

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE RED DE COMUNICACIONES PARA LA SUPERVISIÓN
DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN LA UCV**

ING. PEGGY M. IZAGUIRRE B.

CARACAS, MAYO 2002

**DISEÑO DE RED DE COMUNICACIONES PARA LA
SUPERVISIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN
ELÉCTRICA EN LA UCV**



ING. PEGGY M. IZAGUIRRE B.

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO A LA ILUSTRE UNIVERSIDAD
CENTRAL DE VENEZUELA PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA
EN COMUNICACIONES Y REDES DE COMUNICACIÓN DE DATOS**

CARACAS, MAYO 2002

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso,
Al Prof. Jean Pierre Chassande, quien recuerdo con mucho cariño y extraño,
A mi mamá y hermanos,
A mis sobrinos.

Los quiero muchísimo y les dedico este trabajo

AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Ingeniería Eléctrica por brindarme la oportunidad de culminar mi especialización con la participación en el Proyecto de Laboratorio Nacional de Supervisión de Redes de Distribución.

Al Prof. Luis Fernández por apoyo y guía incondicional en todo momento en la elaboración del proyecto.

Al Prof. Vincenzo Mendillo por su orientación en el transcurso y culminación de la especialización.

Al Prof. Alexander Cepeda quien asumió el rol del coordinador del proyecto con énfasis y dedicación, garantizando la continuidad del mismo.

A mis compañeros de postgrado Carlos Moreno, Cesar Yajure, Héctor Arcia por su colaboración, consejos y apoyo.

A Alfredo Flores y Willian Jota de la red de comunicaciones de la UCV, por su valiosa colaboración.

A Vanessa Carlson, Dan El Montoya, Maria Rojas, Omaira Solano, Maria Álvarez, Francisco Varela, Gipsy Azuaje, Simón Morales y Mario Rengifo.

A mis amigos Mijail Alarcón, Maria Castellanos, Javier Zepeda y José Marrón por brindarme la solidaridad de su amistad y fortaleza.

Y a todos aquellos que de alguna u otra forma me ayudaron a culminar exitosamente el proyecto.

Autor:	Ing. Peggy M. Izaguirre B.
Título académico a obtener:	Especialista en Comunicaciones y Redes de Comunicación de Datos
Tutor:	Dr. Luis Fernández

DISEÑO DE RED DE COMUNICACIONES PARA LA SUPERVISIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN LA UCV

En vista del crecimiento gradual del sistema eléctrico de la Universidad Central de Venezuela y la administración propia que realiza la universidad del servicio, se considero necesario el diseño de una red de comunicaciones entre las diferentes dependencias de la universidad, con la finalidad de implementar un Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos para las Redes de Distribución Eléctrica. Se realizó un análisis de la red de voz y datos instalada en las distintas dependencias, para determinar el uso o no de la infraestructura existente y en los sitios sin red se planteó otros medios de transmisión (par trenzado, fibra óptica, radio, láser, etc.), permitiendo la comunicación Maestras – Unidades Terminales Remotas. Para realizar ensayos en el área de telecomunicaciones se utilizó distintas tecnologías de comunicación y se colocaron equipos de medición de varios fabricantes verificando el cumplimiento de estándares que garanticen la operatividad e interconexión en el área de SCADA y potencia, con la finalidad de instrumentar la red con equipos distintos disponibles en el mercado nacional e internacional, que sirvan de laboratorio a los estudiantes de pregrado, postgrado y personal docente. La implementación de la red y el laboratorio nacional de supervisión de redes de distribución no sólo ayudará al control de recursos y procesamiento de información, sino que también contribuirá a reducir los costos, elevar la calidad del servicio prestado a la comunidad universitaria, prevención de fallas y por ende se reducirán los tiempos fuera de servicio que van en perjuicio del usuario, facilitando el acceso a la información que estará centralizada en Escuela de Ingeniería Eléctrica.

ÍNDICE

RESUMEN	IV
INDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE TABLAS	IX
LISTA DE ACRÓNIMOS	X
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
1. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	4
1.1. Sistemas de Distribución Industriales	6
1.2. Sistemas de Distribución Comerciales	6
1.3. Parque Industriales	7
1.4. Sistemas de Distribución Urbanos y Residenciales	7
1.5. Distribución Rural	7
2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL SUPERVISORIO	8
2.1. Funciones Básicas	8
2.2. Componentes del Sistema	9
2.3. Comunicación entre Maestra y Unidad Terminal Remota	10
2.4. Sistemas SCADA en la Industria Eléctrica	11
3. SISTEMAS INALÁMBRICOS SCADA	13
3.1. Modos de Comunicación	14
3.2. Antenas y Alimentadores	15
3.3. Repetidores	16
3.4. Radio Licenciada (Licensed) y Libre (Unlicensed)	17
3.5. Espectro Radioeléctrico en Venezuela	18
3.6. Estudios de Propagación de Radio	19
4. ANTECEDENTES	20
5. JUSTIFICACIÓN	21
6. IMPORTANCIA DEL PROYECTO	24
7. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	26
7.1. Red de Distribución Primaria de 4,8 Kv de la UCV	26
7.1.1. Subestaciones de Distribución	27
7.1.2. Circuitos de Distribución Primarios	28
7.1.3. Transformadores de Distribución	28
7.1.4. Circuitos de Distribución Secundarios	28
7.2. Plataforma de Red de Comunicaciones en Ciudad Universitaria	29
8. DETERMINACION Y ANALISIS DE REQUERIMIENTOS	32
9. ALCANCE DEL PROYECTO	35

10. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN	37
10.1. Plataforma física de cableado en Ciudad Universitaria	39
10.2. Interfaz de comunicación de remotas (Analizadores de Redes Eléctricas)	43
10.3. Determinación de medios de transmisión a utilizar en el diseño de la red	44
10.4. Interfaz de comunicación a implementar	48
10.5. Análisis de la solución	53
10.6. Requerimientos Sistema Inalámbrico	58
10.7. Soluciones disponibles	58
10.8. Evaluación de soluciones	69
10.9. Solución a implementar	71
10.10. Esquema de Redundancia Ingeniería Eléctrica - Comunicaciones	71
LIMITACIONES	74
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFIA	78
ANEXOS	80
A. Analizadores de Redes Eléctricas	
A.1 MCA Versión Avanzada LIFASA	A-1
A.2 MACH 30 DUCATI	A-6
B. Equipos Inalámbricos	
B.1 MAVRIC	B-1
C. Interfaz RS-485	C-1
D. Protocolos de Comunicación	
D.1 Modbus	D-1
D.2 DNP 3.0 (Distributed Network Protocol)	D-11
E. Red Telefónica Ciudad Universitaria	
E.1 Especificaciones de Cable Telefónico Multipar tipo 5232-G	E-1
E.2 Planos y tablas de cables multipares 2 y 3	E-2
E.3 Planos FXBs - Dependencias	E-7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Inversiones en un sistema de energía eléctrica	4
Figura 2.1	Configuración Básica de un Sistema SCADA	9
Figura 2.2	Medios de Comunicación Maestra-Remota	11
Figura 3.1	Sistema Inalámbrico SCADA	13
Figura 3.2	Componentes del Sistema Inalámbrico	14
Figura 3.3	Sistema Inalámbrico con Repetidor	16
Figura 7.1	Backbone Principal de Fibra Óptica en la UCV	29
Figura 7.2	Nodos de la Red de Datos de Ciudad Universitaria	30
Figura 8.1	Especificación del Sistema de Supervisión	32
Figura 10.1	Supervisión de Redes de Distribución. 1ra Etapa	38
Figura 10.2	Planta Externa Telefónica Cable 3	44
Figura 10.3	Planta Externa Telefónica Cable 2	45
Figura 10.4	Nodo Ciencias etapa posterior	46
Figura 10.5	Diseño de Red de Comunicaciones	47
Figura 10.6	Terminación en línea de transmisión	49
Figura 10.7	Diagrama de red RS-485	50
Figura 10.8	Velocidad de transmisión - longitud de cable para interfaz balanceada usando cable par trenzado 24 AWG	52
Figura 10.9	Atenuación - frecuencia para varios cables de datos	53
Figura 10.10	Curva de atenuación - frecuencia Biblioteca Central	55
Figura 10.11	Curva de atenuación - frecuencia FACES	56
Figura 10.12	Red RS-485 1ra. Etapa	57
Figura 10.13	Red de comunicación Subestación UCV – Edif. Comunicaciones	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 10.14	Red Inalámbrica	58
Figura 10.15	Comunicación Punto-Multipunto	60
Figura 10.16	Comunicación Punto-Punto	60
Figura 10.17	Modos de Comunicación	61
Figura 10.18	Diagrama de Redes SCADA MAVRIC	65
Figura 10.19	Router inalámbrico MAVRIC 2000nx	66
Figura 10.20	MAVRIC Explorer II	67
Figura 10.21	Pathfinder Sx	68
Figura 10.22	Diseño de Red Inalámbrica	71
Figura 10.23	Diseño de Redundancia	72
Figura 10.24	Diseño Final de la Red de Comunicaciones para el Laboratorio Nacional de Supervisión	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Propiedad de las Áreas de Distribución	5
Tabla 7.1	Áreas de Cobertura de Red Telefónica de Ciudad Universitaria	31
Tabla 10.1	Ubicación de remotas en Dependencias	38
Tabla 10.2	Cable Multipar 2 AULA MAGNA	53
Tabla 10.3	Cable Multipar 2 BIBLIOTECA CENTRAL	54
Tabla 10.4	Cable Multipar 2 RECTORADO	54
Tabla 10.5	Cable Multipar 2 SUBESTACIÓN UCV	54
Tabla 10.6	Cable Multipar 3 FACES	55
Tabla 10.7	Biblioteca Central (535 y 536)	55
Tabla 10.8	FACES (1543 y 1544)	56

LISTA DE ACRÓNIMOS

bps	Bits por segundo.
CONATEL	Comisión Nacional de Telecomunicaciones.
CMS	Estación de Monitoreo Central (Central Monitoring Station).
DCE	Equipo de Comunicación de Datos (Data Communication Equipment).
DCS	Sistema de Control Distribuido (Distributed Control Systems).
DTE	Equipo Terminal de Datos (Data Terminal Equipment).
DUCATI	Compañía fabricante de capacitores, motores, vehículos, equipo de medición, etc.
EIA	Asociación de la Industria Electrónica (Electronics Industry Association).
EIE	Escuela de Ingeniería Eléctrica.
FCC	Organización Federal Estadounidense (Federal Communications Comisión).
HMI	Interfaz hombre maquina.
Hz	Hertz.
I/O	Entrada y Salida (Input/Output).
kV	Kilovoltio.
kVA	Kilovoltio amperios.
kW	Kilovatios.
LAN	Red de Área Local (Local Area Network).
LIFASA	Internacional Capacitors S.A., empresa española fabricante de condensadores eléctricos bajo marca LIFASA.
MAVRIC	Metric Systems Corporation, empresa fabricante de equipos de comunicaciones inalámbricos para SCADA bajo marca MAVRIC.
MACH 30	Analizador para red eléctrica DUCATI.
Mbps	Megabits por segundo.
MCA	Analizador de redes eléctricas LIFASA.
MHz	Megahertz.
MODBUS	Protocolo de comunicación creado por MODICON.
PLC	Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller).

LISTA DE ACRÓNIMOS

RBE	Reporte por excepción (Report by Exception).
RS-232	Estándar de comunicación físico para datos del EIA.
RS-485	Estándar de comunicación físico para datos del EIA.
RTU	Unidad Terminal Remota (Remote Terminal Unit).
SCADA	Sistema de Adquisición de Datos y Control Supervisorio (Supervisory Control and Data Acquisition).
UCV	Universidad Central de Venezuela.
UHF	Frecuencias ultra elevadas 300 MHz a 3000 MHz (Ultra High Frequency).
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
VHF	Frecuencias muy altas 30 MHz a 300 MHz (Very High Frequency).
WAN	Red área ancha. Wide Area Network.

INTRODUCCIÓN

Con la aprobación del primer Marco Regulatorio de la Industria Eléctrica Venezolana el 13 de Noviembre de 1996 y la nueva Ley del Sector Eléctrico en Septiembre de 1999, los deberes y derechos de clientes y distribuidores se enmarcan en un Reglamento de Calidad de Servicio y productos técnicos para los cuales el Ente Regulador fija el método de fiscalización y la Sociedad Civil adquiere un papel protagónico de agente activo del mercado, se modifica la perspectiva del suplidor en base a la rentabilidad del negocio y se descarta la política de expansión de la red basada por criterios de atención prioritaria al desarrollo de las regiones planificado por el Estado. La supervisión de la calidad de la energía eléctrica se convierte en un factor de importancia para el usuario y el suplidor del servicio, pudiendo acarrear sanciones económicas. El objetivo primordial de los suplidores es mantener la calidad de servicio manteniendo su rentabilidad, por lo cual deben supervisar su red con la finalidad de detectar fallas e implementar nuevas políticas de despacho que aseguren mayor rentabilidad sin desmejoramiento.

Los sistemas SCADA de distribución están relacionados con la calidad del servicio y el diagnostico con fines de mantenimiento de la red eléctrica. El bajo costo de las unidades terminales remotas, altas velocidades de redes que permiten ver la información en tiempo real, ha generado un aumento en el uso de sistemas SCADA dedicados a la tarea de distribución.

El Departamento de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica ha llevado adelante varios proyectos conducentes a identificar los sistemas de distribución eléctrica de las dependencias de la Ciudad Universitaria de la UCV, con la finalidad de implementar un Sistema de Supervisión.

Para la implementación del Sistema de Supervisión de Redes de Distribución Eléctrica en la UCV, se hace necesario proveer de una red de comunicaciones entre la Escuela de Ingeniería Eléctrica donde se instalará el Laboratorio Nacional de Supervisión y distintas dependencias en Ciudad Universitaria, pudiendo el Sistema SCADA adquirir los datos de las unidades terminales remotas (analizadores de red eléctrica) colocadas en los

INTRODUCCIÓN

transformadores en algunas dependencias de la universidad y centralizar esta información en la EIE.

El trabajo especial describe el diseño de la red de comunicaciones para la instalación del Sistema de Supervisión, donde se avalúa la plataforma de red telefónica y de datos actual de Ciudad Universitaria, con la finalidad de utilizar la infraestructura existente. En los sitios sin red, se instalan medios de transmisión y tecnologías de comunicación que permitan realizar ensayos en el área de la especialización realizada. Además, se contempla un esquema de redundancia entre el edificio de comunicaciones y la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

DISEÑO DE RED DE COMUNICACIONES PARA LA SUPERVISIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN LA UCV

Objetivo General

El objetivo del presente documento consiste en presentar el conjunto de soluciones técnicas que sustentan el diseño de la red de comunicaciones para la instalación del Laboratorio Nacional de Supervisión de Redes de Distribución, situado en la UCV. El propósito que se persigue con esta red es la implantación de un Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos, para ejecutar operaciones en la red de distribución eléctrica de la UCV. Se implementarán distintos medios de transmisión (par trenzado, fibra óptica, radio, láser, etc.) utilizando diversas tecnologías de comunicación que sirvan de laboratorio a los estudiantes de pregrado y postgrado para realizar ensayos en el área de telecomunicaciones.

Objetivos Específicos

- Presentación del diseño lógico propuesto para llevar a cabo la Red de Comunicaciones para la Supervisión de Redes de Distribución Eléctrica, basado en el análisis de las necesidades encontradas en la situación actual.
- Presentación global de las plataformas de hardware y software requeridas para la construcción de la red que se propone, y su plan de integración en las dependencias de Universidad Central de Venezuela.
- Presentación de la planificación estimada que se propone, a fin de proveer los servicios requeridos para llevar a cabo el desarrollo y mantenimiento de la red, basados en los estándares técnicos y de calidad que se manejan actualmente.

Uno de los componentes más importantes de los sistemas eléctricos, ya sea que pertenezcan a empresas privadas o estatales, es el sistema de distribución. La energía vendida por cualquier compañía pasa por su sistema de distribución, siendo importante el buen diseño. Los sistemas se conforman desde una simple línea aérea que conecte un generador con un solo consumidor, hasta un sistema mallado que alimente la zona más importante de una ciudad. El sistema eléctrico, incluye la generación, correspondiente a los sistemas de distribución.

Durante muchos años ha sido un tema controvertido definir la división entre los llamados sistemas de distribución; aun en la actualidad es difícil establecer esta línea. Sin embargo, para mostrar la importancia que tienen estos últimos, se indica que parte o porcentaje de las inversiones totales corresponden a los sistemas de distribución.

Las inversiones realizadas en los sistemas de distribución dentro de cualquier empresa de suministro de energía eléctrica, comparados con los que se efectúan en otras áreas como las de generación y transmisión, sorprenden muchas veces aun a los mismos ingenieros de potencia de las empresas eléctricas. En la figura 1.1 se muestra el porcentaje, en forma aproximada de la relación de inversiones de estos importantes rubros.

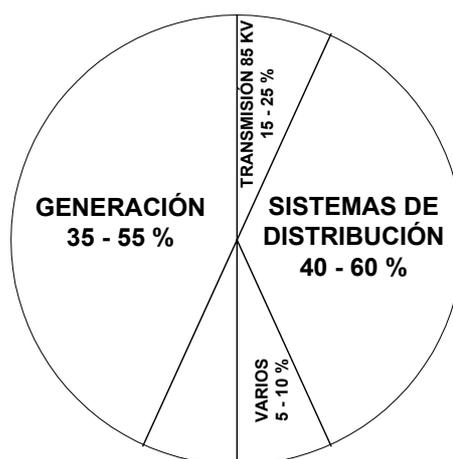


Figura 1.1 Inversiones en un sistema de energía eléctrica

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Las estadísticas mostradas no incluyen los sistemas de distribución privados existentes en los grandes predios comerciales o industriales. Por tanto, cualquier país, independientemente de que sea industrializado o en desarrollo, utiliza el 50% o más de su consumo de energía eléctrica en su industria o en procesos, los cuales tienen en sí mismos sistemas de distribución de importancia considerable, como empresas petroquímicas, automovilísticas, etc.

El término Sistema de Distribución no está perfectamente definido internacionalmente; sin embargo, comúnmente se acepta que es el conjunto de instalaciones desde 120 voltios hasta tensiones de 34.5 kV encargadas de entregar la energía eléctrica a los usuarios.

En el nivel de baja tensión se presentan algunas confusiones con las instalaciones internas o cableado de predios comerciales o grandes industrias y en tensiones mayores de los 34.5 kV, como es el caso de cables de subtransmisión de 85 kV que se solapan con tensiones mayores, especialmente en países industrializados con alto índice de población urbana y las tensiones son consideradas de distribución. Dependiendo de los métodos de operación, las estructuras de las redes y el equipo que se use se clasifican en cinco campos principales de desarrollo (ver tabla 1.1).

Áreas de Distribución	Propiedad
Sistemas de distribución industriales	Privada
Sistemas de distribución comerciales	Privada
Parques industriales	Estado
Distribución urbana y residencial	Privada
Distribución rural	Estado

Tabla 1.1 Propiedad de las Áreas de Distribución

1.1 Sistemas de Distribución Industriales

Estos sistemas representan grandes consumidores de energía eléctrica, como plantas petroquímicas, de acero, de papel y otros procesos industriales similares, aunque son de distribución deben ser alimentados a tensiones más elevadas que las usuales, es decir, 85 kV o mayores. Con frecuencia el consumo de energía de estas industrias es equivalente a una pequeña ciudad, generando en algunas ocasiones, parte de la energía que consumen por medio de sus procesos de vapor, gas o diesel, según el caso.

La red de alimentación y su estructura debe tomar en cuenta las posibilidades o no de su interconexión con la red o sistema de potencia, logrando determinar la confiabilidad del consumidor, siendo importante por el alto costo ocasionado por una interrupción de energía.

Dentro de las diferentes industrias existe una gran variedad de tipos de carga y por tanto del grado de confiabilidad que requiere por lo cual el papel de la ingeniería de distribución es muy importante, ya que define el tipo de alimentación, su estructura, su tensión y, en consecuencia, el grado de confiabilidad requerido por el consumidor.

1.2 Sistemas de Distribución Comerciales

Estos sistemas se desarrollan para grandes complejos comerciales o municipales como rascacielos, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, puertos marítimos, etc. El sistema posee sus propias características por el tipo de demanda de energía que tiene con respecto a la seguridad tanto de las personas como de los inmuebles, teniendo generación local en forma de plantas generadoras de emergencia, las cuales son parte importante en el diseño del sistema de alimentación en este tipo de servicios.

1.3 Parques Industriales

Se refiere a la alimentación, en zonas definidas como parques industriales, a pequeñas o medianas industrias localizadas en algunas ocasiones en las afueras de las ciudades o centros urbanos. Las estructuras pueden ser similares a las anteriores; sin embargo, los requisitos de continuidad varían, siendo en algunos casos no muy estrictos. La tensión de alimentación por lo general en estas zonas es mediana, implicando un mínimo desarrollo de las redes de baja tensión. La planeación de estos sistemas se debe considerar con gran flexibilidad ya que la expansión en las zonas industriales es grande, en especial en zonas nuevas en países en desarrollo. En la mayoría de los casos las estructuras son desarrolladas y operadas por las compañías de distribución estatales.

1.4 Sistemas de Distribución Urbanos y Residenciales

Estos sistemas en algunas ocasiones son responsabilidad directa de las compañías suministradoras de energía eléctrica y en la mayoría de los casos consisten en grandes redes de cables subterráneos o aéreos desarrolladas en zonas densamente pobladas. En grandes centros urbanos las cargas con frecuencia son considerables, aunque nunca comparables con las cargas industriales. Por otra parte, en zonas residenciales las cargas son ligeras y sus curvas de carga muy diferentes a las zonas urbanas comerciales o mixtas; por tanto, las estructuras de alimentación de las zonas son distintas y los criterios de diseño son exclusivos para el tipo de carga.

1.5 Distribución Rural

La densidad de carga más baja la tiene esta área, entonces requiere soluciones especiales que incluyan las estructuras y los equipos. Las grandes distancias y las cargas tan pequeñas representan un costo por kW-h muy elevado, siendo preferible en muchas zonas generar la energía localmente por lo menos al inicio de las redes.

Un sistema supervisorio SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), es un sistema que permite vigilar y controlar a través de la adquisición y monitoreo de datos, operaciones y procesos a distancia, ejerciéndose control sobre mecanismos, recursos o aparatos específicos. Este sistema depende de una serie de equipos que provee a una central la suficiente información para el procesamiento, permitiendo determinar el estado de un proceso y/o tomar acciones sobre éste sin estar físicamente en la planta.

Tanto el control de los mecanismos como la recopilación y procesamiento de los datos, requiere de sistemas “semi-inteligentes”. El Sistema de Adquisición de Datos y control Supervisorio (SCADA), se basa en el uso de unidades terminales remotas (para la adquisición de datos y la ejecución de los controles), controladas por una o más unidades maestras (con mayor capacidad para el procesamiento de datos e interfaz hombre-máquina).

2.1 Funciones Básicas

Las unidades terminales remotas efectúan el proceso de adquisición de datos, almacenándolos en memoria y posteriormente se transmiten al computador principal o maestro para su procesamiento (muestreo de las señales analógicas y digitales), que se producen a través de los transductores en el sitio de la medición, así como la ejecución de órdenes de control enviadas desde la estación maestra.

La estación maestra, con capacidad de procesamiento superior a la remota, está constituida básicamente por un computador central, periféricos e interfaces que enlazan a toda el sistema. Se encarga de enviar las órdenes de ejecución de los controles desde la sala de operadores hasta las unidades terminales remotas. Además, interroga a todas las remotas para actualizar su base de datos, visualizando los cambios ocurridos a los operadores para que tomen las acciones necesarias.

2.2 Componentes del Sistema

En la implementación de un sistema SCADA existen diferentes configuraciones, dependiendo de la complejidad del sistema que se requiere controlar. Las configuraciones pueden ser, desde una maestra con una remota, hasta sistemas con múltiples remotas, maestras y sub-maestras.

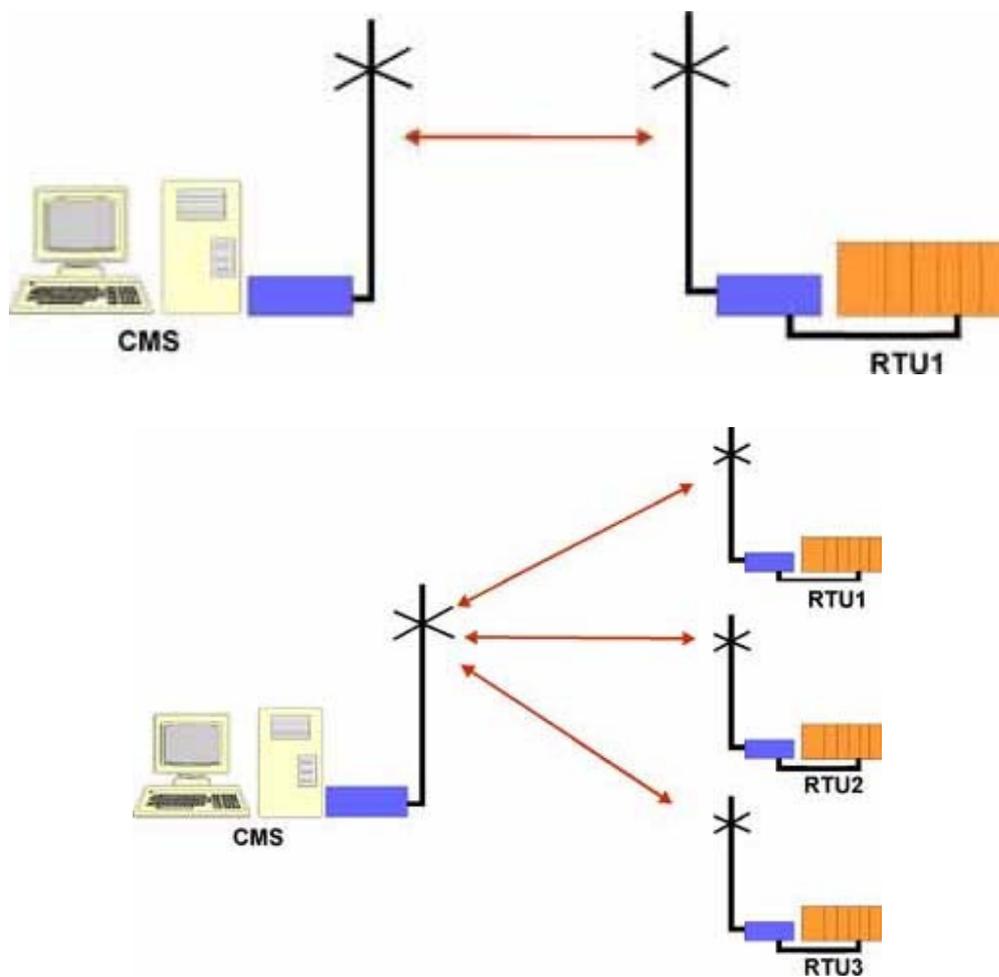


Fig 2.1 Configuración Básica de un Sistema SCADA

En los sistemas más sofisticados, la estación maestra puede estar formada por un grupo de computadores conectados entre sí, integrando una red cuya topología permite la distribución de recursos de una manera eficiente. Opcionalmente se utilizan computadores

de respaldo (backup) para evitar que el sistema permanezca fuera de servicio, en caso de fallara la estación maestra.

Las entradas y salidas de las unidades terminales remotas pueden ser analógicas o discretas. Estas unidades, tienen la función de reportar la condición de sus entradas y colocar en sus salidas las acciones de control efectuadas por el operador, a través de la estación maestra.

Las señales de entrada analógicas provienen de transductores, que generan una salida eléctrica proporcional a la cantidad medida. Entre ellos se encuentran termocuplas, transductores de flujo, PH, nivel y presión. Las señales de entrada discretas provienen de relees, válvulas, detectores on-off de posición, alarmas, etc.

Las señales de salida analógicas se usan para colocar el “set point” de la instrumentación de campo en: válvulas de paso múltiple, reguladores de velocidad, controladores de flujo, medidores de presión, controladores de punto (medidores de aguja, trazadores), etc. Las salidas discretas se utilizan para disparar relees, alarmas, breakers, manejo de válvulas de dos estados, etc.

2.3 Comunicación entre Maestra y Unidad Terminal Remota

En la mayoría de los casos, las unidades remotas se encuentran distantes de las estaciones maestras, por lo que se hace imprescindible establecer un medio de transmisión adecuado para el flujo de datos de telemetría provenientes de la instrumentación de campo. La selección del canal de comunicación entre la estación maestra y las unidades terminales remotas, depende de las necesidades del sistema.

La comunicación siempre se realiza por un canal serial, es decir, los datos son enviados bit a bit y además, en forma half duplex (la unidad terminal remota solo contesta cuando es interrogada por la estación maestra). Esto puede ser en forma discreta a través de una línea muerta (cable) que una a las dos estaciones, o por medio de un modem. Este último dispone

de diferentes tipos de enlace: línea telefónica, fibra óptica, radio, microondas, vía satelital, etc.

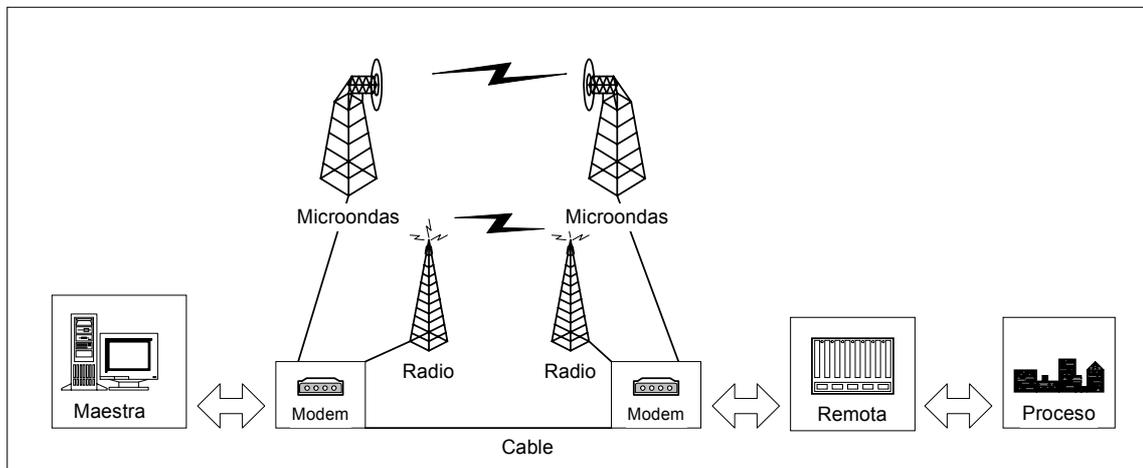


Fig 2.2 Medios de Comunicación Maestra-Remota

La selección del modo de transmisión, al igual que el medio en que se transmite, el protocolo, etc., depende de la velocidad de transmisión requerida, la distancia involucrada, la seguridad de los datos y de los costos.

2.4 Sistema SCADA en la Industria Eléctrica

En la industria eléctrica se requieren condiciones especiales debido a los niveles de seguridad y las condiciones de régimen crítico a manejar. Dentro de la industria eléctrica existen dos tipos de aplicaciones para los sistemas SCADA: distribución y transmisión.

Los sistemas SCADA de transmisión son los más usados; por ejemplo, en Venezuela las compañías eléctricas tienen uno dedicado a las operaciones de transmisión. Mediante su uso se tiene una visión completa de su proceso geográficamente distribuido en tiempo real, permitiendo tomar decisiones operativas en forma inmediata, a partir de los diagnósticos realizados en el sistema. Entre las operaciones más comunes se hallan: monitoreo del sistema, análisis de contingencias, acciones correctivas, etc.

Los sistemas SCADA de distribución están relacionados con la calidad del servicio y el diagnóstico con fines de mantenimiento de la red eléctrica. El bajo costo de las unidades terminales remotas, altas velocidades de redes que permiten ver la información en tiempo real, ha generado un aumento en el uso de sistemas SCADA dedicados a la tarea de distribución.

Los sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos (SCADA) de área amplia proporcionan medios para supervisión remota de eventos y control de equipos en las localidades lejanas. El diseño del sistema puede ser una tarea complicada, debido a la integración de distintos componentes como: sensores y dispositivos de medición, control de motores, controladores lógicos programables, una red de comunicaciones, computadora central ó maestra y software de interfaz hombre-maquina (HMI). A veces, el hardware en sitios remotos y las comunicaciones inalámbricas se integran en sitios al aire libre y en este caso, el equipo es una unidad terminal remota (RTU).

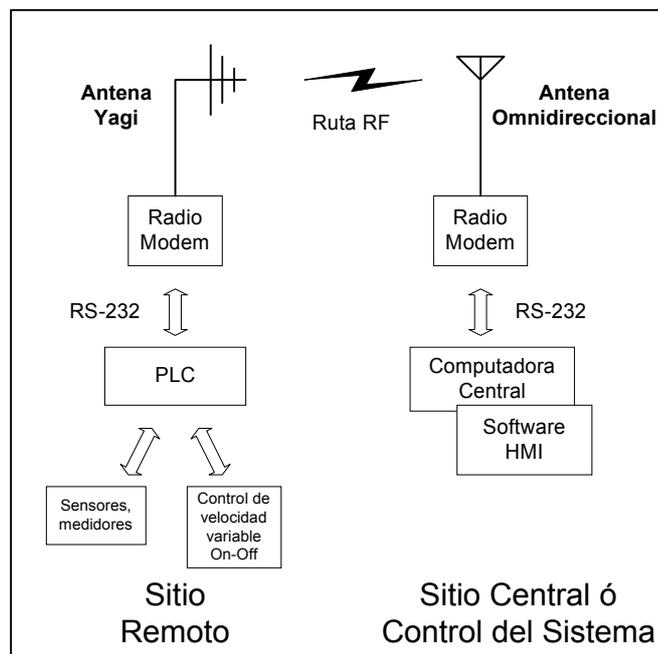


Fig 3.1 Sistema Inalámbrico SCADA

En algunos sistemas SCADA, las comunicaciones del PLC desde el sitio remoto al punto de control pasan a través de un puerto serial RS-232. En diseños viejos, un módem convierte los datos digitales seriales en los tonos de audio analógicos, que son enviados a distancias largas por líneas dedicadas o telefónicas discadas (dial-up). Por estos medios se proporciona la conectividad para aplicaciones SCADA en redes WAN.

En cierto momento, la comunicación por radio desplazó la línea telefónica como el medio de comunicaciones más usado, esto sucedió por las siguientes razones:

- Ya que la confiabilidad de la infraestructura del teléfono en algunos países como los EEUU está en segundo lugar, las comunicaciones críticas se confían a una red bajo control directo de sus propietarios.
- El alto costo de las líneas telefónicas arrendadas. Los usuarios de SCADA han encontrado históricamente, que su red inalámbrica de datos paga su costo en un período de tiempo relativamente corto.

3.1 Modos de comunicación

En los SCADA actualmente implementados, la mayoría de los sistemas son en modo de sondeo (polled), en comparación con reporte por excepción (report by exception). En una arquitectura sondeo, el punto de control del sistema, o el anfitrión, inicia todas las secuencias de la transmisión de datos y ningún sitio remoto reporta su estado hasta que el anfitrión pregunte. Los sistemas sondeo se diseñan para preguntar cada pocos segundos, minutos u horas, dependiendo de cómo se requieren las actualizaciones de la información. Además, las capacidades de los modernos equipos radio modem de alta velocidad hacen improbable que algunos datos recuperados no estén actualizados.

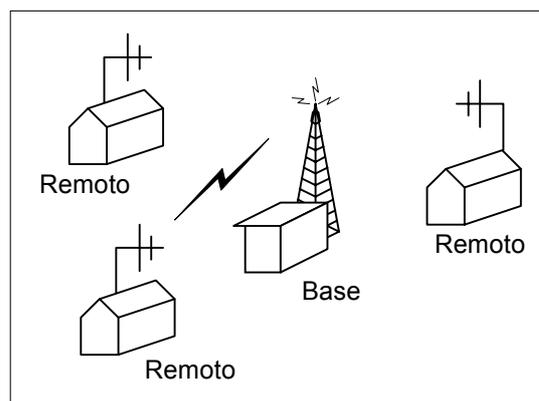


Fig 3.2 Componentes del Sistema Inalámbrico

El reporte por excepción (report by exception) puede ser utilizado cuando no se requiere actualizaciones constantes de sitios remotos y el volumen de tráfico es elevado. En esta

arquitectura, los sitios remotos envían actualizaciones solamente cuando ocurre un cambio del estado. Mientras algunos sitios remotos pueden estar fuera del alcance de radio de cualquier otra unidad, se deben tomar previsiones para evitar colisiones durante transmisiones de datos simultáneas. Esto puede aumentar el costo y la complejidad del sistema, y no puede ofrecer el funcionamiento ideal, particularmente si no se anticipa la expansión del sistema.

MODBUS es un protocolo muy usado para comunicaciones inalámbricas. Numerosas fabricas de PLC tienen sus unidades implementadas para este protocolo. Existen otros protocolos que operan similarmente y algunos son propietarios. Generalmente, protocolos maestro-esclavo que son fragmentados, empleando mensajes direccionables, chequeo de error y están diseñados para sondeo maestro-esclavo, trabajando bien en ambientes inalámbricos. Verdaderamente, el hardware de radio modem transparente requiere las señales RTS/CTS para la negociación en el control del flujo de datos y hace seguro que su hardware de PLC soporte los requerimientos de comunicación.

3.2 Antenas y Alimentadores

Generalmente, en un sistema sondeo (polled), una antena omnidireccional en el sistema es el punto de control. Las antenas omnidireccionales irradian por igual en su rango de cobertura. La antena yagi es direccional y se debe colocar en la dirección que se desea establecer la comunicación. A menudo, los sitios alejados que se comunican solamente con el punto de control se equipan de antenas yagi.

Alimentadores de antena y conectores de bajas pérdidas son requeridos en frecuencias ultra elevadas (Ultra High Frequency, UHF), comúnmente 450-470 MHz o cuando se emplean altísimas frecuencias, debido a que los alimentadores y conectores exhiben pérdidas mayores en frecuencias altas, tanto en la transmisión como en la recepción. Por esta razón, las frecuencias ultra elevadas requieren coaxial rígido para todo el funcionamiento, mientras que el cable coaxial del tipo RG-8 de pérdidas bajas se puede utilizar para frecuencias muy altas (Very High Frequency, VHF) en distancias de menos de 25 pies.

Comúnmente en UHF los conectores de alimentadores (PL-259) se pueden utilizar en las frecuencias VHF, pero generalmente el conector ‘Tipo N’ de baja pérdida podría ser utilizado para frecuencias VHF y UHF.

3.3 Repetidores

En algunos casos, se puede descubrir que las comunicaciones propuestas para ciertos sitios remotos son de baja calidad. Los repetidores se utilizan para extender el alcance de las comunicaciones desde el punto de control, siendo común colocar una remota para utilizarla como un punto de control secundario, la cual reenvía peticiones desde el punto de control principal a otras estaciones remotas.

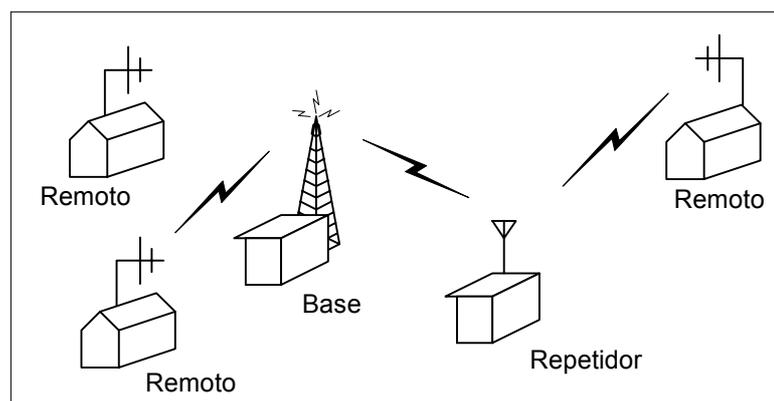


Fig 3.3 Sistema Inalámbrico con Repetidor

Este tipo de repetición se llama “almacena y reenvía” (store and forward). Se distingue de repetición full duplex, que realiza la transmisión y recepción simultáneas y requiere dos canales de radio. La repetición de almacena y reenvía es muy común en el diseño del sistema SCADA y se elige a menudo por su simplicidad y costos relativamente bajos, este aprovecha las características del hardware de PLC en sitios alejados. Otra alternativa es ubicar remotamente el hardware de radio del punto de control, si el punto de control no proporciona la cobertura de radio a sus sitios remotos. Puede ser difícil justificar los gastos adicionales de prolongar el alcance inalámbrico, pero darse cuenta que comunicaciones de

baja calidad, nunca proporcionan un desempeño confiable al sistema SCADA y causará tiempos fuera inoportunos.

3.4 Radio Licenciada (Licensed) y Libre (Unlicensed)

Los clientes de datos inalámbricos cuentan con una gran variedad de opciones de comunicación. Además, de la radio licenciada existe la que no requiere licencia, que es libre y no requiere autorización para el uso.

Las redes SCADA inalámbricas sin licencia, se encuentran compartiendo el espectro con un número en aumento de dispositivos industriales y de consumo masivo, por ejemplo: teléfonos inalámbricos, monitores de bebé, dispositivos inalámbricos LAN y operadores de radio aficionados. También, la energía de la salida del radio libre debe ser reducida cuando se utilizan antenas de alta ganancia. Además, la propagación de radio en frecuencias altas libre es relativamente desfavorable con respecto a las frecuencias bajas de las bandas con licencia.

En el pasado, las frecuencias con licencia fueron creciendo y difíciles de obtener en algunos países como los EEUU, pudiendo tomar meses obtener la autorización de operación del Organización Federal Estadounidense (Federal Communications Comisión, FCC). Sin embargo, desde 1997, el reordenamiento de la FCC ha hecho posible obtener los nuevos canales de comunicaciones y ha aliviado grandemente la congestión de las comunicaciones para los usuarios de datos inalámbricos. Adicionalmente, los usuarios de datos inalámbricos han descubierto que utilizando servicios licenciados, ellos pueden recibir autorización operacional en un mes o menos. Sin embargo, no todos los servicios que licencian la FCC son experimentados, ni actualizados, con aplicaciones de datos inalámbricos y las reglas pertinentes del espectro.

3.5 Espectro Radioeléctrico en Venezuela

A los efectos de la ley orgánica de telecomunicaciones, se define el espectro radioeléctrico como el conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de tres mil gigahertz (3000 GHz) y que se propagan por el espacio sin guía artificial (artículo 4).

Corresponde a la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), la administración, regulación, ordenación y control del espectro radioeléctrico, de conformidad con lo establecido en la ley y en las normas vinculadas dictadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), procurando además armonizar sus actividades con las recomendaciones de dicho organismo (artículo 69).

El establecimiento o explotación de redes de telecomunicaciones, así como la prestación de servicios de telecomunicaciones se consideran actividades de interés general, para cuyo ejercicio se requerirá la obtención previa de la correspondiente habilitación administrativa y concesión de ser necesaria, en los casos y condiciones que establece la ley (artículo 5).

La concesión de uso del espectro radioeléctrico es un acto administrativo unilateral mediante el cual la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), otorga o renueva, por tiempo limitado, a una persona natural o jurídica la condición de concesionario para el uso y explotación de una determinada porción del espectro radioeléctrico, previo cumplimiento de los requisitos establecidos en la Ley (artículo 73).

La habilitación administrativa es el título que otorga la Comisión Nacional de Telecomunicaciones para el establecimiento y explotación de redes y para la prestación de servicios de telecomunicaciones, a quienes hayan cumplido con los requisitos y condiciones a tales fines establezca dicho órgano, de conformidad con la Ley. En los casos en que se requiera el uso del espectro radioeléctrico, el operador deberá obtener además la correspondiente concesión.

El artículo 23 de la Ley hace referencia a los casos en que no se requerirá habilitación administrativa.

3.6 Estudios de Propagación de Radio

La propagación de radio es el estudio del comportamiento de las ondas de radio en el terreno a frecuencias particulares, siendo esencial que se realice este sin importar el tipo de radio a utilizar, licenciado o libre. Un estudio propagación de radio o de la trayectoria, determina si la señal de radio se recibe en otro punto, demostrándose la necesidad de establecer un nuevo sitio o utilización de un repetidor de radio, o utilizar un sitio remoto existente o propuesto como estación de relevo. Además, un estudio cuidadoso de la trayectoria considera la necesidad para un margen de desvanecimiento de 20 a 30 dB. Esto permite comunicaciones sin interrupciones cuando la trayectoria experimenta la degradación temporal y periódica debido a los cambios atmosféricos y/o estacionales.

Para un estudio de la trayectoria de un sistema pequeño, se puede descubrir y verificar la línea de radio del sitio con radios portátiles y es esencial eliminar tantas variables como sea posible. Se debe simular la misma altura y funcionamiento de la antena y utilizar la misma potencia de salida del RF que será utilizada en el sistema a implementar. También es necesario realizar comunicaciones de datos confiables y éstas requerirán más potencia en la señal que las comunicaciones de voz.

Para los sistemas grandes, es prudente realizar un estudio computarizado de la trayectoria, preferiblemente antes de poner en licitación la instalación del sistema SCADA. Los estudios computarizados de la trayectoria consideran el terreno, perfiles del terreno y de la vegetación, etc.; estos son generalmente de gran ayuda para ahorrar el dinero y tiempo en la integración del sistema. El estudio de propagación previamente realizado, facilitará el proceso de selección de la empresa integradora del sistema y garantizará el éxito del sistema.

Desde hace varios años, el Departamento de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica ha llevado adelante algunos proyectos conducentes a identificar los sistemas de distribución eléctrica de las dependencias de la Ciudad Universitaria de la UCV como trabajos de grado de estudiantes en las menciones Industrial y Potencia, realizando el levantamiento de información de la red primaria 4,8 kV y el análisis del consumo de grupos de edificaciones.

Además se realizaron trabajos de grado ^{1,2} y presentaron varios trabajos en Congresos Científicos ^{3,4} sobre el tema de calidad de energía eléctrica dentro de la Ciudad Universitaria en la red primaria alta tensión y baja tensión, en algunas dependencias con la finalidad de evaluar las cargas contaminantes que disminuyen la calidad de la energía suministrada y disminuyen la vida útil de los equipos electrónicos. El grupo de investigación del departamento de Potencia “Unidad de Sistemas de Potencia”, esta trabajando en la modelación de transformadores sometidos a cargas no lineales ⁵, de equipos de medición en redes de distribución ⁶ y de las corrientes armónicas producidas por puentes rectificadores ^{7,8,9,10,11}, para integrarlas a un programa de flujo de carga armónico ^{12,13}, que permita determinar y prever los efectos de estas cargas en las redes como principales elementos de su contaminación.

En Julio de 2000, se culminó una tesis de Especialización en Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos, cuyo objetivo fue la elaboración de las especificaciones del sistema de supervisión de la red de distribución eléctrica de la UCV¹⁴.

¹⁻¹⁴ Referencias Bibliográficas de Laboratorio Nacional de Supervisión de Redes de Distribución.

JUSTIFICACIÓN

El 13 de Noviembre de 1996 se aprobó el primer Marco Regulatorio de la Industria Eléctrica Venezolana y en Septiembre de 1999 se aprobó la nueva Ley del Sector Eléctrico. Los deberes y derechos de clientes y distribuidores se enmarcan en un Reglamento de Calidad de Servicio y productos técnicos para los cuales el Ente Regulador fija el método de fiscalización. Con este marco legal la Sociedad Civil adquiere un papel protagónico de agente activo del mercado, se modifica la perspectiva del suplidor en base a la rentabilidad del negocio y se descarta la política de expansión de la red basada por criterios de atención prioritaria al desarrollo de las regiones planificado por el Estado.

La supervisión de la calidad de la energía eléctrica se convierte en un factor de importancia para el usuario y el suplidor del servicio, pudiendo acarrear sanciones económicas. El objetivo primordial de los suplidores es mantener la calidad de servicio manteniendo su rentabilidad, por lo cual deben supervisar su red con la finalidad de detectar fallas e implementar nuevas políticas de despacho que aseguren mayor rentabilidad sin desmejoramiento.

La rentabilidad del negocio se basa en vender más energía con la infraestructura disponible, lo cual no es contemplado actualmente en Venezuela. El mercadeo empieza a jugar un papel fundamental dentro de las actividades del sector y las empresas proveedoras del servicio deben investigar y atender de manera más efectiva las necesidades del cliente, desarrollar productos y servicios que permitan optimizar la relación precio-valor del producto. Una de las estrategias de mercadeo utilizada internacionalmente por las compañías eléctricas es la Gerencia de la Demanda (Demand Management o Load Management), que se define como la forma en que las empresas actúan sobre la demanda de energía de sus clientes para cambiar el comportamiento de manera de aumentar la eficiencia del abastecimiento.

En estudios realizados durante un año del consumo de energía eléctrica en la Ciudad Universitaria, el perfil de demanda es bastante aproximado a la curva típica de los clientes comerciales de la Electricidad de Caracas, obteniendo una posición privilegiada en cuanto a

JUSTIFICACIÓN

la representatividad de la mayoría de los suscriptores, constituyendo un campo de experimentación válido para los estudios de redes de distribución eléctrica.

En vista del crecimiento gradual del Sistema Eléctrico de la Universidad Central de Venezuela y la administración propia que realiza la universidad de la red eléctrica, es necesario implementar un Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos para la Red de Distribución de Ciudad Universitaria, permitiendo obtener los siguientes beneficios: ahorro en el consumo eléctrico, estudio del sistema eléctrico actual observándose las necesidades reales y permitiendo tomar las previsiones para un crecimiento gradual y planificado, mantenimiento preventivo y correctivo, calidad del servicio suministrado, prevención de fallas y por ende reducción de los tiempos “fuera de servicio” que van en perjuicio del usuario, centralización de la información en la escuela de ingeniería eléctrica, etc.

El proyecto original de redes de distribución de la Ciudad Universitaria en su estructura actual, contempló la supervisión local de consumo eléctrico y de sus diferentes componentes. En los puntos de entrada a la Ciudad Universitaria se encuentran sistemas de medición de las variables eléctricas (los cuales están actualmente dañados) y en todas las acometidas secundarias de las dependencias universitarias (en funcionamiento). Las expansiones realizadas recientemente no mantienen este esquema, pero la implementación del sistema de supervisión de las variables eléctricas en todas las dependencias se hace sencillo por los transductores existentes y la adicción de los faltantes. Además, se incluirán mediciones de otras variables, por ejemplo: temperatura de los transformadores, temperatura ambiente, etc.

Para la implementación del Sistema de Supervisión se pretende incorporar tecnología de red interconectando las distintas dependencias de la Universidad Central de Venezuela. Se realizará un análisis de la red instalada en las distintas dependencias, para determinar el uso o no de la infraestructura existente y en los sitios sin red se implementarán distintos medios de transmisión (par trenzado, fibra óptica, radio, láser, etc.), utilizando distintas tecnologías de comunicación.

JUSTIFICACIÓN

El trabajo especial consiste en presentar el conjunto de soluciones técnicas que sustentan el diseño de la Red de Comunicaciones para la Supervisión de Redes de Distribución en la UCV, permitiendo conocer y evaluar muchos de los aspectos de la especialización realizada, además que permite la Gerencia del Proyecto de una forma eficaz y precisa, resultando también en un levantamiento de información, metodología de trabajo, especificaciones de la red y documentación de resultados.

IMPORTANCIA DEL PROYECTO

De la implementación de la Red de Comunicaciones para la Supervisión de Redes de Distribución, se obtienen los siguientes beneficios:

- Centralización de la información de la Red de Distribución Eléctrica de la UCV en la Escuela de Ingeniería Eléctrica en la estación de supervisión central, recolectando los datos de las unidades terminales remotas a través de la red y visualizando la información del sistema en tiempo real en la interfaz hombre-máquina.
- Implementación de red inalámbrica, permitiendo evaluar distintas técnicas de transmisión de datos.
- Implementación de analizadores de red eléctrica de distintos fabricantes, permitiendo realizar ensayos a los estudiantes en el área de potencia, SCADA y en el área de comunicaciones en el uso de diversos protocolos de comunicación, para ambientes de SCADA (modbus, cirbus, propietarios, etc).
- Los estudiantes de pregrado y postgrado pueden realizar estudios de tráfico, permitiendo evaluar los distintos medios de transmisión (par trenzado, fibra óptica, radio, etc), realizando mediciones con la finalidad de observar el comportamiento del medio (velocidad de transmisión, reintentos, interferencia, errores, etc).

De la implementación del Laboratorio Nacional de Supervisión de Redes de Distribución en la Ciudad Universitaria, se obtienen beneficios en los siguientes sectores:

- Académico, laboratorio a gran escala para realizar ensayos, diseños, pruebas, mejoras, detección de fallas, mantenimiento, etc., en distintas áreas de investigación y fortalecerá la formación impartida en la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Maestría en Ingeniería Eléctrica y en Investigación de Operaciones, Especializaciones en SCADA, Comunicaciones, Instrumentación y Sistemas Eléctricos de Potencia que ofrece la UCV.

IMPORTANCIA DEL PROYECTO

- Empresarial, por ser la ciudad universitaria un campo de experimentación válido para los estudios de redes de distribución, la supervisión de la red incorpora soluciones a problemas particulares, recomendaciones para diseños de nuevas redes de distribución, fuentes de conocimientos que responden a necesidades específicas o experiencias derivadas de la inserción de tecnologías en el área, por lo cual estas investigaciones servirán a las empresas proveedoras del servicio (Electricidad de Caracas, Cadafe, Enelbar, Enelven, Seneca, Edelca, etc).
- Gubernamental, los conocimientos derivados del laboratorio permitirán coordinar más eficazmente la misión del Estado en el ámbito fiscalizador y regulador, además de proyectar acertadamente la orientación de planificación que le compete.

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La Universidad Central de Venezuela, fundada el 22 de diciembre de 1721, tiene como misión crear, asimilar y difundir el saber mediante la investigación y la enseñanza: completar la formación integral iniciada en los ciclos educacionales anteriores; y formar los equipos profesionales y técnicos que necesita la nación para su desarrollo y progreso. (Ley de Universidades de 1970)

La Universidad Central de Venezuela es una institución conformada por 11 Facultades, 42 Escuelas y 40 Institutos, más de 60 mil estudiantes, 6 mil profesores y 5 mil empleados aproximadamente.

7.1 Red de Distribución Primaria de 4,8 kV de la UCV

Las dependencias de la Universidad Central de Venezuela, que representan las cargas a ser servidas por el sistema, están ubicadas uniformemente a través de toda el área de la Ciudad Universitaria, separadas por zonas verdes o campos deportivos. La mayoría de las edificaciones poseen menos de 4 niveles basadas en volúmenes horizontales, además de edificios verticales de 10 niveles, implicando requisitos generales de iluminación, aire acondicionado, ventilación, servicios sanitarios y transporte vertical.

Una gran parte de los requerimientos de energía eléctrica de la Ciudad Universitaria son servidos por la red eléctrica de distribución primaria de alta tensión de 4,8 kV, la cual se compone de cinco alimentadores subterráneos, denominados troncales, que parten desde la subestación Los Chaguaramos. Alrededor de los alimentadores se unen subalimentadores (ramales) en configuración radial, cubriendo la totalidad de la Universidad.

La conexión entre los circuitos ramales en alta tensión y la red de distribución de baja tensión, se realiza mediante transformadores trifásicos o banco de transformadores monofásicos, por lo general en conexión delta-estrella con neutro puesto a tierra.

La descripción de los elementos principales de la red de distribución primaria de la UCV, muestra un sistema radial. Por definición, un sistema de operación radial tiene el flujo de energía en una sola trayectoria de la fuente a la carga y una falla produce la interrupción en

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

el servicio. Este sistema de servicio de energía eléctrica es probablemente el más antiguo y comúnmente usado en la distribución de energía eléctrica, debido a su bajo costo y sencillez, las redes de operación radial se seguirán usando, pero deben mejorar sus características de operación para hacerlas más confiables.

7.1.1 Subestaciones de Distribución

La red eléctrica de distribución primaria de 4,8 kV de la Ciudad Universitaria puede ser subdivida en dos porciones, una donde se realiza la función de transferir la energía eléctrica desde el sistema de subtransmisión a distribución (específicamente en la subestación Los Chaguaramos) y la otra realiza la interconexión dentro del mismo sistema de distribución de dos regiones geográficamente separadas, identificándose esta porción de la red como Subestación UCV.

7.1.1.1 Subestación Los Chaguaramos

La Subestación Los Chaguaramos, propiedad de La Electricidad de Caracas, suministra energía en áreas específicas de la Ciudad Universitaria y está constituida por dos barras con interruptor de enlace normalmente cerrado. La barra 2, con tres unidades de transformación y la barra 1 con un transformador. Las características son: relación de transformación (28,8 / 4,8 kV \pm 10%), capacidad nominal (3000 kVA, enfriamiento 0A) y capacidad con ventilación forzada (3750 kVA, enfriamiento FA). Cada barra tiene un banco de condensadores de 2400 kVAR. De la barra uno salen los alimentadores A1, A2, A3, A4 y A5, de la barra dos los alimentadores A6, A7 y A8.

7.1.1.2 Subestación UCV

La Subestación UCV realiza la interconexión con áreas o zonas de la red con la correspondiente transferencia de energía eléctrica a los centros de carga y el seccionamiento del sistema de distribución para así facilitar su operación y protección. Los

componentes de la subestación son: bloque de equipos de maniobra de alta tensión y panel eléctrico de alta tensión.

7.1.2 Circuitos de Distribución Primarios

Los circuitos de distribución primarios están formados por un conjunto de redes subterráneas en su mayoría por ductos de fibra de concreto. Estos suministran energía a las dependencias partiendo desde las subestaciones de distribución hasta los primarios de los transformadores de distribución, con sus respectivos equipos de protección, operando a una tensión nominal de 4,8 kV.

7.1.3 Transformadores de Distribución

Los transformadores de distribución son trifásicos o banco de transformadores monofásicos que adaptan la tensión de la red a las condiciones requeridas en el lugar de servicio, es decir, son utilizados para reducir la tensión de distribución primaria al nivel de tensión deseado de las dependencias de Ciudad Universitaria. Cada transformador o banco de transformadores es usado para suplir una o varias cargas.

7.1.4 Circuitos de Distribución Secundarios

Comprenden los alimentadores en baja tensión que sirven a través de tableros principales a las diferentes dependencias de la Ciudad Universitaria con un sistema trifásico de cuatro hilos, con neutro solidamente puesto a tierra.

Arcia, Héctor: “Actualización, Análisis y Digitalización de la Red de Distribución Primaria de 4,8 kV de la Ciudad Universitaria de la UCV. Marzo, 2001.

7.2 Plataforma de Red de Comunicaciones en Ciudad Universitaria

La red corporativa de la Universidad Central de Venezuela que ofrece los siguientes servicios: voz, datos, acceso a Internet a través de Reacciun y CANTV, acceso remoto, videoconferencia, etc., está constituido por su sede principal ubicada en Ciudad Universitaria e interconectada por enlaces Frame Relay, dedicados, microondas, fibra óptica, etc., a los siguientes nodos: CDCH, CCLCH, Facultad de Agronomía y Veterinaria en Maracay, Escuela de Salud Pública, CENDES, CENAMB, EUS Ciudad Bolívar, EUS Barcelona, ICTA y Núcleo Cagua, permitiendo la integración de los servicios de voz y datos y transparencia de extremo a extremo a los usuarios interconectados.

La plataforma física de la red inherente a la infraestructura del cableado del campus son 27 km de fibra óptica monomodo que conectan 62 edificios, en una red Fast Ethernet (100 Mbps). La Ciudad Universitaria tiene una topología distribuida por múltiples localidades o nodos interconectados por enlaces de fibra óptica: el backbone principal compuesto de 5 segmentos de fibra óptica monomodo de 24 hilos que conecta a los cuatro nodos: Medicina, Ciencias, Rectorado y Ingeniería, a los cuales se encuentran conectadas diferentes facultades, escuelas o institutos en topología estrella y en cada una de las redes ethernet 10baseT, para una velocidad de transmisión de 10 Mbps ó fast ethernet.

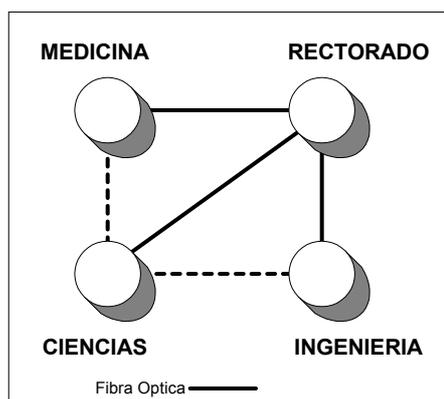


Figura 7.1 Backbone Principal de Fibra Óptica en la UCV

La figura 7.1 muestra la conexión entre los nodos de medicina-ciencias e ingeniería-ciencias (configuración redundante), la cual no se encuentra actualmente implementada.

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La situación actual se muestra en la figura 7.2, en la cual el centro estrella ubicado en el Rectorado con un switch LSS 590 se conectan los switches LSS 210 ALCATEL a través de fibra óptica monomodo a una velocidad 100 Mbps. La red de la EIE se conecta a la red corporativa en el nodo de la Facultad de Ingeniería.

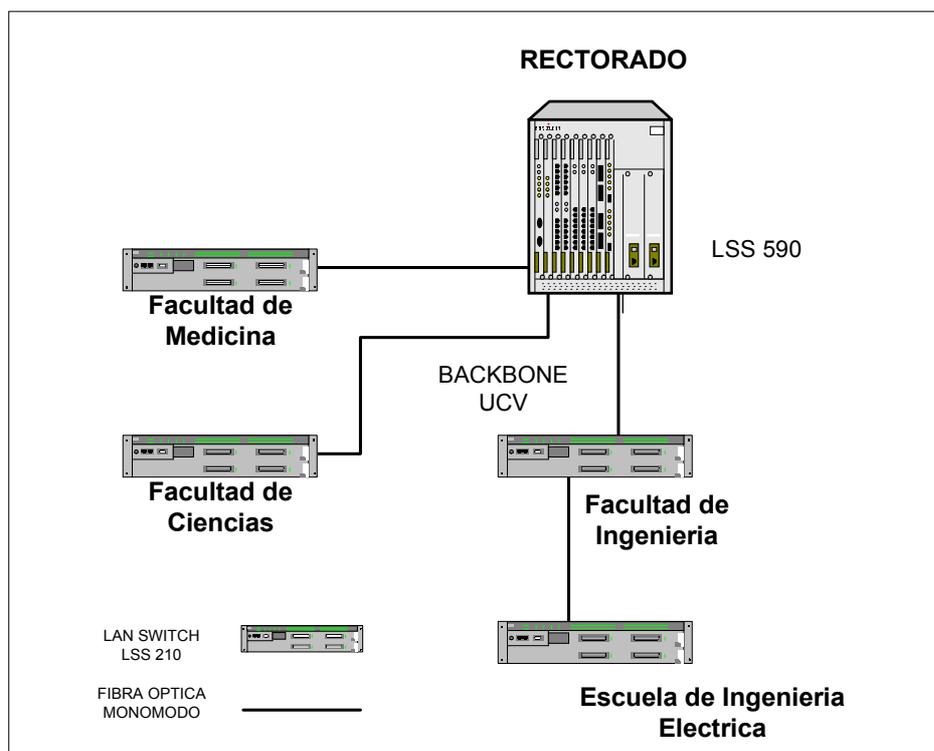


Figura 7.2 Nodos de la Red de Datos de Ciudad Universitaria

La localidad principal del sistema de comunicación PBX-UCV (Private Branch Exchange), denominada “nodo principal” está ubicada en el edificio de Comunicaciones cerca del Rectorado de Ciudad Universitaria y desde esta ubicación se distribuye el cable de cobre tipo 2532, 2532-G y 2532-I en toda la ciudad universitaria.

La planta externa telefónica tiene un área de cobertura en la Ciudad Universitaria, soportada mediante cables multipares los cuales llegan a la totalidad de las edificaciones, a través de cuatro (4) cables principales de alta capacidad (2100 pares) y tres (3) cables de baja capacidad (50 y 100 pares) para las edificaciones cercanas.

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Nombre	Descripción	Áreas o Edificaciones Cubiertas
Cable Directo N° 1	2100 pares	Instituto Nacional de Higiene Sala de Calderas y Lavandería OBE Nueva Sede Decanato de Medicina y escuela Luis Razetti Instituto Oncológico Facultad Odontología Ambulatorio de Medicina Facultad de Medicina Ingeniería Metalúrgica Facultad de Ciencias Escuela de Administración y Contaduría Escuela de Educación
Cable Directo N° 2	2100 pares	Edificio de Rectorado Edificio El Museo Hospital Universitario Instituto anatomopatológico Instituto Anatómico Medicina Experimental Edificio Biblioteca Central Ingeniería Sanitaria Ingeniería Química Centro Monederos
Cable Directo N° 3	2100 pares	Instituto Jardín Botánico Instituto de Investigaciones Edificio de Economía Instituto de Sociología Instituto de Ciencias Jurídicas y Políticas Edificio de Trabajo Social Comedor Edificio de Residencias III Dirección de Deportes Hidrometeorología Casona Ibarra Edificio de Bioanálisis Gimnasio Cubierto Estadio Olímpico, Estadio Universitario
Cable Directo N° 4	2100 pares	Edificio de Arquitectura Edificio de Laboratorio de Química Ingeniería Básica Decanato de Ingeniería Ingeniería Electrónica Ingeniería Química, Petróleo y Geología Edificio de Hidráulica Edificio de IMME
Cable Directo N° 5	100 pares	Edificio de Comunicaciones
Cable Directo N° 6	100 pares	Dirección de Informática
Cable Directo N° 7	100 pares	Sala de Telecomunicaciones
Cable Directo N° 8	1400 pares	Ingeniería Metalúrgica Facultad de Ciencias Escuela de Administración y Contaduría Escuela de Educación

Tabla 7.1 Áreas de Cobertura de Red Telefónica de Ciudad Universitaria

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Para el diseño del Laboratorio Nacional de Supervisión de Redes de Distribución, se realizó un Trabajo Especial en el área de SCADA, en el cual se realizaron las especificaciones del Sistema SCADA para la supervisión de la red eléctrica.

La arquitectura del sistema SCADA necesaria para cumplir con los requerimientos de la UCV, se muestra en la figura 8.1 en una 1ra. Etapa con los siguientes elementos: estación maestra principal y respaldo, servidor de base de datos, estaciones de trabajo (mantenimiento, simulación y desarrollo de aplicaciones, operaciones (2)) y unidades terminales remotas (RTU's). Para una 2da. Etapa una (1) estación suplementaria en la Dirección de Servicios Generales de la Ciudad Universitaria y seis (6) en la sala contigua al SCADA para la formación de recursos humanos en las áreas de Sistemas de Potencia y de Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos y en la 3ra. Etapa instalación de (10) estaciones de trabajo conectadas a una red inalámbrica para medición de calidad de servicio eléctrico en cualquier punto que se requiera dentro o fuera de ciudad universitaria. Estas estaciones se comunicarán con una maestra ubicada en la sala contigua al SCADA.

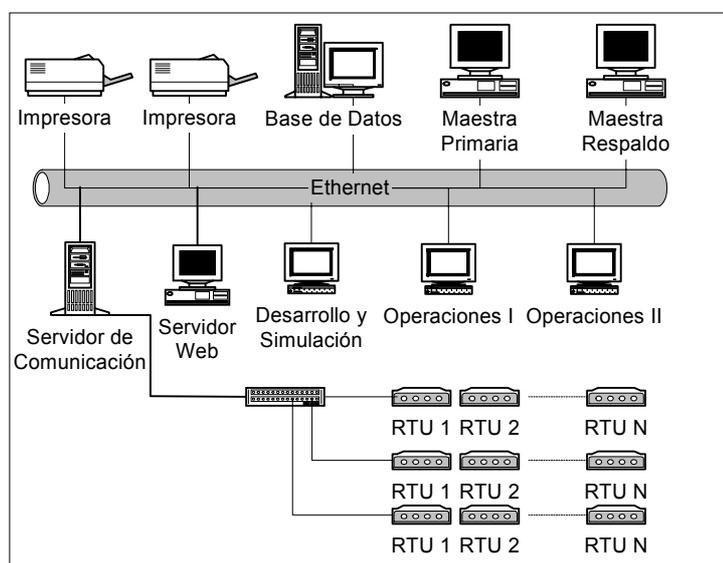


Figura 8.1 Especificación del Sistema de Supervisión

Para la implementación del Sistema de Supervisión de Redes de Distribución en la UCV, se plantearon los siguientes requerimientos en el área de comunicaciones:

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

- Diseño de red de comunicaciones entre las distintas dependencias de ciudad universitaria, con la finalidad de establecer la comunicación entre la maestra de supervisión y las remotas de medición ya adquiridas, ubicadas en los cuartos de transformadores en las dependencias.
- Análisis de la infraestructura de red existente con la finalidad de determinar el uso o no de ésta y en los sitios sin red, evaluar el uso de diferentes medios de transmisión (par trenzado, fibra óptica, radio, láser, etc.)
- Evaluar el uso de distintas tecnologías de transmisión de datos.
- Diseño de esquema de redundancia, garantizando las comunicaciones para la red de supervisión.

Para el grupo de investigación del Departamento de Potencia se pretende instrumentar la red, para lo mencionado a continuación:

1. Desarrollo, evaluación de software y pruebas de equipos asociados a la supervisión y simulación de sistemas de distribución.
2. Realizar estudios de calidad de energía eléctrica, pruebas de equipos destinados a la fiscalización de la calidad de la energía suministrada y adiestramiento en el área del personal.
3. Realizar estudios de gerencia de carga eléctrica, uso eficiente y ahorro de energía, pruebas de sistemas de supervisión de carga y de tecnología eficiente como sistemas de iluminación y de acondicionamiento de aire.
4. Evaluar modelos teóricos de componentes de la red y sistemas de protección de redes secundarias.

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

5. Generar y comprobar modelos de comportamiento de usuarios.
6. Generar y evaluar programas de mantenimiento de dichas redes y elaborar programas para la detección de fallas en sistemas de distribución.
7. Formar recursos humanos y dar mejoramiento profesional en el área de manejo, supervisión e instrumentación de redes de distribución, así como la estructuración de edificios inteligentes.
8. Evaluar la factibilidad técnico – económica de sistemas de autogeneración y del uso de energías alternas en el marco de referencia de generadores independientes como lo prevé la Ley.

Los aspectos mencionados anteriormente están fuera del ámbito de este trabajo especial, pero se incluyen a efecto de establecer el marco de referencia del mismo.

Para la implementación del Sistema de Supervisión, los equipos de medición y transmisión a instalar se adquieren de distintos fabricantes verificando el cumplimiento de estándares que garanticen la operatividad e interconexión, con la finalidad de instrumentar la red con equipos distintos disponibles en el mercado nacional e internacional y en la comunicación (maestras-remotas) el uso de distintos medios de transmisión, a fin de cumplir el objetivo principal del Laboratorio de experimentación de diversas tecnologías para el mejor provecho de la comunidad estudiantil e industria nacional. En vista de ello, se hace necesaria la implementación de dicho sistema y así administrar de manera eficiente la energía. Además, se plantea la necesidad de mejorar y actualizar la infraestructura de comunicaciones en la Escuela de Ingeniería Eléctrica para la instalación del laboratorio y la red de distribución eléctrica. Para ello se sugiere la realización de los siguientes planes a realizar en diversas etapas del proyecto.

□ Planes de Mejoras:

- Implementación de Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos.
- Remodelación de infraestructura en la EIE para la construcción de la Sala para el Laboratorio.
- Reparación de transductores dañados en acometidas primarias y secundarias.
- Evaluación de red de datos para proponer esquemas de redundancia de la red de comunicaciones del sistema de supervisión.

□ Planes de Instalación:

- Instalación de Sistema Operativo Windows 2000 Server y Professional en maestras y estaciones de trabajo.
- Instalación de software Intellution para el Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos.

ALCANCE DEL PROYECTO

- Instalación de Maestra principal y respaldo en edificio de comunicaciones, Servidor de Base de Datos, estaciones de trabajo (operaciones 1, operaciones 2, desarrollo y simulación) en laboratorio en Escuela de Ingeniería Eléctrica.
- Instalación de transductores en dependencias universitarias.
- Instalación de Unidades Terminales Remotas RTU's en los puntos de medición.
- Desarrollo e implementación de protocolo modbus para comunicación maestras – unidades terminales remotas.
- Instalación de sistema eléctrico independiente para las maestras y estaciones de operaciones. UPS con autonomía mínima de una (1) hora en funcionamiento completo y doce (12) horas en emergencia (adquisición de datos).
- Implementación de estaciones de trabajo como mecanismo de redundancia para servidor de base de datos.
- Instalación de infraestructura de cableado estructurado en la sala correspondiente al laboratorio.
- Evaluación de red telefónica con la finalidad de usar el par trenzado de cobre como canal de transmisión entre las unidades terminales remotas y gateway.
- Evaluación de red de datos para usar la fibra óptica como medio de comunicación entre las maestras, servidor de base de datos y consola de operador.
- Evaluación de equipos inalámbricos para la adquisición de estos, en sitios donde la infraestructura existente no cumpla las especificaciones de la interfaz de comunicación.

□ Planes de Interconexión:

- Instalación de infraestructura de comunicaciones entre las distintas dependencias de Ciudad Universitaria, donde se encuentran los centros de distribuciones primarias y secundarias del sistema eléctrico.
- Interconexión de red a backbone principal de la UCV.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

De acuerdo al levantamiento de información realizado y en concordancia con los requerimientos de la Universidad Central de Venezuela, el diseño de la red es un proyecto de gran relevancia y de acuerdo a sus alcances, se hace necesario definir ciertas etapas que concentren las actividades fundamentales que conforman el proyecto. El resultado de la realización de este proyecto se basa principalmente en la instalación de puntos experimentales entre dependencias- sala de comunicaciones – EIE, permitiendo la comunicación maestras-remotas para la plataforma de red LAN y MAN que dominará el ambiente informático del Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos para las Redes de Distribución. Se tomarán en cuenta las previsiones pertinentes para el crecimiento gradual de la red, considerando la implementación de soluciones escalables que permitirán la integración de tecnologías nuevas a partir de la infraestructura a instalar.

Para la determinación de la estrategia del diseño de la red de comunicaciones para el Sistema de Supervisión, se realizó un levantamiento de información el cual contempló las siguientes actividades:

- Reunión con líder del Proyecto, el cual determinó la ubicación de las remotas en Ciudad Universitaria.
- Visitas a los cuartos de transformadores principales en cada uno de los edificios o dependencias, con la finalidad de determinar la factibilidad de la instalación de las remotas, determinar la cantidad de transformadores y observar las condiciones para la determinación del medio de transmisión.
- Reunión con personal encargado de la red telefónica, con la finalidad de conocer la planta externa de la red.
- Reunión con tutor académico para conocer la infraestructura de la red de datos de ciudad universitaria.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

- Revisión de manuales de los analizadores de redes eléctricas (remotas).

Las maestras principal y respaldo según las especificaciones del sistema SCADA estarían ubicadas en el laboratorio en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, pero se acordó colocarlas en el Edificio de Comunicaciones por ser el centro de distribución principal para la red de datos y voz de la Ciudad Universitaria (figura 10.1), con la finalidad de usar la infraestructura del cableado existente para la red de comunicaciones del sistema de supervisión.

Para la 1ra. Etapa del Proyecto se acordó la instalación de las remotas en las siguientes dependencias de la Ciudad Universitaria:

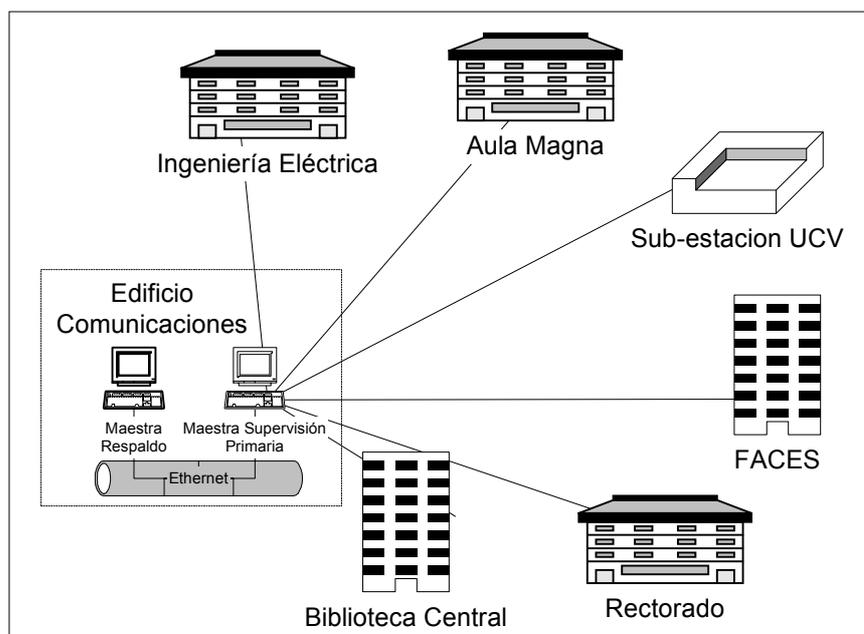


Figura 10.1 Supervisión de Redes de Distribución. 1ra Etapa

UBICACIÓN	REMTAS
Sub-estación UCV	9
Rectorado	2
Aula Magna	3
Biblioteca Central	2
Faces Oeste	1
Faces Este	1
Administración y Educación Oeste - Este	2

Tabla 10.1 Ubicación de remotas en Dependencias

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

A continuación se mencionan los equipos adquiridos para el proyecto:

- Se adquirieron (4) computadoras Compaq las cuales son la maestra principal y respaldo, servidor de base de datos y consola de operador.

- Unidades Terminales Remotas:
 - 10 analizadores de red MCA LIFASA (ver anexo A).
 - 10 analizadores de red MACH 30 DUCATI (ver anexo B).

Para la determinación del medio de transmisión a utilizar para el diseño de la red, se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

- Infraestructura de cableado existente.
- Interfaz de comunicación del puerto de la remota.
- Requerimientos de velocidad de transmisión.
- Distancias a cubrir por el enlace.
- Presupuesto.

7.3 Plataforma Física de Cableado en Ciudad Universitaria

A continuación se muestran los medios de transmisión disponibles en la UCV, con la finalidad de evaluarlos y determinar la opción para el diseño de la red de comunicaciones.

a. Cable de Pares Trenzados

La planta externa telefónica de Ciudad Universitaria la constituyen pares trenzados de cobre; es el tipo de cable más antiguo y de mayor uso por su bajo costo y flexibilidad. En su forma más simple consta de dos conductores de cobre aislados individualmente y trenzados en forma helicoidal reduciendo la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. Cada uno de los pares está recubierto por un aislante

(polietileno, PVC, papel, etc.) de diferente color; cuando hay muchos pares trenzados colocados paralelamente que recorren distancias considerables, se agrupan con una malla protectora, formando lo que se conoce como cable multipar. La aplicación en telefonía es la más común conectando los teléfonos a una central telefónica pública o privada (PBX). En el edificio de Comunicaciones se encuentra la central telefónica privada (PBX) con el distribuidor principal del cableado telefónico; cables multipares (4 de 2100 pares, 3 de 100 pares y 1 de 1400 pares) distribuido en topología estrella a las distintas edificaciones de la Ciudad Universitaria (sección 7.2, tabla 7.1). Aunque está destinado principalmente al tráfico de voz, el par telefónico puede ser utilizado para la transmisión de datos. Mediante el uso de dispositivos destinados a reducir la distorsión, es posible transportar datos a una velocidad de más de 9600 bits/seg. Los pares trenzados se pueden utilizar para transmisión analógica y digital, su ancho de banda dependen del calibre del alambre y de la distancia; en muchos casos pueden obtenerse transmisiones de varios megabit/seg en distancias de pocos kilómetros. A diferencia de otros tipos de cables, generalmente los cables de par trenzado no son removidos físicamente cuando se eliminan los aparatos conectados, por lo que se pueden reutilizar, siendo conveniente medir sus características eléctricas para determinar la factibilidad de uso.

b. Fibra Óptica

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión de información, lo cual revolucionó los procesos de las telecomunicaciones.

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos, con un grosor similar a un cabello humano. Son fabricadas a alta temperatura con base en silicio y su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo que es la guía de la onda luminosa sea uniforme y evite las desviaciones. Entre sus principales características se pueden mencionar: son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad, debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductivo y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos. Tienen un gran ancho de banda que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal, de esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables de cobre. Con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material elevando los costos.

Comparado con el sistema convencional de cables de cobre donde la atenuación de la señal, (decremento o reducción de la onda o frecuencia) es de tal magnitud que requieren de repetidores cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 km, sin necesidad de recurrir a repetidores siendo más económico y de fácil mantenimiento. Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes de alta resolución entre otros. En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original. El sistema básico de transmisión se compone en la señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo) empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida. En resumen, se puede decir que este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa generada por el transmisor de

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

LED'S (diodos emisores de luz) y lasers. Los diodos emisores de luz y los diodos lasers son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización. Además su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario para manejarlos son características atractivas.

Tipos de Fibra

- Fibra monomodo: en la que existe un solo modo de propagación. Esta posee un núcleo de fibra muy pequeño con un recubrimiento que permite solamente un camino derecho a través de la fibra. La fibra y el recubrimiento deben ser cuidadosamente diseñados y fabricados para crear el índice de refracción necesario para la propagación de la luz en línea recta, sin rebotar, produciéndose así en el núcleo un único modo. El diámetro núcleo es $10\mu\text{m}$ y de la cubierta $125\mu\text{m}$.
- Fibra multimodo: en donde existen varios modos de propagación, debido a que el diámetro del núcleo es mayor. Cuando cualquier rayo de luz incidente, por encima del ángulo crítico, se reflejará internamente, existirá una gran cantidad de rayos diferentes rebotando a distintos ángulos. El diámetro del núcleo es $62.5\mu\text{m}$ y la cubierta $125\mu\text{m}$.

Como se menciona en la sección 7, la Ciudad Universitaria esta cubierta por 27 km de fibra monomodo, que permite la conexión de las facultades, escuelas, institutos, centros de investigación, etc., a los nodos de Ciencias, Ingeniería, Medicina los cuales están interconectados al nodo Rectorado en configuración de estrella.

7.4 Interfaz de Comunicación de Remotas (Analizadores de Redes Eléctricas)

Analizador de Redes MCA Versión Avanzada LIFASA

- El MCA tiene una salida de comunicación serial tipo RS-485.
 - Configuración por defecto: 00/ 9600 / 7 bits / N / 1 bit.
 - Velocidades de transmisión 2400, 4800, 9600 y 19200 baudios.
- 32 equipos MCA en paralelo (bus multipunto) por cada puerto de comunicación RS-232.
- Protocolo de comunicación CIRBUS ó MODBUS.

Analizador de Energía MACH 30 DUCATI

- El MACH 30 tiene una línea serial RS-485, con los siguientes parámetros
 - La velocidad de transmisión en baudios ó bit/s tiene los siguientes valores 2400, 4800 y 9600. El valor por defecto es 9600 bit/s;
 - El número de bits por byte es 7 ó 8. El valor por defecto es 8;
 - Los datos numéricos los cuales codifica el tipo de chequeo de paridad, por ejemplo 0 para ninguna; 1 para deshabilitar el chequeo de error; 2 para chequeo de paridad par y 3 para chequeo de paridad impar. El valor por defecto es 0.
 - El numero de bits de stop al final del byte de datos, 1 ó 2. El valor por defecto 1.
- Se pueden colocar hasta 98 MACHs, pero se debe colocar un repetidor de señal SRD después de cada grupo de 31 analizadores.
- Protocolo de comunicación DUCBUS.

7.5 Determinación de medios de transmisión a utilizar en el diseño de la red

Después de evaluar la infraestructura de cableado existente, puertos de comunicación de las remotas, velocidades de transmisión se concluye que la red telefónica con su infraestructura de par trenzado de cobre se ajusta a los requerimientos para cierta parte del diseño por los siguientes aspectos:

- El distribuidor principal de cableado ubicado en el Edificio de Comunicaciones, tiene los cables multipares que cubren las distancias inferiores a los 1200 mts (distancia máxima para RS-485), desde el edificio a cada una de las dependencias donde se instalaran las remotas. No se requiere inversión en cableado para la red, indicando un ahorro en el presupuesto.

A continuación se muestran las figuras correspondientes a los planos del cable multipar 2 y 3, donde se muestran las distancias desde el edificio de comunicaciones a cada una de las dependencias:

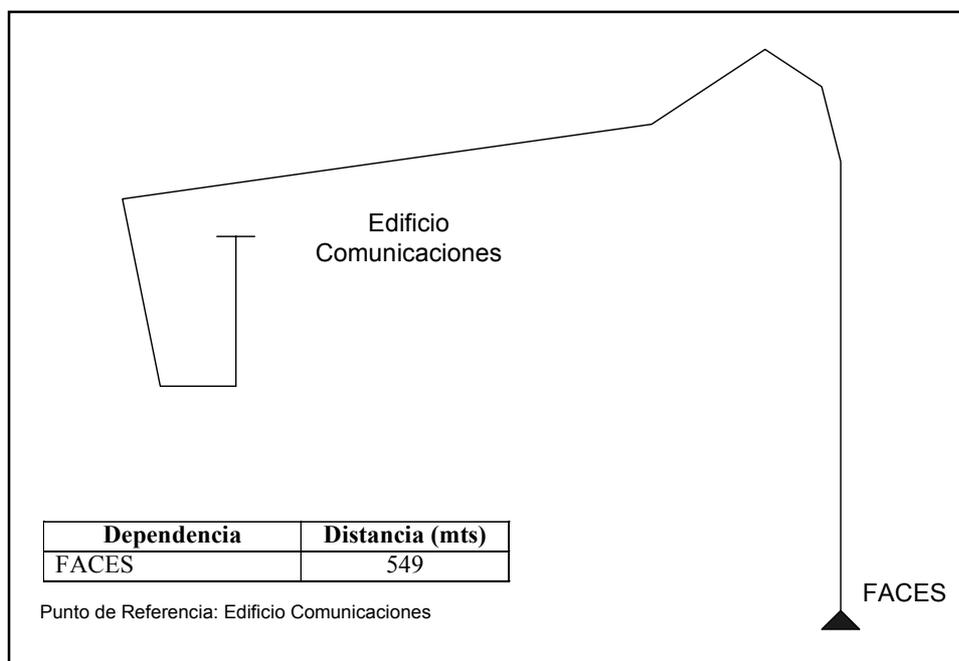


Figura 10.2 Planta Externa Telefónica Cable 3

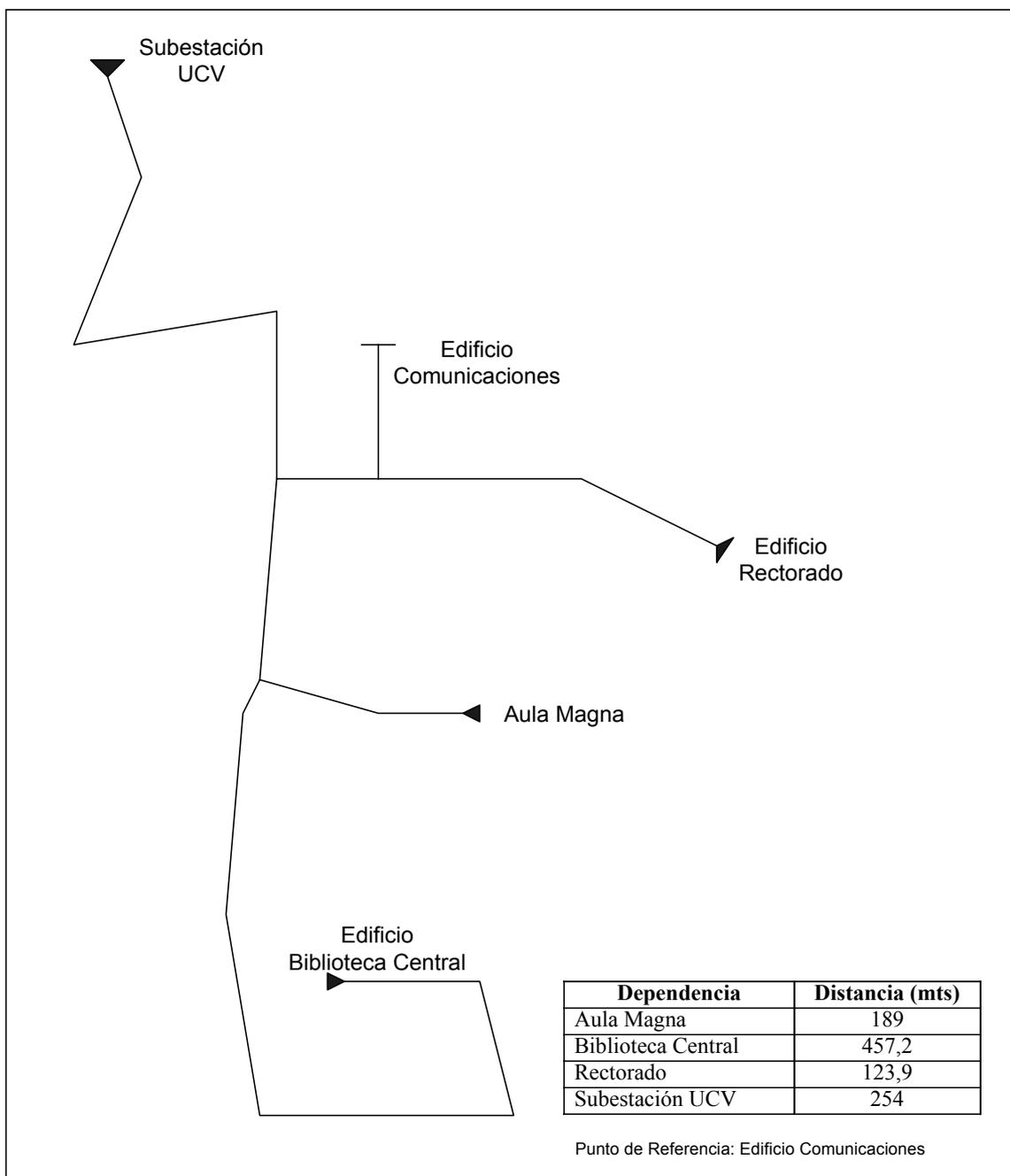


Figura 10.3 Planta Externa Telefónica Cable 2

Para establecer la comunicación entre la maestra principal y respaldo ubicadas en el Edificio de Comunicaciones, el servidor de base de datos y consola de operador ubicados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica:

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

- Uso de fibra óptica monomodo del backbone de fibra distribuido en Ciudad Universitaria, desde Comunicaciones (nodo rectorado) a Eléctrica (nodo ingeniería).

Para los sitios que exceden la distancia máxima permitida de RS-485 en la 1ra. Etapa del proyecto se usarán otros medios de comunicación, por ejemplo:

- La Facultad de Administración y Educación (Transbordo), se evaluarán distintas soluciones de comunicación inalámbrica para aplicaciones SCADA (ver sección 10.6). Pero se recomienda otra opción a implementar en el futuro: determinar el centro distribución estrella de la red telefónica al área adyacente a la Facultad de Ciencias y conectar las remotas en las dependencias usando RS-485 y conectar esta red a un gateway que se comunicaría con una maestra vía ethernet ubicada en el nodo de Ciencias y a través del backbone de fibra de Ciudad Universitaria se comunicaría con las maestras en el edificio de Comunicaciones (nodo rectorado) y servidor base de datos (nodo ingeniería).

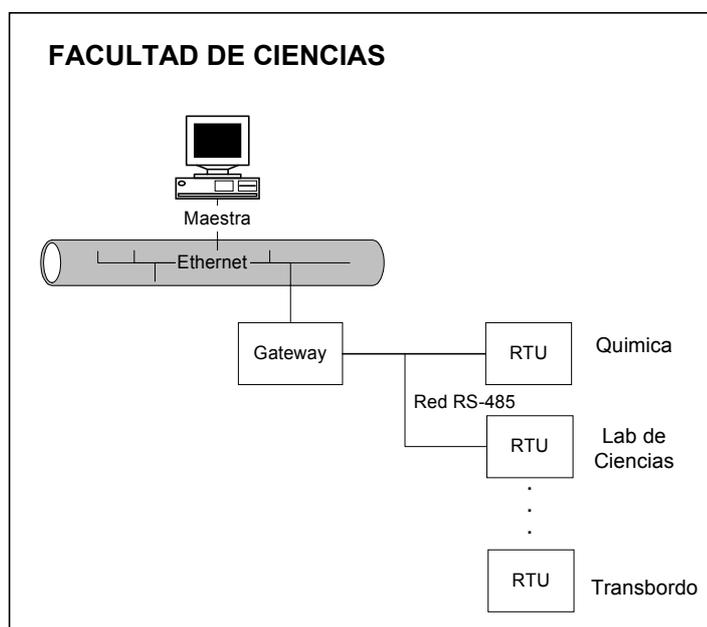


Figura 10.4 Nodo Ciencias etapa posterior

En la figura 10.5 se indica el diseño de la red de comunicaciones en la 1ra. Etapa del Proyecto.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

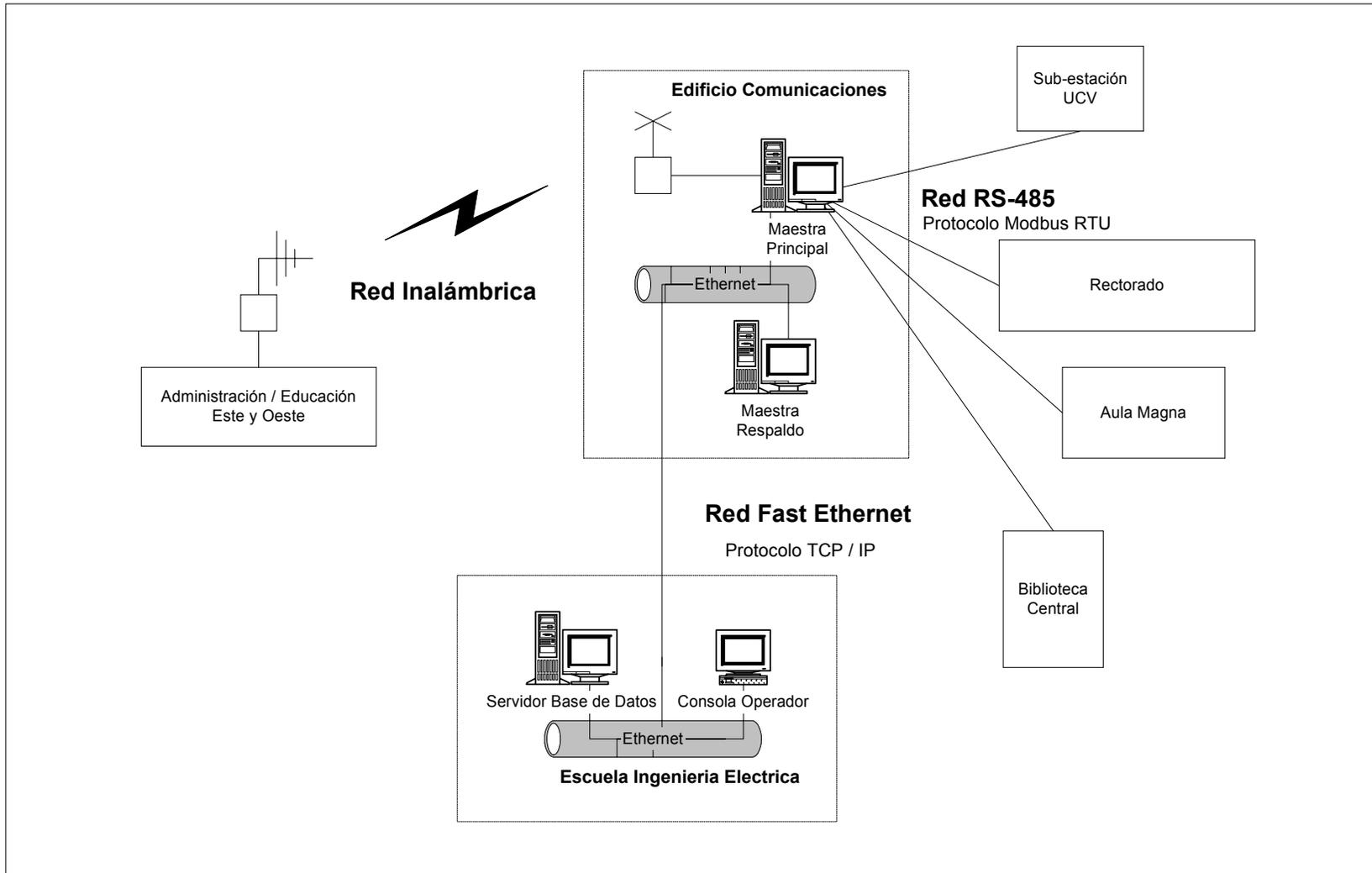


Figura 10.5 Diseño de Red de Comunicaciones

7.6 Interfaz de comunicación a implementar

Los analizadores de redes eléctricas MCA versión avanzada y MACH 30, ambos tienen un puerto de comunicación RS-485 por lo cual se implementará la red en par de cobre y usando la interfaz RS-485. A continuación se mencionan los aspectos importantes y los factores a considerar para la implementación de la interfaz.

RS-485 resuelve los requerimientos para una red de comunicaciones de múltiples puntos y el estándar especifica hasta 32 conductores y 32 receptores (comunicación bidireccional, half duplex, multidrop sobre uno ó dos pares de cable trenzado). Una red RS485 se puede conectar en modo de 2 ó 4 hilos. La longitud máxima del cable es 1200 mts, debido al uso del sistema de transmisión de voltaje diferencial. El uso típico de RS485 es una computadora conectada con varios dispositivos direccionables que comparten el mismo cable, convirtiendo el RS485 a RS232 a través de un conversor de interfaz. Con la introducción de repetidores y conductores de alta impedancia/receptores, esta limitación se puede ampliar a centenares. RS485 extiende el rango de modo común para conductores y receptores en modo triple estado “tristate”y con “power off”. También, los conductores RS485 pueden soportar problemas de colisiones de datos (contención en el bus) y condiciones de fallas en el bus.

a. Configuración del Sistema

La configuración de la red no se define en la especificación RS-485. En la mayoría de los casos el diseñador puede utilizar una configuración que se ajuste a los requerimientos físicos del sistema. La topología de la red puede ser: sistemas dos hilos y cuatro hilos.

Las capacidades de triple estado de RS-485 permiten que un solo par de alambres comparta señales de transmisión y recepción para las comunicaciones half-duplex y en la configuración dos hilos debe ser utilizado un conductor adicional de tierra. Los dispositivos configurados para comunicaciones de cuatro hilos, colocan conexiones de salida A y B para ambos pares de trasmisores y receptores. El usuario puede conectar las líneas de

transmisión con las líneas de recepción para crear una configuración de dos hilos. La tierra de las señales se debe también conectar en este sistema. Esta conexión es necesaria para mantener el voltaje de modo común (V_{cm}) en el receptor dentro de un rango seguro. El circuito de interfaz puede funcionar sin la tierra de conexión de las señales, pero puede sacrificar confiabilidad e inmunidad al ruido.

b. Terminación

La terminación se utiliza para emparejar la impedancia de un nodo a la impedancia de la línea de la transmisión. Cuando las impedancias son diferentes, la señal transmitida no es absorbida totalmente por la carga y una porción se refleja nuevamente dentro de la línea de transmisión. Si la fuente, la línea de la transmisión y la impedancia de la carga son iguales se eliminan estas reflexiones. También, hay desventajas de la terminación. La terminación aumenta la carga en los conductores, aumenta la complejidad de la instalación, cambia los requerimientos predispuestos y hace la modificación del sistema más difícil.

La decisión de utilizar o no la terminación se fundamenta en la longitud del cable y la velocidad de transmisión del sistema. Una regla es: si el retardo de propagación de la línea de datos es mucho menor del ancho de un bit, la terminación no es necesaria. Esta regla hace la suposición que las reflexiones se amortiguan en varios viajes en la línea de datos. Puesto que el UART de recepción muestrearán los datos en el centro del bit, es importante que el nivel de la señal sea consistente en ese punto.

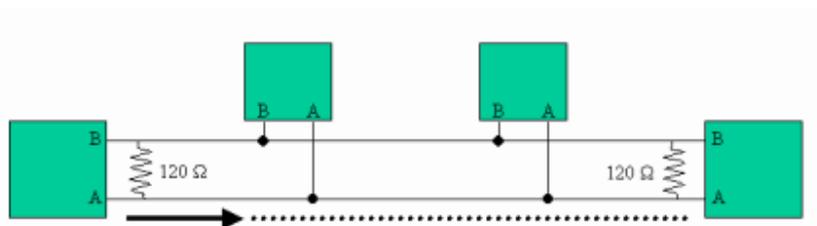


Figura 10.6 Terminación en línea de transmisión

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Hay varios métodos de terminación de líneas de datos. En la terminación paralela se agrega un resistor en paralelo con las líneas de receptor "A" y "B" alineadas para emparejar la impedancia característica de la línea de datos especificada por el fabricante del cable (120 ohmios es un valor común). Este valor describe la impedancia intrínseca de la línea de la transmisión y no es una función de la longitud de la línea. Los resistores de terminación se deben colocar solamente en las extremidades de la línea de datos, y no más de dos terminaciones deben ser colocadas en cualquier sistema que no utilice repetidores. Este tipo de terminación agrega carga DC pesada a un sistema y puede sobrecargar los puertos de los convertidores RS-232 a RS-485. Otro tipo de terminación es la acoplada AC, agrega un pequeño condensador en serie con el resistor de la terminación para eliminar el efecto de carga DC. Aunque este método elimina la carga DC, la selección del condensador es altamente dependiente de las características del sistema.

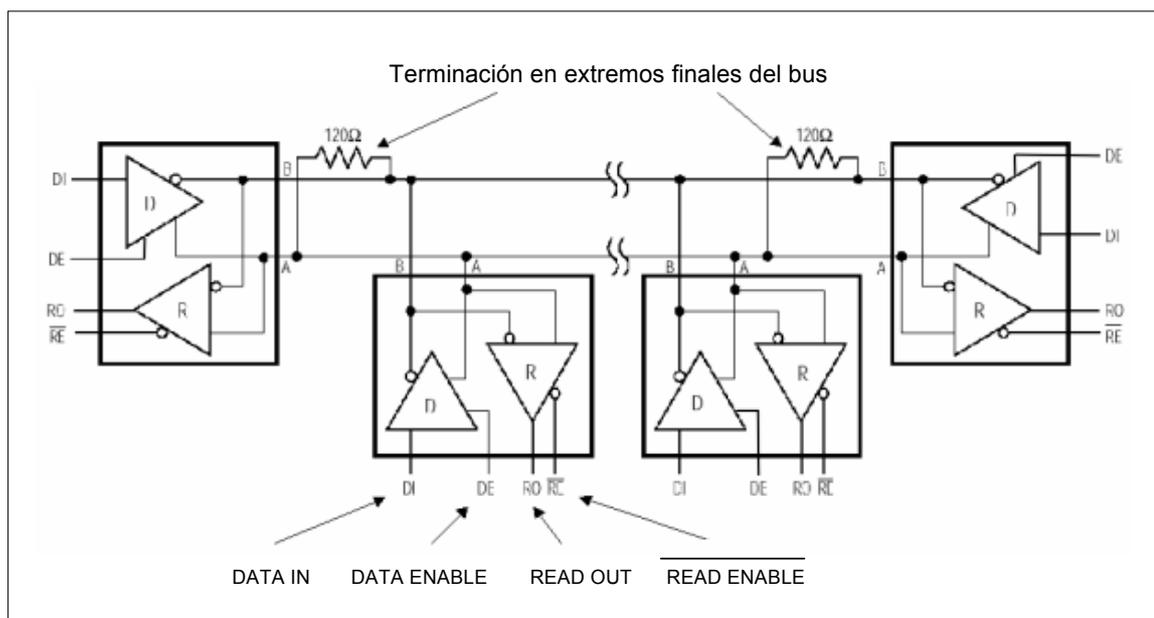


Figura 10.7 Diagrama de red RS-485

c. Número máximo de transmisores y receptores en la red

El estándar considera hasta 32 dispositivos, pero existen dos opciones para ampliar la especificación. La primera es usar transmisores con 4 veces la impedancia de entrada (48k),

permitiendo conectar hasta 128 dispositivos al mismo tiempo, se debe adaptar la terminación del sistema. La otra opción es usar un repetidor RS-485 el cual tiene dos puertos, recibe los datos los envía por el otro puerto y viceversa, se pueden conectar otras 31 (ó 127) estaciones. Otra opción son los circuitos de MAXIM, diseñados con la unidad hipotética llamada “carga unitaria”. Todos los dispositivos conectados a una red RS-485 deben ser caracterizados respecto a múltiples o fracciones de cargas unitaria. El MAX3485 especifica 1 carga unitaria y el MAX487 $\frac{1}{4}$. El número máximo de cargas unitaria permitida en par trenzado, asumiendo una apropiada terminación del cable con una impedancia característica de 120 ohms o más, es 32. Usando los ejemplos anteriores, tenemos que el MAX3485 hasta 32 y el MAX487 puede colocar 128 en una red.

d. Seleccionando el cable para RS-485

Aunque RS-485 puede ser implementado exitosamente en distintos medios de transmisión, se debería usar con cable de tipo “par trenzado”.

Aterramiento y Blindaje

Aunque la diferencia de potencial entre el par de conductores de datos determina la señal sin colocar tierra, el bus necesita una tierra para proporcionar una ruta de retorno para ruido de modo común inducido y corrientes, tal como la corriente de entrada de receptores. Un típico error es conectar dos nodos con dos hilos, el sistema puede emitir altos niveles de EMI, porque la corriente de retorno de modo común encuentra la forma de regresar a la fuente. La tierra proporciona una ruta de impedancia baja, reduciendo las emisiones.

Compatibilidad electromagnética y requerimientos de las aplicaciones determinan el uso de blindaje (cable STP shielded twisted pair), este previene el acoplamiento de ruido externo y limita las emisiones en el bus. Generalmente el blindaje es conectado a una tierra sólida con impedancia baja en un extremo y un circuito RC en serie en el otro.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Velocidad de transferencia de datos máxima

La velocidad máxima que indica el estándar es 10 Mbps, cuando la longitud excede los 10m, se debe tomar en consideración las pérdidas causadas por la capacitancia y el efecto pelicular. La regla del estándar para par trenzado indica la velocidad de transmisión de datos (Mbps) multiplicada por la longitud del cable (m) es menor que 10^8 . Por ejemplo, para un cable de 100 m de longitud se tiene una máxima velocidad de transmisión de 1 Mbps. La figura 10.8 presenta una curva empírica que relaciona longitud del cable versus la velocidad de transmisión, para cable telefónico par trenzado 24 AWG, el cual tiene una capacitancia de 16 pF/ft y terminación de 100 ohmios.

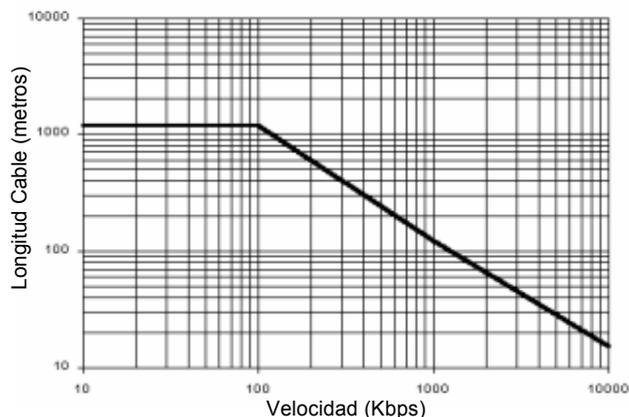
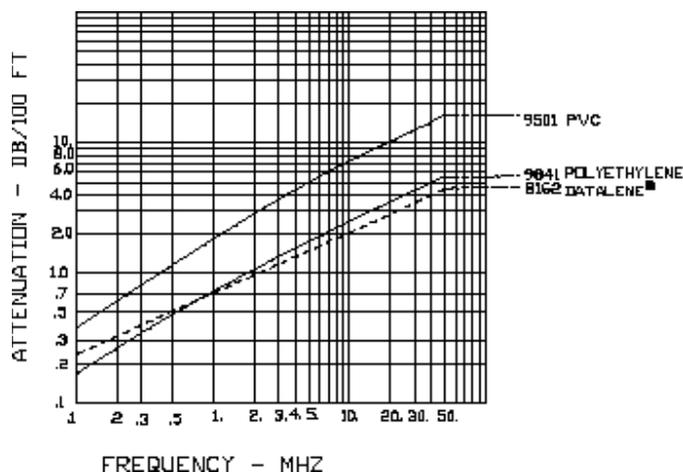


Figura 10.8 Velocidad de transmisión - longitud de cable para interfaz balanceada usando cable par trenzado 24 AWG

Las pérdidas en una línea de la transmisión son una combinación de las pérdidas AC (efecto pelicular), pérdida del conductor DC, de la salida, y de las pérdidas AC en el dieléctrico. En cable de alta calidad, las pérdidas del conductor y las pérdidas dieléctricas están en el mismo orden de magnitud. La figura 10.9 incluye notas del uso para precisar diferencias significativas en el funcionamiento de diversos cables. Demuestra la atenuación contra la frecuencia para tres tipos de cables Belden. Observe que los cables de polietileno ofrecen una atenuación mucho más baja que los cables del PVC.



Nota 1: Sobre la atenuación de datos son cortesía provista Belden Wire and Cable Company

Nota 2: Datalene es una marca registrada registrada de Belden Wire y Cable Company. Datalene es un tipo de aislamiento celular hecho con espuma del polietileno.

Figura 10.9 Atenuación - frecuencia para varios cables de datos

7.7 Análisis de la Solución

Ruta de la red de distribución (Pares trenzados)

En base al Sistema de Información Georeferencial de la Red de Voz y Datos de la UCV, se calcularon las distancias desde el edificio de comunicaciones a cada una de las FXB's de las dependencias, donde se instalaran las remotas en la 1ra. etapa del proyecto.

Observar los planos de los cables multipares 2 – 3 (anexo E.2) y las tablas con los siguientes parámetros (cable, número de pares totales y efectivos, tanquilla salida y llegada, distancia en metros).

TQ salida	TQ llegada	Distancia (mts)
Edificio comunicaciones	001	8,65
001	002	19,71
002	031	78,55
031	032	9,19
032	032a	48,5
032a	007 - FXB (Aula Magna)	16,99
		181,59

Tabla 10.2 Cable Multipar 2 AULA MAGNA

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

TQ salida	TQ llegada	Distancia (mts)
Edificio comunicaciones	001	8,65
001	002	19,71
002	031	78,55
031	033	87,62
033	034	87,08
034	039	100,26
039	039c	53,18
039c	021 - FXB (Biblioteca)	21,12
		456,17

Tabla 10.3 Cable Multipar 2 BIBLIOTECA CENTRAL

TQ salida	TQ llegada	Distancia (mts)
Edificio comunicaciones	001	8,65
001	001a	56,63
001a	030 - FXB (Rectorado)	25,62
		90,9

Tabla 10.4 Cable Multipar 2 RECTORADO

TQ salida	TQ llegada	Distancia (mts)
Edificio comunicaciones	001	8,65
001	002	19,71
002	002a	25,74
002a	003	50,93
003	004	93,20
004	004b	30,17
004b	004c	25,77
004c	025 - FXB (Medicina Tropical)	12,26
		266,43

Tabla 10.5 Cable Multipar 2 SUBESTACION UCV

TQ salida	TQ llegada	Distancia (mts)
Edificio comunicaciones	001	8,65
001	002	19,71
002	002a	25,74
002a	003	50,93
003	057e	79,77
057e	057d	94,86
057d	057c	94,94
057c	069	34,22
069	056	50,57

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

056	056a	79,91
056a	056c	33,50
056c	FXB (FACES)	11,76
		584,56

Tabla 10.6 Cable Multipar 3 FACES

Estudio de Línea de Transmisión

Se realizó un estudio de la línea de transmisión de los pares trenzados asignados del proyecto, con la finalidad de evaluar las pérdidas por distintos factores. Se realizaron mediciones de atenuación para distintos valores de frecuencia, pudiéndose comparar estos valores con las especificaciones técnicas del fabricante del cable telefónico 5232-G y otras características de cable de diversos fabricantes. Las mediciones se realizaron en el cable multipar 2 (pares 535 y 536) para la Biblioteca Central y el cable multipar 3 (pares 1543 y 1544) para FACES.

F(KHz)	5	10	15	20	30	40	50	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Atenuación dBm 535	3.2	3.2	3.2	3.3	3.5	3.7	4	4.4	5	5.6	6	6.4	6.8	7.2	7.8	8.2	8.5
Atenuación dBm 536	3.2	3.2	3.2	3.3	3.5	3.7	4	4.5	5	5.6	6	6.5	6.9	7.3	7.8	8.2	8.6

Tabla 10.7 BIBLIOTECA CENTRAL (535 y 536)

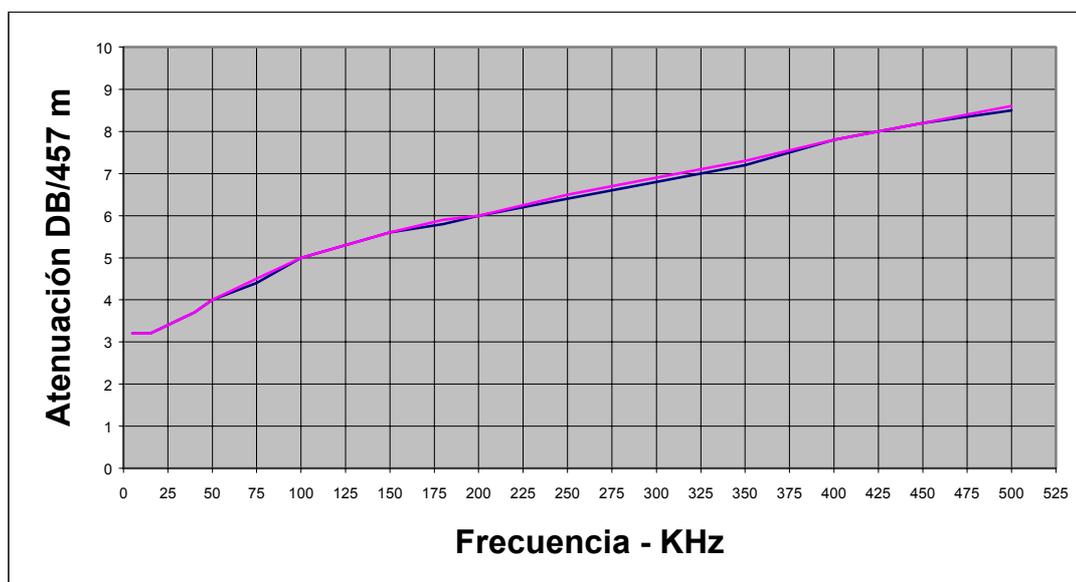


Figura 10.10 Curva de atenuación - frecuencia Biblioteca Central

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

F(KHz)	5	10	15	20	30	40	50	75	100	150
Atenuación dBm (1543)	3.8	3.9	-4	4.2	4.7	5.2	5.8	7	8	10
Atenuación dBm (1544)	8									

Tabla 10.8 FACES (1543 y 1544)

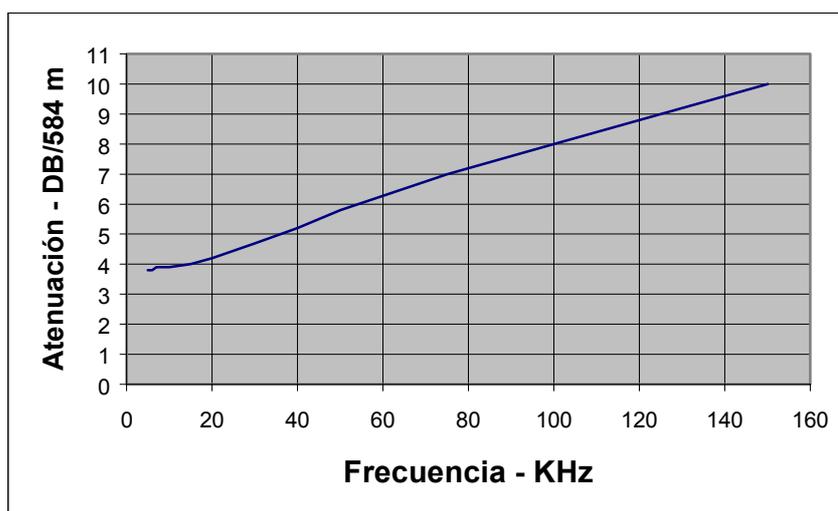


Figura 10.11 Curva de atenuación - frecuencia FACES

Estudio de Cobertura

Por la topología de la red telefónica de la universidad los puntos están lejanos excediendo la distancia del estándar (1200mts), observar los planos del cable 2 y 3 en el anexo E.2; para garantizar la continuidad de la línea de transmisión se instalara la red en configuración de estrella utilizando un gateway por cada red RS-485 en cada dependencia siendo conectados a la red ethernet en el edificio de comunicaciones. El gateway realiza la conversión del medio de transmisión de RS-485 a ethernet, garantizando la comunicación de la maestra principal o respaldo con las remotas. Además, esta configuración permitirá anexar en el futuro RTU's a la red sin implicar el rediseño de la red o cambios bruscos de la topología. Por ejemplo, la red RS-485 de Rectorado se puede incluir las remotas correspondientes al Edificio Museo y así sucesivamente en los sitios cercanos a las redes RS-485 a implementarse Subestación UCV, Aula Magna, Biblioteca Central, FACES y Escuela de Ingeniería Eléctrica.

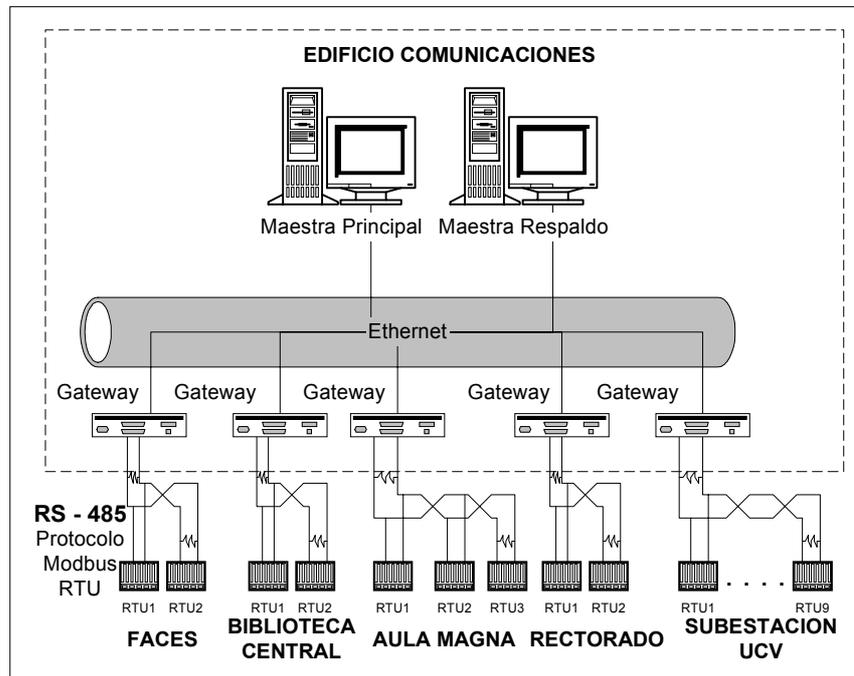


Figura 10.12 Red RS-485 1ra. Etapa

La siguiente figura muestra la conexión de las remotas en la Subestación UCV.

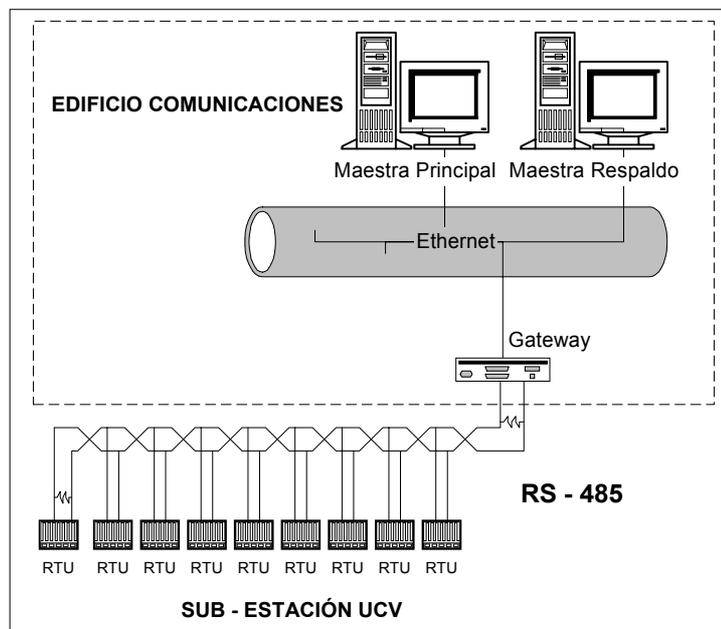


Figura 10.13 Red de comunicación SUB-ESTACIÓN UCV - EDIF COMUNICACIONES

10.6 Requerimientos del Sistema Inalámbrico

Para la comunicación entre la Facultad de Administración y Educación se implementará tecnología inalámbrica, debido a que la infraestructura de cableado existente no cumple los requerimientos del sistema, además de servir de punto experimental para ensayo de diversas tecnologías de comunicaciones.

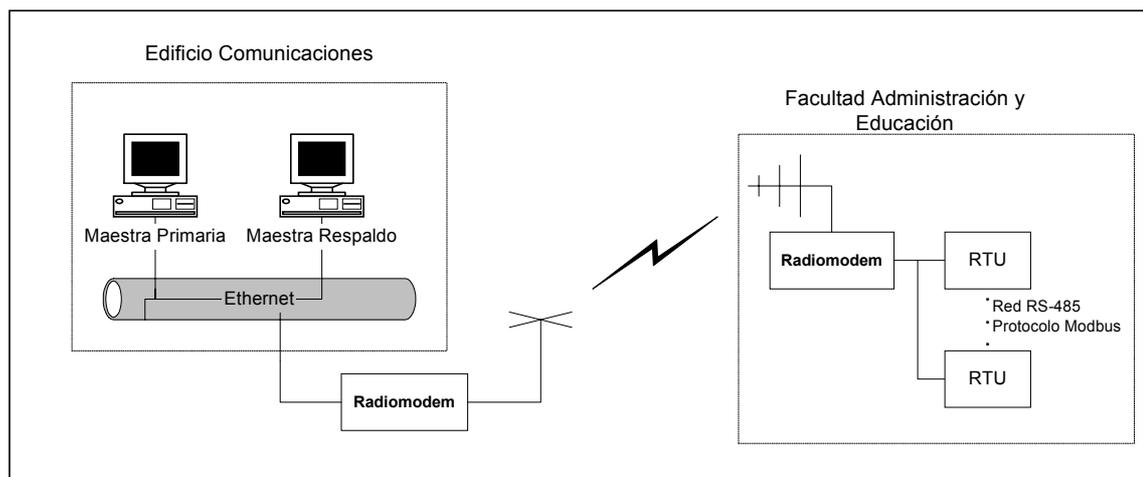


Figura 10.14 Red Inalámbrica

Las premisas a considerar para determinar la solución se mencionan:

- Interfaz RS-485 para la comunicación con las remotas.
- Velocidad de comunicación hasta 19200 baudios.
- Protocolo Modbus.
- Espectro de frecuencia libre.
- Equipos implementados en ambiente de aplicaciones SCADA.

10.7 Soluciones Disponibles

Bentek Systems SCADA & Telemetry Solutions

1. SCADALink 900-MB. RTU inalámbrica / Radiomodem

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Es un equipo de comunicaciones que integra la radio y la tecnología del sistema de control en la misma unidad compacta, ofreciendo un radiomodem de licencia libre de “spread spectrum”, compatible con Modbus e interfaces I/O RS-232 y RS-485. Las interfaces seriales incorporadas al 900-MB's aseguran actualizaciones fáciles a los PLC's o RTU's.

Características

- Radiomodem Spread Spectrum Licencia Libre 902-928 Mhz.
- RTU integrada con Modbus compatible I/O.
- 4 AI/DI, 4 DO.
- Puertos RS-232 y RS-485.
- Comunicación full duplex 1200-9600 bps.
- Modo punto-multipunto en SCADA.
- Modo inalámbrico I/O punto-punto en Telemetría.
- Tamaño compacto: 5"L x 3,75 " W x 1,5" D.
- Alcance > 15 millas.
- Rango de voltaje: 9 - 26 VDC
- Rango de temperatura de operación: -40 a 60 °C.

La flexibilidad de I/O es asegurada por las interfaces incorporadas RS-232 y RS-485. Un sitio alejado puede requerir inicialmente solamente un número pequeño de puntos I/O, que pueden manejarse por el Modbus compatible I/O integrado en la unidad 900-MB's. Si se requiere adicional I/O en el futuro, un PLC o una RTU pueden ser agregadas fácilmente con las interfaces seriales 900-MB's. El 900-MB asegura una solución rentable para requerimientos actuales y permite mejoras futuras.

El 900-MB puede ser configurado en 2 modos, punto-multipunto o inalámbrico I/O (telemetría punto-punto). Modo punto-multipunto permite un maestro realizar sondeo a múltiples sitios alejados, mientras el modo inalámbrico I/O (telemetría punto-punto) permite solo dos 900-MB's substituyendo un cable multiconductor.

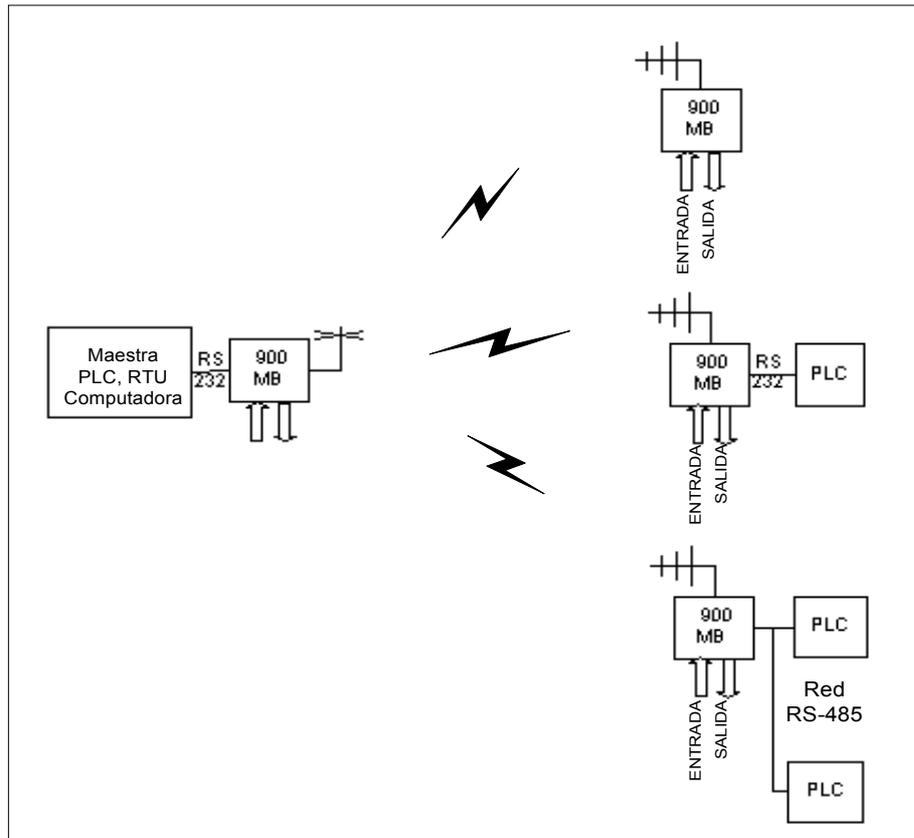


Figura 10.15 Comunicación Punto-Multipunto

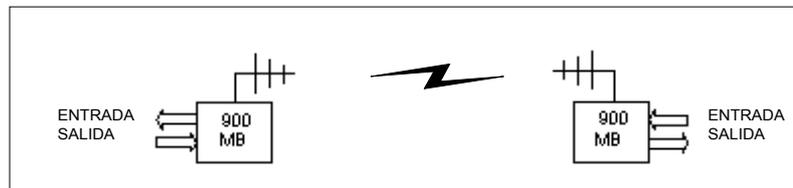


Figura 10.16 Comunicación Punto- Punto

Para mayores detalles consulte la página web: <http://www.bentek.ca/sl900mb.htm>, donde se mencionan diversas aplicaciones.

2. LANBridge 900. Radio Modem Inalámbrico Ethernet

El SCADALink LANBridge LB-900 es un dispositivo ethernet inalámbrico de licencia libre, el cual soporta velocidades de datos hasta 115 kbs y proporciona conectividad

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

ethernet rentable en largas distancias para aplicaciones industriales. El LB-900 conecta los PLC's y RTU's con las computadoras vía ethernet inalámbrico.

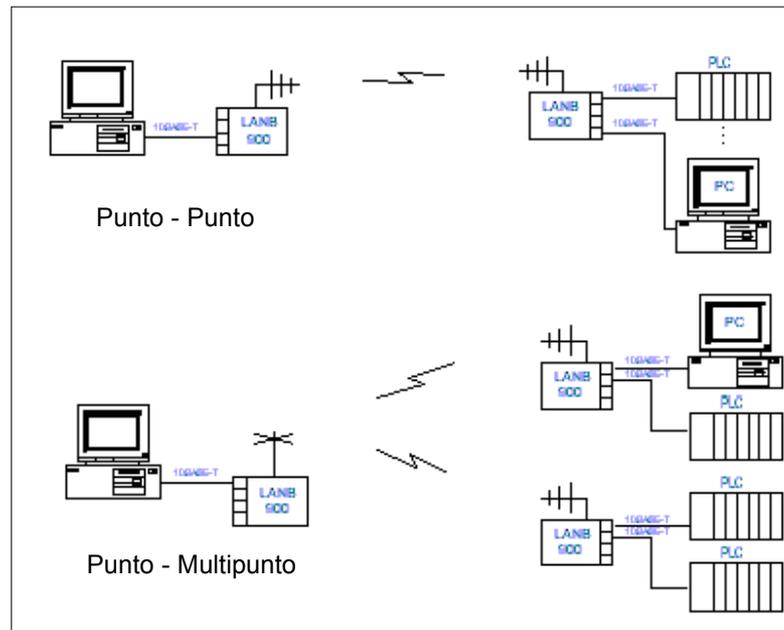


Figura 10.17 Modos de comunicación

Características

- Radio Spread Spectrum 902-928 Mhz.
- Sensibilidad del receptor -105 dB.
- Rango de 20 millas usando la antena de bajo costo YAGI.
- Energía TX 1 watt.
- Ethernet 802.3.
- 4 puertos: UTP, RJ45
- Velocidad hasta 115 KBits/sec.
- Comunicación punto-punto ó punto-multipunto
- Rango de temperatura: - 40C a 60C
- Tamaño Compacto
- Rango de Voltaje: 9 - 26 VDC

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

- Opción integrada de Modbus TCP - permite que dispositivos seriales Modbus (RS232/RS485) se conecten sin hilos con la red de Ethernet Modbus TCP.

Para mayores detalles consulte la página web: <http://www.bentek.ca/lanbridge.htm>.

Industrial Control Links

1. Radio de datos SSR-900 & SSR-2400

El SSR-900 y SSR-2400 son radios de datos Spread Spectrum de rango 900 MHz y 2.4 GHz confiables, fáciles de usar y proporcionan un adecuado desempeño.

Los radios de la serie SSR reducen los costos del sistema, reemplazando radios licenciados o líneas telefónicas arrendadas con moderna tecnología inalámbrica digital para enlazar dos ó más RTU's, controladores y PC's. Estos son ideales para sistemas SCADA metropolitanos e industriales, telemetría y aplicaciones de adquisición de datos.

Sistemas basados en radios de datos serie SSR presentan desempeño superior debido a que la sensibilidad del receptor es muy alta, procesamiento de señal avanzada, detección de error digital y recuperación automática de errores de datos. Estos operan confiablemente sobre largas distancias y condiciones adversas del mundo real.

Características

- Rango de Frecuencia 902 – 928 MHz (SSR-900) y 2.40 – 2.4835 GHz (SSR-2400)
- Método Saltos de frecuencia.
- Potencia de salida RF 1.0 watt (SSR-900), 0.5 watt (SSR-2400).
- Rango de operación hasta 20 millas.
- Interfaz de datos: 1 puerto RS232 asíncrono, full duplex.
- Velocidad hasta 115.2 kbps.
- Transparencia de protocolos.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

- Detección de error CRC 32 bits y retransmisión automática.
- Comunicación punto – punto.
- Rango de temperatura de operación: -40 °C a +80 °C.
- Voltaje de Operación 5.5 – 14 Vdc.

2. RTU inalámbrica ScadaBridge

Es una nueva generación de unidad terminal remota que combina las funciones I/O de remotas tradicionales en una RTU con un radio Spread Spectrum, bajo costo, simple instalación y soporte. La RTU inalámbrica puede servir como esclava modbus en un sistema SCADA basado en un radio o un puente I/O inalámbrico enviando señales digitales y analógicas entre dos sitios remotos, proporcionando capacidades de radio. La RTU es compatible con los software de SCADA y DCS, incluyendo Wonderware, FIX, FactoryLink y Labview y con PLC's y controladores de procesos.

La RTU ScadaBridge es una solución ideal para monitoreo de tanques y estaciones de luz. Esta soporta “reporte por excepción” y repetición de mensaje “store and forward” para operación optima del radio. Consumo de potencia bajo, fácil de instalar, costo bajo, amplio rango de temperatura y compatibilidad; lo cual hace las RTU's inalámbricas una selección adecuada para sistemas SCADA I/O pequeños y aplicaciones I/O inalámbricas.

Características

- Operación puente I/O punto-punto.
- Rango hasta 20 millas, funciones de repetidor “store and forward”.
- 4 I/O digitales para interruptores, relees, motores e indicadores de luz.
- 2 I y 2 O analógicas para nivel y sensores de flujo y válvulas de control.
- Sondeo convencional ú operación “por excepción”.
- Interfaz RS-232 y radio Spread Spectrum (opcional).
- Velocidad hasta 115 kbps.
- Protocolo Modbus RTU.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

- Frecuencia de Operación 902-928 MHz ó 2.4 – 2.4835 GHz.
- Potencia 8 – 28 Vdc.
- Temperatura de operación: -40 °C - +75 °C.

Para mas detalles consultar el web <http://www.iclinks.com>.

Metric Systems Corporation

Equipos de redes inalámbricas “MAVRIC”y soluciones para aplicaciones SCADA, siendo confiables y rentables.

MAVRIC’s son componentes de redes inalámbricas versátiles incluyen soporte para los mas populares RTU, PLC y dispositivos I/O. Los protocolos soportados incluyen: MODBUS, ASCII (RS-232, RS-422, RS-485) y Ethernet. Todos los equipos de red y las soluciones Metric Systems incluyen el conjunto de herramientas de administración de la red y software de diagnóstico diseñadas para asegurar el funcionamiento y confiabilidad de la red.

MAVRIC y Pathfinder son los nombres de familia de los productos para el conjunto de dispositivos de redes inalámbricas; dentro de cada equipo reside la inteligencia de crear redes independientes inalámbricas de Protocolo Internet (IP). El sistema de redes inalámbricas MAVRIC, libera al diseñador de la red de ocuparse de los requisitos especializados del establecimiento de una red y se centra optimizar la eficiencia y la administración de la red.

Los tres dispositivos MAVRIC: MAVRIC 2000nx, MAVRIC Explorer II y Pathfinder Sx, ofrecen soluciones de redes anchas. Las capacidades técnicas de los dispositivos incluyen:

- Capacidades de sistemas de redes completas con soporte a cualquier radio ó topología de red.
- Sistema completo de alternativas de enrutamiento y capacidades de redundancia.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

- Soporta aplicaciones del Protocolo Internet (Windows, Unix, Linux).
- Enrutamiento estático y dinámico.
- Soporte simultáneo para conmutar paquetes IP y tráfico punto-punto virtual permanente.
- Todos los puertos físicos (Ethernet y RS-232 son programables para el uso ó no de la radio).
- Herramientas de diagnóstico Windows robusta, para ayudar en la configuración de red y localización de averías.

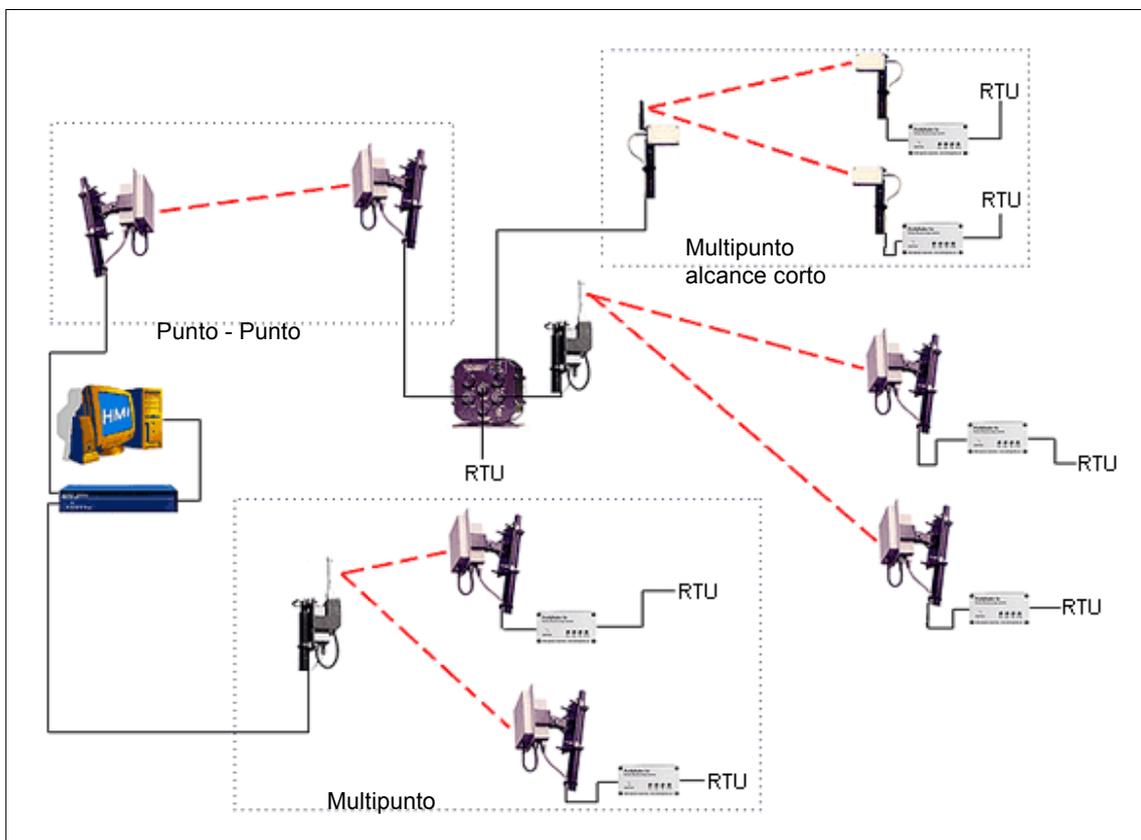


Figura 10.18 Diagrama de Redes SCADA MAVRIC

1. MAVRIC 2000nx. Router de redes inalámbricas, multiprotocolo y multipunto

Permite construir redes inalámbricas de altas velocidades para substituir económicamente redes tradicionales basadas en alambre para voz, redes de información de datos y vídeo.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Ideal para altas velocidades en última milla, lazo local, y aplicaciones de infraestructura primaria que requieren alta confiabilidad y capacidades redundantes.

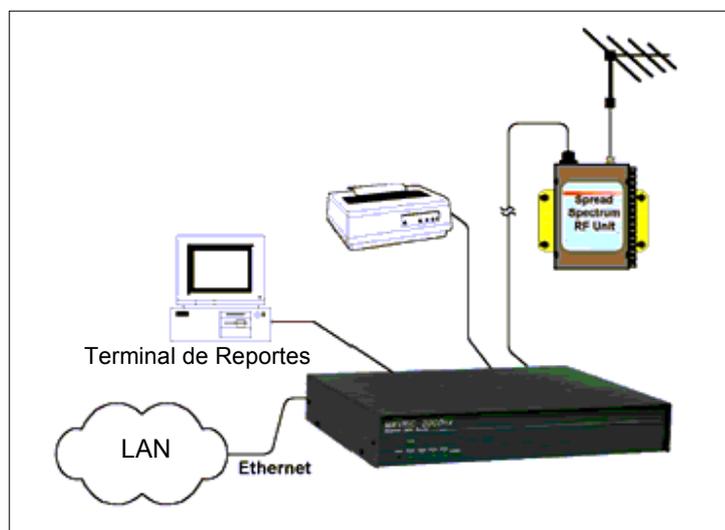


Figura 10.19 Router inalámbrico MAVRIC 2000nx

Características:

- Arquitectura Sistemas Abiertos (TCP/IP).
- Soporte para bandas licenciadas y libres desde 132 MHz a 2.4 GHz.
- Velocidades en el aire desde 9.6 kbps a 4.00 Mbps.
- Distancias de cobertura hasta 400 millas y más, usando nodos MAVRIC.
- Diagnóstico en línea en tiempo real y supervisión continua en línea de la red.
- Red hasta 255 estaciones en cada celda MAVRIC - células múltiples enlazadas proporcionan cobertura extendida.
- Interfaces de redes estándares: 4 puertos de alta velocidad RS-232 y un puerto de Ethernet (10BaseT).
- Enrutamiento automática de la red y con la topología apropiada.
- Soporte para las trayectorias redundantes múltiples con las unidades adicionales RF.
- Multiplexor de múltiples puntos, router dinámico IP y dispositivo de red inalámbrica en una sola unidad integrada.

2. MAVRIC Explorer II

Dispositivo de redes de comunicación de datos inalámbricos basado en (banda VHF y S) y Sistemas Abierto IP (Protocolo Internet). Esta diseñado para resolver los requisitos operacionales y ambientales de usos móviles, industriales y aplicaciones de campo.

Compatible con MAVRIC 2000nx dispositivo/router multipuestos, el explorador II permite que el usuario construya y opere redes inalámbricas multibanda ó solo área ancha, transportando comandos, control, supervisión, mensajes de datos entre los sitios centrales, sitios de control independiente y sitios remotos.



Figura 10.20 MAVRIC Explorer II

Características:

- Punto – punto y multipunto.
- Red hasta 255 estaciones dentro de cada celda MAVRIC.
- Velocidades en el aire desde 9.6 kbps – 2 mbps.
- Supervisión en tiempo real de todas las estaciones en red.
- Transparencia del 100% en punto-punto y multipunto.
- Propietario – encapsulación IP de RTU, PLC, datos terminales.
- Puertos SLIP múltiples o único.
- Entradas locales de red (RS-232/422/485).
- enrutamiento alterno y operación tolerante a fallas.
- Sistemas de redes interceldas y multiceldas.
- Supervisión en línea de todos los circuitos.

3. Pathfinder Sx

El Pathfinder Sx controlador/router interredes inalámbricas es una herramienta de red de la próxima generación para construir en industrias remotas y utilidades Ethernet SCADA y redes inalámbricas de área ancha basadas sobre TCP/IP.



Figura 10.21 Pathfinder Sx

Características:

- Radios licenciados o libres en aplicaciones industriales y comerciales.
- Velocidad en el aire de 11 Mbps.
- Protocolos IP (UDP, TCP/IP, RIP2, BooTP).
- Puertos: 1 ethernet 10BaseT, puertos asincronos RS-232, 1 puerto RS-485.
- Interfaz web para configuración facil.
- Todos los puertos son configurables para radio o dispositivos SCADA.

El controlador Pathfinder Sx integra en una sola unidad, todas las capacidades y las características de transmisores-receptores inalámbricos licenciado (VHF, UHF, MAS) y libre. Pathfinder's integra dispositivo gateway SCADA que soporta una ancha variedad de dispositivos industriales de RTU/PLC. Cada Pathfinder Sx proporciona soporte configurable al usuario para Ethernet, TCP/IP, UDP, ModBus y los protocolos transparentes no-IP.

Para observar las soluciones completas en el sitio web tienen documentos en formato pdf de cada uno de los equipos: <http://www.scadawireless.com/techsupport.html>.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

10.8 Evaluación de Soluciones

EQUIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>SCADALink 900-MB. RTU inalámbrica / Radiomodem</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Radio y RTU en la misma unidad. • Radiomodem Spread Spectrum Licencia Libre 902-928 Mhz. • Compatible Modbus. • Interfaces I/O RS-232 y RS-485. • Comunicación punto-punto y punto-multipunto. • Alcance > 15 millas. • Costo \$1150. 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad hasta 9600 bps
<p>LANBridge 900. Radio Modem Inalámbrico Ethernet</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivo ethernet inalámbrico de licencia libre. • Velocidades de datos hasta 115 kbs. • Conecta los PLC's y RTU's con las computadoras vía ethernet inalámbrico. • Rango de 20 millas. • 4 puertos Ethernet 802.3. • comunicación punto-punto y punto-multipunto. 	<ul style="list-style-type: none"> • No disponibles I/O RS485 y RS232.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

	<ul style="list-style-type: none"> • Opción integrada modbus TCP. • Costo \$1500. 	
Radio de datos SSR-900 & SSR-2400	<ul style="list-style-type: none"> • Radios Spread Spectrum 900 – 2400 MHz. • Rango hasta 20 millas. • Velocidad hasta 115.2 kbps. • Transparencia de protocolos. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 puerto RS232. • Comunicación punto-punto.
RTU inalámbrica ScadaBridge	<ul style="list-style-type: none"> • RTU y radio integrado en una unidad. • Radio Spread Spectrum (opcional). • Compatible modbus. • Compatibles con software de SCADA Y DCS: Wonderware, FIX, FactoryLink y Labview. • Rango hasta 20 millas. • Velocidad hasta 115 kbps. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz RS-232.
Equipos MAVRIC	<ul style="list-style-type: none"> • Soluciones completas de redes inalámbricas para aplicaciones SCADA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo > \$10.000

10.9 Solución a implementar

Para la selección del equipo inalámbrico, se evaluó las soluciones mostradas en la tabla anterior, considerando los requerimientos del diseño y costos de los equipos. En reunión con el tutor de la tesis y coordinador del proyecto, se decidió la compra del SCADALink 900 MB de Bentek Systems.

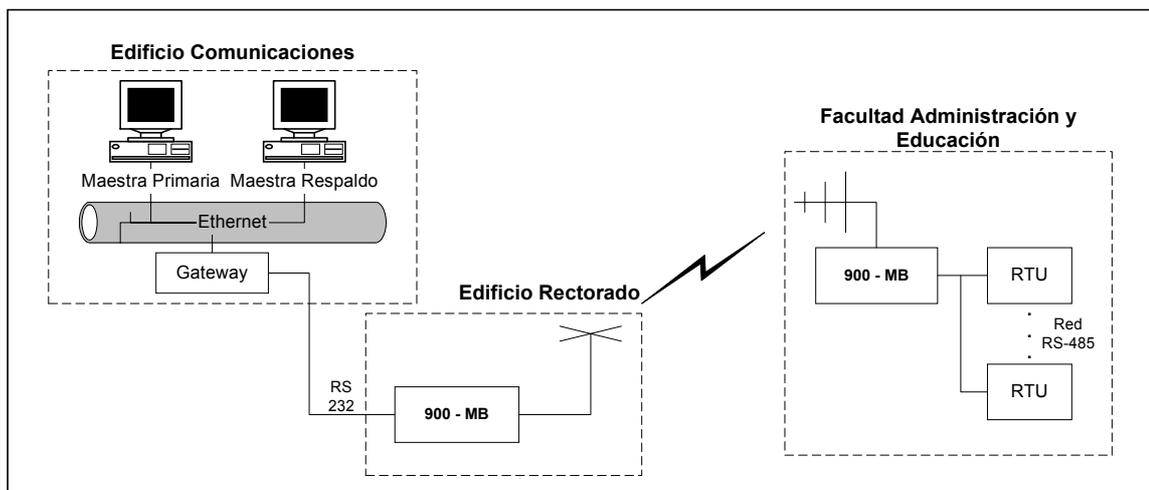


Figura 10.22 Diseño de Red Inalámbrica

10.10 Esquema de Redundancia Escuela de Ingeniería Eléctrica – Comunicaciones

Para la comunicación entre los nodos mencionados según el diseño planteado consiste en el uso de fibra óptica monomodo existente en las edificaciones, pero se recomienda implantar redundancia por otro medio de transmisión. En la evaluación de los equipos inalámbricos se considero un equipo de Radio Inalámbrico Ethernet con un alcance de 20 millas, 4 puertos UTP RJ45, ethernet 802.3, velocidad de 115 kbps y un bajo costo de \$1500, los cuales se instalaran en el edificio de eléctrica y otro en el rectorado. Para la implantación del esquema de redundancia se recomienda adquirir routers con IBGP (Border Gateway Protocol), que permite la configuración de puertos en estado standby y cuando detecten falla del canal primario se cambie al medio secundario (comunicación inalámbrica).

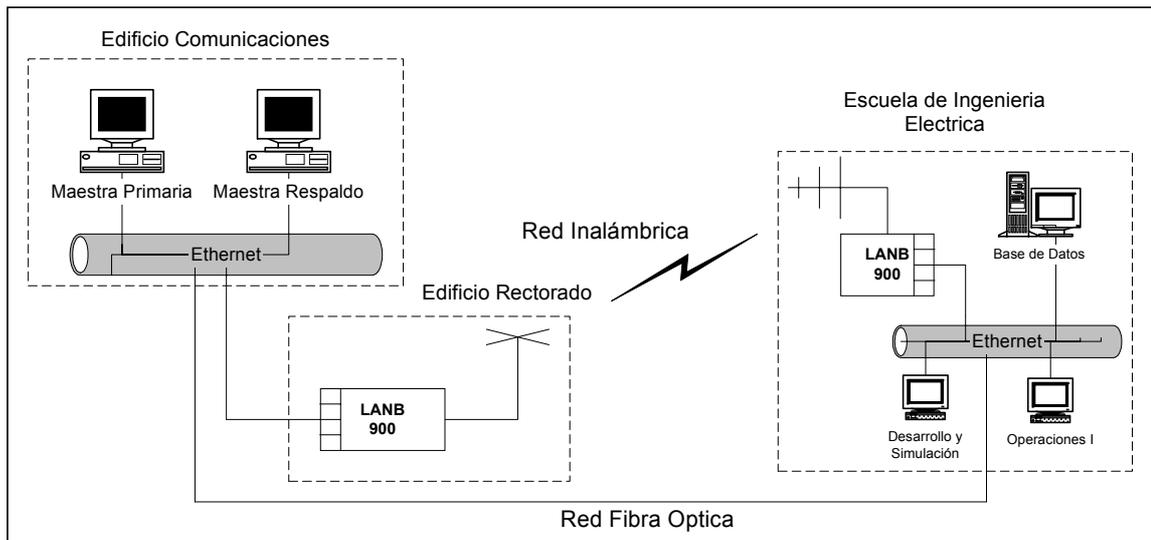


Figura 10.23 Diseño de Redundancia

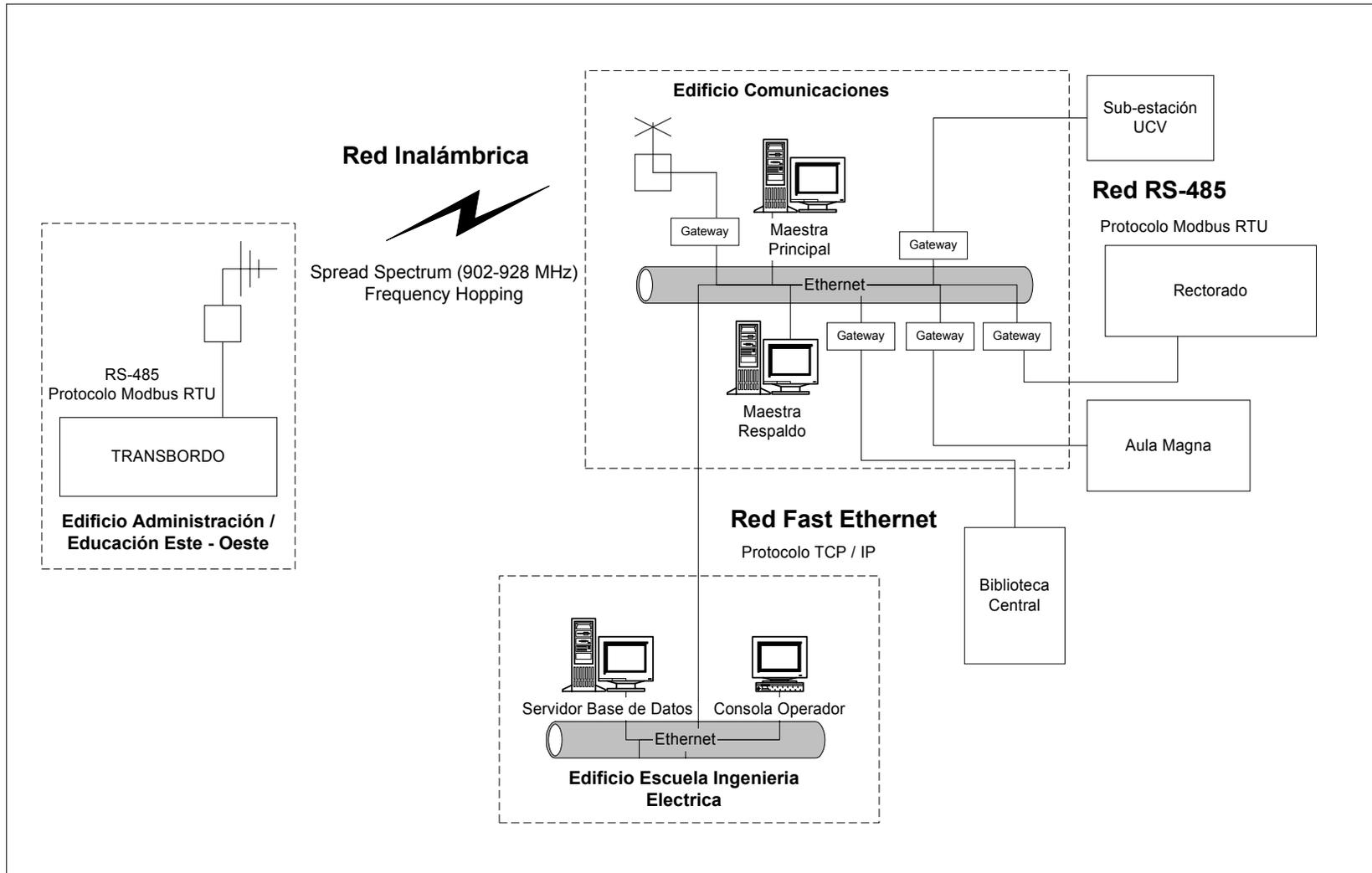


Figura 10.24 Diseño Final de la Red de Comunicaciones para el Laboratorio Nacional de Supervisión

LIMITACIONES

Las remotas MACH 30 DUCATI solo manejan el protocolo de comunicación DUCBUS (protocolo propietario), el cual implica el desarrollo de un gateway para convertir el protocolo DUCBUS a MODBUS.

Se requiere la colocación de gateway's entre las remotas y maestras, para realizar la conversión de medios de transmisión de RS-485 a ethernet, porque el software IFIX de Intellution requiere la información en ethernet para establecer la comunicación de las maestras primaria o respaldo con las remotas.

CONCLUSIONES

Con la culminación del trabajo especial de grado, se realizó el diseño de la red de comunicaciones para la Supervisión de Redes de Distribución Eléctrica en la UCV, usando como medios de transmisión (par trenzado, fibra óptica, radio). En los casos mencionados anteriormente se usa la infraestructura de red existente a excepción de radio donde se adquirió una remota inalámbrica con tecnología Spread Spectrum.

Para la comunicación entre las remotas y maestra se utilizó la interfaz RS-485 con el protocolo de comunicación MODBUS RTU.

El diseño de la red de comunicaciones tiene una topología abierta que permitirá el crecimiento de la red sin problemas en cuanto a la interfaz de comunicación utilizada, salvo las limitaciones propias de las remotas ó el estándar.

La cobertura de la red de datos y telefónica por no extenderse a ciertos sectores de la Ciudad Universitaria, es un campo ideal para la experimentación de distintas tecnologías de transmisión de datos.

Por todo lo mencionando anteriormente, se cumplieron los objetivos planteados y se abre el campo de nuevas investigaciones en el área de Potencia, SCADA y Comunicaciones con la implementación del Sistema de Supervisión. Además, de compartir experiencias con empresas que actualmente están supervisando los Sistemas de Distribución, por ejemplo, ver <http://www.electriahorro.com> y el grupo de trabajo del Proyecto Laboratorio Nacional de Supervisión de Redes de Distribución, donde están involucrados la Unidad de Potencia, profesores de la EIE, tesis de pregrado y postgrado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la implantación de un esquema de redundancia entre el edificio de comunicaciones y la escuela de ingeniería eléctrica, por la importancia de tener la información de campo almacenada en la base de datos. En caso de falla del backbone de fibra óptica de Ciudad Universitaria, se tiene garantizado la información del sistema eléctrico en la EIE.

Para la implementación del protocolo de comunicación entre la maestra y unidades terminales remotas en la 1ra etapa del proyecto, se debe seleccionar uno que sea compatible para las dos tipos de remotas.

Para la instalación de las remotas en las dependencias Aula Magna, Biblioteca Central y FACES, en el anexo E.3 se tiene los planos del recorrido desde la FXB de las edificaciones hasta la sala de transformadores.

En la adquisición de nuevas remotas se deben considerar los siguientes aspectos: protocolos abiertos (MODBUS, DNP3, etc.)

Las siguientes etapas del proyecto que involucran la instalación de nuevas remotas en dependencias en la red de comunicaciones RS-485, revisar la sección 7.2 (tabla 7.1), que hace referencia a los áreas de cobertura de la red telefónica (número de cable – edificio), con la finalidad de determinar el número del cable y a través de los planos de los cables 2 y 3 suministrado en el anexo E.2, establecer la distancia y comprobar si cumple la norma RS-485.

Para la extender la cantidad de dispositivos de la interfaz RS-485, se recomienda la utilización de repetidores, dispositivos realizados por MAXIM ó usar transmisores con valores de impedancia diferente al estándar.

Para el uso de la red telefónica como medio de transmisión en el sistema de supervisión, se deben chequear los pares asignados generando una gráfica de frecuencia en función de la atenuación y compararla con las especificaciones del fabricante del cable.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar la colocación de sub-maestras en los siguientes nodos: rectorado, ciencias, ingeniería, medicina, con una base de datos distribuida. Además, permite el crecimiento escalonado y estructural de la red de campo, usando la red de cobre existente para la adquisición de datos de las remotas y luego a través de la red de fibra las sub-maestras se actualizan con la información de cada una de ellas. Se garantiza la información en cuatro puntos diferentes del campus universitario y en caso de falla de un nodo, la información esta disponible en los otros nodos hasta el momento de la falla y no se interrumpe la supervisión del sistema eléctrico en los otros sectores de la universidad. El esquema actual en caso de una falla en el edificio de comunicaciones (nodo rectorado) se detiene la supervisión del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Alfredo R., Flores: “*Sistemas de Telecomunicaciones para Servicios Integrados de Voz y Datos de la Universidad Central de Venezuela*”. III Jornadas de Mantenimiento y Servicio de la Universidades Nacionales, UNET’99. San Cristóbal, 1999.

Araujo, Delfín: “*Diseño e implementación de una estación maestra multiprotocolo para la gestión de Sistemas de Distribución e Energía Eléctrica*”. Trabajo de Grado para la obtención del título de Especialista en Comunicaciones y Redes de Comunicación de Datos, UCV, Caracas, mayo de 2002.

Arcia, Hector: “*Actualización, Análisis y Digitalización de la Red Eléctrica de Distribución Primaria en 4,8 kV de la Ciudad Universitaria de la Universidad Central de Venezuela*”, UCV. Caracas, Marzo de 2001.

Bentek Systems: “*SCADA y Telemetry Solutions*”. <http://www.bentek.ca>.

B&B Electronics Manufacturing Company: “*RS-422/485 Application Note*”. http://www.bb-elec.com/tech_articles/rs422_485_app_note/table_of_contents.asp.

Dataradio: “*Articles & Referente Wireless SCADA System design Considerations*”. http://www.dataradio.com/news_articles_scada.html.

Ducati Energia: “*Analizador de Energia*”. <http://www.ducatienergia.com>.

Industrial Control Links: “*Soluciones SCADA Inalámbricas*”. <http://www.iclinks.com>.

Espinosa, Roberto y Lara: “*Sistemas de Distribución*”. Editorial Limusa, Primera Edición. México, 1990. Páginas 13-17.

González S., Néstor: “*Comunicaciones y Redes de Procesamiento de Datos*”. Editorial McGraw Hill Interamericana de México, primera edición, México 1990.

Jean Pierre Chassande: “*Recopilación de Información Proyecto Laboratorio Nacional de Redes de Distribución*”.

Gudiño, Jorge: “*Especificación para el sistema Scada del sistema de distribución eléctrica de la Universidad Central de Venezuela*”, Trabajo de Grado para la obtención del título de Especialista en sistemas SCADA, UCV, Caracas, julio de 2000.

Lifasa International Capacitors, S.A. “*Analizadores de Red Serie MCA*”. <http://www.lifasa.com>.

BIBLIOGRAFÍA

Mendoza M., Jorge L: “*Ingeniería Básica Red de Datos de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la UCV*”. Tesis de grado. Agosto, 1999.

Metric Systems Corporation: “*SCADA Wireless Networks*”. <http://www.scadawireless.com>

Micrologic System INC. “*Wireless Telemetry and Scada Systems*”. <http://www.micrologic-systems.com/primers/scada.htm>

Universidad Autónoma de la Laguna: “*Fibra Óptica*”. <http://halcon.laguna.ual.mx>.

Vincenzo Mendillo: “*Guia de Redes Digitales de Servicios Integrados*”.Capitulo 2.

ANEXOS

ANEXO A

ANALIZADOR DE REDES SERIE MCA

Características Generales

La versión avanzada del analizador de redes MCA es un instrumento que mide, calcula y visualiza los principales parámetros eléctricos en redes industriales trifásicas (equilibradas o desequilibradas). La medida se realiza en verdadero valor eficaz, mediante tres entradas de tensión c.a. y tres entradas de intensidad c.a. (a través de transformadores de corriente de 5 A). Además calcula la distorsión armónica (THD) de las tres fases en corriente y en tensión una vez por minuto

El MCA versión avanzada permite la visualización de hasta 43 parámetros eléctricos, mediante 3 pantallas numéricas de grandes dimensiones visualizando:

1. La tensión simple o compuesta de las tres fases.
2. 4 pantallas más de visualización de 3 parámetros a elegir.

También tiene incorporada la función de maxímetro: mide la demanda integrada durante un periodo determinado, es de ventana deslizante y siempre muestra el valor integrado del último periodo desde el instante de consulta.

Se puede programar:

- a. El parámetro a controlar potencia activa KW, potencia aparente kVA, ó intensidad trifásica AIII).
- b. El periodo (de 1 a 60 min.).

Otras características.

- Instrumento de panel de dimensiones reducidas (144 * 144 mm).

- Medición en verdadero valor eficaz.
- Memorización de los valores máximos y mínimos.
- Visualización de los parámetros con escala automática de unidades.
- Pantalla: LED's de 7 segmentos.
- Teclado de membrana con 4 teclas para el control y programación.
- Dispone de 3 * 3 LEDs luminosos (rojo, verde y amarillo), para indicar el parámetro visualizado en la pantalla.
- Comunicación RS-485.



Analizador de Red Eléctrica MCA versión avanzada

<i>Características Técnicas</i>	
Tensión nominal de alimentación	110/230, 230/400, ó 240/480 V(-10% +15%)
Frecuencia	50/60 Hz
Potencia consumida	3 VA
Tensión máx. medida	866 V (fase-fase) 500 V (fase-neutro)
Lectura de corriente	con transformadores .../5 A
Entrada de corriente	aislada
Pantalla	4 dígitos color rojo (7 segmentos)

Valores memorizados	MAX y MIN
Corriente permanente máx	1.2
Escalado	automático
Montaje	en panel
Conexión	por bornes mordaza
Protección	IP 41
Rango de temperatura	-10/+50 °C
Dimensiones	144x144 mm, agujero
Peso	750 g
Teclado	4 pulsadores táctiles

Versión Avanzada

La versión avanzada permite obtener lecturas adicionales de energía, demanda máxima, distorsiones armónicas y otros parámetros especiales. Permite también el funcionamiento en cuatro cuadrantes y la comunicación con una computadora. Es el instrumento ideal para instalaciones que necesiten una supervisión exhaustiva de todos los parámetros de la red, así como en edificios inteligentes y en supervisión de procesos industriales.

Parámetro		Media	Suma	L1	L2	L3
Factor de potencia		●		●	●	●
Potencia activa	kW		●	●	●	●
Potencia inductiva	kvar		●	●	●	●
Potencia capacitiva	kvar		●	●	●	●
Potencia aparente	kVA		●			
Frecuencia	Hz			●		
Corriente	A	●		●	●	●
Tensión (fase-fase)	V	●		●	●	●
Tensión (fase-neutro)	V	●		●	●	●
Hora y fecha						
Energía activa	kWh		●			
Energía reactiva ind.	kvarh		●			
Energía reactiva cap.	kvarh		●			
Máxima demanda P	kW		●			
Máxima demanda S	kVA		●			
Máxima demanda I	A	●				
Corriente de neutro	A		●			
THD en tensión	%			●	●	●
THD corriente	%			●	●	●

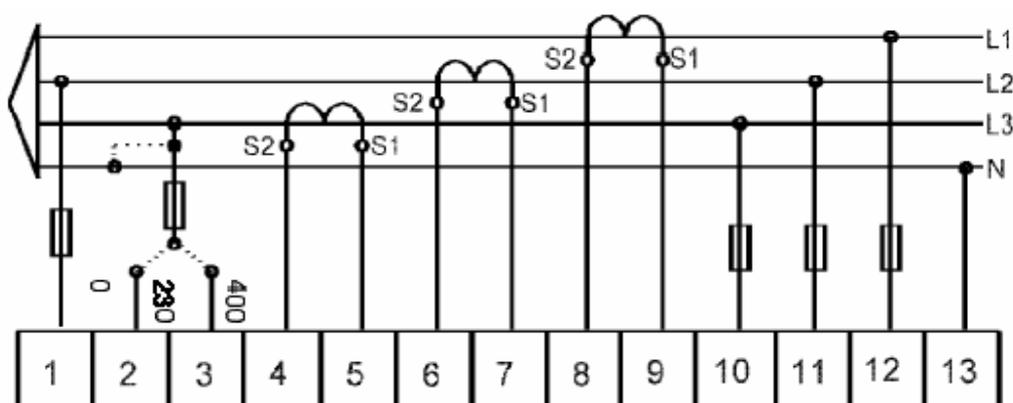
Comunicaciones

Es posible comunicar la versión avanzada del analizador de redes MCA con una computadora por medio de un bus RS-485. Si se conectan más de un aparato a una sola línea serie, es preciso asignar a cada uno de ellos un número o dirección (01 a 99) a fin de que la computadora envíe a las direcciones la solicitud de consultas de los datos. El protocolo usado para esta comunicación puede ser MODBUS, lo que hace que el analizador sea compatible con la mayor parte de programas SCADA y de monitorización existentes en el mercado.

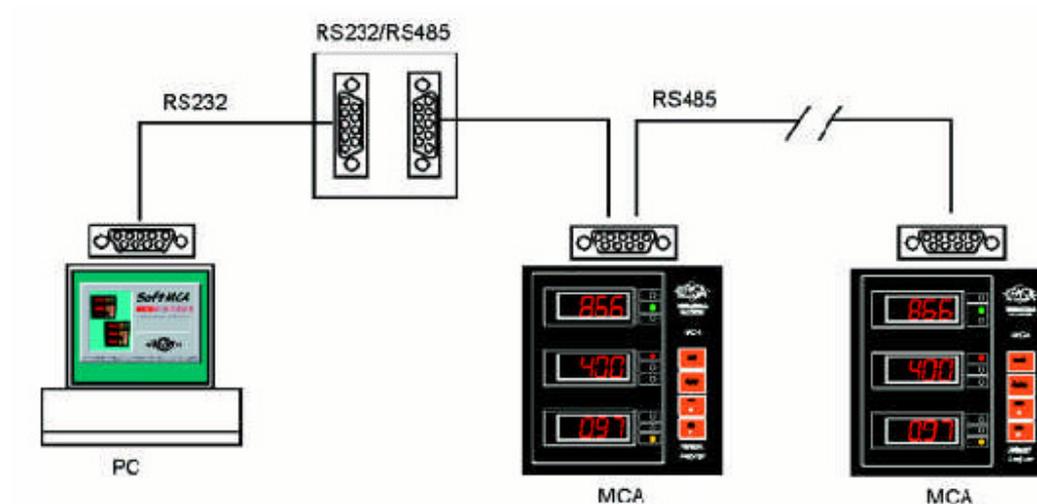
INTERNATIONAL CAPACITORS ha desarrollado el SoftMCA para usuarios que pretendan comunicar el analizador de redes con una computadora y requieran un software sencillo. El SoftMCA permite la lectura de parámetros, la configuración del analizador y el registro de valores de forma remota y puede controlar también otros dispositivos de marca LIFASA.

Conexiones

Para conectar el analizador de redes se llevan hasta el equipo cuatro cables conectados a los puntos de lectura de tensión (tres fases y neutro), lecturas de tres transformadores de corriente 5 A, uno para cada fase y un cable de alimentación a la tensión adecuada.



Para la versión avanzada, en caso de ser conectada a una computadora, también es preciso un cable apantallado de tres conductores para la comunicación RS-485. En caso de no disponer de una entrada RS-485 en la computadora, está disponible un adaptador RS-485/RS-232 (ver esquema).



ANALIZADOR DE ENERGÍA MACH 30 DUCATI

Ducati Energía, participando en el programa de ahorro energético ha desarrollado una línea de instrumentos, los cuales incluyen los analizadores tipo panel MACH 30 (trifásicos) y MACH 20 (monofásicos).

El analizador MACH 30 para sistemas trifásicos, diseñado y producido para ser usado en tableros de distribución eléctricos en bajo voltaje, mide directamente valores de voltajes fase-neutro, la frecuencia, las corrientes de fase y calculan otros valores incluyendo:

- voltaje de líneas,
- factor de potencia por fase,
- potencia activa, reactiva y aparente, por fase y trifásica, (valores instantáneos, promedios y máximos, en donde el valor promedio es obtenido en un periodo de tiempo el cual puede ser elegido por el usuario),
- energía activa y reactiva por fase y trifásica.

Por otro lado, a partir de la versión 2.10 se ofrecen las siguientes nuevas funciones:

- en la sección de alarma de salida Out1, Out2, Out3, Out4:
 - cantidad mínima y máxima colocada bajo alarma,
 - salida de estado estacionario para ser colocada entre el intervalo máximo y mínimo,
 - tiempo de desbordamiento máximo y mínimo por encima del cual si la condición de alarma persiste, el estado de salida es revertido refiriéndose a una elección realizada previamente por el usuario para el “min-max gap”,
 - tiempo de recuperación del “min-max gap” por encima del cual si la condición de alarma persiste el estado de la salida permanecerá en el valor previo elegido por el usuario.
- las corrientes y voltajes de fase THDFs (Transformer Harmonic Derating Factor),

- capacidad para mostrar el valor máximo de la potencia promedio por fase y trifásica,
- capacidad para mostrar el valor pico instantáneo de las corrientes y voltajes,
- Cogeneración: capacidad del equipo para indicar la potencia activa instantánea por fase; el valor pico de la potencia activa promedio por fase; energía activa y reactiva por fase; energía activa y reactiva trifásica.
- Control de 2 entradas analógicas (4-20 mA) para adquisición de medidas físicas.

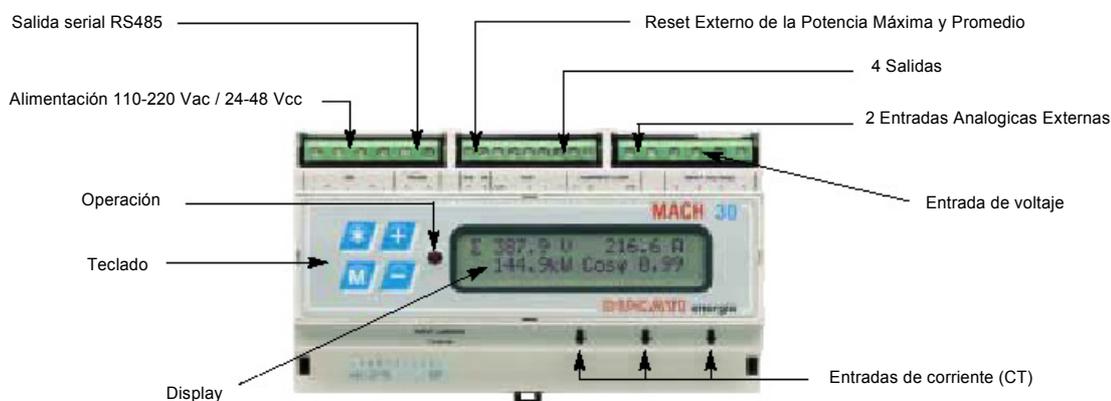
Los siguientes cálculos son realizados por el equipo:

- Conversión de escala en unidades físicas reales de medidas, mediante la colocación de los valores máximos y mínimos asociados a valores 4-20 mA.
- Cálculo de valor instantáneo medido.
- Cálculo del valor promedio de las mediciones sobre un periodo de tiempo, el cual puede ser colocado entre 1 - 60 min.
- Cálculo del valor pico de valores promedios previamente obtenidos.
- Medidas integrales.

Todas las medidas mencionadas anteriormente serán mostradas en el “display” de cristal de líquido del instrumento y con ayuda de las teclas de selección de comandos.

Finalmente, estos equipos poseen un puerto serial RS-485 el cual permite la posibilidad de formar una red de analizadores (hasta 98) los cuales pueden ser manejados por el programa de la aplicación instalado en un computador personal con el sistema operativo WINDOWS 95.

Descripción del Instrumento



Analizador de Energía MACH 30

Funciones de teclas en el panel frontal

a. Programación de fases:

Menú Umbral	*
Menú Configuración	M

b. Mediciones de fases:

Tecla de página próxima	+
Tecla de página anterior	-

Potencia Media

El MATCH calcula y muestra la potencia promedio en un periodo ajustable desde 1 a 60 minutos. El valor máximo de la potencia promedio calculadas es almacenada y pueden ser mostrada.

Mediciones de Energía

8 medidores de energía no volátiles para establecer la potencia reactiva y activa total en cada fase y sistemas trifásicos.

Si alguna interrupción del suministro de energía pudiera ocurrir, todas las mediciones de energía son almacenadas en orden para no perder los datos recolectados.

Factor de Distorsión THDF

Los puntos de salida del dispositivo MACH y la forma de onda de V y I es desplazada desde una curva seno indicando el radio en la pantalla:

Ejemplo:

THDF = 1 forma de onda sinusoidal.

THDF < 1 forma de onda en la cual los picos son achatados.

THDF > 1 forma de onda en la cual los picos son acentuados.

Alarmas Umbrales

4 alarmas pueden ser activadas conectándose al mismo numero de salidas digitales (ON-OFF colector abierto), en la cual las cantidades pueden ser controladas y estabilizadas en los valores máximos y mínimos, el tiempo insensible (desde 0-99 seg), para exceder los umbrales y el estado de la salida (ON OFF) dentro y fuera de los alarmas actuales. Si las condiciones establecidas para las alarmas son excedidas, las salidas digitales son activadas y cargadas pudiendo ser conectadas las alarmas activas usando la apropiada interfaz RB4S (opcional).

Entradas Analógicas

2 entradas analógicas 4-20 mA disponibles para adquirir medidas físicas (temperatura, humedad, etc.)

Características Técnicas

Precisión:	
Voltajes	: $< \pm 1\% \pm 0,4\%$ FS
Corrientes	: $< \pm 1\% \pm 0,3\%$ FS
Potencia Activa	: $< 2,5\%$ (da $\cos\phi = 0,51$ a $\cos\phi = 0,8C$)
Cos ϕ	: $\pm 0,01$ (da $\cos\phi = 0,51$ a $\cos\phi = 0,8C$)
Rango:	
Voltajes	: de 1 Vr.m.s a 600 Vr.m.s
Corrientes	: Versión 5A : de 15mAr.m.s. to 5Ar.m.s con CT de 5/5 hasta 5000/5 Versión 3A : de 90mAr.m.s. a 30Ar.m.s.
Energía Activa	: hasta 99.999 kWh (kA=1, kV=1)
Energía Reactiva	: hasta 99.999 kVArh (kA=1, kV=1)
Alimentación:	
Modelo AC	: 230/115 Vac + 5% - 15% de 45 a 65Hz
Modelo AC	: 240/120 Vac + 5% - 15% de 45 a 65Hz
Modelo DC	: 24/48 Vdc
Energía	: ≤ 3 VA
Conversión	: 10 bit
Temperatura	: de 0 ° a 50 °C
RH	: 90% sin condensación a 40°
Peso	: 0,52kg (MACH20) : 0,61kg (MACH30)
Pantalla	: LCD 2 líneas/20 columnas
Teclado	: 4 teclas matricial
Entradas analógicas	: 2 lazos de corriente 4 – 20 mA
Salida serial RS-485	: 9600 bps
Colector abierto	: 45 VDC max.; 10 mA max. (valores no simultáneos)
Protección	: Instrumento IP20 Panel Frontal IP40

ANEXO C

INTERFAZ RS-485

Conductores de Línea no Balanceado

Cada señal que se transmite en un sistema de transmisión de datos no balanceado RS-232 aparece en el conector de la interfaz como un voltaje con referencia a tierra. Por ejemplo, la transmisión de datos (TD) de un dispositivo DTE aparece en el pin 2 con respecto al pin 7 (tierra de señales) en un conector DB-25. Este voltaje será negativo si la línea esta inactiva y se alterna entre un nivel negativo y positivo cuando los datos se envían con una magnitud de ± 5 a ± 15 voltios. El receptor RS-232 funciona típicamente dentro del rango de voltaje de +3 a +12 y -3 a -12 voltios (figura 1).

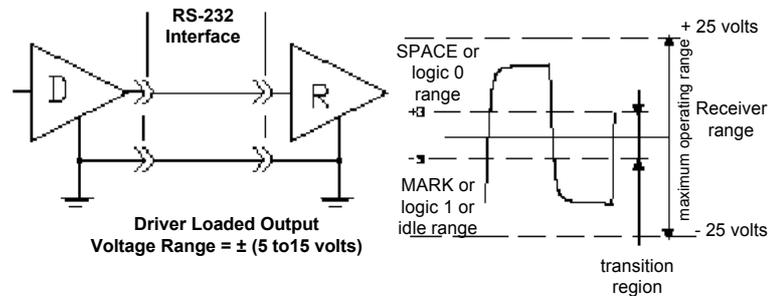


Figura 1 Circuito de Interfaz RS-232

Conductores de Línea Balanceado

En un sistema diferencial balanceado el voltaje del sistema producido por el conductor aparece a través de un par de las líneas de señales que transmiten solamente una señal. La figura 2 muestra un conductor de línea balanceado y los voltajes. Un conductor de línea balanceado producirá un voltaje de 2 a 6 voltios a través de los terminales de salida A y de B y una conexión de tierra C. Aunque es importante la conexión apropiada a tierra, no es utilizada por un receptor de la línea balanceado en la determinación del estado lógico de la línea de datos. Un conductor de línea balanceado puede también tener una señal de entrada llamada "Enable". El propósito de esta señal es conectar el conductor con sus terminales de salida, A y B. Si la señal "Enable" está OFF, se puede considerar que el conductor esta desconectado de la línea de transmisión. Un conductor RS-485 debe tener la señal de

control "Enable". La condición desconectado o "Disabled" del conductor de línea se refiere a la condición "Tristate" del conductor. El término "Tristate" viene del hecho de que hay un tercer estado de salida de un conductor RS-485, además de los estados de salida de "1" y "0".

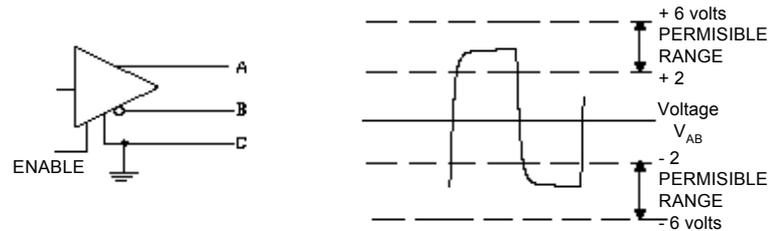
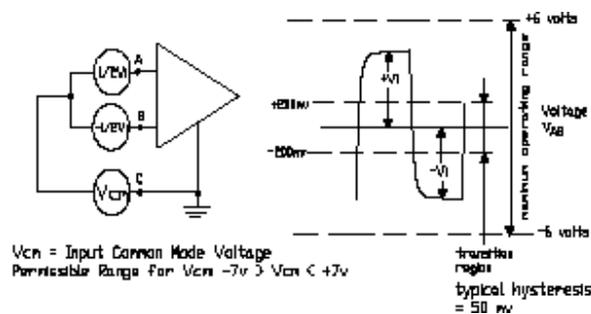


Figura 2 Conductor de Línea de Salida Diferencial Balanceado

Receptores de Línea Balanceado

Un receptor de línea diferencial balanceado detecta el estado del voltaje de la línea a través de las señales de las líneas de entrada A y B, teniendo una tierra de señales C, que es necesaria para realizar la apropiada conexión de la interfaz. La figura 3 muestra un receptor de línea diferencial balanceado y los voltajes que son importantes para el receptor. Si el voltaje de entrada diferencial V_{AB} es mayor de +200 mV el receptor tiene un estado lógico específico en su terminal de salida. Si el voltaje de entrada se invierte a menos de -200 mV el receptor tiene el estado lógico opuesto en su terminal de salida. Los voltajes de entrada que un receptor de línea balanceado se muestran en la figura 3. El rango 200 mV a 6 V requiere tomar en consideración la atenuación en la línea de transmisión.



V_{CM} = Input Common Mode Voltage
Permissible Range for V_{CM} -7V to +7V

Figura 3 Receptor de Línea de Entrada Diferencial Balanceado

Estándar RS-485 del EIA para Transmisión de Datos

El estándar RS-485 permite que una línea de transmisión balanceada sea compartida en una línea colectiva o modo multidrop, hasta 32 pares de conductores/receptores pueden compartir una red multidrop. El rango del voltaje en modo común (V_{cm}), del conductor y el receptor puede tolerar extenderse de +12 a -7 voltios, debido a que el conductor se puede desconectar o colocar la línea en alta impedancia (tristated), debiendo soportar el rango del voltaje de modo común mientras esta en la condición de triple estado.

La figura 4 muestra una típica red multidrop de dos hilos. Observe que la línea de transmisión está terminada en ambos extremos de la línea pero no en los puntos drop en el centro de la línea. La terminación se debe utilizar solamente con altas velocidades de datos y funcionamientos de cableados extensos. La línea de tierra de señales se recomienda en un sistema RS-485, para mantener el voltaje de modo común que el receptor debe aceptar dentro del rango de -7 a +12 voltios.

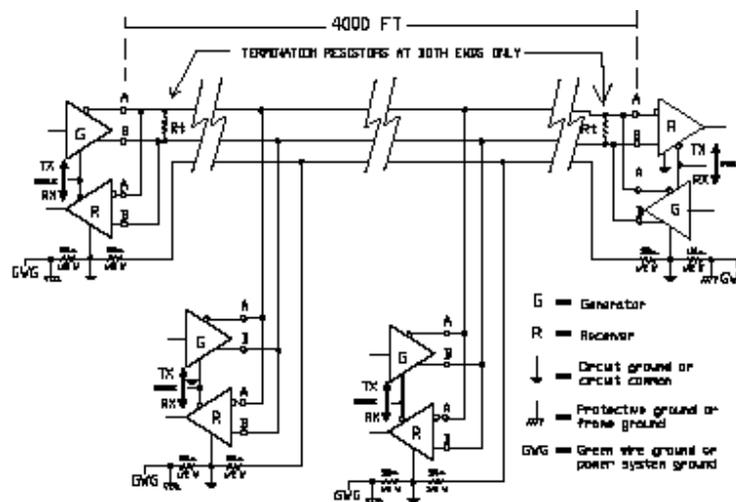


Figura 4 Red Multidrop 2 Hilos RS-485

Una red RS-485 se puede conectar en modo de cuatro hilos, según lo mostrado en la figura 5. Se utilizan cuatro alambres para datos y un alambre adicional de tierra en la conexión cuatro hilos, siendo necesario que un nodo sea nodo maestro o principal y lo restantes esclavos. La red está conectada de modo que el nodo maestro se comunice a todos los

nodos esclavos y estos se comunican solamente con el nodo maestro. Esta red tiene algunas ventajas con el equipo y con el uso de varios protocolos de comunicaciones. Los nodos esclavos nunca escuchan la respuesta enviada de la maestra a otro esclavo ni un nodo esclavo puede contestar a otro nodo esclavo.

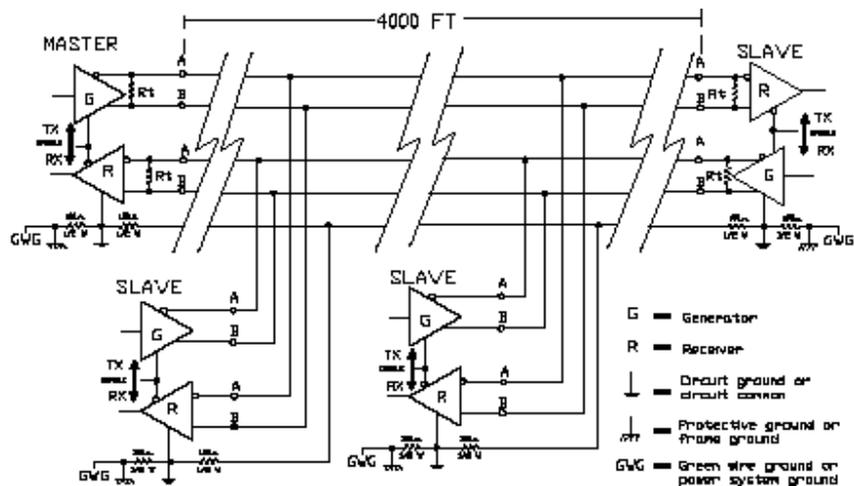


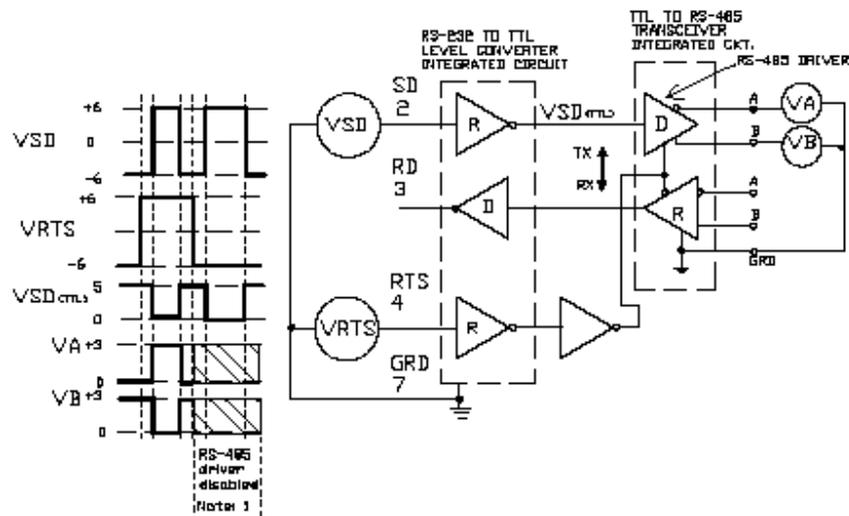
Figura 5 Red Multidrop de 4 Hilos RS-485

Control de triple estado de un dispositivo RS-485 usando RTS

Un sistema RS-485 debe tener un conductor que se pueda desconectar de la línea de la transmisión cuando un nodo particular no está transmitiendo. En un convertidor RS-232 a RS-485 o una tarjeta serial RS-485, esto se puede implementar usando la señal de control de RTS de un puerto serial asíncrono para habilitar al conductor RS-485. La línea de RTS conectada con el conductor RS-485 permite habilitarla así: un estado lógico (1) habilita el conductor RS-485 y un estado lógico (0) coloca al conductor en la condición de triple estado, esto desconecta el conductor del bus, permitiendo que otros nodos transmitan sobre el mismo par de cable. La figura 6 muestra un diagrama de tiempo para un convertidor RS-232 a RS-485. Las formas de onda demuestran qué sucede si la forma de onda de VRTS es más estrecha que los datos VSD; esta situación no es la normal, sino se muestra para ilustrar la pérdida de una porción de la forma de onda de los datos. Cuando se utiliza el control de RTS, es importante que la línea RTS esté colocada a (1) antes de enviar los datos

y colocarse en (0) al terminarse de enviar el último bit de datos. Esta sincronización la realiza el software usado para controlar el puerto serial y no el convertidor.

Cuando una red RS-485 está conectada en modo de dos hilos a la línea compartida multidrop, el receptor en cada nodo será conectado a la línea (ver figura 4). El receptor se puede ser configurar a menudo para recibir un eco de su propia transmisión de datos. Esto es deseable en algunos sistemas, y molesto en otros. Compruebe en la hoja de datos del convertidor para determinar cómo la función "enable" es conectada.



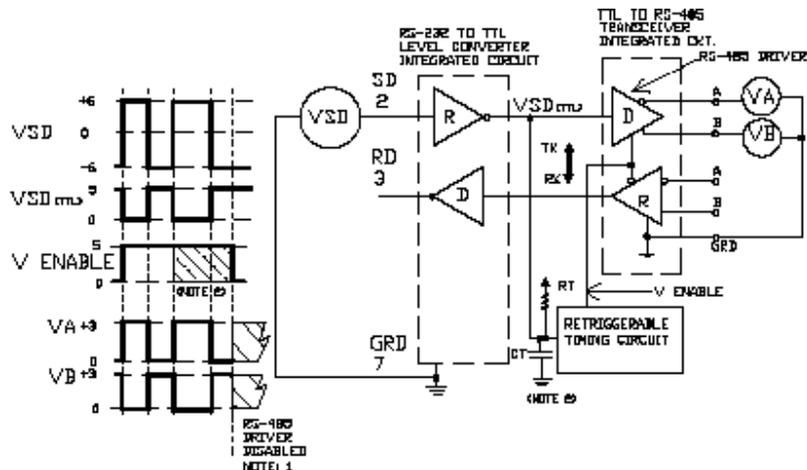
Nota 1 - El voltaje es determinado por otros dispositivos en la línea
 Nota 2 - Todos los valores máximos de voltajes son aproximados

Figura 6 - Diagrama de tiempo para convertidor RS-232 a RS-485 con control RTS del conductor y receptor del RS-485

Control de Envío de Datos de un Dispositivo RS-485

Muchas tarjetas seriales para convertidores RS-232 a RS-485 incluyen el trazado de circuitos especiales, que accionan la señal de los datos para habilitar el conductor RS-485. La figura 7 es un diagrama de tiempo de las señales importantes usadas para el control en este tipo de convertidor. Es importante observar que la línea de transmisión de datos esta deshabilitada en un intervalo fijo después del ultimo bit, típicamente la longitud de un carácter. Si este intervalo es demasiado corto se pueden perder partes de cada carácter

enviado. Si el tiempo es demasiado largo, el sistema puede pasar de la línea de datos de transmisión a recepción antes que el nodo este listo para recibir los datos. Si el último es el caso, faltarán porciones (o caracteres completos) al principio de una respuesta.



Nota 1 - El voltaje es determinado por otros dispositivos en la línea.

Nota 2 - Este intervalo de tiempo es determinado por los componentes en la sincronización del circuito.

El comienzo de este intervalo es determinado por el borde principal de cada bit de datos.

Nota 3 - Todos los valores máximos de voltajes son aproximados.

Figura 7 Diagrama de tiempo para convertidor RS-232 a RS-485 con Control de datos enviados (SD) del conductor y receptor RS-485

Configuración del Sistema

Topologías de la Red

La configuración de la red no se define en la especificación RS-485. En la mayoría de los casos el diseñador puede utilizar una configuración que se ajuste a los requerimientos físicos del sistema.

Sistemas Dos Hilos o Cuatro Hilos

Las capacidades de triple estado de RS-485 permiten que un solo par de alambres comparta señales de transmisión y recepción para las comunicaciones half-duplex. En la configuración “dos hilos” se debe utilizar un conductor adicional de tierra. Los dispositivos

RS-485 pueden internamente o externamente configurarse para sistemas de dos hilos. Configurados internamente proporcionan simplemente las conexiones A y B (etiquetadas a veces "-" y "+").

Los dispositivos configurados para comunicaciones de cuatro hilos, colocan conexiones de salida A y B para ambos pares de transmisores y receptores. El usuario puede conectar las líneas de transmisión con las líneas de recepción para crear una configuración de dos hilos. El último dispositivo provee al diseñador del sistema, mas flexibilidad en la configuración. Observe que la línea de tierra de señales se debe también conectar en el sistema. Esta conexión es necesaria para mantener el voltaje de modo común (V_{cm}) en el receptor dentro de un rango seguro. El circuito de interfaz puede funcionar sin la señal de conexión a tierra, pero puede sacrificar confiabilidad e inmunidad de ruido. La figura 4 y 5 ilustran las conexiones sistemas de dos y cuatro hilos.

Terminación

La terminación se utiliza para emparejar la impedancia de un nodo a la impedancia de la línea de la transmisión. Cuando la impedancias son diferentes, la señal transmitida no es absorbida totalmente por la carga y una porción se refleja nuevamente dentro de la línea de la transmisión. Si la fuente, la línea de la transmisión y la impedancia de la carga son iguales se eliminan estas reflexiones. También, hay desventajas de la terminación. La terminación aumenta la carga en los conductores, aumenta la complejidad de la instalación, cambia los requerimientos predispuestos y hace la modificación del sistema más difícil.

La decisión de utilizar o no la terminación se fundamenta en la longitud del cable y la velocidad de transmisión del sistema. Una regla es: si el retardo de propagación de la línea de datos es mucho menor del ancho de un bit, la terminación no es necesaria. Esta regla hace la suposición que las reflexiones se amortiguan en varios viajes en la línea de datos. Puesto que el UART de recepción muestreará los datos en el centro del bit, es importante que el nivel de la señal sea consistente en ese punto. Por ejemplo, en un sistema con 2000 pies, el retardo propagación de la línea de datos puede ser calculado multiplicando la

longitud de cable por la velocidad de la propagación del cable. Este valor, típicamente 66% al 75% de la velocidad de la luz (c), es especificado por el fabricante del cable.

Para nuestro ejemplo, un viaje redondo cubre 4000 pies de cable. Usando una velocidad de la propagación de $0,66 \times c$, un viaje redondo se termina en aproximadamente $6,2 \mu\text{s}$. Si asumimos que las reflexiones se amortiguan en tres "viajes redondos" de la longitud de cable, la señal se estabiliza a los $18,6 \mu\text{s}$ después del borde principal de un bit. En 9600 baudios un bit es $104 \mu\text{s}$ de ancho. Puesto que las reflexiones se amortiguan antes del centro del bit, no se requiere la terminación.

Hay varios métodos de terminación de líneas de datos. El método recomendado por la compañía B&B es terminación paralela. Un resistor se agrega en paralelo con las líneas de receptor "A" y "B" alineadas para emparejar la impedancia característica de la línea de datos especificada por el fabricante del cable (120 ohmios es un valor común). Este valor describe la impedancia intrínseca de la línea de la transmisión y no es una función de la longitud de la línea. Un resistor de terminación de menos de 90 ohmios no debe ser utilizado. Los resistores de terminación se deben colocar solamente en las extremidades de la línea de datos, y no más de de dos terminaciones deben ser colocados en cualquier sistema que no utilice repetidores. Este tipo de terminación agrega carga DC pesada a un sistema y puede sobrecargar los puertos de los convertidores RS-232 a RS-485. Otro tipo de terminación es la acoplada AC, agrega un pequeño condensador en serie con el resistor de la terminación para eliminar el efecto de carga DC. Aunque este método elimina la carga DC, la selección del condensador es altamente dependiente de las características del sistema. A los diseñadores de sistemas interesados en la terminación AC, para información adicional se les recomienda leer la National Semiconductors Application Note 903. La figura 8 ilustra la terminación AC y paralela en un nodo de dos hilos RS-485. En sistemas de cuatro cables, la terminación se coloca a través del nodo receptor.

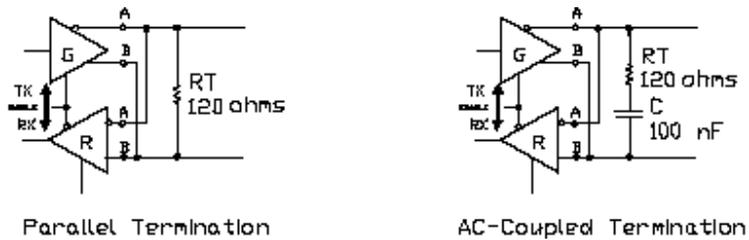


Figura 8 Terminación AC y Paralelo

Polarización de una red RS-485

Cuando una red RS-485 se encuentra en estado inactivo, todos los nodos están en modo de escuchar (recibir), bajo esta condición no hay conductores activos en la red y todos los conductores están en triple estado. Sin ningún manejador de red el estado de la línea es desconocido. Si el nivel de voltaje en las entradas de los receptores A y B es menor que ± 200 mV el nivel lógico de salida de los receptores será el valor del último bit recibido. Para mantener el voltaje apropiado para estado inactivo se usan los resistores de polarización, para forzar las líneas de datos a esta condición. Los resistores de polarización son un resistor pullup en la línea de los datos B (típicamente a 5 voltios) y un resistor pulldown (a tierra) en la línea de los datos A. La figura 9 ilustra la colocación de los resistores en un receptor-transmisor en una configuración de dos hilos. En la configuración RS-485 cuatro hilos, estos se deben colocar en las líneas del receptor y el valor es dependiente de la terminación y el número de nodos en el sistema. Se debe generar la corriente de polarización DC en la red para mantener un mínimo de 200mV entre las líneas de los datos B y A. Considere los dos ejemplos siguientes del cálculo del resistor.

Ejemplo 1

10 nodos, red RS-485 con dos resistores de terminación de 120 ohmios.

Cada nodo RS-485 tiene una impedancia de carga de los nodos de 12K. 10 en paralelo tienen una carga de 1200 ohmios. Además, los dos resistores de terminación de 120 ohmios agregan una carga de 60 ohmios, para una carga total de 1260 ohmios. Los resistores de terminación son claramente responsables de la mayoría de la carga. Para mantener por lo

menos 200mV entre la línea B y A, se necesita una corriente de polarización de 3,5 mA atravesando la carga. Para generar esta corriente a 5V, se debe colocar una resistencia total de 1428 ohmios; reste los 57 ohmios que es parte de la carga y quedan 1371 ohmios. Colocar la mitad de ese valor como pullup a 5V y la mitad como pulldown a tierra, se obtiene un valor máximo de resistencia de 685 ohmios para cada uno de los dos resistores.

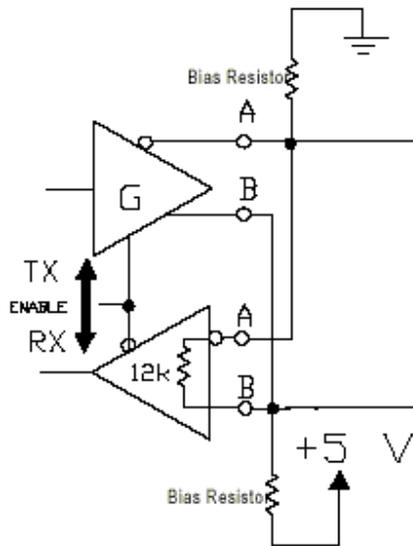


Figura 9 Transmisor-receptor con resistores Bias

Ejemplo 2

32 nodos, red RS-485 sin la terminación.

Cada nodo RS-485 tiene una impedancia de carga de los nodos 12Kohms, 32 nodos en paralelo proveen una carga total de 375 ohmios. Para mantener 200 mV a través de 375 ohmios necesitamos una corriente de 0,53 mA. Para generar la corriente con una fuente de 5V, se requiere una resistencia máxima de 9375 ohmios. La carga del receptor tiene 375 ohmios del total y los resistores de polarización deben añadir los 9Kohm o menos. Observe que la corriente de polarización es muy pequeña en sistemas sin la terminación.

Los resistores se pueden colocar en cualquier parte de la red o se pueden dividir entre nodos múltiples. La combinación paralela de todos los resistores de polarización en un sistema debe ser igual o menos que a los requisitos calculados. La compañía electrónica B&B utiliza resistores de polarización de 4.7Kohm en todos los productos RS-485. Este valor es

adecuado para la mayoría de los sistemas sin la terminación. El diseñador del sistema debe calcular siempre los requisitos de polarización de la red. Indicios de rangos de polarización bajos disminuyen la inmunidad al ruido ocasionando fallas. Polarizaciones altas tiene menos efecto en un sistema, el resultado primario es el aumento de la carga en los conductores. Los sistemas que usan puerto para convertidores RS-232 a RS-485 pueden ser sensibles a polarizaciones excesivas.

Ampliación de la Especificación

Algunos sistemas que requieren largas distancias o números más altos de nodos soportados por RS-485, utilizan comúnmente repetidores para superar estas barreras. Un repetidor RS-485 tal como el 485OP de la electrónica B&B, se puede colocar en un sistema para dividir la carga en segmentos múltiples. Cada señal "restaurada" es capaz de conducir otros 4000 pies de cable y 31 cargas adicionales RS-485.

Otro método para aumentar el número de los nodos RS-485 es utilizar receptores de baja carga del tipo RS-485. Estos receptores utilizan una impedancia más alta de la entrada para reducir la carga en los conductores RS-485 para aumentar el número total de nodos. Hay actualmente receptores del circuito integrado de la mitad de la carga y de un cuarto disponibles, ampliando el número permisible total de nodos a 64 y 128, respectivamente.

ANEXO D

Protocolo MODBUS

El lenguaje MODBUS desarrollado por MODICON, usado comúnmente en sus controladores y en una gran gama de equipos diseñados por otros fabricantes de telemetría, automatización y control. Este lenguaje establece una estructura a través de la cual los dispositivos de campo (unidades terminales remotas, dispositivos de medición inteligente, controladores, etc.) pueden comunicarse con la maestra.

1 Transacciones en redes MODBUS

Los dispositivos sobre una red MODBUS se comunican utilizando la técnica maestro-esclavo, en la cual solamente un dispositivo puede iniciar las transacciones (la estación maestra) efectuando una pregunta o comandando una acción. Los dispositivos de campo (esclavos) responderán a la estación maestra con los datos requeridos o ejecutando la acción específica solicitada. La estación maestra puede direccionar dispositivos individuales o efectuar mensajes tipo “broadcast” que llegan a todos los dispositivos esclavos y en este caso los dispositivos no responden a la estación maestra.

MODBUS establece el formato de los mensajes enviados por la estación maestra colocando dentro del mismo campos que identifican la dirección del dispositivo a interrogar (o “broadcast”), un código de función que define la acción a ejecutar o los datos solicitados, campos de datos a ser enviados para el caso en el que sea necesario y campos de chequeo de error. Las estaciones esclavas responden con un formato de mensaje que incorpora su dirección, campos informando las acciones tomadas o los datos solicitados y campos de chequeo de error.

2 El ciclo de pregunta – respuesta

El código de función enviado en el mensaje por la estación maestra le establece a la estación esclava la acción a ejecutar, adicionalmente los bytes de datos enviados sirven de apoyo a la acción solicitada. Por ejemplo, el código de función 03 establece la lectura de los “Holding Registers” de la estación esclava y esta tendrá que responder con los datos en el rango solicitado. El campo de datos establece a la estación esclava el registro de inicio y la cantidad; el campo de chequeo de error permite verificar la integridad del mensaje recibido.

Si la estación esclava genera una respuesta normal, el código de función de la respuesta es una copia del código de función de la pregunta efectuada por la estación maestra. Los campos de datos contienen los datos solicitados; tal como valores de registros o indicaciones. Si ocurre un error, el código de función es modificado para indicar que la respuesta es un mensaje de error y el campo de datos en este caso contienen información acerca del tipo de error. El campo chequeo de error, permite a la estación maestra verificar la integridad del mensaje recibido.

3 Modos de transmisión serial

Los dispositivos que forman redes MODBUS pueden comunicarse utilizando dos tipos de transmisión serial: RTU y ASCII. El usuario selecciona el modo con las características del puerto serial (tasa de baudios, paridad, bits stop, etc.) Sin embargo, estos parámetros deben ser iguales para todos los dispositivos en la red.

El modo de transmisión define el contenido de los bits transmitidos serialmente sobre la red, determina el formato de empaquetamiento y decodificación de cada mensaje MODBUS.

a. Modo ASCII

Cuando los dispositivos son configurados en modo ASCII (American Standard Code for Information Interchange) cada byte de 8 bit en el mensaje es enviado serialmente como dos (2) caracteres ASCII, tiene la ventaja que permite intervalos de tiempo de hasta 1 segundo entre caracteres sin causar errores.

Características:

- Sistema de codificación: caracteres ASCII (0~9,A~F), 1 bit de arranque, 1 bit de parada (si se utiliza paridad, en caso contrario 2), 7 bits de datos, 1 bit de paridad.
- Chequeo de error: Método LRC (Longitudinal Redundancy Check).

b. Modo RTU

En el modo RTU (Remote Terminal Unit) cada byte de 8 bits en el mensaje contiene dos caracteres hexadecimales de 4 bits, tiene la ventaja que para gran densidad de información en el canal el desempeño es mejor que para el modelo ASCII a la misma tasa de baudios.

Características:

- Sistema de codificación: hexadecimal de 8 bits, 0~9, A~F
- 2 caracteres hexadecimales por cada 8 bits en el mensaje (1 bit de arranque, 8 bits de datos, 1 bit de paridad, 1 bit de parada (si la paridad es utilizada, en caso contrario 2)).
- Chequeo de error: Método de CRC (Cyclic Redundancy Check).

4 Estructura de las tramas MODBUS**a. Modo ASCII**

Los mensajes comienzan por el carácter “:” (3A en hexadecimal) y terminan con los caracteres de retorno de carro y avance de línea (CR + LF = 0D + 0A en hexadecimal). Se permiten intervalos de hasta 1 segundo entre caracteres dentro de un mensaje. Si

ocurre un intervalo mayor entonces se genera un error. La estructura de un mensaje ASCII se muestra en la figura 1.

Comienzo	Dirección	Función	Datos	Chequeo error	Fin
1 Car (:)	2 Car	2 Car	2N Car	LRC (2Car)	2 Car (CR + LF)

Figura 1 Formato de mensaje MODBUS ASCII

b. Modo RTU

Los mensajes comienzan con un intervalo de silencio de 3.5 tiempos de caracteres. El primer campo transmitido es la dirección. Los caracteres permitidos para el envío en cada campo son hexadecimales: 0~9 y A~F .

Cuando el primer carácter es recibido (después del silencio de 3.5 tiempos de caracteres), cada dispositivo decodifica la dirección para comprobar si el mensaje es para este dispositivo. Siguiendo el último carácter de silencio de 3.5 tiempos de caracteres marca el fin del mensaje, a partir de este momento un nuevo mensaje puede ser enviado por la red. Cada mensaje debe ser enviado como una trama continua, si un intervalo de silencio de mas de 1.5 tiempos de carácter ocurre antes de culminar con la transmisión del mensaje el dispositivo receptor descarta el mensaje incompleto recibido y asume que el próximo carácter a recibir es el campo de dirección. La estructura de un mensaje RTU se muestra en la figura 2.

Comienzo	Dirección	Función	Datos	Chequeo error	Fin
3 1/2 T Car	8 Bits	8 Bits	Nx8 Bits	CRC 16 BITS	3 1/2 T Car

Figura 2 Formato de mensaje MODBUS RTU

4.1 Campo de Dirección

El campo de dirección de un mensaje MODBUS contiene 2 caracteres (ASCII) u 8 Bits (RTU). Las direcciones de dispositivos esclavos válidas entre 0 y 247 (decimal). Las direcciones individuales para dispositivos entre 1 y 247 (decimal), dejando la dirección 0 (cero) como “broadcast”. La estación maestra direcciona un dispositivo esclavo colocando su dirección en el campo de dirección del mensaje MODBUS. Cuando la estación esclava responde el mensaje coloca su propia dirección en el campo de dirección del mensaje MODBUS para indicar a la estación maestra el dispositivo que responde.

4.2 Campo de Función

El campo código de función contiene 2 caracteres (ASCII) u 8 bits (RTU). Los códigos válidos se encuentran en el rango de 1 a 255 (decimal), algunos están reservados para uso futuro o funciones de usuario específicas; el resto son funciones estándar de MODBUS las cuáles pueden o no ser todas soportadas por los dispositivos que se comuniquen vía protocolo MODBUS, es decir, pueden existir subset de estos códigos de función.

Cuando un mensaje es enviado por una estación maestra a un dispositivo esclavo, el código de función comunica el tipo de acción a realizar, por ejemplo: leer el estado de entradas digitales (ON / OFF), leer contenidos de datos de grupos de registros, leer el diagnóstico del dispositivo remoto, escribir en determinados registros del dispositivo esclavo, etc.

Cuando el dispositivo esclavo responde a la estación maestra se utiliza el campo del código de función para indicarle a la estación maestra si la respuesta es normal o es un mensaje de error. Para una respuesta normal la estación esclava simplemente hace eco del código de función. Si se trata de una respuesta de error, la estación esclava devuelve el código de función original con el bit más significativo en nivel lógico “1”. Adicionalmente la estación esclava coloca en el campo de datos del mensaje un único dato que le permite a la estación maestra establecer el tipo de error ocurrido.

4.3 Campo de datos

El campo de datos es construido utilizando grupos de dos (2) dígitos hexadecimales en el rango de 00 a FF (hexadecimal). Estos se construyen a partir de un par de caracteres ASCII o a partir de un carácter RTU, de acuerdo al modo de transmisión serial de la red.

El campo de datos enviado por la estación maestra a los dispositivos esclavos contiene información adicional que debe utilizar la estación esclava para llevar a cabo la acción solicitada a través del código de función. Por ejemplo, si una estación maestra solicita a la esclava leer un grupo de “Holding Registers” (código de función 03), el campo de datos especifica la dirección de inicio del registro y la cantidad a leer. Por ejemplo, la estación maestra desea escribir un grupo de registros en la estación esclava (código de función 10 en hexadecimal) el campo de datos especifica el registro inicial, la cantidad y los datos a escribirse en cada registro.

Si no ocurren errores el campo de datos del mensaje de respuesta de una estación esclava a la estación maestra, este contiene los datos solicitados. Si por el contrario ocurre un error, el campo de datos contendrá un código que será utilizado por la estación maestra realizar sus próximas acciones.

El campo de datos puede no existir en algunos tipos de mensajes como la solicitud por parte de la estación maestra del histórico de comunicaciones (función 0B en hexadecimal).

4.4 Campo chequeo de error

En redes MODBUS se utilizan dos métodos de chequeo de errores en las comunicaciones:

a. Modo ASCII

Este contiene dos caracteres ASCII que son el resultado de efectuar un LRC (Longitudinal Redundancy Check) sobre el contenido del mensaje a ser transmitido, excluyendo el carácter de comienzo (“:”) y los caracteres de fin de mensaje (CR +

LF). Los caracteres de LRC son anexados al último carácter del mensaje precedido por los caracteres de fin de mensaje (CR +LF).

b. Modo RTU

Esta constituido por un valor de 16 bit conformado por dos bytes de 8 bits. En este caso el campo de chequeo de error es el resultado de aplicar un CRC (Cyclic Redundancy Check) al contenido del mensaje a ser transmitido, este es añadido al final del mensaje añadiendo primero el byte más significativo del CRC quedando el más significativo en el último lugar del mensaje.

5 Métodos de chequeo de error

Las redes MODBUS establecen dos tipos de chequeo de error: chequeo de error de paridad (par o impar) y chequeo de error de la trama (LRC o CRC).

a. Verificación de paridad

Los dispositivos remotos pueden ser configurados para transmitir serialmente con paridad par o impar, o inclusive sin verificación de paridad. Este método puede no resultar efectivo cuando dos bits de un byte son alterados en el proceso de transmisión y como resultado se obtiene la misma paridad que con el byte original, sin embargo, los métodos de chequeo del mensaje completo se encargan de verificar esta condición de error.

b. LRC

Este método es aplicado ejecutando o no la verificación de paridad. El LRC (Longitudinal Redundancy Check) consiste de un byte de 8 bits, es calculado por el dispositivo transmisor del mensaje y colocado al final del mismo antes de los caracteres de fin de mensaje. El dispositivo receptor calcula el LRC al mismo tiempo que recibe el mensaje y compara el valor calculado con el valor recibido. Si los dos valores no son iguales significa que ocurrió un error en la transmisión y el mensaje es descartado por el receptor. El LRC es calculado sumando sucesivamente todos los byte del mensaje

descartando los acarreo y complementado a dos (2) el resultado final. Se excluyen en este cálculo los caracteres de comienzo y fin del mensaje MODBUS ASCII.

c. CRC

El CRC es el método de chequeo de error utilizado en las redes MODBUS RTU. Al igual que el LRC se aplica exista o no chequeo de paridad. El CRC está compuesto por dos bytes (16 bits) y lo calcula el dispositivo transmisor añadiendo el valor al final del mensaje. El dispositivo receptor del mensaje lee el campo de CRC y calcula el valor sobre el mensaje recibido comparando ambos valores. Si no son iguales se supone un error de comunicaciones y se descarta el mensaje.

Para llevar a cabo el cálculo del CRC se inicializa con un registro cuyos bits se colocan todos en “1” lógico. Entonces comienza el proceso de cálculo aplicando al registro todos y cada uno de los bytes del mensaje. Durante la generación del CRC cada byte del mensaje es “Exclusive OR” con el valor del registro, el resultado es desplazado en dirección del bit menos significativo (LSB) 1 bit, colocando un cero (“0”) lógico en el bit más significativo (MSB). El bit menos significativo es extraído y examinado, si es igual a “1” lógico el registro es “Exclusive OR” con el precargado. Este proceso se repite hasta que se hayan realizado 8 desplazamientos de bit. Después de esto el próximo byte es “Exclusive OR” con el valor actual del registro y el proceso se repite como se describe arriba por 8 desplazamientos de bit adicionales. El contenido final del registro después que todos los bytes del mensaje hallan sido aplicados es el valor del CRC.

6 Formato de los mensajes MODBUS

Las direcciones de los registros en los mensajes MODBUS deben estar referenciadas a cero (0). Por ejemplo:

- Al solicitar a una estación esclava el digital de entrada número 1, este debe direccionarse como 0000 (hexadecimal) en el campo de datos.
- El digital 127 es direccionado como 007E (hexadecimal, esto es 126 en decimal).

- El “Holding Register” 40001 debe ser direccionado como 0000 (hexadecimal). El código de función especifica un “Holding Register” por lo tanto, la referencia 4xxxx ya está implícita.
- El “Holding Register” 40018 debe ser direccionado como 006B (hexadecimal, esto es 107 decimal).

La siguiente tabla muestra la estructura de un mensaje de interrogación (“query”), en MODBUS ASCII y RTU. Los contenidos de los campos en hexadecimal:

Nombre del campo	Ejemplo (Hex)	ASCII	RTU
Encabezado		:	3 ½ car. (silencio)
Dirección Esclavo	06	0 6	0000 0110
Código de Función	03	0 3	0000 0011
Dirección Inicio (Hi)	00	0 0	0000 0000
Dirección Inicio (Low)	6B	6 B	0110 1011
No. Registros (Hi)	00	0 0	0000 0000
No. Registros (Low)	03	0 3	0000 0011
Chequeo error		LRC (2 car.)	CRC (16 Bits)
Cola		CR LF	3 ½ car. (silencio)
Bytes totales		17	8

La próxima tabla muestra la estructura de un mensaje de respuesta (“response”) en MODBUS ASCII y RTU. Los contenidos de los campos en hexadecimal:

Nombre del campo	Ejemplo (Hex)	ASCII	RTU
Encabezado		:	3 ½ car. (silencio)
Dirección Esclavo	06	0 6	0000 0110
Código de Función	03	0 3	0000 0011
No. de Bytes datos	06	0 6	0000 0110
Dato1 (Hi)	02	0 2	0000 0000
Dato1 (Low)	2B	2 B	0010 1011
Dato2 (Hi)	00	0 0	0000 0000
Dato2 (Low)	00	0 0	0000 0000
Dato3(Hi)	00	0 0	0000 0000
Dato3(Low)	63	6 3	0110 0011
Chequeo error		LRC (2 car.)	CRC (16 Bits)
Cola		CR LF	3 ½ car. (silencio)
Bytes totales		23	11

El ejemplo mostrado en las tablas anteriores muestra una pregunta hacia el dispositivo esclavo de dirección 06 solicitando la lectura de los “Holding Registers” 40108 al 40110, cuyos valores pueden observarse en la tabla correspondiente a la respuesta.

7 Códigos de función

La siguiente tabla se observan los códigos de función más utilizados en MODBUS:

Código función	Nombre de la función	Descripción
01	Read Coil Status	Lectura de estados digitales ON / OFF de salidas discretas (0xxxx)
02	Read Input Status	Lectura de estados digitales ON / OFF de entradas discretas (1xxxx)
03	Read Holding Register	Lectura del contenido binario de los registros de dirección tipo 4xxxx.
04	Read Input Registers	Lectura del contenido binario de los registros de entrada de dirección 3xxxx.
05	Force Single Coil	Fuerza el valor de una salida digital ON / OFF.
06	Preset Single Register	Coloca un valor en un "Holding Register" individual.
07	Read Exception Status	Lectura del estado de excepción en el dispositivo remoto.
11	Fetch Comm Event Ctr	Retorna el estado del contador de eventos de comunicaciones del esclavo
12	Fetch Comm Event Log	Retorna estado de las comunicaciones en el dispositivo remoto.
15	Force Multiple Coils	Fuerza el valor de múltiples salidas digitales ON / OFF.
16	Preset Multiple Registers	Coloca un grupo de valores en una secuencia de "Holding Registers"
17	Report Slave ID	Retorna la descripción del esclavo.
20	Read General Reference	Retorna el contenido de los registros de memoria extendida (6xxxx)
21	Write General Reference	Escribe en los registros de memoria extendida (6xxxx).
22	Mask Write 4x Register	Modifica el contenido de un registro específico del tipo 4xxxx a través de una combinación de AND y OR lógicos.
23	Read/Write 4x Register	Escritura y lectura de dos grupos de registros del tipo 4xxxx al mismo tiempo.

Protocolo DNP 3.0 Distributed Network Protocol

El desarrollo del protocolo DNP 3.0 fue un gran esfuerzo para obtener un estándar abierto, que permita la interoperabilidad entre los dispositivos remotos de subestaciones, unidades terminales remotas (RTU), dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs) y estaciones maestras para la industria eléctrica. El protocolo DNP 3.0 ha sido ampliamente utilizado en las industrias petroleras, gas y transporte de agua (acueductos).

DNP 3.0 basado en el estándar de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) del Comité Técnico 57 Grupo 3, quienes trabajan en un protocolo sobre un modelo OSI de 3 capas denominado EPA (Enhanced Performance Architecture) para aplicaciones de telecontrol. DNP 3.0 diseñado para cumplir estrictamente con lo establecido por la recomendación de la IEC con la adición de algunas funcionalidades no identificadas en Europa, pero necesarias en la actualidad y para aplicaciones futuras en Norte América, por ejemplo algunas funciones añadidas de la capa de transporte para soportar transferencias de bloques de 2K en IEDs, radiofrecuencia y soporte para fibra. DNP 3.0 ha sido seleccionado como una práctica recomendada por el grupo de trabajo IEEE C.2.

DNP 3.0 fue desarrollado por HARRIS Distributed Automation Products en Noviembre de 1993, la responsabilidad de definir futuras especificaciones para DNP así como su propiedad intelectual fue cedida al Grupo de Usuarios de DNP (DNP Users Group), un grupo de desarrolladores y vendedores de equipos que utilizan este protocolo. DNP es un protocolo abierto y público. Los 4 documentos principales que definen el núcleo de DNP son los siguientes:

- Descripción de la Capa de Enlace del protocolo.
- Funciones de transporte.
- Descripción de la Capa de Aplicación del protocolo.
- Librería de objetos.

1 Características generales

A continuación se enumeran algunas características del protocolo DNP que brindan una gran versatilidad y amplitud referente a la adquisición de información remota:

- **Reportes sin solicitud:** soporta la transmisión de mensajes no solicitados, permitiendo a los dispositivos remotos reportar cambios a la estación maestra sin esperar por una interrogación.
- **Actualización o lectura remotas de la configuración:** permite la transferencia (“upload” o “download”) de tablas de configuración, algoritmos de control, etc., entre la estación maestra y los dispositivos de campo.
- **Balance en las comunicaciones:** soporta solicitudes y transferencia de datos iniciadas bien por la estación maestra o por los dispositivos de campo (RTU, IEDs).
- **Esquema para evitar colisiones:** detecta posibles colisiones de datos y resuelve conflictos en el enlace de comunicaciones utilizando los principios de CSMA (Carrier Sense Multiple Access).
- **Transferencia de archivos:** soporta múltiple fragmentación de mensajes usando funciones de transporte adicionales para la transferencia de archivos entre la estación maestra y los dispositivos remotos.
- **Comunicaciones Peer-to-Peer:** soporta comunicaciones del tipo Peer-to-Peer entre la estación maestra y los dispositivos remotos.
- **Independencia del grupo de objetos definidos:** transporta cualquier tipo de datos y define o formatea nuevos tipos de datos sin efectuar modificaciones sobre el protocolo. Existen 57 objetos de datos definidos en la actualidad.
- **Independencia del medio de comunicación:** opera en los medios de comunicación: radio, fibra óptica, par telefónico, microondas. Además, la capa de aplicación de DNP puede ser utilizada con otro tipo de capas de enlace tales como redes de paquetes o trunking.

- **Gran seguridad de los datos:** cumple con distancia de Hamming seis (6). Tasa de error de bits (BER) $\leq 10^{-4}$.
- **Múltiples dispositivos:** pueden direccionarse hasta 65000 dispositivos.
- **Múltiples estaciones maestras:** soporta comunicaciones con múltiples estaciones maestras.
- **Sincronización de tiempo:** implementa funciones de sincronización de tiempo (a través de GPS o servidores de tiempo), corrección del retardo de propagación.
- **Secuenciador de eventos (SOE):** sincronización de eventos digitales y analógicos junto con sincronización de tiempo.
- **Polling:** soporta modo polling.
- **Alta eficiencia:** alta eficiencia en el paso de datos a través del canal utilizando el formato de trama FT3.
- **Escalabilidad:** ideal para implementaciones de grandes o pequeñas redes de dispositivos.
- **Direccionamiento de 32 bits:** los datos pueden ser direccionados a través de direccionamiento de 32 bits.
- **Seleccionar-chequear-ejecutar:** utiliza la técnica de chequear antes de ejecutar (Check Before Operate) en la ejecución de controles sobre dispositivos remotos.

2 Descripción de las capas del protocolo DNP 3.0

El protocolo surge del estándar IEC 870-5 y su objetivo es ofrecer la mejor interconectividad entre varios dispositivos (RTUs, IEDs, etc.) en una subestación o a lo largo de un alimentador y hasta los centros de control maestro. Como se mencionó anteriormente el protocolo DNP 3.0 fue diseñado (al igual que la recomendación IEC) sobre un modelo OSI de 3 capas (EPA), a continuación se describe.

2.1 Capa física (Physical Layer)

Es una capa orientada a transmisión serial de bits en modo asincrónico, que soporta 8 bits de datos, 1 bit de arranque, 1 bit de parada y sin bit de paridad; cuyos niveles de voltaje y señales de control coinciden con la interfaz RS-232C. El estándar CCITT V.24 describe el DTE (Equipo Terminal de Datos) que es utilizado para comunicarse con el DCE (Equipo de Comunicación de Datos) que es usualmente un MODEM FSK. Este tipo de circuito de conexión puede ser utilizado para comunicaciones a través de PSN (Redes Públicas Conmutadas) o líneas privadas dedicadas.

Servicios de la capa física

La capa física debe proveer al menos 5 servicios básicos:

- **Enviar (Send):** convierte los bytes de datos en bits seriales para su transmisión entre el DTE y el DCE. Provee las señales de control apropiadas para comunicarse con el DCE (handshaking).
- **Recibir (Receive):** acepta datos provenientes del DCE y provee las señales de control (handshaking) apropiadas para recibir datos y no ruido.
- **Conectar (Connect).**
- **Desconectar (Disconnect):** provee la conexión y desconexión con las redes PSN (si fuera el caso).
- **Estado (Status):** retorna el estado del medio físico de transmisión y como mínimo debe indicar si la línea de transmisión está ocupada o no.

Configuraciones de la línea

Se pueden utilizar dos tipos de topologías: directa y bus serial.

La topología directa presenta dos nodos físicos con cada nodo conectado físicamente al otro. Frecuentemente se conoce como configuración punto a punto. Puede ser un cable

físico de punto a punto, dos nodos de un esquema de radio o red de MODEM o una conexión discada a través de la red pública (PSN).

La topología de bus serial tiene más de dos nodos físicos con cada nodo conectado al mismo canal o línea de comunicaciones en la red. Frecuentemente se conoce como configuración Multi-Drop. En esta configuración hay un nodo que es considerado como el controlador de la red física (estación maestra). Este nodo transmite a múltiples nodos y recibe de múltiples nodos.

Consideraciones generales

El propósito de la interfaz de la capa de enlace a la capa física es permitir que la capa de enlace reciba o envíe un mensaje desde o hacia otra capa de enlace. Para cumplir con esto, la capa de enlace debe ser capaz de controlar el momento en el cual la transmisión de datos ocurre, detectar la presencia de datos en el canal de comunicaciones y efectuar el control de las señales que controlan el canal físico de comunicaciones.

En una conexión de topología directa la estación primaria (estación que inicia las comunicaciones) puede comunicarse solamente con otra estación. Si el circuito es de 4 hilos se pueden utilizar procedimientos Full-Duplex y no existe la probabilidad de colisión de mensajes. Sin embargo, si el circuito es de 2 hilos tendrán que utilizarse procedimientos Half-Duplex, en este caso pueden ocurrir las colisiones de datos en el canal. Una conexión directa discada a la red pública (PSN) es típicamente de 2 hilos, sin embargo, el circuito desde la estación maestra hasta el MODEM es un circuito Full-Duplex de 4 hilos. El MODEM debe utilizar entonces CTS (Clear To Send) para mantener el transmisor apagado después que RTS (Request To Send) sea colocado.

En una topología Multi-Drop la estación maestra puede enviar datos como una estación primaria a muchas estaciones secundarias. En este caso tanto para circuitos de 2 hilos como de 4 hilos existe posibilidad de colisión.

En un circuito de 2 hilos, los mensajes de la estación maestra pueden colisionar con mensajes de cualquier otra estación y los mensajes de una estación esclava pueden colisionar con los de cualquier otra en cualquier momento. En un circuito de 4 hilos los mensajes generados por la estación maestra no colisionan con los mensajes de las estaciones esclavas pero los mensajes de las estaciones esclavas pueden colisionar con los de cualquier otra estación.

Procedimientos Half-Duplex.

Cuando se utilizan procedimientos Half-Duplex en sistemas de 2 hilos existen varios métodos para evitar y recuperarse de una colisión en el circuito de comunicaciones. Mas allá de la capa física utilizada, todas las capas físicas son capaces de retornar una indicación de portadora DCD (Data Carrier Detect) que indicará si hay tráfico o no en el circuito. En un sistema a 2 hilos la indicación aparece cuando la estación maestra o esclava están transmitiendo en el canal. Cuando la indicación aparece una estación esta transmitiendo en el circuito y en ese momento ninguna otra estación puede transmitir. Cuando la indicación desaparece el circuito está libre para ser utilizado por otra estación.

En una configuración punto a punto tanto la estación maestra como la esclava pueden transmitir. En una configuración Multi-Drop tanto la estación maestra como muchas estaciones esclavas pueden transmitir. El protocolo DNP no asigna prioridades pero generalmente se acepta que en sistemas SCADA la estación maestra tenga el control sobre el canal de comunicaciones y entonces pueda transmitir su mensaje. Cualquier estación esclava para evitar colisiones debe esperar un tiempo después de detectar la ausencia de portadora en el canal antes de comenzar el envío de mensajes; si por el contrario el circuito está ocupado la estación debe esperar hasta que se desocupe y efectuar de nuevo el procedimiento. La inserción de un retardo después de la pérdida de la portadora permite a la estación maestra tomar el control del circuito de comunicaciones.

En una configuración punto a punto este retardo debe ser tan largo como sea necesario para que la estación maestra detecte la pérdida de la portadora y comience la transmisión del mensaje (más el retardo de propagación del sistema).

En una configuración Multi-Drop este retardo necesita ser diferente para cada estación esclava. Una posibilidad es configurar cada estación esclava para esperar una cantidad de tiempo incremental asignando así prioridades a las estaciones.

Procedimientos Full- Duplex.

Cuando se utilizan procedimientos Full-Duplex en una conexión directa de 4 hilos no existe la posibilidad de colisiones, porque existen dos canales independientes de transmisión y recepción de mensajes. En este caso tanto la estación maestra como las esclavas pueden transmitir mensajes en cualquier momento. Cuando se utiliza una topología Multi-Drop el problema de evitar las colisiones incrementa su complejidad.

En una configuración Multi-Drop la estación maestra puede transmitir mensajes en cualquier momento sin colisión pero puede no recibir confirmación inmediatamente de la capa de enlace porque alguna estación (actuando como estación primaria) puede tener el control del circuito de recepción de la estación maestra antes que la estación secundaria, o que ocurra una colisión. Los mensajes de las estaciones esclavas pueden colisionar aleatoriamente, debido a que no existe un método para comprobar si alguna otra estación tiene el control del circuito de recepción de la estación maestra. La solución es hacer uso de una línea de control (RTS para el caso RS-232C) para señalar a las estaciones esclavas cuando alguna estación ha tomado el control del circuito de recepción de la estación maestra. Otra opción sencilla es permitir que los mensajes de las estaciones esclavas colisionen.

2.2 Capa de enlace (Data Link Layer)

Esta capa tiene dos propósitos principales. En primer lugar, debe proveer la transferencia de información en forma de LSDU (Link Service Data Unit) a través de la capa física y como lo describe el estándar ISO de OSI, esto significa que los datos de usuario provistos por las capas superiores (LSDU) deben ser convertidos en una trama o LPDU (Link Protocol Data Unit) y enviada a la capa física para su transmisión. A la inversa, LPDUs individuales son ensambladas por la capa de enlace y convertidas en una sola LSDU y pasada a la capa superior. La capa de enlace provee la sincronización de las tramas y el control del enlace. En segundo lugar, en DNP 3.0 la capa de enlace provee indicaciones de otros eventos como el estado del enlace.

Formato de la trama FT3

A continuación se describe el formato de la trama FT3 que corresponde con el LPDU. Una trama FT3 está conformada por un encabezado de longitud fija seguido de un grupo de bloques de datos opcionales. Cada bloque de datos contiene un CRC de 16 bit añadido al final. La figura 1 muestra el formato de esta trama.

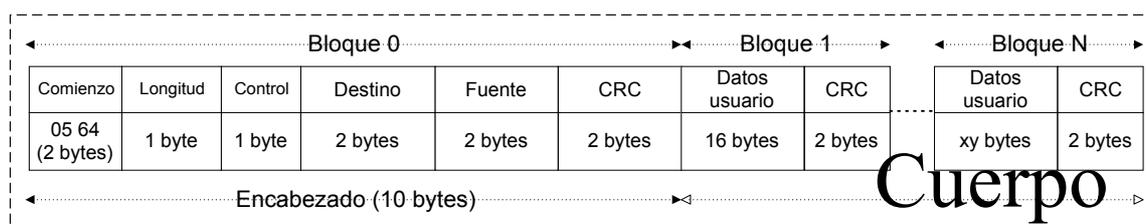


Figura 1 Formato del LPDU (FT3)

Descripción de los campos:

- **Comienzo:** 2 bytes (0564 en hexadecimal), se utilizan para sincronizar el comienzo de una trama.
- **Longitud:** indica la longitud de la trama FT3 excluyendo los campos de CRC, el campo de comienzo y este mismo. El valor mínimo de la longitud es cinco (5) cuando no hay datos de usuario. El valor máximo es de 255.

- **Control:** contiene la dirección de la trama, el tipo de trama e información de control de flujo. La figura 2 muestra la estructura del byte de control.

DIR	1 PRM 0	FCB	FCV	Código de Función (4 bits)
		RES	DFC	

Figura 2 Formato del byte de control

- DIR : indica la dirección de la transmisión física.
 - PRM : indica si la trama es enviada por la estación que inició la comunicación o por la que responde.
 - FCB: bit utilizado para suprimir pérdidas y duplicación de mensajes (Frame Count Bit).
 - RES: reservado (“0” lógico)
 - FCV: habilita la funcionalidad o no del FCB.
 - DFC: previene el “overflow” de memoria en las estaciones que actúan como secundarias.
 - Código de función: identifica el tipo de trama.
- **Destino:** dirección de destino del mensaje (2 bytes)
 - **Fuente:** dirección de la fuente del mensaje (2 bytes)
 - **CRC:** Cyclic Redundancy Check (2 bytes)
 - **Datos del usuario:** cada bloque a continuación del encabezado tiene 16 bytes de datos de usuario, excepto el último bloque que puede contener entre 1 y 16 bytes.

Funciones y responsabilidades de la capa de enlace

La capa de enlace es responsable de las siguientes funciones:

- Realizar reenvío de mensajes (reintentos).
- Sincronizar, manejar y validar el bit FCB del byte de control (figura 2).

- Manejar automáticamente el bit DFC del byte de control basado en la disponibilidad de memoria.
- Manejo de la desconexión en ambientes discados.
- Empaquetamiento de los datos de usuario en los formatos de trama adecuados y enviarlos a la capa física para ser transmitidos.
- Controlar la capa física.
- Realizar los procedimientos para evitar y detectar colisiones, asegurando una transferencia confiable a través de la capa física.
- Responder a todas las tramas válidas recibidas desde la capa física.

Por otro lado la capa de enlace es responsable de los siguientes servicios:

- Intercambiar SDUs (Service Data Units) entre capas de enlace DNP semejantes.
- Realizar la notificación de errores a la capa de enlace del usuario.
- Secuencia de SDUs.
- Prioridades de SDUs.
- Calidad de las SDU enviadas.

2.3 Capa de aplicación (Application Layer)

A continuación se describe brevemente el formato y los servicios de la capa de aplicación DNP 3.0 APDU (Application Protocol Data Unit).

La capa de aplicación de DNP APDU (Application Protocol Data Unit), basada inicialmente en la recomendación IEC 870-5-3 y IEC 870-5-4. Estructuralmente la capa de aplicación PDU (Protocol Data Unit) se ajusta a la descripción IEC del APDU. El usuario envía datos de aplicación de usuario a la capa de aplicación donde son convertidos en múltiples ASDUs (Application Service Data Unit). Cada ASDU es prefijada por un APCI (Application Protocol Control Information) el cual lo empaqueta como un APDU. En DNP, cada APDU es parte de un multi-APDU, referido como un fragmento y existe una

restricción que impone que cada fragmento debe contener objetos de datos completos y el código de función de cada APCI debe ser idéntico en cada fragmento del mismo mensaje multi-APDU, por lo cual no existe fragmentación en la información de los objetos entre APDUs. En el proceso a la inversa, la capa de aplicación recibe múltiples APDU (una a la vez), remueve de cada APDU el APCI para obtener el ASDU y ensambla luego los ASDUs en datos de aplicación de usuario.

Formatos de los mensajes

A continuación se describen los formatos de los mensajes APDU.

Formato de mensajes de requisición (aplicación)

El formato de los mensajes de requisición se ilustra en la figura 3. El APDU consta de un bloque APCI que contiene información de control del mensaje y un ASDU contiene la información para ser procesada por la estación receptora. El APCI se denomina Encabezado de Requisición (Request Header). En DNP el ASDU es opcional y se utiliza sólo cuando el contenido del Encabezado de Requisición no contiene la suficiente información. El encabezado de requisición contiene información que permite ensamblar mensajes con múltiples fragmentos y está presente en todos los APDU de requisición.

Cada ASDU contiene uno (1) o mas Identificadores de Unidades de Datos, DUI (Data Unit Identifiers) o encabezados de objetos y opcionalmente Objetos de Información, IO (Information Objects) o campos de datos.

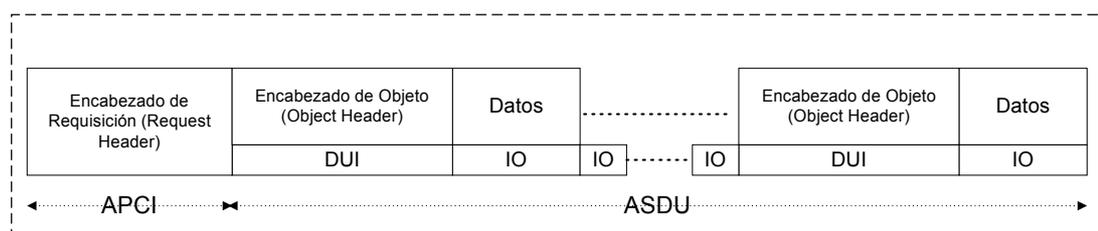


Figura 3 Formato de trama APDU – Requisición

El encabezado de requisición o APCI tiene dos campos, cada uno de un byte de longitud. La figura 4 muestra un esquema.

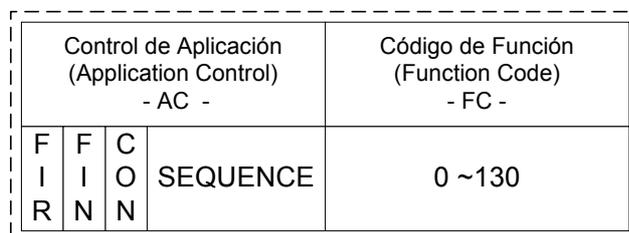


Figura 4 Formato del Encabezado de Requisición

El campo de control de aplicación (AC) provee la información necesaria para construir mensajes de múltiples fragmentos a través de los bits que lo conforman:

- FIR: en “1” lógico indica el primer fragmento del mensaje.
- FIN: en “1” lógico indica el último fragmento del mensaje.
- CON: en “1” lógico indica que la aplicación envía el mensaje de espera de confirmación del receptor.
- SEQUENCE: indica el número del fragmento.

Por otro lado el código de función identifica el propósito del mensaje. Este campo mide 1 byte y existen 2 grupos de códigos de función: uno para requisiciones y otro para respuestas.

Formato de mensajes de respuesta (aplicación)

El formato de respuesta APDU se muestra en la figura 5. El formato es idéntico en forma al de requisición. En este caso el APCI se denomina Encabezado de Respuesta (Response Header), contiene la misma información que el encabezado de requisición más un campo adicional que contiene indicaciones internas de la estación que responde. El ASDU de respuesta tiene el mismo formato que el ASDU de requisición.

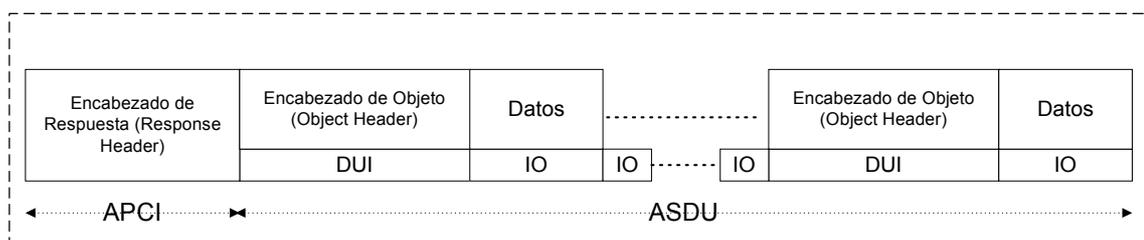


Figura 5 Formato de trama APDU – Respuesta

El encabezado de respuesta o APCI tiene tres campos.

Los campos de Control de Aplicación (AC) y Código de Función (FC) son iguales que el caso anterior. El campo de Indicaciones Internas tiene 2 bytes y contiene información del estado del dispositivo que responde.

Formato del Encabezado de Objeto

El encabezado de objeto especifica los objetos de datos (IO), contenidos en el mensaje o que están siendo usados para responder al mensaje. El formato es igual tanto para la requisición como para la respuesta.

El campo Objeto (Object) especifica el objeto y variación del objeto, tiene 2 bytes: el primero para identificar el objeto propiamente y el segundo para la variación.

El campo Calificativo (Qualifier) indica la interpretación del campo de Rango mostrado a continuación. Este campo tiene 1 byte de longitud.

El campo Rango indica la cantidad de objetos presentes en el mensaje y los índices de inicio y finalización de cada objeto.

3 Objetos DNP

La siguiente tabla muestra los objetos DNP más comúnmente soportados por los dispositivos de campo (RTUs, IEDs, etc.) en la industria eléctrica.

Descripción	Código del Objeto	Variación
BINARY INPUT – Este objeto se utiliza para reportar el estado de puntos digitales.	1	1
BINARY INPUT CHANGE WITHOUT TIME – Reporta cambios en las entradas digitales.	2	2
BINARY INPUT CHANGE WITH TIME – Reporta cambios en las entradas digitales en modo SOE (Secuenciador de Eventos)	2	2
16 BIT BINARY COUNTER – Congela y reporta todos los registros de acumuladores.	20	2
16 BIT FROZEN COUNTER – Reporta todos los registros de acumuladores previamente congelados.	21	2
16 BIT ANALOG INPUT – Reporta el valor de los registros de analógicos.	30	2
TIME AND DATE – Este objeto se utiliza para sincronizar la fecha y hora.	50	1
CLASS 1 DATA – Objeto utilizado para solicitar cambios de analógicos y/o digitales.	60	2
INTERNAL INDICATIONS – Solicita las indicaciones internas de la estación remota.	80	1

ANEXO E

**CABLE TELEFONICO MULTIPAR
TIPO 5232 - G**

DESCRIPCION GENERAL

CONDUCTORES DE COBRE BLANDO AISLADOS CON POLIETILENO DUAL (FOAM SKIN) DE COLOR; PAREADO; FORMACION DE UNIDADES Y SUPERUNIDADES; CABLEADO; RELLENO TIPO ETPR; ENVOLTURA DE POLIESTER; COMPUESTO INUNDANTE; PANTALLA DE ALUMINIO LONGITUDINAL Y CORRUGADA; COMPUESTO INUNDANTE; CUBIERTA EXTERNA DE POLIETILENO NEGRO.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS GENERALES

ENSAYO	UNIDAD	VALOR ESPECIFICADO		
		0,40 mm	0,50 mm	0,63 mm
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA:				
• CONDUCTOR / CONDUCTOR; 3 seg.	Kv d.c;	2,4	3,0	3,6
• CONDUCTOR / PANTALLA; 3 seg.		10,0	10,0	10,0
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO, MINIMA A 20 °C:	Mohm x km	1600	1600	1600
RESISTENCIA MAXIMA DEL CONDUCTOR DC; 20 °C:				
• MAXIMO INDIVIDUAL	Ohm / km	144	94	60
• MAXIMO PROMEDIO	Ohm / km	139,3	91	57
DESEQUILIBRIO DE RESISTENCIA:				
• MAXIMO INDIVIDUAL	%	5	5	5
• MAXIMO PROMEDIO	%	1,5	1,5	1,5
CAPACITANCIA MUTUA	nF / km	50 - 54	50 - 54	50 - 54
DESEQUILIBRIO CAPACITIVO PAR-PAR:				
• MAXIMO INDIVIDUAL	pF / km	145	145	145
• VALOR RCM	pF / km	45	45	45
DESEQUILIBRIO CAPACITIVO PAR-TIERRA:				
• MAXIMO INDIVIDUAL	pF / km	2625	2625	2625
• VALOR RCM	pF / km	574	574	574
ATENUACION PROMEDIO, MAXIMA:				
• A 150 KHz	dB / km	12,1	8,9	6,5
• A 772 KHz	dB / km	23,0	18,4	14,8
ESPECIFICACIONES:		CANTV DE - 150204		