



*Instituto Superior Minero Metalúrgico
Dr. Antonio Núñez Jiménez.
Facultad de Metalurgia y Electro-mecánica.
Departamento de Ingeniería Eléctrica.*

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Eléctrico.

Tema:

“Diseño de una Red Industrial”

Autor: Alexei Vega García.

*Tutores: Ing. Daniel Mendiola Ellis.
Dr. Secundino Marrero Ramírez.*

*Moa
Curso 2006/2007*



DECLARACIÓN DE AUTOR

Yo, Alexei Vega García, autor de este trabajo de diploma, y los tutores Ing. Daniel Mendiola Ellis y Dr. Secundino Marrero Ramírez, declaramos la propiedad intelectual del mismo a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Alexei Vega García
(Diplomante)

Ing. Daniel Mendiola Ellis

Dr. Secundino Marrero Ramírez



Dirá el sabio y aumentará el saber, y el entendido adquirirá consejo.

Salomón.



Agradecimientos

Realmente son muchas las personas a las que debo agradecer profundamente por la realización de este trabajo y por mi formación profesional, tantas que esta simple hoja de papel no sería suficiente para escribir sus nombres, pero entre ellas no puedo dejar de mencionar a:

Mis tutores Ing. Daniel Mendiola Ellis y Dr. Secundino Marrero Ramírez, ayuda sin la cual no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

Mis padres, Arles y Mercedes por su paciencia sin límites, por su dedicación, por su esfuerzo, por su confianza en mí; no solo durante la realización de este trabajo, sino durante toda mi vida.

Mis hermanos Arles y Waldo por su apoyo incondicional, por ser un ejemplo a seguir.

Mi abuela Rubi por su apoyo, su cariño.

Mis abuelos Esmérito, José y Angela, que aunque no cuento con su presencia física, son y serán siempre para mí ejemplo imperecedero de abnegación, sacrificio, voluntad y moral.

Mis tías Dania y Teresa que más que tías han sido como madres en cada momento, ante cada dificultad.

En fin, a mi familia toda por haberme dado la posibilidad de contar con ellos para vencer los obstáculos que se han presentado desde que inició mi formación intelectual.

Agradezco la colaboración del profesor Msc. Oscar Guilarte Peña, también a los trabajadores del taller eléctrico y el departamento de automatización de la fábrica Pedro Soto Alba.

A mis compañeros de aula y mis amigos por haber estado en todos los momentos sin importar lo complejo o sencillo de cada situación.

Agradezco de manera especial la ayuda de alguien que no por aparecer al final de esta página deja de ser muy significativo su apoyo, se trata de Evelin Jiménez.

Doy gracias a todos los que de alguna manera han contribuido o han estado pendientes del desarrollo de este trabajo de diploma.

A todos..... GRACIAS.



Dedicatoria

Dedicatoria

A mis padres, hermanos y toda mi familia.



Resumen.

Actualmente en el ISMM no se cuenta con un sistema automatizado para monitorear el comportamiento de los diferentes parámetros eléctricos de la red de suministro del centro, lo que dificulta en gran medida llevar a cabo un plan eficiente de gestión energética. Los laboratorios de la carrera de ingeniería eléctrica se encuentran aislados, o sea, no existe un sistema que los enlace y permita el monitoreo de los diferentes ejercicios prácticos o prácticas de laboratorio que se realizan. Con el objetivo de mejorar esta situación se proponen variantes de redes de energía y datos con terminales de medición de variables eléctricas, con posibilidades de implementación para el Instituto, el trazado de la red abarca los puestos claves del centro, incluyendo los bancos de transformadores o subestaciones y comunica los laboratorios docentes para el análisis del comportamiento energético. El monitoreo de las variables se realizará de la siguiente manera, si instalarán interfases de comunicación Nport que atenderán a todos los dispositivos con comunicación serial vía RS485 que existen en los laboratorios, se comunicará el Nport vía ETHERNET utilizando la misma red LAN del instituto, se destinará una PC para la instalación de un sistema SCADA para la salva de las mediciones realizadas con vista a su posterior análisis.



Summary

Actually the ISMM do not count with an automatic system to control the behavior of different electric parameter of the net supplies to carry away an efficient energetic action. The laboratories of electric engineering carrier are insulate, there isn't any system to link them, to permit the control of different practical exercises in the laboratory. The exercises should be done with the objective of getting better situation in the electric variable with different energetic and data nets and measurements terminals with the possibilities to improve to the institute to plan the net that includes the fundamentals places of the institute, including the transformer banks of substations and communicate the teaching laboratories to the energetic behavior analysis. To control de variables is done as flow. It will be plant an interface of communication Nport that attend all the devices with serial communication by RS485 that exist in the laboratories, if will be communicate by ETHERNET using the same LAN of the institute. A PC will be designated to install a SCADA system to save the measurement for the next analysis.



Introducción	I
Situación Problémica.....	II
Problema.....	II
Hipótesis.....	II
Objetivo General.....	II
Objetivos.....	II
Tareas a Realizar.....	III
Capítulo I : Marco Teórico	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Gestión energética.....	2
1.3 Sistemas de supervisión y control.....	2
1.4 Sistemas de supervisión.....	3
1.4.1 Nivel de inteligencia I.....	3
1.4.2 Nivel de inteligencia II.....	3
1.4.3 Nivel de inteligencia III.....	4
1.5 Herramientas estructurales de los sistemas de supervisión.....	4
1.6 Sistemas SCADA.....	5
1.6.1 Tendencias actuales en los sistemas SCADA.....	6
1.6.2 Arquitectura de los sistemas SCADA.....	7
1.7 Modbus.....	8
1.8 Descripción de algunos de los principales elementos y dispositivos que componen la red.....	10
1.8.1 PQM. (Power Quality Metering).....	10
1.8.2 U.P.M. (Unidad Portátil de Medición.).....	12
1.9 Comunicación serial vía RS-485.....	13
1.9.1 Ventajas.....	13
1.9.2 Características técnicas	14
1.10 Interfase de comunicación Nport (Network Server Lite).....	14



Capítulo II Bases para el diseño de la red	17
2.1 Introducción.....	17
2.2 Estructuras de referencia.....	18
2.2.1 Sistema de monitoreo en la empresa Moa-Nickel S.A.....	18
2.2.2 Sistema de monitoreo en la empresa Ernesto Che Guevara.....	21
2.3 Concepción proyectiva primaria.....	21
2.3.1 Red Industrial para el ISMM.....	21
Breve descripción de los principales objetos para enlace por la red.....	22
2.3.2 Banco docente.....	22
2.3.3 Banco de residencia.....	23
2.3.4 Laboratorio de Circuitos Eléctricos.....	24
2.3.5 Laboratorio de Mediciones Eléctricas.....	25
2.3.6 Laboratorio de Máquinas Eléctricas.....	25
2.3.7 Laboratorio de Ingeniería Eléctrica.....	26
2.3.8 Laboratorio de Automatización.....	26
2.3.9 Laboratorio de Electrónica.....	26
2.4 Metodología de diseño.....	26
2.5 Trazado de la red.....	27
2.6 Estructura general de la red.....	28
2.7 Conexionado de dispositivos mediante RS485.....	30
2.8 Tiempo de muestreo.....	32
2.9 Criterios de Selección.....	32
2.9.1 Tipo de comunicación.....	32
2.9.2 Interfase de comunicación (dispositivo Nport).....	33
2.9.3 Cables.....	33
2.9.4 Conectores.....	35
2.10 SACADA.....	35
2.11 Ubicaciones óptimas.....	35
2.12 Puntos Centrales.....	36



Capítulo III Propuesta de variantes para el diseño de la red	38
3.1 Introducción.....	38
3.2 Desarrollo.....	39
3.2.1 Variante I.....	39
3.2.1.1 Ventajas.....	40
3.2.1.2 Desventajas.....	41
3.2.2 Variante II.....	43
3.2.2.1 Ventajas.....	44
3.2.2.2 Desventajas.....	44
3.2.3 Variante III.....	46
3.2.3.1 Ventajas.....	46
3.2.3.2 Desventajas.....	47
3.2.4 Variante IV.....	48
3.2.4.1 Ventajas.....	49
3.2.4.2 Desventajas.....	50
3.2.5 Variante escalonada.....	52
3.2.5.1 Medios y equipos existentes.....	53
3.2.5.2 Propuesta.....	53
Capítulo IV Valoración económica	56
4.1 Breve introducción.....	56
4.2 Valoración económica de la red industrial diseñada.....	56
4.3 Valoración técnico económica.....	57
4.4 Mano de obra.....	58
4.5 Política de ahorro de energía.....	59
4.6 Impacto social.....	59
Conclusiones	61
Recomendaciones	62
Anexos	63



Introducción

El desarrollo alcanzado en el campo de la electrónica y las comunicaciones a nivel mundial ha sido de vital importancia para revolucionar casi todas las disciplinas de la ingeniería, especialmente la ingeniería eléctrica, ya que dicho desarrollo ha permitido la modernización, digitalización y creación de dispositivos y sistemas eléctricos que poseen mejores aplicaciones y prestaciones, especialmente en el mundo industrial [9].

Nuestro país, de manera paulatina, ha venido asimilando e implementando tecnologías para la automatización y modernización de los sistemas existentes y la instalación de nuevos equipamientos y tecnologías. La supervisión y control de variables constituye un importante objeto de estudio, los mayores logros que se han alcanzado, en este campo, se han dirigido a distintas ramas de la industria, ejemplo, la industria metalúrgica, química, petrolera, etc., pero últimamente se han realizado proyectos importantes a favor de modernizaciones en aspectos relacionados con la energía eléctrica, ejemplo, en la generación, transmisión, distribución, protección y el monitoreo y control de diferentes dispositivos de uso industrial.

En el Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM) el seguimiento de los parámetros de consumo y eficiencia carecen de soporte suficientemente automatizado para el monitoreo de los distintos parámetros que caracterizan a la red de suministro eléctrico que lo alimenta, por lo que no se tiene información certera sobre el comportamiento de las diferentes variables de dicha red. Es por ello que surge la necesidad de diseñar una "Red Industrial" que haga viable el estudio y toma de decisiones sobre las variables del sistema de suministro del centro, y de apoyo a la gestión del Grupo de Eficiencia Energética (GEEM) en la implementación de un sistema de gestión energética en el instituto, lo que a su vez contribuirá con la mejora de aspectos importantes como el ahorro de energía y su calidad y el aumento de la eficiencia energética.

El uso de esta red sería aplicable a otros aspectos de la vida del ISMM en los que se destacarían aplicaciones importantes desde el punto de vista docente, e incluso el desarrollo de proyectos de medición, seguimiento y observación mediante el uso y desarrollo de sistemas supervisores y otros derivados, prácticas y entrenamiento de laboratorio, procesos y ensayos, correspondientes a asignaturas de la carrera de ingeniería eléctrica, y otras extensiones.



Situación Problemática.

El proceso de datos y la comunicación entre; los laboratorios, locales de medición, los equipos y otras actividades relacionadas a la energía eléctrica, ya sean para proyectos, investigación o docencia, constituyen una necesidad creciente en el quehacer del ISMM y el grupo GEEM, sin embargo no existen condiciones para monitorear, muestrear o dar seguimiento al comportamiento de parámetros y procesos en las áreas directas de las subestaciones y locales.

Problema.

El logro de una proyección viable de una estructura tipo red para la integración interprocesos que favorezcan la realización de trabajos asociados con la energía eléctrica.

Hipótesis.

Si se diseña un proyecto para la medición y control automatizado de todas las variables eléctricas necesarias es posible integrar los procesos que favorezcan el análisis energético.

Objetivo General.

El objetivo de este trabajo de diploma es proponer alternativas de diseño de una Red Industrial para el monitoreo de las principales variables del sistema de suministro eléctrico del ISMM que apoye la gestión energética, y el proceso docente en ingeniería eléctrica.

Objetivos específicos.

- Elaborar el protocolo para la construcción de una red industrial de energía.
- Adecuar el diseño de una red industrial de energía a las necesidades del grupo GEEM.



Tareas a realizar.

- Elaborar un mapa para el montaje de la red.
- Seleccionar componentes, tareas y actividades para el proyecto de la red.
- Establecer la interrelación entre actividades docentes e investigativas basadas en la red industrial.
- Elaborar un criterio de flujo energético e informativo.



Marco Teórico

1.1 Introducción

Es de vital importancia, antes de desarrollar cualquier proyecto, ampliar y profundizar los conocimientos sobre aspectos relacionados con el tema a tratar en el trabajo, así como la actualidad en el mundo de las tecnologías y procedimientos empleados en otros proyectos similares, con el fin de lograr la correcta selección de las normas y tecnologías a utilizar, así como la evaluación de diferentes alternativas para la proyección y ejecución de dicho proyecto.

Las normas ISO describen como formato estructural los llamados modelos de capas para sistemas, ya sean software, control o comunicaciones. La estructuración de las aplicaciones siguen estas normas o recomendaciones y a partir de aquí se destacan importantes momentos, algunos de los cuáles se describen a continuación:



1.2 Gestión energética

La gestión energética es un procedimiento organizado de previsión y control del consumo de energía con el fin de obtener el mayor rendimiento energético posible sin disminuir el nivel de prestaciones, ya que toda reducción del coste energético redundaría en una mejora de la vida económica de la empresa. Al crecer los costes de la energía y a medida que el suministro y el uso de la misma requieren un esfuerzo de planificación a medio plazo, se comprende la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética. Es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas, no sólo a nivel de valores globales, sino de modo particularizado aplicado a los distintos procesos y consumos internos [10]. De aquí es posible predecir los incrementos de energía usada que se producirán al aumentar la actividad, o es posible fijar las medidas de contención del coste a través de un programa inteligente de ahorro. Sin dudas la gestión energética puede considerarse como el mejor de los caminos para lograr los objetivos de conservación de energía, tanto desde el punto de vista local, o sea, del instituto en este caso, como nacional.

1.3 Sistemas de supervisión y control

Los sistemas de supervisión y control de variables eléctricas empleados en la actualidad disponen de muchas posibilidades de acceso, control, procesamiento y tratamiento de los parámetros medidos, en tal sentido estos sistemas poseen dos niveles en su estructura, el nivel primario o de campo; en el cual se agrupan los dispositivos de campo: sensores, entre ellos están transformadores de corriente y de potencial, tacómetros; actuadores, entre los cuales tenemos convertidores de frecuencia, contactores, interruptores; dispositivos digitales de control, protección y procesamiento, entre los que están los relees digitales (SIEMENS, ABB, MULTILIN) [9].

En el nivel superior encontramos a los dispositivos de comunicaciones, donde se encuentran las computadoras con las herramientas de software indispensables para la configuración de la interfase gráfica hombre-máquina que serán utilizadas por el usuario como herramientas de operación.



1.4 Sistemas de supervisión

Los sistemas de supervisión, en dependencia del tipo de dispositivo que se utilice en el nivel de campo y de las posibilidades brindadas por los sistemas SCADA, pueden definirse en diferentes tipos de sistemas o redes de monitoreo, a continuación citamos tres ejemplos:

Redes de solo monitoreo: Cuando la configuración de la interfase gráfica brinda solo las opciones de visualización de los parámetros a medir, no se realizan acciones de control ni protección. Nivel de inteligencia 1

Sistemas de supervisión: Son aquellos donde además de visualizarse los datos, producto de la configuración, se realizan acciones de control sobre los dispositivos actuadores.

Sistemas de supervisión y protección: Estos sistemas asumen las dos opciones anteriores más la de chequear y actuar directamente en los ajustes de los dispositivos de protección eléctrica.

De manera general los sistemas de supervisión se dividen en tres niveles de inteligencia, en los cuales se define en gran medida su alcance y su funcionamiento [9].

1.4.1 Nivel de inteligencia I

Incluye aquellos sistemas que son solo de monitoreo de variables, o sea, que el sistema no escribe en los registros de primarios de medición, sino que solo lee de ellos y a partir de esa lectura se inicia todo el proceso de almacenamiento de datos (base de datos) y tratamiento de dichos datos con el empleo de sistemas SCADA.

1.4.2 Nivel de inteligencia II

En este caso los niveles de supervisión no solo leen, sino que escriben en los registros primarios, esto requiere decir que el operador del sistema eléctrico no solo puede ver los principales parámetros eléctricos, sino que puede actuar sobre dicho sistema en correspondencia con dicha lectura, es decir, que se pueden ejecutar acciones de control, como abrir y cerrar un interruptor, arrancar y pagar un motor, por solo citar dos ejemplos.



1.4.3 Nivel de inteligencia III

Incluye las acciones de los dos niveles anteriores más las acciones de protección de los dispositivos de nivel inferior, es decir, que solo se logren sistemas de este tipo cuando se empleen en el nivel inferior dentro de la arquitectura a dispositivos de protección digital, en el que su función principal es la protección, o sea, el tipo de dispositivo que se emplea en el nivel inferior es el que define si es un nivel de inteligencia III o inferior.

Las aplicaciones anteriormente mencionadas están constituidas por estos tres niveles, que en la actualidad el empleo de una u otra depende de factores económicos, operativos, de mantenimiento, de explotación, etc.

1.5 Herramientas estructurales de los sistemas de supervisión

Las características propias de los sistemas de monitoreo se definen como herramientas estructurales de las redes, estas no son más que las características generales de las redes de supervisión de los sistemas eléctricos, cada una contiene individualmente uno o varios tipos de opciones para el usuario, a continuación se describen algunas de ellas. La naturaleza de las herramientas estructurales es el resultado del diseño inicial que se hace en el desarrollo de la misma [3].

Principales herramientas:

- Visualización de todos los parámetros del sistema, (tablas de mediciones).
- Programación.
- Registros de tendencia de las variables, (históricos).
- Diagramas monolineales en forma de mímicos animados.
- Documentación.
- Reportes automáticos, (históricos).
- Impresión de los reportes.
- Acciones de control manual de los interruptores y reseteo remoto de los relés de protección.
- Listado de equipamiento de la red.

La siguiente figura muestra un diagrama en bloques de las principales prestaciones de los sistemas de supervisión [9].

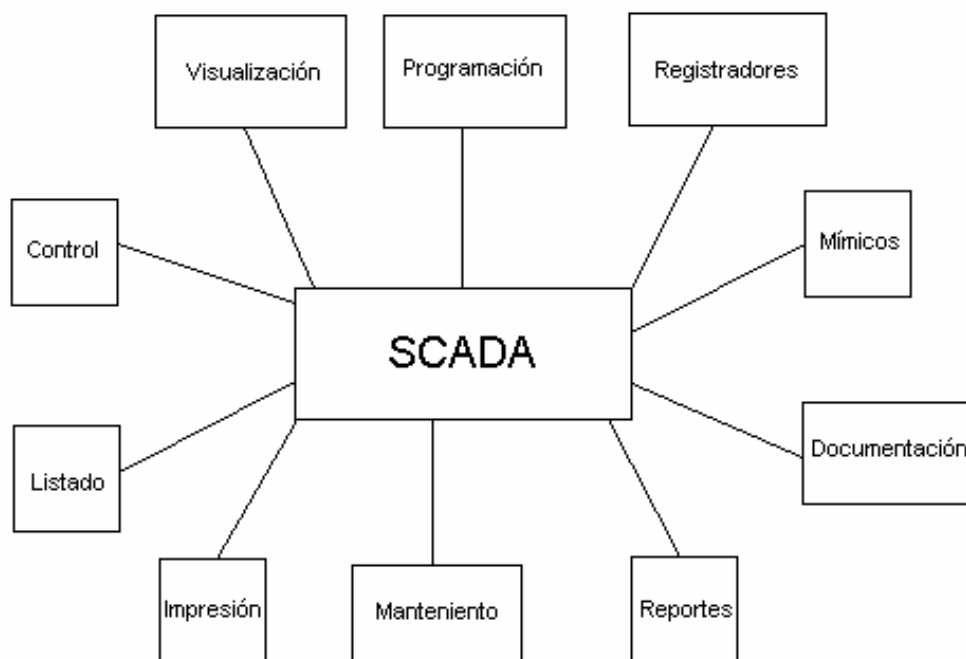


Fig. 1.1 Opciones básicas de las redes de supervisión.

1.6 Sistemas SCADA

Los sistemas SCADA (*Supervisor, Control and Data Adquisition*) son aplicaciones de software especialmente diseñadas para funcionar en ordenadores de proceso, teniendo acceso a lo que ocurre en un sistema mediante mecanismos de comunicación adecuados con controladores de regulación básicos, autómatas programables o Sistemas de Adquisición de Datos [12]. Aunque todos los paquetes de software se inscriben dentro del control de procesos y líneas de producción, pueden presentar orientaciones diversas. En unos casos se trata fundamentalmente de la adquisición y monitorización de datos, también para impresión de informes o para posterior monitorización, y en otros, están orientados al almacenamiento de datos para la gestión y el análisis de producción y también disponen de las funcionalidades para la



adquisición de datos. Los beneficios que conllevan los sistemas SCADA son muchos, pero comienzan con el hecho de utilizar ordenadores personales para interactuar con el operador a través de avanzadas interfaces de usuarios. Con ello se permite aumentar la flexibilidad de funcionamiento y reducir el coste global frente a la opción tradicional de paneles de control con sinópticos del proceso y consolas de operador.

Este tipo de sistema ofrece un amplio abanico de posibilidades de utilización en entornos diferentes. Sin embargo, se puede citar como algunos campos de frecuente utilización, los siguientes:

- *Producción y distribución de energía eléctrica.*
- Redes de tratamiento, distribución, suministro y depuración de aguas.
- Control de oleoductos y gasoductos.
- Control de centrales nucleares.
- Gestión de edificios inteligentes.
- Sistemas de control de tráfico.
- Industria manufacturera.

1.6.1 Tendencias actuales en los sistemas SCADA

La tendencia actual parece orientarse hacia sistemas SCADA con las siguientes características [8]:

- Diseño enfocado hacia un funcionamiento cómodo, claro y sencillo, de modo que sea fácilmente utilizado por los operadores de planta.
- Totalmente configurable por los usuarios.
- Utilización de sistemas operativos multiusuario.
- Arquitectura de los sistemas basados en funcionamiento distribuido en red, lo que permite el reparto de funciones a lo largo de diferentes ordenadores de proceso, así como una mayor disponibilidad, redundancia, fiabilidad, tolerancia a fallos, etc...



- Utilización de sistemas gráficos que permitan el manejo de ventanas en pantalla, gráficos en color, gestión de menús guiados por ratón (en lugar de comandos complicados).
- Posibilidad de ver las tendencias que han seguido determinadas variables, así como la incorporación de funciones de control estadístico del proceso, SPC (Statistical Process Control).
- Facilidades para establecer conexión con aplicaciones avanzadas tales como sistemas expertos para diagnóstico de fallos en instalaciones y supervisión inteligente de procesos, así como con otro tipo de aplicaciones para tratamiento de datos, como son hojas de cálculo o bases de datos.

1.6.2 Arquitectura de los sistemas SCADA

Hay tres elementos principales en un sistema SCADA: La estación principal o maestra del sistema (MTU: Master Terminal Unit), las unidades terminales remotas (RTU: Remote Terminal Unit) y las comunicaciones (Figura 1.2).

De esta forma, los sistemas SCADA consisten en una o más estaciones principales que recogen datos desde múltiples terminales remotas y envían comandos, transfiriendo mensajes codificados digitalmente entre los terminales sobre canales de comunicación serie. El operador ejecuta el control a través de la información que se le muestra en su terminal gráfico o VDU (Video Display Unit). Las órdenes al sistema las genera el operador en la MTU (Master Terminal Unit). La estación principal es la encargada de recoger la información recibida desde las estaciones remotas y mostrarla al operador. Dependiendo de la complejidad de la MTU, dispondrá de programas que permitan modificar el estado del sistema e incluso mantenerlo óptimamente de forma automática. De la misma forma, la sofisticación del elemento remoto podrá permitirle disponer de funciones locales de control. Es importante resaltar la posibilidad de emplear más de un medio para comunicar las estaciones remotas a la MTU. Los sistemas SCADA son capaces de comunicar haciendo uso de una gran variedad de medios tales como fibra óptica, líneas telefónicas de descuelgue o dedicadas, radio u otros [8].

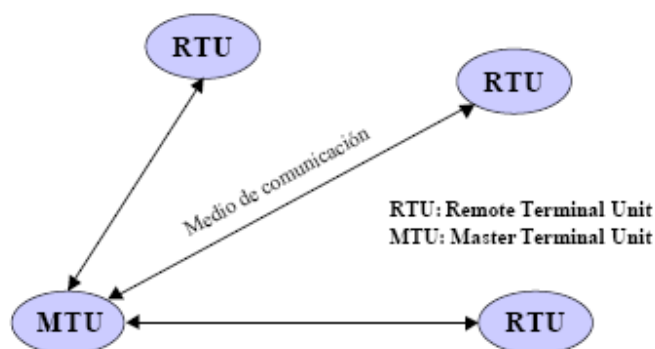


Fig. 1.2 Elementos de un sistema SCADA.

1.7 Modbus

El protocolo de comunicación que se utilizará en nuestra red industrial es Modbus, este protocolo está situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro / esclavo o cliente / servidor, diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs), convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria, siendo el de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales [7].

Las razones por las cuales el uso de Modbus es superior a otros protocolos de comunicaciones son:

- Es público.
- Su implementación es fácil y requiere poco desarrollo.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

Modbus permite el control de una red de dispositivos, ejemplo un sistema de medida de temperatura y humedad, y la comunicación de los resultados a un ordenador. Modbus



también se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie (Modbus RTU) y Ethernet (Modbus /TCP/IP).

Existen dos variantes, con diferentes representaciones numéricas de los datos y detalles del protocolo ligeramente desiguales. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII es una representación legible del protocolo pero menos eficiente. Ambas implementaciones del protocolo son serie. El formato RTU finaliza la trama con una suma de control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el formato ASCII utiliza una suma de control de redundancia longitudinal (LRC). La versión Modbus/TCP es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP.

Modbus Plus (Modbus+ o MB+), es una versión extendida del protocolo que permanece propietaria de Modicon. Dada la naturaleza de la red precisa un coprocesador dedicado para el control de la misma. Con una velocidad de 1 Mbit/s en un par trenzado sus especificaciones son muy semejantes al estándar EIA/RS-485 aunque no guarda compatibilidad con este [12].

Cada dispositivo de la red Modbus posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro. Cada comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la trama pero sólo el destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado "Broadcast"). Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. Los comandos básicos Modbus permiten controlar un dispositivo RTU para modificar el valor de alguno de sus registros o bien solicitar el contenido de dichos registros.

Existe gran cantidad de modems que aceptan el protocolo Modbus. Algunos están específicamente diseñados para funcionar con este protocolo. También se pueden encontrar implementaciones para conexión por cable, wireless, SMS o GPRS. La



mayoría de los problemas presentados hacen referencia a la latencia y a la sincronización.

Todas las implementaciones presentan variaciones respecto al estándar oficial. Algunas de las variaciones más habituales son [12]:

- Tipos de Datos
 - Coma Flotante IEEE.
 - Entero 32 bits.
 - Datos 8 bits.
 - Tipos de datos mixtos.
 - Campos de bits en enteros.
 - Multiplicadores para cambio de datos a/de entero. 10, 100, 1000, 256 ...

- Extensiones del Protocolo
 - Direcciones de esclavo de 16 bits
 - Tamaño de datos de 32 bits (1 dirección = 32 bits de datos devueltos.)

1.8 Descripción de algunos de los principales elementos y dispositivos que componen la red.

La red a diseñar estará compuesta por un grupo de elementos y dispositivos que interconectados formarán todo un sistema de monitoreo y control de variables eléctricas, a continuación se relacionan algunos de ellos y se da una descripción general, lo que permite conocer sus principales características con el fin de garantizar la adecuada explotación de los mismos.

1.8.1 PQM. (Power Quality Metering)

Este dispositivo, perteneciente a la firma MULTILIN; General Electric, es el encargado de recepcionar y procesar todas las señales provenientes de los sensores de corriente, tensión y otras señales analógicas y digitales, estas señales, además, son almacenadas a través de un sistema supervisor o programa SCADA para su visualización, registro y



almacenamiento mediante canales de comunicación digital. En este caso la PQM no solo procesa señales y las transmite de manera simultánea al sistema superior, sino que brinda también la posibilidad de realizar acciones de control y protección lográndose un control remoto de los equipos tecnológicos del sistema eléctrico desde la computadora perteneciente al sistema supervisor [2].

Para la selección de la PQM se deben tener en cuenta de manera simultánea los aspectos técnicos y económicos, es necesario que el dispositivo cuente con los requisitos indispensables para ser utilizado con fines docentes y que cumpla con las expectativas recomendadas para realizar las acciones que se desean, obedeciendo en lo posible las posibilidades económicas reales.

Entre las aplicaciones de la PQM tenemos [2]:

- Medición de alimentadores de distribución, transformadores, generadores, bancos de capacitores y motores.
- Sistemas de media y baja tensión.
- Análisis de calidad de energía.

Principales mediciones que realiza [2]:

- Corriente.
- Tensión.
- Potencia activa.
- Potencia reactiva.
- Potencia aparente.
- Energía.
- Energía reactiva.
- Factor de potencia.
- Frecuencia.
- Demanda de corriente, potencia activa, y potencia reactiva.

1.8.2 U.P.M. (Unidad Portátil de Medición.)

Este dispositivo fue diseñado en el ISMM con el objetivo de realizar mediciones de potencia y energía en redes eléctricas de potencia, el mismo contiene un analizador de red modelo WM2-96 y un convertidor de puerto serie RS232/RS485 de la firma MULTILIN elementos que físicamente como parte principal del hardware nos permiten realizar ediciones de variables eléctricas y establecer la comunicación entre la UPM y la PC.

Este módulo tanto de hardware como de software se diseñó también con el objetivo de realizar mediciones de forma portátil en los laboratorios, monitoreo del consumo en la residencia estudiantil y en el área docente.

La UPM " Unidad de Medición Portátil ", figura, permite evaluar en tiempo real y dinámico el estado de una carga eléctrica determinada, su ventaja de ser portátil permite desplazar los estudios hacia cualquier lugar donde sea necesario realizar las mediciones. Este dispositivo será de gran utilidad para realizar mediciones eléctricas en distintos puntos de la red donde no existen dispositivos de medición que posean comunicación serie.



Fig.1.3 Unidad Portátil de Medición, (UPM).



1.9 Comunicación serial vía RS-485

Este es el tipo de comunicación más usado actualmente debido a su bajo costo y flexibilidad. En su forma más simple consta de dos conductores de cobre, en general de menos de 1 mm de espesor, aislados individualmente y trenzados conjuntamente en forma helicoidal, como en una molécula de ADN. El trenzado reduce la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. (Dos cables paralelos constituyen una antena simple, en tanto que un par trenzado no). Además se obtienen características eléctricas constantes. El núcleo conductor es usualmente de cobre o aluminio, debido a la baja resistencia eléctrica de estos materiales. El cobre es preferido, aunque a veces se emplea el aluminio por su bajo costo. Cada uno de los pares es recubierto por un aislante (polietileno, PVC, papel, etc.) de diferente color [4].

Cuando el propósito es permitir monitoreo, programación y supervisión remota de los instrumentos desde un computador personal, tipo PC, mediante comunicación serie vía RS-485, entonces es necesario tener en cuenta los siguientes requisitos, con vista a tener un sistema completo de control supervisor sobre varios instrumentos:

- Colocar en cada instrumento desde el que se desea reportar, una tarjeta de comunicaciones RS485.
- Instalar un par de cables que recorre la planta conectándose con un máximo de 32 instrumentos y finalmente llega a la oficina o sitio donde estará el PC.
- Uso de un convertidor, aislador RS485 a RS232 para conectar el cable del bus RS485 con el computador vía la puerta serial RS232 del mismo.
- Es necesario también tener en el computador un software que maneje el protocolo de comunicación y presente en forma gráfica los datos solicitados.

1.9.1 Ventajas

Entre las principales ventajas que tiene el uso del bus RS-485 tenemos las siguientes:

- Reducción de costos por cableado al instalar sólo un par de cables.
- Mayor inmunidad al ruido al usar comunicación digital, que es inherentemente más inmune que la analógica.



- Permite un máximo de 32 instrumentos por nodo, que pueden ser instalados progresivamente y a medida que se requieran.
- Software de desarrollo muy sencillo de operar y además económico.

1.9.2 Características técnicas

Aislamiento Galvánico de instrumentos con el bus y del bus al PC estándar de transmisión. RS485, Half duplex (1 par)

Data rate. 300, 600, 1200, 2400 Baud.

Formato. Binario (no ASCII): Start bit, 8 bits, 1 bit, Stop bit

Chequeo de error. Detección de errores mediante algoritmo particular (Xor Helicoidal, detecta 3 bit)

Protocolo. Particular, entregado con los instrumentos.

Longitud máxima. 1200 metros, para distancias mayores recomendamos el uso del amplificador CAR-485, que regenera y amplifica la señal.

Número de instrumentos. 32 máximo.

1.10 Interfase de comunicación Nport (Network Server Lite)

Esta excelente interfase de comunicaciones permite el intercambio de datos entre los dispositivos de campo situados en los terminales de la red y la computadora dedicada situada en un punto aleatorio de la red ETHERNET [1], [11].

Principales características:

- Auto detección de la conectividad con la red LAN ETHERNET a 10/100 Mb.
- Cuatro puertos de comunicación serie RS485 en cada uno de los cuales pueden conectarse hasta 32 RTU.
- Muestra y configuración de la dirección IP.
- Construidos en ETHERNET y protocolo TCP/IP con conexión sencilla a través de conectores RJ45 y DB9. Fácil de instalar y configurar, ahorra tiempo de ingeniería.
- Puede controlar a cualquier dispositivo de campo a través de sus puertos RS422, RS485 desde cualquier punto de la red.
- Permite añadir un puerto serie a una Red de forma inmediata.

- Tamaño compacto.
- Fácil integración con cualquier dispositivo serie.
- Soporta los COMs nativos de Window y de Linux.

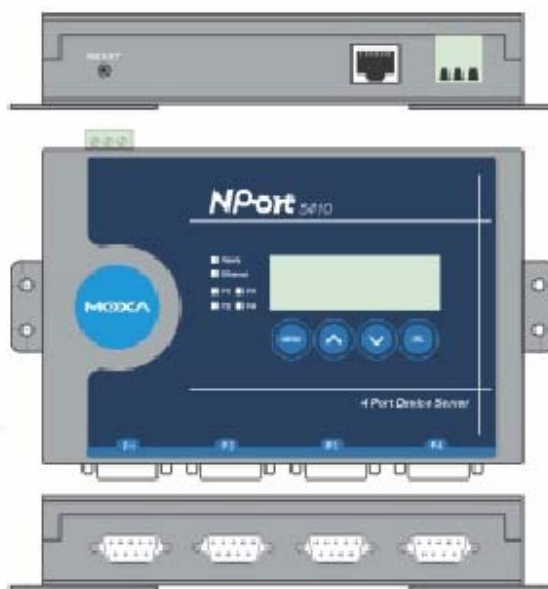


Fig.1.4 Vistas superior, frontal e inferior del Nport.

Como se observa en la figura, posee un puerto para conexión LAN mediante cable UTP, posee cuatro puertos RS232 para conexión de los RTU (Unidad Terminal Remota). La alimentación puede ser desde 9 hasta 30 V de corriente directa.

Uso de una sola dirección IP para controlar múltiples dispositivos seriales por Internet

Para establecer la adquisición de datos remota o automática, la familia 5400 de Servidores NPort se puede conectar hasta 4 dispositivos seriales con una sola dirección IP. Especificando la dirección IP y el número de puerto TCP, un PC puede acceder a diferentes equipos seriales por Internet.

Compartir el servidor agrega flexibilidad permitiendo la administración de equipos seriales desde una ubicación centralizada

Diferentes computadores, servidores (PCs) pueden compartir el mismo servidor NPort 5400 para controlar diferentes dispositivos. Por ejemplo, los puertos 1 y 2 del Servidor



Nport 5410 pueden ser configurados como los puertos COM3 y COM4 del PC A, y los puertos 3 y 4 del mismo Servidor Nport 5410 pueden ser configurados como el COM3 y COM4 del PC B.

Centralizar el control de los dispositivos seriales RS-422/485

Hasta 32 dispositivos RS-485 (de 2 o 4 hilos) o hasta 9 dispositivos RS-422 (4 hilos) pueden ser conectados vía ETHERNET con el puerto Serial del Servidor NPort 5410. Se puede usar la consola Web o los utilitarios Windows del NPort 5000 para configurar cada puerto serial bien a RS-422 o RS-485.

Protocolos

La tarjeta de salida RS485 entrega 2 líneas aisladas galvánicamente, llamadas A y B. En el protocolo RS485, estas líneas funcionan como par diferencial (sin tierra absoluta como el RS232). El 1 lógico se representa por la condición en que el voltaje en la línea A, es mayor que el de la línea B, y al revés para el 0 lógico. Típicamente $A - B = 5$ volts para 1 lógico y $A - B = -5$ volts para 0 lógico. La comunicación RS485 es bidireccional Half duplex, a diferencia del RS422 que usa los mismos niveles de voltaje pero con 2 pares de líneas para comunicación Full duplex.



Bases para el diseño de la red

2.1 Introducción

El ISMM se encuentra inmerso en la implantación de herramientas de gestión energética para lograr disminución de algunos indicadores de consumo, así como para controlar el proceso energético distribuido entre todas las actividades del quehacer cotidiano. Lo anterior requiere de tomar experiencias, destinar recursos y crear a partir de los recursos disponibles herramientas y procedimientos para cada meta u objetivo contribuyente con la gran tarea del ahorro y la gestión de la energía.

Entre los recursos disponibles están la existencia del grupo GEEM, la contribución que pueden hacer todos los factores involucrados con la energía, desde el estudiantado y hasta los cuadros encargados de trazar políticas de estimulación del ahorro, y entre las carencias el que no existe un sistema automatizado para el monitoreo y control permanente de parámetros eléctricos.

El sistema de distribución y suministro del ISMM está formado por dos subestaciones y se cuenta con algunos dispositivos de medición y una política de ahorro. Las mediciones se realizan punto a punto, y luego necesitan procesarse informáticamente a partir de las lecturas realizadas por el dispositivo de medición.

La comunicación para propósitos de supervisión y monitoreo energético prácticamente no existen, ni siquiera en los laboratorios correspondientes a la carrera de ingeniería eléctrica, los que están aislados en el sentido de que no cuentan con conexiones que los enlacen para la comunicación serie de los dispositivos con que se cuenta, y constituyen importantes recursos y estructuras para la formación de estudiantes, profesores y una conciencia de ahorro.

En este capítulo se realiza el análisis de la distribución física y estructural de las áreas generadoras de datos comunicables para una red industrial de energía y las posibilidades de establecer los pasos a seguir para el montaje de una red Industrial que reduzca la incidencia de las dificultades mencionadas.



2.2 Estructuras de referencia

2.2.1 Sistema de monitoreo en la empresa Moa-Nickel S.A.

El sistema de monitoreo instalado en la fábrica Pedro Soto Alba constituye la red de protección, control y suministro eléctrico que se ha desarrollado para la supervisión, control y protección de los principales elementos del sistema eléctrico de la instalación, ella emplea el programa de configuración de sistemas de supervisión CITECT (software SCADA). El sistema accede a una gran variedad de dispositivos MULTILIN, entre otros, para su visualización, control y protección.

Esta red es el resultado del proceso de reestructuración y reconstrucción del sistema eléctrico original y la modernización y sustitución por su similar actual, lo cual ha traído consigo la incorporación de nuevos dispositivos de control, medición y protección digital de alta calidad. El aprovechamiento de las características multifuncionales de estos equipos nos brinda la posibilidad de usar los tres niveles de inteligencia de los dispositivos de campo, los que disponen de:

- La protección de los principales dispositivos del circuito eléctrico.
- Control manual y automático de los principales circuitos.
- La medición de todas las variables del proceso eléctrico.
- La comunicación entre los dispositivos.

Las disponibilidades de los equipos de campo MULTILIN, (líder en la construcción de relees de protección digital), el acceso a ellos desde una computadora por sus puertos de comunicación y la información detallada del mapa de memoria de cada dispositivo fueron algunas de las cuestiones que dieron origen a la implementación de estos tipos de redes en la fábrica.

La comunicación entre las plantas emplea la red local ETHERNET, la cual posee una velocidad de 1Gbps, suficiente para los requerimientos de la red, soportada en conexiones de fibra óptica y que une a un gran número de computadoras en toda la fábrica, esta conexión es usada por la red de monitoreo, (solo usa el soporte físico) para visualizar desde un nodo independiente varios proyectos.



En la red industrial de la fábrica se utilizan las interfases de comunicación Nport, este dispositivo permite la comunicación de los RTU vía RS-485 y con las computadoras vía ETHERNET, o sea, logra convertir de RS-485 a LAN, enlazando a cualquier dispositivo con comunicación serial a la red ETHERNET del la fábrica, lo que favorece de manera muy significativa al funcionamiento del sistema. Esta red da la posibilidad de monitorear el comportamiento de los parámetros correspondientes a cualquier planta o proceso, también permite el control remoto a dispositivos por los usuarios que operen en determinada estación trabajo, solo tendrá el control de dicha estación, esto forma parte del sistema de seguridad industrial, la cual se controla a través del software SCADA con que se esté trabajando.

A continuación se muestra un esquema que representa un pequeño esbozo de la red industrial que se emplea en esta empresa.

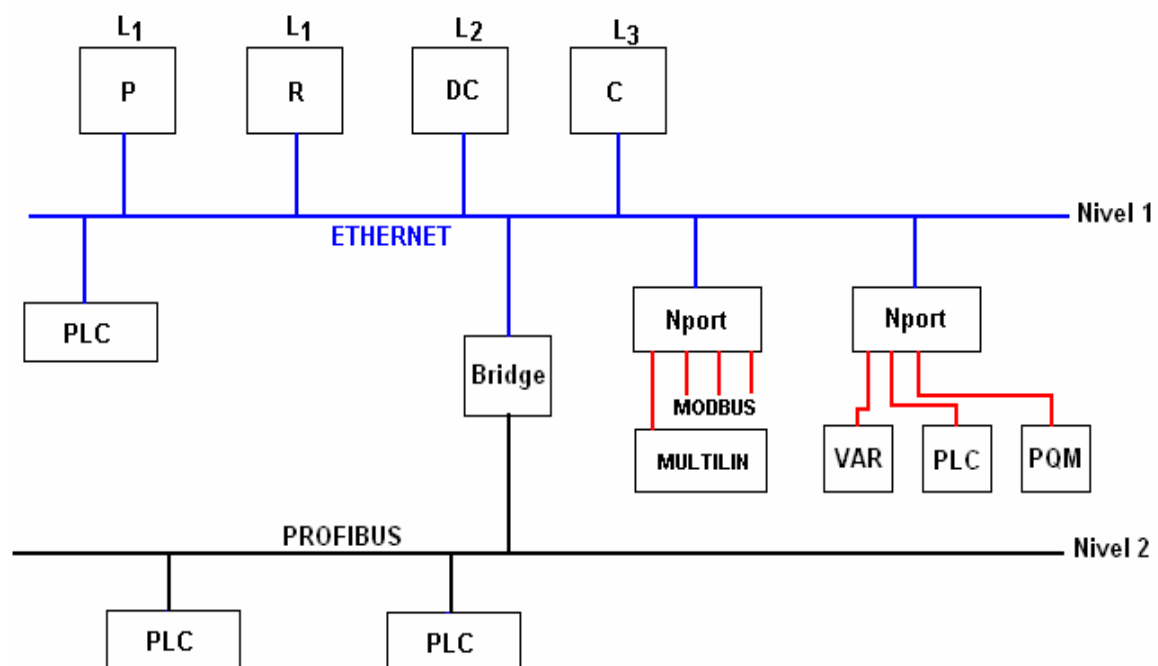


Fig.2.1 Esquema de la red industrial de Moa-Nickel S.A.



Se puede describir el esquema anterior de la siguiente forma:

En el nivel 1 tenemos una computadora que actúa como servidor primario, denotada en la figura como P, un servidor de respaldo (R), un display de cliente (DC) y los clientes (C). El servidor primario puede monitorear todo el sistema y realizar acciones de control sobre los dispositivos, esto se realiza bajo una licencia L_1 , el servidor de respaldo también opera bajo L_1 , pudiendo también realizar acciones de monitoreo y control, pero solo lo realizará bajo instrucciones del servidor primario o por condiciones anormales de operación. El display de cliente, que opera bajo una licencia L_2 , puede desempeñar el monitoreo del sistema, pero para realizar acciones de control sobre los dispositivos es necesaria la autorización de los servidores primario y de respaldo, el control se realizará en la medida que se disponga en los servidores. En el caso de los clientes únicamente realizan acciones de monitoreo, bajo ninguna circunstancia realizan acciones de control sobre los dispositivos. Todos los clientes en conjunto con los servidores se conectan a través de la red ETHERNET de la empresa, también existen variantes la conexión vía Internet.

De esta manera quedan organizados jerárquicamente los distintos niveles de acceso que disponen los usuarios o clientes que interactúan con la red.

En este nivel es donde se encuentran dispositivos, como los Sport, con los respectivos elementos que enlazan con la red usando el protocolo Modbus. También se cuenta con algunos PLCs (Controladores Lógicos Programables), los cuales poseen puerto para conexión directa vía ETHERNET, tienen su propio número IP para ser identificados en la red.

En el nivel 2 se cuenta con una red PROFIBUS, la cual enlaza a diferentes dispositivos como PLCs y también a los dispositivos de campo, esta red se enlaza con la red ETHERNET de la fábrica través de un Bridge (puente), permitiendo que se pueda monitorear la red PROFIBUS utilizando los servicios de los servidores primarios y de respaldo.



2.2.2 Sistema de monitoreo en la empresa Ernesto Che Guevara

En la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, al igual que en la Moa-Nickel, se cuenta con la instalación de un complejo sistema de monitoreo y control que enlaza a los diferentes dispositivos situados en las diversas plantas de la industria, dada la gran magnitud de la instalación queda conformada una majestuosa red industrial que demanda toda una serie de tecnologías digitales capaces de monitorear y controlar casi todo el proceso industrial. Para el almacenamiento y procesamiento de las mediciones realizadas se emplea el CITECT como sistema SCADA, lo que brinda una amplia gama de opciones y prestaciones, destacándose un sistema de seguridad industrial, el cual establece niveles de jerarquía a la hora de otorgar o no acceso al usuario para el control de procesos. La red enlaza un gran número de dispositivos, generalmente de la firma MULTILIN, este enlace se realiza mediante buses RS485, para luego, a través de interfaces de comunicación transmitir las señales vía ETHERNET, posibilitando el monitoreo desde un gran número de computadores en toda la fábrica, inclusive es posible la supervisión a través de Internet, solo que esto trae consigo algunas restricciones de velocidad.

En fin, la red de monitoreo y control de Che Guevara opera bajo el mismo principio de funcionamiento que la de Moa-Nickel.

2.3 Concepción proyectiva primaria

2.3.1 Red Industrial para el ISMM

Tomando como punto de partida las experiencias adquiridas durante el estudio de la red industrial de Moa-Nickel y Che Guevara y adaptando las ideas a las condiciones y necesidades del instituto se inicia la propuesta de diseño de una red industrial que abarca puntos claves del centro, como son: banco de transformadores que alimenta al docente, el banco de transformadores de residencia, el laboratorio de Automatización o sala rosada, el laboratorio de Máquinas Eléctricas, el laboratorio de Electrónica, el laboratorio de Mediciones Eléctricas, laboratorio de Circuitos Eléctricos y el laboratorio de Ingeniería Eléctrica. A continuación se ofrece alguna información sobre cada uno de los objetivos a enlazar con la red.

2.3.2 Banco docente

Está compuesto por dos transformadores monofásicos, uno de 75 kVA y otro de 50 kVA, con una conexión estrella abierta con punto neutro a tierra en el primario y una delta abierta en el secundario. Posee una tensión de alimentación de 13,2 kV como tensión de línea, en el secundario entrega 0,24 kV. Este banco abastece a todos los edificios docentes, es decir, el edificio de Metalurgia-Electromecánica, Minas-Geología, casa de compresores, planta de beneficio, taller de mecánica y la biblioteca [9].

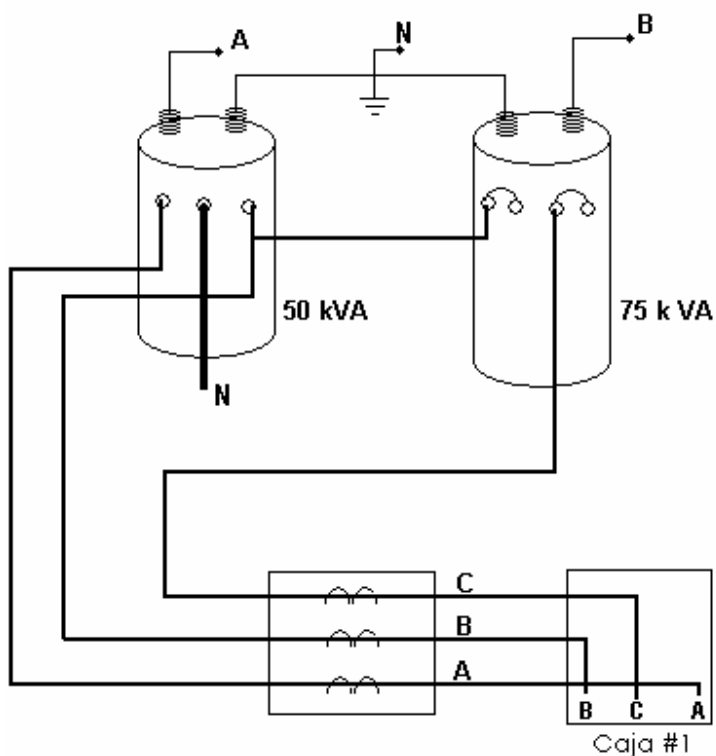


Fig.2.2 Esquema físico del bloque de alimentación del bloque docente.

A continuación se relacionan las principales variables a medir en este banco.

- 1- Corriente por fase. (A, B y C) (A)
- 2- Corriente total. (A)
- 3- Potencia aparente total. (kVA)
- 4- Potencia activa total. (kW)
- 5- Potencia reactiva total. (kVAr)



- 6- Factor de potencia total. (PF)
- 7- Carga trifásica. (kW)
- 8- Consumo de energía activa. (Wh)
- 9- Energía, costo por día. ()
- 10- Consumo de energía durante 24 horas. (Wh)
- 11- Demanda de potencia activa y reactiva. (W, Var)
- 12- Frecuencia de la red. (Hz)
- 13- Armónicos y factor de cresta. (THD)

El dispositivo de medición instalado en este banco es un PQM, la velocidad de comunicación puede ser de los siguientes estándares:

1200, 2400, 4800, 9600, 19200 baud.

2.3.3 Banco de residencia

Está compuesto por tres transformadores monofásicos, dos de 50 kVA y uno de 75 kVA, este banco se alimenta con una línea primaria de 13,2 kV y entrega por el secundario 0,24 kV. La subestación banco abastece los edificios 1,2,3 y 4 de la residencia estudiantil, además de los edificios de postgrado, cocina comedor, economía, estación de bombeo, áreas deportivas y alumbrados exteriores. En este banco se pretende analizar los mismos parámetros que en el banco docente.

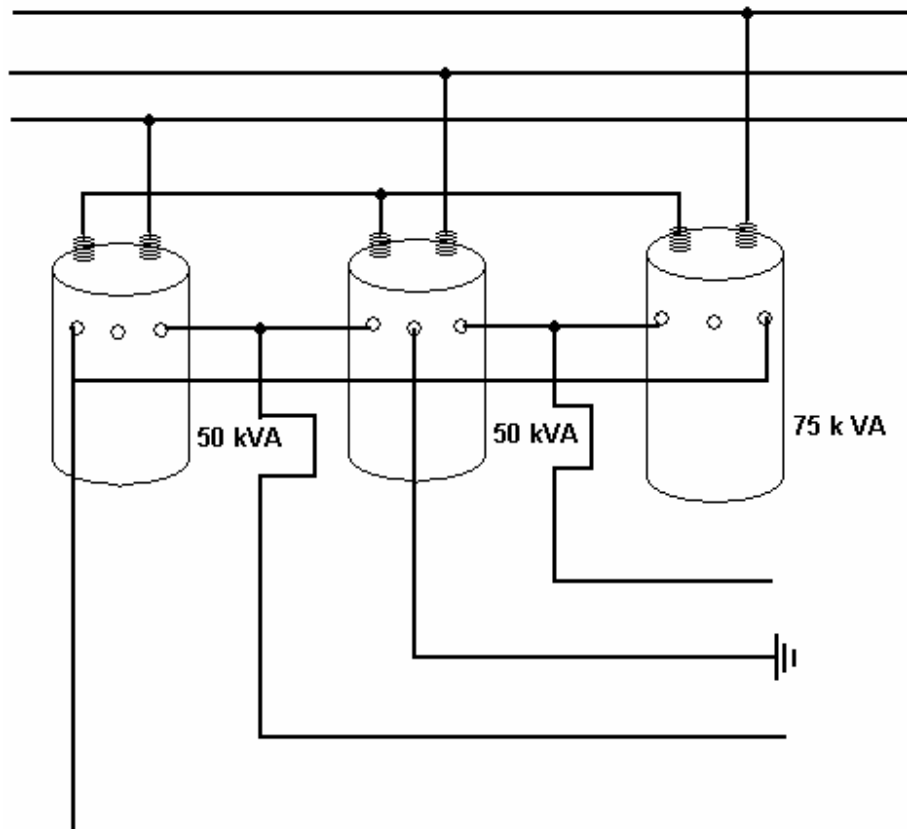


Fig.2.3 Esquema físico del bloque de alimentación de residencia.

La UPM, que será el dispositivo a instalar eventualmente en este banco posee una velocidad máxima de comunicación de 9600 baud, puede hacerlo también a velocidades de 1200, 2400 y 4800 baud.

2.3.4 Laboratorio de Circuitos Eléctricos

En este local actualmente no existen dispositivos de comunicación serie que se puedan enlazar con la red, pero próximamente se procederá a la instalación de nuevos equipamientos que podrán ser monitoreados a distancia. Además se puede manejar la posibilidad de realizar algunas mediciones utilizando la UPM, que si permite el acceso remoto.



2.3.5 Laboratorio de Mediciones Eléctricas

En el laboratorio de mediciones eléctricas se cuenta con un conjunto de equipos que poseen comunicación por puerto serie, a continuación se mencionan algunos de ellos.

2 CIRCUTORES, de procedencia española, que poseen tarjeta para medir señales de potencia, las principales magnitudes que se miden son:

- Potencia (W).
- Corriente (A).
- Tensión (V).
- Velocidad de rotación de un motor, (rpm).
- Temperatura (°C).

(Estas magnitudes que se relacionaron son las que se emplean en el laboratorio, pero en realidad estos dispositivos pueden monitorear hasta 52 parámetros).

Las velocidades de comunicación para las que está diseñado son los siguientes estándares:

1200, 2400, 4800, 9600 y 19200 baud.

3 variadores de velocidad modelo YASKAWA GPD 515/G5, de la firma ELECTRONIC, de procedencia japonesa

1 PLC SIMATIC SU 95 de la firma SIEMENS, de procedencia alemana, posee puertos para comunicación serie vía RS232 y RS485.

2.3.6 Laboratorio de Máquinas Eléctricas

En este local se cuenta con un analizador programable de redes, de tecnología canadiense, NORTHW, DATA LOGRES,

Principales variables a monitorear:

- Velocidad
- Tensión
- Corriente
- Temperatura
- Potencias.



- Factor de potencia.

Velocidad de comunicación: 1200, 2400, 4800, 9600 y 19200 baud.

2.3.7 Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

Se cuenta con dos relees digitales, MULTILIN, de la General Electric.

1- MMII, para motores de baja potencia.

1- SR-469 para motores de media potencia.

Las velocidades de comunicación están entre los estándares siguientes:

1200, 2400, 4800, 9600, 19600, y 57600 baud.

2.3.8 Laboratorio de Automatización

El laboratorio de automatización, conocido también como sala rosada, actualmente no cuenta con condiciones técnicas para realizar las prácticas correspondientes al programa docente, pero teniendo en cuenta la importancia que posee para la formación profesional de los estudiantes de ingeniería eléctrica se propone como un nodo más de la red, puesto que para la futura restauración del laboratorio se contará entonces con una red que lo enlace con el sistema de monitoreo del centro.

2.3.9 Laboratorio de Electrónica

En este laboratorio la práctica fundamental que se realiza, con la utilización de dispositivos con comunicación serie, es el control de velocidad de motores mediante el uso de un variador que se encuentra situado en dicho local.

2.4 Metodología de diseño

Para proyectar una red Industrial es preciso tener en cuenta una serie de aspectos que son indispensables para el diseño. Una vez analizados los problemas que dan origen al proyecto, las condiciones para la ejecución del mismo y la determinación de los puntos a enlazar con la misma se procede a realizar los siguientes pasos [8], [6].



Capítulo II Bases para el diseño de la red

- Estudio detallado de las posibles rutas a seguir para el trazado de la red, obedeciendo a criterios técnicos - económicos y a los objetivos para los que se propone el diseño.

- Estructuración de la red, (disposición y conexión de los dispositivos).
- Correcta selección de los dispositivos y elementos que conformarán a la red, adaptarse a los requerimientos y necesidades reales, así como a las condiciones existentes para la posible implementación del proyecto.
- Análisis comparativo de diferentes propuestas de arquitectura para el diseño de la red.
- Selección adecuada de la variante más factible.
- Valoración del costo de ejecución de la propuesta escogida.

2.5 Trazado de la red

Para el diseño de la red industrial que se propone en este trabajo, se realizó un análisis de las principales vías o rutas a seguir para el trazado de las líneas que enlazan a los laboratorios y los bancos de transformadores, para ello se tuvieron en cuenta esencialmente dos aspectos, uno, la protección de las líneas contra daños físicos ocasionados por causas ajenas al sistema, ya sea por maniobras que se realicen cerca de ellas que puedan dañarla accidentalmente o por cualquier otra razón imprevista; dos, la reducción en lo posible de las distancias a recorrer por las líneas con el fin de disminuir el costo del proyecto. Tras el análisis simultáneo de estos dos puntos se decidió que:

Para el caso de los laboratorios, se propone el trazado de las líneas por debajo del edificio, protegidas por tubos de condulley que irían fijados a lo que sería el techo del sótano del edificio, por decirlo de alguna manera, para ello se requiere perforar el piso para el paso de los cables hasta los distintos locales.

Para el caso del banco de transformadores del docente se precisa la instalación de un cable UTP hasta el departamento de eléctrica, este cable estará protegido por un tubo de condullex desde el mismo local donde se encuentra el dispositivo de medición y el Nport hasta el propio local previsto para la conexión con la red LAN del centro.



En el caso del banco de transformadores de residencia se precisa la instalación de un cable UTP desde el local donde se encuentran situados los interruptores de la subestación, que será donde se instalará el dispositivo de medición con la interfase de comunicación Nport, hasta la oficina de planificación energética, que será donde se realizará el enlace con la red LAN del instituto, utilizando el puerto disponible que existe en dicho local.

2.6 Estructura general de la red

Para la comunicación de los dispositivos se empleará el protocolo de comunicación Modbus RTU, para la porción de la red que está compuesta por RS485, para el caso de ETHERNET se empleará el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP, se instalarán interfases de comunicación Nport DE334, este dispositivo se conectará a la red ETHERNET del instituto, enlazando a las unidades que estarán en los terminales de medición, o sea, los puntos donde se encuentran los dispositivos encargados de realizar las mediciones pertinentes o la ejecución de las acciones de control deseadas. El modo de operación del Nport es Real Com Mode. La conexión de las diferentes RTUs (Unidad Terminal Remota) se realizará como muestra la figura 2.4.

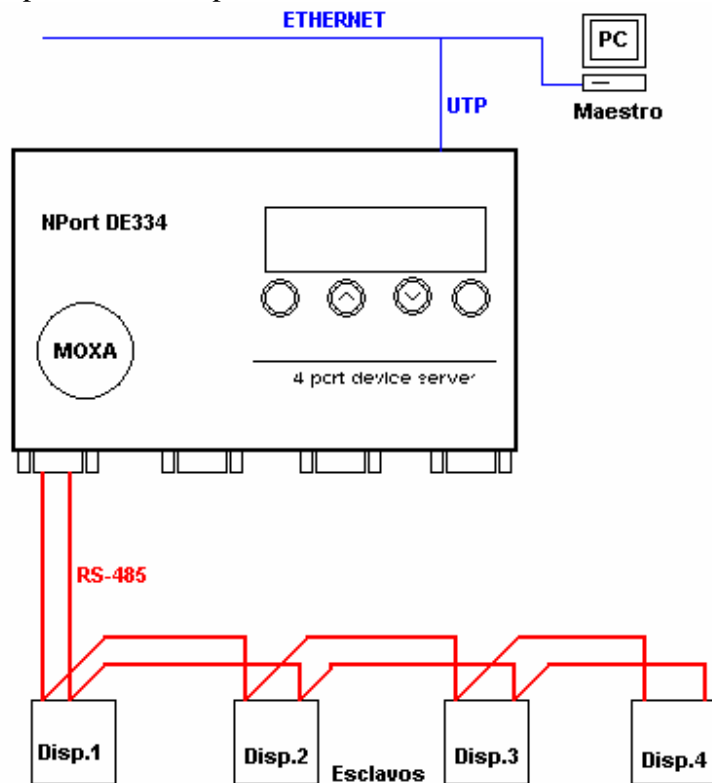


Fig.2.4 Conexión de dispositivos a través de un Nport.

En este caso se ilustra la conexión de varios dispositivos a un mismo puerto del Nport, se conecta un elemento a continuación del otro, quedando todos en paralelo. Para la comunicación se tomarán como esclavos todos los dispositivos, que responderán, por decirlo de alguna manera, a las órdenes del maestro, que en este caso sería la computadora dedicada.

A cada dispositivo se le asigna una dirección para ser seleccionado por el maestro a la hora de realizar una lectura o ejecutar cualquier acción, esta dirección se le asigna directamente desde el propio dispositivo, desde su propio menú, las direcciones serán desde 0 hasta 31, sumando un total de 32 por cada puerto, el objetivo de que cada dispositivo tenga una dirección única es que cuando el maestro envía un comando u orden determinada todos los dispositivos reciben dicha orden, pero solo es ejecutada por el dispositivo al cual pertenece la dirección contenida en el comando. A cada Nport de se le asignará una dirección o número IP para ser identificado a través de la red ETHERNET.



Analizando la variante más sencilla de las que se proponen en el siguiente capítulo, en la cual se plantea la instalación de un Nport para atender a todos los laboratorios unidos al banco docente y otro Nport para el banco de residencia se determina que:

Si son 6 locales:

Circuitos

Mediciones

Electrónica

Máquinas

Automatización

Ing. Eléctrica

El Nport puede atender hasta 128 dispositivos; 32 por cada puerto, por lo que se podrían conectar un total de 21 por cada local, quedando dos capacidades libres, se dedicará una para la comunicación de la PQM del situada en el banco docente, la otra capacidad podría ser incorporada a cualquiera de los locales en caso de que fuese necesario.

2.7 Conexión de dispositivos mediante RS485

Para la comunicación de diferentes dispositivos vía RS485 es necesario tener en cuenta una serie de aspectos que influyen sobre el funcionamiento del sistema, por ejemplo, como se observa en la figura 2.5, es necesario aterrizar sólidamente la malla que le da blindaje al cable en un solo dispositivo, en el caso que nos ocupa se hará en el Nport, en los demás dispositivos de la red se aterrizará también, pero solo al chasis del equipo, no a tierra firme, o sea, se está hablando de una tierra flotante en resto de los elementos que conforman la red, esto asegura que la resistencia a tierra sea la misma en todo el sistema y que no surja ninguna diferencia de potencial en el blindaje, ya que ello puede traer afectaciones a la señal que se transmite, solo se conectará a tierra firme en más de un punto si se tienen terminales para la conexión a tierra pertenecientes a una misma malla, o sea que sean puntos equipotenciales, pero generalmente se aterriza firmemente en un solo punto. [5]

Es muy usual encontrar en las redes de RS485 un condensador de 1 nF en serie con una resistencia 120 Ω que se conectan en paralelo con los terminales de recepción y transmisión del primer dispositivo, (el Nport en este caso) y el último RTU conectado a la red, o sea el más lejano, puede o no conectarse también la resistencia y el condensador en los restantes dispositivos, estos elementos se conectan a los terminales con el fin de evitar reflejos de las señales que viajan por los buses, ya que de no evitarse este fenómeno se pueden introducir errores en los comandos utilizados por el protocolo de comunicación.

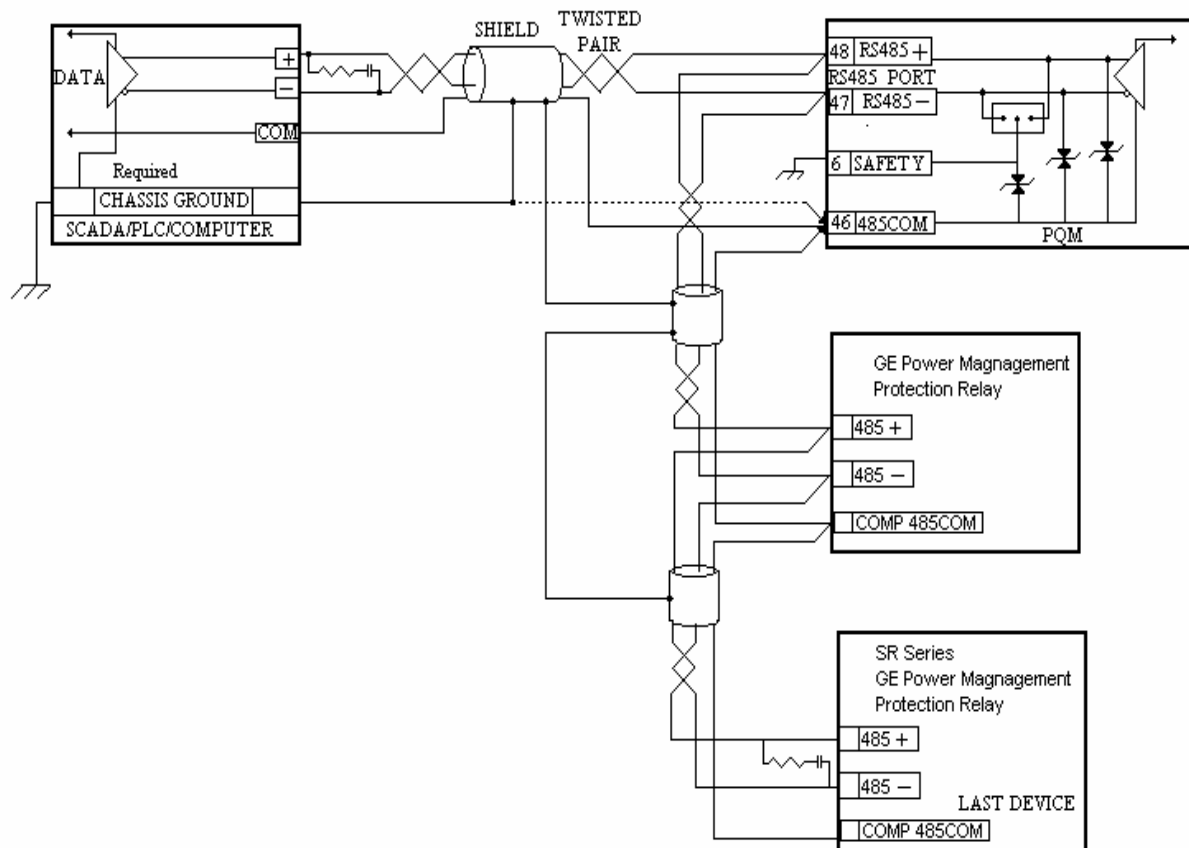


Fig.2.5 Conexión de los buses RS485



2.8 Tiempo de muestreo

Las velocidades de transmisión de la mayoría de los dispositivos existentes en los laboratorios y compatibles con las tareas de monitoreo, supervisión y control existentes en el ISMM o adquiribles por una parte y el desarrollo de procesos suministradores de variables a procesar por la otra, nos permiten estimar que la red debe soportar velocidades de transmisión de hasta 31 Kb/s por normas, y con hasta 32 dispositivos simultáneamente en la red, así como transferencias, aunque esto es ampliable.

Luego, utilizando el teorema del muestreo, podemos llegar a la necesidad de 3 Megamuestras por intervalo de medición, lo que ubica la escala de tiempo de muestreo en microsegundos para la red y milisegundos para cada punto de medición, lo que además es viable con el soporte tecnológico disponible.

2.9 Criterios de Selección

2.9.1 Tipo de comunicación

Considerando que los dispositivos utilizados en los entornos automatizados, PLCs, sensores, actuadores, etc., implementan estándares de comunicación que dependen de los fabricantes de los mismos, y no de los requerimientos de los sistemas de integración, podemos hacer los siguientes planteamientos.

- Dentro de los entornos industriales normalmente encontramos todos los estándares de comunicación antes mencionados, pues la mayoría de los fabricantes, por ejemplo de autómatas, incorporan un puerto serie para programación e intercambio de datos con el dispositivo. El más utilizado, especialmente por los autómatas, es el estándar RS-232.
- Como la mayoría de drivers, para dispositivos de campo, están desarrollados para intercambiar los datos por el puerto de programación, nos encontramos que la distancia máxima del cable de comunicación, entre éstos y el sistema de integración, estará limitada por las especificaciones del estándar que se utilice en dicho puerto (15 metros para RS-232). Si esta distancia es superada se deben utilizar elementos que permitan ampliarla, por ejemplo convertidores de RS-232 a RS-485.



- Cuando se necesita interconectar dos o más dispositivos de campo, cubriendo distancias de hasta 1200 metros, el estándar más utilizado es el RS-485 por sus buenas características de, inmunidad al ruido, número de nodos que acepta, capacidad multimaestro y por que el medio de transmisión que utiliza - un par de cables de cobre trenzados - es de bajo coste. Este estándar es el que más se adapta a los requerimientos de los sistemas de integración de dispositivos de campo.

2.9.2 Interfase de comunicación (dispositivo Nport)

Para la selección del Nport se tuvo en cuenta que este dispositivo posee una amplia gama de servicios y prestaciones, además de sus excelentes cualidades técnicas para la comunicación. De no contar con el Nport, otra variante sería instalar pares trenzados RS485 desde cada dispositivo hasta la computadora dedicada e instalar un conversor RS485-RS232 en cada PC, analizando que cada computadora posee como máximo 2 puertos serie RS232 y que pueden conectarse un total de cuatro dispositivos por cada una, si se conecta una tarjeta de expansión, este número es muy inferior a la cantidad de RTU a enlazar con la red, por tanto sería necesario tener varias computadoras para poder llevar a acabo todo el monitoreo, se precisa tener softwares para la adquisición de los datos, la comunicación por esta vía es más lenta que a través del Nport. Si analizamos el aspecto económico, la compra de los conversores RS485-RS232, la dedicación de mayor número de computadoras y la utilización de mayores longitudes de cables RS485 encarecen mucho más el proyecto, por tanto se puede concluir que es más factible el uso de las tarjetas Nport tanto técnica como económicamente.

2.9.3 Cables

Los cables para la comunicación son uno de los principales elementos del sistema, es por ello que se precisa detenerse y analizar un grupo puntos importantes para lograr una correcta selección, asegurando en todo momento que cumplan con las normas técnicas para el funcionamiento del sistema.

RS485

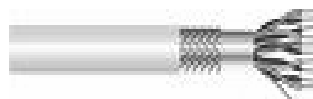


Fig.2.6

Las líneas de par trenzado recorrerán diferentes lugares del centro, entre ellos están los locales donde se sitúan los interruptores de fuerza para el caso de las subestaciones, lo que implica que estarán muy cercanos a cables eléctricos con determinada potencia, lo que puede traer inducciones en los buses de comunicación distorsiones en las señales que se transmiten a través de ellos, teniendo en cuenta que no se puede alterar el trazado de las líneas, pues es necesario que lleguen hasta estos locales se impone la necesidad de emplear cables apantallados, o sea, cubiertos con una malla metálica a todo lo largo de los dos conductores centrales, esto impide las inducciones en los buses, evitándose así las interferencias electromagnéticas. Se sugiere uso de par trenzado de la familia AWG, blindado, protegido externamente por una cubierta de PVC.

UTP (Unshielded Twisted Pair, par trenzado no apantallado)



Fig.2.7

Este cable no presenta protección frente a interferencias electromagnéticas, (no presenta malla metálica), pero dada la propia estructura que posee, (8 conductores trenzados en pareja), no presenta dificultades para su uso en instalaciones de este tipo, por lo que se recomienda su uso. La propuesta para esta instalación es el cable de categoría 5, que se usa esencialmente para redes ETHERNET de 100 Mbit/s. Este estándar es el mismo que se emplea la red LAN del instituto, lo que facilita su utilización para la red industrial.



2.9.4 Conectores

Conector RJ45



Fig.2.8

La selección de los conectores para los cables UTP se realizó considerando principalmente la categoría del cable seleccionado y los puertos disponibles en el centro, por lo que se eligió el conector RJ45.

Para el caso de los conectores de los buses RS485 no se realizó ninguna selección puesto que estos están incluidos en el módulo de cada dispositivo con comunicación serial de ese tipo.(Anexo 4).

2.10 SACADA

En el instituto se está trabajando actualmente en la programación de un sistema SCADA, este software no será utilizado con fines comerciales, sino que se destinará esencialmente al monitoreo de la red de suministro eléctrico del centro. Este sistema de adquisición de datos será completamente compatible con la Red Industrial que se propone diseñar en este trabajo, no obstante se menciona a continuación algunos de los más utilizados en la actualidad y que se encuentran disponibles en el mercado, ejemplo:

- CITECT.
- ENERVISTA.
- EROS.

2.11 Ubicaciones óptimas

Un aspecto importante a la hora de concebir el diseño de la red es, dentro de las posibilidades, darle una ubicación adecuada a cada uno de los dispositivos que conforman el sistema, ya que ello determina en gran medida la posibilidad de futuras



transformaciones o expansiones, además de relacionarse con una serie de factores que pueden causar trastornos en el funcionamiento de la red.

- Se requiere de la colocación de los dispositivos en lugares donde se pueda garantizar su seguridad, o sea, donde no se permita el acceso de personas ajenas que puedan provocar cambios en la configuración de los equipos o daños en los mismos.
- LA ubicación debe obedecer a la cuestiones técnicas esenciales para la comunicación, ejemplo, la distancia no debe exceder el máximo permitido por los estándares.
- El trazado de las líneas para la transmisión de datos preferentemente debe recorrer lugares de difícil acceso a las personas, con el fin de disminuir el riesgo de fallas por apertura de conductores o desconexión por accidentes.
- Buscar las rutas de instalación más económicas manteniendo inalterables las cualidades técnicas de la red.
- Disposición del equipamiento lo más próximo posible a los objetivos a estudiar, obedeciendo los puntos mencionados anteriormente.

2.12 Puntos Centrales

En principio, la red estará centrada fundamentalmente en tres puestos claves, el banco docente, donde se contará con el constante monitoreo de la PQM, el banco de residencia, donde se contará también con el monitoreo a tiempo completo por parte de una PQM, o con los servicios de la UPM, pero esto último sería eventualmente, para realizar estudios planificados, el tercer puesto principal sería el Laboratorio de Mediciones Eléctricas, que es donde estaría situado el Nport destinado a atender la comunicación de los laboratorios.

Los puestos en los que siempre se estará realizando el monitoreo será en los dos bancos de transformadores mencionados anteriormente, debido a la importancia que posee el análisis constante del comportamiento energético, en el caso del laboratorio de Mediciones Eléctricas solo se manejará la comunicación en momentos determinados, o



sea, momentos en los que se realice alguna medición puntual o práctica de laboratorio, por tanto es entonces donde se hace necesario el análisis de factores de simultaneidad, o sea, se debe establecerá un orden de muestreo para atender a los dispositivos en funcionamiento conectados a la red en ese instante, eso se predeterminará desde el propio sistema SCADA que se utilice.



Propuesta de variantes para el diseño de la red

3.1 Introducción

A la hora de seleccionar la arquitectura o topología que debe poseer cualquier red industrial, es necesario analizar un grupo de aspectos importantes que influyen sobre el funcionamiento de la misma, se impone la necesidad de realizar el estudio de posibles propuestas para el trazado de dicha red en dependencia de la configuración y ubicación de las instalaciones donde se ejecutará el diseño, además de determinar las posibilidades reales de implementación del proyecto. En este capítulo se realizarán propuestas de diferentes variantes para la estructura de la red industrial a diseñar, teniendo en cuenta fundamentalmente aspectos técnicos y económicos, luego del análisis de cada propuesta se hará la selección de la variante que se desea implementar atendiendo, de manera simultánea, a las necesidades y posibilidades existentes.



3.2 Desarrollo

En el caso de las subestaciones pertenecientes a la parte de residencia estudiantil y docente, no estarán presentes en el análisis de las variantes que se verán a continuación, pues para todas las propuestas se sugiere la instalación de un dispositivo PQM (Power Quality Metering), de la firma MULTILIN, en cada una de las subestaciones. La conexión de la PQM con la computadora se realizará a través de la interfase de comunicación Nport (Network Server Lite) modelo DE-334, considerando que la PQM posee puerto para conexión serie, se conectará al puerto RS-485 del Nport, a través del cual se realizará el enlace con la red LAN del instituto. En el caso de la subestación del bloque docente, la conexión se realizará empleando un cable UTP que se conecta a un puerto de este tipo situado en el departamento de ingeniería eléctrica, este cable enlazará al Nport, que estará situado en la sala de distribución del esquema eléctrico a la entrada del bloque docente, con al red de instituto. En el caso de la PQM situada en el banco de transformadores perteneciente al bloque de residencia estudiantil se utilizarán iguales medios para la comunicación, se instalará un Nport en el local donde se encuentran situados los interruptores de fuerza que controlan la alimentación de toda la carga, desde donde se establecerá la comunicación vía RS-485 con la PQM que estará situada en el mismo local; desde el Nport se instalará un cable UTP hasta la oficina de planificación energética, donde se localiza un puerto disponible para la conexión con la red LAN del centro.

3.2.1 Variante I

En esta variante, como se aprecia en la figura 3.1, se acude a la instalación de una interfase de comunicación Nport por cada uno de los locales propuestos a enlazar con la red, esto trae consigo que los buses de comunicación RS485 no serían conducidos a través los tubos de condulex dedicados a la protección de los conductores, pues el cableado sería interno, en el propio puesto de trabajo, lo que reduce en gran medida la posibilidad de daños accidentales a los conductores. Los cables UTP si serían conducidos desde todos los locales donde se sitúen los Nports, mediante tubos de

Capítulo III Propuesta de variantes para el diseño de la red condulex, hasta el laboratorio de Mediciones Eléctricas, que será donde se ubicará el Switch para multiplicar los puertos UTP.

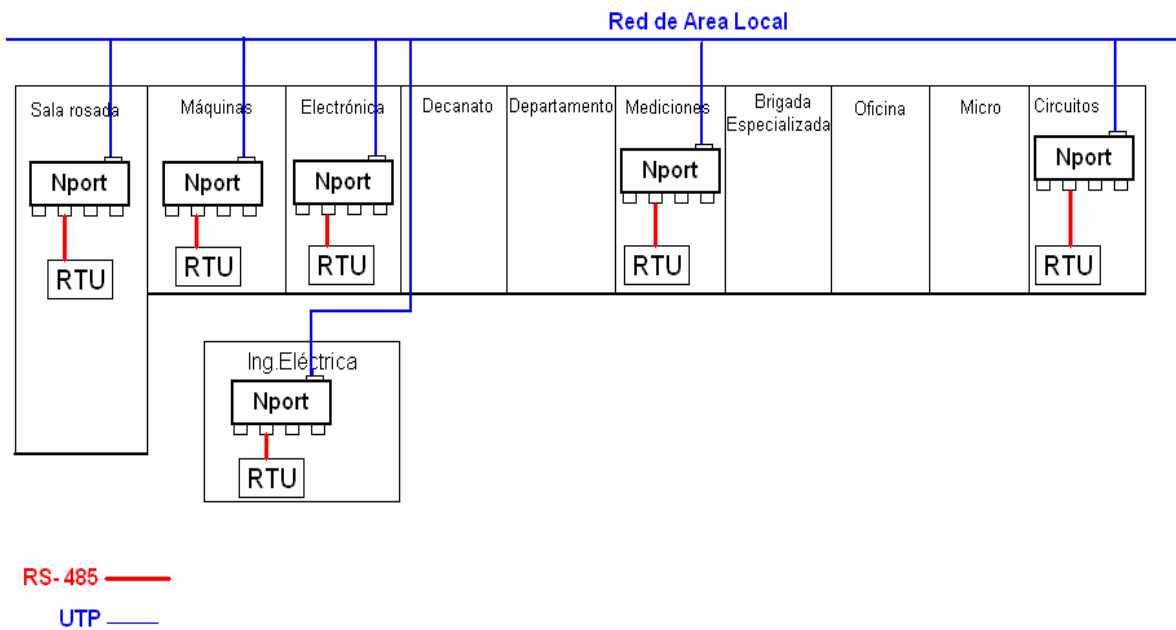


Fig. 3.1 Esquema de la variante I.

3.2.1.1 Ventajas

Entre las principales ventajas de esta variante tenemos:

- *Fácil detección de fallas:* Dado que tenemos un cable UTP para comunicar a cada uno de los Nport, cualquier avería en este bus nos permitiría detectarla rápidamente, pues solo quedaría desconectado de la red el Nport y por consiguiente los respectivos RTU que se encuentran conectados a sus puertos series, una falla en uno de los buses RS-485 también sería de fácil detección, pues solo habría que detectar con cual o cuales de los dispositivos se perdió la comunicación.
- *El sistema adquiere un buen nivel de fiabilidad:* Dada la propia configuración de la red, comunicación independiente vía ETHRENET para cada Nport y por consiguiente para cada laboratorio, una falla en cualquier punto de la red no interrumpiría la comunicación con el resto de los dispositivos, o sea, los que se encuentran en un
-



puesto distinto al afectado por la falla, en caso de que la avería sea en una de las líneas RS-485 solo se afectará el o los dispositivos enlazado por dicha línea.

➤ *Gran capacidad para la conexión de RTU:* Si analizamos que cada Nport tiene 4 puertos para la comunicación serie, y que por cada puerto se pueden conectar hasta 32 dispositivos, entonces la cantidad de RTU que se puede conectar sería:

Cada Nport:

$$32 \cdot 4 = 128 \text{ RTU}$$

sería un total de 6 Nport.

$$128 \cdot 6 = 768 \text{ RTU}$$

LA cantidad de RTU que se pueden instalar sería de 768, solamente para el caso de los laboratorios, o sea, sin tener en cuenta los dos Nport instalados en las subestaciones

➤ *Corta longitud de los cables RS-485:* Como los dispositivos a monitorear estarán en el mismo local que su respectivo Nport, las longitudes de buses RS-485 será menores, lo que reduce en cierta medida el costo del proyecto por cuestiones de buses de comunicación. La longitud de cables RS-485 por cada laboratorio sería de unos 7 m, son 6 locales, la suma total sería de unos 42 m para la instalación que enlaza a los laboratorios.

3.2.1.2 Desventajas

Entre las principales desventajas o dificultades que posee esta variante tenemos las siguientes:

➤ *Muy alto costo para la implementación:* Pues se utilizan varias interfases de comunicación Nport, lo que encarece enormemente el proyecto, estas interfases son subutilizadas en esta instalación en cuanto a la explotación de su capacidad de conectar varias RTU, pues la cantidad que realmente se va conectar es muy inferior a la admitida por ellas.

➤ *Se emplea mayor longitud de cables UTP:* Como es necesario conectar a la red LAN del instituto a cada uno de los Nport, se incrementa la cantidad de cables UTP a utilizar, lo que incrementa el costo del proyecto, aunque no sea de manera muy



significativa desde el punto de vista económica, pero si incrementa la posibilidad de ocurrencia de fallas. Sería un total de 148 metros de cable UTP para la instalación.

Es necesaria la instalación de un switch para multiplexar los puertos para conexión de cable UTP, pues los existentes no son suficientes para cubrir la demanda que tenemos en esta variante.

Medios	Costo unitario (USD)	Cantidad	Precio total por elementos (USD)
Nport	676,38	6	4058,28
Switch	75	1	75
Par trenzado RS485	26,27	42 metros	1103,34
Cable UTP	0,54	148 metros	80
Conectores RJ45	0,50	12	6
Subtotal	-	-	5322,54

Tabla 3.1 Costo de la variante I. [9]

Nota: En el cálculo del precio de la variante anterior y de las que se mostrarán a continuación no se incluye el costo de los tubos de condulex, pues para todos los casos se mantiene la misma ruta de trazado de la red.

La moneda utilizada es el dólar estadounidense (USD).

Esta variante, si es analizada desde un punto de vista técnico, posee excelentes características para el funcionamiento de la red, pues cumple con un grupo de requisitos que la convierten en una magnífica opción, pero cuando analizamos la parte económica del proyecto y pensamos en la posibilidades reales que posee el instituto para la implementación de la misma, podemos percatarnos de que no es factible su



Capítulo III Propuesta de variantes para el diseño de la red ejecución, por lo que queda solamente como una propuesta de diseño, no como la variante a escoger para este proyecto.

3.2.2 Variante II

La figura 3.2 representa una nueva variante a analizar como posible estructura de la red, como se aprecia en el esquema en esta variante de recurre a la instalación de tres Nports solamente, se escoge el local de Circuitos Eléctricos para la colocación de un Nport con el fin de reducir las longitud de buses de comunicación serie, que son más costosos, por tanto de prefiere que el enlace de este local con los restantes sea vía ETHERNET y no serie, por las mismas razones se propone la instalación de otra tarjeta en el laboratorio de Mediciones Eléctricas. El tercer Nport se sitúa en el laboratorio de Electrónica, pues es la mejor opción para utilizar una longitud mínima de buses RS485 y lograr atender a los locales restantes.

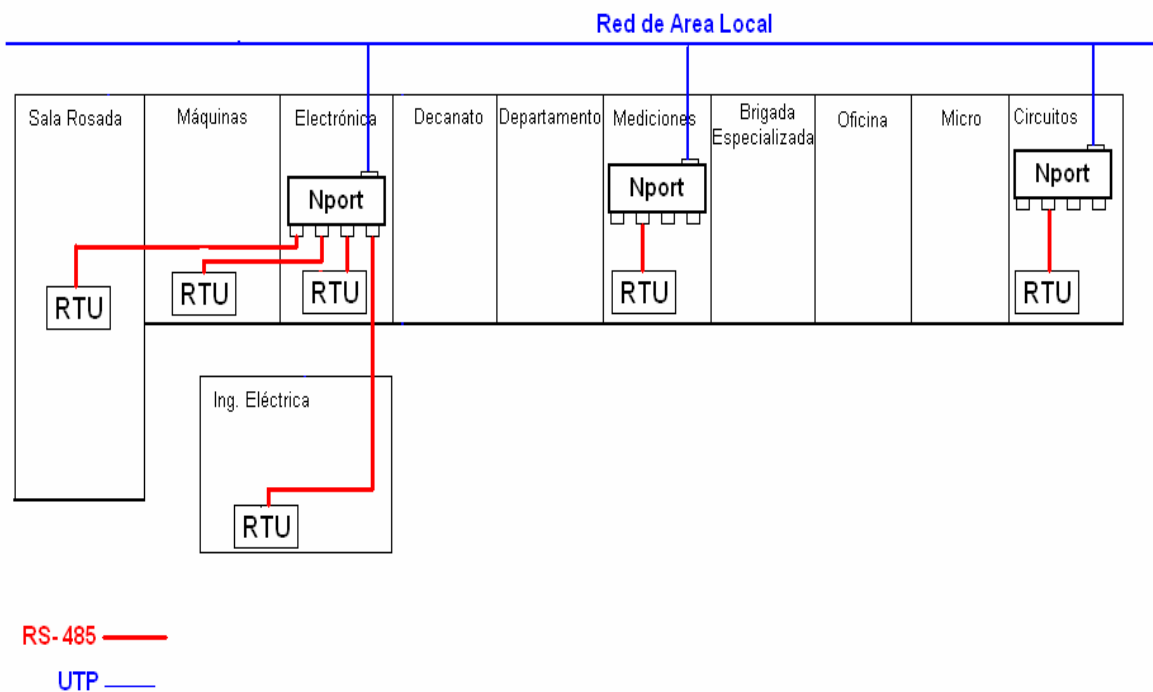


Fig.3.2 Esquema de la variante II.



3.2.2.1 Ventajas

Entre las principales ventajas que posee esta variante podemos señalar las siguientes:

- *Reducción del número de interfases de comunicación Nport:* Como se observa en la figura, en esta variante se emplean solamente dos Nport, lo que reduce de manera considerable el costo del proyecto y no afecta desde el punto de vista técnico el funcionamiento de la red.
- *Se mantiene aún una amplia capacidad para la conexión de dispositivos:* Si contamos con la conexión de tres interfases de comunicación, entonces realizando el mismo cálculo de la variante anterior obtenemos que se pueden conectar un total de 384 dispositivos para el caso de los laboratorios.
- *Reducción de la cantidad de cables UTP a utilizar:* En este caso solo se requiere enlazar con la red del instituto a tres Nport, por lo que se reduce la longitud de cables UTP a conectar, así como el número de conectores, esto disminuye en cierta medida el costo del proyecto por razones de cables UTP y conectores, la longitud de los buses a utilizar sería de unos 50 metros de cable.

3.2.2.2 Desventajas

Entre las principales desventajas o dificultades que posee esta variante tenemos las siguientes:

- *Se reduce en cierta medida la fiabilidad de la red:* La reducción del número de Nport trae consigo que se incremente el número de RTU por cada una de estas interfases, en este caso, atendiendo a la disposición y localización de los laboratorios, se determinó que el Nport situado en el local de electrónica debe asumir la comunicación de los dispositivos de su propio local, más los de los laboratorios de máquinas, ingeniería eléctrica y automatización. Esto significa que si por alguna razón hay una falla en el cable que enlaza a este Nport con la red LAN del centro, todos estos dispositivos quedará fuera de servicio, o sea, sin comunicación.
- *Incremento de la longitud de cables RS-485:* Unido a la reducción del número de Nport aparece un notable incremento de la cantidad de buses de comunicación serie RS-485, pues con esta nueva configuración los laboratorios de electrónica, máquinas,



Capítulo III Propuesta de variantes para el diseño de la red

ingeniería eléctrica y automatización quedará enlazados por RS-485, esto encarece en cierta magnitud el proyecto por conceptos de cables de comunicación serial, la longitud de buses a utilizar sería de aproximadamente 100 metros.

➤ En esta variante continúan siendo utilizados los Nport, pues la capacidad que poseen para la conexión de dispositivos es muy superior a la existente en los locales estudiados.

Medios	Costo unitario (USD)	Cantidad	Precio total por elementos (USD)
Nport	676,38	3	2029.14
Switch	75	1	75
Par trenzado RS485	26,27	89 metros	2338.03
Cable UTP	0.54	50 metros	27
Conectores RJ45	0,50	6	3
Subtotal	-	-	4472,17

Tabla 3.2 Costo de la variante II.

Esta variante desde el punto de vista técnico, puede considerarse inferior a la variante anterior, pero aún así cumple con los requerimientos para la comunicación de los dispositivos que conforman nuestra red industrial, si analizamos el aspecto económico, es menos costosa, por lo que haciendo un balance entre propiedades de la red y el costo, podemos decir que esta es una mejor propuesta que la anterior, pero aún así, no es factible su implementación, pues su costo sigue siendo muy alto y no corresponde con el valor de uso que tendría la red en el centro.

3.2.3 Variante III

La figura 3.3 muestra el esquema de otra variante propuesta para estructuración de la red, como se aprecia, en esta nueva configuración se sugiere la colocación de un Nport en el laboratorio de Mediciones Eléctricas, el cual atenderá a ese local unido al laboratorio de Circuitos Eléctricos, se mantiene la interfase de comunicación Nport en laboratorio de Electrónica para la comunicación de los locales de Máquinas Eléctricas, Automatización e Ingeniería Eléctrica, ya en esta propuesta al igual que en la anterior se precisa de el enlace de locales mediante las pares trenzaos RS485.

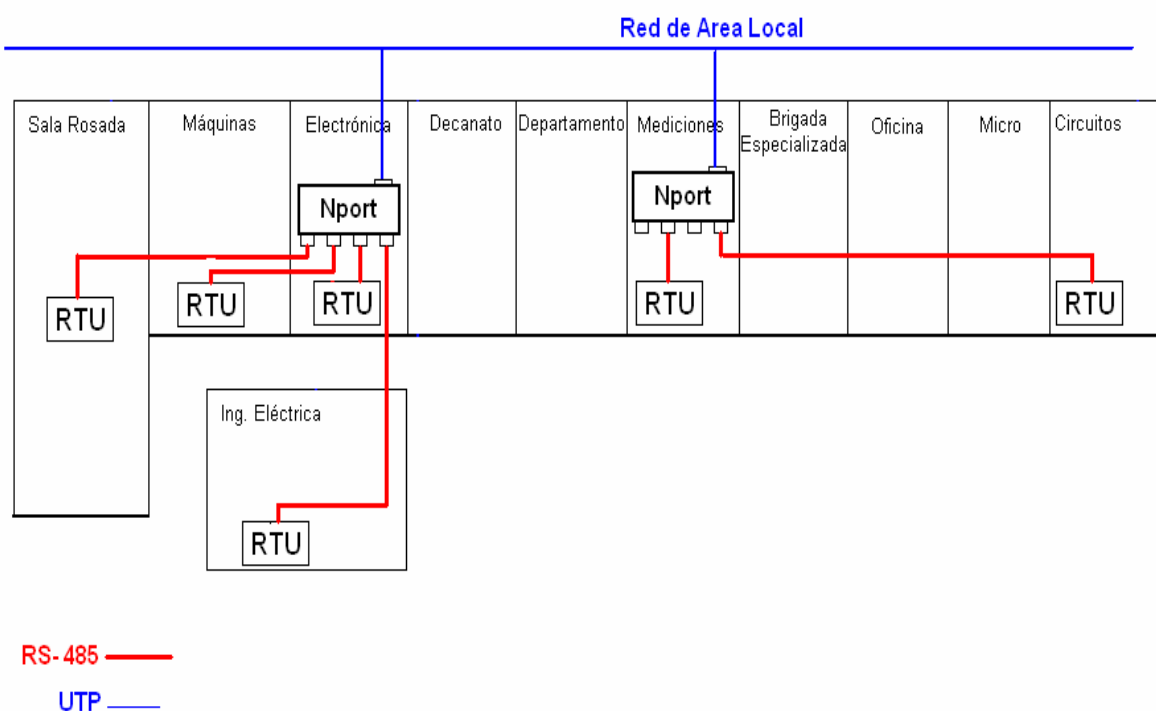


Fig.3.3 Esquema de la variante III

3.2.3.1 Ventajas

➤ *Uso de solamente dos interfases de comunicación Nport:* Como se observa en la figura en esta variante solo se instala un Nport en el laboratorio de electrónica, el cual



establecerá la comunicación con los dispositivos referentes a los laboratorios de máquinas, automatización, ingeniería eléctrica y el propio laboratorio de electrónica, se situará otro en el laboratorio de mediciones eléctricas, el cual atenderá la comunicación de los dispositivos del laboratorio de circuitos eléctricos más los del propio laboratorio de mediciones. En esta variante se reduce considerablemente el costo del proyecto en cuanto a interfases de comunicación.

➤ *Reducción de la longitud de cables UTP:* Debido a que solo se usan dos Nport, es necesario utilizar solamente dos cables UTP para el enlace con la red LAN del centro, esto reduce en alguna medida el costo del proyecto por el uso de buses UTP.

3.2.3.2 Desventajas

Entre las principales desventajas o dificultades que presenta esta configuración tenemos:

➤ *Mayor longitud de cables RS-485:* debido a que solo se van a utilizar dos Nport para cubrir toda el área de los laboratorios que se desean conectar a la red, se hace necesario enlazar varios locales mediante esta vía de comunicación serie. El total de cables a utilizar sería de unos 126 metros.

➤ *Se reduce en cierta medida la fiabilidad del sistema:* En esta configuración, como se explicó anteriormente solo se instalan dos Nport, por lo que la comunicación de nuestra red industrial con la red del centro va a ser solamente a través de dos buses UTP, por lo que una falla en una de ellos provocaría que una buena parte del sistema quede fuera de servicio.



Medios	Costo unitario (USD)	Cantidad	Precio total por elementos (USD)
Nport	676,38	2	1352,76
Switch	75	1	75
Par trenzado RS485	26,27	126 metros	3310,02
Cable UTP	0,54	25 metros	13,5
Conectores RJ45	0,50	4	2
Subtotal	-	-	4753,28

Tabla 3.3 Costo de la variante III.

3.2.4 Variante IV

La figura 3.4 muestra el esquema de una nueva variante para la estructura de diseño para la red.

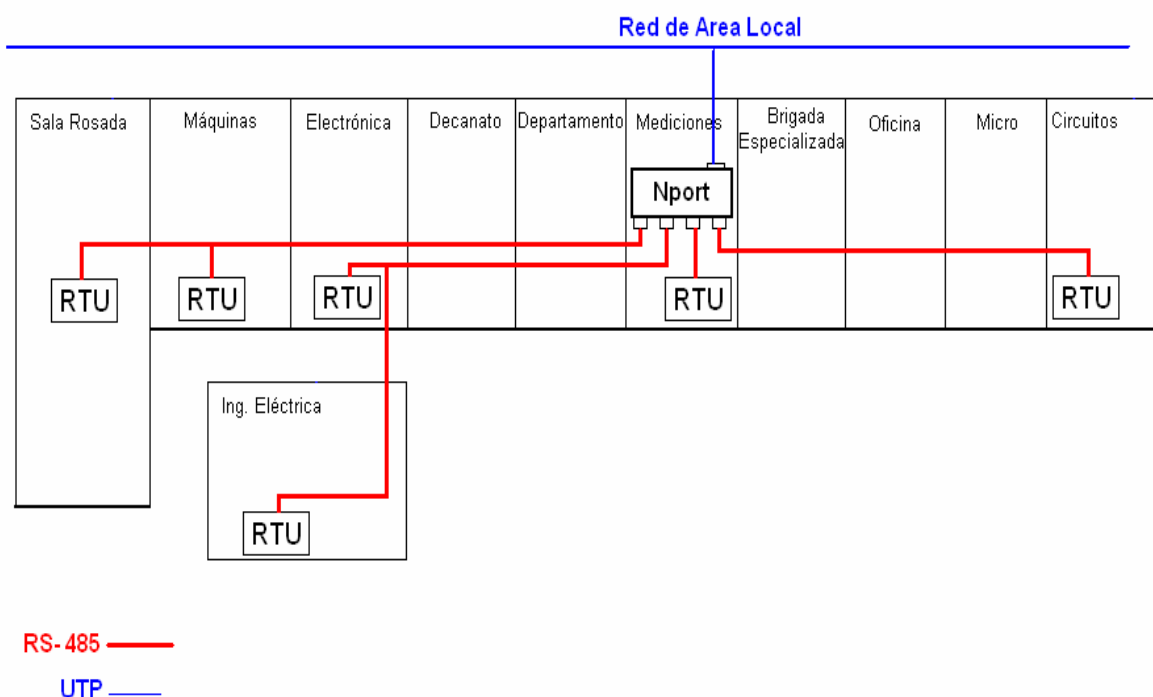


Fig.3.4 Esquema de la variante IV.

3.2.4.1 Ventajas

- *Uso de una sola interfase de comunicación:* Como se observa en la figura 3.4, en esta variante solo se emplea un Nport para atender la comunicación de todos los dispositivos que se encuentran situados en los laboratorios, esto reduce el costo del proyecto con respecto a las variantes anteriores.
- *No se necesita la instalación de un switch:* Como solo se emplea un Nport, se necesita un solo puerto para cable UTP, ese puerto puede ser tomado del departamento de ingeniería eléctrica (antiguo) o del laboratorio de computación de ingeniería eléctrica, esta opción requeriría del uso de un cable UTP desde el laboratorio de mediciones eléctricas hasta la planta superior, esta variante es menos costosa que la de comprar un switch.



3.2.4.2 Desventajas

Entre las principales dificultades o desventajas que podemos destacar en esta variante tenemos las siguientes:

- *Incremento del cableado RS-485.* El uso de un solo Nport en esta variante trae consigo la necesidad de enlazar todos los laboratorios con cables de comunicación RS-485, lo que aumenta las posibilidades de fallas en el sistema e incrementa el costo del proyecto por razones de cableado.
- *La fiabilidad de la red se afectada en cierto grado.* En esta variante, con el uso de un solo Nport, queda la red industrial enlazada con la red LAN del centro solamente a través de un solo cable UTP, por lo que una falla de apertura o desconexión indeseada de dicho cable dejaría sin comunicación a todo el sistema. Además, como se renunció al uso del Switch, la longitud del cable UTP a emplear es mayor, lo que incrementa la posibilidad de ocurrencia de averías.

Medios	Costo unitario (USD)	Cantidad	Precio total por elementos (USD)
Nport	676,38	1	676,38
Switch	-	-	-
Par trenzado RS485	26,27	140 metros	3310.02
Cable UTP	0.54	20 metros	10.8
Conectores RJ45	0,50	2	1
Subtotal	-	-	3998,2

Tabla 3.4 Costo de la variante IV.



Realizando un análisis de esta variante y comparándola con las anteriores, podemos percatarnos de que desde el punto de vista de la fiabilidad es inferior, puesto que como se dijo anteriormente una falla en el bus UTP que enlaza al Nport con la red del centro dejaría sin comunicación a todos los dispositivos que componen a la red industrial, pero analizando que estas fallas no son muy frecuentes y que esta red no será utilizada con fines industriales o cualquier otro fin que pueda causar pérdidas materiales o humanas en caso de una salida de operación provocada por cualquier avería, sino que será empleada con fines netamente docentes o investigativos, no constituye una agravante que la fiabilidad del sistema se vea reducida en alguna medida, pues cualquier problema será solucionado sin presiones de tiempo o de cualquier otra índole, no habrá más pérdidas económicas que la del reemplazo o reparación del elemento dañado.

Desde el punto de vista de la capacidad de conexión de varios dispositivos en esta variante, se aprecia cierto decrecimiento del número de elementos a conectar con respecto a las variantes anteriores, se cuenta con capacidad para la conexión de 128 RTU, este número es muy superior a la cantidad con que se cuenta para conectar a la red, por tanto queda una gran cobertura para la incorporación de nuevos dispositivos de comunicación serie, ya sea en los mismos locales enlazados por la red o futuras ampliaciones o expansiones del sistema hacia otras partes del instituto.

Prestando atención a aspectos económicos, el montaje de esta variante resulta menos costoso que las anteriores.

Como se puede apreciar, esta variante cumple con los requerimientos técnicos necesarios para garantizar el funcionamiento de la red industrial y económicamente es la que menor inversiones necesita para su implementación, por tanto es entonces la variante que seleccionamos como propuesta a desarrollar o ejecutar, en otras palabras es la más factible.

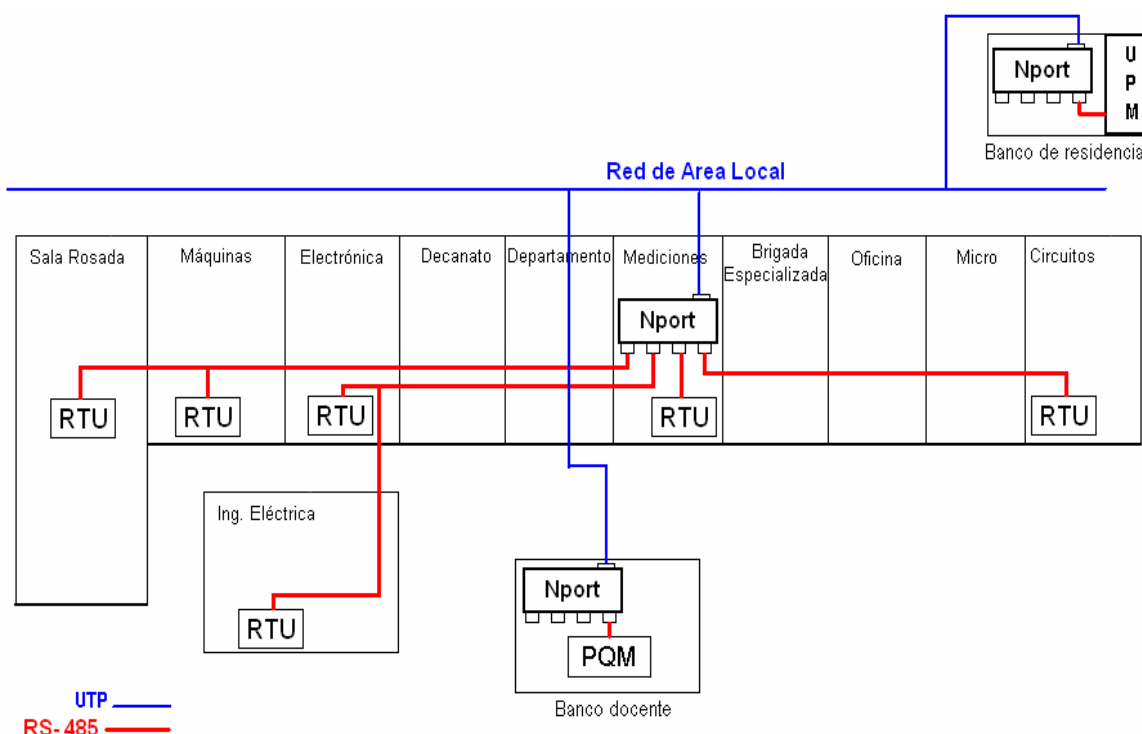


Fig. 3.5 Esquema general de la variante IV.

La figura anterior muestra el esquema general de la variante seleccionada para la implementación en el ISMM, ya aparecen en el gráfico los bancos de transformadores del docente y de residencia incorporados al sistema de monitoreo, interconectados a la red mediante buses UTP.

3.2.5 Variante escalonada

Si analizamos detenidamente las posibilidades económicas reales que poseemos para llevar a cabo la ejecución de este proyecto nos percatamos de que resulta un poco compleja la adquisición del equipamiento necesario para el montaje de la red. Es entonces cuando surge la necesidad de proponer una variante escalonada para el diseño, en otras palabras, una variante que se pueda implementar con nuestras condiciones objetivas, una variante de diseño donde se emplean los medios físicos que realmente tenemos en nuestras manos.



3.2.5.1 Medios y equipos existentes

Para el diseño contamos con los siguientes recursos:

- 1 PQM (Power Quality Metering), de la Firma MULTILIN.
- 2 Interfaces de comunicación Nport, (Network Server Lite), de la firma Moxa.
 - 50 metros de cable RS-485.
 - 40 metros de cable UTP.
- 1 UPM (Unidad Portable de Medición).

3.2.5.2 Propuesta

En esta variante será necesario realizar algunas transformaciones con respecto a la última variante analizada. En el caso de la subestación perteneciente al bloque docente mantendremos la instalación de la PQM, pero debemos prescindir del Nport que le teníamos dedicado solamente a ella e instalar un cable RS-485 (50 metros de longitud) desde el local donde se encuentra hasta el laboratorio de mediciones eléctricas, que será entonces donde permanecerá instalado el Nport, se escogió este local para la colocación del Nport debido a su localización con respecto a los locales a enlazar con la red, siendo esta opción la menos costosa, pues es donde se utiliza la menor cantidad posible de cables. Este Nport será el encargado de atender la comunicación serie de todos los dispositivos que poseía en la variante anterior más la PQM que se incorpora en esta última versión. Se escogió el banco de transformadores del docente para instalar la PQM y monitorear constantemente el comportamiento de las variables eléctricas debido que posee gran importancia en el suministro eléctrico del centro y presenta dificultades causadas por la conexión incompleta, es este uno de los principales puntos de estudio por el programa de gestión energética en el centro.

La subestación que alimenta a la parte de residencia estudiantil no deja de tener gran importancia en suministro eléctrico del centro, pero teniendo en cuenta que está compuesta por tres transformadores, o sea, posee conexión completa, presenta menos dificultades en cuanto a calidad de energía con respecto al banco docente. Es por ello que allí solo dejaremos un puesto instalado para realizar mediciones



eventuales utilizando a la UPM como dispositivo de medición, para la comunicación se mantendrá instalado el Nport en el mismo lugar que en la variante anterior, este sería el segundo y último Nport.

A continuación se muestran esquemas de cómo quedaría esta variante.

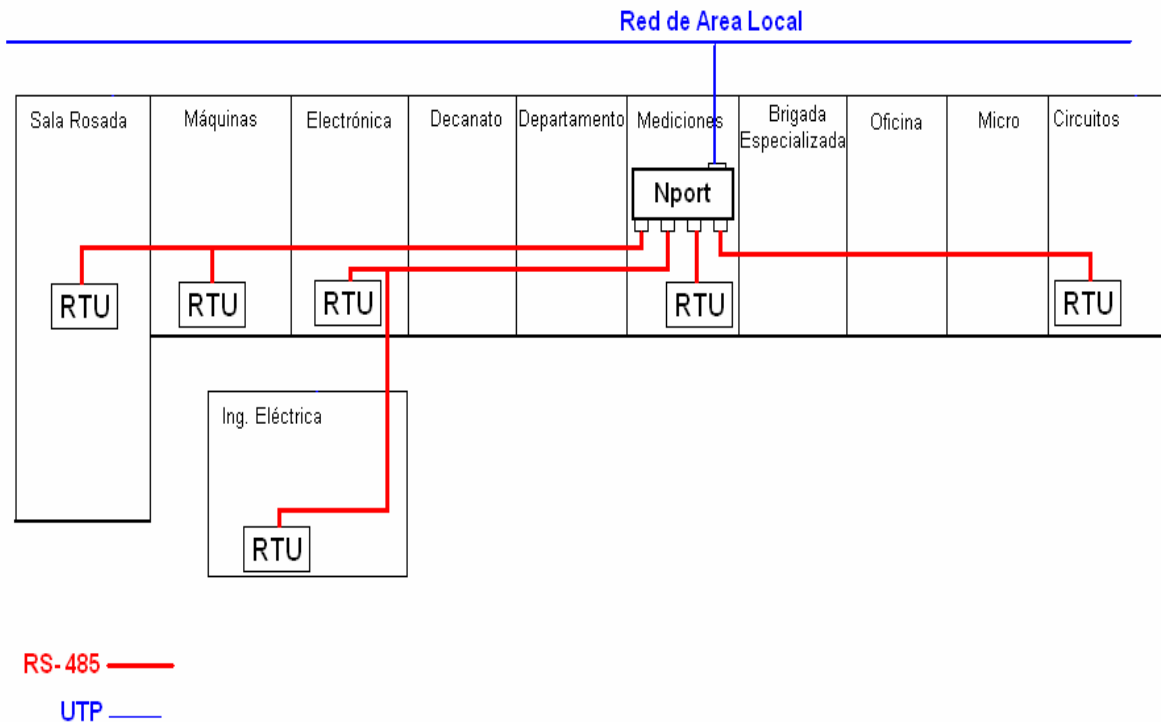


Fig.3.6 Esquema de la variante escalonada para el caso de los laboratorios solamente.

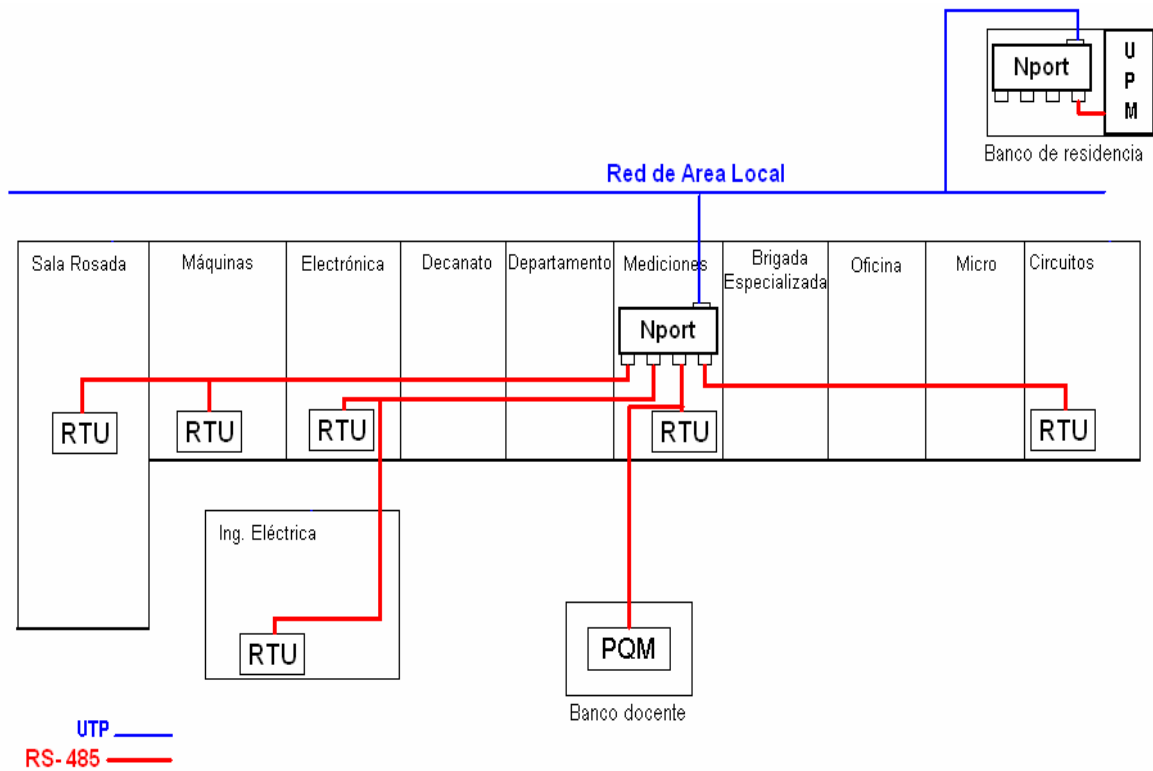


Fig.3.7 Esquema general de la variante escalonada



Valoración Económica.

4.1 Breve introducción

El análisis técnico económico en cada proyecto a ejecutar es imprescindible. En las presentes condiciones económicas, no solo la solución técnica es la meta a alcanzar por cada profesional, sino la solución técnica más económica y más versátil. Una valoración económica eficiente no solo permite evaluar los costos de una técnica a implementar o su ahorro después de aplicada, sino que da posibilidades reales de encontrar la inversión que podría hacerla nacer. En este capítulo se desarrolla una valoración crítica de los resultados que se obtienen al ejecutar el diseño de la red, su efecto económico e impacto social.

4.2 Valoración económica de la red industrial diseñada

La magnitud de las afectaciones causadas por las interrupciones del suministro eléctrico al ISMM se aprecia de manera aproximada, esto está dado por el número de factores que se alteran ante una afectación al servicio eléctrico y en gran medida influido por la clase de entidad, las cargas instaladas existentes, la naturaleza de los procesos docentes, etc. Entre la consecuencias generadas por este tipo de situación se tienen de forma general.

- Deterioro de las instalaciones.
- Desorganización del proceso docente tecnológico.
- Pago de salarios a trabajadores inactivos durante ese período.

Las consecuencias de una falta de suministro eléctrico al ISMM durante la realización de las actividades docentes y otras que se desarrollan en el centro, pueden tomar valores considerables de pérdidas y afectaciones, manifestándose de diferentes formas según sea el área de consumo, de manera general la mayor afectación consiste en las sobrecargas que sufren los equipos ante el reestablecimiento del suministro eléctrico.

En esta valoración de los prejuicios económicos que ocasionaría una interrupción del servicio eléctrico en las instalaciones del centro, no se hace referencia al monto monetario que tendrían factores tales como: las pérdidas de equipos electrónicos e



instrumentaciones de aplicaciones de investigaciones y estudios, los cuales se perderían al no tener respaldo económico de garantía del centro, no se ha tenido en cuenta además, el atraso que se produciría en el cumplimiento del cronograma de proyectos de curso y otras tareas docentes.

4.3 Valoración técnico económica

En el tópico anterior se abordaron las principales afectaciones que podía traer consigo una interrupción del servicio eléctrico al ISMM, de aquí se concluye que es necesario lograr un cierto nivel de confiabilidad al sistema de suministro de esta entidad docente, para ello es necesario introducir mejoras técnicas en el sistema, y precisamente el montaje de la red industrial constituye una de esas mejoras técnicas, ya que unido a el sistema supervisor que se seleccione permitirá realizar toda una serie de acciones en aras de lograr dicho nivel de confiabilidad. Se podrá determinar cuando se generan falla en el sistema de suministro, además de poder realizar la gestión de ciclos de mantenimiento, o sea, se pueden planificar los mantenimientos de la red eléctrica en los momentos menos críticos para el ISMM.

A continuación, en la tabla 4.1 se resumen los principales elementos a usar en el montaje de la red, esta tabla es referida al caso de la variante propuesta para implementar.

Insumos	Precio en USD por unidad	Cantidad	Precio total por elementos (USD)
Conector UTP RJ45	0,5	6	3
Cable UTP	0,54	100	54
Cable par trenzado RS-485	26.27	145	3809,15
Tubos Condulex	5	150	750
Nport	676,38	3	2029,14
MULTILIN (PQM)	2500	2	5000
Switch	75	1	75
Subtotal	-	-	11720,29

Tabla 4.1 Costo de cada uno de los elementos que se emplean para el diseño de la red y el costo total.



Este análisis se realizó partiendo del caso en que no se cuente de antemano con ninguno de los insumos necesarios para la ejecución del proyecto.

Considerando que el instituto cuenta ya con serie de elementos para la construcción de la red analizaremos la magnitud de la inversión a realizar. A continuación se muestra una tabla donde se exponen los insumos a comprar.

Insumos	Precio en USD por unidad	Cantidad	Precio total por elementos (USD)
Conector UTP RJ45	0,5	6	3
Cable UTP	0,54	50	27
Cable par trenzado RS-485	26.27	105	2758,35
Tubos Condulex	5	100	500
Nport	676,38	1	676,38
MULTILIN (PQM)	2500	1	2500
Switch	75	1	75
Subtotal	-	-	6539,73

Tabla 4.2 Insumos que se necesitan aún para le construcción de la red.

4.4 Mano de obra

Para el montaje de la red se requiere de la contratación de fuerza de trabajo con alguna experiencia en este tipo de tareas, para ello se sugiere auxiliarse del trabajo de dos obreros para el trabajo relacionado con la creación de las condiciones para el soporte y protección física de los buses de comunicación. Se requiere también de personal especializado capaz de desarrollar el conexionado de los diferentes dispositivos a la red, para ello se precisa contratar a un técnico especializado.

Teniendo en cuenta el contenido de trabajo que representa la ejecución de esta obra, se calcula, que trabajando jornadas laborales de 8 horas, sin incluir los fines de semana, en 15 días se puede dar por concluido el montaje de la red. Una vez terminado el trabajo de instalación se requiere del trabajo de un especialista en sistemas de adquisición de datos, valorando que es necesaria la configuración de los diferentes dispositivos de la red además de trabajar con el sistema SCADA que se vaya utilizar,



se estima que en 30 días de trabajo queden finalizados los aspectos relacionados con la parte de software.

La siguiente tabla que muestra los valores relacionados con el costo de la mano de obra.

Personal	Días de trabajo	Pago diario (\$)	Total (\$)
Obrero 1	15	10	150
Obrero 2	15	10	150
Técnico	15	12	180
Especialista	30	15	450
Subtotal	-	-	930

Tabla 4.3 Gastos por cuestiones de salario.

4.5 Política de ahorro de energía

Una vez puesta en funcionamiento la Red Industrial que se propone construir en este documento estarán creadas las condiciones para llevar a cabo una política de ahorro de energía eléctrica eficiente, pues se podrá valorar el comportamiento energético en el centro con exactitud y rapidez, además, se crearán registros históricos de las mediciones realizadas en los bancos de transformadores, lo que permitirá la realización de estudios detallados los consumos de energía.

Si se logra establecer un programa de ahorro que reduzca digamos que en un 5 % el consumo de energía, esto contribuiría a llevar un proceso de amortización de la inversión a realizar para el diseño de la red.

4.6 Impacto social

El diseño de una red industrial que permite el monitoreo y control de variables eléctricas con cierto nivel de automatización da la posibilidad de crear un conjunto de puestos de trabajo que le permitirán a los estudiantes adquirir conocimientos más acabados y



precisos sobre los temas que se tratan durante la carrera de ingeniería eléctrica, lo que influye positivamente sobre la preparación de los mismos, así como en la de los propios profesores. Posibilitará la adquisición de cierto nivel de conocimiento sobre la instrumentación de campo actualizada y el acceso a nuevas tecnologías asociadas a las aplicaciones a las aplicaciones informáticas en la ingeniería eléctrica.

Resultan tediosas las consultas a bases de datos en literatura, con este proyecto, se sustituyen por consultas nivel de software sobre una base de datos en formato digital que puede ser procesada y manipulada por el usuario, lográndose gran versatilidad en cuanto a procesamiento de información. Se elimina en gran medida el margen de error humano en la lectura de instrumentos por el usuario.

La aplicación de esta tecnología en el centro eleva el estado moral del cuerpo de investigadores y estudiantes del centro debido a la introducción de una tecnología que posibilitará el empleo de técnicas de monitoreo y control que dará lugar al desarrollo de laboratorios virtuales.



Conclusiones

Se logró la descripción de los principales componentes de la red, así como de los diferentes puestos de medición incluidos en el trazado de la misma.

Se establecieron las rutas a seguir para la instalación y conexión de los buses destinados a la comunicación de las diferentes unidades que integran la red.

Se plasmaron los criterios para la selección de los diferentes elementos y dispositivos a emplear en el proyecto.

Se realizó la propuesta de diferentes variantes para la estructura de la red, lo que permitió establecer comparaciones en cuanto a aspectos técnicos y económicos con el fin de seleccionar la opción más factible como variante a implementar.

Se determinaron las principales puntos que dificultan la ejecución del proyecto, ofreciendo opciones escalonadas acordes con las posibilidades reales de implementación.



Recomendaciones

Aunque se le dio cumplimiento a los objetivos propuestos al inicio de este trabajo, durante el desarrollo del mismo surgieron nuevas problemáticas o situaciones cuyas soluciones no pudieron ser incluidas en el proyecto, es por ello que surge la necesidad de hacer las siguientes recomendaciones:

Si se desea monitorear un dispositivo utilizando dos sistemas SCADAs diferentes, o por un sistema SACDA y el software de administración del equipo, será necesario realizar una conexión redundante, o sea, instalar dos buses RS485 hacia dos puertos del RTU, las líneas se conectarán a puertos distintos del Nport.

Extender el trazado de la red hasta el generador de emergencia que alimenta al departamento de sismología, pues el monitoreo del mismo constituye una excelente herramienta para la formación de los estudiantes.

Implementar ajustes en los planes de estudio de la carrera con el fin de incluir mayor número de prácticas de laboratorios con monitoreo y control remoto de dispositivos.

Realizar el balance de cargas en el área del docente, ya que estas se encuentran totalmente desbalanceadas.

Continuar prestando especial atención a todo lo relacionado con el ahorro y uso racional de los recursos energéticos hasta erradicar cualquier consumo innecesario de energía, poniendo en práctica todas las medidas de planificación, organización y control que permita alcanzar los objetivos sin la necesidad de grandes inversiones.

Se sugiere el uso de este documento y de la bibliografía que en él se relaciona como una herramienta básica para la construcción de la Red Industrial que se proyecta en el mismo.



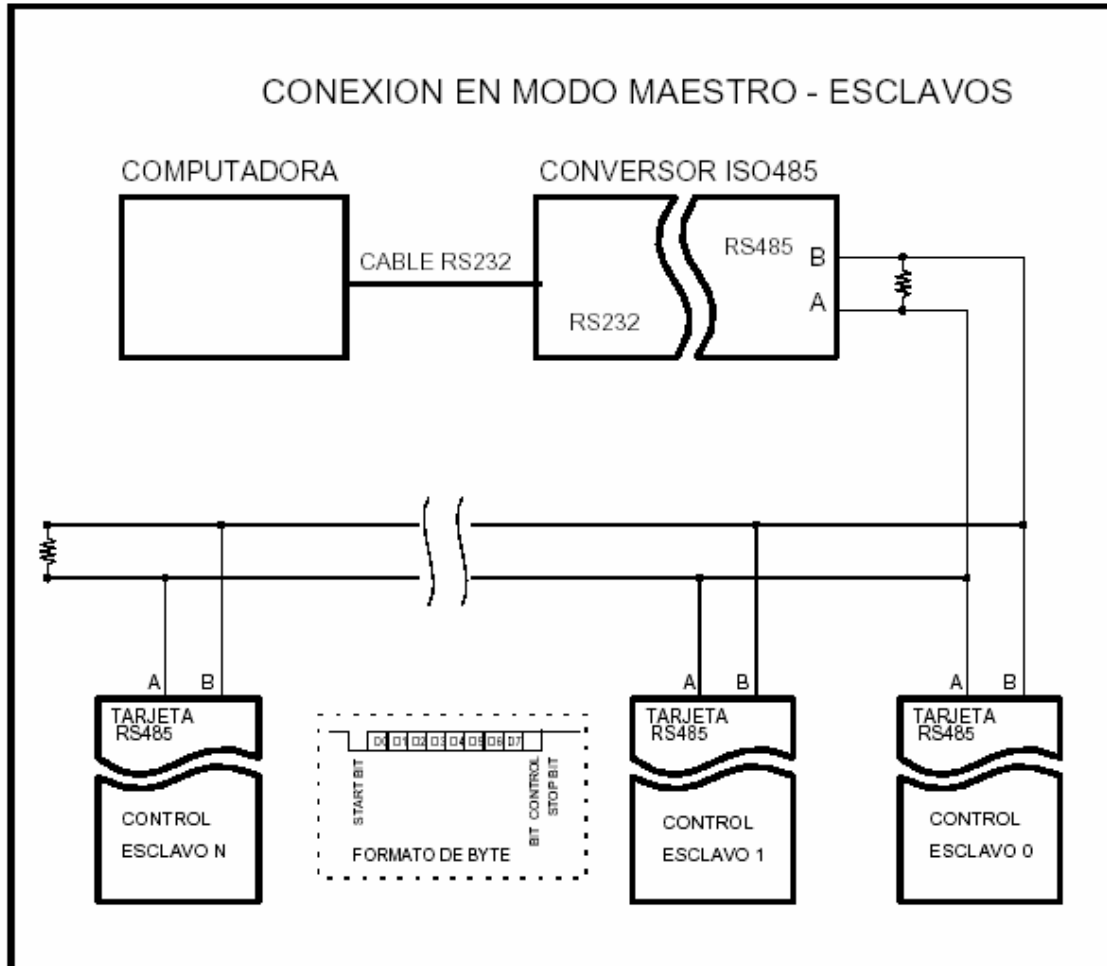
Bibliografía

- [1] - CD-ROM Moxa Software. Copyright © 2002 Moxa Technologies Co. ,
Ltd.Products/Nport Server Lites. www.moxa.com.
- [2] - Digital products Catalog: Multilin Ge Power Management (Catálogo General) Multilin
Inc. 1997.237 p.
- [3] - Fernández, S. Alexandres; Rodríguez Mondéjar, J. A. y Muñoz Frías, I. D.
Comunicaciones Industriales. Departamento de Electrónica y Automática.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del ICAI Universidad Pontificia Comillas
de Madrid . España, 2003.
- [4] - http://es.wikipedia.org/wiki/Red_Industrial.
- [5] - <http://www.funken.com.mx>
- [6] - http://es.wikipedia.org/Red_industrial#topología_de_redes_Industriales.
- [7] - <http://www.pathogencombat.com/Industry/Indsutry-home-spanish/network.aspx>
- [8] - Laufer, F y Barán, B. Diseño Económico de Redes confiables, Centro Nacional de
Computación, Universidad Nacional de Asunción, Casilla de correos 1439,
Campus Universitario de San Lorenzo, Paraguay, 2003.
- [9] - Legrá Acuña,W. Sistema de Monitoreo de la Red de Suministro Eléctrico del
ISMM.Trabajo de Diploma, facultad de Ingeniería Eléctrica, ISMM, 2004, 64 p.
- [10] - Marrero Ramírez, S y González Palau, I. La gestión energética una herramienta
indispensable en la gestión empresarial.
- [11] - Nport Server Lite, User's Manual. ggMoxa Technologies Co. Ltd. Segunda edición,
enero del 2001 www.moxa.com
- [12] - Vega Martínez, A y Cerezo Sánchez, J.M. Automatización de Procesos Industriales.
Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática, Universidad de Las Palmas
de Gran Canaria, 2004, 134 p.

Anexo 1**Variedades de red Ethernet**

Tipo	Medio	Ancho de banda máximo	Longitud máxima de segmento	Topología Física	Topología Lógica
10Base5	Coaxial grueso	10 Mbps	500 m	Bus	Bus
10Base-T	UTP Cat 5	10 Mbps	100 m	Estrella; Estrella Extendida	Bus
10Base-FL	Fibra óptica multimodo	10 Mbps	2.000 m	Estrella	Bus
100Base-TX	UTP Cat 5	100 Mbps	100 m	Estrella	Bus
100Base-FX	Fibra óptica multimodo	100 Mbps	2.000 m	Estrella	Bus
1000Base-T	UTP Cat 5	1000 Mbps	100 m	Estrella	Bus

Anexo 2





Anexo 3

Diferentes estándares de comunicación serie.

Especificación	RS-232	RS-423	RS-422	RS-485
Modo de Transmisión.	No Balanceado	No Balanceado	Balanceado	Balanceado
Longitud Max. de Cable.	15 mt.	30.5 mt.	1200 mt.	1200 mt.
Velocidad Máx. de Transmisión.	20K bits/s	100K bits/s	10M bits/s	10M bits/s
Salida Mínima del Driver	±5 V	±3.6 V	±2 V	±1.5 V
Salida Máxima del Driver	±15 V	±6 V	±5 V	±6 V
Sensibilidad del receptor	±3 V	±0.2 V	±0.2 V	±0.2 V
Número Máximo de Drivers	1	1	1	32
Número Máximo de Receptores	1	10	10	32
Carga del Driver (Ohms)	3 a 7 KΩ	450Ω Mín.	100Ω Mín.	60Ω Mín.

Anexo 4

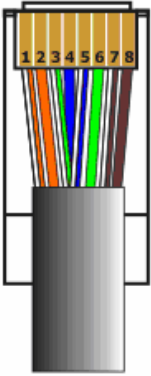
Vista de la Interfase de comunicación Nport.



Anexo 5

Distribución de pines para el conector RJ45.

Conector RJ45
Norma "568-B"
("Patilla" hacia abajo)



Norma de cableado "568-B" (Cable normal o paralelo)

Esta norma o estándar establece el siguiente y mismo código de colores en ambos extremos del cable:

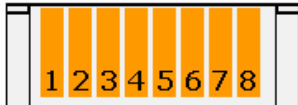
Conector 1	Nº Pin ← → Nº Pin	Conector 2
Blanco/Naranja	Pin 1 a Pin 1	Blanco/Naranja
Naranja	Pin 2 a Pin 2	Naranja
Blanco/Verde	Pin 3 a Pin 3	Blanco/Verde
Azul	Pin 4 a Pin 4	Azul
Blanco/Azul	Pin 5 a Pin 5	Blanco/Azul
Verde	Pin 6 a Pin 6	Verde
Blanco/Marrón	Pin 7 a Pin 7	Blanco/Marrón
Marrón	Pin 8 a Pin 8	Marrón

Este cable lo usaremos para redes que tengan "Hub" o "Switch", es decir, para unir los Pc's con las rosetas y éstas con el Hub o Switch.

NOTA: Siempre la "patilla" del conector RJ45 hacia abajo y de izqda. (pin 1) a dcha. (pin 8)

Par 3

Par 2 Par 1 Par 4



Hub o Switch

