuando los datos se transmiten a baja velocidad y con intervalos aleatorios. La velocidad de transmisión generalmente es hasta 2.400bps, pero puede llegar hasta 19.200bps en líneas conmutadas y 38.400bps en líneas dedicadas. En general, la transmisión es semidúplex.

1.4.2 OPERACIÓN SINCRÓNICA

En aplicaciones donde se necesitan altas velocidades de transmisión se utiliza el modo de operación sincrónica. En este modo de operación se eliminan los dígitos redundantes y los caracteres se agrupan en formatos precedidos y/o terminados por caracteres especiales de sincronización como el carácter ASCII SYN o un bandera de la forma 01111110b. Este método de transmisión es el más utilizado y se emplea para velocidades de 2.400bps en adelante, tanto en tipo semidúplex como en full dúplex. En la siguiente figura se ve la trama de una transmisión sincronía.

Figura 5. Trama de una transmisión sincronía



Fuente: Autor

Las señales de sincronización establecen el ritmo entre el transmisor y el receptor, de manera que definan la estructura de un carácter

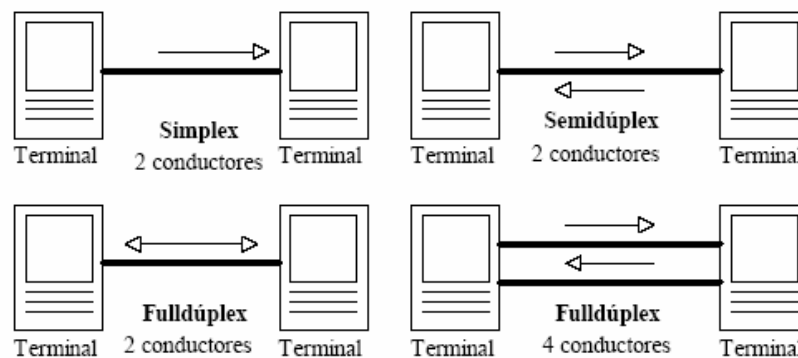
1.5 OPERACIÓN SEMIDÚPLEX (HDX), FULLDÚPLEX (FDX) Y SIMPLEX (SX)

En operación semidúplex los datos se intercambian alternativamente entre la fuente (A) y el destino (B); la trayectoria de transmisión puede ser una línea de dos o cuatro conductores. Si la trayectoria es por radio, se utiliza una sola frecuencia.

Cuando se transmite en semidúplex en una línea de dos conductores, es necesario tener en cuenta el tiempo necesario para que el canal se establezca antes de invertir el flujo de información. A fin de proteger al sistema contra los ecos producidos por una transmisión anterior, debe dejarse transcurrir un cierto tiempo en el ETCD que está recibiendo antes de empezar a transmitir. El lapso comprendido desde el momento que el transmisor de origen deja de transmitir y el momento en que el transmisor de destino se activa, se denomina “tiempo de silencio o tiempo de retorno (turn-around time)”. Si se utiliza una línea de cuatro conductores en operación semidúplex, no es necesario tomar en cuenta el tiempo de estabilización del canal, pero el flujo sigue siendo alterno: una vez de A a B por un par de conductores y otra vez de B a A por el otro par de conductores.

Con la operación Simplex (SX) la transmisión es en un solo sentido. La televisión comercial, la radiodifusión y la transmisión de un instrumento de medida son ejemplos de transmisión Simplex.

Figura 6. Ejemplos de transmisión



Fuente: autor

En operación fulldúplex el flujo de información es simultáneo en ambos sentidos. Si la línea es de cuatro conductores, dos conductores transmitirán en un sentido y los otros dos en sentido contrario; la frecuencia puede ser la misma. Si la línea es de dos conductores, entonces hay que hacer un multiplexado en frecuencia, es decir, en una dirección se transmite a una frecuencia o banda dada, mientras que en la otra dirección se transmite a una frecuencia o banda diferente; igualmente si la transmisión es por radio.

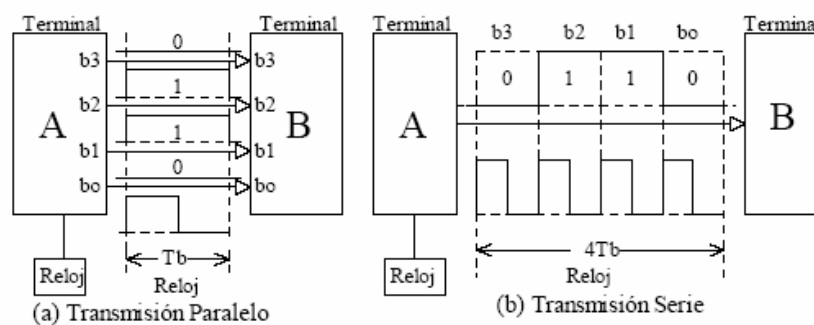
1.6 TRANSMISIÓN SERIE Y PARALELO

La información digital se puede transmitir paralelamente o en serie. Por ejemplo, en la siguiente figura (parte a) se muestra cómo el grupo 0110b se transmite desde el punto A hasta el punto B en forma paralela, es decir cada dígito binario (b0 a b3) tiene su propia línea de transmisión. En

consecuencia, los cuatro dígitos binarios se pueden transmitir simultáneamente durante el intervalo T_b de un impulso de reloj.

Adicionalmente, en la parte b se muestra la forma de transmisión serie, donde se emplea una sola línea de transmisión. Los dígitos binarios se transmiten uno detrás del otro requiriendo un tiempo de $4T_b$ segundos para transmitir el grupo binario 0110b.

Figura 7. Tipos de Transmisión



Fuente: Autor

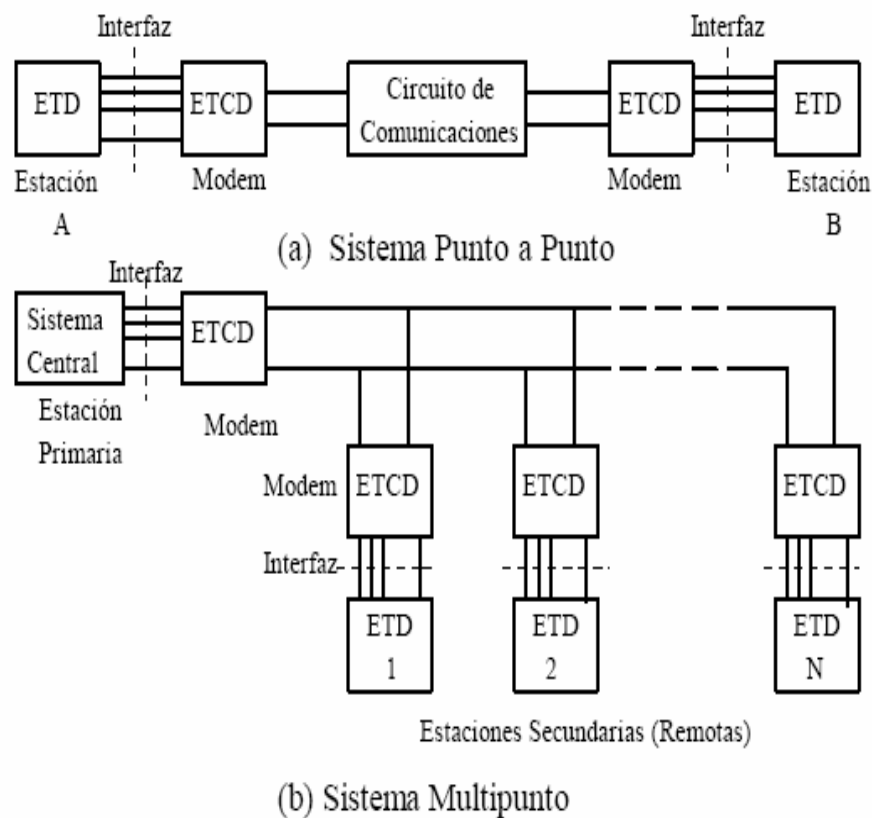
El compromiso principal entre la transmisión paralela y la transmisión serie, es la velocidad contra la simplicidad (costo). La transmisión paralela es mucho más veloz que la transmisión serie, pero es más costosa por el número de líneas que utiliza. Asimismo, ésta se utiliza para transmisiones a corta distancia dentro de equipos, mientras la transmisión serie aplica para largas distancias.

1.7 TRANSMISIÓN PUNTO A PUNTO Y MULTIPUNTO

La configuración básica de la mayoría de los sistemas de transmisión de datos está conformada por un procesador central con terminales en línea

punto a punto o en multipunto, como se muestra en las configuraciones presentadas en la Figura.

Figura 8. Sistema Maestra/Esclava.



Fuente: autor

Esta situación introduce los conceptos de “Estación Primaria o Maestra” que controla los enlaces, y de “Estaciones Secundarias o Esclavas” que solamente responden a la Maestra. Una vez establecido el enlace, la Maestra puede iniciar el flujo de datos sea mediante métodos como el *polling* o *selecting*. El “polling” es un comando mediante el cual la estación Maestra le solicita a una o varias Esclavas que transmitan algún tipo de información. El

“selecting” es una notificación a una o varias estaciones Esclavas de que estén listas para recibir información.

En los sistemas de telemetría y telecontrol generalmente se opera en el denominado Modo de Respuesta Normal (NRM = Normal Request Mode), en el cual todas las estaciones secundarias están subordinadas a la estación principal y no efectúan ninguna operación que no sea solicitada por la estación principal. Este es el Sistema denominado comunicación Maestro/Esclavo.

1.8 COMUNICACIONES INDUSTRIALES

La Automatización Industrial se ha convertido en un medio fundamental para mejorar el rendimiento y la eficacia de las funciones operacionales de una empresa industrial moderna. La obtención de datos en el momento y punto de origen, al integrarse al ciclo de procesamiento y control de las operaciones y actualizar automáticamente las bases de datos, permite la toma de decisiones operacionales, tácticas y estratégicas más eficaces, cualquiera que sea la naturaleza de la empresa.

Las estrategias básicas en la automatización de procesos industriales están dirigidas hacia los siguientes objetivos:

1. Aumentar la eficiencia de las operaciones y procesos, a través de la aplicación de modernas tecnologías en Electrónica, Informática y Telecomunicaciones.
2. Incrementar la productividad de los recursos humanos mediante:

- La Optimización de las actividades manuales y repetitivas.
- La dotación de procedimientos, equipos y sistemas que permitan disponer de información oportuna y confiable, en el sitio y momento adecuados.
- Disminuir costos usando menor energía y manteniendo inventarios mínimos.
- Aumentar la disponibilidad de la planta física mediante mantenimiento centrado en la confiabilidad
- Transformar la forma de operar mediante la integración de los puntos 1 y 2, la aplicación de nuevos métodos de análisis de procesos y teoría del control, y la incorporación de tecnologías más avanzadas.

1.8.1 INTEGRACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIONES

Las telecomunicaciones desempeñan una función de primordial importancia en la implementación de modernos sistemas de Automatización Industrial. Esta función es vital para aquellas empresas cuyas operaciones se encuentran dispersas geográficamente, como es el caso de los sistemas de distribución de energía eléctrica, la supervisión y control de instalaciones petroleras, patios de tanques, poliductos, refinerías, industria fabril, etc.

La Red de Telecomunicaciones para la Automatización Industrial tiene como objetivos:

- La recolección de datos, instantáneamente desde las localidades remotas.
- La transmisión de los datos hasta los centros de control de operaciones y de procesamiento de la información.
- Proveer los recursos para aumentar la confiabilidad y seguridad en los procesos de producción mediante detección temprana de condiciones de alarma, supervisión y control continuo de procesos de alto riesgo, verificación del estado de las instalaciones y seguimiento de las condiciones de operación de estaciones remotas.
- Proveer paralelamente servicios de transmisión de voz e imágenes

Para cumplir con estos objetivos la red integrada de comunicaciones debe estructurarse con base en una arquitectura bien definida y bajo las premisas de racionalización, conectividad, calidad y confiabilidad. En la mayoría de las grandes empresas industriales, el modelo de sistemas tiene una estructura piramidal de la forma mostrada a continuación.

Figura 9. Modelo de Sistema de una Empresa Industrial



Fuente: Autor

En el Nivel Operacional es donde se llevan a cabo todas las actividades y procesos básicos que constituyen el objetivo de la empresa. La velocidad de la transferencia de información es variable, pudiendo extenderse desde 300bps hasta 20Mbps. En el Nivel Táctico se llevan cabo actividades que tienen que ver directamente con la ejecución de las actividades del Nivel Operacional, entre las cuales se pueden incluir la planificación de operaciones y mantenimiento, las labores de ingeniería, el control de inventarios, el manejo de materiales, etc. En este nivel la velocidad de transferencia de información es alta, superior a los 20Mbps.

Finalmente, en el Nivel Estratégico se manejan todas las directrices de producción y mercadeo, las políticas de la empresa, la fijación de las metas del Nivel Táctico y, en general, la gestión y administración global de la empresa. En este nivel la velocidad de transferencia de información es, del orden de los 100Mbps.

Pero en una empresa no automatizada estos tres niveles están casi desconectados entre sí. La poca integración entre los Niveles Estratégicos, Tácticos y Operacionales se debe a todas o algunas de las siguientes causas:

- Diversidad de marcas, sistemas operativos, protocolos de comunicación y bases de datos. Algunos de estos protocolos de comunicación son primitivos ineficientes y específicos para la transmisión de una información predeterminada. Específicamente, en el Nivel Operacional puede existir toda una variedad de protocolos industriales poco o nada compatibles entre sí.
- Dispersión de datos con redundancia parcialmente controlada. En algunos casos la misma información es representada por varias formas

distintas (nomenclaturas diferentes) lo cual obliga a mantener tablas de conversión con los consiguientes problemas de actualización manual de las tablas.

- Necesidad de grandes esfuerzos para el soporte y mantenimiento de la estructura tanto en equipos (hardware) como en programas (software), cuya obsolescencia es rápida.
- La interacción con los diversos sistemas a través de interfaces de usuario disímiles y poco amistosas.
- Poca integración entre las áreas de control de procesos, informática e instrumentación debido a la rápida evolución de cada área. Los avances en Electrónica, Informática y Telecomunicaciones, impulsarán y estimularán cada vez más la necesidad de integración.
- El objetivo de la integración de la información en los tres Niveles es entonces la reacción de un sistema distribuido con una alta conectividad e interoperabilidad.

Para la integración completa de los Niveles Operacionales, Tácticos y Estratégicos se requiere:

- Una infraestructura sólida de comunicaciones que comprenda:
 - Redes orientadas al control local
 - Redes orientadas al control supervisor
 - Redes orientadas al soporte de la planificación, ingeniería, gerencia y administración
 - Interconexión con Redes Externas a la Empresa

- Mantener una visión integrada de los sistemas, tanto desde el punto de vista del modelo del flujo de datos como desde el punto de vista de la integración de los procesos.

En resumen, se requiere el diseño y construcción de un sistema integrado de red que permita:

- La conectividad e interoperabilidad de todos los sistemas de información y Control.
- Que facilite el acceso a cualquier subsistema (o subred)
- Con un manejo integrado, flexible, de gran calidad y confiabilidad, del flujo de información entre los niveles Operacionales, Tácticos y Estratégicos.

1.9 TELEMETRÍA

La Telemetría es el uso de equipos eléctricos o electrónicos para detectar, acumular y procesar datos físicos en un lugar, para después transmitirlos a una estación remota donde pueden procesarse y almacenarse. Un ejemplo de la utilidad de la telemetría es la medición, transmisión y procesamiento de variables de campo (magnitudes físicas) en sistemas de automatización de procesos industriales. Estos datos pueden ser, por ejemplo, la corriente y el voltaje de un circuito en una subestación eléctrica.

1.10 TELECONTROL

Un proceso industrial completo incluye también el control (local o remoto) de las operaciones que se están llevando a cabo. Muy ligado a la Telemetría se tiene entonces el Telecontrol, mediante el cual, una vez recibidas y procesadas las señales de campo, se procede a modificar las condiciones de operación de los procesos de acuerdo con un plan preestablecido, o de acuerdo con las circunstancias. El ente que toma las decisiones puede ser un operador experimentado o un dispositivo automático.

En términos generales, un sistema de procesamiento industrial básicamente esta compuesto de esquemas de telemetría y telecontrol

1.11 EL SISTEMA SCADA

El Sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA), es una tecnología que permite obtener y procesar información de procesos industriales dispersos o lugares remotos inaccesibles, transmitiéndola a un Centro de Control para su supervisión, control y procesamiento. Un SCADA permite entonces supervisar y controlar simultáneamente procesos e instalaciones distribuidas en grandes áreas, y generar un conjunto de información procesada como: gráficos de tendencias, información histórica, informes de operación, programación de eventos, programas de mantenimiento preventivo, etc. Mayor información se presenta en el anexo 2

1.12 LA UNIDAD TERMINAL REMOTA (RTU)

El creciente desarrollo en la informática, la electrónica y las telecomunicaciones, ha traído como consecuencia la integración de la mayor parte de los elementos del subsistema de procesamiento y control local. Como consecuencia, en una sola unidad se han integrado los módulos

de entrada I/O, la CPU, el módulo de comunicaciones, el módem, el transmisor de radio, un teclado funcional y las fuentes de poder.

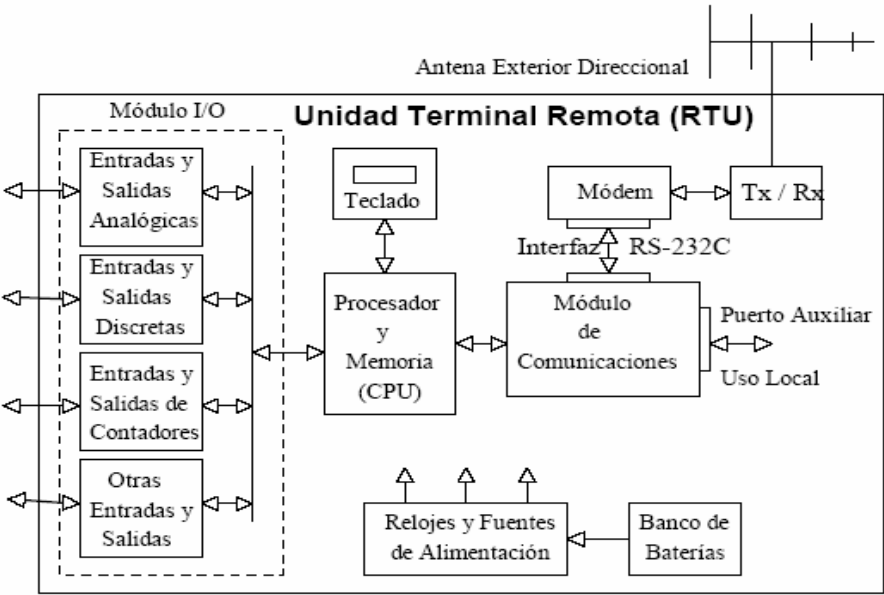
Esta unidad se denomina Unidad Terminal Remota (Remote Terminal Unit, RTU) y es muy utilizada en la industria eléctrica en las subestaciones. Todos los elementos vienen integrados en un gabinete blindado que cumple con las recomendaciones usuales de seguridad para su utilización en el campo.

De acuerdo con la ANSI, el término “unidad terminal remota” se refiere al equipo de una estación remota de un sistema supervisión, donde el término “supervisión” incluye el “control, indicación, equipos de telemetría en la estación maestra y todos los dispositivos complementarios en las estaciones remotas”.

Como la RTU es la interfaz con los dispositivos de campo, se la puede considerar como los ojos, oídos y manos de una estación maestra. La inclusión de módulos de computación con microprocesadores ha hecho posible descargar el canal de comunicaciones y los computadores de procesos globales, de muchas tareas que anteriormente ellos desarrollaban. Como consecuencia, los costos totales se han reducido, la flexibilidad ha mejorado y aumentado las prestaciones de los sistemas local y global.

En la siguiente figura se muestra en forma esquemática los elementos contenidos en una RTU.

Figura 10. Unidad de Transmisión Remota RTU



Fuente: Autor

2. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

La posibilidad de implementar Sistemas de Automatización de Subestaciones (SAS), descansa en el fuerte desarrollo tecnológico de los circuitos, que han llevado a la actual disponibilidad de microprocesadores avanzados, rápidos y poderosos. Esto resultó en una evolución de los equipos secundarios en subestaciones, que pasaron de dispositivos electro-mecánicos a digitales. Esto, a su vez, permite la posibilidad de implementar SAS descentralizados, utilizando diversos dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs) para realizar las funciones de protección, control, monitoreo local y remoto, etc. Como consecuencia, surgió la necesidad de comunicaciones eficientes entre los IEDs, especialmente a través de un protocolo estándar.

El objetivo de la normalización de la automatización de subestaciones, es desarrollar un estándar de comunicaciones que cumpla con los requerimientos y costos, que soporten los futuros desarrollos tecnológicos. El estándar de comunicaciones debe soportar las funciones operativas de la subestación y poseer un perfil de comunicaciones, en los diversos niveles del modelo OSI, basado en los estándares IEC/ISO/OSI existentes.

2.1 MODELO DE REFERENCIA EPA

El Modelo de Referencia OSI (Open System Interconnection), brinda una descripción generalizada de las funciones necesarias para realizar comunicaciones confiables entre sistemas heterogéneos. El modelo, está organizado como una serie de siete capas, cada una de las cuales está dirigida a funciones específicas de comunicaciones. En general, las capas 1 a 4 (física, enlace de datos, red y transporte), definen funciones necesarias

para la transmisión de datos entre sistemas, mientras que las capas 5 a 7 (sesión, presentación y aplicación), definen funciones orientadas al usuario. El modelo denominado “EPA (Enhanced Performance Architecture)”, utiliza solamente tres de las siete capas.

La Tabla 2 Muestra el modelo “EPA”, con sus estándares asociados de la serie IEC 60870-5, para cada una de las capas o niveles.

Tabla 2. Modelo “EPA”

Selected Application Functions of IEC 60870-5-5	Procesos
Selected Application Service Data Units of IEC 60870-5-3	Aplicación
Selected Application Information Elements of IEC 60870-5-4	
Selected Link Transmisión Procedures of IEC 60870-5-2	Acceso
Selected Transmisión Frame Formats of IEC 60870-5-1	
Recomendaciones CCITT	Física

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

Para la capa Enlace, los estándares asociados son las publicaciones IEC 60870-5-1 e IEC 60870-5-2. El primer estándar, permite un formato de trama estandarizado, que debe proveer la integridad de datos requerida, conjuntamente con la máxima eficiencia disponible, en función del tipo de servicio a implementar. La publicación IEC 60870-5-2, ofrece una selección de procedimientos de enlace de transmisión, utilizando un campo de control y el campo de dirección opcional. Si los enlaces entre una estación maestra y

diversas estaciones telecontroladas, comparten un canal físico común, entonces los enlaces deben ser operados en un modo no balanceado, para evitar la posibilidad de que más de una estación intente transmitir en el canal, al mismo tiempo. La secuencia en la cual a las diversas estaciones telecontroladas se les garantiza acceso a transmitir en el canal, es por tanto determinada por un procedimiento de la capa Aplicación, en la estación maestra. El estándar asociado, especifica si se debe utilizar un modo de transmisión balanceado o no balanceado, conjuntamente con el tipo de procedimiento de enlace (SEND/NO REPLY, SEND/CONFIRM y REQUEST/RESPOND).

En la capa Aplicación, la publicación IEC 60870-5-3, describe la estructura general de información de aplicación, sin especificar detalles acerca de los campos de información y sus contenidos. Especifica la estructura general de las ASDUs (Application Service Data Units), utilizadas por los procedimientos de aplicación.

En la publicación IEC 60870-5-4, se definen las especificaciones de codificación de elementos individuales de información que son frecuentemente utilizados en aplicaciones de telecontrol.

La publicación IEC 60870-5-5, define las Funciones de Aplicación Básicas que realizan los procedimientos estándar para sistemas de telecontrol. Estas Funciones son procedimientos de aplicación que residen por encima de la capa 7 del Modelo de Referencia ISO y que utilizan los servicios estándar de la capa.

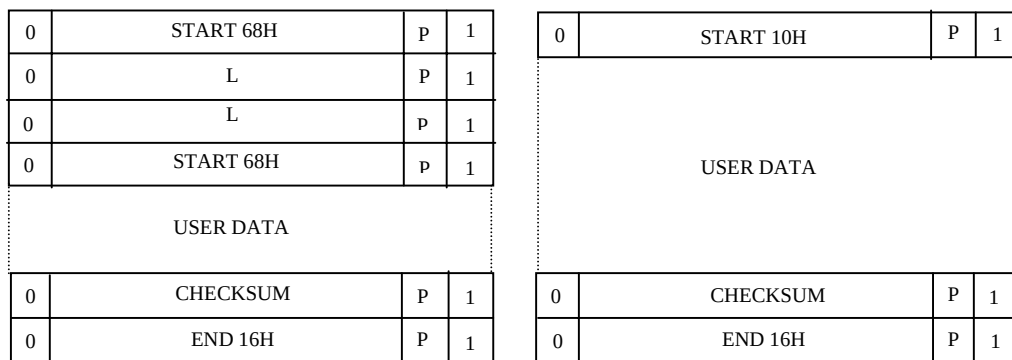
2.2 PROTOCOLOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS BASADOS EN EL MODELO DE TRES CAPAS IEC 60870 - 5 - 101

El estándar IEC 60870-5-101, es el modelo recomendado por la IEEE para la comunicación entre estaciones maestras, RTU's e IED's.

Utiliza el formato de trama FT 1.2, definido en el documento IEC 60870-5-1, cumpliendo con los requerimientos de integridad de datos clase I2, que especifica una distancia de hamming, $d=4$, lo que implica que errores de cuatro bit, no deben causar errores de mensajes no detectables.

El formato de la trama, puede ser variable, entre 0 y 255 caracteres (octetos de información de usuario), o fijo. En la figura 11, se muestran formatos de trama con longitud de bloque variable y fija, respectivamente.

Figura 11. Formato de tramas variables



Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

Cada carácter, está compuesto por: bit de inicio (Start Bit) con valor “0”, bit de finalización (Stop Bit) con valor “1”, 8 bits de datos y bit “P” de paridad par (Parity Bit). Cada trama tiene un *checksum* de 8 bits, módulo 256. Entre los protocolos basados en este modelo de referencia se encuentran:

2.2.1 Distributed Network Protocol 3.0 (DNP 3.0).

El DNP 3.0, fue originalmente creado en 1990 por Westronic Inc., en la actualidad GE Harris. En 1993 fue dado al dominio público. Representó un esfuerzo importante para lograr estándares abiertos, orientados a la industria eléctrica, basados en la interoperabilidad entre estaciones maestras, RTU's e IED's.

El protocolo se basa en los estándares de la serie IEC 60870-5, y por lo tanto adopta el modelo OSI de 3 capas EPA.

La capa física, además de soportar la interfaz V.24, soporta RS 485. La capa de enlace, posee como principales características, que los mensajes son de longitud variable, con una longitud máxima de 255 caracteres; utiliza el formato de trama FT3 del documento IEC 60870-5-1, lo que implica una integridad de datos, clase I2, y una distancia de hamming, $d=4$; posee “collision avoidance” en el modo “no solicitado” (unsolicited); utiliza el modo de transmisión balanceado, para permitir la transmisión espontánea desde las estaciones remotas, y los procedimientos de enlace *Send/Confirm*, *Send/No Reply*, *Request/Responde* y *Confirm*. Posee funciones pseudo-transporte o funciones de transporte limitadas, permitiendo transferencia de archivos y bloque de información.

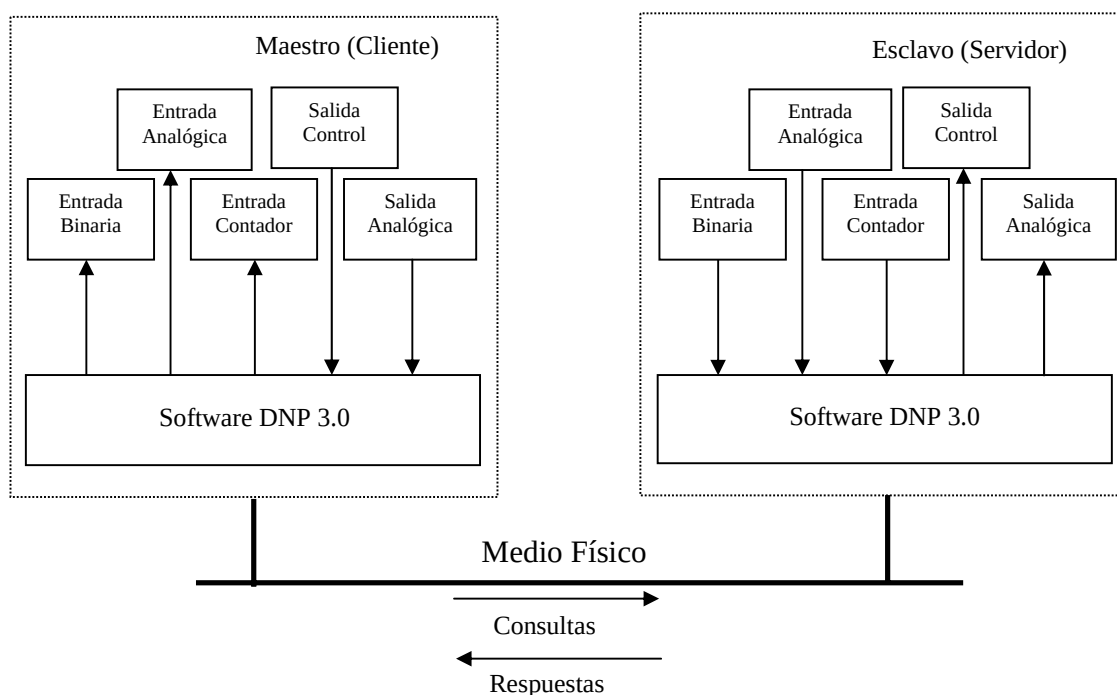
La capa de Aplicación, define el formato y servicios de las APDU (Application Protocol Data Unit), basadas en los documentos IEC 60870-5-3 y 60870-5-4. Estructuralmente la PDU (Protocol Data Unit) de la capa de Aplicación, se ajusta a la descripción IEC de una ASDU (Application Service Data Unit). Soporta los formatos *Request/Response*. La estación remota, puede decidir transmitir información “espontáneamente”. Para una estación maestra, una transacción *request/response*, con una dada estación remota, debe ser completada, antes de poder enviar otro requerimiento (request) a esa estación. Una estación maestra, puede aceptar una respuesta no solicitada (unsolicited response) mientras la transacción se está llevando a cabo. Para una estación remota, una transacción *request/response* debe ser completada antes que cualquier requerimiento sea aceptado o una respuesta no solicitada sea enviada. En esta capa, también se definen distintas clases de prioridad de la información, tal como alta, media, ninguna, información por excepción

Entre las características importantes de este protocolo, se pueden mencionar las siguientes: requerimientos (request) y respuesta con múltiple tipos de información en un mismo mensaje; segmentación de mensajes en múltiples tramas, para asegurar excelente detección y recuperación de errores; inclusión de cambios solamente en mensajes de respuesta; asignación de prioridades a ítems de información y requerimiento periódico de los ítems de información, basados en su prioridad; respuesta sin solicitud (unsolicited); soporta sincronización de tiempo y un formato de tiempo estándar; permite operaciones de múltiples maestras y peer-to-peer; permite la definición de objetos por el usuario, incluyendo transferencia de archivos. Los términos cliente y servidor son aplicables a DNP 3.0. Se puede definir a un servidor, como un dispositivo o proceso de software que posee datos o información que otros necesitan (computadoras de una subestación) y un cliente, es un

dispositivo o proceso de software que requiere datos de un servidor (estación maestra).

La figura 12 muestra la relación cliente-servidor y brinda un esquema simple de las bases de datos y procesos involucrados. Los bloques en la parte superior de la figura para el caso del servidor, muestran las bases de datos y los dispositivos de salida.

Figura 12. Relación cliente servidor



Fuente: Protocolo DNP 3.0

Es importante notar que el cliente o maestro, tiene bases de datos similares a las del esclavo, y su objetivo es mantenerlas actualizadas para distintos propósitos, tales como: mostrar estados del sistema, notificación de alarmas, realizar control en lazo cerrado, etc. En años recientes, distintos fabricantes comenzaron a utilizar el protocolo TCP/IP para el transporte de mensajes

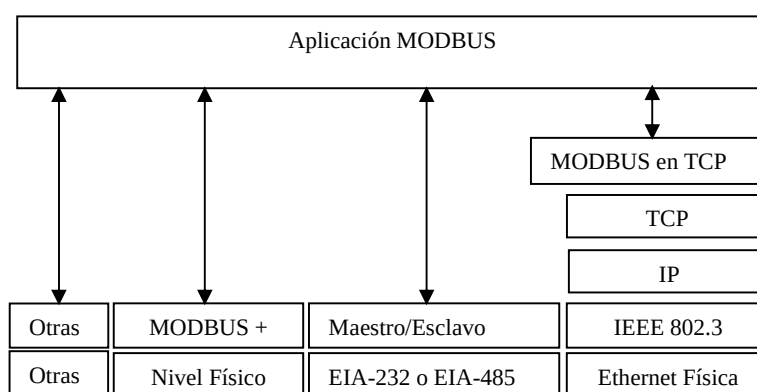
DNP 3.0, los mensajes con formato de la capa de Enlace (Nivel 2) son encapsulados en paquetes TCP/IP.

2.2.2 Modbus RTU.

Modbus es un protocolo serie para el intercambio de mensajes, posicionado en el nivel 7 del modelo OSI, es decir en la capa de Aplicación. Provee comunicaciones del tipo cliente/servidor entre dispositivos conectados por diferentes tipos de buses o redes. Desarrollado por Modicon en 1979 es ampliamente utilizado para la industria de procesos, manufactura y eléctrica; y en la actualidad, se utiliza según distintas implementaciones.

Como muestra la Figura 13, MODBUS puede ser implementado utilizando: transmisiones seriales asincrónicas sobre una variedad de medios físicos (RS-232, RS-422, RS-485; fibra óptica, radio enlaces, etc.); TCP/IP sobre Ethernet, o bien sobre una red de alta velocidad con pasaje de token, como control de acceso al medio.

Figura 13. Modelo de Referencia: Aplicaciones MODBUS



Fuente: Protocolo Modbus TCP/IP

2.2.3 Ethernet.

En la actualidad, existen distintas propuestas para la utilización de los protocolos Ethernet y TCP/IP, en las tres primeras capas del modelo OSI. Para el caso de la capa física y de control de acceso al medio, Ethernet debido a su filosofía de trabajo (CSMA), es intrínsecamente no determinístico lo cual puede generar dudas en cuanto a la confiabilidad de que los mensajes sean entregados en tiempo y forma.

En efecto, si dos o más IED's desean acceder en forma simultanea a la red de área local (LAN), puede ocurrir que los mensajes colisionen. Cuando esto sucede, todos los dispositivos cuyos mensajes colisionaron se retraen durante un tiempo aleatorio, transcurrido el cual intentan transmitir nuevamente. Existe la probabilidad de que debido a subsecuentes colisiones, un mensaje no llegue a su destino en el tiempo necesario.

Para estudiar en forma cuantitativa este problema, el EPRI realizó una experiencia donde se evaluaron los comportamientos de Ethernet y del bus de campo serial Profibus. Este último es de características determinísticas ya que el control de acceso al medio se realiza según el método de token híbrido, que permite que uno o varios maestros se comuniquen con sus esclavos en forma cíclica con restricciones temporales.

Los resultados obtenidos mostraron que Ethernet tanto a 10Mbps utilizando *switches* como a 100Mbps utilizando *hubs*, cumplían con los tiempos máximos necesarios para la entrega de mensajes, y aun con un mejor performance que Profibus a 12Mbps.

Las distintas velocidades utilizadas con Ethernet dependiendo de la utilización de hubs o switches, son debidas a las características propias de

funcionamiento de los mismos. Mientras un hub realiza un broadcast del mensaje a todos sus puertos, el switch que posee una mayor inteligencia, puede recordar la ubicación de los dispositivos y enviar los mensajes sólo por los puertos apropiados, disminuyendo en forma significativa la posibilidad de colisiones.

Existen otras técnicas para hacer de Ethernet un protocolo determinístico, aunque se debe estudiar cuidadosamente las ventajas y desventajas que conlleva su utilización.

Tabla 3 . Comparación de los protocolos más utilizados.

Característica	60870-5-101	60870-5-104	DNP3
Aplicación	Telecontrol (SCADA)	Telecontrol (SCADA), entre la subestación y centro de control	Telecontrol (SCADA) entre la subestación y centro de control
Principal descripción	Capa de aplicación (Servicios y protocolo)	Capa aplicación (Servicios y protocolo)	Capa aplicación (Servicios y protocolo)
Estandarización	Standard IEC (1995) Revisado (2001)	Standard IEC (2000)	Especificaciones industriales abiertas (1993) Practicas recomendadas (2000)
Organización de Standardización	IEC TC 57 WG 03	IEC TC 57 WG 03	Grupo DNP
Uso de otras organizaciones para la standardización			Considerado por la standardización de Australia
Principal designación para la organización de los procesos en el estándar	Optimización del uso del ancho de banda y hardware	Optimización del uso del ancho de banda y hardware	Optimización del uso del ancho de banda y hardware
Futuras reglas para designación	Margen de las características de protocolos propietarios anteriores	Margen de las características de protocolos propietarios anteriores empuje la inteligencia	Margen de las características de protocolos propietarios anteriores

	empuje la inteligencia en el network hacia el dispositivo alejado	en el network hacia el dispositivo alejado	empuje la inteligencia en el network hacia el dispositivo alejado
Paradigma crucial	Intercambio de las listas numeradas de los puntos de referencias simples	Intercambio de las listas numeradas de los puntos de referencias simples	Intercambio de las listas numeradas de los puntos de referencias simples

Característica	60870-5-101	60870-5-104	DNP3
Aplicación específica en los modelos de información	Alguna aplicaciones (3) específicas de los tipos de datos	Alguna aplicaciones (3) específicas de los tipos de datos	Permite veedores o creación de aplicaciones específicas
Modelado orientado a objetos			Bajo desarrollo
Objeto de los datos y independiente de los masajes de uno a otros	No	No	Si
Común ley de aplicación/ Codificación independiente de definición de datos			+
Puestas en práctica disponibles	+++	++	+++
Puesta en práctica para los dispositivos encajados	+++	+	+++
Mercado dominante	Europa, Sur América, Australia, China	Europa, Sur América, Australia, China	Norte América, Sur América, Australia, China
Penetración del mercado en el 2000	+++	+	+++
Penetración del mercado en el 2002	++	++	+++
Penetración del mercado en el 2005	++	+	++

PROCESO DE LA DESCRIPCION DE DATOS

Característica	60870-5-101	60870-5-104	DNP3.0
Tipos de datos soportados	Fijo	Fijo	Flexible
Dirección/Identificación	Índice (Dirección común: 8, 16Bits; objeto de información: 8/16/32 bits)	Índice (Dirección común: 16Bits; objeto de información: 32 bits)	Índice (Dirección común: 16Bits; Índice de puntos 8/16/32 bits)
Calidad	+	+	+
Estampa de tiempo	+	+	+
Causa de transmisión	+	+	+

SERVICIOS OPERACIONALES

Características	60870-5-101	60870-5-104	DNP3.0
Transmisión cíclica	+	+	Permitida
Transmisión espontánea	+	+	+
Lectura	Solo	Solo	Muchas
Escritura	Solo	Solo	Muchas
Interrogación	+	+	+
Reloj de sincronismo	+	+	+
Intercambio total integrado	+	+	+
Serie datos de tiempo	+	+	+
Secuencia de eventos	+	+	+
Repote de valor de datos	+	+	+
Transferencia de archivos	+	+	+

Servicios Selfdescription.

Característica	60870-5-101	60870-5-104	DNP3.0
Consiga el directorio de todos los objetos			
Consigna de directorio de objetos de operación	+	+	+

Configuración fuera de línea.

Característica	608705-101	60870-5-104	DNP3.0
Completa descripción de la configuración de dispositivos	Solamente en el documento	Solamente en el documento	Solamente en el documento; Los documentos en línea
Localización de la configuración	Configuración de RTU y/o IED, configuración de base de datos, y configuración de aplicaciones	Configuración de RTU y/o IED, configuración de base de datos, y configuración de aplicaciones	Configuración de RTU y/o IED, configuración de base de datos, y configuración de aplicaciones

Arquitectura de comunicación.

Característica	60870-5-101	60870-5-104	DNP3.0
Modelo de datos independientes de servicios			+
Soporte del sistema de comunicaciones	V.24/V.28 o X.24/X.27	TCP/IP, Ethernet 802.3 o X.21	V.24/V.28 o X.24/X.27; TCP/IP, Ethernet 802.3 o X.21
Leyes	3 leyes	7 leyes (TCP/IP)	4 Leyes (Serial) o 7 leyes (TCP/IP) o UDP/IP
Modo	Des- balanceado	Balanceado	Balanceado
Routing		IP	IP si es TCP/IP o UDP es soportada
Protocolo de transporte		TCP	TCP o UDP sobre IP
Direccionamiento	Link: 0,1 o 2 octetos AL: 2 a 5 octetos	Link: 0,1 o 2 octetos AL: 2 a 5 octetos	

Fuente: Autor

3. PROTOCOLO IEC 60870 5 101

3.1 NORMATIVA

- Manual IEC 870-5-1: Section 1: Transmission frame formats.
- Manual IEC 870-5-2: Section 2: Link transmission procedures.
- Manual IEC 870-5-3 Section 3: General structure of application information elements.
- Manual IEC 870-5-4 Section 4: Definition and coding of application information elements.
- Manual IEC 870-5-5 Section 5: Basic application functions.
- Manual IEC 870-5-101 Section 101: Companion standard for basic telecontrol tasks.
- Manual IEC-870-5-101 Section 101 A2:1998-03 Supplementary Definitions to IEC 870-5-101.

3.2 REGLAS GENERALES

3.2.1 Estructura del protocolo. En el Protocolo IEC 870 se definen más de un modelo. Se va a usar el modelo 2, el cual tiene 2 niveles: enlace y aplicación.

3.2.2 Configuración.

Modelo 2

IEC 870-5-3.

3.3 NIVEL FISICO

El tipo de transmisión entre ambas estaciones puede ser de diversos tipos. El tipo de transmisión No Balanceado, es aquel en el cual existe una estación principal, y la otra estación será secundarias o esclavas.

El tipo de transmisión Pseudo Balanceado, es aquel en el cual existe una estación maestra, y la otra estación será esclava, pero adicionalmente esta última tiene un mecanismo de informar a la Estación maestra, de que tiene cambios a enviar (Datos en la buffer mas prioritaria, Datos de Clase 1), y que desea ser interrogada por ellos.

3.4 CONFIGURACION TIPO TRANSMISION

- *NO BALANCEADA*
- *PSEUDO BALANCEADA*

IEC 870-5-2 5.

3.4.1 Nivel enlace. El mensaje de comunicación puede tener diferentes tramas o estructura. Se elige el formato FT1.2 que se define mas adelante.

3.4.2 Configuración formato de la trama.

- *FT1.2*

IEC 870-5-1.

IEC 870-5-101.

3.4.3 Nivel Aplicación. La información que ocupa mas de un octeto, la forma de transmisión es de dos formas diferentes: de mayor a menor ó de menor a mayor.

3.5 CONFIGURACION MODO TRANSMISION

- MODO 1

IEC-870-5-4.

El modo de transmisión 1 es: envío de - a + significativo los octetos.

3.5.1 Nivel Físico.

Se seguirá la normativa del Protocolo IEC 870-5.1

3.5.2 Nivel de enlace.

- **FORMATO de la TRAMA**

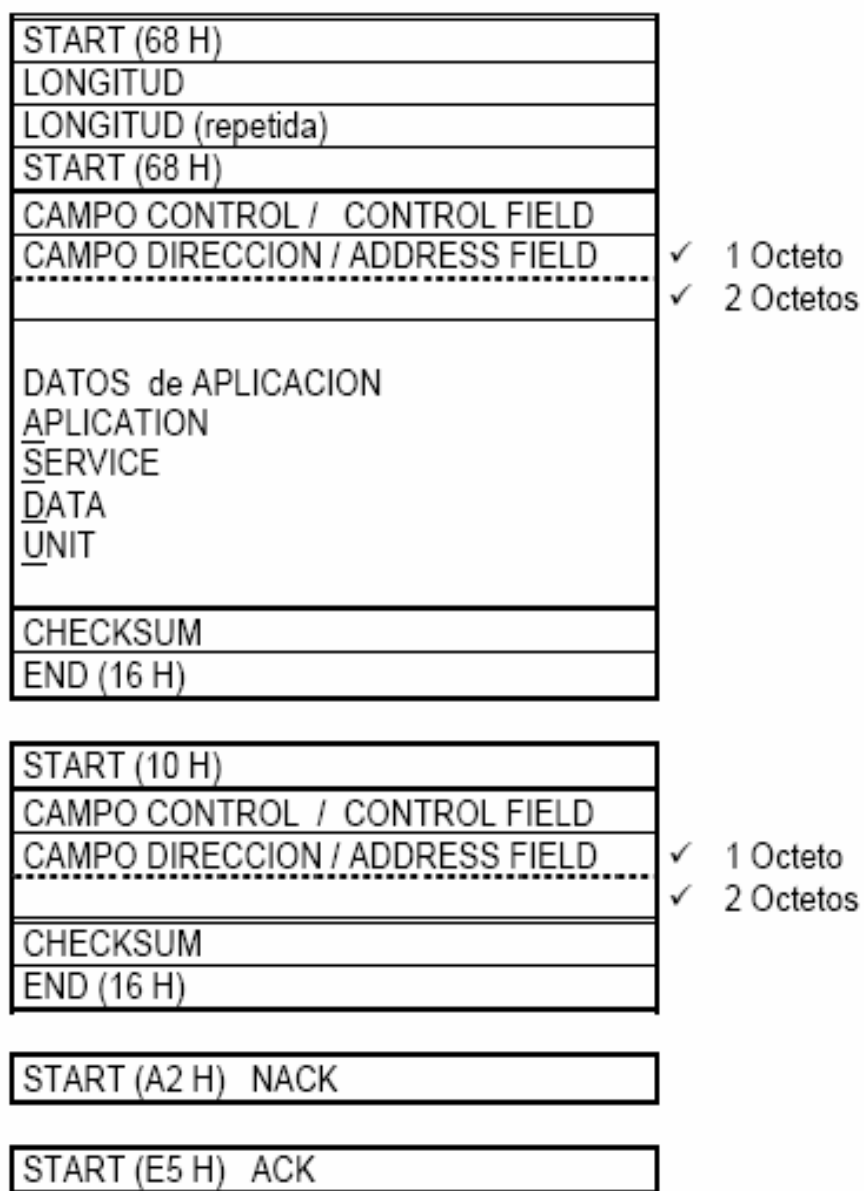
CONFIGURACION

- *FT1.2*

IEC 870-5-1.

IEC 870-5-101.

Figura 14. Formato de la Trama



Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

El envío de un mensaje CONFIRM ACK ó CONFIRM NACK de un solo carácter, es porque la estación esclava no tiene datos de clase 1.

DIRECCION CONTROL

START	68 H					
LONGITUD	1 - 255 (1 + N0 BYTES CAMPO DIRECCION + N0 BYTES ASDU)					
LONGITUD (repetida)	1 - 255 (1 + N0 BYTES CAMPO DIRECCION + N0 BYTES ASDU)					
START	68 H					
CAMPO CONTROL	RES=0	PRM=1	FCB	FCV	FUNCION	
CAMPO DIRECCION	1-255					✓ 1
	1-65.535					✓ 2

APPLICATION SERVICE DATA UNIT	DATOS APLICACION
--	------------------

CHECKSUM	1-255
END	16 H

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

DIRECCION MONITOR

START	68 H					
LONGITUD	1 - 255 (1 + N0 BYTES CAMPO DIRECCION + N0 BYTES ASDU)					
LONGITUD	1 - 255 (1 + N0 BYTES CAMPO DIRECCION + N0 BYTES ASDU)					
START	68 H					
CAMPO CONTROL	RES=0	PRM=0	ACD	DFC	FUNCION	
CAMPO DIRECCION	1-255					✓ 1
	1-65.535					✓ 2

APPLICATION SERVICE DATA UNIT	DATOS APLICACION
--	------------------

CHECKSUM	1-255
END	16 H

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

3.6 FORMATO de los CAMPOS

3.6.1 Longitud.

- **CONFIGURACION**

1-255 Bytes

IEC 870-5-2.

LONGITUD = 1 (CAMPO CONTROL) + N0 BYTES CAMPO DIRECCION +
N0 BYTES ASDU

- **CAMPO CONTROL /CONTROL FIELD**

IEC 870-5-2.

Figura 15. De Primario a Secundario (PRM = 1)

	8	7	6	5	4	3	2	1
CAMPO CONTROL	RES	PRM 1	FCB	FCV	FUNCION			

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

CAMPO CONTROL

RES	Reserva (Siempre a 0)
PRM	Dirección Control <1> Primario <0> Secundario
FCB	Cuenta de Trama <0> <1>
FCV	Validez de la Cuenta de trama <1> Valido <0> No Valido
FUNCION	Código de la Función (depende del tipo de Transmisión). Veamos un esquema de los valores que puede tomar para cada tipo de transmisión.

Transmisión No Balanceada

FUNCION	TIPO TRAMA	SERVICIO de la FUNCION	FCV	TIPO PETICION
0	SEND / CONFIRM	Reset del Enlace Remoto Reset of Remote Link	0	
1	SEND / CONFIRM	Reset de Aplicación Reset of User Proccess	0	
3	SEND / CONFIRM	Datos Usuario User Data	1	Ordenes y Acciones
9	REQUEST / RESPOND	Petición del Estado del Enlace Request Status of Link	0	
10	REQUEST / RESPOND	Petición Datos Usuario Clase 1 Request User Data Class 1	1	Petición Cambios
11	REQUEST / RESPOND	Petición Datos Usuario Clase 2 Request User Data Class 2	1	Petición Datos

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

Transmisión Pseudo Balanceada

FUNCION	TIPO TRAMA	SERVICIO de la FUNCION	FCV	TIPO PETICION
0	SEND / CONFIRM	Reset del Enlace Remoto Reset of Remote Link	0	
1	SEND / CONFIRM	Reset de Aplicación Reset of User Proccess	0	
3	SEND / CONFIRM	Datos Usuario User Data	1	Ordenes y Acciones
9	REQUEST / RESPOND	Petición del Estado del Enlace Request Status of Link	0	
10	REQUEST / RESPOND	Petición Datos Usuario Clase 1 Request User Data Class 1	1	Petición Cambios
11	REQUEST / RESPOND	Petición Datos Usuario Clase 2 Request User Data Class 2	1	Petición Datos

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

Figura 16. De Secundario a Primario (PRM = 0)

	8	7	6	5	4	3	2	1
CAMPO CONTROL	RES	PRM 0	ACD	DFC	FUNCION			

CAMPO CONTROL

RES Reserva (Siempre a 0)

PRM Dirección Control
 <1> Primario
 <0> Secundario

ACD Demanda de Acceso
 <1> Hay datos de Clase 1 pendientes.
 <0> No hay datos de Clase 1 pendientes.

DFC Control de flujo de datos
 <1> El buffer de recepción está lleno.
 <0> El buffer de recepción no está lleno.
 Ya que el tipo de transmisión es no balanceado, el bit DFC siempre deberá venir a 0.

FUNCION Código de la Función (depende del tipo de Transmisión).
 Veamos un esquema de los valores que puede tomar para cada tipo de transmisión.

Transmisión No Balanceada

Función	Tipo de Trama	Servicio de la Función	Tipo de Petición
0	CONFIRM	ACK ACK: positive acknowledgement	Mensaje Aceptado
1	CONFIRM	NACK NACK: message not accepted, link busy	Mensaje No Aceptado
8	RESPOND	Datos Usuario User Data	
9	RESPOND	NACK: Datos Usuario no disponibles NACK: requested data not available	
11	RESPOND	Estado del Enlace Status of Link or access demand	

Pseudo Balanceada

FUNCION	TIPO TRAMA	SERVICIO de la FUNCION	TIPO PETICION
0	CONFIRM	ACK ACK: positive acknowledgement	Mensaje Aceptado
1	CONFIRM	NACK NACK: message not accepted, link busy	Mensaje No Aceptado
6	SEND / NO REPLY	Petición Espontaneo del Enlace	
8	RESPOND	Datos Usuario User Data	
9	RESPOND	NACK: Datos Usuario no disponibles NACK: requested data not available	
11	RESPOND	Estado del Enlace Status of Link or access demand	

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

3.7 CAMPO DIRECCION / ADDRESS FIELD

3.7.1 Configuración.

- 1 Octeto
- 2 Octetos

IEC 870-5-2.

Es la Dirección de la Remota ó estación esclava.

Los valores que puede tomar son de 1 a 255 por cada canal de comunicaciones.

3.8 NIVEL APLICACIÓN

3.8.1 Estructura ASDU.

IEC 870-5-101.

Figura 17. Estructura ASDU

ASDU APPLICATION SERVICE DATA UNIT DATOS de APLICACIÓN			
DATA UNIT IDENTIFIER	DATA UNIT TYPE	TYPE IDENTIFICATION IDENTIFICACION TIPO	
IDENTIFICACION DATOS UNITARIOS	TIPO DATOS UNITARIOS	VARIABLE STRUCTURE QUALIFIER CALIFICADOR de la ESTRUCTURA VARIABLE	
		CAUSE OF TRANSMISION CAUSA de la TRANSMISION	✓ 1 Octeto
			✓ 2 Octetos
		COMMON ADDRES DIRECCION COMUN	✓ 1 Octeto
INFORMATION OBJECT OBJETO de INFORMACION			✓ 2 Octetos
		INFORMATION OBJECT ADDRES DIRECCION OBJETO de INFORMACION	✓ 1 Octeto
			✓ 2 Octetos
			✓ 3 Octetos
		SET OF INFORMATION ELEMENTS SET de INFORMACION de ELEMENTOS	
		TIME TAG OF INFORMATION OBJECT TIEMPO del OBJETO de INFORMACION	

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

3.8.2 Definición general ASDU

▪ IDENTIFICACION TIPO / TYPE IDENTIFICATION

IEC 870-5-101.

Es la identificación del tipo de la información que se envía a continuación.

La siguiente lista especifica los posibles valores.

Información de Proceso Dirección Monitor

<1> Contacto Simple sin Hora	M_SP_NA_1
<2> Contacto Simple con Hora (CP24Time2a)	M_SP_TA_1
<3> Contacto Doble sin Hora	M_DP_NA_1
<4> Contacto Doble con Hora (CP24Time2a)	M_DP_TA_1
<7> Bitstring de 32 bit sin Hora	M_BO_NA_1
<8> Bitstring de 32 bit con Hora (CP24Time2a)	M_BO_TA_1
<11> Medida Escalar sin Hora	M_ME_NB_1
<12> Medida Escalar con Hora (CP24Time2a)	M_ME_TB_1
<13> Medida en Coma Flotante sin Hora	M_ME_NC_1
<14> Medida en Coma Flotante con Hora (CP24Time2a)	M_ME_TC_1
<15> Contador sin Hora	M_IT_NA_1
<16> Contador con Hora (CP24Time2a)	M_IT_TA_1
<30> Contacto Simple con Hora (CP56Time2a)	M_SP_TB_1
<31> Contacto Doble con Hora (CP56Time2a)	M_DP_TB_1
<33> Bitstring de 32 bit con Hora (CP56Time2a)	M_BO_TB_1
<35> Medida Escalar con Hora (CP56Time2a)	M_ME_TE_1
<36> Medida en Coma Flotante con Hora (CP56Time2a)	M_ME_TF_1
<37> Contador con Hora (CP56Time2a)	M_IT_TB_1

Información de Proceso Dirección Control

<45> Mando Simple	C_SC_NA_1
<46> Mando Doble	C_DC_NA_1
<49> Consigna Escalar	C_SE_NB_1
<50> Consigna en Coma Flotante	C_SE_NC_1
<51> Bitstring de 32 bit	C_BO_NA_1

Información de Sistema Dirección Monitor

<70> Fin Inicialización	M_EI_NA_1
-------------------------	-----------

Información de Sistema Dirección Control

<100> Interrogación General	C_IC_NA_1
<101> Interrogación Contadores	C_CI_NA_1
<102> Lectura	C_RD_NA_1
<103> Sincronización	C_CS_NA_1
<104> Testeo	C_TS_NA_1
<105> Reset Proceso	C_RP_NA_1

Información de Parámetros Dirección Control

<111> Parámetros Medida Escalar	P_ME_NB_1
<112> Parámetros Medida en Coma Flotante	P_ME_NC_1

Transferencia de Ficheros

<120> Fichero Disponible	P_FR_NA_1
<121> Sección Disponible	P_SR_NA_1
<122> Demanda Directorio, Fichero, Sección y Selección Fichero	P_SC_NC_1
<123> Ultima Sección, Segmento	P_LS_NA_1
<124> Reconocimiento Fichero, Sección	P_AF_NA_1
<125> Segmento	P_SG_NA_1
<126> Directorio	P_DR_TA_1

▪ CALIFICADOR de la ESTRUCTURA VARIABLE / VARIABLE STRUCTURE QUALIFIER

IEC 870-5-101.

Especifica la estructura de la Información Objeto que se envía, si objetos de información ó elementos de un objeto de información.

Figura 18. Calificador de Estructura Variable

	8	7	6	5	4	3	2	1
CALIFICADOR ESTRUCTURA VARIABLE	SQ	NUMERO						

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

CALIFICADOR ESTRUCTURA VARIABLE

SQ Especifica el método de direccionamiento del set de elementos de la información de objeto enviada

<0> Por cada elemento de objeto de información viene especificada su dirección.

<1> Solo se especifica la dirección del primer elemento de objeto de información, los siguientes son las siguientes direcciones a la inicial.

NUMERO Es el numero de elementos de objetos de información enviados en el ASDU.

3.9 CAUSA DE LA TRANSMISION / CAUSE OF TRANSMISION

3.9.1 Configuración.

- 1 octeto

IEC 870-5-101 7.2.3.

Especifica por cada especifica ASDU la causa de la misma.

Por cada TIPO de IDENTIFICACION ó Petición tendrá diferentes valores.

Figura 19. Causa de Transmisión.

	8	7	6	5	4	3	2	1	
CAUSA de la TRANSMISION	T	P/N	CAUSA						✓ 1

Fuente: Protocolo IEC 60870 5 101

3.9.2 Causa de la transmisión.

T	Test
<0>	No Test
<1>	Si Test
P/N	Confirmación
	<0> Confirmación Positiva
	<1> Confirmación Negativa
CAUSA	Causa de la Transmisión.
	Se definirá por cada identificación tipo la causa.
	La siguiente lista especifica los posibles valores.
	<3> Espontaneo SPONT
	<4> Inicializado INIT
	<5> Petición REQ
	<6> Activación ACT
	<7> Confirmación Activación ACTCON
	<10> Terminación Activación ACTTERM
	<13> Transferencia del Fichero FILE
	<20> Petición Interrogación General
INROGEN	
	<37> Petición Interrogación Contadores
REQCOGEN	

3.10 DIRECCION COMUN / COMMON ADDRESS

3.10.1 Configuración.

- 1 octeto
- 2 octetos

IEC 870-5-101.

Igual que CAMPO DIRECCION del NIVEL de ENLACE.

3.11 DIRECCION OBJETO de INFORMACION / INFORMATION OBJECT ADDRES

3.11.1 Configuración.

- 1 octeto
- 2 octetos

IEC 870-5-101 7.2.5.

Es la dirección del Objeto de Información.

Para un mismo tipo, las direcciones deben ser contiguas, y se permiten:

Señales Contactos	(Simple Point ó de 1 Bit)
	(Double Point ó de 2 Bits)

Medidas	(Escalares)
	(En Coma Flotante)

Contadores	
Bistrings	(Información de Proceso) (Información de Control)
Mando	(Simple Point ó de 1 Bit) (Double Point ó de 2 Bits)
Consignas	(Escalares) (En Coma Flotante)
Parámetros	(Escalares) (En Coma Flotante)
Definición Mapa de Direcciones.	(Se deberá definir por cada tipo la dirección inicial y cuantas)

3.12 SET DE ELEMENTOS DE INFORMACION / SET OF INFORMATION ELEMENTS

IEC 870-5-101.

Pueden existir 3 tipos de información:

1. ELEMENTO SIMPLE de INFORMACION

El envío de información pertenece a un elemento simple, que estará asociado a la dirección objeto de información.

2. SECUENCIA de ELEMENTOS de INFORMACION

Se envía una secuencia de objetos de información, dando la dirección del primer objeto de información, después la información de los elementos a partir de la dirección dada.

3. COMBINACION de ELEMENTOS de INFORMACION

Se envía por cada elemento, su información completa, dirección e información.

3.13 ESTABLECIMIENTO DE LA COMUNICACIÓN

Para establecer la comunicación con cualquier equipo a partir del protocolo 60870-5-101 existen una cadena de procedimientos que deben seguirse y están previamente establecidos en el estandar IEC donde se describe el protocolo, a continuación se muestra un procedimiento para el mundo desbalanceado que es que se maneja en este proyecto.

Figura 20. Establecimiento de la comunicación.

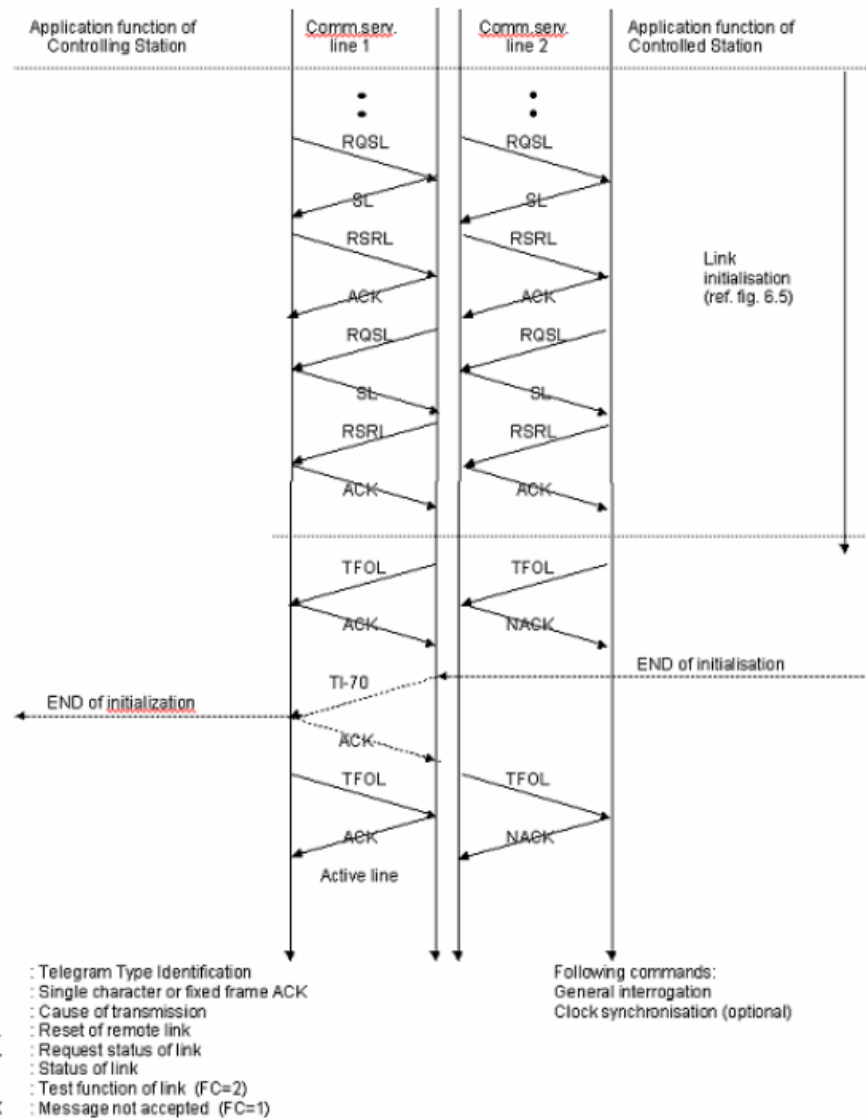


Fig 7.6 Initialisation of controlled station with redundant lines - balanced systems

Tomado del catalogo de 60870-5-101 para la RTU 560 A fabricante ABB.

4. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

4.1 INTRODUCCION

El desarrollo propuesto para este proyecto nace de la necesidad de la Electrificadora de Santander S.A de contar con herramientas que se integren fácilmente y de una forma practica, al proceso de automatización de la subestaciones de transmisión y distribución que se esta promoviendo dentro de la empresa.

En el siguiente capitulo se presenta el estado tecnológico, el desarrollo y la implementación de la herramienta software para una subestación piloto (S/E Bucaramanga), adicionalmente se mostraran apartes del desarrollo y una descripción del aporte realizado por este proyecto.

4.2 ESTADO DEL ARTE.

La Electrificadora de Santander ha emprendido un proceso de modernización de sus sistemas de información para las subestaciones de transmisión y distribución. Este proyecto involucra tareas de sustitución de tecnología en ítem tales como: reles de protección, motorización de los seccionadores, transductores, equipos de comunicación. Por otro lado también se esta avanzando en lo que a medios de comunicaciones y software de supervisión se refiere. Todo esto encaminado a la búsqueda de mayor calidad en la prestación del servicio y una optimización en el uso de los recursos, reduciendo costos y aumentando la productividad.

Uno de los pasos mas grandes se da con la compra de las RTU's para las subestaciones de 230kV (Bucaramanga, Palos, Termobarranca) y 115kV (Palenque, Lizama, Barbosa, San Silvestre, San Gil, Cimitarra, Sabana de Torres) Esto reduce un la brecha tecnológica entre una subestación operable y supervisable remotamente y una subestación que no lo es.

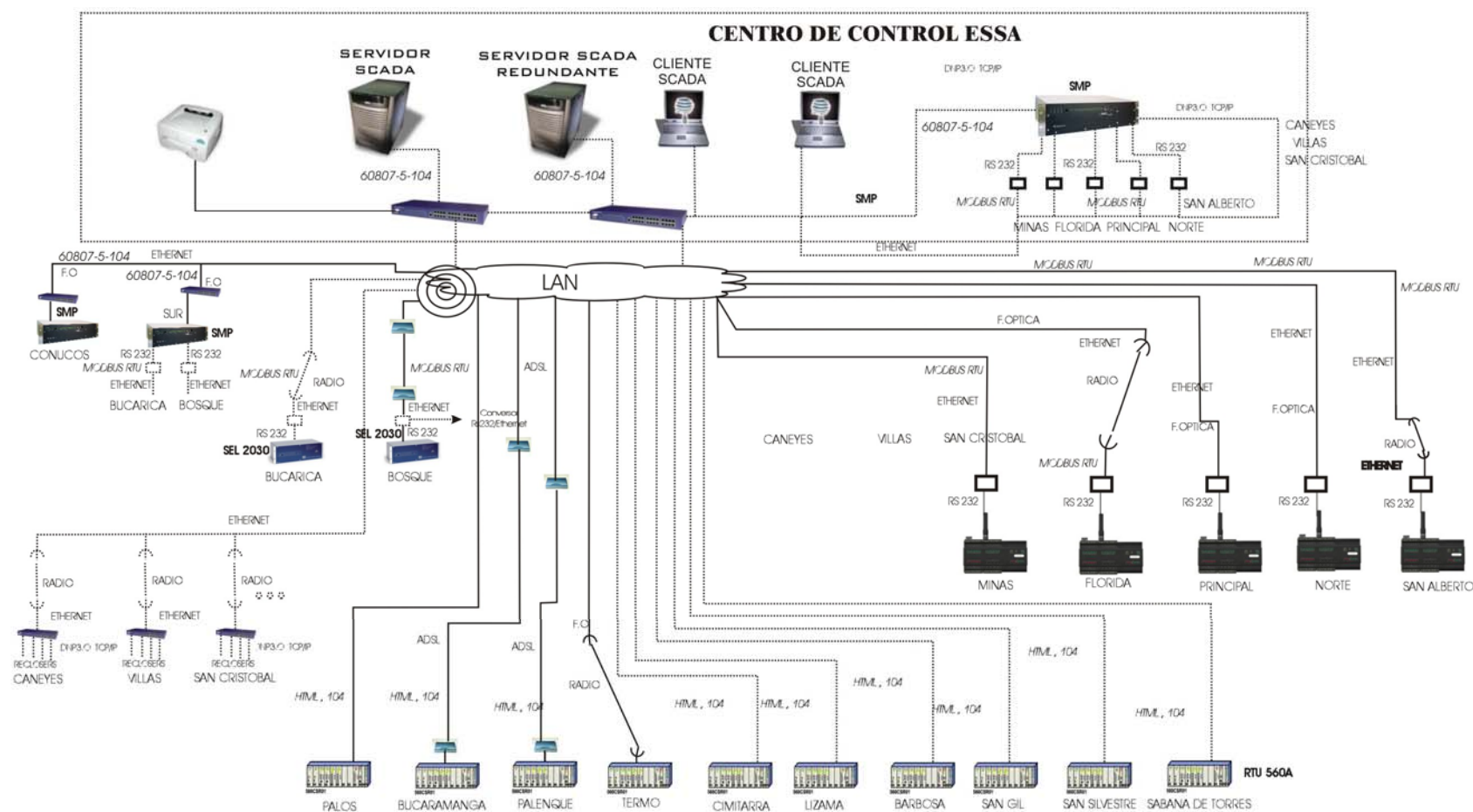
Los equipos adquiridos son de la familia de las RTU's 560 A del fabricante ABB, y fueron seleccionados bajo directrices como: escalabilidad, flexibilidad, confiabilidad y calidad. Garantizado así la completa satisfacción de las necesidades en cuanto automatización se refiere.

El sistema de información y operación que se esta intentando implementar en la empresa Electrificadora de Santander se presenta en la figura 27, en ella se puede observar una configuración de servidores y switches redundantes para el centro de control y terminales de gestión y supervisión. Se planea unificar todo el intercambio de información bajo protocolos de la familia IEC 60870, los medios de comunicación se encuentran fuertemente ligados con la geografía del sistema de información, es por esto que los medios de comunicación serán variados. Esta propuesta no es definitiva y puede estar sujeta a modificaciones, pero sirve como lineamiento para las futuras implementaciones.

La herramienta propuesta busca solucionar una necesidad de monitorización local por parte de los operadores de la subestación, ya que actualmente se dispone de una gran infraestructura para ello, es decir un computador personal local para la supervisión y equipos de adquisición de la información (RTU). Todo esto permite mejorar el proceso de supervisión sobre la subestación, al conocer de forma precisa e instantánea todo lo referente a medidas, estados operativos de los equipos de patio, alarmas y toda la demás información recolectada por la RTU.

Figura 21. Configuración proyectada para el sistema de supervisión y operación de la ESSA.

Fuente: Departamento de Protecciones Electrificadora de Santander



4.3 ESQUEMA DE ADQUISICION

La herramienta propuesta presenta una solución para la supervisión de forma punto a punto, lo que no quiere decir que sea simplemente de forma local, es decir que la herramienta puede supervisar una subestación que se encuentre localizada a distancia si se tiene un canal de comunicación dedicado solo para este fin, como se plantea en la figura 22b, donde se pueden observar las dos configuraciones posibles, la adquisición remota a través de un canal dedicado y la adquisición local a través de un PC en sitio. Estas arquitecturas están definidas principalmente por el protocolo de comunicaciones 60870-5-101, que es el implementado para esta aplicación. Como se mencionó en el Capítulo 2 este es un protocolo muy completo y de altas prestaciones en cuanto a velocidad de transmisión y simpleza de las tramas, haciéndose ideal para aplicaciones de esta naturaleza.

El esquema usado para desarrollo de la prueba piloto es el mostrado en la figura 22a. debido a que en estos momentos tal y como se están planteando los esquemas de comunicación para la ESSA, un canal de comunicación dedicado sería muy costoso¹, ya que por el mismo canal de comunicación se está llevando voz, Datos y video. Es por esto que el protocolo de comunicación que se proyecta para la conexión con las subestaciones es 60870-5-104, el cual se puede habilitar sobre una plataforma Ethernet, sujeto a condiciones implícitas de congestión, confiabilidad

¹ Existen equipos que permiten multiplexar datos, video y voz, evitando el uso de canales dedicados pero el costo de estos equipos es elevado, y puede llegar a no ser muy flexible.



a. Localizados en el mismo punto geografico



b. Comunicación de forma remota.

Figura 22. Esquema de comunicación punto a punto.

Fuente: Autor

4.4. DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

La herramienta software propuesta fue desarrollada sobre plataforma JAVA, ofreciendo algunas ventajas en la implementación, las cuales serán expuestas mas adelante. La herramienta permite supervisar básicamente los estados operativos de los equipos de patio, alarmas y eventos. A través de un mímico, adicionalmente se cuenta con el monitoreo de tramas y trafico de la red durante el intercambio de información entre el PC y la RTU.

Para el desarrollo de la herramienta fue necesario trabajar fuertemente sobre tres aspectos fundamentales:

- **Fundamentación de programación en java :** para el desarrollo de la herramienta fue necesario Se adquirieron bases en el manejo de:
 - o *Conceptos básicos en programación JAVA*, etapa crucial para el desarrollo de la herramienta, fundamentándose en la programación orientada a objetos, manejo de archivos e hilos de proceso, entre otros.
 - o *Paquetes de comunicación serial en JAVA*, esto se hace necesario con el fin de controlar los puertos de comunicación RS232 del PC, el flujo de intercambio de datos y el manejo de excepciones que se pueden presentar durante la comunicación.
 - o *Paquetes gráficos*, indispensable para el desarrollo de una interfaz hombre maquina, desde donde se maneja la herramienta, y se tiene acceso al mímico y la visualización de las tramas.
- **Protocolo de comunicación 60870-5-101:** El conocimiento completo de los requerimiento técnicos y funcionales del protocolo, se hacen necesarios para este tipo de desarrollos, permitiendo así aprovechar todas las prestaciones de esta tecnología.
- **Administración y programación en RTU`s 560 A:** El dominio de estos equipos se hace indispensable para la implementación, ya que es necesario programar los equipos para la comunicación, así como conocer su estructura interna y organización de la información, para ser accesada desde el PC a través de la herramienta.

4.4.1 Funcionamiento de la herramienta.

La herramienta inicia la comunicación por orden del usuario, desde el botón de inicio, automáticamente se establece la comunicación con los parámetros previamente configurados todo este procedimiento se amplía en el anexo 1. Después de dar inicio a la comunicación, la herramienta procede a abrir el puerto del PC configurado previamente, posterior a la confirmación positiva del establecimiento del canal por parte de la RTU, se proceden a enviar las tramas para el establecimiento de la comunicación, tal y como se plantea en el capítulo 3 posterior al envío de las tramas para de comunicación propias del protocolo, se envía una interrogación general, permitiendo conocer el estado de todas las variables en el momento de establecer la comunicación. Con esto se finaliza todo el proceso para una conexión con la RTU 560 A a través de la herramienta propuesta, finalizando la inicialización la herramienta queda a la escucha de cualquier evento, alarma o medida de que RTU envía, vigilando siempre la existencia de la comunicación, a través de tramas de prueba periódicas. Todos los datos recibidos son actualizadas de forma correspondiente sobre el mimico, y las tramas de los mensajes y interpretación se muestra sobre la pantalla de trafico.

4.4.2 Análisis de tramas

Como se mencionó, la herramienta permite visualizar el flujo de información entre el PC y la RTU, en la Figura 23 se muestra como se presentan las tramas del protocolo de comunicación y la interpretación.

Figura 23. Visualización de tramas de medidas.

```

interrogacion general termo - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
<<D 13|M_ME_NC_1|"measured value, short floating point number"
<<D VSQ [sq, N=8], [cot=3|spont|"expontáneo", tst pn]
<<D CA= 1
<<D IOA= 3556
<<D R32 (IEEE Std 754)=0x43a74ccd|334.600006
<<D QDS [iv nt sb bl ov]
<<D IOA= 3563
<<D R32 (IEEE Std 754)=0x446c6000|945.500000
<<D QDS [iv nt sb bl ov]
<<D IOA= 3559
<<D R32 (IEEE Std 754)=0x432a4ccd|170.300003
<<D QDS [iv nt sb bl ov]
<<D IOA= 3558
<<D R32 (IEEE Std 754)=0x439c4ccd|312.600006
<<D QDS [iv nt sb bl ov]
<<D IOA= 3557
<<D R32 (IEEE Std 754)=0x43a2cccd|325.600006
<<D QDS [iv nt sb bl ov]
<<D IOA= 3560
<<D R32 (IEEE Std 754)=0x42960000|75.000000
<<D QDS [iv nt sb bl ov]
<<D IOA= 3529
<<D R32 (IEEE Std 754)=0x4369b48b|233.705246
<<D QDS [iv nt sb bl ov]
<<D IOA= 3531
<<D R32 (IEEE Std 754)=0x4369b48b|233.705246
<<D QDS [iv nt sb bl ov]
<<D 05-09-21 15:35:24.765
C>> 0x10 0x5b 0x01 0x5c 0x16 | [ \
C>> [PRM fcb FCV, Func=11|request user data class 2] LA= 1
<<D 05-09-21 15:35:25.486
<<D 0x68 0x3f 0x3f 0x68 0x08 0x01 0x0d 0x08 0x03 0x01 | h??h
<<D 0x00 0xc4 0x0d 0x41 0x95 0x51 0x43 0x00 0xc7 0x0d | A QC
<<D 0x21 0xd4 0x9c 0xc2 0x00 0xc6 0x0d 0xfa 0xad 0x55 | ! U
<<D 0x43 0x00 0xc5 0x0d 0xca 0xdf 0x57 0x43 0x00 0xc1 | C WC
<<D 0x0d 0x0d 0xad 0x66 0x43 0x00 0xc2 0x0d 0x76 0x3d | fC v=
<<D 0x69 0x43 0x00 0xc8 0x0d 0xf7 0xdd 0x15 0xc2 0x00 | fC
<<D 0xbd 0x0d 0x68 0xe5 0x61 0x42 0x00 0x44 0x16 | h aB D

```

Fuente: Autor

En la figura se muestra el análisis de una trama de medidas donde cada una esta identificada por su respectiva IOA (Dirección de objeto de información), identificador único para cada una de las señales de la subestación. Por ejemplo la sección resaltada en la figura 23 muestra una medida en formato

IEEE 754², con IOA 3529 con sus respectivos calificadores de calidad (iv, nt, sb, bl, ov,) propios de cada señal, esto garantiza que el dato es confiable.

Figura 24. Trama de estados.

```

interrogacion general termo - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
<<D 05-09-21 15:35:32.790
<<D 0x68 0x0a 0x0a 0x68 0x28 0x01 0x64 0x01 0x07 0x01 | h h( d
<<D 0x00 0x00 0x00 0x14 0xaa 0x16
<<D [prm ACD dFC, Func=8|user data] LA= 1
<<D 100|C_IC_NA_1|"interrogation command"
<<D VSQ [SQ, N=1], [COT=7|actcon|"activation confirmation", tst pn]
<<D CA= 1
<<D IOA= 0
<<D QOI=20|Station interrogation (global)
<>> 05-09-21 15:35:32.805
<>> 0x10 0x5a 0x01 0x5b 0x16 | Z [
<>> [PRM fcb FCV, Func=10|Request user data class 1] LA= 1
<<D 05-09-21 15:35:33.141
<<D 0x68 0x15 0x15 0x68 0x28 0x01 0x01 0x8c 0x14 0x01 | h h(
<<D 0x00 0x11 0x08 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
<<D 0x00 0x01 0x01 0x01 0x00 0xe7 0x16
<<D [prm ACD dFC, Func=8|user data] LA= 1
<<D 1|M_SP_NA_1|"single-point information"
<<D VSQ [SQ, N=12], [COT=20|inrogen|"interrogated by station interrogation", tst pn]
<<D CA= 1
<<D IOA= 2065
<<D SIQ [SPI=0|off, iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2066)
<<D SIQ [SPI=0|off, iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2067)
<<D SIQ [SPI=0|off, iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2068)
<<D SIQ [SPI=0|off, iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2069)
<<D SIQ [SPI=0|off, iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2070)
<<D SIQ [SPI=0|off, iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2071)
<<D SIQ [SPI=0|off, iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2072)
<<D SIQ [SPI=0|off, iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2073)
<<D SIQ [SPI=1|on , iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2074)
<<D SIQ [SPI=1|on , iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2075)
<<D SIQ [SPI=1|on , iv nt sb bl]
<<D (IOA= 2076)

```

Fuente: Autor

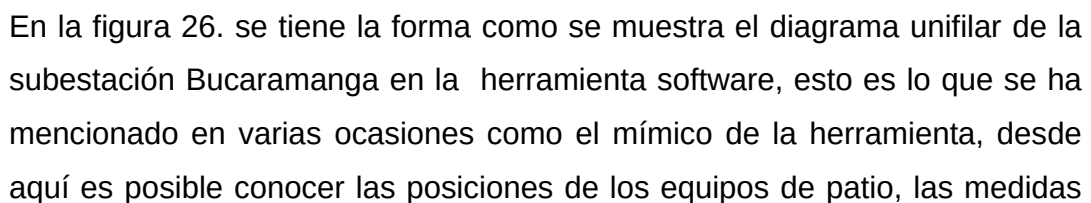
De esta forma es como se presenta la trama correspondiente a una señal tipo 1 (lo que es igual a una señal que puede tomar un valor on, off, pie de pagina), las cuales corresponden a alarmas, eventos o simplemente indicaciones. En este tipo se cuenta con un IOA para cada una de las señales, pero aquí el valor que toma la señal es ON o OFF. Adicionalmente cuenta con sus calificadores de calidad.

² Este formato corresponde a indentificador numero 13 el cual se describe en el estandar del protocolo.

4.4.3 Visualización

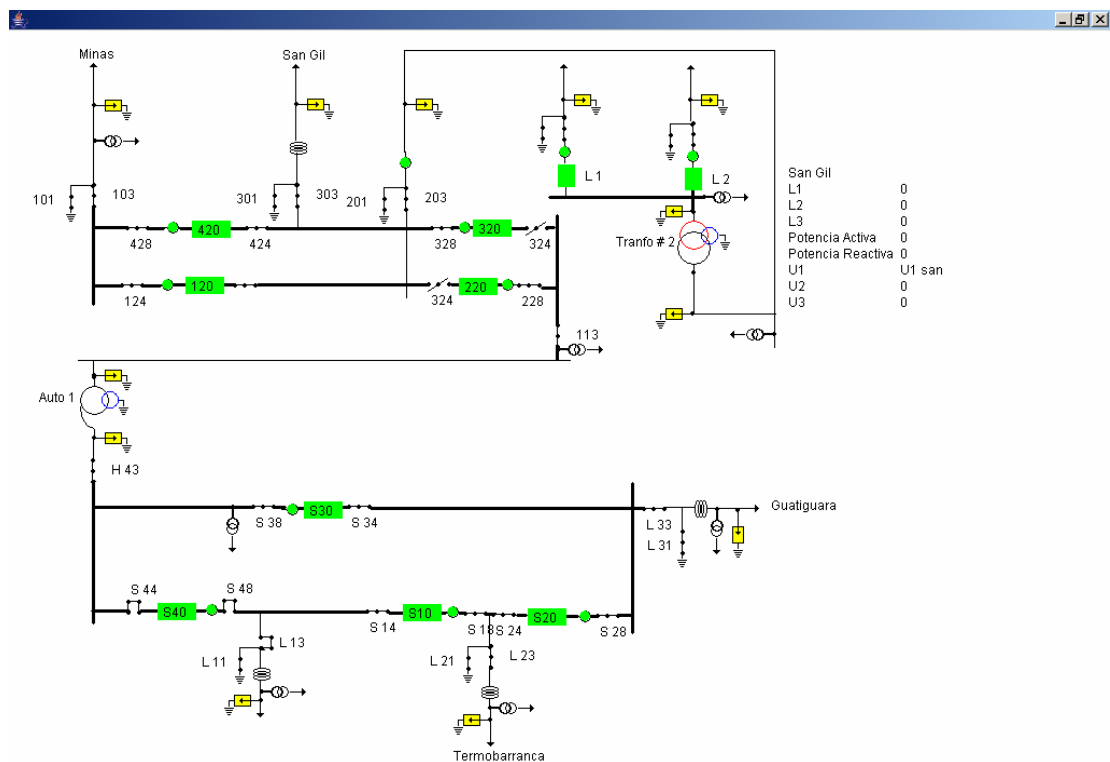
La visualización o el manejo se realiza a través de un mímico donde se presenta el diagrama unifilar de la subestación. Con el fin de mostrar una aplicación puntual de la propuesta se Eligio montar como prueba piloto la subestación Bucaramanga, la cual es de gran importancia para la Electrificadora, ya que a través de esta se interconecta la ciudad de Barrancabermeja y el anillo de 230kV que alimenta parte del Norte de Santander, en esta instalación podemos encontrar 4 niveles de tensión 230,115,34.5 y 13.8 kV . El diagrama unifilar se muestra en la Figura 31.

Fuente: Departamento de Protecciones Electrificadota de Santander



de cada bahía y los eventos, alarmas o indicaciones. Las medidas se obtienen haciendo clic sobre el nombre de la líneas que se quiera saber los datos, obteniendo información sobre las tensiones, corrientes, potencias activas y reactivas. Esta información se ampliará en el anexo denominado manual de la herramienta.

Figura 26. Herramienta software desarrollada.



Fuente: Autor

4.5 ¿Porque se uso JAVA?

Las características principales que nos ofrece Java respecto a cualquier otro lenguaje de programación, son:

4.5.1 Simplicidad. Java ofrece toda la funcionalidad de un lenguaje potente, pero sin las características menos usadas y más confusas de éstos. C++ es un lenguaje que adolece de falta de seguridad pero C y C++ son lenguajes más difundidos, por ello Java se diseñó para ser parecido a C++, facilitando un rápido aprendizaje.

4.5.2 Orientado a objetos. Java implementa la tecnología básica de C++ con algunas mejoras y elimina algunas cosas para mantener el objetivo de la simplicidad del lenguaje. Java trabaja con sus datos como objetos y con interfaces a esos objetos. Soporta las tres características propias del paradigma de la orientación a objetos: encapsulación, herencia y polimorfismo. Las plantillas de objetos son llamadas, como en C++, clases y sus copias, instancias. Estas instancias, como en C++, necesitan ser construidas y destruidas en espacios de memoria.

Java incorpora funcionalidades inexistentes en C++ como por ejemplo, la resolución dinámica de métodos. Esta característica deriva del lenguaje Objective C, propietario del sistema operativo Next. En C++ se suele trabajar con librerías dinámicas (DLL's) que obligan a recompilar la aplicación cuando se retocan las funciones que se encuentran en su interior. Este inconveniente es resuelto por Java mediante una interfaz específica llamada RTTI (RunTime Type Identification) que define la interacción entre objetos excluyendo variables de instancias o implementación de métodos. Las clases en Java tienen una representación en el runtime que permite a los

programadores interrogar por el tipo de clase y enlazar dinámicamente la clase con el resultado de la búsqueda.

4.5.3 Distribuido. Java se ha construido con extensas capacidades de interconexión TCP/IP. Existen librerías de rutinas para acceder e interactuar con protocolos como http y ftp. Esto permite a los programadores acceder a la información a través de la red con tanta facilidad como a los ficheros locales.

La verdad es que Java en sí no es distribuido, sino que proporciona las librerías y herramientas para que los programas puedan ser distribuidos, es decir, que se corran en varias máquinas, interactuando.

4.5.4 Robusto. Java realiza verificaciones en busca de problemas tanto en tiempo de compilación como en tiempo de ejecución. La comprobación de tipos en Java ayuda a detectar errores, lo antes posible, en el ciclo de desarrollo. Java obliga a la declaración explícita de métodos, reduciendo así las posibilidades de error. Maneja la memoria para eliminar las preocupaciones por parte del programador de la liberación o corrupción de memoria.

4.5.5 Java proporciona.

- Comprobación de punteros
- Comprobación de límites de arrays
- Excepciones
- Verificación de byte-codes

4.5.6 Arquitectura neutral. Para establecer Java como parte integral de la red, el compilador de Java, compila su código a un fichero objeto de formato independiente de la arquitectura de la máquina en que se ejecutará. Cualquier máquina que tenga el sistema de ejecución (run-time) puede ejecutar ese código objeto, sin importar en modo alguno la máquina en que ha sido generado. Actualmente existen sistemas run-time para Solaris 2.x, SunOs 4.1.x, Windows 95, Windows NT, Linux, Irix, Aix, Mac, Apple y probablemente haya grupos de desarrollo trabajando en el porting a otras plataformas.

En ella podemos ver que lo verdaderamente dependiente del sistema es la Máquina Virtual Java (JVM) y las librerías fundamentales, que también nos permitirían acceder directamente al hardware de la máquina. Además, habrá APIs de Java que también entren en contacto directo con el hardware y serán dependientes de la máquina, como ejemplo de este tipo de APIs podemos citar:

- Java 2D: gráficos 2D y manipulación de imágenes
- Java Media Framework : Elementos críticos en el tiempo: audio, video...
- Java Animation: Animación de objetos en 2D
- Java Telephony: Integración con telefonía
- Java Share: Interacción entre aplicaciones multiusuario
- Java 3D: Gráficos 3D y su manipulación

4.5.7 Seguro. La seguridad en Java tiene dos facetas. En el lenguaje, características como los punteros o el casting implícito que hacen los compiladores de C y C++ se eliminan para prevenir el acceso ilegal a la memoria. Cuando se usa Java para crear un navegador, se combinan las características del lenguaje con protecciones de sentido común aplicadas al propio navegador.

4.5.8 Portable. Más allá de la portabilidad básica por ser de arquitectura independiente, Java implementa otros estándares de portabilidad para facilitar el desarrollo. Los enteros son siempre enteros y además, enteros de 32 bits en complemento a 2. Además, Java construye sus interfaces de usuario a través de un sistema abstracto de ventanas de forma que las ventanas puedan ser implantadas en entornos Unix, Pc o Mac.

4.5.9 Interpretado. El intérprete Java (sistema run-time) puede ejecutar directamente el código objeto. Enlazar (linkar) un programa, normalmente, consume menos recursos que compilarlo, por lo que los desarrolladores con Java pasarán más tiempo desarrollando y menos esperando por el ordenador. No obstante, el compilador actual del JDK es bastante lento. Por ahora, que todavía no hay compiladores específicos de Java para las diversas plataformas, Java es más lento que otros lenguajes de programación, como C++, ya que debe ser interpretado y no ejecutado como sucede en cualquier programa tradicional.

4.5.10 Multithreaded. Al ser multithreaded (multihilvanado, en mala traducción), Java permite muchas actividades simultáneas en un programa. Los threads (a veces llamados, procesos ligeros), son básicamente pequeños procesos o piezas independientes de un gran proceso. Al estar los

threads contruidos en el lenguaje, son más fáciles de usar y más robustos que sus homólogos en C o C++.

El beneficio de ser multithreaded o multihilo consiste en un mejor rendimiento interactivo y mejor comportamiento en tiempo real. Aunque el comportamiento en tiempo real está limitado a las capacidades del sistema operativo subyacente (Unix, Windows, etc.), aún supera a los entornos de flujo único de programa (single-threaded) tanto en facilidad de desarrollo como en rendimiento.

4.6 ALGUNAS LIMITANTES

- La velocidad. La velocidad seria critica en la detección de un estado de una alarma, cual seria el tiempo de respuesta y las posibles consecuencias de su no oportuna detección
- Los programas hechos en Java no tienden a ser muy rápidos, supuestamente se está trabajando en mejorar esto. Como los programas de Java son interpretados nunca alcanzan la velocidad de un verdadero ejecutable.
- Java es un lenguaje de programación. Esta es otra gran limitante, por más que digan que es orientado a objetos y que es muy fácil de aprender sigue siendo un lenguaje y por lo tanto aprenderlo no es cosa fácil. Especialmente para los no programadores.
- Java es nuevo. En pocas palabras todavía no se conocen bien todas sus capacidades.

Pero en general Java posee muchas ventajas y se pueden hacer cosas muy interesantes con esto. Hay que prestar especial atención a lo que está sucediendo en el mundo de la computación, a pesar de que Java es

relativamente nuevo, posee mucha fuerza y es tema de moda en cualquier medio computacional.

CONCLUSIONES

- Las salidas de campo constituyen un medio que permite confrontar lo abstracto de un libro con lo que existe en la realidad, ofreciendo una visión más clara de cómo se relacionan los conceptos teóricos con la práctica.
- La cooperación entre la Universidad y la Industria es de vital importancia para el desarrollo de proyectos educativos en beneficio de las partes.
- La herramienta ofrece resultados confiables en los datos tomados punto a punto de la RTU, para observar lo que está sucediendo en la subestación que se esta visualizando.
- La herramienta desarrollada permite a una menor exposición del operador a ambientes peligrosos para salvaguardar su integridad física.
- La integración de diferentes elementos de programación ofrece resultados de muy buenas características, tales como presentación, modularidad, facilidad de uso, compatibilidad entre otras, las cuales incidirán en beneficio de los usuarios de la herramienta.
- Se desarrollo una herramienta software de fácil manejo para ser utilizada en las diferentes subestaciones donde existe RTU para la extracción de las medias y estados.

- El lenguaje JAVA es de libre circulación, atractivo para el desarrollo de proyectos de grado por ofrecer versatilidad en el manejo de redes. Adicionalmente, ofrece facilidades para el manejo de puertos, de velocidades y todas las variables necesarias para poder hacer una aplicación software como la que se llevo acabo.
- La herramienta permite la interpretación de las tramas enviadas por la RTU, este flujo de información se visualiza en una pantalla adjunta para confrontar los datos mostrados en el diagrama unifilar, siendo objetivo primordial de esta herramienta.
- La herramienta propuesta busca solucionar una necesidad de la monitorización local por parte de los operadores de la subestación. Todo esto permite mejorar el proceso de supervisión sobre la subestación, al conocer de forma precisa las medidas, estados operativos de los equipos de patio, alarmas y toda la demás información recolectada por la RTU.

RECOMENDACIONES

- Dado el carácter modular de la herramienta, se recomienda la expansión de esta en las diferentes subestaciones para facilitar el manejo de la subestación eléctrica (de la subestación o del sistema de transmisión y distribución).
- Para la continuidad y difusión de este tipo de herramientas, sería idóneo que la Escuela incluyera en el programa académico un curso de programación basada en objetos bajo lenguajes como JAVA, MS Visual Basic™.
- Habilitar el funcionamiento en red de la herramienta, para permitir la interacción entre los diferentes usuarios.
- En beneficio del proceso de aprendizaje de los estudiantes de la Escuela y la Universidad, se propone motivar y extender la ejecución de este tipo de herramientas gráficas a nivel pedagógico, como elementos de valor agregado al desarrollo de las asignaturas.
- Estudiar en las diferentes asignaturas dadas por la escuela protocolos de comunicación mas aplicables en la actualidad para tener una mejor visión de lo que se esta utilizando en la actualidad en la industria.

BIBLIOGRAFIA

MILLER, M.G. Modern Electronic Communication. Nueva Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1993.

OPPENHEIM, A.V. y SHAFER, R. W., "Digital Signal Processing", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, 1975.

PERSONICK, S.D., "Optical Fiber Transmission Systems", Plenum Press, Nueva York, 1983.

VINOO S., Warriar, "Java based implementation of Communication Protocol Stacks for Utility Industry", Houston, 2004.

SERNA SILVA, Milthon , " Modelagem das fucoes de uma subestacao automatizada empregando modelos orientados ", Sao Pablo 2002.

IEC, "Protocolo IEC 60870 5 101", Estándar 1995 y revisado 2002

BRICEÑO MÁRQUEZ, José. Transmisión de datos", Mérida 1990.

F. Gonzalo Ortiz, "Las comunicaciones en el Telecontrol en Redes Eléctricas: Aplicación de Técnicas Formales de Especificación". Tesis Doctoral, Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Sevilla, 1993.

A. V. Medina Rodríguez, “Aplicación de las Técnicas de Descripción Formal al Análisis e Implementación de Protocolos de Telecontrol de Redes Eléctricas” Tesis doctoral, Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Sevilla, 1998.

J. Rios. “Introducción a SDH”. ASINEL- Primeras Jornadas “Impacto de las Nuevas Telecomunicaciones sobre los Servicios de las Empresas Electricas”. Madrid, Junio de 1997.

ANEXO No. 1
MANUAL DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

INTRODUCCIÓN

La herramienta software fue concebida como un apoyo pedagógico para la asignatura de Protecciones de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones adscrita a la Universidad Industrial de Santander y para el departamento de mantenimiento de subestaciones en el área de protecciones de la Electrificadota de Santander S.A., en busca de facilitar el monitoreo por parte del personal encargado de la subestación mediante una interfaz gráfica amena y de fácil uso, realizar un seguimiento permanente de sus estados y medidas, y apreciar por medio de la herramienta el comportamiento de la subestación.

A. 1. REQUERIMIENTOS

Los requerimientos mínimos para la instalación de la herramienta son:

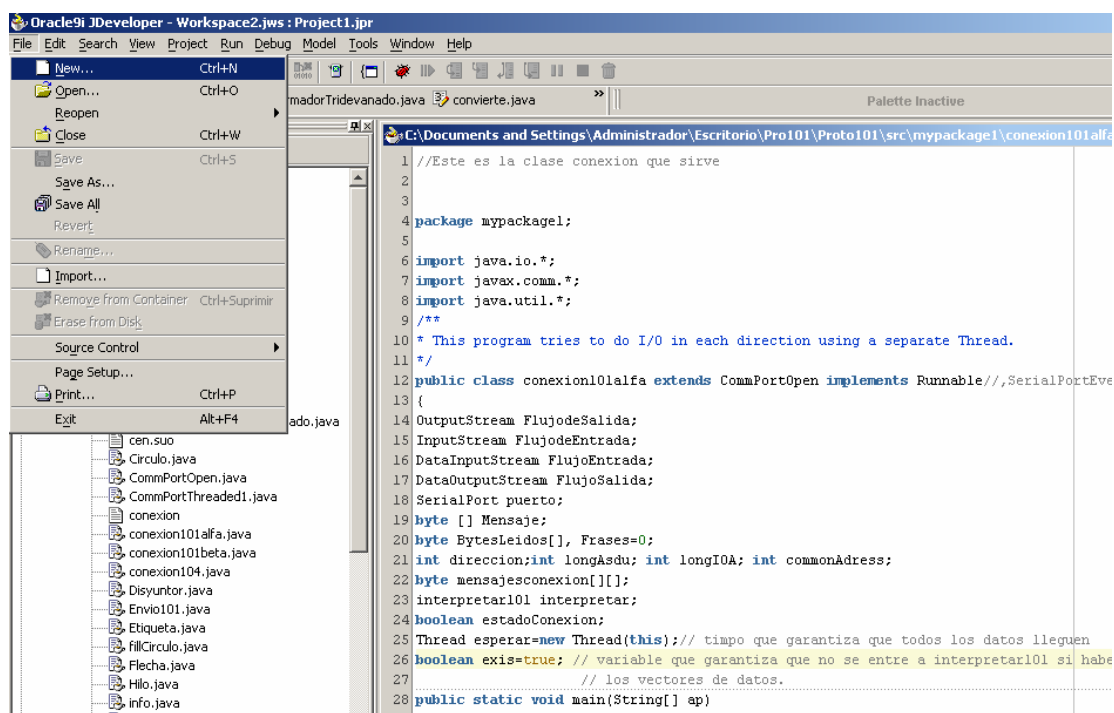
- Sistema operativo MS Windows XP™
- Memoria RAM de 256 Mb
- Espacio disponible en disco duro de 20 Mb

Se recomienda para una presentación óptima una resolución en pantalla de 1024 por 768 píxeles.

Se requiere tener instalado el JAVA que es el software donde esta soportado la herramienta software.

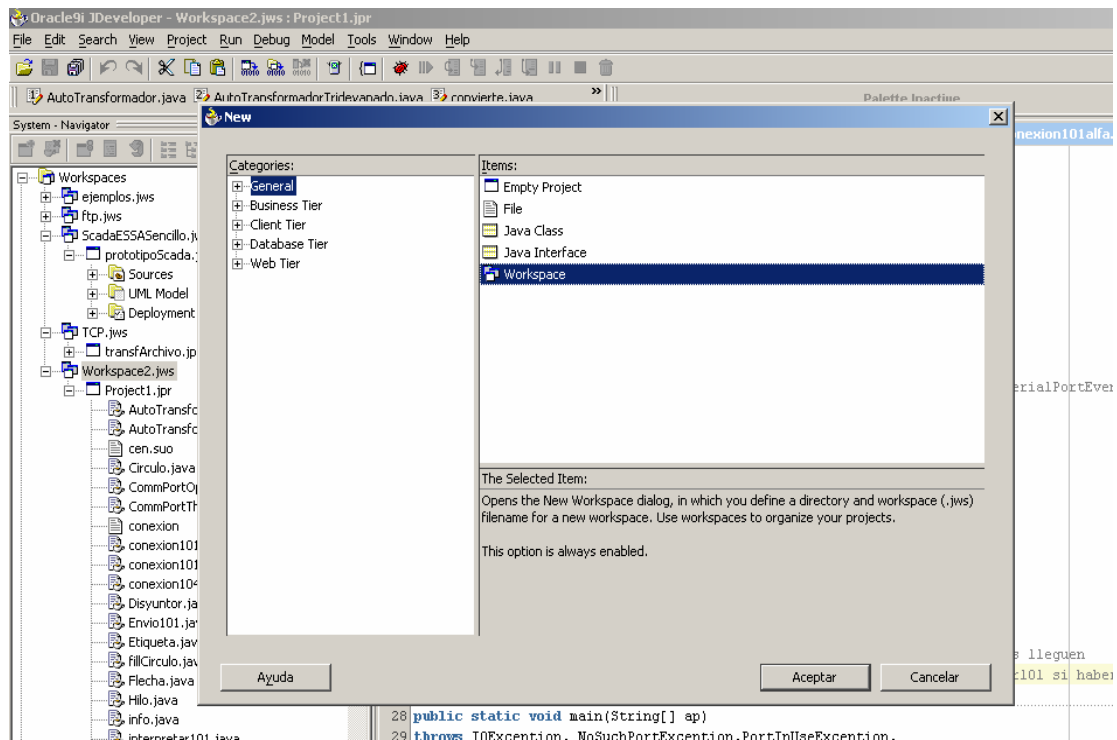
A.2. INSTALACIÓN DE LA HERRAMIENTA

Introduzca el disco compacto (CD) con la etiqueta Herramienta software en la unidad de CD del equipo. Revise el contenido del CD, y al encontrar un archivo llamado Pro101 el cual contiene todas las carpetas necesarias para el análisis de las tramas enviadas por la RTU, haga click sobre él para copiarlo y pasarlo a la carpeta en el escritorio. En seguida se abre el programa de JAVA para poder comenzar con la instalación pertinente, aparecerá una pantalla de esta forma la cual se abre file y se da click en New para poder empezar con la instalación de las clases necesarias



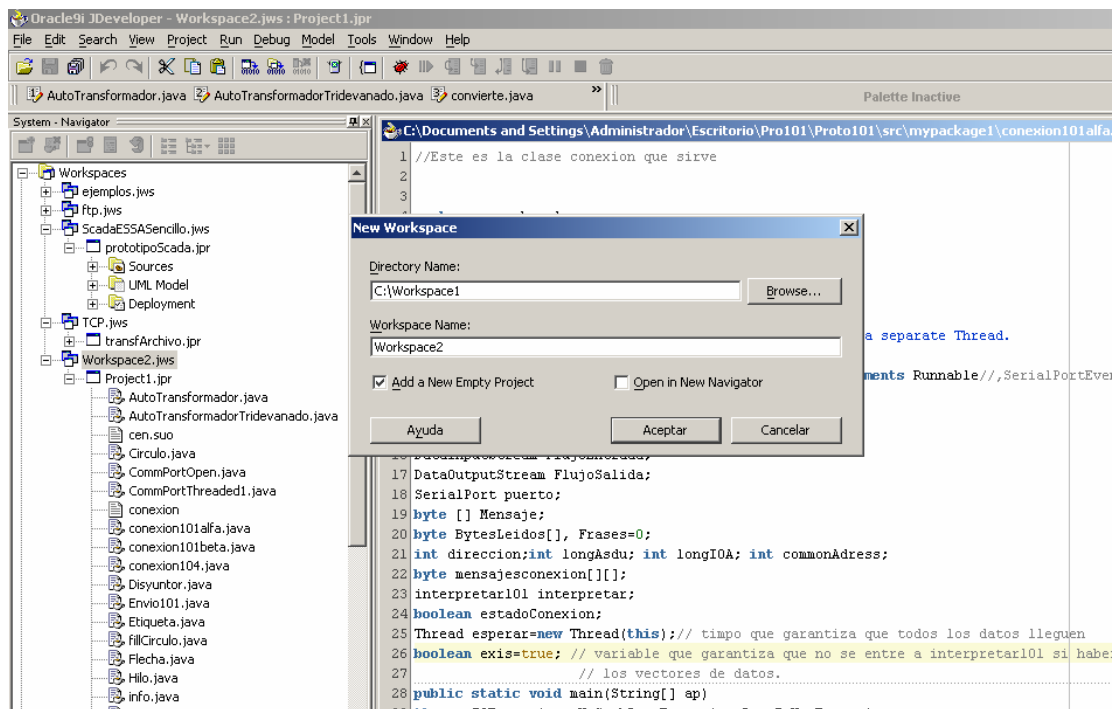
Fuente: Autor

A continuación se despliega esta pantalla se da clic en le en el ítem mostrado en la figura el cual se creara un nuevo espacio de trabajo



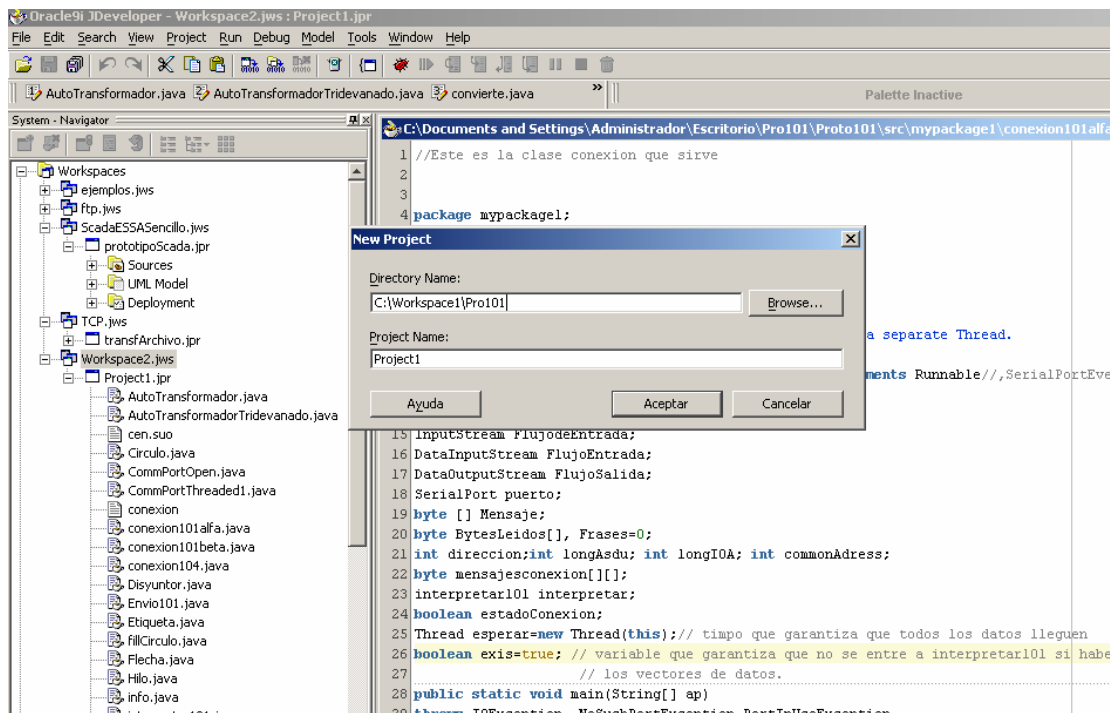
Fuente: Autor

Al darle aceptar se desplegara una pantalla de la siguiente forma la cual se le da el nombre que se quiere para el nuevo espacio de trabajo. Este nuevo espacio se nombra en la casilla correspondiente a Nombre del directorio y enseguida se le da aceptar para poder continuar con el procedimiento



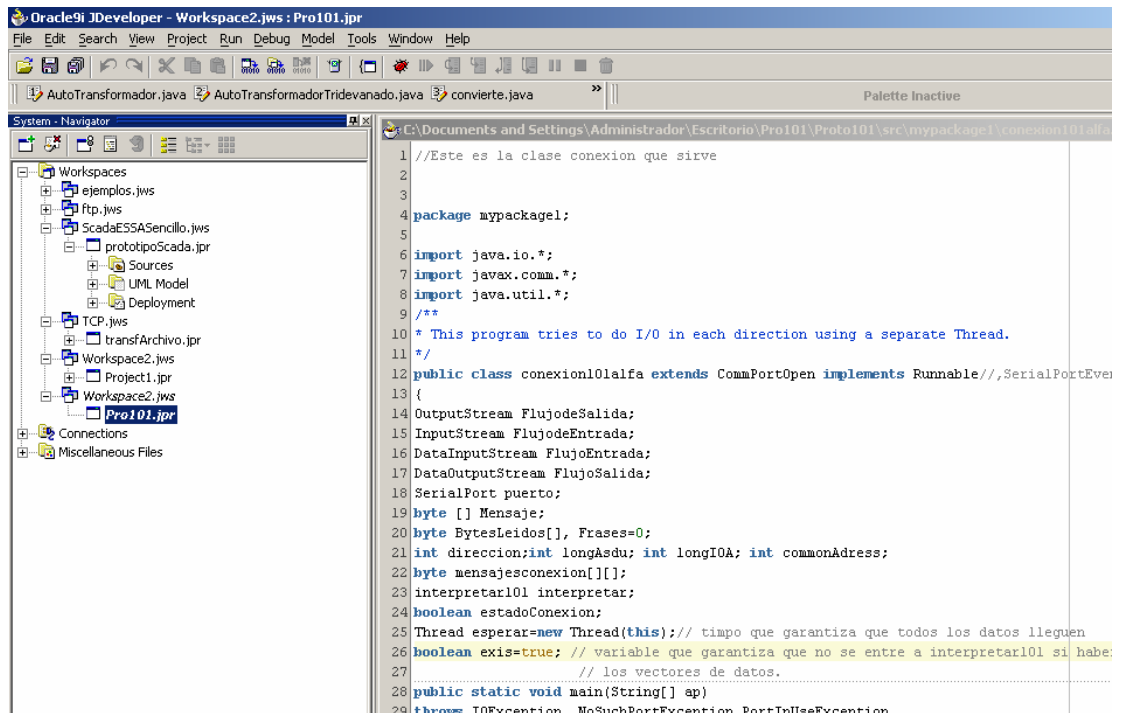
Fuente: Autor

Después de darle aceptar se despliega una pantalla como la que estamos viendo en la figura. Aquí se le da el nombre al directorio y al nuevo proyecto que vamos a crear en este caso se nombra Pro101 para poder dar a entender que es del protocolo 101 en el nombre del directorio y en el nombre del proyecto lo dejamos como Project1



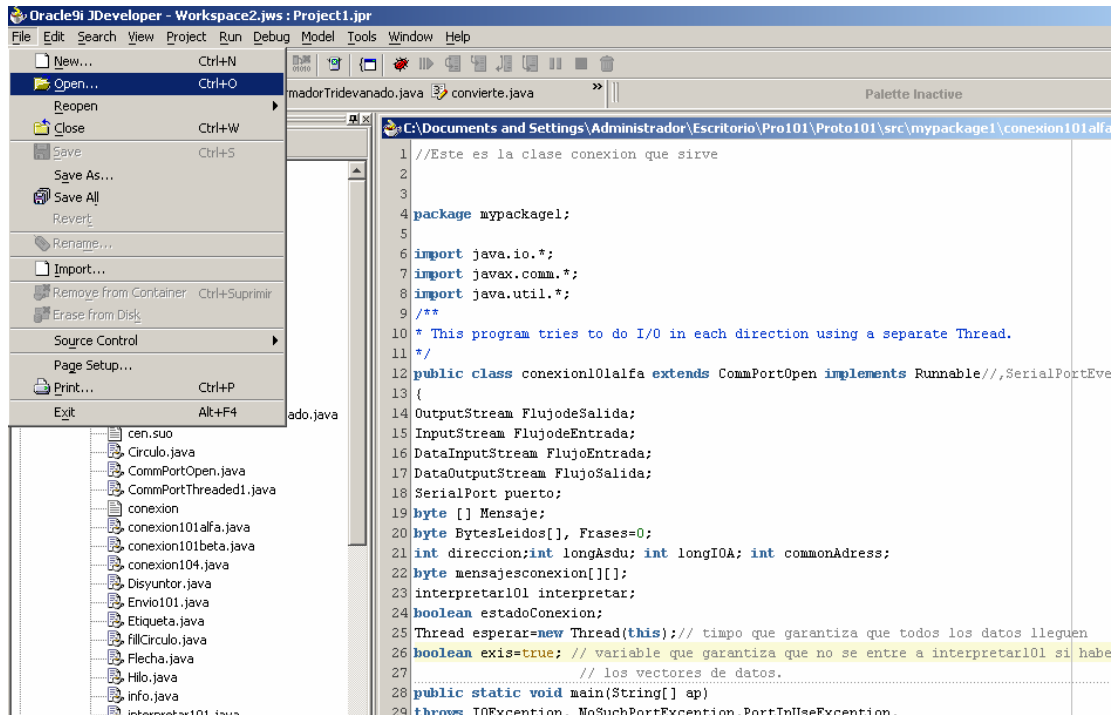
Fuente: Autor

Al darle aceptar se despliega la siguiente figura en donde observamos que el espacio de Pro101 ya esta creado y listo para almacenar alli las clases necesarias para la interpretación de las tramas.



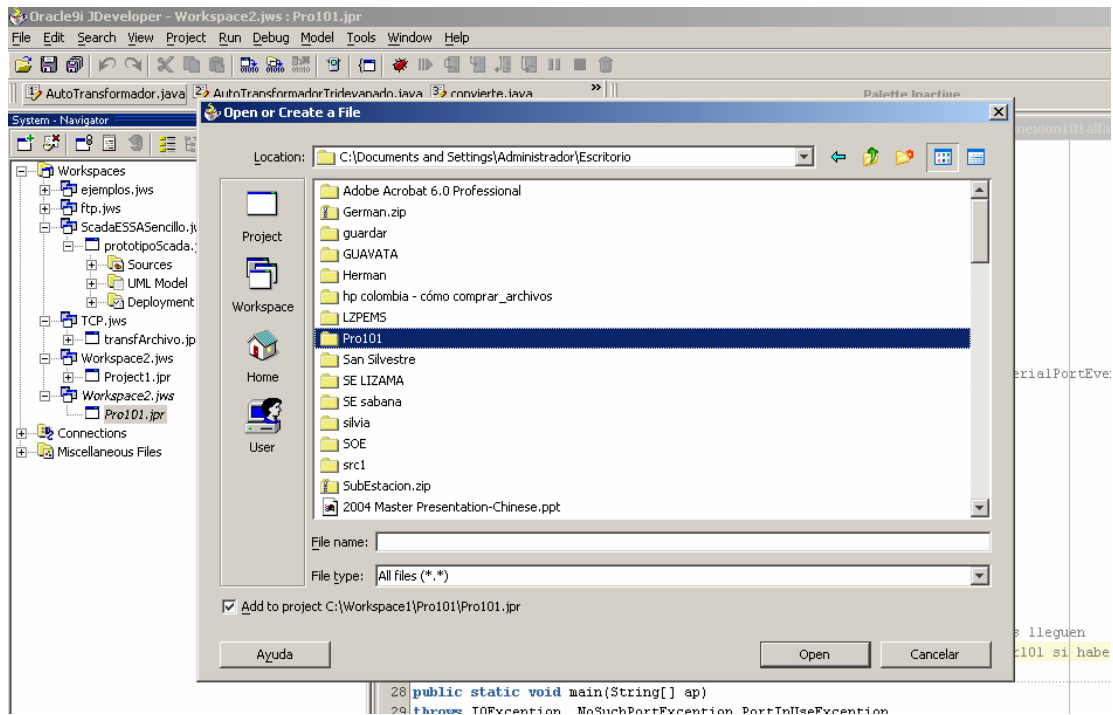
Fuente: Autor

Luego se le da clic a file y despliega lo que en ella contiene y nos paramos en open le damos un enter para poder seguir con nuestro procedimiento.



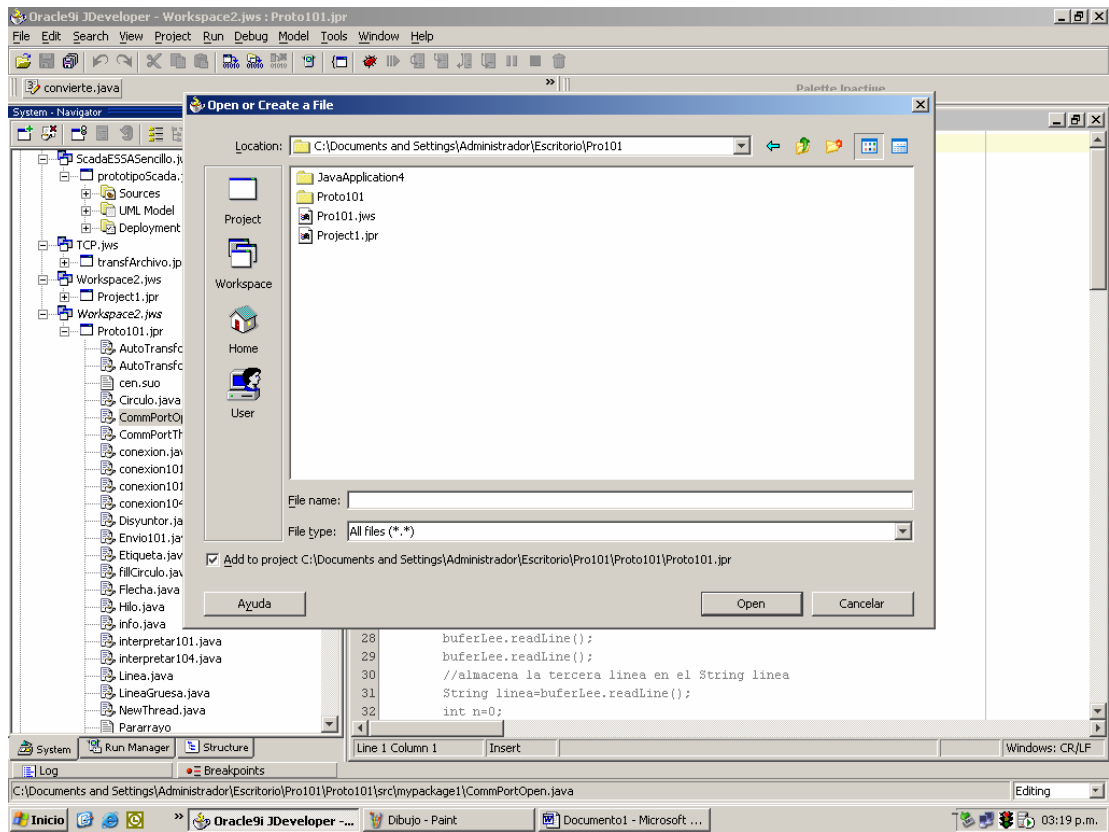
Fuente: Autor

Se busca la carpeta correspondiente al código, esta carpeta ya se garbo anteriormente en el escritorio y se busca con la siguiente ruta C: Documents and Settings\Adiministrador\Escritorio y encontramos el correspondiente archivo que se necesita como lo indica la figura a continuación.

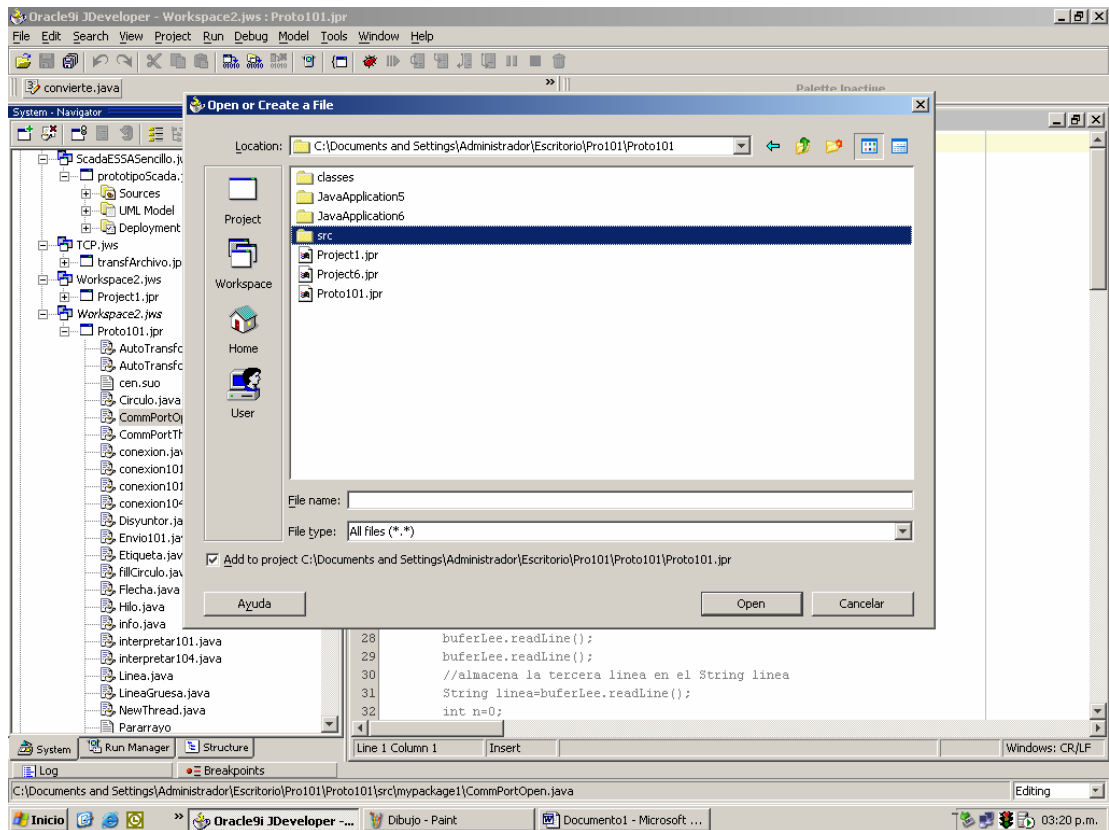


Fuente: Autor

Al dar enter en open se desplegara secuencia de pantallas como se muestra a continuación para poder encontrar la carpeta que se copiara para poder analizar las tramas

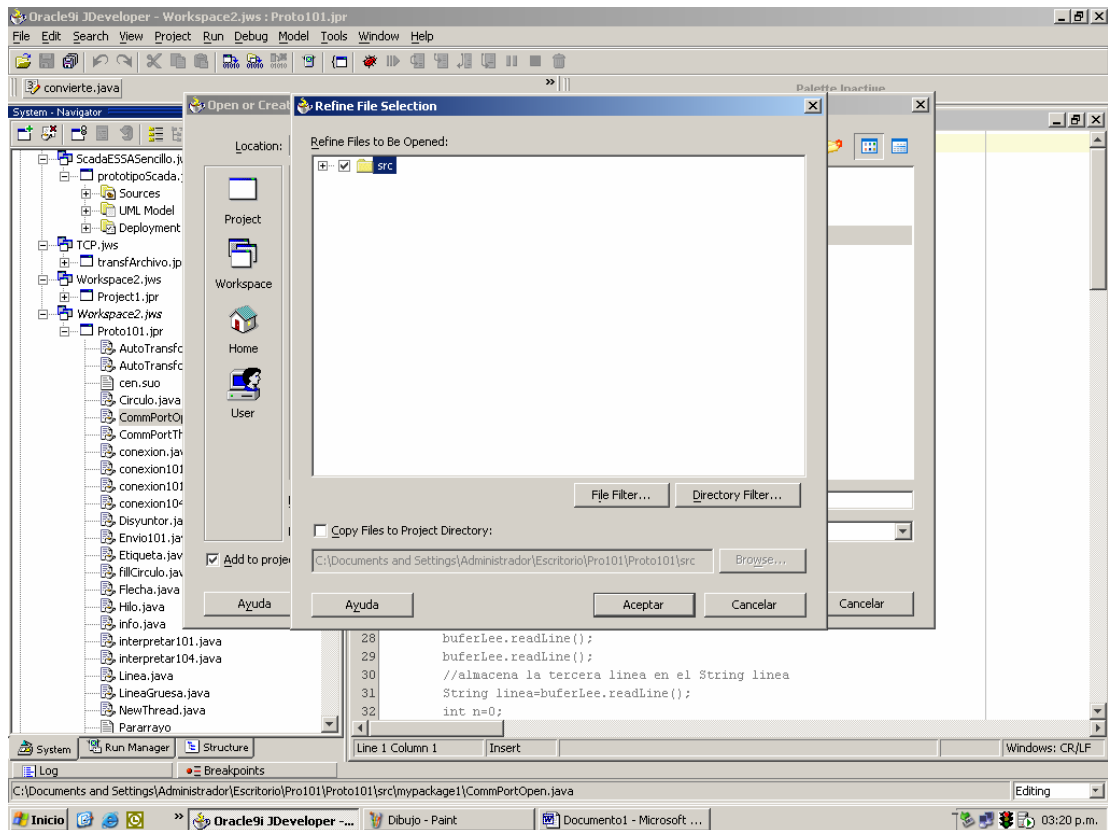


Fuente: Autor



Fuente: Autor

Como la carpeta SCR es la que contiene el archivo que se va utilizar entonces el software JAVA lo detecta y despliega una pantalla como la que se muestra ha continuación.



Fuente: Autor

Y al darle aceptar se tiene por completo con el procedimiento necesario para la instalación de nuestra carpeta necesaria para la ejecución del software.

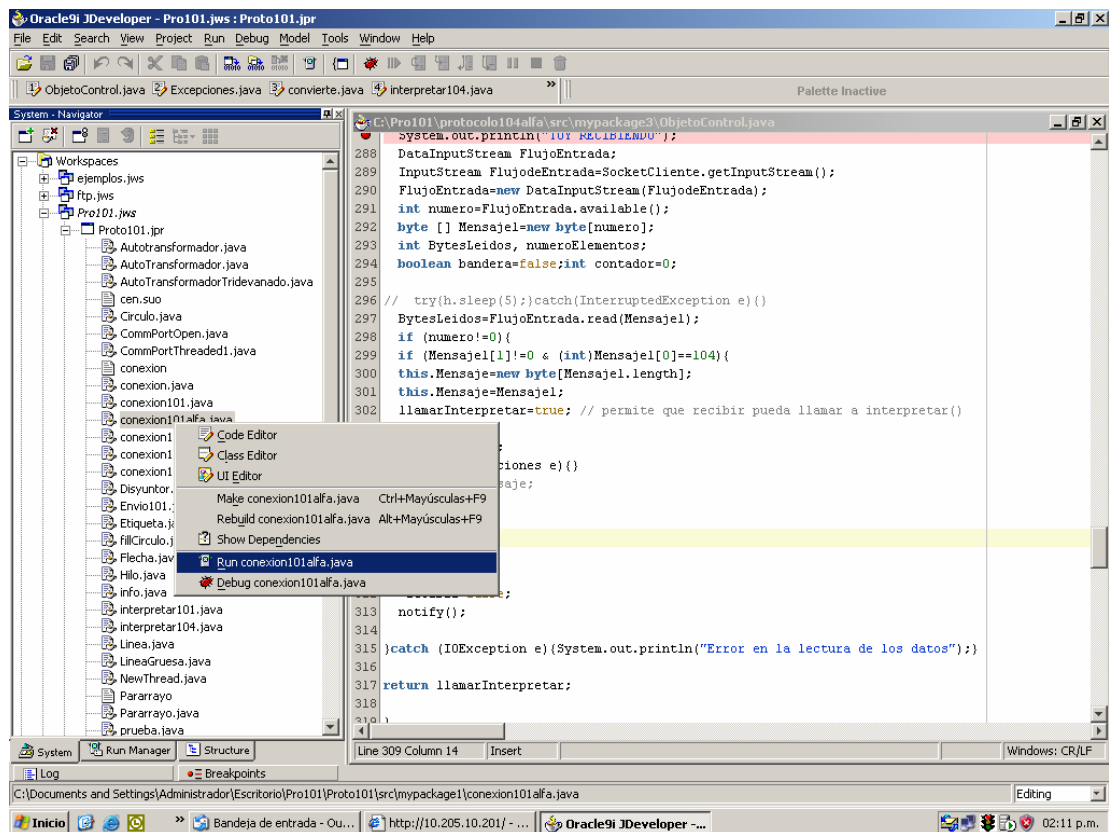
La otra forma para la instalación de la herramienta software es correr el ejecutable el Pro101.exe que de esta forma vamos a obtener lo mismo que se llevo a cabo de una forma más fácil.

Para la poder instalar el ejecutable lo único que nos toca hacer es darle doble clic en el icono el cual desarrolla todos los pasos anteriores.

Todos los pasos anteriores son necesarios por que si esto no es posible compilar de manera correcta la herramienta software. A continuación se le

despliega una pantalla donde nos pide el nombre de la clase principal la cual se busca conexion101alfa.

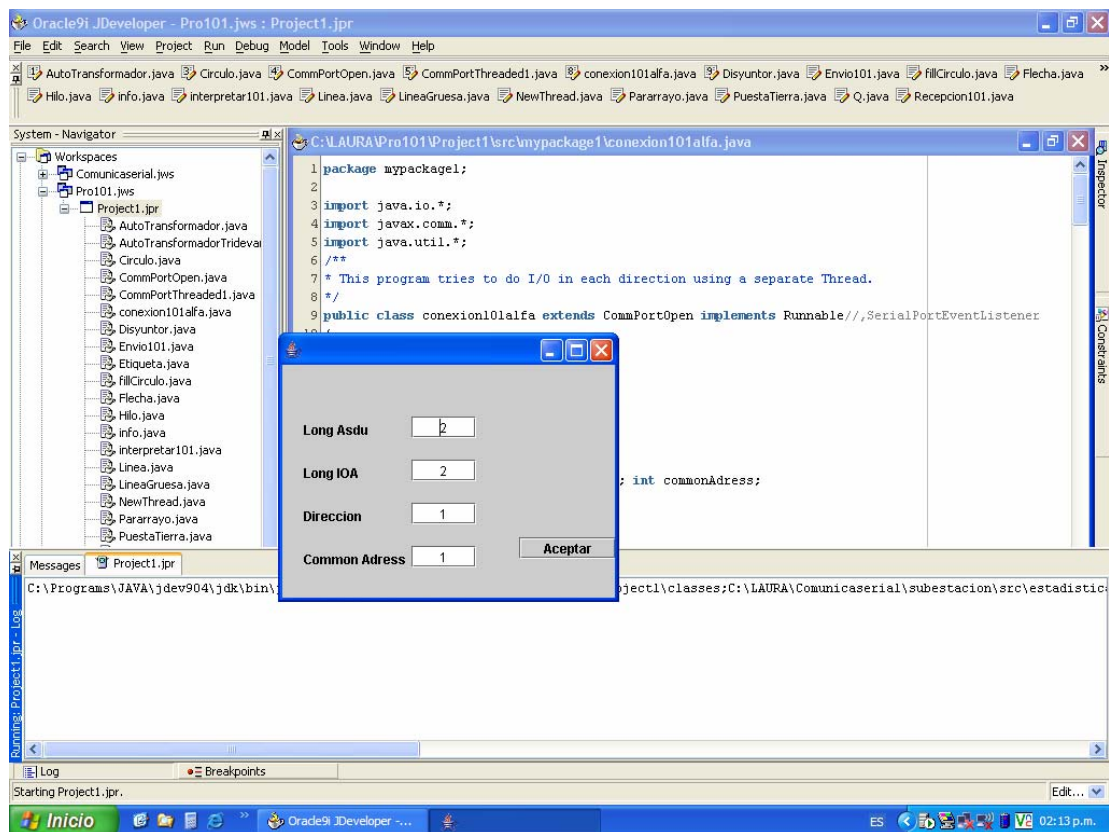
A.3. INICIO DE LA HERRAMIENTA



Fuente: Autor

Nos paramos donde esta conexión101alfa.java y se da un clic derecho al Mouse desplegándose una pantalla y se va donde esta run y se de da un clic con esto ya se esta corriendo la herramienta software que se desarrollo.

Luego se despliega una pantalla como la que se visualiza a continuación la cual le damos como entrada los datos del IOA, ASDU, que son necesarios saber de antemano, estos datos se conocen por la configuración que se le da a la RTU para el análisis de las tramas con este protocolo.

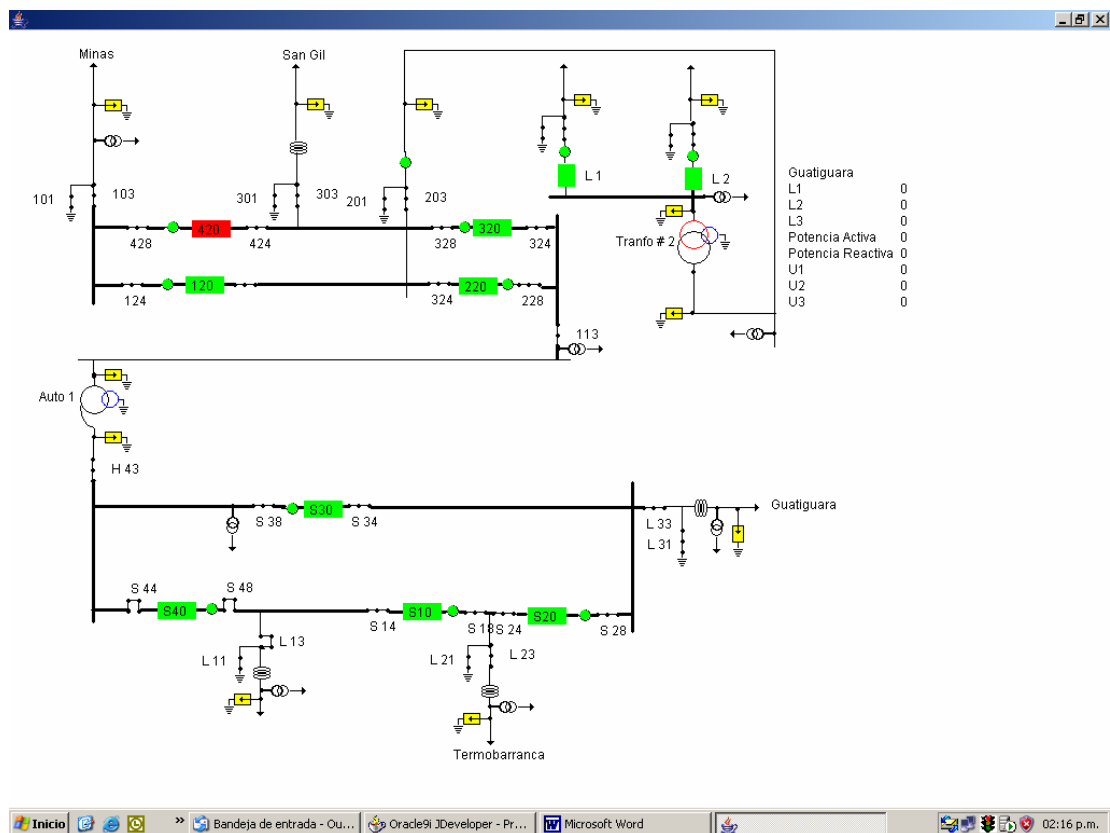


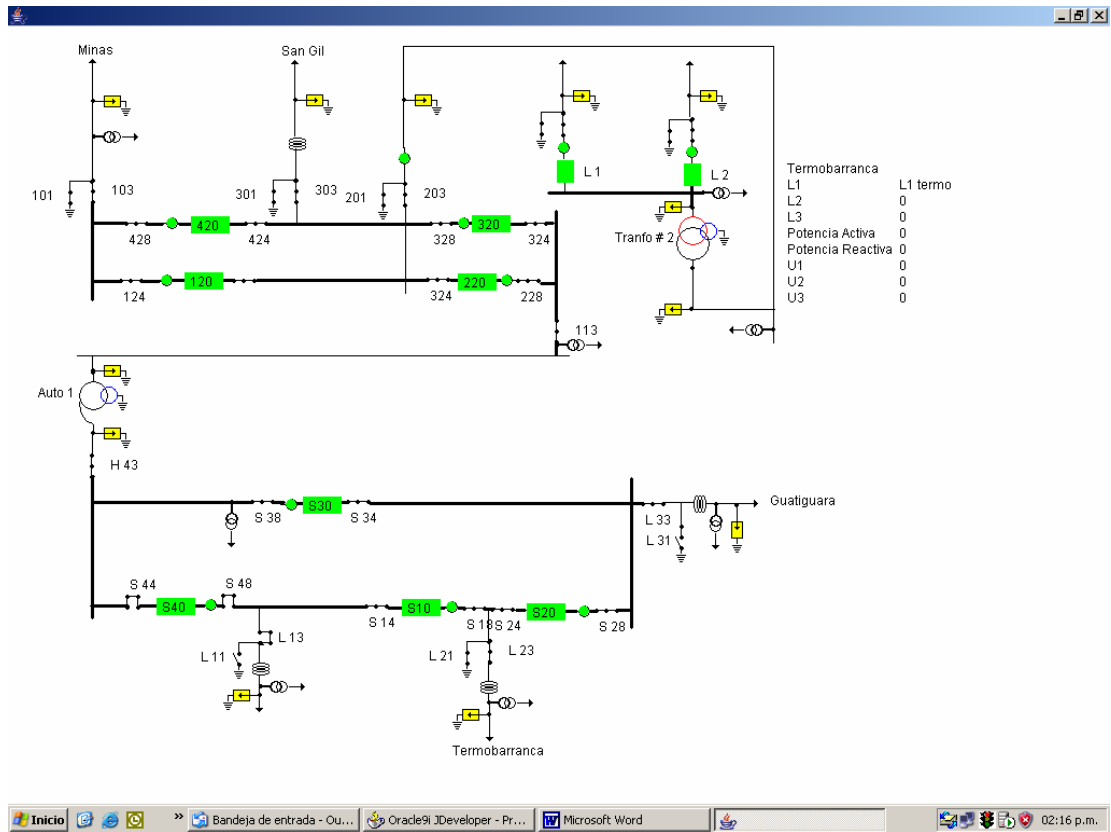
Fuente: Autor

A continuación damos un clic a donde esta el botón de inicio, el cual sirve para poder traer los datos que la subestación nos esta arrojando y poderlos visualizar en la interfase grafica que se creo para este fin.

El botón lo podemos visualizar a continuación

Las siguientes imágenes son algunas tomas de instantes en cual el software corriendo donde se observa los diferentes estados; cuando el elemento esta verde estas cerrado y cuando esta rojo esta abierto.





Fuente: Autor

ANEXO 2.

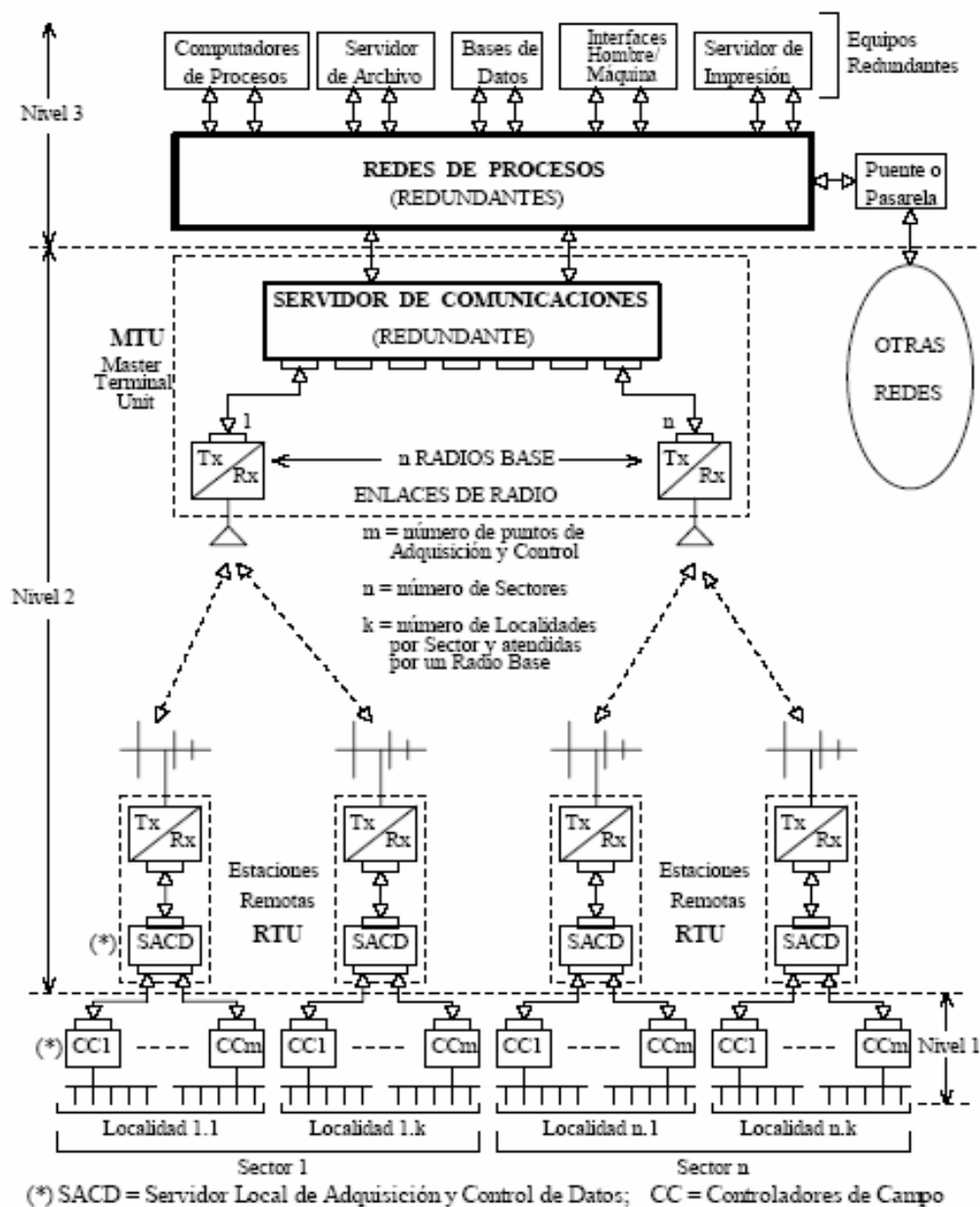
SISTEMAS SCADA

B.1. EL SISTEMA SCADA

Un SCADA no debe confundirse con un Sistema de Control Distribuido (“Distributed Control System, DCS”) aunque los principios y tecnologías que ambos utilizan son similares. La diferencia principal es que los DCS normalmente se utilizan para controlar procesos industriales complejos dentro de un área pequeña, por ejemplo, una planta industrial y las restricciones en tiempo son muy diferentes. En cambio, el SCADA se emplea para el control y supervisión de áreas geográficas muy grandes, como, por ejemplo, un sistema de distribución de energía eléctrica y la red de comunicaciones es su soporte físico.

En la siguiente figura se muestra la configuración típica de un Sistema de Automatización Industrial a Nivel Operacional (Nivel inferior de la pirámide). En el Nivel 1, en la siguiente figura, se encuentran las Redes de Campo. El Nivel 2 es el dominio de la telecomunicación y el Nivel 3 es el dominio de la Supervisión y Control Global.

Figura B.1. Sistema Scada



Fuente : MILLER, M.G. Modern Electronic Communication

La incorporación de un SCADA en un proceso permite al usuario conocer el estado de las instalaciones bajo su responsabilidad y coordinar eficazmente las labores de producción y mantenimiento en el campo, supervisando y controlando operaciones críticas y proporcionando los recursos para recibir la

información en forma dinámica y en tiempo real, y proceder a su procesamiento ulterior.

Elementos de un Sistema de Automatización a Nivel Operacional Como se puede observar en la anterior figura se puede distinguir tres niveles o subsistemas: el Nivel 1 o Subsistema de Instrumentación y Control Local, el Nivel 2 o Subsistema de Comunicaciones y el Nivel 3 o Subsistema de Procesamiento y Control Global.

Subsistema de Instrumentación y Control Local. Este es el nivel que se encuentra en contacto directo con el proceso y por lo tanto se encuentra distribuido en las localidades remotas a las que se quiere controlar y supervisar.

Aquí se encuentran las Redes de Campo que incluyen toda la instrumentación asociada con el proceso, los elementos finales de control, así como los medios de conversión de la información en un formato digital apropiado para su transmisión al Nivel 3 o Subsistema de Procesamiento de Datos y Control Global. Este Nivel 1 o Subsistema de Instrumentación y Control Local está constituido por equipos específicos (controladores y redes de campo) que se ubican lo más cerca posible del proceso: instrumentos de medición (temperatura, presión, flujo, velocidad, etc.), sistemas PLC ("Programmable Logic Controllers"), sensores y actuadores. Bajo instrucciones desde el Centro de Control, en el Nivel 1 se realizan las operaciones de control y los ajustes en las tablas de configuración de parámetros tanto continuos como discretos de un lazo de control. Para su transmisión a los niveles superiores, algunas de estas funciones se integran en las denominadas "unidades terminales remotas (remote terminal unit, RTU)", cuya descripción se realizará más adelante.

B.2. SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

En cada localidad remota de interés se instala un servidor de adquisición y control que junto con el transmisor y receptor de comunicaciones constituye la Estación Remota o RTU ("Remote Terminal Unit"), la cual debe mantenerse en comunicación continua con el Centro de Control. Esta comunicación la realiza el subsistema de comunicaciones o Nivel 2, mostrado en la anterior figura por un sistema de comunicaciones dado y utilizando protocolos especiales, como veremos más adelante.

Los protocolos utilizados en el subsistema de comunicaciones, denominados protocolos industriales o buses de campo, permiten la interacción entre los equipos de comunicación. Estos protocolos están constituidos por un conjunto de reglas y procedimientos para el intercambio de mensajes, detección y corrección de errores, y establecer las secuencias y lazos de control y supervisión. Hay muchos protocolos industriales, de los cuales describiremos algunos más adelante.

B.3. SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO Y CONTROL GLOBAL

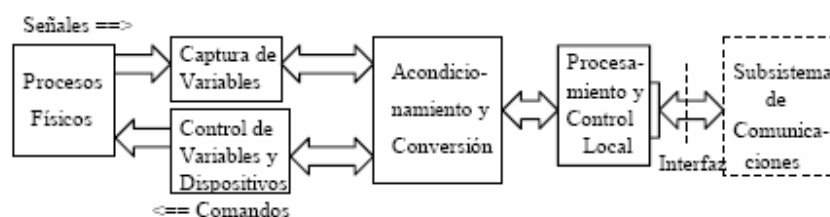
Una vez que los datos han sido recolectados desde las localidades remotas y transmitidos al Centro de Control, Nivel 3 en la anterior figura, es necesario realizar sobre ellos un cierto procesamiento en tiempo real a fin de obtener información útil acerca de los procesos, presentarla al operador (o usuario) y emprender acciones de control cuando sea necesario. Este trabajo lo realiza el subsistema de procesamiento de datos, el cual es el brazo operativo del Centro de Control, encargado de ordenar y procesar la información que es recibida del proceso mediante los enlaces de comunicación.

El Centro de Control debe poseer una alta capacidad de operación, normalmente está constituido por computadoras y redes de alta velocidad, interfaces hombre-máquina, bases de datos, servidores de aplicación (de impresión, de archivo, de datos históricos, de monitoreo, etc.). Todos estos recursos deberán ser redundantes para asegurar la confiabilidad e integridad en todas las operaciones. El subsistema de procesamiento y control global podrá comunicarse también con los Niveles Tácticos y Estratégicos, como se muestra en la figura de la pirámide, para la toma de las decisiones tácticas y estratégicas correspondientes. Al final del capítulo describiremos este subsistema con un poco más de detalle. La operación global del sistema está gobernada por programas de informática que manejan el Sistema Operativo, las Bases de Datos, el Software SCADA y los Programas de Servicio y Aplicación.

B.4 SUBSISTEMA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL LOCAL

Los elementos de un subsistema de instrumentación y control local se muestran en la siguiente figura.

Figura B.2. Elementos de un subsistema de instrumentación y control local



Fuente: MILLER, M.G. Modern Electronic Communication

En esta figura están representados todos los elementos que constituyen el subsistema de instrumentación y control local de un sistema de telemetría y telecontrol. En su forma más elemental, todo sistema de telemetría y

telecontrol, por muy simple que sea, se basa en el concepto de “lazo de control”, como se muestra en la Figura

Figura B.3. Lazo de Control



Fuente: Autor

En la máquina o proceso operativo se producen señales que representan las condiciones del proceso que se está desarrollando y que son capturadas por los sensores. Estas señales o variables de campo se llevan a un autómata de control donde son analizadas. El resultado de este análisis puede hacer necesario cambiar las condiciones de operación de la máquina, lo cual se efectúa con comandos hacia los actuadores. Cada uno de estos elementos tiene sus funciones propias cuyas características se describirán mas adelante.

B.4.1 Procesos Físicos. En términos prácticos, un proceso físico es una operación que se lleva a cabo para la ejecución de una tarea específica. Por ejemplo, un proceso físico puede ser la operación de una caldera, en donde es necesario conocer en todo momento sus condiciones de trabajo: temperaturas, nivel del agua, presión del vapor, monitoreo de la llama, etc. En el proceso físico se está generando una cantidad de información que es necesario conocer y procesar para poder seguir y controlar su funcionamiento. Asimismo, en el proceso físico hay algunos elementos que permiten regularlo dentro de límites preestablecidos; en el ejemplo de la caldera se puede accionar una bomba para mantener el nivel de agua

adecuado. Puede distinguirse entonces dos conceptos: el concepto de variable física y el concepto de dispositivo de control.

B.4.2 Concepto de Variable. Variable es toda cantidad física (temperatura, presión, etc.) presente en el desarrollo de un proceso. Esta variable puede poseer su propia energía, como es el caso de la temperatura, y esta energía se puede utilizar para medir o conocer su estado. Alternativamente, la variable puede requerir de una fuente externa para ser medida, como es el caso de la lectura del código de barras presentes en las etiquetas de muchos productos. La medición de las variables se lleva a cabo con los sensores o transductores que transforman la variable física en una señal eléctrica susceptible de ser acondicionada, transmitida y procesada.

B.4.3 Concepto de Dispositivo de Control. Un proceso físico contiene también elementos que permiten modificar o controlar las variables. En el ejemplo de la caldera, el nivel de agua medido se compara con un nivel normal de trabajo preestablecido; si el nivel medido es inferior al nivel normal, se transmite un comando para arrancar una bomba que introduzca agua en la caldera. Cuando el nivel medido es del orden del nivel normal, otro comando detiene la bomba. En términos de la nomenclatura del control de procesos, se ha completado “un lazo de control” y la bomba es un “dispositivo de control”. Un dispositivo de control es entonces un elemento que permite manipular el estado de una variable física.

B.4.4 Captura de Variables. Las variables presentes en un proceso físico deben ser capturadas en forma apropiada, de tal manera que su medición, materializada en una señal eléctrica, sea una representación exacta de la variable misma. En general, esta operación es efectuada por un transductor, llamado también detector primario o sensor.

B.4.5 Transductor o Sensor. En general, un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra, como se muestra en la siguiente figura.

Figura B.4. Dispositivo transductor



Fuente: Autor

Un transductor eléctrico, en particular, convierte la magnitud de una variable física en una señal eléctrica proporcional. Debe existir una relación conocida entre la entrada y la salida del transductor. Esto es parte de la calibración del instrumento.

El transductor es entonces el elemento que responde a la variable física a ser medida y la transforma de tal manera que el resultado de la operación pueda ser utilizado como información útil y representativa de dicha cantidad.

B.5 SEÑALES DE COMANDO

Cuando es necesario actuar sobre alguna de las variables físicas, se utilizan los dispositivos de salida o actuadores que permiten, por ejemplo, arrancar una bomba, accionar una alarma, etc.

En la práctica se utiliza comúnmente tres tipos de salida hacia los actuadores:

- Salida a Relé (bobina electromagnética)
- Salida a Triac (un interruptor de estado sólido de gran potencia)

- Salida a Transistor

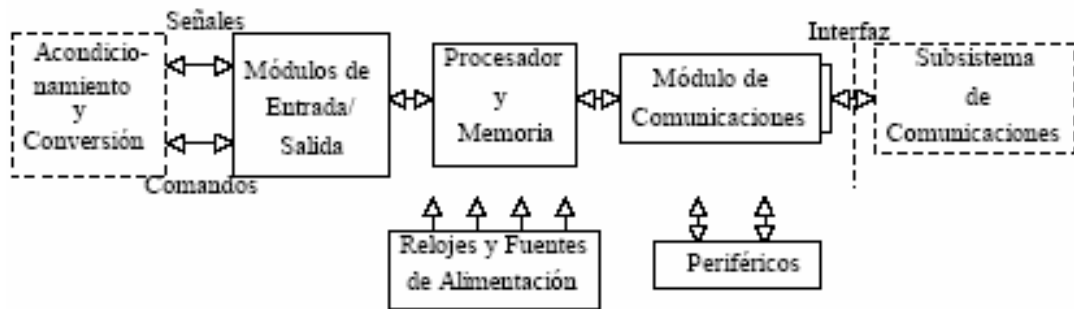
Cuando los actuadores son dispositivos de corriente alterna se utilizan el relé y el triac; los transistores se utilizan cuando los actuadores son de corriente continua.

Las intensidades que soportan cada una de las salidas son variables y oscilan entre 0,5 a 2 amperes. Al igual que en los transductores, las salidas pueden ser analógicas y digitales, si bien esta última es la más utilizada. En las salidas analógicas es necesario un convertidor digital-analógico que realice la función inversa a la de la entrada.

B.6 PROCESAMIENTO Y CONTROL LOCAL

- **Configuración.** Una vez que las señales han sido debidamente acondicionadas, ellas pasan a la fase de procesamiento y control local, cuya configuración, algunas veces llamada arquitectura, se muestra en forma esquemática

Figura B.5. Arquitectura de Procesamiento y Control Local



Fuente: MILLER, M.G. Modern Electronic Communication

El sistema de procesamiento y control local consta de los siguientes elementos:

- Módulos de Entrada/Salida (I/O)
- Procesador y Memoria (CPU)
- Módulo de Comunicaciones
- Relojes y Fuente de Alimentación
- Periféricos

- **Módulo de Entrada/Salida (I/O).** El módulo I/O puede considerarse como una interfaz en la cual se adapta y codifica en una forma comprensible para el CPU todas señales procedentes de la fase de acondicionamiento. En algunos casos en este módulo se lleva a efecto también el acondicionamiento de las señales procedentes de los captadores (pulsadores, relés, etc.) y los transductores. Este módulo tiene también la misión de protección de los circuitos electrónicos del CPU realizando una separación entre éstos y las señales externas.

En el módulo (I/O) se puede distinguir los diferentes elementos de interfaz:

- Entradas Analógicas
- Salidas Analógicas
- Entradas Discretas
- Salidas Discretas
- Entradas de Contadores
- Entradas de Alto/Bajo Nivel
- Otras entradas y salidas según la aplicación

Nótese que los elementos de salida trabajan en forma inversa a las de entrada, es decir, descodifican las señales emanadas del CPU, las amplifican y las envían a los dispositivos de control, tales como lámparas, relés, contactores, arrancadores, electroválvulas, etc. así como proveer los circuitos de adaptación a las salidas y de protección de circuitos internos.

- **Procesador y Memoria.** El elemento procesador y memoria es la unidad central de procesamiento o CPU, en la cual radica toda la inteligencia del sistema local. Este es un computador de propósito especial en el cual, mediante la interpretación de las instrucciones del programa de usuario (software) y en función de las variables de entrada, se activan las salidas deseadas.

En esta unidad se suele disponer de interfaces para la conexión de una consola o un simple teclado de programación y de algunos periféricos de propósito especial, como es el módulo de comunicaciones. Estos periféricos son elementos auxiliares, físicamente independientes del CPU, que se utilizan para la realización de alguna función específica y que amplían el campo de aplicación o facilitan el uso del sistema. Como tales, no intervienen directamente ni en la elaboración ni en la ejecución de los programas.

- **Relojes y Fuente de Alimentación.** El módulo de relojes tiene como función la de proporcionar todas las señales de reloj necesarias tanto para los procesos de acondicionamiento como para el procesamiento de la información en el sistema. Las frecuencias de señalización dependen del sistema considerado.

La fuente de alimentación adapta la tensión de red de 120/220 VAC, 60 Hz, a las tensiones de funcionamiento de todos los circuitos electrónicos internos, así como de los dispositivos de control (por ejemplo, 24 VDC). En caso de falla de la tensión principal, el sistema posee un banco de baterías para mantener el sistema en operación.

- **Módulo de Comunicaciones.** En muchas instalaciones industriales pequeñas no es necesario comunicarse con el exterior al sitio donde se están realizando los procesos físicos y con los elementos descritos hasta ahora es suficiente para un control completo del sistema. Sin embargo, en sistemas de gran envergadura, como por ejemplo, en el control de un sistema de protecciones de la industria de distribución y comercialización de energía eléctrica, hay que tomar algunas acciones de tipo global que no pueden ser tomadas localmente pues es posible que los sistemas locales no estén asistidos por personal y la vigilancia y/o toma de decisiones se efectúa por control remoto desde una Sala de Control.

Las señales involucradas en la CPU en general no son apropiadas para su transmisión por un medio de transmisión dado. En la práctica existen algunos circuitos que permiten convertir las señales digitales de trabajo en formatos apropiados para su transmisión por un canal dado. El módulo de comunicaciones maneja entonces el intercambio de información con la estación principal o maestra. Las velocidades van normalmente desde 1200

bps hasta 19200 bps, aunque con los nuevos transmisores y receptores se puede alcanzar velocidades que pueden llegar hasta los 128 kbps.

En el programa que se está llevando a cabo en el sistema está especificada cuál es la información que debe ser transmitida aguas arriba hacia la Sala de Control y cuáles son los comandos y respuestas que pueden esperarse desde arriba. Esto es parte de la programación de la estación y de los protocolos de control involucrados.