

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO EN INGENIERÍA

**“DISEÑO DE UNA RED ETHERNET/IP PARA LA
IMPLANTACIÓN EN UN AMBIENTE INDUSTRIAL”**

WELLINGTON ANTONIO REMACHE BENAVIDES

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2009

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado denominado: “Diseño de una red Ethernet/IP para la implantación en un ambiente industrial”, fue desarrollado en su totalidad por el señor Wellington Remache bajo nuestra dirección.

Ing. Rodolfo Gordillo

DIRECTOR

Ing. Carlos Romero

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud a los ingenieros Rodolfo Gordillo y Carlos Romero quienes con sus con sus acertadas sugerencias y rectificaciones contribuyeron a la consecución y depuramiento de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres, por el respaldo incondicional que me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria.

PRÓLOGO

El presente tema de estudio se ha considerado por ser un tópico de actualidad y de gran relevancia que aportará al lector una serie de criterios sobre el diseño de una red industrial de manera que puedan servir de base en el momento de realizar una implementación. El contenido del trabajo está diseñado para ser utilizado por los ingenieros en control responsables de diseñar, implementar y dar soporte a los sistemas de control industrial que utilicen Ethernet Industrial. Se ha estructurado en cinco capítulos, en los cuales se consideran los principales factores que inciden en el diseño de una red industrial y aborda temas como: arquitectura, topología, selección de componentes, instalación, verificación y software. Asimismo, profundiza en aspectos fundamentales del networking y proporciona las más importantes alternativas al momento de elegir una bus de campo que utilice Ethernet.

CAPÍTULO 1.....	1
ETHERNET COMO UNA ARQUITECTURA INDUSTRIAL.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. BUSES DE CAMPO BASADOS EN ETHERNET	3
1.2.1. FIELD BUS FOUNDATION HSE	4
1.2.2. MODBUS TCP/IP	5
1.2.3. PROFINET.....	6
1.3 ARQUITECTURA ETHERNET Y SUS CARACTERÍSTICAS	9
1.3.1 COMPATIBILIDAD.....	10
1.3.2 DETERMINISMO Y RENDIMIENTO	10
1.3.3 SEGMENTACIÓN LÓGICA	11
1.3.4 DISPONIBILIDAD	12
1.3.5 SEGURIDAD.....	14
1.3.6 ESCALABILIDAD.....	15
1.4. DETERMINISMO CON ETHERNET INDUSTRIAL.....	16
1.5 ETHERNET / IP	17
1.6 ETHERNET/IP VISTO DESDE EL MODELO OSI	19
1.6.1. CAPA FÍSICA	19
1.6.2. CAPA ENLACE.....	20
1.6.3. CAPAS DE RED Y TRANSPORTE	21
1.6.4. CAPAS SUPERIORES	23
1.7 FORMATO BÁSICO DE LA TRAMA ETHERNET.	24
1.8 DIFERENCIAS ENTRE EL ESTÁNDAR IEEE 802.3 Y ETHERNET	27
1.9 ESTÁNDARES PARA ETHERNET	29
1.9.1. FAST ETHERNET	30
1.9.2. GIGABIT ETHERNET.....	34
1.9.3. 10 GIGABIT ETHERNET	38
CAPÍTULO 2.....	39
ENTORNO DE TRABAJO Y PLANTEAMIENTO DE LA RED	39

2.1	INTRODUCCIÓN.....	39
2.2	MODELO PURDUE PARA CONTROL JERÁRQUICO	39
2.1.1	ZONA DE SEGURIDAD	40
2.1.2	ZONA DE CÉLULA	41
2.1.3	ZONA DE MANUFACTURA	44
2.1.4	ZONA EMPRESARIAL	45
2.2	COMPONENTES DE LA RED	46
2.2.1.	HUBS ETHERNET	47
2.2.2.	BRIDGES ETHERNET	48
2.2.3.	SWITCHES ETHERNET.....	48
2.2.4.	ROUTERS.....	49
2.3.3	TOPOLOGÍAS USADAS EN LA IMPLEMENTACIÓN	50
2.3.1	TOPOLOGÍAS EN LÍNEA PASIVAS.....	50
2.3.2	TOPOLOGÍAS EN LÍNEA ACTIVAS	53
2.3.3	TOPOLOGÍA ESTRELLA	54
2.3.5	TOPOLOGÍA ANILLO.....	56
2.4	PROTOCOCOS BÁSICOS DE REDES.....	58
2.5	DIRECCIONAMIENTO IP V4.....	60
CAPÍTULO 3.....		64
SISTEMA DE CABLEADO PARA ETHERNET INDUSTRIAL.....		64
3.1	INTRODUCCIÓN.....	64
3.2	ANSI/EIA/TIA/ 568 B	65
3.2.1	CABLEADO HORIZONTAL	65
3.2.2	CABLEADO DE BACKBONE	67
3.2.3	ÁREA DE TRABAJO	68
3.2.4	ARMARIO DE TELECOMUNICACIONES.....	69
3.2.5	INFRAESTRUCTURA DE ENTRADA.....	69
3.2.6	SALA DE EQUIPOS.....	69
3.3	ANSI/TIA 1005.....	70
3.3.1	ÁREAS INDUSTRIALES	70
3.3.2	CABLEADO HORIZONTAL	71

3.3.3	CABLEADO DE BACKBONE	72
3.3.4	HARDWARE DE CONEXIÓN: COBRE	73
3.3.5	HARDWARE DE CONEXIÓN: FIBRA ÓPTICA.....	74
3.3.6	CLASIFICACIÓN DE AMBIENTES MEDIANTE MICE.....	74
3.3.7	SELECCIÓN DE CABLEADO	76
3.3.8	DISPOSITIVOS DE INTERCONEXIÓN	82

CAPÍTULO 4.....86

IMPLEMENTACIÓN EN LA CÉLULA86

4.1	INTRODUCCIÓN.....	86
4.2	CANAL.....	86
4.3	PUESTA A TIERRA Y UNIÓN	89
4.4	INSTALACIÓN DEL CABLEADO HORIZONTAL PUNTO A PUNTO	90
4.5.	ENCAMINAMIENTO DE LOS CABLES.....	91
4.6.	VERIFICACIÓN DE LA RED	94
4.7.	CERTIFICACIÓN DE LA RED.....	97

CAPÍTULO 5.....99

DISEÑO DE LA RED ETHERNET/IP99

5.1	INTRODUCCIÓN.....	99
5.2	REQUERIMIENTOS OPERATIVOS DE LA RED	100
5.3	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA RED.....	100
5.4	ARQUITECTURA.....	102
5.5	TOPOLOGÍA DE LA RED.....	106
5.6	DISEÑO FÍSICO DE LA RED.....	108
5.7	CABLEADO ESTRUCTURADO	112
5.7.1	CONSIDERACIONES GENERALES DE CABLEADO	112
5.7.2	SUBSISTEMA HORIZONTAL	113

5.8	CLASIFICACIÓN MICE.....	119
5.9	COMUNICACIÓN CON EL CONTROLADOR	121
5.10	CARGAR EL FIRMWARE DEL NUEVO CONTROLADOR	123
5.11	ASIGNACIÓN DE UNA DIRECCIÓN IP AL CONTROLADOR.	125
5.12	CONFIGURACIÓN DEL DRIVER ETHERNET	127
CAPÍTULO 6.....		129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		129
6.1	CONCLUSIONES.....	129
6.2	RECOMENDACIONES	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		132
ANEXOS		136
	TABLA DE CONVERSIÓN PARA TIEMPOS DE PROPAGACIÓN EN CABLES	137
	TABLA DE RETARDO EN LOS COMPONENTES	139
	TERMINACIÓN DEL CABLEADO HORIZONTAL	141

CAPÍTULO 1

ETHERNET COMO UNA ARQUITECTURA INDUSTRIAL

1.1.INTRODUCCIÓN

En los años 70 comenzaron a introducirse el uso de computadoras en el control de procesos, fundamentalmente para tareas de vigilancia. El computador se encargaba de supervisar las variables controladas para detectar niveles anómalos, generados entonces por las alarmas pertinentes e informes generados por el sistema. Posteriormente se comenzó a incluirlas en labores de control, ya que debido a su capacidad de cálculo podía sustituir al panel de control y tener programados los lazos de control. El principal inconveniente que se planteaba era el de tener un único punto de fallo crítico, el computador.

Con el desarrollo de la tecnología, se introducen los buses de campo que dan lugar al desarrollo del control distribuido, en este tipo de esquema, un PLC o un microcontrolador gestionan una o más variables del sistema realizando un control discreto de las mismas. Estos

equipos de control local se comunican con otros elementos del mismo nivel y con el nivel superior de supervisión. El fallo de un elemento de nivel superior no compromete necesariamente el funcionamiento de los equipos de control local, minimizando su incidencia en el sistema.

Los sistemas distribuidos introdujeron diversas ventajas respecto a los sistemas previos, a saber: eran conceptualmente más sencillos y por tanto más fáciles de diseñar, mantener, subcontratar y modificar. También mejoraron la tolerancia a fallos de las aplicaciones así como su rendimiento global.

Esta sustitución de los antiguos sistemas centralizados por nuevos sistemas distribuidos introdujo cambios considerables. Por un lado, fueron apareciendo dispositivos de control de mejores prestaciones con mayores posibilidades de comunicación. Estos nuevos dispositivos estaban optimizados para resolver los problemas que aparecían en los entornos industriales.

Además, eran reprogramables, de mantenimiento sencillo y relativamente barato, reduciendo el precio global de los sistemas de control. Por otro lado, también se introdujeron mejoras en las interfaces de usuario utilizadas por los operadores. Los sistemas distribuidos permitían utilizar nuevos dispositivos dedicados a las aplicaciones de supervisión. Así, se liberaba a los dispositivos de control de las tareas de presentación de los datos de proceso, permitiendo el uso de interfaces gráficas potentes que facilitaban el aprendizaje de las aplicaciones a los operadores de planta. En esta línea aparecieron los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) actuales que se ejecutan sobre ordenadores de control de producción.

Sin embargo, la comunicación entre el diverso equipamiento de control y de diferentes fabricantes, presentaba ciertas dificultades. Por ello, los primeros sistemas de control distribuido se basaban en soluciones propietarias, en las que cada fabricante solucionaba los problemas de comunicación entre sus dispositivos de control, dando lugar a las llamadas islas de automatización. Se trataba de procesos automatizados en los que era posible que todos los dispositivos que los formaban pudiesen intercambiar información de manera sencilla y fiable.

No obstante, resultaba complejo acceder a dispositivos de otras islas de automatización. En realidad, aunque en teoría, la comunicación entre dispositivos de diferentes islas de automatización era posible, lo habitual era que hubiera problemas de incompatibilidad entre los protocolos propietarios utilizados en las distintas islas de automatización. Ello convertía la integración de dispositivos situados en distintas islas de automatización en un problema difícil y de cara solución. Para evitar estos problemas, era frecuente que los usuarios dependiesen de un único fabricante, viéndose obligados a adquirir las soluciones que dicho fabricante ofrecía para todos los niveles productivos de la empresa.

Uno de los obstáculos para la rápida adopción de la tecnología de buses de campo es la falta de estandarización. Muchos clientes expresaron la necesidad de un bus de campo estandarizado, dada la poca flexibilidad de estas soluciones se crearon varias alianzas que competían entre sí, para crear un bus de campo abierto que tuviera las posibilidades de convertirse en norma. El resultado es que hoy en día existen una gran cantidad de estándares de buses de campo de tecnología abierta.

1.2.BUSES DE CAMPO BASADOS EN ETHERNET

Un bus de campo es un sistema full dúplex digital de transmisión de datos, que conecta dispositivos de campo y sistemas de automatización inteligentes con la red de una planta industrial. El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional bucle de corriente de 4-20 mA. Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y sensores. Cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, que lo convierte en un dispositivo inteligente, manteniendo siempre un costo bajo. Cada uno de estos elementos será capaz de ejecutar funciones simples de diagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus.

1.2.1. FIELDBUS FOUNDATION HSE

Fieldbus Foundation HSE es un estándar abierto que usa para la transmisión de información “bloques funcionales”, (denominación usada en sentido general para referirse a los bloques). Existen bloques funcionales para representar datos del sistema y funciones del mismo. Se define principalmente tres tipos de bloques:

Bloques de recursos: Describe las características del dispositivo como: el nombre, el fabricante o el número de serie. También sirve para configurar parámetros que afectan al dispositivo en su conjunto.

Bloques de transductor: Permite configurar los sistemas E/S de cada dispositivo. Contiene información como la calibración o el tipo de sensor.

Bloques funcionales: Establecen la estrategia de control realizando las operaciones del sistema, cálculos numéricos, PID, adquisición de datos o accionamientos de actuadores.

A diferencia de Fieldbus Foundation H1 que trabaja a nivel de dispositivos de campo, HSE ha sido diseñado para manejar dispositivos que poseen algún tipo de inteligencia como controladores, estaciones de trabajo y en general con dispositivos de alta velocidad. HSE se basa en Ethernet y maneja velocidades de 100 Mbps y 1 Gbps [1]. Su tiempo de respuesta es de “algunos milisegundos”.

Se describen dos tipos de comunicaciones para HSE, comunicaciones programadas, a través de publicador/suscriptor y comunicaciones no programadas, en modalidad cliente/ servidor o notificación de eventos.

La capa de aplicación utiliza un protocolo sofisticado, orientado a objetos con múltiples formatos de mensaje. Distingue entre dispositivos con capacidad de arbitraje (Link Master) y normales (Basic Device). De esta manera, en un bus pueden estar presentes varios “Link Masters” pero en cada momento un solo Link Master arbitra el bus. En caso de falla un

controlador principal LAS (Link Active Scheduler), éste puede ser sustituido por otro en caso de fallo. Utiliza diversos mensajes para gestionar comunicación por paso de testigo, comunicación cliente-servidor, modelo productor-consumidor, etc. Existen servicios para configuración, gestión de diccionario de objetos en nodos, acceso a variables, eventos, carga y descarga de ficheros, ejecución de aplicaciones, etc. La codificación de mensajes se define según ASN 1.

1.2.2. MODBUS TCP/IP

Modbus TCP/IP es una variante del protocolo Modbus que permite utilizarlo sobre la capa de transporte TCP/IP. Se caracteriza por su simplicidad, bajo costo de implementación, requerimientos mínimos en cuanto a hardware y por ser un protocolo abierto. La interfaz de comunicación Modbus se articula en torno a mensajes. El formato de estos mensajes Modbus es independiente del tipo de interfaz física utilizada. Modbus puede implementarse sobre cualquier línea de comunicación serie y permite la comunicación por medio de tramas binarias o ASCII con un proceso pregunta - respuesta. Tanto para la interfaz Modbus RS-232 como en Modbus / TCP usan mensajes a través de Ethernet. El mismo protocolo se puede utilizar independientemente del tipo de conexión. Debido a esto, Modbus da la posibilidad de actualizar fácilmente la estructura del hardware de una red industrial, sin necesidad de grandes cambios en el software. Un dispositivo también puede comunicarse con Modbus a varios nodos a la vez, incluso si están conectados con diferentes tipos de interfaces, sin necesidad de utilizar un protocolo diferente para cada conexión [2].

En la capa de aplicación Modbus es una aplicación de mensajería para comunicaciones cliente - servidor entre los diferentes dispositivos conectados a diferentes tipos de buses o redes. Cada mensaje Modbus tiene la misma estructura. Cuatro elementos básicos están presentes en cada mensaje. La secuencia de estos elementos es el mismo para todos los mensajes, para que sea fácil de analizar el contenido del mensaje Modbus. Una conversación siempre es iniciada por un maestro en la red Modbus. Un dispositivo Modbus maestro envía un mensaje -y dependiendo del contenido del mensaje- un dispositivo esclavo pasa la acción y responde a ella. No puede haber más de un maestro en una red Modbus. Dirigiéndose a la cabecera del

mensaje, esta se utiliza para definir el dispositivo que debe responder a un mensaje. Todos los demás nodos en la red Modbus ignoran el mensaje si el campo de dirección no coincide con su propia dirección.

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Dirección del dispositivo	Dirección del receptor
Código de la función	Código definiendo el tipo de mensaje
Datos	Bloque de datos con información adicional
Chequeo de errores	Valor de chequeo numérico para probar errores de comunicación.

Tabla. 1. 1. Formato de un mensaje Modbus

Actualmente, Modbus se usa implementado en: TCP/IP sobre Ethernet, transmisión serial asincrónica sobre una variedad de medios (alambre: EIA/TIA-232-E, EIA-422, EIA/TIA485-A, fibra, etc) y Modbus con paso de testigo. En teoría, ModBus TCP/IP transporta datos por alrededor de un 60 % de eficacia cuando se transfieren registros en bloque a una velocidad de 1.25 Mbps si se utiliza 10 Base T.

1.2.3. PROFINET

Profinet es un protocolo se concibe bajo el criterio de unificar la automatización industrial y las redes de tecnología de la información. Profinet es una solución de automatización distribuida que se aplican a los sistemas basados en Ethernet que integran los buses de campo existentes sin modificarlos como Profibus. Dentro del modelo de comunicación de Profinet se definen tres canales, cada uno con distintas prestaciones y acorde a las necesidades del usuario [2].

Modelo TCP/IP y UDP/IP. La transferencia de datos se realiza mediante TCP/IP y UDP/IP, en este modelo el tiempo no constituye un factor crítico. Se usa en la distribución de

componentes Profinet CBA (Component Based Automation) y tiene tiempo de ciclo de 100 ms.

Tiempo real flexible (SRT/RT). En este canal se realiza la transferencia de información cuando los datos del proceso son un factor crítico, por ejemplo, alarmas o datos cíclicos. La comunicación en tiempo real tiene una mayor prioridad que (TCP/UDP)/IP y representa la base de la comunicación para una distribución de componentes para Profinet CBA y Profinet IO. La transmisión en esta modalidad tiene prestaciones mejoradas y permite tiempos de respuesta entre 1 y 10 ms. De igual forma, se reduce considerablemente la potencia del procesador necesaria en el dispositivo para la comunicación. En función de las prioridades de la red se realiza un control de flujo de datos entre dispositivos para lo cual se establece prioridad en la entrega de paquetes mediante 802.1 Q.

Tiempo real isócrono (IRT). Se utiliza para aplicaciones con tiempos de ciclo de menor a 1 ms y jitter de menos de 1 μ s, como por ejemplo, control de movimiento y aplicaciones en el área manufacturera. Para este propósito, el ciclo de comunicaciones se divide en una parte determinista y otra abierta. La transmisión de los telegramas IRT cíclicos se realiza por el canal determinista; mientras que por el canal abierto se transmiten los telegramas TCP/IP e RT. De esta manera, los dos tipos de transmisión coexisten sin interferir entre sí.

BUS DE CAMPO	METODOS DE COMUNICACIÓN	SEGURIDAD INTRINSECA	MEDIOS REDUNDANTES	ALIMENTACION POR EL BUS
Fielbus	cliente/servidor productor/consumidor	Si	Si	Si
Profibus	maestro/esclavo punto a punto multimaestros	Si (solo PA)	Si (Fibra óptica)	Si
Modbus	maestro/esclavo Mplus :punto a punto	Si Mplus: No	No	No
DeviceNet	maestro/esclavo punto a punto multimaestros	No	No	Si
ControlNet	maestro/esclavo multimaestros	Si	Si	Si
EtherNet/IP	Punto a punto Fuente/Destino	No	No	No

Tabla 1.2. Mecanismos de transporte

NOMBRE	TOPOLOGÍA	MEDIO FÍSICO	MÁXIMO DISPOSITIVOS	TASA DE TRANSMISIÓN	DISTANCIA MAX. KM		COMUNICACIÓN
Profibus DP	Línea, estrella y anillo	par trenzado, fibra óptica	127/seg	hasta 1.5 M M	12	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus PA	Línea, estrella y anillo	par trenzado, fibra óptica	1440/seg	31.5 K		0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS	Línea, estrella y anillo	par trenzado, fibra óptica	127/seg	500 K		0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Foundation Fiedbus HSE	Estrella	par trenzado, fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	100 M		0.1 par trenado 2 fibra	Single/multimaster
Foundation Fiedbus H1	Estrella o bus	par trenzado, fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	31.2 K		1.9 cable	Single/multimaster
Modbus RTU	Línea, estrella, árbol, red con segmentos	par trenzado, coaxial, radio	250 p/segm	1.2 A 115.2 K		0.35	Master/Slave
EtherNet Industrial	bus, estrella, malla-cadena	par trenzado, coaxial, fibra óptica	400 p/segm	10, 100 M		0.1 100 mono c/switch	Master/Slave peer to peer
Hart		par trenzado	15 p/segm	1.2 K			Master/Slave

Tabla. 1.3. Características de algunos buses de campo y protocolos

1.3 ARQUITECTURA ETHERNET Y SUS CARACTERÍSTICAS

Una arquitectura de referencia es fundamental en la organización de un sistema, las relaciones entre sus componentes y los principios que rigen su diseño y evolución. Una arquitectura ofrece a sus clientes un marco para la optimización de sus recursos técnicos en apoyo de su actividad empresarial.

Una arquitectura de referencia se enmarca dentro de los siguientes lineamientos y necesidades:

- Contener un conjunto de principios que permitan orientar el diseño e implementación de la red, estableciendo relaciones entre los componentes de la red y el control de la misma.
- Consideraciones únicas para entornos tradicionales de TI de una empresa.
- Únicos protocolos y uso de distintivos del tráfico multicast.
- Determinismo y necesidades en tiempo real.
- Diferente disponibilidad y consideraciones de seguridad.
- Un significativo aumento de los protocolos de automatización basados en Ethernet que sobrelleven la necesidad de switching, enrutamiento y seguridad.

En una arquitectura de referencia se debe incorporar los conocimientos y experiencia de la tecnología de la información (TI) y control de producción para hacer frente a las consideraciones únicas de diseño y los desafíos de las modernas instalaciones de producción de las redes industriales actuales. Se ha incluido un conjunto de atributos claves para una arquitectura de referencia de Ethernet Industrial entre los cuales incluimos.

1.3.1 COMPATIBILIDAD

En una arquitectura de Ethernet Industrial deben funcionar las tecnologías de red estándar e infraestructura que así lo especifique y considerar las diversas opciones de configuración y gama de servicios de las tecnologías de red estándar para apoyar a las aplicaciones de automatización y control.

La solución de arquitectura de red necesita mostrar la compatibilidad con los protocolos de Industrial Ethernet (IE), modelos de comunicación y las aplicaciones que corren sobre ella. Eso normalmente significa apoyar a los tipos de tráfico que generan (por ejemplo: TCP, UDP, multicast y unicast), así como las funciones y características que esperan de la red (por ejemplo: la calidad de servicios, QoS).

Hay un gran número de tipos de tráfico que pueden existir en una red Ethernet Industrial. Se incluyen protocolos de automatización y control (por ejemplo, CIP, Modbus / TCP u OPC), así también, los protocolos comunes, tales como: navegación web (HTTP), transferencia de archivos (FTP) y muchos otros.

1.3.2 DETERMINISMO Y RENDIMIENTO

En aplicaciones de automatización industrial la comunicación en tiempo real es un factor preponderante, ya que a pie de fábrica los controladores tienen que acceder a los datos en el sistema operativo, dispositivos E/S y estaciones de trabajo. En una situación normal los softwares dejan al usuario esperando mientras realizan su trabajo, pero en una planta todo es distinto aquí el tiempo es crucial y ello requiere una comunicación en tiempo real. Los procesos industriales requieren a menudo tiempos de acceso de 5 a 20 ms y algunos procesos industriales hasta de 2 a 5 ms [3].

Las conocidas características en tiempo real como latencia, jitter, pérdida de paquetes deben aplicarse a Ethernet para que sea implementado con éxito en la automatización de la red.

Consideraciones claves de determinismo / rendimiento incluyen:

- Considerar el número de switches, routers y cantidad de tráfico en la red de Nivel 2, que afecta la latencia y jitter.
- Relación de los puertos LAN a los puertos de enlace ascendente basado en las cargas de tráfico y patrones. Normalmente, implica usar 10/100 Mbps para los dispositivos y 10/100/1000 Mbps para uplinks.
- Aplicación de la Calidad de Servicio (QoS), para centrar los recursos de la red en la prioridad del tráfico y limitar el impacto de tráfico de la otra red que tiene los sistemas de automatización y control.
- Congestión del tráfico de la red, cuando un enlace es superior a lo dimensionado, esto puede ocurrir más fácilmente en diversas topologías (por ejemplo: trunk drop o anillo).
- El uso del protocolo Internet Group Management para gestionar la entrega eficiente de tráfico multicast.
- Reducción excesiva del protocolo Spanning Tree y otro control de tráfico de red para evitar la inundación del ancho de banda de los dominios de capa 2.
- Usar el Precision Time Protocol (PTP), tal como se define en IEEE 1588. Este protocolo se utilizará en aplicaciones CIP Motion y en CIP Sync.

1.3.3 SEGMENTACIÓN LÓGICA

Es importante segmentar el tráfico debidamente. Con ello no solo se simplificará la administración de la red, sino que se maximizará la disponibilidad de las redes de control y de conexión principal. En este nivel también se pueden solucionar los problemas de seguridad. La segmentación puede hacerse de dos formas: físicamente,

mediante un conmutador o lógicamente, mediante la creación de segmentos con una red de área local virtual (VLAN) o subredes IP.

La segmentación lógica es un requisito en las arquitecturas de las redes Ethernet Industriales puesto que estas pueden generar tráfico que no es fácilmente compatible con el tráfico de la empresa y viceversa.

La segmentación lógica incluye características importantes como:

- Utilice zonas físicas adicionales para segregar los controles de la red de fabricación desde la red TI corporativa, especialmente a:
 - Detener la mezcla de tráfico incompatible.
 - Crear claros límites administrativos para la gestión de la organización y control de configuración entre las diferentes zonas.
 - Establezca zonas seguras y sin peligro para compartir datos y servicios entre las diferentes zonas.
- Limite el número de dispositivos de nivel 2 por dominio a los dispositivos que deben comunicarse unos con otros para mantener más control sobre características de funcionamiento y desarrollar un modelo de seguridad más modular.
- Utilizar LAN virtuales (VLANs) para crear estructura lógica en torno a los dominios de nivel 2.
- Utilice routers /switches de capa 3 para capa física.

1.3.4 DISPONIBILIDAD

La disponibilidad del sistema de automatización tiene una correlación directa con la eficiencia operativa de una planta de producción. Las redes basadas en Ethernet Industrial usan una tecnología de conmutación inteligente que puede ofrecer una variedad de ventajas comparadas con las redes tradicionales industriales. El manejo de tráfico de información de manera inteligente, priorizando los diferentes tipos de tráfico

faculta a la red la compartición del medio para múltiples aplicaciones. Esta característica esencial diferencia a IE de otros protocolos comunicación [4].

Cabe señalar que las limitaciones en la tecnología de red también pueden limitar la aplicación de las características de alta disponibilidad. Por ejemplo, la incapacidad de la red de converger con la suficiente rapidez y el costo asociado con cableado redundante a menudo han dado lugar a las topologías no redundantes que están siendo implementadas en entornos de redes industriales.

Las consideraciones de disponibilidad incluyen:

- Creación de rutas alternativas de comunicación de datos, independientemente de la disposición física. Riesgo, perfil, costo y otras variables que determinan cuánto y en qué nivel las rutas redundantes son obligatorias.
- Con las operaciones críticas considerar la eliminación de puntos únicos de fallo, incluyendo cosas como: fuentes duales de alimentación, segundo conducto, núcleo redundante para la red de control de fabricación e infraestructura de la red como routers / switches, firewalls, etc.
- Uso de una red avanzada y técnicas de convergencia para mejorar la disponibilidad de la red: Etherchannel para uplinks, trunks (conexión troncal) entre los sistemas redundantes, 802.1w Rapid Spanning Tree Protocolo (RSTP), protocolos de enrutamiento Hot-Standy (por ejemplo, Virtual Router Redundancy Protocolo - VRRP), etc.
- Uso de configuraciones de enrutamiento y protocolos (por ejemplo, OSPF) para mantener la capacidad de enrutamiento en el caso de que el enlace o dispositivo falle.

1.3.5 SEGURIDAD

La tecnología Ethernet proporciona una amplia gama de medidas de seguridad de la red para mantener la disponibilidad, integridad y confidencialidad de los sistemas de automatización y control. La disponibilidad consiste en mantener un sistema de automatización y control operativo, la integridad radica en proteger los datos de los sistemas de intencionales o accidental modificaciones y la confidencialidad ayuda a asegurar que los datos no pueden ser accedidos por usuarios no autorizados.

Al igual que con cualquier característica del sistema, la seguridad se mantiene por medio de un ciclo de diseño, ejecución, mantenimiento y mejora. La seguridad y políticas de administración son un factor clave para el desarrollo de bases sólidas de la seguridad de la red. Una vez que la política de seguridad se define, hay una serie técnicas disponibles para la aplicación de la política. Entre las principales tenemos:

Configuración de VLANs: Una VLAN es un grupo de dispositivos en una o más redes físicas que se configuran la red a fin de que puedan comunicarse como si estuvieran conectado al mismo cable, cuando en realidad se encuentran en un número de segmento diferente de LAN. Las VLAN forman un nivel básico de la segmentación en que una política de seguridad se puede aplicar.

Control de acceso y autenticación: El control de acceso se realizará mediante firewalls o controles de red protegiendo el acceso a aplicaciones críticas, dispositivos y los datos de modo que sólo los usuarios autorizados puedan tener acceso a la información de la red.

Cortafuegos: Un firewall regula el tráfico de red entre las distintas redes. Los firewalls inspeccionan todos los aspectos del tráfico que fluye entre las redes, incluso la inspección de los datos contenidos de un paquete - proceso conocido como de inspección profunda de paquetes - y el mantenimiento de la información de estado del

tráfico de la red. Un firewall puede estar basado en hardware o software. Los firewalls se aplican en los principales puntos de riesgo en las redes. Por ejemplo, en la interface de las redes de fabricación con las redes de empresas o entre la empresa y la red Internet.

Zona desmilitarizada (DMZ): Una zona desmilitarizada o red perimetral es una red local que se ubica entre la red interna de una organización y una red externa, generalmente Internet. El objetivo de una DMZ es que las conexiones desde la red interna y la externa a la DMZ estén permitidas, mientras que las conexiones desde la DMZ sólo se permitan a la red externa -- los equipos (hosts) en la DMZ no pueden conectar con la red interna. Esto permite que los equipos (hosts) de la DMZ puedan dar servicios a la red externa a la vez que protegen la red interna en el caso de que intrusos comprometan la seguridad de los equipos (host) situados en la zona desmilitarizada. Para cualquiera de la red externa que quiera conectarse ilegalmente a la red interna, la zona desmilitarizada se convierte en un callejón sin salida.

1.3.6 ESCALABILIDAD

Una arquitectura escalable es aquella que tenga la capacidad de incrementar su rendimiento sin que tenga que rediseñarse y simplemente aproveche el hardware adicional que se le apronte [5].

Escalabilidad incluyen consideraciones clave como:

- Dimensionamiento de la infraestructura de red y proyección de expansión.
- Enlace de agregación para lograr mayores requisitos de ancho de banda.
- Esquema de direccionamiento IP y el mecanismo de asignación.
- Consideraciones de mantenimiento y gestión de la red.

1.4.DETERMINISMO CON ETHERNET INDUSTRIAL

Ethernet Industrial es por su comportamiento una red no determinista. Esta característica se deriva de la naturaleza estocástica de su mecanismo de recuperar colisiones mediante el algoritmo BEB, (Binary Exponential Backoff). Presenta un comportamiento inadecuado para aplicaciones de control sometidas a tráfico moderado y pesado. Cuando la carga de la red aumenta sobre el 50 % se produce lo que se llama el efecto “trashing”. Es decir, a medida que aumenta la carga el rendimiento de la red disminuye (throughput), y los retrasos máximos inducidos aumentan de forma aleatoria según aumenta la carga. Como consecuencia de este efecto se presentan tasas elevadas de pérdidas de paquetes, inclusive llegando al extremo que el sistema puede fallar completamente. Un paso importante para lograr el comportamiento determinista de las redes Ethernet es eliminar el tiempo aleatorio introducido por CSMA/CD en el arbitraje del bus. Estos efectos que degradan la red pueden ser evitados al usar tecnología de switches de última generación (IGMP Snooping, 802.1 P, 802.1Q y transmisión full dúplex). Al usar redes conmutadas, el switch microsegmenta la red dividiendo el dominio de colisión en simples enlaces punto a punto entre los componentes de la red y las estaciones, cada nodo ve un dominio privado. Por otro lado, si dos dispositivos deciden transmitir al mismo tiempo, será el switch quien almacena temporalmente uno de los paquetes para retransmitirlo después, evitando así la colisión. De esta manera, las colisiones se eliminan y el algoritmo “backoff” ya no es necesario. Por lo tanto, en una red conectada enteramente mediante mecanismos de almacenamiento y retransmisión los retardos medidos se minimizan, haciéndose casi independientes de la cantidad de tráfico manejado por la red y reduciéndose drásticamente el caso de cargas elevadas. Entonces, la red deja de ser inestable ya que no se va a descartar ningún paquete en el nivel de red.

Particularmente, cuando se usa en la transmisión redes basadas en EtherNet/IP, éstas se caracterizan por la ingente generación de tráfico multicast producido el sistema de intercambio de datos cíclicos entre dispositivos EtherNet/IP. Algunos dispositivos EtherNet/IP son capaces de generar hasta 5000 paquetes por segundo. Normalmente, los switches Ethernet de capa dos retransmiten los paquetes de broadcast, unicast o

multicast a todos los puertos del switch. Esta inundación de la red sumada a falta de priorización del tráfico puede degenerar en un consumo excesivo del ancho de banda.

Actualmente como solución al tráfico multicast generado por EtherNet/IP los switches industriales Ethernet presentan características filtering. La priorización de tráfico (802.1 P), es una característica importante en las redes industriales puesto que proporciona la habilidad al switch de establecer ocho niveles de tráfico. Se asigna niveles del 0 al 7 para describir la prioridad, con el nivel 7 se designa al nivel de prioridad más alta. Por lo tanto, cuando se produce una congestión en la red, los paquetes que se consideran de mayor prioridad reciben un trato preferencial, mientras que los paquetes de baja prioridad se mantendrán en la cola. Otra característica importante es 802.1 Q, la cual permite la creación de VLANs en el switch, permitiendo el aislamiento del tráfico entre las distintas redes. Esta característica es particularmente importante para limitar los paquetes broadcast y multicast de las respectivas VLAN, para que no afecten a las otras VLAN.

Además de los parámetros anteriormente expuestos existen otros factores que influyen el desempeño en tiempo real de una red conmutada Ethernet, entre los cuales podemos citar: el número de estaciones, la topología empleada, la capacidad de transmisión del enlace, el tiempo de procesamiento de las estaciones [6].

1.5 ETHERNET / IP

EtherNet/IP al igual que otras redes CIP sigue el modelo Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI), que define un marco para la aplicación de protocolos de red en siete capas: física, enlace de datos, red, transporte, sesión, presentación y aplicación. Como ocurre con todas las redes CIP, Ethernet/IP implementa CIP en las capas superiores y adapta CIP a las especificaciones de la tecnología EtherNet / IP a las capas inferiores.

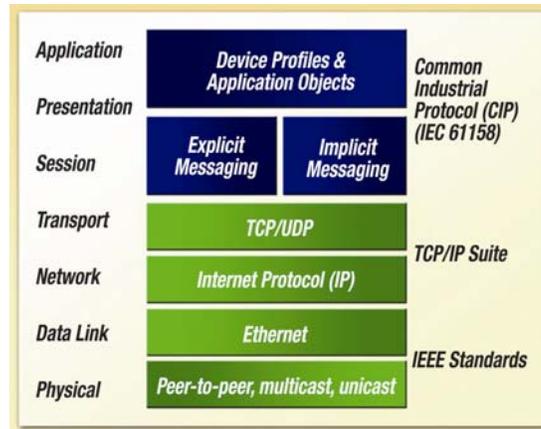


Figura. 1. 1. Adaptación de EtherNet/IP a CIP

La principal diferencia entre Industrial Ethernet y Ethernet tradicional es el tipo de hardware utilizado. El equipo para Industrial Ethernet está proyectado para funcionar en ambientes agresivos. Incluye componentes industriales con categoría, diseñados para funcionar a temperaturas extremas, vibraciones y golpes. Los requisitos de alimentación en entornos industriales difieren de las redes de datos, por lo que el equipo trabaja utilizando 24 VDC. Para maximizar la disponibilidad de la red, el equipo de Industrial Ethernet también incluye características de tolerancia a fallos como suministro de energía redundante. El equipo es modular, a fin de satisfacer las necesidades muy diferentes de una fábrica.

Ethernet tiene la singular característica de ser una red de infraestructura activa. Por tanto, a diferencia del nivel de las redes de control, (que generalmente tienen una infraestructura pasiva que limita el número de dispositivos que pueden conectarse y la forma en que puede estar conectados), la infraestructura de red EtherNet / IP puede acomodar teóricamente un número ilimitado de nodos punto a punto, proporcionando a los usuarios flexibilidad en el diseño de redes para acomodar sus necesidades actuales.

Para disminuir aún más la complejidad, los sistemas EtherNet/IP sólo requieren un único punto de conexión tanto para la configuración y control, porque EtherNet/IP soporta tanto mensajes I/O (o implícito) -que normalmente contienen tiempo como factor crítico

de control de datos- y mensajes explícitos -aquellos en los que el campo de datos contienen información de protocolo y las instrucciones para el rendimiento de los servicios-. Soporta múltiples jerarquías de comunicación y prioridad de mensajes, EtherNet/IP ofrece más eficiente uso del ancho de banda que un dispositivo de red basado en un modelo fuente - destino. Los sistemas EtherNet/IP pueden ser configurados para funcionar bien en modo maestro/esclavo o control distribuido utilizando comunicación peer to peer.

1.6 ETHERNET/IP VISTO DESDE EL MODELO OSI

1.6.1. CAPA FÍSICA

EtherNet / IP usa el estándar IEEE 802.3 en las capas física y de enlace de datos. Este estándar proporciona una especificación para los medios físicos, define un formato de trama para el intercambio de paquetes de datos entre dispositivos y un conjunto de reglas para determinar cómo deben responder los dispositivos de red cuando dos dispositivos intentan utilizar un canal de datos simultáneamente. Esto se conoce como CSMA / CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection). Ethernet / IP es una red de infraestructura activa, la cual está configurada mediante una serie de segmentos de red construidos por conexiones punto a punto en una configuración de estrella. El núcleo de esta topología de la red es una interconexión de switches EtherNet de capa 2 y capa 3, que como se ha mencionado anteriormente, puede alojar un número ilimitado nodos punto a punto.

Típicamente se usa un backbone de switches, en el que cada uno aísla una máquina o una parte importante de una máquina, los cuales están conectados con cables de fibra óptica a 100Mbps. Los otros puertos del switch pueden conectarse utilizando par trenzado o cables de fibra a los dispositivos de control o proceso de fabricación. En un nivel más alto, la red Ethernet/IP puede ser aislada (no conectados directamente a la red

de la empresa) o no aislados, en el sentido de la red está bien conectada o integrada a la red de la empresa.

1.6.2. CAPA ENLACE

La especificación IEEE 802.3 es el estándar utilizado para la transmisión de paquetes de datos de dispositivo a dispositivo en capa de enlace de datos para EtherNet/IP. Ethernet emplea CSMA / CD como mecanismo de control de acceso al medio que determina cómo los dispositivos conectados en red comparten un mismo bus (por ejemplo: cable), y cómo detectar y responder a las colisiones de datos.

En sus inicios Ethernet utilizaba una comunicación half-dúplex, lo que no permitía enviar y recibir datos simultáneamente, pero con el devenir de los años y las exigencias de las aplicaciones en tiempo real se evolucionó a la tecnología full dúplex con lo que se permite un intercambio de información simultánea y se evita las colisiones de datos.

El protocolo de control de acceso al medio (MAC) de la especificación IEEE 802.3, permite a los dispositivos "comunicarse" en la red Ethernet. Cada dispositivo tiene una única dirección MAC compuesta por un número de 6 bytes que está regulado por el IEEE y el fabricante del producto para mantener la singularidad. Esta dirección MAC se utiliza en el campo dirección de origen (Source Address) de la trama, para indicar qué nodo envía la trama, y se utiliza en el campo dirección de destino (Destination Address) para indicar el destino de la trama. Poner el primer bit a un "1" en el campo DA indica un paquete de datos es para múltiples destinatarios, y permite a un nodo Ethernet para transmitir un único paquete de datos por broadcast a los distintos destinatarios.

Una trama de Ethernet / IP puede contener hasta 1500 bytes de datos, dependiendo de los requerimientos de la aplicación.

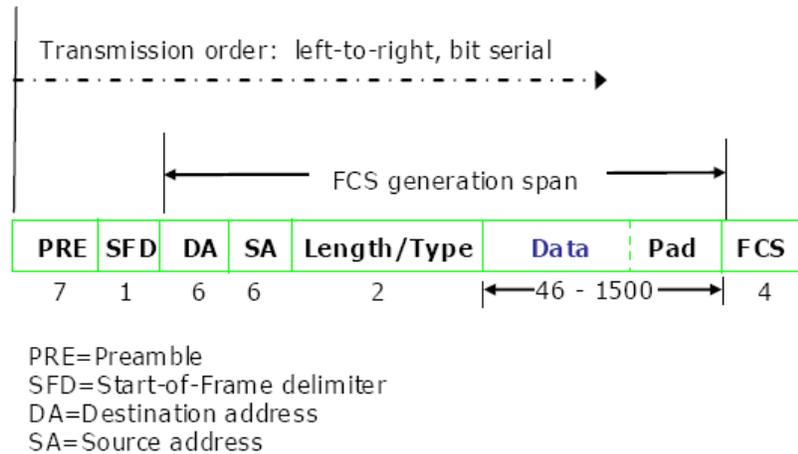


Figura. 1. 2. Trama EtherNet/IP

1.6.3. CAPAS DE RED Y TRANSPORTE

En las capas de red y transporte, Ethernet/IP utiliza el estándar de Internet conocida como Protocolo de Control de Transmisión / Protocolo de Internet (TCP / IP) para enviar mensajes entre uno o más dispositivos. TCP / IP proporciona las características necesarias de un protocolo de comunicación para aplicar plenamente las funciones de red (es decir, un esquema de direccionamiento y mecanismos para establecer una conexión con un dispositivo y el intercambio de datos), que las especificaciones IEEE en sí mismo carecen.

Además en estas capas el estándar mensajes CIP utilizados por todas las redes CIP son encapsulados. La encapsulación TCP / IP permite a un nodo en la red incrustar un mensaje como parte de los datos en un mensaje Ethernet. El nodo envía el mensaje – protocolo TCP/IP con el mensaje dentro- a un chip de comunicación Ethernet (la capa de enlace de datos). Mediante el uso de TCP / IP, Ethernet / IP es capaz de enviar mensajes explícitos, que se utilizan para realizar transacciones tipo cliente-servidor entre nodos.

El TCP / IP se compone de lo siguiente:

- TCP que es un protocolo orientado a conexión, es un mecanismo de transporte unicast que proporciona control de flujo de datos, fragmentación, reensamblaje y reconocimientos de mensaje. Los nodos deben interpretar cada mensaje, ejecutar la tarea pedida y generar respuestas. TCP es ideal para la transmisión fiable de los grandes cantidades de datos; Ethernet/IP utiliza TCP / IP para encapsular los mensajes explícitos CIP, los cuales son generalmente usados para transmitir la configuración, diagnóstico y datos de eventos.
- IP es el mecanismo que permite el enrutamiento de paquetes a través de los múltiples caminos posibles. La capacidad de enviar mensajes a sus destinos aun cuando la principal ruta de acceso se interrumpe es la base de la Internet. Este mismo tipo de enrutamiento se utiliza en redes industriales para mantener la separación adecuada de los elementos de control y la infraestructura de la fábrica a través de la utilización de la gestión de los switches de capa 3 y routers. Todos los dispositivos y componentes de la infraestructura con capacidades de diagnóstico (switches y routers) en un sistema basado en Ethernet Industrial a los cuales deben asignarse una dirección IP. Esto es más comúnmente identificado por los cuatro bytes de dirección que aparece en la " propiedades de red " en los ordenadores personales que utilizan TCP / IP como su conexión de red Ethernet (por ejemplo, 192.137.1.11). Las direcciones IP deben ser única y jerárquica en una determinada red.

La mensajería en tiempo real, Ethernet / IP también se emplea UDP sobre IP, que permite a los mensajes ser multicast a un grupo de direcciones de destino. Así es como CIP E/S hace las transferencias de datos (mensajes implícitos) que se envían en EtherNet / IP. Con mensajes implícitos, el campo de datos no contiene ninguna información de protocolo, sólo los datos E/S en tiempo real. Desde que el significado de dato es pre-definido en el momento en que la conexión está establecida, el tiempo de procesamiento se reducen al mínimo durante tiempo de ejecución. UDP es un protocolo no orientado a la conexión y no da ninguna garantía de que los datos llegarán de un dispositivo a otro. Sin embargo, los mensajes UDP son más pequeños y se pueden procesar más rápidamente que los mensajes explícitos. Como resultado de ello, Ethernet

/ IP usa UDP / IP para el transporte de los mensajes de E/S que normalmente contienen tiempo como un factor crítico de control de datos. El mecanismo de conexión CIP dispone de un timeout que puedan detectar problemas de entrega de datos, una capacidad que es esencial para la confiabilidad de los sistemas de control

1.6.4. CAPAS SUPERIORES

EtherNet/IP usa el Protocolo de Control e Información (CIP). Un protocolo estrictamente orientado a objetos en las capas superiores. Cada objeto CIP tiene atributos (datos), servicios (comandos) y comportamientos (reacciones a los eventos). El modelo de comunicación productor - consumidor CIP proporciona un uso más eficiente de los recursos de la red que un modelo fuente-destino al permitir el intercambio de información entre el dispositivo de envío (por ejemplo: el productor) y muchos dispositivos de recepción (por ejemplo: los consumidores), sin necesidad de datos que deban transmitirse varias veces desde un único origen a múltiples destinos. En las redes productor - consumidor, un mensaje se identifica por su ID de conexión, no por su dirección de destino (como es el caso de de las redes fuente-destino). Por lo tanto, el modelo productor-consumidor proporciona una clara ventaja para usuarios CIP de las redes haciendo uso eficiente de los recursos de la red de las siguientes maneras:

- Si un nodo quiere recibir datos, sólo tiene que pedir una vez a los consumidores los datos cada vez que estos se generan.
- Si un segundo (tercero, cuarto, etc.) nodo quiere los mismos datos, todo lo que necesita saber es el ID de conexión para recibir los mismos datos al mismo tiempo con todos los demás nodos.

CIP también incluye "tipos de dispositivo" para los que hay "perfiles de dispositivo". Para un determinado tipo de dispositivo, el perfil de dispositivo a especificar es el conjunto de objetos que el CIP debe aplicar y las opciones de configuración de los formatos E / S de datos. Esta coherencia en la implementación de objetos para un

dispositivo ofrece otra ventaja para los usuarios de redes CIP mediante la promoción de una interfaz común de aplicación para un determinado tipo de dispositivo y la interoperabilidad en las redes compuesta de dispositivos de múltiples proveedores.

1.7 FORMATO BÁSICO DE LA TRAMA ETHERNET.

La estructura de la trama de Ethernet agrega encabezados y colas a la PDU de Capa 3 para encapsular el mensaje que se envía. Tanto el encabezado como la cola de Ethernet tienen varias secciones de información que el protocolo Ethernet utiliza. Cada sección de la trama se denomina campo. Hay dos estilos de tramas de Ethernet: el IEEE 802.3 (original) y el IEEE 802.3 revisado (Ethernet).



Figura. 1.3. Comparación del tamaño de las tramas

El estándar IEEE 802.3 define un formato para la trama base que se requiere para todas las implementaciones de la capa MAC, además de varios formatos opcionales adicionales que se utilizan para extender el protocolo de capacidad básica. La trama básica tiene los siguientes siete campos que se detallan a continuación:

Preámbulo, PRE (7 bytes), es un patrón de alternancia de unos y ceros que advierte las estaciones receptoras de una trama que viene y que proporciona un medio para sincronizar las porciones trama-recepción de la capa física con el flujo de bits.

Delimitador de inicio de trama, SOF (1 byte), es un patrón de alternancia de unos y ceros, terminando con dos bits 1 consecutivos que indica que el próximo bit es el bit más a la izquierda del byte más a la izquierda de la dirección de destino.

Dirección MAC destino, DA (6 bytes), es el identificador del receptor deseado. Como recordará, la Capa 2 utiliza esta dirección para ayudar a los dispositivos a determinar si la trama viene dirigida a ellos. La dirección de la trama se compara con la dirección MAC del dispositivo. Si coinciden, el dispositivo acepta la trama.

Dirección MAC origen, SA (6 bytes), identifica la NIC o interfaz que origina la trama. Los switches también utilizan esta dirección para ampliar sus tablas de búsqueda.

Longitud/Tipo (2 bytes), define la longitud exacta del campo datos de la trama. Esto se utiliza posteriormente como parte de la FCS (secuencia de chequeo de trama) para garantizar que el mensaje se reciba adecuadamente. En este campo debe ingresarse una longitud o un tipo. Sin embargo, sólo uno u otro podrán utilizarse en una determinada implementación. Si el objetivo del campo es designar un tipo, el campo Tipo describe qué protocolo se implementa.

El campo denominado Longitud/Tipo sólo aparecía como Longitud en las versiones anteriores del IEEE y sólo como Tipo en la versión DIX. Estos dos usos del campo se combinaron oficialmente en una versión posterior del IEEE, ya que ambos usos eran comunes. El campo Tipo de la Ethernet II se incorporó a la actual definición de trama del 802.3. La Ethernet II es el formato de trama de Ethernet que se utiliza en redes TCP/IP. Cuando un nodo recibe una trama, debe analizar el campo Longitud/Tipo para determinar qué protocolo de capa superior está presente. Si el valor de los dos octetos es

equivalente a 0x0600 hexadecimal o 1536 decimal o mayor que éstos, los contenidos del campo datos se codifican según el protocolo indicado.

Datos, es una secuencia de n octetos de cualquier valor, donde n es igual o inferior a 1500. Si la longitud del campo de datos es inferior a 46, el campo de datos debe extenderse mediante la adición de un relleno (una pastilla) suficiente para que la longitud de datos a 46 bytes.

Trama de verificación de secuencia, FCS (4 bytes), se utiliza para detectar errores en la trama. Utiliza una comprobación cíclica de redundancia (CRC). El dispositivo emisor incluye los resultados de una CRC en el campo FCS de la trama.

El dispositivo receptor recibe la trama y genera una CRC para detectar errores. Si los cálculos coinciden, significa que no se produjo ningún error. Los cálculos que no coinciden indican que los datos cambiaron y por consiguiente, se descarta la trama. Un cambio en los datos podría ser resultado de una interrupción de las señales eléctricas que representan los bits.

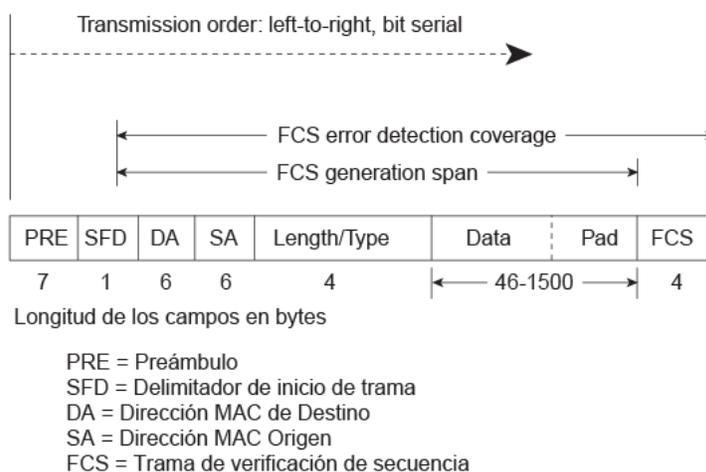


Figura. 1.4. Estructura de la trama Ethernet

1.8 DIFRENCIAS ENTRE EL ESTÁNDAR IEEE 802.3 Y ETHERNET

La primera LAN (Red de área local) del mundo fue la versión original de Ethernet. Robert Metcalfe y sus compañeros de Xerox la diseñaron hace más de treinta años. El primer estándar de Ethernet fue publicado por un consorcio formado por Digital Equipment Corporation, Intel y Xerox (DIX). Metcalfe quería que Ethernet fuera un estándar compartido a partir del cual todos se podían beneficiar, de modo que se lanzó como estándar abierto.

En 1985, el comité de estándares para Redes Metropolitanas y Locales del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) publicó los estándares para las LAN. Estos estándares comienzan con el número 802. El estándar para Ethernet es el 802.3. El IEEE quería asegurar que sus estándares fueran compatibles con los del modelo OSI de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO). Para garantizar la compatibilidad, los estándares IEEE 802.3 debían cubrir las necesidades de la Capa 1 y las porciones inferiores de la Capa 2 del modelo OSI. Dando como resultado, ciertas pequeñas modificaciones al estándar original de Ethernet se efectuaron en el 802.3.

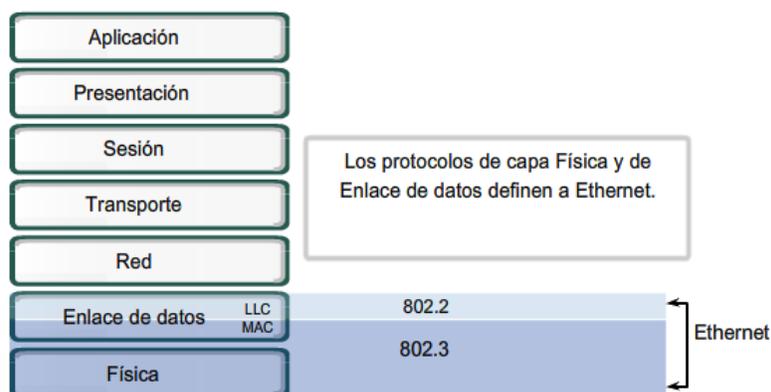


Figura. 1.5. Modelo Ethernet revisado

El formato de las tramas IEEE 802.3 y el Ethernet original marca una diferencia significativa como para hacer incompatible las dos versiones.

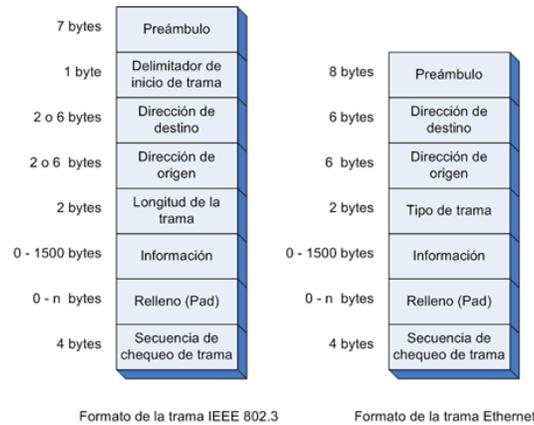


Figura. 1.6. Diferencias entre IEE802.3 y Ethernet

El campo del preámbulo difiere en el formato de ambas tramas. El preámbulo en Ethernet tiene una longitud de 8 bytes pero en IEEE 802.3 la longitud del mismo es de 7 bytes, en este último el octavo byte se convierte en el comienzo del delimitador de la trama.

La segunda diferencia entre el formato de las tramas es en el campo tipo de trama que se encuentra en la trama Ethernet. Un campo tipo es usado para especificar al protocolo que es transportado en la trama. Esto posibilita que muchos protocolos puedan ser transportados en la trama. El campo tipo fue reemplazado en el estándar IEEE 802.3 por un campo longitud de trama, el cual es utilizado para indicar el número de bytes que se encuentran en el campo de datos.

La tercera diferencia entre los formatos de ambas tramas se encuentra en los campos de dirección, tanto de destino como de origen. Mientras que el formato de IEEE 802.3 permite el uso tanto de direcciones de 2 como de 6 bytes, el estándar Ethernet permite solo direcciones de 6 Bytes.

En la práctica, no obstante, ambos formatos de bloque pueden coexistir en un mismo cable físico. Esto se consigue utilizando números de tipo de protocolo (campo de tipo)

superiores a 1500 en la trama Ethernet. Sin embargo, es necesario que distintos controladores sean capaces de manejar cada uno de estos formatos.

Así, a efectos prácticos, la capa física de Ethernet e IEEE 802.3 son compatibles. A pesar de todo, las capas de enlace de Ethernet y de IEEE 802.3/802.2 no lo son.

Descripción	802.3	ETHERNET V2
TOPOLOGÍA	bus, estrella, malla - cadena	Bus
MEDIO FÍSICO	UTP,STP, fibra, coaxial	UTP, STP, fibra
TRANSMISIÓN	Banda base, banda ancha	Banda base
CAPA DE ENLACE	Dividida en LLC, MAC	No existe subdivisión
TRAMA	Siete octetos con SFD	ocho bytes sin SFD

Tabla. 1.4. Diferencia entre Ethernet V2 y IEEE 802.3

1.9 ESTÁNDARES PARA ETHERNET

Entre mediados y fines de la década de 1990 se establecieron varios estándares 802.3 nuevos para describir los métodos de transmisión de datos en medios Ethernet a 100 Mbps. Estos estándares utilizaban requisitos de codificación diferentes para lograr estas velocidades más altas de transmisión de datos.

Estándar IEEE	Título y comentarios
802	Estándares para redes de área local y metropolitana
802.1	Puenteo y administración de LAN y MAN (incluyendo el protocolo Spanning Tree)
802.2	Control de enlace lógico
802.3	Método de acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones (CSMA/CD)
802.3u	Fast Ethernet
802.3z	Gigabit Ethernet
802.4	Método de acceso de bus con transmisión de tokens
802.5	Método de acceso Token Ring
802.6	Método de acceso de bus dual de cola distribuida (DQDB, para las WAN)
802.7	Redes de área local de banda amplia

Figura. 1.7. Estándares IEEE

1.9.1. FAST ETHERNET

La Ethernet de 100 Mbps, también denominada Fast Ethernet, está sustentada en el estándar 803.2u del IEEE. Se basa en el protocolo CSMA/CD de acceso al medio y puede operara sobre el cableado existente de 10 base T, por lo que se considera una evolución natural de esta tecnología.

La transmisión pude realizarse en incrementos de velocidad de 10 Mbps a 100 Mbps sin protocolo de transmisión alguno, ni cambios en el software de las aplicaciones, pues Fast Ethernet conserva las funciones de control de error, longitud y formato de tramas de 10 Base T. Su arquitectura incorpora tres modos de capa física: cable UTP categoría 5, UTP categoría 3 y fibra óptica [7].

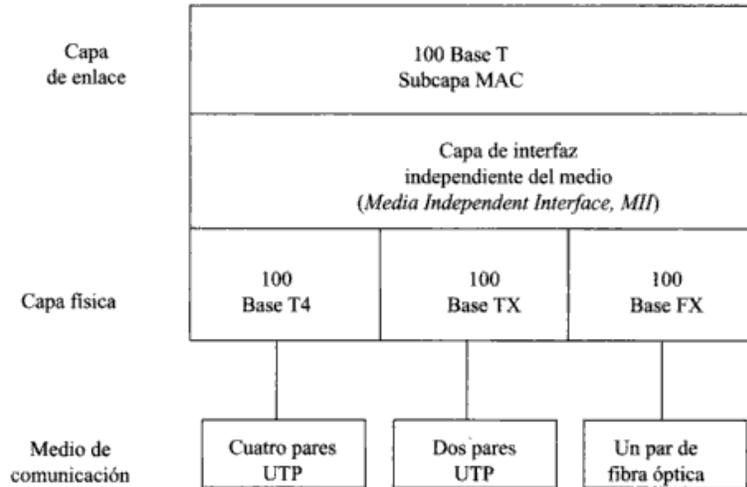


Figura. 1.8. Arquitectura de Fast Ethernet

Puede implementarse utilizando medios de fibra o de cable de cobre de par trenzado. Las implementaciones más conocidas de la Ethernet de 100 Mbps son:

100BASE-TX para dos pares de cable (calidad de datos) UTP categoría 5 o mayor.

100BASE-FX para dos líneas de fibra óptica monomodo.

100BASE-T4 para cuatro pares de cable (calidad de voz) UTP categorías 3,4 y 5.

100 BASE TX

100 BASE-TX fue diseñada para admitir la transmisión a través de dos hilos de fibra óptica o de dos pares de cable de cobre UTP de Categoría 5. La implementación 100BASE-TX utiliza los mismos dos pares y salidas de pares de UTP que la 10BASE-T. Sin embargo, la 100BASE-TX requiere UTP de Categoría 5 o superior. La codificación 4B/5B se utiliza para la Ethernet 100BASE-T, que posteriormente es mezclada y convertida en tres niveles de transmisión MLT-3 para crear la transmisión de datos a 41.6 MHz dividiendo la señal de 125 MHz por el factor de 3. Esta alta frecuencia es la que obliga a utilización de un cable categoría 5.

Al igual que con la 10BASE-TX, la 100BASE-TX se conecta como estrella física. Sin embargo, a diferencia de la 10BASE-T, las redes 100BASE-TX utilizan generalmente un switch en el centro de la estrella en vez de un hub. Aproximadamente al mismo tiempo que las tecnologías 100BASE-TX se convirtieron en la norma, los switches LAN también comenzaron a implementarse con frecuencia. Estos desarrollos simultáneos llevaron a su combinación natural en el diseño de las redes 100BASE-TX.

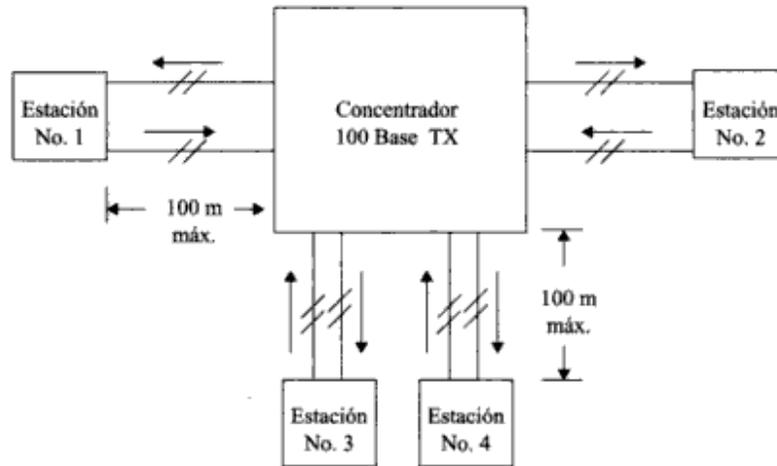


Figura. 1.9. Red 100 base TX

100 BASE-FX

100 BASE-FX es la versión de Fast Ethernet usada para fibra óptica, ideal para transmisiones a grandes distancias, backbones y cualquier tipo de ambiente afectado por interferencias electromagnéticas. Utiliza una fibra para transmisión y otra para detección de colisiones y recepción. La longitud máxima es de 400 m para las conexiones half – dúplex (para asegurarse que las colisiones son detectadas) o 2 Km para full – dúplex. No es compatible con la versión 10 Base FL.

El estándar 100BASE-FX utiliza el mismo procedimiento de señalización que la 100BASE-TX, pero lo hace en medios de fibra óptica en vez de cobre UTP. Si bien los procedimientos de codificación, decodificación y recuperación de reloj son los mismos para ambos medios, la transmisión de señales es diferente: pulsos eléctricos en cobre y

pulsos de luz en fibra óptica. La 100BASE-FX utiliza conectores de interfaz de fibra de bajo costo (generalmente llamados conectores SC dúplex).

Las implementaciones de fibra son conexiones punto a punto, es decir, se utilizan para interconectar dos dispositivos. Estas conexiones pueden ser entre dos computadoras, entre una computadora y un switch o entre dos switches.

100 BASE T4

Es un estándar de capa física completamente nuevo diseñado para operar una red Fast Ethernet de 100 Mbps sobre cable UTP categoría 3. Utiliza cuatro pares de hilos de cobre trenzado (categoría 3 ó 5), el hecho de usar un cable categoría 3 permite una frecuencia de señalización de 25 MHz. De los cuatro pares de hilos que utiliza, tres se emplean para transmisión simultánea de datos y el cuarto como canal detector para la detección de colisiones. Como existen pares de hilos separados para la transmisión y recepción, como en 100 Base TX, operación dúplex completa no es posible. Así para transmitir de A a B (ver figura 1.10), se emplea el par 1 y los dos pares inferiores (3 y 4), para transmitir de B a A se emplea el par 2. El par unidireccional asegura que cada extremo (A o B) pueda oír siempre al otro, aun cuando transmita. Por ejemplo A siempre oír a B en su par unidireccional, por lo que puede sentir colisiones [8].

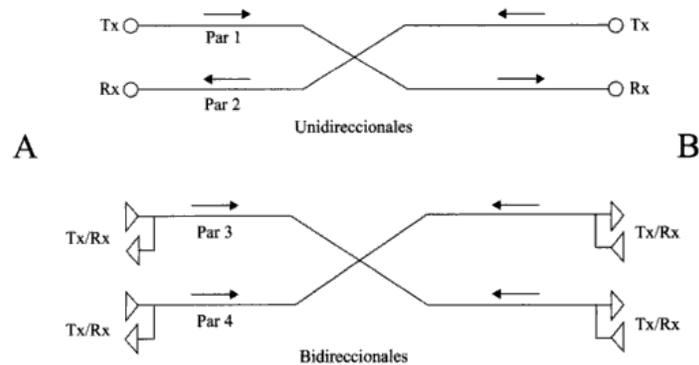


Figura. 1.10. Empleo de los cuatro pares 100 Base T4

1.9.2. GIGABIT ETHERNET

Gigabit Ethernet se concibe como la fusión de dos tecnologías: el estándar IEEE 802.3 y el ANSI X3T11 Fiber Channel. Aprovecha la alta velocidad del canal de fibra y mantiene el formato de la trama Ethernet, su compatibilidad con los estándares anteriores y el acceso al medio CSMA/CD. El desarrollo de esta tecnología ha dado como resultado varias especificaciones, para cobre UTP, fibra monomodo y fibra multimodo, ver figura 1.11.

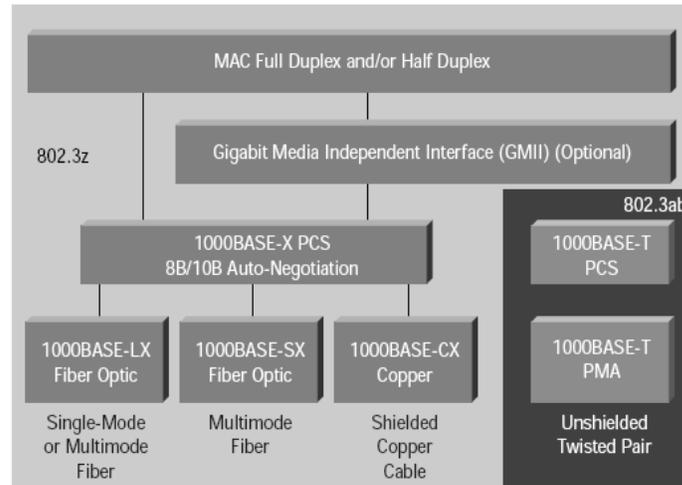


Figura. 1.11. Capas física 802.3z y 802.3 ab

En la capa física Gigabit Ethernet acepta cuatro tipos de medios físicos definidos en el IEEE 802.3z (1000 Base X) y 802.3ab (1000 Base T).

En cuanto al conector usado para Gigabit Ethernet este es del tipo SC, ya sea para fibra multimodo o fibra monomodo.

1000 Base T

Ethernet 1000 Base T soporta operación sobre cable UTP categoría 5 de acuerdo con las especificaciones técnicas ANSI/TIA/EIA-586 A. 1000BASE-T brinda una transmisión full-dúplex utilizando los cuatro pares de cable UTP Categoría 5 o superior. Gigabit Ethernet permite un aumento de 100 Mbps por par de cable a 125 Mbps por par de cable o 500 Mbps para los cuatro pares. Cada par de cable origina señales en full-dúplex, lo que duplica los 500 Mbps a 1000 Mbps

La tecnología 1000BASE-T utiliza codificación de línea 4D-PAM5 para obtener un throughput de datos de 1 Gbps. Este esquema de codificación permite señales de transmisión en cuatro pares de cables simultáneamente. Traduce un byte de 8 bits de datos en una transmisión simultánea de cuatro símbolos de código que se envían por los medios, uno en cada par, como señales de Modulación de amplitud de pulsos de 5 niveles (PAM5). Esto significa que cada símbolo se corresponde con dos bits de datos. Debido a que la información viaja simultáneamente a través de las cuatro rutas, el sistema de circuitos tiene que dividir las tramas en el transmisor y reensamblarlas en el receptor. La figura 1.12 muestra una representación del sistema de circuitos que utiliza la Ethernet 1000BASE-T.

1000BASE-T permite la transmisión y recepción de datos en ambas direcciones (en el mismo cable y al mismo tiempo). Este flujo de tráfico crea colisiones permanentes en los pares de cables. Estas colisiones generan patrones de voltaje complejos. Los circuitos híbridos que detectan las señales utilizan técnicas sofisticadas tales como la cancelación de eco, la corrección del error de envío de Capa 1 (FEC) y una prudente selección de los niveles de voltaje. Al utilizar dichas técnicas, el sistema alcanza un throughput de 1 Gigabit [9].

A diferencia de la mayoría de las señales digitales, en las que generalmente se encuentra un par de niveles de voltaje discretos, la 1000BASE-T utiliza muchos niveles de voltaje. En períodos inactivos, se encuentran nueve niveles de voltaje en el cable. Durante los períodos de transmisión de datos, se encuentran hasta 17 niveles de voltaje en el cable. Con este gran número de estados, combinado con los efectos del ruido, la señal en el

cable parece más analógico que digital. Como en el caso del analógico, el sistema es más susceptible al ruido debido a los problemas de cable y terminación.

La capa MAC de 1000 Base T mantiene la compatibilidad para con Ethernet y Fast Ethernet, no requiere trama de traducción.

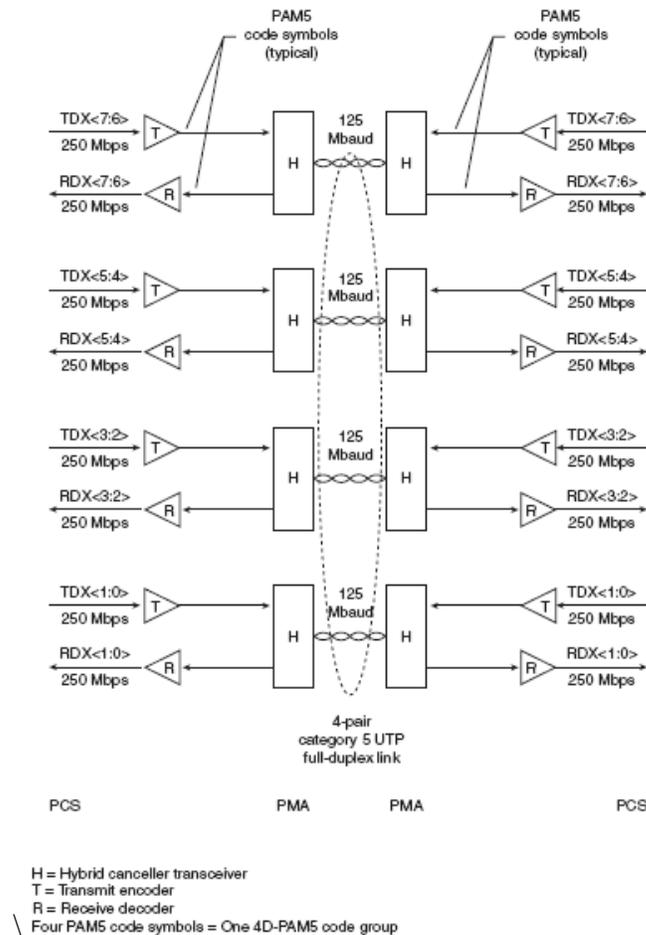


Figura. 1.12. Circuito 1000 Base T

1000 Base X

Las versiones de fibra óptica de Gigabit Ethernet (1000 BASE-SX y 1000 BASE-LX) permiten transmisión binaria full-dúplex a 1250 Mbps en dos hebras de fibra óptica. Soportan transmisiones full-dúplex y half dúplex en su capa física. La codificación de la

transmisión se basa en el esquema de codificación 8B/10B. La velocidad de transferencia de datos sigue siendo 1000 Mbps

1000 Base CX se usa para conexiones menores a 25 m, sobre cobre blindado de 150 ohmios balanceado. Para minimizar las interferencias electromagnéticas, tanto transmisor como receptor utilizar una tierra común. Las pérdidas de retorno para cada conector es limitado a 20 dB para minimizar la distorsión en la transmisión. Los conectores usados para este tipo de cable son el DB-9 y un nuevo conector llamado HSSDC.

Las principales diferencias entre las versiones de fibra de 1000 BASE-SX, 1000 BASE-LX y 1000 BASE- CX son los medios de enlace, conectores y la longitud de onda de la señal óptica y alcance. Estas diferencias se ilustran en la figura 1.13.

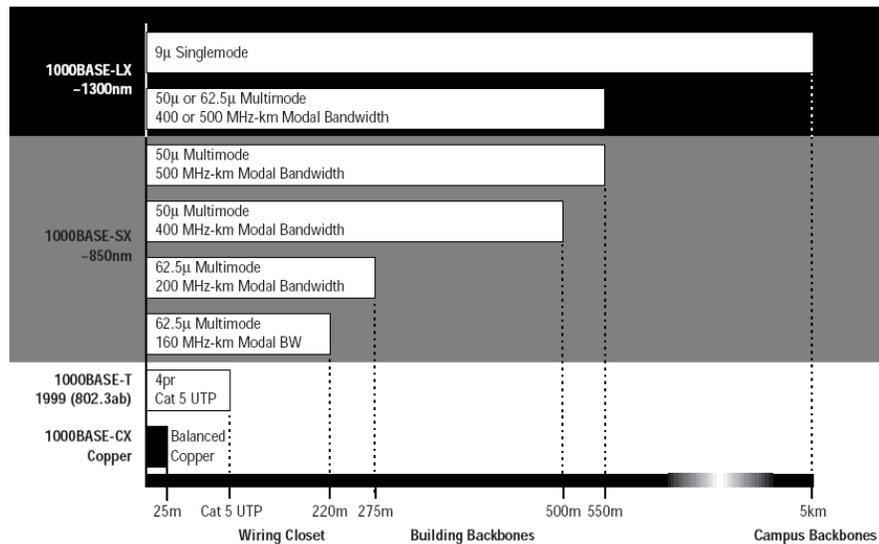


Figura 1.13. Características físicas de Ethernet 1000 Base X

1.9.3. 10 GIGABIT ETHERNET

El estándar de 10GbE usa 802.3, el formato y tamaño de trama se mantiene. Además de otras especificaciones de Ethernet de Capa 2 son compatibles con estándares anteriores. De esta manera se facilita la interoperabilidad de todas las tecnologías de Ethernet tratadas anteriormente, sin necesidad de retramado o conversiones de protocolo. Para esta versión de Ethernet la conexión se realiza únicamente mediante fibra óptica full dúplex por lo que no es necesario ningún tipo de contención de medios ni CSMA/CD. En términos de medios físicos, 10GbE soporta distancias de 300 m en fibra multimodo y de 40 Km o más en fibra monomodo. Utilizando esta tecnología estaremos facultados para construir redes LAN, MAN o WAN usando Ethernet en conexiones de extremo a extremo. En la actualidad el IEEE y la Alianza de Ethernet de 10 Gigabits trabajan actualmente en estándares para 40, 100 e inclusive 160 Gbps [11].

CAPÍTULO 2

ENTORNO DE TRABAJO Y PLANTEAMIENTO DE LA RED

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se trata el modelo Purdue para redes industriales y su clasificación en los distintos niveles jerárquicos. También se consideran los temas teóricos que sirven de base para el diseño lógico de la red como el direccionamiento y el subneteo. Por la importancia que revierte la topología en los sistemas Ethernet Industriales se realiza un análisis de las diferentes topologías usadas en la actualidad, mostrando sus ventajas y desventajas. Además, se describe el funcionamiento de los distintos componentes de hardware utilizados para el diseño físico de la red.

2.2 MODELO PURDUE PARA CONTROL JERÁRQUICO

A medida que los sistemas de comunicación fueron aumentando en tamaño se hizo necesario estructurar las comunicaciones. La organización de las comunicaciones más habituales en los sistemas industriales es el Modelo Purdue para el Control Jerárquico (referencia ISBN 1-55617-265-6), ver Figura 2.1. Como puede observarse en la figura,

se establece una jerarquía con varios niveles, cada uno caracterizado por datos de distinta naturaleza. Cada nivel, además de llevar a cabo unas labores específicas, realiza un tratamiento y filtrado de la información que es transmitida, con lo que se limitan los flujos de información a los estrictamente necesarios. Aunque existen muchas formas de representar este modelo y la denominación de los niveles pueden diferir de acuerdo al campo de aplicación (p.e. industria de proceso o fabricación), el planteamiento siempre es el mismo: la estructuración de la información por capas. Al ser la información manejada en cada nivel de naturaleza diversa, la problemática de comunicaciones encontrada en cada nivel es distinta y por tanto, también las redes más adecuadas para resolverla.

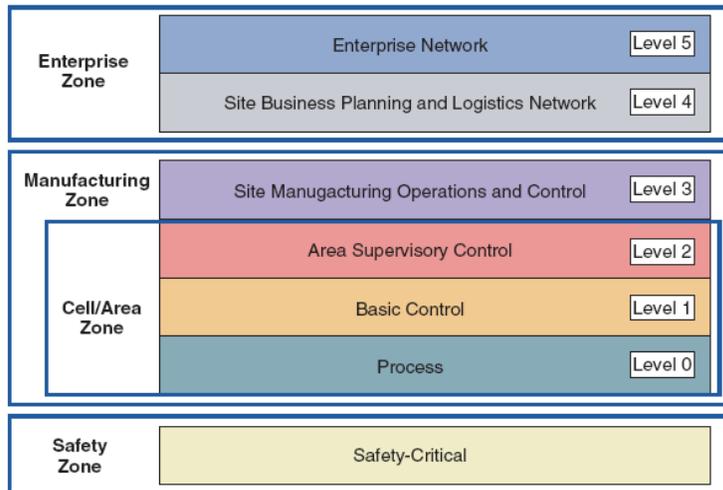


Figura. 2.1. Modelo Purdue para control jerárquico

2.1.1 ZONA DE SEGURIDAD

La seguridad es considerada la más alta prioridad en función de la automatización industrial y sistemas de control. Estos sistemas se han aplicado en infraestructura totalmente dedicada a asegurar la automatización industrial y equipos de control para que no representen una amenaza para las personas o el medio ambiente. En algunas industrias, estos sistemas no han compartido los recursos (energía, red, etc.) con el

resto de la automatización industrial y sistemas de control con que trabajan. Estos sistemas tienen protocolos específicos y tecnologías de red, pero debido a la fiabilidad y el impacto de las fallas, esta será probablemente la última frontera para Ethernet y tecnologías IP. Recientemente, habido mejoras en la automatización industrial y redes de control tales como las soluciones de seguridad de Open DeviceNet Asociación de Vendedores (ODVA) y el Protocolo Industrial Común (CIP) en los cuales el protocolo de seguridad se ejecuta en la misma infraestructura de red como el protocolo estándar. Así también los sistemas CIP de seguridad de DeviceNet y Ethernet / IP se han desarrollado e instalado con éxito.

2.1.2 ZONA DE CÉLULA

La zona de célula es un área funcional dentro de una planta de producción. En una fábrica automotriz, puede ser un taller de carrocería o un sub-proceso de montaje. En una planta de alimentos y bebidas, puede ser el lote de la zona de mezcla. Puede ser tan pequeño como un único controlador y sus dispositivos de una línea de montaje, o varios controladores en varios tanques. Cada planta de producción define la demarcación de la zona de la célula de una zona diferente. A los efectos de esta arquitectura, una zona de célula es un conjunto de dispositivos, controladores, HMIs y cualquier otro tipo de dispositivo que esté involucrado en el control en tiempo real de un aspecto funcional del proceso de fabricación. Para controlar el proceso funcional, todos tienen comunicación en tiempo real con los demás. La mayoría de las instalaciones de producción tiene varias redes de célula. Esta zona tiene esencialmente tres niveles de actividad, como se describe a continuación.

Nivel 0: Proceso

El nivel 0 se compone de una amplia variedad de sensores y dispositivos. Estos dispositivos realizan las funciones básicas de la automatización industrial y sistemas de control, tales como: manejo de motores, medición de variables, establecimiento de una

salida y la realización de funciones clave como la pintura, soldadura, doblado, etc. Estas funciones pueden ser muy simples o muy complejas (p.e. un robot en movimiento).

Estos dispositivos toman los estados de dirección y comunicación con dispositivos de control en el siguiente nivel del modelo. Además, otros dispositivos o usuarios pueden necesitar acceder directamente a los dispositivos para realizar el mantenimiento o resolver problemas en los dispositivos.

Los dispositivos Nivel 0 suelen hacer lo siguiente:

Manejo de la información en tiempo real, requisito de las comunicaciones deterministas.

Medir las variables de máquina y salidas de los procesos de control en los productos sobre la base de tiempo.

Nivel 1: Control Básico

El nivel 1 consta de interfaces de los dispositivos de Nivel 0 (E/S, enlaces de dispositivos, puentes, etc.) y controladores. En el sector manufacturero, este suele ser un proceso a nivel de controlador (PLC), en lugar de un sistema de control distribuido (DCS). Este documento utiliza los términos controlador o controlador de automatización programable (PAC), para referirse a la gama general de los controladores utilizados en la fabricación, para procesos tanto continuos como discretos.

La mayoría de PACs ejecutan sistemas operativos propietarios que están programados y configurados por las estaciones de trabajo u otros sistemas de control avanzados. Los PAC son básicamente equipos modulares que constan de una parte o en la totalidad de:

- Un controlador que calcula todos los datos y ejecuta los programas cargados en él.
- E/S o módulos de red que se comunican con los dispositivos, interfaces hombre-máquina (HMIs) o avanzados sistemas de control.
- Módulos de potencia que alimentan al resto de PACs y potencialmente otros dispositivos.

Los PAC son los cerebros de la automatización industrial y sistemas de control, haciendo las decisiones fundamentales sobre la base de información de los dispositivos encontrados en el nivel 0. Los PAC actúan solos o en combinación con otros PAC para la gestión de los dispositivos y por ende en el proceso de fabricación. Se programan a través de una estación de trabajo y se configuran y gestionan a través de un dispositivo externo (HMI), que se considera un dispositivo de Nivel 2. Se comunican con la información y los sistemas de control de la producción (históricos, gestor de activos, sistema de ejecución de fabricación, planificador de producción, etc.) en los niveles 2 y 3. Los PAC proporcionan datos sobre el proceso que se controla, así como para la entrada para su ejecución (por ejemplo, cumplir una orden).

Por lo tanto, los PAC producen el tráfico de la red en tres direcciones:

- Con los dispositivos de Nivel 0 que ellos controlan y manejan.
- Punto a punto con otros PACs para la gestión de la automatización y el control de una celda / área o línea de producción.
- Con las HMIs los sistemas de información y de control de la producción.

Los PAC realizan una función de hub en el área de control de manufactura. Los PAC traducen los parámetros de alto nivel (por ejemplo, recetas) en órdenes ejecutables y gestionan los parámetros de todo el proceso de fabricación. En algunas implementaciones, los PACs son también la red física para el centro de control de red como el único dispositivo en el que las conexiones a los dispositivos de Nivel 0, HMIs y sistemas de control existen.

Nivel 2: Área de supervisión y control

Las instalaciones de producción son generalmente establecidas en zonas donde las celdas o un aspecto particular del proceso de fabricación ocurren. En una planta automotriz, este podría ser un taller de carrocería, pintura o el área de ensamblaje en general. El nivel 2 representa los sistemas y las funciones asociadas con la supervisión

en tiempo de ejecución y el funcionamiento de una zona de una planta de producción. Entre ellas figuran las siguientes:

- HMIs.
- Alarmas o sistemas de alerta.
- Proceso histórico de lote.
- Sala de control de trabajo

Dependiendo del tamaño o la estructura de una planta, estas funciones pueden existir en el nivel de sitio (nivel 3). Estos sistemas se comunican con el PAC en el nivel 1 y de la interfaz o los sistemas y aplicaciones de la empresa (Nivel 4 / 5). Estos sistemas se basan principalmente en equipo de computación estándar y sistemas operativos (Unix o basados en Microsoft Windows). Por esta razón, estos sistemas son más propensos a comunicarse con los protocolos de red (Ethernet y TCP / IP).

2.1.3 ZONA DE MANUFACTURA

La zona de manufactura comprende las redes de celda/área y las actividades de nivel de sitio. Típicamente contiene varias zonas de celdas / áreas. La zona de manufactura es importante porque todos los sistemas, dispositivos y controladores para la vigilancia y el control de las operaciones de fábrica se encuentran en esta zona. Para conservar sin problemas las operaciones de la planta y el funcionamiento de los sistemas y de la red, esta zona exige una clara segmentación lógica y la protección de los niveles superiores de las operaciones de planta / empresa. Más allá de las redes de celda / área, hay un nivel adicional de actividad que comprende la zona de manufactura.

Nivel 3: Nivel de sitio

El nivel de sitio, representa el más alto nivel de automatización industrial y sistemas de control. Los sistemas y aplicaciones que existen en este nivel gestionan todo el ámbito de las funciones de automatización industrial y control. Los niveles del 0 al 3 se

consideran de importancia crítica para las operaciones en el sitio. Los sistemas y funciones que existen en este nivel son las siguientes:

- Producción de informes (por ejemplo: ciclos de tiempos, índice de calidad, mantenimiento predictivo, etc).
- Programación detallada de la producción.
- Administración de las operaciones de nivel de sitio.
- Activos y gestión de materiales.
- Sala de control de trabajo.
- Servidor de archivos.
- Administración y control de aplicaciones (por ejemplo: servidores de dominio, revisión de la distribución, Servicios de Terminal)

Estos sistemas pueden comunicarse con el PAC en el nivel 1, funcionar como un área de ensayo para los cambios en la zona de producción y compartir los datos el sistema empresarial (niveles 4 / 5) y aplicaciones. Estos sistemas se basan principalmente en equipo de computación estándar y sistemas operativos (Unix o basados en Microsoft Windows). Por esta razón, estos sistemas son más propensos a comunicarse con los protocolos de red (Ethernet y TCP / IP).

2.1.4 ZONA EMPRESARIAL

Nivel 4: Planificación empresarial y logística

En este nivel las funciones y sistemas existentes necesitan un acceso estándar a los servicios prestados por la red de la empresa. Este nivel se considera como una extensión de la red de la empresa. Las tareas básicas de la administración de la empresa se llevan a cabo aquí y se basan en servicios estándar de TI. Estas funciones y sistemas incluyen accesos por cable e inalámbricos a los servicios de red de la empresa tales como:

- Acceso a Internet.
- E-mail.
- Sistemas de producción no críticos tales como la fabricación de sistemas de ejecución y en general, reportes de planta (por ejemplo: inventario, rendimiento, etc.)
- Aplicaciones empresariales tales como Autocad, Oracle, etc.

Nivel 5: Empresarial

En este nivel es donde se centralizada los sistemas TI y las funciones existentes. La administración de los recursos de la empresa y los servicios de atención al cliente suelen ser ubicado aquí. A menudo, el socio externo o los sistemas de acceso a invitados residen aquí, aunque no es raro encontrar en los niveles inferiores para obtener la flexibilidad que puede ser difícil de lograr en el ámbito de la empresa.

La automatización industrial y sistemas de control se deben integrar con las aplicaciones empresariales a la producción y el intercambio de datos sobre los recursos. El acceso directo a la automatización industrial y sistemas de control normalmente no es necesario, con la excepción de los socios estratégicos. El acceso a los datos, la automatización industrial y control de red debe ser gestionado y controlado para mantener la disponibilidad y la estabilidad.

Los servicios, sistemas y aplicaciones en este nivel son directamente administrados y operados por la organización de TI.

2.2 COMPONENTES DE LA RED

Una red Ethernet Industrial está compuesta por una serie de componentes como switches industriales, controladores, drivers, hubs, convertidores de medios, PLCs, etc, los cuales se encuentran interconectados entre sí para el intercambiar de información con una conectividad de extremo a extremo. A estos componentes lo podemos clasificar en:

DTE (Data Terminal Equipment /Equipo terminal de datos): son dispositivos que proveen una interfaz entre el hombre y la red que sirve como origen, destino o ambas cosas. Un DTE se conecta a una red de datos a través de un dispositivo DCE (por ejemplo, un módem) y utiliza normalmente las señales de reloj generadas por el DCE. Ejemplos de DTEs son: servidores de red, PCs, HMIs y traductores de protocolo.

DCE (Data Communications Equipment / Equipo de comunicación de datos): son dispositivos de comunicación que proporcionan una conexión física con la red, envían tráfico y dan una señal de temporización que se usa para sincronizar la transmisión de datos entre dispositivos DTE y DCE. Ejemplos de estos dispositivos son: módems y conmutadores de paquetes.

2.2.1. HUBS ETHERNET

Estos dispositivos son también conocidos como repetidores half dúplex y su labor es la de replicar y regenerar la señal que recibe de las estaciones anexas y realizar una difusión por broadcast de la misma de tal manera que esta pueda tener un mayor alcance. Los concentradores de Ethernet son usados para la implementación de las topologías de red en estrella con modo de comunicación half dúplex usando una misma tasa de transmisión [1].

En las redes Ethernet actuales los hubs han sido reemplazados por switches debido a que los hubs no proveen la seguridad apropiada para la red y no controlan las colisiones entre dispositivos que desean acceder simultáneamente al medio. Las colisiones causan retrasos en la transmisión o salto de tramas, además de ser causa del incremento de jitter en los sistemas de control.

2.2.2. BRIDGES ETHERNET

Los puentes son dispositivos de capa dos que sirve para interconectar dos redes para formar una red lógica. Su modo de operación es el siguiente: recibe una trama Ethernet, examina su dirección destino y toma decisiones respecto a la transferencia de tal manera que mejora el rendimiento de la red puesto que elimina el tráfico innecesario “filtering”, y reduce las colisiones “forwarding”. Los bridges permiten superar algunas falencias que se presentan con los hubs como: como el de conectar redes de distinto medio físico (solo el protocolo de la capa de enlace debe ser el mismo) y aislar los dominios de colisión de cada red. Por ejemplo, si queremos interconectar la red corporativa con la red de planta mediante un bridge, este dispositivo “aprenderá” las direcciones MAC de ambos lados del puente y en base a este criterio seleccionará que paquetes deben o no cruzar el puente, si recibiese un paquete de dirección desconocida por defecto será transmitido. De esta manera se tendrá una mejor gestión del tráfico de la red mejorando el rendimiento de la misma y aliviando la carga de las LANs.

2.2.3. SWITCHES ETHERNET

Un switch es un dispositivo de capa dos (por lo general) que microsegmenta la red, asigna un ancho de banda total a cada host y controla el flujo de datos, eliminando la posibilidad de que se generen colisiones en la red.

El switch almacena los paquetes entrantes y a continuación determina si el paquete contiene errores comprobando el checksum, en cuyo caso descarta el paquete. Hecho esto, decide a qué puerto o puertos debe enviarse el paquete, basándose en las tablas de direcciones de control de acceso al medio (MAC). Todas las tablas MAC se crean y se mantienen actualizadas automáticamente a partir de los paquetes recibidos. Cuando el switch recibe un paquete en un puerto, almacena la dirección MAC de origen en la tabla

MAC que corresponde a dicho puerto. Si un nodo permanece en silencio durante mucho tiempo, la dirección MAC se considera “caducada” y se elimina de la tabla.

El usar switches industriales permite tener redes más fiables puesto que soportan el método estándar de redundancia Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), manejan altas tasas de transferencia de datos (en el orden de los Gigabits), incrementan el número de puertos, permiten la creación de VLANs para labores dedicadas, organizan la red en áreas sensibles facultando la creación de grupos lógicos de trabajo y permiten la priorización de mensajes (802.1 P).

Los switches pueden ser de tipo gestionado o no gestionado. En este último caso, su configuración no se podrá modificar utilizando herramientas software externas.

2.2.4. ROUTERS

Los routers se utilizan normalmente cuando el tráfico de dos redes diferentes necesita ser interconectado. Los routers encaminan el tráfico en base a su tabla de enrutamiento, cuando un router recibe un PDU, examina su dirección IP y busca la tabla de enrutamiento la mejor ruta para alcanzar la red de destino.

Los routers se utilizan para mejorar el rendimiento de las redes Ethernet a pie de fábrica. Mediante el bloqueo del tráfico Ethernet de multicast y broadcast de las redes de datos, se permite una gestión “inteligente” del tráfico de la red y una reducción de la carga de la misma. Otra característica importante que introducen los routers en las redes industriales es posibilidad de usar un protocolo que nos permita asegurar la red y permitir un control de accesos a dispositivos y recursos.

2.3.3 TOPOLOGÍAS USADAS EN LA IMPLEMENTACIÓN

La topología de una red es la forma en que se conectan los nodos de una red para compartir información y recursos a través de un medio de transmisión. La topología de una red está orientada a las necesidades del equipo a ser conectado. Así se tiene topologías: bus, estrella, árbol y anillo. En la práctica existe una fusión de estas topologías. Las topologías de una red la podemos clasificar en dos grandes grupos: topologías lógicas y físicas.

Una **topología lógica**, define como los elementos en una red están comunicados unos con otros y como la información es transmitida a través de la red. Por ejemplo: en una topología en broadcast, la información es distribuida hacia todos los nodos de la red en el tiempo que tarda la señal en cubrir la longitud entera del cable; en una topología en anillo, el mensaje es transmitido secuencialmente de nodo en nodo, en un orden predefinido como en un sistema punto a punto. Mecanismos de pollig o token son usados para determinar qué nodo tiene los derechos de transmisión.

Una **topología física**, define el diseño del cableado para una red, especifica como los elementos de una red son conectados eléctricamente unos con otros sin especificar el tipo de dispositivo, los métodos de conectividad o las direcciones de dicha red. Se clasifica principalmente en tres tipos: anillo, estrella y bus.

2.3.1 TOPOLOGÍAS EN LÍNEA PASIVAS

Las topologías de red pasiva se constituyen de cables, conectores y terminadores de buses que no requieren fuente de alimentación externa. Las topologías en línea pasivas se distinguen por el hecho de que pueden seguir funcionando cuando un terminal se elimina. Todas las estaciones de trabajo comparten el bus y por lo tanto la disponibilidad del ancho de banda. Sólo una estación puede enviar o recibir datos en un determinado momento. Esta topología es un ejemplo de la clásica "LAN compartida".

TOPOLOGÍA BUS

Cuando se habla de una topología bus se debe tener claro si refiere a una topología física o lógica. Como una topología física, un bus se describe como una red en la cual cada nodo es conectado a un canal de comunicación simple (bus ó backbone). Una arquitectura en bus es un sistema pasivo, es decir no existe regeneración de la señal. Los paquetes son enviados por broadcast a lo largo del bus y cada nodo obtiene el mensaje al mismo tiempo. Estos paquetes son analizados por cada nodo para verificar su dirección de destino y comprobar si el paquete esta previsto para el nodo específico. Cuando la señal alcanza el final del bus, un terminador eléctrico absorbe la energía del paquete, imposibilitando la reflexión del paquete hacia el bus y con esto dejando libre el canal para que otro paquete sea enviado.

VENTAJAS DE LA TOPOLOGÍA BUS

- Los buses son medios de transmisión pasivos, una falla de energización en un dispositivo afecta solo a ese dispositivos y los otros siguen funcionando.
- En comparación con otras topologías un bus utiliza menor cableado.
- Presenta una arquitectura simple y flexible.

DESVENTAJAS DE LA TOPOLOGÍA BUS

- La tasa de transmisión se ha limitado a 10 Mbps y la disponibilidad del ancho de banda se ha reducido en un 30 % ó 40 % debido a las colisiones.
- No se permite transmisiones full-dúplex en el medio.
- El diagnóstico y solución de problemas se dificulta ya que la falla puede estar en cualquier parte del bus.
- No es un sistema seguro de transmisión debido a que no hay un reconocimiento automático de mensajes y estos son “vistos” por todos los nodos de la red.

TOPOLOGÍA BUS CON TERMINAL DE ENLACE

La estación de la red es la interfaz con la topología de bus lineal a través de un terminal y un cable de conexión. La estación de red puede conectarse en el terminal o separado del terminal; el bus sigue funcionando en forma independiente ambos casos.

Un ejemplo típico de este caso es el clásico bus Ethernet, en que la red se conecta a través de acoplador de bus de Ethernet (transmisor, emisor-receptor) con un cable coaxial.

El cable de la red está terminado en ambos extremos con resistencias de terminación. Segmentos individuales de bus se puede conectar a otro por una medio de componentes activos (repetidores).

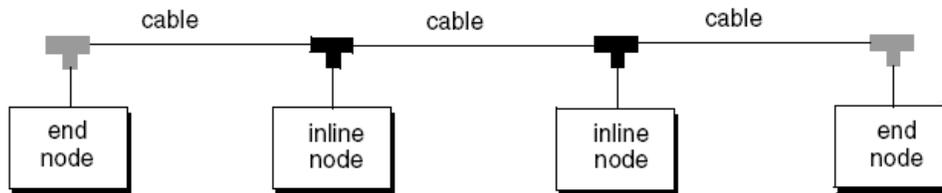


Figura. 2.2. Topología bus pasiva con terminales de enlace

TOPOLOGÍA BUS CON BUS DE ENLACE

Las estaciones de red están conectadas al cable del bus, es decir, por los conectores del bus. Los conectores del bus pueden tomar la forma de tes o terminadores. Esta topología también es conocida como daisy chain (conexión en cadena de margarita) o trunk drop.

Una aplicación típica de esta conexión para procesos sería la comunicación entre las redes de células con algunas estaciones de red.

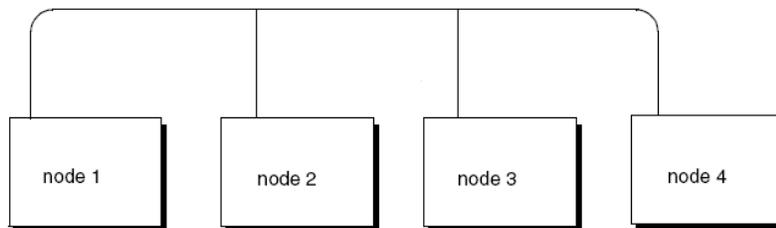


Figura. 2.3. Topología bus pasiva con bus de enlace

2.3.2 TOPOLOGÍAS EN LÍNEA ACTIVAS

Las topologías de red activas se definen como aquellas que en su estructuración utilizan componentes que usan una fuente de energización externa como: hubs y switches. Los componentes activos conectan a los sectores individuales de la red en una topología en línea. Cuando un elemento de esta topología se elimina o falla, la red se divide en dos subsegmentos, volviéndose la comunicación inhábil entre estaciones las estaciones de estas dos subredes.

TOPOLOGÍA EN LÍNEA CON COMPONENTES DE RED ACTIVOS

Las estaciones de red son interconectadas a la red lineal a través de separadores, los componentes activos de la red son repetidores y switches. En este tipo de topología las estaciones de red tienen pocos o un único punto de conexión con las estaciones de red.

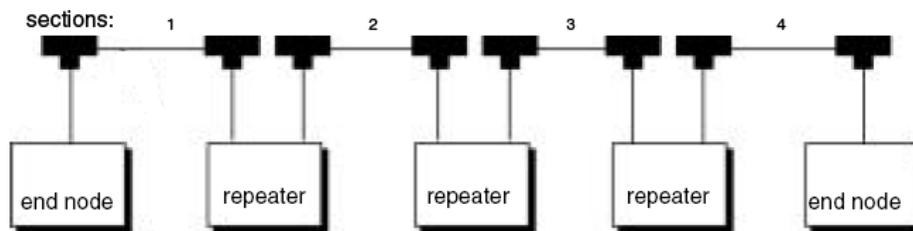


Figura. 2. 4. Topología en línea con componentes activos

TOPOLOGÍA EN LÍNEA CON COMPONENTES ACTIVOS DE RED INTERNOS

En este tipo de tecnología se incluyen los dispositivos de campo con E/S. Un ejemplo de esto son dispositivos de campo PROFINET con dos puertos de switch integrados.

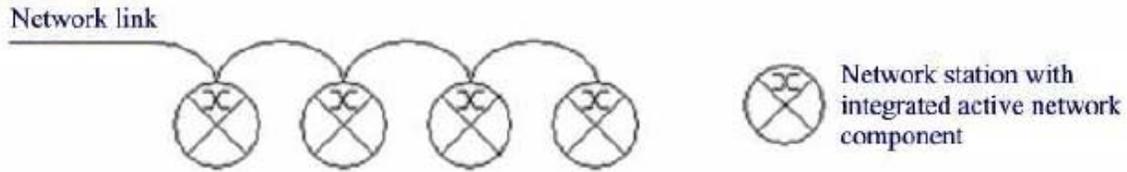


Figura. 2.5. Topología en línea con componentes activos de red internos

2.3.3 TOPOLOGÍA ESTRELLA

Una topología estrella es una topología física en la que múltiples nodos son conectados a través de un distribuidor central como un switch ó un hub. La topología en estrella es aplicada en áreas donde la densidad de dispositivos es alta y la distancia entre los mismos no es muy grande, un ejemplo típico de esto son las celdas de producción.

VENTAJAS DE UNA TOPOLOGÍA ESTRELLA

- Fácil detección y aislamiento de fallas.
- Administración, evaluación y diagnóstico simple ya que presenta un único punto de falla crítico.
- Poco retraso en la transmisión ya que no permite una concatenación en cascada profunda.

DESVENTAJAS DE UNA TOPOLOGÍA ESTRELLA

- Si el elemento central (switch, hub) falla la red se cae.
- Requiere una ingente cantidad de cableado.

2.3.4 TOPOLOGÍA EN ÁRBOL

La topología en árbol está conformada por conexiones en serie jerárquicas de topologías estrella combinadas en una sola red. Este tipo de conexión es usada cuando una

compleja instalación es dividida en regiones; en la práctica, esto suele consistir en la combinación de una serie de cables de fibra óptica y par trenzado, dependiendo de la demanda de los enlaces de transmisión.

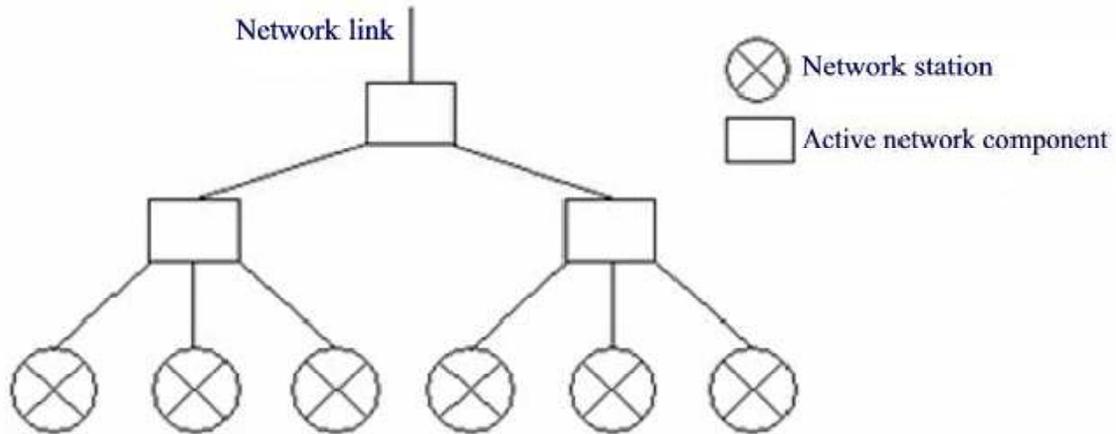


Figura. 2.6. Topología en árbol

VENTAJAS DE UNA TOPOLOGÍA ÁRBOL

- Transmisión escalable del ancho de banda. Las rutas de transmisión pueden ser dimensionada como sean requeridas.
- Costos bajos de conexión por puerto cuando se usa un switch central con una alta densidad de dispositivos por puerto.
- Presenta una topología flexible ya que es fácil aumentar y remover nodos.

DESVENTAJAS DE UNA TOPOLOGÍA EN ÁRBOL

- Presenta retrasos cuando en la transmisión se usan implementaciones en cascada profunda.
- Se reduce la disponibilidad de la red cuando los puntos en estrella central fallan.
- Se dificulta la implementación de sistemas redundantes ya que esto implica doblar esfuerzos y recursos.
- Por lo general los nodos requieren enlaces de par trenzado, limitando la longitud del enlace a 100m sin la posterior inclusión de un dispositivo activo.

2.3.5 TOPOLOGÍA ANILLO

La topología en anillo es una estructura lógica y física. Como una topología lógica, se caracteriza por el hecho que los paquetes de mensajes son transmitidos secuencialmente de nodo a nodo en un orden predefinido, como pasa en un sistema punto a punto. En este tipo de topología, cada nodo actúa como un repetidor. Cada nodo chequea si la dirección de destino del paquete coincide con la suya y en caso de serlo envía un acuse de recibo al nodo que envió el paquete. Como una topología física, un anillo describe una red en la cual cada nodo es conectado exactamente a otros dos nodos.

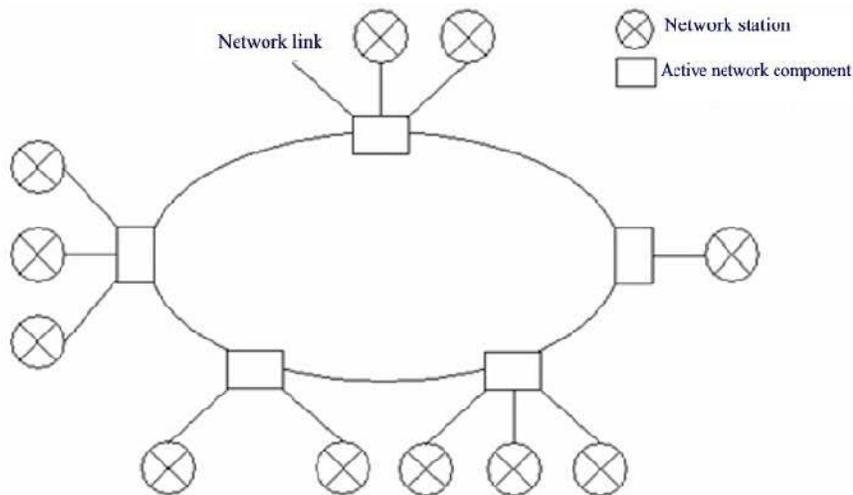


Figura. 2. 7. Topología en anillo

VENTAJAS DE UNA TOPOLOGÍA EN ANILLO

- Cada nodo es capaz de regenerar la señal.
- Reduce los requerimientos de cableado y por lo tanto costos.
- No precisa de cableado central o elementos centrales de red, permitiendo a unidades y subprocesos proporcionar su propia red.
- Permite establecer una comunicación redundante al formar un anillo doble.

DESVENTAJAS DE UNA TOPOLOGÍA EN ANILLO

- Si un nodo falla, toda la red se cae.
- El diagnóstico de problemas es difícil ya que se dificulta el aislamiento de fallas al ser la comunicación en un solo sentido.
- Los retrasos de los componentes activos de la red en cascada son acumulativos, lo que podría afectar el rendimiento de la red. En especial esto repercute en el desempeño de los componentes de planta, que necesitan respuestas en tiempo real.

TOPOLOGÍA	BUS	ESTRELLA/ÁRBOL	ÁRBOL/MALLA	LÍNEA	ANILLO
Esfuerzo en planificación	Bajo (segmento de bus simple) a medio	Bajo (distribuidor) a alto (cableado estructurado)	Alto	Bajo	Medio (ruta redundante)
Esfuerzo en cableado	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Medio
Ancho de Banda	Bajo	Alto	Alto	Medio	Medio
Disponibilidad	Bajo	Bajo (punto de estrella)	Alto	Bajo	Alto
Esfuerzo en localización de fallas	Bajo	Medio	Alto	Medio	Alto
Soporte	Bajo	Alto (switches gestionados)	Alto (switches gestionados)	Alto (switches gestionados)	Alto (switches gestionados)
Soporte de FO	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto
Expansión	Bajo	Alto	Alto	Medio	Alto

Tabla. 2.1 Comparación de las topologías de red

2.4 PROTOLOCOS BÁSICOS DE REDES

PROTOCOLO DE CONTROL DE TRANSMISIONES “TCP”

El protocolo de control de transmisiones TCP es un servicio de la capa de transporte orientado a la conexión, lo que significa que es preciso establecer la conexión para que los equipos puedan intercambiar datos. Un acuse de recibo permite verificar que el otro equipo ha recibido los datos. Por cada paquete de datos enviado, el equipo receptor debe devolver un acuse de recibo (ACK). Si no se recibe el ACK correspondiente, los datos se vuelven a transmitir. TCP dispone de un mecanismo de control del flujo de datos entre equipos, esta característica evita que lleguen demasiados datos antes de que un dispositivo pueda tratarlos, evitando así un desbordamiento de datos. Cuando el volumen de los datos a transmitir es grande se los divide en paquetes (segmentación) y se los multiplexa. En este proceso TCP asigna un número de secuencia de manera que se puedan restaurar los datos de una manera fiable y dentro de los límites del medio. Debido a la necesidad de establecer una conexión y el sistema de acuses de recibo, TCP tarda más que UDP en transmitir los datos y utiliza más ancho de banda [2].

PROTOCOLO DE DATAGRAMAS DE USUARIO “UDP”

El protocolo de datagramas de usuario UDP es un servicio de transporte de datagramas no orientado a conexión, lo que significa que la llegada de datagramas o paquetes de datos no está controlada y la fiabilidad de la transmisión es responsabilidad de la aplicación. En este sentido, el protocolo UDP es un método de comunicación más sencillo que TCP. No cuenta con sofisticados mecanismos de retransmisión, secuenciación y control de flujo. Dado que los datos se envían y reciben sin pasar por la fase de establecimiento de la conexión, la transferencia de datos es más eficiente y a menudo, también más rápida. Como resultado, UDP se utiliza en aplicaciones que requieren un uso eficiente del ancho de banda y que además disponen de protocolos de alto nivel para gestionar los datos perdidos.

PROTOCOLO DE CONTROL E INFORMACIÓN “CIP”

El protocolo CIP abarca un amplio conjunto de mensajes y servicios para las aplicaciones de control en automatizaciones industriales, seguridad, sincronización, movimiento, configuración e información. Además, permite a los usuarios integrar estas aplicaciones de fabricación con la empresa a nivel de redes Ethernet e Internet. CIP permite trabajar independientemente del cableado, se adapta a la capa física y de enlace de cualquier aplicación, lo que permite escoger la suite que mejor se adapte a una determinada aplicación.

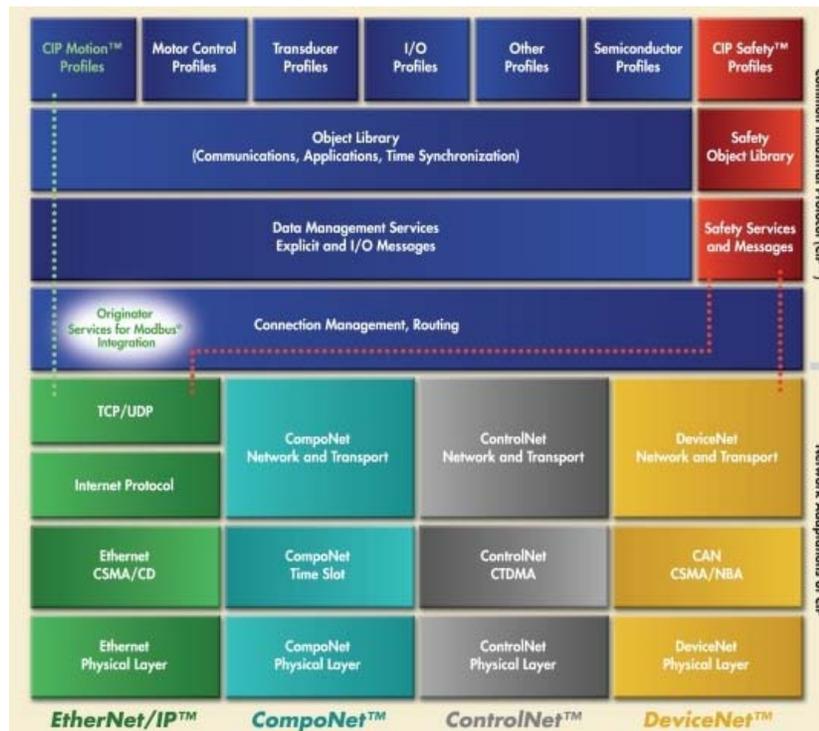


Figura. 2. 8. CIP como una plataforma de medios independientes

La tecnología CIP está estructurada entorno a los objetos en las capas superiores del modelo OSI. Cada objeto CIP tiene atributos (datos), servicios (comandos), conexiones y comportamientos (relaciones entre los valores de los atributos y servicios). La

inclusión de una librería de objetos permite a CIP una interoperabilidad para servicios y comunicaciones de red, funciones típicas de automatización, etc. [3]

2.5 DIRECCIONAMIENTO IP V4

El direccionamiento IP es una de las características fundamentales de la capa de red que permite la transmisión de datos entre host de la misma red o redes diferentes. Una dirección IP es un identificador numérico de carácter único y jerárquico asignado cada máquina en una red IP.

La dirección IP consta de 32 bits divididos en ocho octetos. Su representación puede ser en notación binaria o decimal punteada. Las direcciones de red pueden ser de tres tipos:

Dirección de red: Es la dirección IP que tienen que tiene como característica tener ceros en el identificador de host; se la puede determinar al hacer una operación AND con la máscara de red. La dirección de red se usa en el enrutamiento para enviar paquetes a redes remotas. Ejemplo de algunas direcciones de red son: 10.0.0.0, 172.15.0.0, 192.168.10.0.

Dirección de host: Es la dirección IP asignada a un terminal cuyo valor se establece entre la dirección de red y la dirección de broadcast. Por ejemplo: 192.168.2.3

Dirección de broadcast: Es la dirección IP asignada unos en el identificador de host. La dirección de broadcast es usada por aplicaciones y hosts para enviar información a todos los nodos de la red. Algunos ejemplos de direcciones de broadcast son: 255.255.255.255 (todas las subredes y todos los host), 192.16.255.255 (todas las subredes y todos los hosts de la red 192.16.0.0).

Cabe señalar que las direcciones de red y broadcast pueden ser asignadas a hosts con el comando `ip subnet-zero`. Esta característica viene incorporada para versiones del sistema operativo a partir del Cisco IOS 12.0 y es aceptada por la mayoría de vendedores. La RFC 1878 cita que la exclusión de las direcciones de red y broadcast como una práctica obsoleta y que “el software moderno debe estar habilitado para utilizar todas las redes definibles”. Sin embargo, no se recomienda el uso de las direcciones de broadcast y red

por problemas de ambigüedad ya que se tendría una red y una subred con una misma dirección IP [4].

DIRECCIONAMIENTO CON CLASE

Según la especificación de IP V4 (RFC 791) que se propugnó en el año 1981, se enuncia un sistema de clases para distribuir las direcciones acorde con un tamaño de red en un sistema de cinco clases: A,B,C,D y E. Las tres primeras clases se usaban para direccionamiento IP de hosts y las clases D y E para direcciones multicast y propósitos de investigación respectivamente. Con el fin de hacer más eficiente el enrutamiento los diseñadores de internet asignaron valores fijos de a los bits más significativos de estas clases de ésta manera:

Las direcciones de clase A empiezan con un bit 0. Por lo tanto, todas las direcciones de 0.0.0.0 a 127.255.255.255 pertenecen a la clase A. La dirección 0.0.0.0 se reserva para el enrutamiento predeterminado y la dirección 127.0.0.0 se reserva para la prueba de loopback.

Las direcciones de clase B empiezan con un bit 1 y un bit 0. Por lo tanto, todas las direcciones de 128.0.0.0 a 191.255.255.255 pertenecen a la clase B.

Las direcciones de clase C empiezan con dos bits 1 y un bit 0. Las direcciones de clase C comprenden de 192.0.0.0 a 223.255.255.255.

Las direcciones restantes se reservaron para multicasting y futuros usos. Las direcciones multicast empiezan con tres bits 1 y un bit 0. Las direcciones multicast se usan para identificar un grupo de hosts que son parte de un grupo multicast. Esto ayuda a reducir la cantidad de procesamientos de paquetes que realizan los hosts, especialmente en los medios de broadcast. Las direcciones IP que empiezan con cuatro bits 1 se han reservado para uso futuro.

Clase	Primer octeto (decimal)	Primer octeto (binario)	Redes posibles	Host por red
A	0 - 127 *	00000000 – 01111111	128 (2 ^7)	16 777 214 (2 ^24 -2)
B	128 – 191	10000000 – 10111111	16384 (2 ^ 14)	65 534 (2 ^16 - 2)
C	192 – 223	11000000 – 11011111	2 097 150 (2 ^21)	254 (2 ^8 -2)

Tabla. 2.2. Clases de direcciones IP V4

* Se descartan las direcciones de red y broadcast como válidas.

Actualmente se usa el direccionamiento sin clase con el cual se asigna bloques de direcciones adecuados para los host de cada red.

ASIGNACIÓN ESTÁTICA Y ASIGNACIÓN DINÁMICA

La asignación estática consiste en configurar manualmente la información de red, es decir, al menos llenar los campos: dirección IP del host, máscara de subred y puerta de enlace predeterminada. El administrador opta por este tipo de configuración en dispositivos de red como switch industriales, estaciones de trabajo, elementos de supervisión y monitoreo, PCs, PLCs, servidores, y en general para dispositivos que deben ser accesibles por el usuario y cuya dirección IP no debe cambiar ni volverse a usar.

Para dispositivos intermediarios como hubs, switches y puntos de acceso inalámbrico por general no es necesario asignarles una IP. Pero si se utiliza este tipo de dispositivos para tareas de monitoreo, configuración deberían tener IP asignadas.

En routers o firewalls es conveniente asignar una IP fija para cada interfaz, por lo general se recomienda asignar la primera o última dirección hábil de la red. Esta asignación debe ser coherente para todas las redes de la empresa y funcionar como puerta de enlace predeterminada para los host de la red.

En una asignación dinámica el DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol o Protocolo de configuración dinámico de host), la información de red se asigna de manera automática y solo se configura el “conjunto de direcciones” del servidor DHCP. Este método de asignación es muy útil en redes grandes ya que de esta manera se reduce la carga personal en soporte de red y se elimina errores de ingreso. Las direcciones asignadas mediante este método son válidas durante el tiempo que el host permanezca encendido o enlazado a la red, caso contrario la dirección vuelve al “pool” para ser reutilizada. Las direcciones asignadas a este pool deben ser planificadas de manera que se excluyan las direcciones asignadas a otro tipo de dispositivos [5].

SUBNETEO ESTÁTICO Y “VLSM”

Existen dos tipos de subneteo: estático y longitud variable. El subneteo estático implica que todas las redes obtenidas de la misma red usan la misma máscara de subred. En el subneteo con máscaras de longitud variable se presenta cuando las subredes de una misma clase tienen máscaras de diferente longitud [6].

El diseño de redes con máscaras de longitud variable es un aspecto importante dentro del networking ya que mediante el uso de VLSM se puede optimizar el desempeño de la red utilizando de una manera eficiente los bloques de direcciones IP asignados para cada subred. Otros beneficios de usar VLSM son la reducción de tráfico de la red, una administración simplificada y la detección de fallas de manera oportuna.

Para facilitar el subneteo se debe tener en mente el siguiente cuadro.

Bits prestados	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de Hosts	128	64	32	16	8	4	2	1
Prefijo CIDR	/25	/26	/27	/28	/29	/30	/31	/32
Máscara de subred	128	192	224	240	248	252	254	255

Tabla. 2.3. Cuadro de subnetting

CAPÍTULO 3

SISTEMA DE CABLEADO PARA ETHERNET INDUSTRIAL

3.1 INTRODUCCIÓN

La normalización se ha convertido en un instrumento importante para la competencia internacional. Apoya la introducción en el mercado, unifica productos y procesos asegurando el éxito de las nuevas tecnologías y garantizando un nivel de compatibilidad e interoperabilidad que permita reducir el riesgo de las inversiones.

El avance de la tecnología precisa tener un ordenamiento de todos los sistemas de comunicación dentro de una empresa y por tal razón se han creado normativos como el cableado estructurado. Los sistemas de cableado estructurado facilitan labores como: la administración del tendido de los cables, reducción de fallos, menor costo de mantenimiento y unificación de los servicios de telecomunicaciones. Por otro lado, se tiene desventajas como: una inversión inicial elevada, una amortización de la inversión a mediano y largo plazo y la necesidad de un estudio previo.

3.2 ANSI/EIA/TIA/ 568 B

El estándar para cableado para telecomunicaciones en edificios comerciales define un sistema de especificaciones técnicas y funcionales para la instalación de un sistema genérico de cableado para diferentes servicios de telecomunicaciones (voz, video, datos, etc), sin tener un conocimiento previo de los productos que posteriormente se instalarán.

Hay seis subsistemas que comprenden esta norma: cableado horizontal, cableado vertical (backbone), área de trabajo, armario de telecomunicaciones, infraestructura de entrada, cuatro a de equipos, ver figura 3.1 [1].

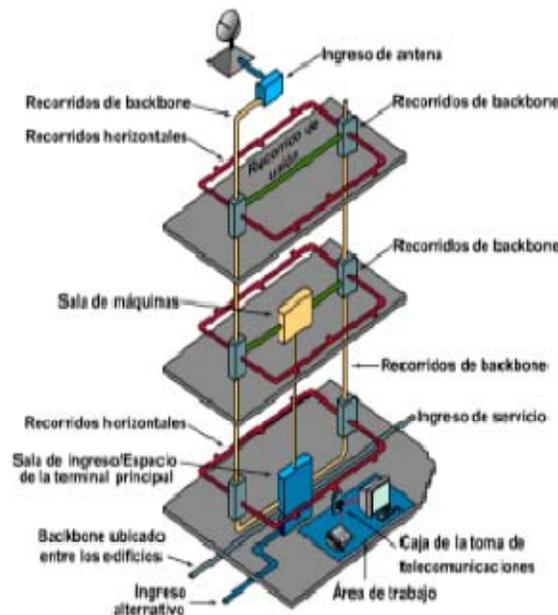


Figura. 3.1. Subsistemas de cableado estructurado

3.2.1 CABLEADO HORIZONTAL

Consiste en el medio físico que se extiende desde la salida de comunicaciones en el área de trabajo hasta el conector que se localiza en el patch panel (panel de conexión) del rack de comunicaciones.

El cableado horizontal debe ser instalado de tal manera que se facilite la reubicación de equipos y el mantenimiento de la red. Se utiliza una topología estrella y no se permiten puentes, derivaciones ni empalmes a lo largo de todo el trayecto del cableado. La longitud máxima del trayecto del cable es de 90 m independientemente del tipo de cable, a esta distancia se la denomina enlace permanente y se mide desde la salida de telecomunicaciones en el área de trabajo hasta las conexiones de distribución horizontal en el armario de telecomunicaciones. La longitud máxima de los cables de conexión cruzada y punteo (interconectan el cableado horizontal con el vertical en el armario de telecomunicaciones) es 6 m y los patch cord, (interconectan la salida de telecomunicaciones con los equipos terminales en el área de trabajo) son de 3 m máximo.

Existen cuatro tipos de cable reconocidos por esta norma:

- Par trenzado, cuatro pares, sin blindaje (UTP) de 100 ohmios, conductores 24 AWG, categoría 5e y categoría 6.
- Par trenzado, cuatro pares, con blindaje (STP) de 100 ohmios, conductores 24 AWG, categoría 5e y categoría 6.
- Fibra óptica, dos filamentos, multimodo de índice gradual 62.5/125 μm y 50/125 μm .

El cable usando en la mayoría de implementaciones es UTP, cuatro pares, 24 AWG con cubierta termo plástica o de teflón (FEP), que cumpla con los requerimientos de transmisión y desempeño del canal de comunicaciones establecidas en los estándares TIA/EIA 568 B.2 para categoría 5E o TIA/EIA 568 B.2-1 para categoría 6, pero manteniendo en la instalación una homogeneidad en cuanto a la categoría de todos los elementos que integran el cableado estructurado, en donde se deben cumplir las especificaciones de la tabla 3.1.

En cuanto al radio de curvatura de los cables de cobre, éste debe describir un arco de al menos 4 veces el diámetro del cable. Hay que tener en cuenta que en la corrida del cable no existan más de dos ángulos de 90 grados y en caso de cruzar circuitos de energía en

su trayectoria, el cable debe cruzar por encima del cable de energía o separado al menos 15.2 cm del mismo.

Especificación	CATEGORÍA 5E	CATEGORÍA 6 E	
Frecuencia de testeo (MHz)	100.0	100.0	250.0
Pérdida por inserción (dB)	22.0	19.8	32.8
Next (dB)	35.3	44.3	38.3
PS-Next(dB)	32.3	42.3	36.3
ACRF (dB)	23.8	27.8	19.8
PS ACRF (dB)	20.8	24.8	16.8
Pérdidas por retorno (dB)	20.1	20.1	17.3

Tabla. 3.1. Normas TIA/EIA 568 B.2 y TIA/EIA 568 B.2-1

3.2.2 CABLEADO DE BACKBONE

El cableado vertical ó vertebral provee la instalación entre acometidas, armarios de comunicaciones o también un cuarto de equipos en un campus. Según la normativa TIA/EIA 568 B.1 la función del cableado vertical es “interconectar cuartos de telecomunicaciones, cuartos de equipos, zonas de terminales principales y medios de entrada en la estructura del sistema de cableado de comunicaciones”. Entre sus componentes incluye: las conexiones cruzadas intermedias y principales, cableado, terminales, cables de unión (patch cords), puentes (jumpers).

La topología a implementar en el cableado de backbone es en estrella jerárquica, donde el centro principal corresponde al distribuidor principal (MDF), posteriormente se conectan las estructuras intermedias (IDF) que en algunos casos se pueden obviar, luego la conexión cruzada y finalmente el área de trabajo.

Los tipos de cable reconocidos por este estándar son:

- UTP, multipar, impedancia característica 100 ohmios, CAT 3, 4 ó 5.
- STP, multipar, impedancia característica 150 ohmios.
- Fibra óptica, multimodo, índice gradual 62.5/125 μm .
- Fibra óptica, monomodo, índice gradual 8.3- 10 /125 μm .

Las distancias máximas permisibles son:

- 800 m. para cable UTP, únicamente voz.
- 700 m. para cable STP, únicamente voz.
- 2000 m. para fibra óptica multimodo, cualquier aplicación.
- 3000 m. para fibra óptica monomodo, cualquier aplicación.

3.2.3 ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo se encuentra definida como el lugar físico en dónde se obtienen los servicios de una determinada sala de comunicaciones. Por lo general, en el área de trabajo se encuentra un patch cord categoría 5e ponchado uno a uno que se conecta desde la salida de telecomunicaciones (roseta, punto de conexión) hasta el equipo activo (NIC del PC). La distancia del patch cord con una longitud mayor a 3 m en un área de trabajo con MUTOA (salidas de telecomunicaciones para múltiples usuarios) sigue la siguiente tabla 3.2.

Cable área de trabajo	Cables de cruzadas	Enlace permanente	Distancia máxima del canal
3	7	90	100
7	7	85	99
11	7	80	98
15	7	75	97
20	7	70	97

Tabla. 3.2 Distancias máximas para patch cord mayores a 3 m.

3.2.4 ARMARIO DE TELECOMUNICACIONES

El armario de telecomunicaciones ó telecommunication closet (TC), es el lugar físico donde se realiza la interconexión de todo el cableado tanto horizontal como vertical. En este lugar convergen los elementos que sirven para montar la infraestructura necesaria para la terminación del cableado, racks de comunicaciones, paneles de comunicación y también elementos activos como switches, hubs y routers.

La interconexión entre armarios será mediante un ducto no menor a 78 mm (ducto comercial de tamaño 3). Entre las características física de los mismos tenemos que deben ser de una dimensión no menor 91 cm ancho x 200 cm de alto, con puertas de acceso de apertura completa con llave.

3.2.5 INFRAESTRUCTURA DE ENTRADA

Se define como el lugar donde se ubican los servicios externos que proveen compañías privadas o públicas como el servicio de telefonía pública, servicios de internet, tv por cable, etc.

3.2.6 SALA DE EQUIPOS

La sala de equipos es el espacio centralizado de uso específico para el equipo de telecomunicaciones tal como la central telefónica, equipo de cómputo y/o conmutador de video.

El cuarto que tiene equipamiento electrónico debe mantenerse continuamente (365 días de año, 24 horas del día), entre 18° C y 24 °C. La humedad relativa debe mantenerse entre 30 % y 55 %. Se debe hacer un cambio de aire por hora.

3.3 ANSI/TIA 1005

El propósito de la infraestructura de telecomunicaciones estándar para instalaciones industriales es sugerir recomendaciones prácticas para la planificación e instalación del sistema de cableado telecomunicaciones con aplicaciones de voz, video, datos y control para ambientes hostiles en entornos industriales.

3.3.1 ÁREAS INDUSTRIALES

Equipo de control / Sala de telecomunicaciones

Esta área es equivalente a MDC (armario de distribución principal) o IDC (armario de distribución intermedio) definido en la norma ANSI/EIA/TIA 568 B. Se caracteriza por ser cerrado y protegido del ambiente industrial y localizado donde se encuentra la interfaz del equipo de la red principal [2].

Sector industrial

Es la ubicación física destinada al asentamiento del equipo industrial, sensores, actuadores y controladores para las operaciones de fábrica. Esta es una zona de alto tráfico requiere consideraciones especiales en cuanto a protección y ubicación del equipo de comunicaciones. Típicamente se clasifica como MICE 1 o superior.

Área de trabajo

El área de trabajo se define como una región donde el personal interactúa con los dispositivos de telecomunicaciones y máquinas industriales. Las áreas de trabajo a menudo tienen las más severas condiciones ambientales dentro del área industrial. Es de importancia que el área de trabajo se encuentre diseñada para prestar adecuados servicios tanto al personal de planta como a los dispositivos de control que en aquella residen. El área de trabajo generalmente se clasifica como MICE 1 o superior.

Isla de automatización

Es la región que se encuentra limitada o dentro del área de trabajo y próximo al equipo industrial. Se caracteriza por la poca presencia de personal humano dentro del ciclo de máquina y por tener una similar clasificación ambiental de sus componentes industriales.

3.3.2 CABLEADO HORIZONTAL

En lo referente al cableado horizontal se sigue la norma ANSI/EIA/TIA 568, estudiada anteriormente.

Cables reconocidos por la norma:

- UTP/STP, 4 ó 2 pares, 100 ohmios, balanceado.
- Fibra óptica, monomodo/multimodo, ANSI/EIA/TIA 568 C.3.
- Fibra óptica de sílice revestido con polímero plástico, ANSI/EIC 24702.

Distancias máximas permisibles para enlaces de cobre

Para el área de trabajo la distancia máxima permisible limita el canal a 100 m (382 pies), tomando en cuenta el cableado horizontal y el cableado de conexiones.

Las siguientes fórmulas son aplicables para calcular las longitudes máximas del cable y del enlace:

$$H + (1 + D)C \leq 102 \text{ m} \quad [3.1]$$

$$W = C - T \quad [3.2]$$

Siendo:

C = La longitud máxima combinada del cable de área de trabajo, cable de equipo y cable de conexión medidas en metros.

W = La longitud máxima del cable de área de trabajo (m).

H ≤ 90 m la longitud del cable horizontal (m).

D = 0.2 para cables de conexión (24 AWG UTP, 24 AWG) y 0.5 para cables de conexión 26 AWG ScTP.

T = la longitud máxima asumida para cables de enlace y equipo en el cuarto de telecomunicaciones.

Los cables deben cumplir la norma ANSI/EIA/TIA 568 B.2, salvo las excepciones que se encuentran especificadas en este estándar. Para cables de conexión y cables horizontales, las longitudes máximas deben ser dadas por las ecuaciones 3.1 y 3.2.

3.3.3 CABLEADO DE BACKBONE

La norma reconoce tres tipos de cables: cobre, FO vidrio y FO plástica.

- UTP /STP, cobre 4 pares, 100 ohmios balanceado.
- Fibra óptica de vidrio, monomodo / multimodo, ANSI/EIA/TIA 568 C.3
- Fibra óptica plástica, fibra de polímero plástico (ISO/IEC 24702).
- Fibra óptica plástica, fibra de sílice revestido con polímeros plásticos (ISO/IEC 24702).

3.3.4 HARDWARE DE CONEXIÓN: COBRE

Conectores para salidas de comunicaciones

- Modular de 8 posiciones: 100 Ω para par trenzado que cumpla con la norma ANSI / EIA / TIA 568 B.1 y se debe usar un método de cableado T568 A / B.
- No sellados: Cada cuatro pares terminados deben ajustarse a los requisitos ANSI / EIA / TIA 568 B.2
- Sellados: Estos pueden ser encapsulados dentro de cubierta protectora y cumplir con la norma ANSI/EIA/TIA 568 B.2 y en cuanto a condiciones ambientales deben cumplir con las tablas MICE.

Conexión de salida de automatización

- Sirven de interface entre el cable genérico y salidas de automatización.
- Modular de 8 posiciones: 100 ohmios para par trenzado que cumpla con la norma ANSI / EIA / TIA 568 B.2, categoría 6 o superior.
- No sellados: 100 ohmios, 4 pares que deben terminar en un conector de 8 posiciones.
- Sellados: Conector tipo encapsulado, variante 1 de la norma IEC 61076-3-106.

Salidas de automatización alternativas

- Conector sellado de dos pares, tipo M-12 – 4 codificación D con normativa 61076-2-100. Este conector debe ser categoría 5e o superior para 4 conexiones. Si el número de conexiones es mayor se recomienda como mínimo un conector CAT. 6e.

Adaptadores

- Se debe usar tomas back to back para conexiones en “bulkhead”.
- Adaptares acoplados para las correspondientes categorías y medios.

3.3.5 HARDWARE DE CONEXIÓN: FIBRA ÓPTICA

Conectores para salidas de telecomunicaciones.

- Conectores tipo LC, con norma ANSI/TIA/EIA-604-10A, que permitan ejecutar ANSI/TIA/EIA-568-C.3
- Conectores de fibra óptica sellados, protegidos por encapsulación, aislamiento o separación. Se recomienda usar la variante 1 de la norma IEC 61076-3-106, pero se puede usar cualquier método de encapsulación, siempre que un único método se utilice para su encapsulación.

Salida de automatización para fibra óptica y conectores

- No sellados: Conectores familia LC, especificados en la norma ANSI/TIA/EIA-604-10A, que permitan ejecutar ANSI/TIA/EIA-568-C.3.
- Sellados: Conector de salida sellada que cumpla con la variante 1 de la norma IEC 61076-3-106, incorporando el conector LC dúplex de ANSI/TIA/EIA-604-10A.

3.3.6 CLASIFICACIÓN DE AMBIENTES MEDIANTE MICE

El concepto MICE es un enfoque formal elaborado con la finalidad de realizar una clasificación ambiental de las zonas a nivel de planta para lograr un ambiente con mitigación cero. La mitigación es un método de conversión de un ambiente duro en un entorno más favorable.

Este método se basa en la categorización ambiental en tres niveles: $M_1I_1C_1E_1$ ambientes ofimáticos, $M_2I_2C_2E_2$ semindustrial y $M_3I_3C_3E_3$ industrial.

La clasificación MICE abarca un 80 % de las condiciones ambientales, excluyéndose solo aquellos ambientes más severos y especializados [3].

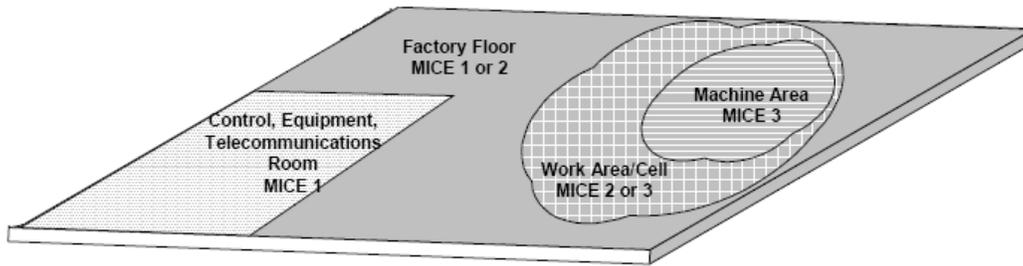


Figura. 3.2. Clasificación de ambientes industriales según MICE

CARGA MECÁNICA

La carga mecánica hace referencia a la evaluación de factores como choque, impacto, vibración, tensión y torsión. Los cuales se puede conocer los valores límites de carga revisando [4].

INGRESO DE PARTÍCULAS

La penetración de partículas extrañas examina sustancias como polvo, humedad en forma de gotas, aerosoles, salpicaduras y general todas aquellas partículas que se pueden contemplar dentro del contenido de [4]. Para establecer una clasificación conveniente vale la pena revisar la clasificación IP y datasheets de los correspondientes equipos para tener un criterio a cerca del nivel de protección con que cuentan los equipos a evaluar. Así pues según la norma ISO/IEC 24702, se clasificará a los ambientes ofimáticos los que posean una IP 20, semindustrial a un IP 65 e industrial si es IP 67.

CARGAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las cargas electromagnéticas pretenden cubrir el amplio campo de los factores electromagnéticos, frecuencias, descargas electrostáticas, etc. En general se aplica lo siguiente: cuando mayor es la corriente, voltajes y frecuencias en el medio ambiente y cuando más cercano se encuentra el cableado a estos factores, mayor será la probabilidad de que la transmisión de datos se vea afectada y más alta será la clasificación E.

CARGAS CLIMÁTICAS Y QUÍMICAS

La clasificación climática y química agrupa tres grades grupos: condiciones climáticas, cargas de sustancias líquidas y carga de sustancias gaseosas.

La clasificación C3, aplica para ambientes caracterizados por una alta presencia de contaminación. La clase C1, se usa para designar ambientes no críticos, como oficinas

3.3.7 SELECCIÓN DE CABLEADO

A continuación se define el criterio para elaborar el diseño de cableado para un área con nivel de mitigación cero.

Selección del ancho de banda y categoría.

La elección del ancho de banda y categoría se realiza mediante una simple inspección de la tabla 3.3, a criterio del diseñador y tomando en cuenta las futuras aplicaciones que se puedan suscitar en el diseño. Es importante en este punto considerar las normativas en cuanto a cableado vigentes (TIA 568 B, ISO/IEC 11801), ya que estas permiten categorizar la implementación. Se sugiere también usar una misma categoría de cable y componentes en un mismo canal (excepto cuando las conexiones sean mayores a 4 por canal), de no ser así se degradaría la categoría de la implementación ya que ésta viene dada por elemento de más baja categoría. Las normas vigentes para cableado estructurado recomiendan como mínimo usar categoría 5e.

Tasa de transmisión	Categoría mínima soportada	Categoría Recomendada	Clasificación del canal ISO/IEC 11801	BW canal ISO/IEC 11801
10 Mbps	CAT 3	CAT 5	Clase C	16 MHz
10/100 Mbps, 1Gbps	CAT 5e	CAT 5e, CAT 6	Clase D	100 MHz
10/100 Mbps, 1Gbps	CAT 6	CAT 6 y CAT 6A	Clase E	250 MHz

Tabla. 3.3 Anchos de banda y categorías de cable

Tipo de cable STP, UTP ó fibra óptica.

Use STP cuando:

- Realice instalaciones con conduit.
- Transitorios eléctricos, EFT > E1.
- Conducción o radiación de EMI > E3.
- Exista una altas descarga electrostática, ESD (E1 o mayor).
- Dispositivos con altas corrientes (>100 A).
- Centros de control de motores.
- Procesos de soldadura por inducción.

Use UTP cuando:

- Edificaciones pobremente aterrizadas
- Cuando la diferencia de potencial en el sistema a tierra sea > 1V.
- Aplicaciones que necesiten flexibilidad.
- Sobretensión > E1

Use fibra óptica cuando:

- EMI es muy grande y no se puede hacer un adecuado sistema de tierra en estrella.
- La temperatura en el medio ambiente es muy elevada para usar cable de cobre.
- Cuando se hagan instalaciones en áreas al aire libre e instalaciones entre edificios.
- Para distancias mayores 100 m. La fibra óptica multimodo cubre distancias de hasta 2 km y la fibra óptica monomodo se usa en instalaciones de 30 km o más.

Factores de rendimiento eléctrico.

Estudios han demostrado que existen factores eléctricos y mecánicos que influyen en el rendimiento del sistema de cableado, entre los principales tenemos: aspectos

ambientales, conectores, puesta a tierra y unión, flexión, esfuerzos de tracción y compresión. Por ejemplo, la alta flexibilidad del cable requiere aleaciones especiales para la constitución del mismo; mientras que las pérdidas por inserción del cable trenzado es 1.4 veces mayor comparado con el cable sólido de cobre. En un ambiente determinado, el ruido electromagnético está presente en varios niveles y espectro de frecuencias, ver figura 3.3 [5].

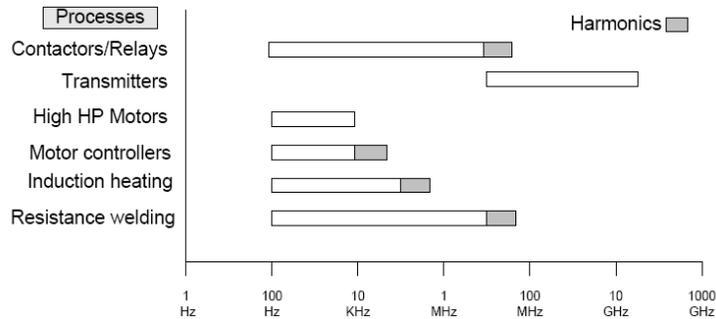


Figura. 3.3. Rango de frecuencia para dispositivos generadores ruido comunes.

El principal factor que afecta a los sistemas electrónicos es el ruido. El ruido electrónico tiene dos mecanismos de ingreso: ruido conducido a través de los cables y radiado directamente en el equipo. En general, el ruido conducido por RF y por transitorios eléctricos es en modo común.

En el caso del ruido conducido, este se puede eliminar usando cables par trenzados equilibrados ($Z_{\text{conductor 1}} = Z_{\text{conductor 2}}$), en este caso es necesario normalizar la impedancia de línea. En medida que en se minimiza la EMI conducida, también se reduce el radiado: hay menos armónicos de alta frecuencia circulando por los cables.

Para mitigar los efectos nocivos por el ruido radiado se planifica un enrutamiento del sistema de cableado manteniendo una separación mínima de los sistemas de alto voltaje y en general con las normas de cableado estructurado. Este tema se explicará con mayor detalle en el capítulo 4.

Cable de dos o cuatro pares.

La construcción de cables se encuentra regido por la norma ANSI/EIA/TIA 568 A, la cual especifica que se deben usar los cuatro pares para la construcción de un cable de telecomunicaciones para permitir aplicaciones futuras. Comúnmente se utiliza únicamente dos pares con los cuales podemos entablar una transmisión, lo cual no cumple con la norma y no permite certificar el cableado; los dos pares restantes se usan para telefonía digital y para aplicaciones Fast Ethernet con señalización 100 base T4 y Gigabit Ethernet.

Es aconsejable usar cableado de dos pares en estas circunstancias:

- Aplicaciones 10/100 Base T.
- Conector con código M 12-4 “D” (terminado diferencialmente).
- Cuatro circuitos, conectores modulares de ocho vías (RJ - 45).
- Aplicaciones que requieren un alto nivel de flexibilidad.
- En máquinas.
- Paneles con espacios limitados (usar conectores M 12-4).
- Donde el espacio para el diámetro del cableado sea limitado.

Use conductores de cuatro pares en:

- Cableado de backbone y “uplink ports”, (conexión de subida de los puertos).
- Diseños que puedan requerir aplicaciones futuras y velocidades mayores a 100 Base T.
- Aplicaciones que soporten voz y video.

No es recomendable mezclar cables de dos y cuatro pares en el mismo canal, al menos que los pares no usados sean terminados diferencialmente. No se debe usar cable de cuatro pares en un conector de dos pares (cuatro circuitos). El uso indebido de los conectores puede causar problemas de compatibilidad electromagnética (EMC).

Factores de rendimiento mecánico MIC.

En este punto se debe hacer una evaluación de las condiciones ambientales M_n, I_n, C_n , de las distintas áreas de trabajo versus la clasificación MICE del cableado que se desea implementar para lograr un ambiente de mitigación cero y electromagnéticamente compatible.

Por ejemplo, si se tiene el cableado con clasificación $M_2I_2C_2$ y un área de clasificación ambiental $M_3I_2C_3$, entonces debemos mitigar los factores mecánicos y climáticos/químicos.

Una solución podría ser aislar a los cables dotándoles protecciones y controlar el nivel de la temperatura para así encajarnos en los requerimientos $M_2I_2C_2$.

Atributos mecánicos adicionales

Cuando se selecciona un cable es importante considerar atributos mecánicos que debe cumplir la chaqueta del cable como: la compatibilidad a las vibraciones, la temperatura, productos químicos en el ambiente, exposición directa a la luz solar, etc. Es importante no pasar por alto estas especificaciones ya que muchos fabricantes de cables no se ajustan a los requerimientos de las normas TIA/EIA en aspectos como las temperaturas industriales. Las sustancias químicas son otro factor a considerar ya que estas pueden ser absorbidas por el alambre y las chaquetas aislantes causando deterioro del recubrimiento y degradación en el rendimiento. En algunas ocasiones se requiere usar medios sellados si los conectores o las chaquetas de los cables son usados en ambientes agresivos.

Para aplicaciones industriales es recomendable usar cable balanceado y para la red corporativa se debe considerar usar cable blindado o fibra óptica. A continuación se enuncia una serie de requerimientos a considerarse en el diseño de cableado:

- **Chaquetas resistentes.** Las aplicaciones de control requieren emplear equipo que usan lubricantes químicos, “fluidos de corte” y cumplir con las normas UL 1277/UL 13.

- Las chaquetas deben ser hechas de los siguientes materiales: TPE (plástico térmico elastómero), PVC (policloruro de vinilo), FEP (propileno etileno fluorinado), PUR (poliuretano).
 - Generalmente cubiertas de TPE son recomendables en ambientes con aceites y para entornos con salpicaduras de soldadura.
 - PVC para entornos genéricos.
 - IP 67, resistente a la acción de agentes externos como hidrocarburos y agua.
-
- **2/4 pares.** El número de pares usados tiene una incidencia directa en el tipo de conector a usar. Así pues, los conectores M12- 4 “D” requieren menor espacio de instalación que los conectores RJ – 45.
 - Dos pares de cables pueden ser usados con el circuito de 8 conectores.
 - Cuatro pares de cables no pueden ser usados con el circuito con cuatro conectores como el M12-4 “D”.
 - En los pares no usados se debe usar terminación diferencial ya que estos no tienen una referencia respecto a tierra.
-
- **Temperatura extrema.** Es necesario tomar en cuenta el factor temperatura en las especificaciones de los cables y en la instalación de los conectores. Temperaturas mayores a 60 ° C suelen requerir el uso de materiales especiales.
 - **Resistencia al impacto y abrasión.** Para instalaciones en las cuales se requiere exponer al cableado a posibles impactos, deformaciones o rozamientos inherentes al proceso al cual prestan servicio se puede requerir la instalación de armaduras o elementos mecánicos de protección.
 - **Alta flexibilidad y flexibilidad.** Los cables de alta flexibilidad están diseñados para ser continuamente flexionados, la vida útil de este tipo de cable es 1.5 millones y superior.
 - La flexibilidad del cable depende de diámetro del mismo. Según la norma 568 C, el radio de curvatura para el cable flexible patch cord es de 1x OD y

para el cable de par entorchado durante su instalación es de 4 x OD, tanto para UTP como para STP.

Al finalizar este proceso y considerando todos los factores expuestos en las secciones anteriores se tiene como resultado una tabla como la que muestra a continuación.

Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6
Canal	Tipo de cable	EMI	2/4 pares	MIC	Atributos mecánicos
1 Gbps.	Ruido eléctrico	E3 conducida	Conector GG - 45	Instalación con conduit	UL 1277
CAT 6A, Clase F	SCTP	TCL = 73 - 15 log (f), 40 dB máx. ELTCTL = 50 - 20 log (f), 40 dB máx.	Cuatro pares	M ₃ I ₂ C ₃ , desplazamiento 15 mm partículas 50 µm temperatura 65 ° C	IP 65, cable flexible

Tabla. 3.4 Selección de cable mediante MICE

3.3.8 DISPOSITIVOS DE INTERCONEXIÓN

Conectores para cobre

Los conectores RJ 45 son la tecnología más establecida y usada durante los últimos 15 años, cumplen con la norma IEC 60607 y están disponibles para categoría 5e y 6, ver figura 3.4. Sin embargo, este tipo de conector modular de 8 vías no es adecuado para ambientes agresivos, ya que estos tienen clasificación IP 20 y son usados en un ambiente MICE 1.



Figura. 3.4. Conector modular de 8 vías tipo macho CAT 6.

Para trabajo en ambientes agresivos que deban cumplir el grado de protección IP 65/67 (no tiene protección adicional a pesar de la diferente clasificación), se ha desarrollado una versión sellada tipo industrial del “conector modular de 8 vías”, llamado M12-4 D (tipo M12 con cuatro pines y codificación D), ver figura 3.5. Este tipo de conector tiene una mejor relación de rechazo al modo común, son más robustos y proporcionan una conexión segura incluso ante golpes y vibración. Es importante recalcar que no todos estos conectores son adecuados para transporte de información y aplicaciones de control, se debe asegurar que la clasificación mínima de este conector sea 5e.



Figura. 3.5. Conector M12- 4D con IP 67.

Para aplicaciones con mayores requerimientos como Gigabit Ethernet es necesario usar conectores M 12 en 8 pines, el cual usa los cuatro pares para enviar y recibir información en modo full- dúplex.

Conectores para fibra

Para aplicaciones de fibra óptica sobre EtherNet/IP tenemos tres tipos de conectores ST (straight through), SC (standard connector) y LC (Little connector, versión pequeña del SC). Los conectores tipo ST son no blindados de tipo bayoneta con socket, tienen 2.5 mm de diámetro y pertenecen a la clase ferrule cerámico pero también existen en metal o

plástico, (ver figura 3.6). Existe en versiones tanto para fibra óptica multimodo como para monomodo, en configuración simplex, son ampliamente utilizados por su simplicidad y rapidez de instalación.



Figura. 3.6. Conector ST.

Los conectores tipo SC no poseen blindaje, tipo push pull con recubrimiento plástico de 2.5 mm de diámetro, el recubrimiento también puede ser ferrule cerámico. Existen en aplicaciones para fibra multimodo y monomodo en configuraciones simplex o dúplex, ver figura 3.7.



Figura. 3.7. Tipos de conectores SC.

Los conectores tipo SC son una variante del conector SC, se caracteriza por su pequeña dimensión que ahorra espacio para su instalación en paneles y armarios hasta en un 50 %. Tienen recubrimiento ferrule plástico o cerámico de 1.25 mm de diámetro, usa el estilo de conexión de los conectores telefónicos RJ que provee un click audible cuando este encaja. Vienen en versiones simplex, dúplex y blindadas que cumplen con la variante 1 de la norma IEC 61076-3-106 y especificaciones para EtherNet/IP, ver figura 3.8.

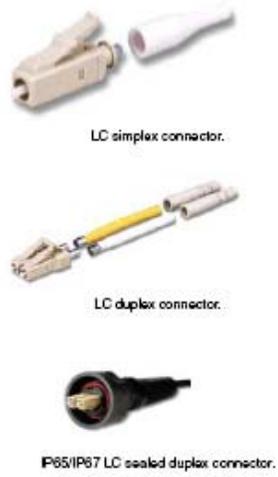


Figura. 3.8. Tipos de conectores LC.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN EN LA CÉLULA

4.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo cuatro se contemplan los criterios para realizar la instalación, enrutamiento, certificación y verificación del sistema de cableado en un sistema de Ethernet Industrial. Se enfoca la implementación de los componentes de hardware en la célula. Principalmente, detalla las normativas para realizar la instalación del sistema bajo el criterio de la compatibilidad electromagnética de manera que no exista una degradación en la calidad del canal de comunicaciones.

4.2 CANAL

El canal en un sistema de cableado que se compone por todos los elementos existentes entre las interfaces de los equipos activos. En la figura 4.1 se pueden distinguir los

distintos elementos que componen el canal. Enlace permanente (c + d), patch cord (b) y cables de equipos tanto en área de trabajo (e) como en el armario de comunicaciones (a).

La máxima longitud de un canal es 100 m independientemente del medio usado. En esta longitud se considera $a + b + e \leq 10$ m.

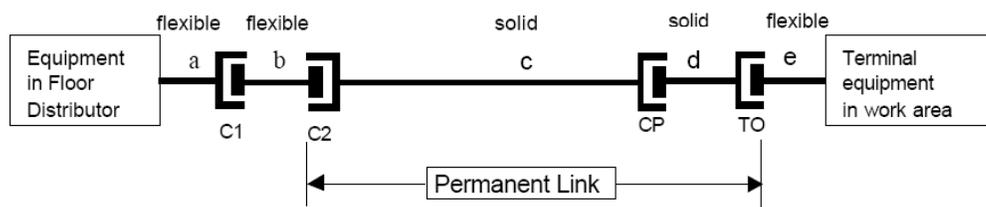


Figura. 4.1. Canal de cuatro conectores.

El enlace permanente se encuentra definido como la porción instalada permanentemente del cableado. Esta consiste en un conector en el armario de equipos, hasta 90 m de cable, punto de consolidación localizado hasta 20 m desde el extremo final del cable horizontal y un conector de salida de comunicaciones en el área de trabajo. No todos los enlaces permanentes tienen conectores en los extremos y un patch cord. La funcionalidad del enlace permanente es que todos los componentes cumplan las normas y que no existan elementos intermedios en el mismo. Así pues no es permitido el uso de resistencias de terminación, diodos, cruzadores y cualquier otro tipo de dispositivos que podrían limitar la usabilidad del enlace permanente para las diferentes aplicaciones o actualizaciones futuras [1].

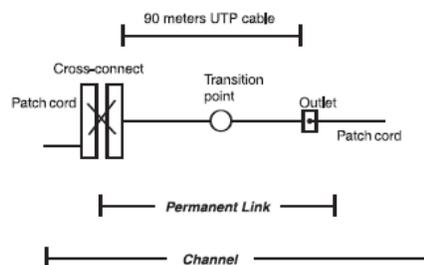


Figura. 4.2. Elementos constitutivos del canal.

Para la selección de canal, categoría de cable y velocidad de transmisión se usará el criterio MICE expuesto en secciones anteriores. Tomando en cuenta que una velocidad de datos más alta proporcionará un ancho de banda de red más amplio. Pero generalmente, a más alta la velocidad de transmisión de los datos, menos tolerante al ruido será una red de comunicaciones. El uso de Fast Ethernet o Gigabit Ethernet (100 Mbps / 1000 Mbps), para el control es la aplicación más crítica en términos de ruido. Además, la red no debe tener errores, ya que a mayor el número de errores en un sistema EtherNet/IP, más cantidad de tráfico. Cuando aumenta el tráfico también aumenta el tiempo de respuesta. Si su aplicación depende de tiempos de respuesta cortos, debe implementar medidas de seguridad para minimizar los errores debidos a ruido y otras causas de aumento de tráfico. El rendimiento efectivo puede aumentarse más aún usando comunicaciones full- dúplex.

Con respecto a las conexiones dentro de un canal se recomiendan limitar estas al menor número posible ya que estas producen efectos de FEXT y pérdidas de retorno. El número de conexiones se determina, contabilizando el número de enlaces (pares de conectores enlazados entre equipos) que tiene el canal y descartando el patch cord del área de trabajo. Es necesario también tener en cuenta que para bulkheads (conexiones back to back), si la distancia es mayor a 10 cm las conexiones deben ser contabilizadas como dos. La tabla 4.1 proporciona lineamientos sobre el número de conectores por canal y categorías recomendadas para las distintas clases de la norma IEC 11801.

Canal ISO IEC 11801	Categoría	Máximo de conexiones	Categoría del conector (recomendada)	Categoría del cable (recomendada)
Clase D 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps.	5 E	4	5 E	5 E
Clase D 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps.	5 E	6	6	5 E
Clase E 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10 Gbps.	6	4	6	6

Tabla. 4.1. Conexiones permisibles por canal.

Mantener el balance del cableado en el canal es un aspecto fundamental cuando se efectúa la corrida del cable. Cuando se realiza un empate hay ocasiones que se puede presentar que un cable de dos pares debe ser conectado con un enlace permanente de cuatro pares, en este caso quedarían dos pares libres los cuales deben ser terminados en forma diferencial. Es decir, deben ser fijados mediante tornillos en una placa terminadora y los pares libres son terminados en una resistencia de igual valor a su impedancia característica, por lo general 100 ohmios de esta manera se evita la introducción de ruido en el sistema y balanceamos correctamente los pares.

Industrial Ethernet puede requerir usar fibra para cubrir distancias grandes en la corrida del cable para posteriormente implementar cableado de cobre al nivel de red. Cuando sea necesario mezclar dos tipos de medios se hace necesario usar convertidores, los cuales permitirán enlazar el par trenzado de cobre con la fibra óptica.

4.3 PUESTA A TIERRA Y UNIÓN

Un sistema se considera puesto a tierra cuando existe una conexión física conductora de los circuitos eléctricos, equipos y todos los elementos metálicos a un sistema de

electrodos puestos a tierra o a un cuerpo conductor de dimensiones relativamente grandes para que cumpla las funciones de tierra.

Las conexiones mecánicas entre los diferentes componentes deben ser robustas, tener una buena resistencia a la corrosión, libres de sustancias contaminantes y óxido, además de presentar una baja resistividad eléctrica. En el momento de la instalación de las conexiones de debe verificar que las superficie se encuentre libre de polvo y protegidas por un inhibidor de óxido. Cuando se une cobre con aluminio, el cobre primero debe ser estañado. Una unión es actualmente el método recomendado preferentemente en los estándares para conectar metales diferentes, en el caso de instalaciones exteriores. Estas conexiones deben estar a una distancia mínima sobre la tierra y no pueden ser enterradas [2].

4.4 INSTALACIÓN DEL CABLEADO HORIZONTAL PUNTO A PUNTO

La instalación del cableado horizontal debe realizarse siguiendo las instrucciones de instalación de los proveedores del cableado y tomando en cuenta las siguientes pautas:

TIPO DE CABLE	RADIO DE DOBLEZ	
	Sin carga	Con carga
UTP	4 X diámetro	4 X diámetro
ScTP	8 X diámetro	8 X diámetro
Unión híbrida o Cable multipar	10 X diámetro	¹
Fibra 4 hilos	25.4 mm	50.8 mm
Fibra mayor a 4 hilos	10 X diámetro ¹	15 X diámetro ¹

Tabla. 4.2. Radio de curvatura.

Nota1: Remítase a las instrucciones del fabricante.

Para el caso de la fuerza de tensión a la que deben ser sometidos los cables, se recomienda que para la máxima fuerza de tensión se sigan las instrucciones de los fabricantes. Si no hay instrucciones disponibles, la fuerza de tensión para cableado de cobre no debe exceder las 25 libras y en el caso de la fibra de dos hilos 50 libras, para la fibra de cuatro hilos siga las instrucciones del proveedor.

4.5. ENCAMINAMIENTO DE LOS CABLES.

Las rutas en las instalaciones industriales deben cumplir con las normativas estipuladas en la norma TIA 569 B. La corrida del cable debe ser diseñada de forma muy cuidadosa evitando rutas cercanas a equipos que generan interferencia electromagnética y tomando rutas seguras, alejadas de zonas inflamables. Se debe documentar cualquier cambio que se realice en el diseño del cableado [3].

En particular tenga especial cuidado cuando se realiza el enrutamiento en zonas como: luminarias, motores, drivers, soldaduras de arco, transmisores y conductores que suministran energía a las anteriormente mencionadas.

Mantener una adecuada separación en el enrutamiento de cableado de cobre de las fuentes de EMI es importante para mantener un buen rendimiento en la transmisión y una robustez en las comunicaciones en las redes industriales. La figura 4.3 muestra una aproximación de la separación necesaria para mitigar los efectos de los diferentes voltajes de ruido desde fuentes cercanas. En la tabla 4.2 se especifica las principales fuentes emisoras de interferencia electromagnética y la clasificación electromagnética correspondiente de acuerdo con la distancia de la fuente emisora.

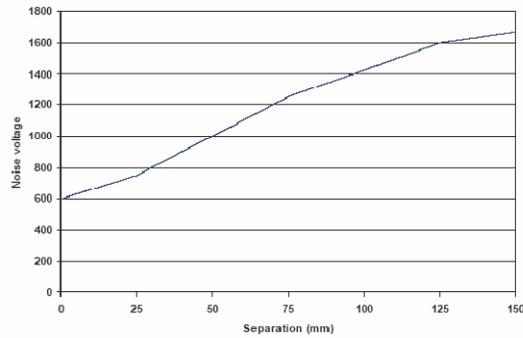


Figura. 4.3. Separación desde las fuentes de EMI.

Dispositivo generador de ruido	Distancia	Clasificación MICE "E"	Origen
Contactor, relé	< 0.5 m , > 0.5 m	E2 , E1	Radiado, conducido
Transmisor (< 1 W)	< 0.5m, >0.5 m	E3, E1/E2	Radiado
Transmisor (< 1 W y < 3 W)	< 1 W, > 1m	E3, E1/E2	Radiado
Transmisor (TV, radio, radio bases)	< 3 km, >3 km	E3, E1/E2	Radiado
motores (> 50 Hp)	< 3m, > 3m	E3, E1	Tierra local, conducido
Controladores de motores	< 0.5m , < 3m, > 3m	E3, E2, E1	Tierra local, conducido
Calentadores por inducción (< 8 MW)	<3m, <10m, >10m	E3, E2, E2	Radiado, conducido, tierra local
Resistencias de calentamiento	< 0.5m, >0.5 m	E2 , E1	Radiado, conducido, tierra local
Lámparas fluorescentes (< 1m)	< 0.15m, >0.15 m	E3, E1-E3	Radiado, conducido
Interruptores termostáticos (110 V a 230 V)	< 0.5m, >0.5 m	E2-E3, E1	Radiado

Tabla. 4.3. Dispositivos generadores de ruido.

Tipo de circuito	Otros circuitos	Distancia externa ¹	Distancia interna ²
Conductores > 20 A y > 100 KVA			
Líneas de alimentación de CA ≥ 20 A			
Conductores > 100 KVA	Motores, drives		
E/S CA digital de alta potencia	para motores,		
E/S CC digital de alta potencia	secundarios,	60 cm	60 cm
Conexiones de potencia de controladores de movimiento de motores	soldadoras, energización principal		
E/S líneas analógicas y circuitos analógicos			
Líneas E/S CD/CA digitales de baja potencia	E/S de Interruptores Selenoides	30 cm	30 cm
Cables de comunicación para control	Contactores		
Conductores < 20 A y < 100 KVA			
Líneas de alimentación de CC de bajo voltaje			
Cables de comunicación que conectan entre componentes del sistema en un mismo envoltorio	Suministro de energía de CC E/S Baja tensión CC	15 cm	15 cm
Señales de procesos (≤ 25 V)			
Voltajes de CA (≤ 25 V)			
Conductores menores a 20 A			
		0-100 V	8 cm
		101 - 200 V	11 cm
Conductores de alto voltaje		201- 300 V	13 cm
		301- 400 V	16 cm

Tabla. 4.4. Dispositivos entre circuitos.

Nota 1: Distancia desde otros circuitos cuando son instalados fuera del recinto.

Nota 2: Distancia desde otros circuitos cuando son instalados dentro del recinto.

4.6. VERIFICACIÓN DE LA RED

Es importante un benchmarking (verificación y certificación) en la instalación de una red nueva. La evaluación comparativa no solo proporciona la garantía que la red soportará las aplicaciones que se van a instalar, sino que aportará información útil en el caso de que exista degradamiento del rendimiento de la red con el devenir de los años. Hay dos niveles de pruebas que el proyectista debe exigir durante la instalación y puesta en marcha en una red industrial Ethernet. Los dos test se diferencian en su nivel de pruebas y conocimientos necesarios para la realización de las mismas. Además, están divididos por la responsabilidad y costo de los equipos. El instalador, es quien es el encargado del cableado y terminación del cable debe verificar el enlace permanente y el canal. Después que la instalación de la red se ha completado, la red debe ser certificada. La certificación debe ser ejecutada por una tercera parte para asegura que los resultados sean objetivos. La exactitud de los testers es dependiente de la categoría del canal a ser probado y de los resultados necesitados. Por ejemplo, para probar el cableado hasta categoría 5e incluida, se requiere al menos un tester nivel II. Así como el ancho de banda aumenta hasta soportar niveles de 10Gb, los requerimientos en la exactitud de los testers también aumentan hasta nivel IV. Los requerimientos para cada nivel de exactitud son descritos en las normas TIA. Típicamente los niveles III y IV son necesarios para certificación. Actualmente ningún tester soporta pruebas de campo para TCL o ELTCTL.

La verificación es un conjunto de pruebas las cuales sirven para confirmar que el sistema se ha instalado y cableado correctamente. Este tipo de pruebas son generalmente efectuadas por el instalador de la red como verificación del enlace permanente o canal. El proceso de verificación es una etapa preliminar a la de certificación de la red la cual es usada para detectar fallas en el proceso de instalación de una manera oportuna y rápida sin incurrir en el uso de herramientas de alto costo y personal especializado. Los parámetros que se suelen verificar en este proceso son: asignación de cables (wire map), verificación de los segmentos instalados, prueba de pares de hilos trenzados, medición

de la longitud del cable, puesta a tierra y unión, identificación y etiquetado, además de una completa revisión de medios físicos como cables, conectores, etc.

Existen tres tipos de pruebas que se realizan en los sistemas de cableado estructurado: prueba de enlace básico, prueba de enlace permanente y prueba de canal completo, ver figura 4.4.

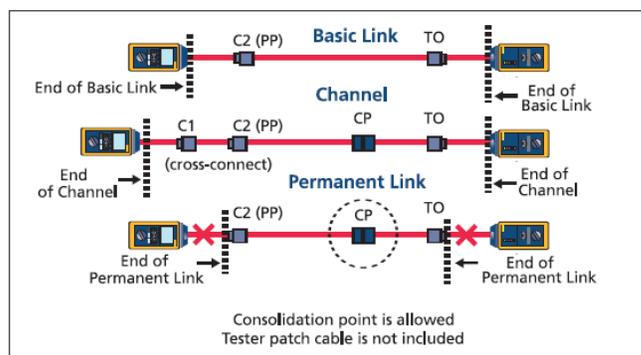


Figura. 4.4. Diferentes modelos de enlaces para pruebas

Prueba de enlace básico

Esta prueba se realiza entre la salida terminal del área de trabajo y la salida de comunicaciones del mismo punto de enlace, en el patch panel de comunicaciones que se encuentra en el cuarto de equipos.

La prueba incluye el hardware terminal tanto del área de trabajo como del rack de comunicaciones y el cable de tendida horizontal; para el cable de tendida vertical no existen pruebas, pero se recomienda establecer los mismos parámetros que para las pruebas del subsistema horizontal ya que se debe certificar que todo el sistema este completamente operativo antes de conectar cualquier dispositivo activo. La configuración de enlace básico ya no es más reconocida por la norma ANSI/EIA/TIA 568 B.2 y se considera obsoleta.

La configuración del enlace básico está diseñada para máximos 90 m. ininterrumpidos de cable sólido par trenzado con una terminación de conexión en cada extremo y con un patch cord que conecta al tester de campo. La máxima longitud para cada patch cables es de 2m. Los límites de rendimientos de esta prueba están dados por la configuración de

la longitud máxima e incluyen las contribuciones hechas por los dos patch cables de los testers.

Prueba de enlace permanente

Los actuales estándares definen el modelo de prueba de enlace permanente para verificar la porción fija del cableado instalado. Este tipo de prueba se enfoca en lograr dos objetivos:

- Definir una configuración de test que caracteriza a la instalación permanente, parte fija de los cables con la mayor precisión posible.
- Proporcionar la seguridad de un enlace instalado en la construcción de una infraestructura fiable que puede ser configurado dentro de un canal al agregar unos buenos patch cords.

Con el fin de lograr ambos objetivos, la configuración de enlace permanente permite que las contribuciones realizadas por los cables de conexión del tester (test adapters), deben ser completamente excluidos de todos los resultados de las mediciones.

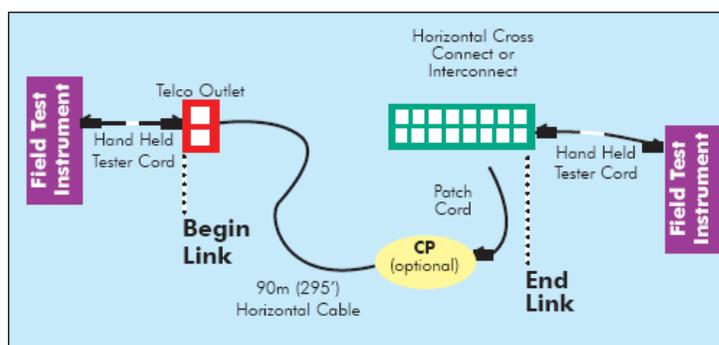


Figura. 4.5. Enlace permanente.

Prueba a canal completo

La prueba de canal completo es el resultado de la suma a prueba de enlace básico más los elementos de interconexión que existen en el sistema en los extremos terminales del enlace; aquí se encuentran los patch cords de enlace con el equipo activo en el área de

trabajo y los jumpers de interconexión en el otro lado del enlace en el rack de comunicaciones.

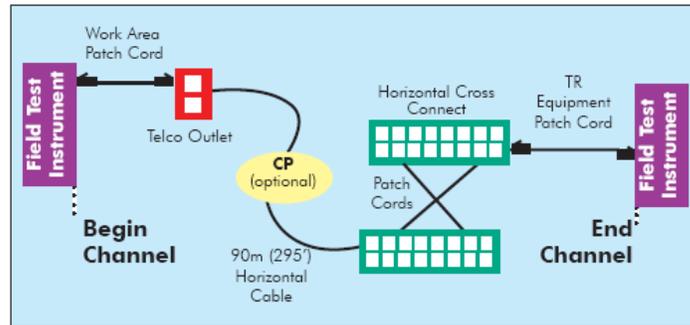


Figura. 4.6. Prueba a canal completo.

4.7.CERTIFICACIÓN DE LA RED

Parámetros medidos	Parámetros calculados
Mapa del cableado	
Retardo de propagación	Longitud
Pérdidas por Inserción (IL)	Retardo Diferencial
Diafonía de extremo cercano (NEXT)	Suma de potencias de extremo cercano (PSNEXT) Razón de atenuación a la interferencia del extremo cercano (ACRN) Suma de potencia de ACRF (PSACRF)
Diafonía de extremo lejano (FEXT)	Relación atenuación diafonía en el extremo lejano (PSACRF) Sumatoria de potencias de Igual nivel de ACRF (PSACRF)
Pérdidas de retorno	

Tabla. 4.5. Parámetros de prueba para certificación.

El proceso de certificación involucra la evaluación de parámetros y el cumplimiento de estándares requeridos por organizaciones como la ISO ó TIA con el fin de garantizar niveles de calidad para que la red se rija a un diseño objetivo y pueda asegurarse la capacidad de ejecutar satisfactoriamente las tareas para las cuales fue diseñada. En la tabla 4.5, la columna de la izquierda lista los parámetros que son medidos directamente; la columna de la derecha lista los parámetros que son calculados de los parámetros medidos directamente.

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE LA RED ETHERNET/IP

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se utilizan los conceptos vertidos en las secciones anteriores y se desarrollan criterios de diseño para ejemplificar el uso de conceptos mediante la realización de una ingeniería básica. Se plantea la reingeniería de la red del CIM, para lo cual se ha decidido la implementación de una red industrial basada en Ethernet/IP con el fin de integrar todos los niveles de automatización CIM. Además, se explica cómo establecer la comunicación con el controlador y la configuración del software RSlinx de Rockwell Automation.

Como solución al problema planteado se proyecta básicamente el cambio de protocolo de comunicación en base a la plataforma de equipos que posee el CIM. La arquitectura

de comunicación se basa la plataforma NetLinx de la empresa Rockwell Automation, la cual permite aplicar EtherNet/IP e interoperar con las redes DeviceNet y ControlNet.

5.2 REQUERIMIENTOS OPERATIVOS DE LA RED

- Integración de todas las estaciones del CIM mediante una red LAN.
- Desarrollo de un entorno gráfico para supervisión y visualización del proceso.
- Mando remoto de la red a través de módems y una red WLAN.
- Un sistema que realice informes del proceso.

5.3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA RED

5.3.1 COMPATIBILIDAD

Se realiza el cambio de las redes ModBus Plus y ModBus RTU por una red de estándar abierto como EtherNet/IP ya que este tipo de red permite la coexistencia e interoperabilidad a nivel de capa física de hardware de diferente fabricante ampliando de esta manera la gama de opciones en cuanto a los elementos constituyentes de la red y logrando una flexibilidad en el diseño de la misma.

5.3.2 DETERMINISMO

El determinismo es una cualidad deseable en toda implementación para una red industrial. Sin embargo, la solución propuesta tiene acceso al medio por contienda (CSMA/CD), característico de una red no determinista. La alternativa propuesta se justifica debido a que la red EtherNet/IP garantiza un alto grado de determinismo mediante la eliminación de colisiones implementando switches. Entonces, mediante la microsegmentación de la red y el uso de una topología en estrella cada nodo de la red ve

un dominio privado, eliminando de ésta manera el arbitraje randómico del bus establecido al reenviar paquetes colisionados. Por otro lado, la tasa de transmisión que maneja EtherNet/IP y la operación en modalidad full - dúplex garantizan que la operación de acceso al medio se realiza con la fiabilidad y rapidez necesarias.

5.3.3 SEGEMENTACIÓN LÓGICA

Se descarta la necesidad de creación de VLANS puesto que el número de nodos de la red interconectados no justifica el trabajar por dominios de difusión separados ya que el tráfico de la red no es ingente. A su vez, lo que se sugiere es utilizar una transmisión de la red full- dúplex para mejorar el ancho de banda de la red.

5.3.4 DISPONIBILIDAD

La disponibilidad se basa principalmente en la creación de rutas alternativas, ya sea para comunicación de datos o energización de equipos. Los niveles de riesgo, el costo y retorno de la inversión justifican una gasto en este rubro. Debido a que los PLCs disponibles en el laboratorio del CIM poseen un único puerto Ethernet/IP y, por lo tanto, sería necesario adquirir módulos de comunicación adicionales y equipos con tecnología dual-homming, si se quiere establecer redundancia. Además, es necesario considerar que se duplicarían los costos en el cableado y se tendría gastos adicionales. Entonces, dado que se trabaja con una arquitectura ya establecida y no se planea un retorno en inversión porque el CIM es un laboratorio de uso académico, no se justifica una inversión en una característica de este tipo, por lo que no se recomienda el uso de protocolos o tecnología redundante.

5.3.5 ESCALABILIDAD

Bajo este concepto se encuentra la idea del crecimiento del sistema. En esta etapa del diseño es necesario considerar la expansión de la red para necesidades futuras, para lo cual se dimensiona proyectando un incremento del 30 % de la misma. Se debe usar este criterio en la asignación de direcciones IP tanto para las estaciones de trabajo como con los controladores.

5.4 ARQUITECTURA

El sistema de entrenamiento CIM-2000 es una red modular orientada a la formación en automatización industrial que suministra metodología, técnicas e instalaciones para ensayo y ejercicio de la implementación del concepto CIM “Computer Integrated Manufacturing” (Fabricación Integrada a través de Computadora). El CIM en sí se encuentra constituido por seis estaciones de trabajo las cuales interoperan mediante una red LAN basada en Ethernet. Cada estación puede ser operada unitariamente ó en conjunto con las otras estaciones hasta llegar a un sistema totalmente integrado. La conectividad de las estaciones permite el acceso a las mismas mediante software de visualización basado en In-Touch. Se proyecta la instalación de PLCs de tecnología EtherNet/IP para la red de control y enlaces punto a punto para labores de supervisión y monitoreo del proceso en cada una de las estaciones. Las estaciones de trabajo han sido diseñadas y construidas de forma tal que la implementación del concepto CIM será tan similar como sea posible a su realización en una fábrica de tamaño real.

El CIM-2000 incorpora algunos equipos de “mini-fabricación” (CNCs, manipuladores, controles de procesos y pequeños robots industriales), en base a sistemas de manipulación de materiales y de control automatizado. El sistema integrado es operado

utilizando software CIM actualmente desactualizado y especialmente desarrollado e instalado para obtener los objetivos de entrenamiento.

5.4.1 NIVELES DE INTEGRACIÓN FUNCIONALES

El control jerárquico del CIM es un sistema que consta de tres niveles dentro de la automatización industrial:

El nivel inferior (proceso), sirve para controlar la posición y movimientos de una máquina específica en el espacio. En este nivel se encuentran los dispositivos y elementos que transforman la materia prima y energía. Se localizan en este nivel dispositivos como: actuadores, accionamientos o manipuladores. Este nivel es controlado por el residente de la estación.

El nivel medio (control básico), coordina un conjunto de maquinarias y máquinas-herramientas para gerenciar operaciones de fabricación por lote (ó tarea). Esta parte se refiere al control lógico del sistema de máquinas; usualmente en este nivel encontramos dispositivos que tienen algún tipo de inteligencia o procesamiento y que tienen la capacidad de comunicarse con otros equipos. Se refiere al control secuencial de máquinas-herramientas (p.e: máquina CNC), al control de equipamiento periférico (a través de un PLC), o a un controlador automático programable como el utilizado en robots. Asimismo, este nivel es bastante aplicado en las industrias de procesamiento para sincronizar y controlar operaciones y flujos.

El nivel superior (área de control), es aplicado en la propia planta de trabajo para optimizar la producción de ciertas cantidades y variedades de productos, durante una jornada de trabajo. Se basa en los sistemas y funciones asociadas con la supervisión en tiempo de ejecución y el funcionamiento de una célula de trabajo. Esta tarea es efectuada normalmente utilizando computadoras de uso general y figuran recursos como HMIs y paneles de operación local.

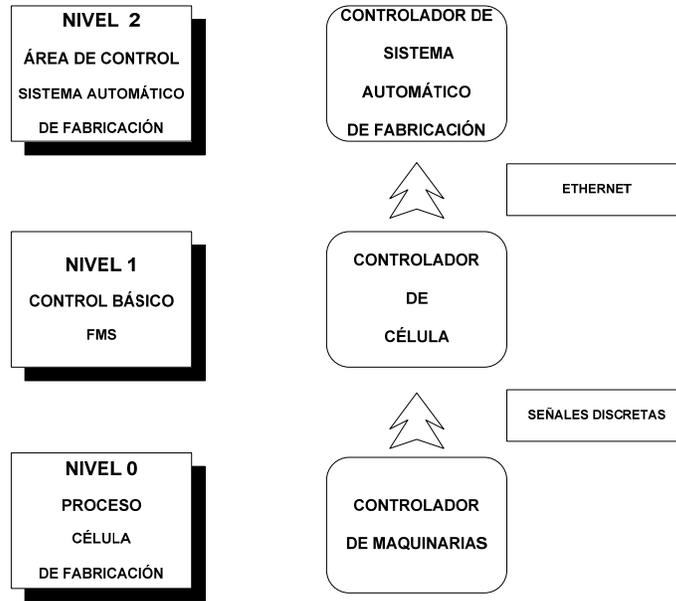


Figura. 5.1 Integración funcional

5.4.2 ESTRUCTURA DE LA RED DE COMUNICACIÓN

Existen tres niveles básicos de comunicación y el intercambio de información los cuales se describe a continuación.

El nivel discreto el cual es común para todas las estaciones de la red y controla las funciones de las operaciones regulares, tales como: movimientos de vagones y materiales.

La red EtherNet/IP básicamente interconecta seis estaciones: Central de Control, Hidráulica, Neumática, Almacenamiento Automático, Control de Procesos y FMS. Las funciones de esta red básicamente son:

- Conectar los PCs de cada estación a los PLCs. Todas las estaciones son controladas por PCs y cada PC esta conectada a esta red. En los PCs corren programas RSNetWorx, para la configuración de las redes, el programa

RSLogix5000, para la plataforma de control y el programa RSLinx como el administrador de las comunicaciones.

- Sirve de interfaz física para descarga de las configuraciones de la red y los programas de las plataformas de control ControlLogix.

Una red de alcance limitado LAN para propósito general consistente en una amplia variedad de terminales como computadoras, microprocesadores, periféricos y estaciones de trabajo.

5.5 DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN DE LA RED

CONTROLADOR COMPACT LOGIX 1768 L-43	
Memoria de usuario	2 MB
Puertos de comunicación	1 Puerto de comunicación en serie DF1 o ASCII
Opciones de comunicación	EtherNet/IP DeviceNet en serie Modbus mediante rutina lógica de escalera DH-485
Conexiones	64 por EtherNet/IP 32 TCP/IP
Redundancia del controlador	No aplicable
E/S nativas	1769 Compact I/O
Opciones de montaje y/o instalación	Montaje en panel riel DIN
Lenguajes de programación	Escalera de relés Texto estructurado Bloque de funciones Diagrama de función secuencial

Tabla. 5.1 Características del controlador

MÓDULO DE EXPANSIÓN 1783-MX08T	
Puertos cobre	8 10/100
Puertos fibra	8 10 Base FX (conector LC)
Corriente de irrupción	2 A
Requerimiento de alimentación	24/48 DC
Dimensiones (H x W x D)	(147x97x112) mm

Tabla. 5.2 Características módulo de expansión

SWITCH ADMINISTRADO STRATIX 8000 1783 - MS10T	
Requerimientos de alimentación	12...48 V DC250 mA@24V DC
Puertos	10 RJ-45 10/100 full/half dúplex
Protocolos	TCP/IP EtherNet/IP Telnet Http, DHCP, Bootp, FTP IGMP SMTP
Características EtherNet/IP	Gestión ID MAC Alarma de BW puerto de control
Características de conmutación	VLAN, IGMP snooping, IGMP V1 y V2, DHCP server, Bootp Server, QoS, port mirroring
Opcional	Transceiver para FO 1G
Clasificación	IP 20
Corriente máx. de irrupción	2.2 A

Tabla. 5.3 Características switch

5.5 TOPOLOGÍA DE LA RED

En base al hardware que se dispone (controlador Compact Logix 1768-L43, el cual tiene un único puerto Ethernet) y los requerimientos de la red se estable una topología en estrella física y lógica. La implementación se realiza mediante un switch Stratix 8000 que posea IGMP Snooping para evitar el “flooding” de la red. Esta característica se vuelve importante cuando se implementa un protocolo EtherNet/IP que usa transmisión multicast para la mensajería implícita.

Los elementos integrantes del backbone de alta disponibilidad y de la red Ethernet deben ser compatibles con el estándar IEEE 802.3, teniendo que emplear una velocidad de comunicación de 100 Mbps. El switch cumple con los estándares IEEE 802.1 D que hace referencia a la calidad de servicio y seguridad, permitiendo dos colas de prioridad.

El switch propuesto es compatible también con los estándares IEEE 802.1 Q que hacen referencia a las redes virtuales VLAN.

A continuación, se muestra el esquema de topología la red EtherNet/IP en estrella que esquematiza la forma de interconexión de los diferentes dispositivos con el controlador y el tipo de comunicación que se establece en entre los diferentes dispositivos.

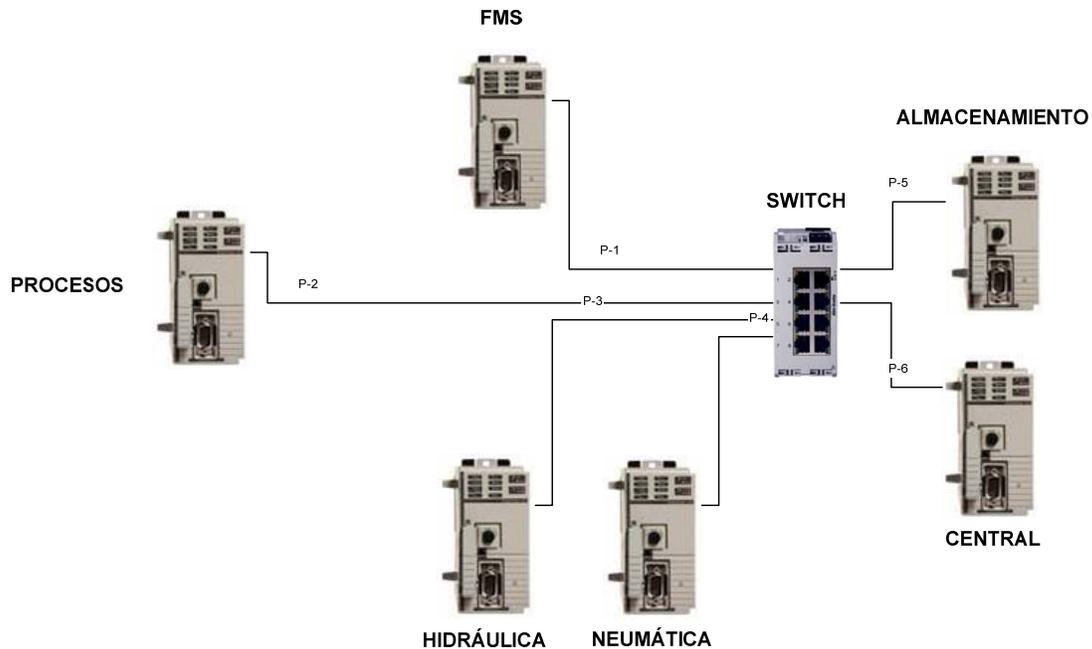


Figura. 5.2 Topología del CIM basado en Ethernet/IP

La topología de la red sigue los siguientes lineamientos en caso de establecer un esquema redundante: el tiempo de restablecimiento de las comunicaciones en el backbone deberá ser como máximo de 500 ms. La gestión de redundancia deberá ir incluida en el switch con tecnología dual-homming y que posean tecnología IGMP Snooping. No se deberán considerar algoritmos de retoma de las comunicaciones tipo “Spanning Tree”, o estándar 802.1 D, ya que típicamente este algoritmo toma entre 30 y 60 segundos para el restablecimiento de las comunicaciones, lo cual no es aceptable en la automatización industrial. Además, se debe permitir alimentación dual a 24 V con montaje en carril DIN para su rápida sustitución en caso de fallo y rango de temperaturas de 0 a 60 ° C sin ventilación forzada [1]

Al configurar la velocidad de transmisión de datos se debe tener en cuenta que una velocidad de datos más alta proporcionará un ancho de red más amplio. Pero generalmente, a mayor velocidad de transmisión existe menor inmunidad al ruido y por ende mayor probabilidad de bits errados en la transmisión y mayor cantidad de tráfico. Por lo general, el modo de transmisión dependerá de la topología, en una comunicación punto a punto (estación a estación), se tendrá hábil una comunicación full-dúplex; si se hace una transmisión punto multipunto existirá una comunicación half-dúplex y si es multipunto-multipunto, existirá una comunicación full-dúplex entre las estaciones y su respectivo módem y half-dúplex entre los módems de las respectivas estaciones. Con respecto a la tasa de transmisión esta dependerá en gran medida de la capacidad del dispositivo a conectarse. Actualmente, este parámetro ya no es inconveniente en los switches actuales porque son autosensing y conmutan automáticamente la velocidad de transmisión. Además, se sugiere usar cables y conectores de bajo ruido con alto rendimiento.

La longitud máxima de cada tramo se encuentra ligada al medio transmisión a usarse para el caso del CIM el medio es cable de cobre por lo que debemos limitar la longitud del segmento instalado en el peor de los casos a 100 m entre dos dispositivos activos. Se debe también tener en cuenta que en el diseño de la red pueden usarse elementos activos para aprontar un mayor número de nodos y aumentar la longitud del cable. Teóricamente el número de nodos que se puede aprontar a la red es indefinido pero se recomienda que el diámetro del domino de colisión no sobrepase los 512 m (100 Mbps) y mientras menos dispositivos activos existan en la configuración de la red un mejor desempeño de la misma existirá.

5.6 DISEÑO FÍSICO DE LA RED

El primer paso en el diseño de la red es establecer un esquema en donde se muestre la ubicación de las diferentes estaciones, para lo cual se ha esbozado una distribución

mediante la cual se esquematiza las seis áreas en estudio y sus distancias al switch, ver figura 5.3.

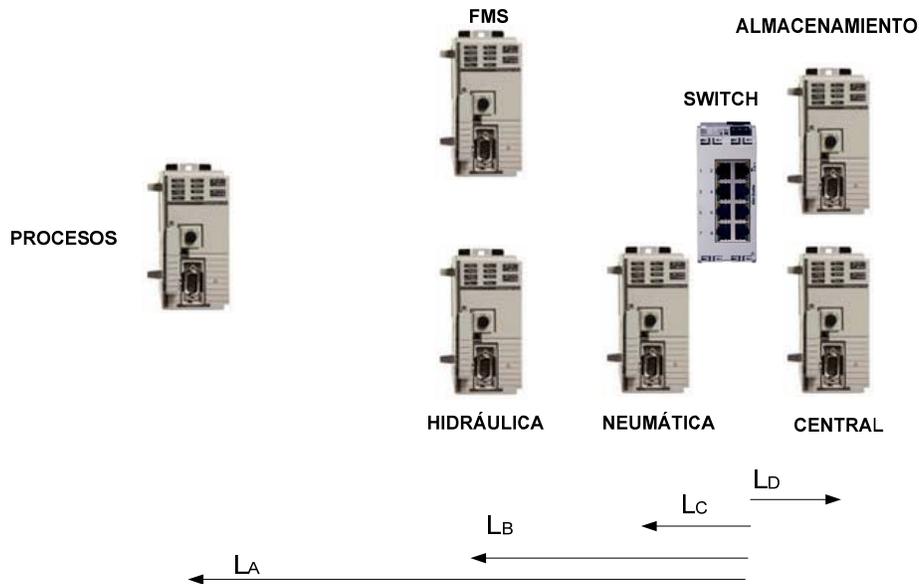


Figura. 5.3 Ubicación de equipos

Como siguiente paso se escoge, el medio de transmisión y el estándar a usar. Para la implementación actual se usará una topología en estrella física, un cable 24 AWG, UTP de ocho pares y 100 Base TX.

Entonces, con una idea clara de la distribución de equipos se tiene que el tamaño de la red, el número de enlaces y repetidores se ajustan al cálculo del round trip delay (viaje de ida y vuelta). Para lo cual, primero se debe garantizar que el diámetro máximo del dominio de colisión no exceda los 512 m que es la normativa para Fast Ethernet. Establecidas las distancias entre el switch y cada una de las estaciones se escoge la más distante, en este caso \$L_A\$ con una distancia aproximada de 10 m. Esta distancia se asigna al resto de estaciones para calcular el diámetro máximo del dominio de colisión por facilidad de cálculo y para garantizar un margen de seguridad.

$$\text{Dominio de colisión máx.} = \sum_{i=A}^{i=F} L_i = 120 \text{ m EC [5.1]}$$

Finalmente, se procede a calcular los retardos en los cables y en los equipos terminales de datos. En este caso se realizará los cálculos para cable CAT 6, 4 PR, 24 AWG, tecnología LSZH, tipo UTP del fabricante TrueNet. En las especificaciones técnicas del catálogo se escoge el parámetro de la velocidad de propagación nominal (69 %), mediante este parámetro se realiza los cálculos. El anexo correspondiente a retardos en componentes, la tabla de conversión para tiempos de propagación de cables y los parámetros eléctricos del fabricante del cable sirve para estos fines.

Componente	Longitud (m)	Retardo por metro (BT)	Retardo ida y vuelta (BT)
Seis DTE			300
Repetidor clase II con puertos TX/FX			92
Cable UTP	120	0,505	60,6
Margen de seguridad			4
TOTAL			456,6

Tabla. 5.3 Retardo en componentes

Los componentes activos de la red no considerados se asumen retardos despreciables por ser equipos diseñados para funcionar en tiempo real. Los tiempos de retraso pueden diferir de acuerdo con el fabricante por lo cual es recomendable consultar al mismo para obtener tiempos de retraso más exactos.

5.7 DISEÑO LÓGICO DE LA RED

Como se mencionó anteriormente la estructura lógica de la red LAN es una estrella. Bajo este esquema es necesario asignar direcciones IP tanto al controlador como a las estaciones de trabajo, teniendo en cuenta que ambos dispositivos deben pertenecer a la misma subred. En el proceso de diseño es importante tener presente el número de host

que se van a asignar, para de esta manera considerar un bloque de direcciones lo suficientemente grande que cumpla con la demanda presente y hacer una proyección futura del crecimiento de la misma. Para este cometido, se contabiliza doce direcciones válidas y se proyecta un 30 % de crecimiento de la red con lo cual el cálculo se basa en 16 direcciones IP.

Como la proyección es de 16 host se tiene que $2^5 - 2 = 30$ direcciones asignables. Entonces, se usará una máscara /27 y una dirección de red 192.168.1.0, con lo que la red tiene los siguientes parámetros:

Dirección de red	Máscara de red	Rango Direccionable	Dirección de broadcast
192.168.1.0	255.255.255.224 (/27)	192.168.1.1 - 192.168.1.30	192.168.1.31

Tabla. 5.4 Datos de la red

	ESTACIÓN DE TRABAJO	PLC
PROCESOS	192.168.1.1	192.168.1.2
HIDRÁULICA	192.168.1.3	192.168.1.4
NEUMÁTICA	192.168.1.5	192.168.1.6
CENTRAL	192.168.1.7	192.168.1.8
ALMACENAMIENTO	192.168.1.9	192.168.1.10
FMS	192.168.1.11	192.168.1.12
RESERVA	192.168.1.13 -192.168.1.30	

Tabla. 5.5 Asignación IP

5.7 CABLEADO ESTRUCTURADO

5.7.1 CONSIDERACIONES GENERALES DE CABLEADO

El sistema de cableado horizontal deberá ser mínimo categoría 6, el cual debe cumplir con los estándares internacionales ISO/IEC 11801, ANSI/EIA/TIA 568, ANSI/TIA 1005 y los que se deriven de ellos, que normalizan los sistemas de cableado.

El sistema de cableado propuesto deberá ser considerado como una solución integral por lo que los componentes pasivos de cableado deberán ser de un solo fabricante (cordones de parcheo, jacks RJ45, paneles de parcheo, cable UTP, etiquetas, etc.), para asegurar el rendimiento óptimo del sistema en la transmisión de señales y cumplir con la categoría 6 solicitada.

El sistema de cableado propuesto deberá ser sintonizado en todos sus componentes (cordones de parcheo, jacks RJ 45, paneles de parcheo), junto con el cable UTP para lograr la impedancia característica 100 ± 3 ohmios en el canal [3].

El cableado horizontal debe mostrar una impedancia sintonizada con los cordones de parcheo, jack y panel de parcheo sobre el ancho de banda del canal desde 1kHz hasta 250 kHz.

De acuerdo con las normas, la identificación se considera importante para la buena administración y mantenimiento en cada parte que conforma el cableado estructurado. De tal forma que se requerirá la identificación en los cordones de parcheo del usuario final, en las placas modulares de montaje y en los extremos del cable UTP horizontal. Cada etiquetación se deberá hacer con identificadores apropiados para cada caso, que sean altamente legible y que se mantengan permanente sin riesgo a caerse por el transcurrir del tiempo.

Particularmente para el diseño actual la codificación utilizada consistirá en la siguiente:

CÓDIGO PARA UN PUNTO DE ACCESO/ FACE PLATE: A1AAD001

1 Localidad

A Edificio (A,B,C...)

1 Piso (S1,1,2,3...)

A Rack/Gabinete (A,B,C...)

D Punto de red

001 Usuario

Ejemplo de nomenclatura:

1A1AAD001

Descripción:

Punto 001 ubicado en el oficina del CIM, edificio A, piso 1,rack A, patch panel A, cable de datos.

5.7.2 SUBSISTEMA HORIZONTAL

Para el subsistema horizontal se debe usar un sistema de cableado reducido. Es decir, el cableado se realiza mediante dos segmentos: el cable de área de trabajo, (desde el PLC/estación hasta la salida de comunicaciones), el cableado horizontal (desde la salida de telecomunicaciones hasta el switch). De esta manera la comunicación se realiza exclusivamente a través de EtherNet/IP y se posibilita la comunicación serial entre la estación de trabajo y el controlador para establecer redundancia. La figura 5.4 ilustra configuración propuesta.

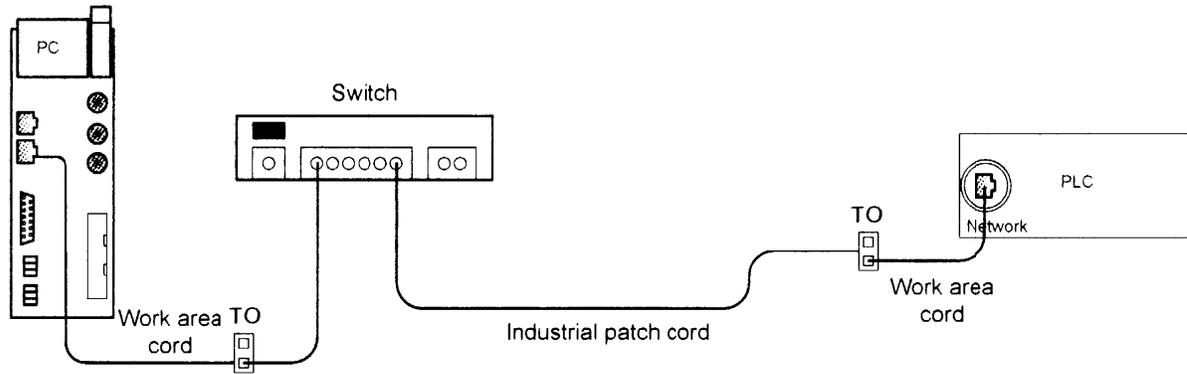


Figura. 5.4 Sistema de cableado reducido

El cableado propuesto en cada uno de sus componentes pasivos debe cumplir con las siguientes características:

Cable UTP



Figura. 5.5 Cable UTP

El cable UTP para el cableado horizontal será categoría 6, deberá estar conformado por cuatro pares (8 hilos) de conductores sólidos de cobre calibre 24 AWG. Se prefiere esta categoría de cable en base a las características de operación de los PLC que trabaja para distancias de hasta 100 m en la modalidad de Fast Ethernet. De esta manera el cable permite la transmisión altas velocidades (100 Mbps, 1000 Mbps) y presenta un ancho de

banda de 250 MHz, soportando los siguientes estándares: 100 BASE TX y Gigabit Ethernet. Además, es necesario que el cable sea certificado para sistemas de banda ancha y aprobada por la UL.

El cable UTP debe tener revestimiento de aislante externo de PVC retardante al fuego, marcado con unidad de medida para fácil estimación de longitudes, la cubierta exterior deberá contener nombre o marca del fabricante, categoría del cable y cumplimiento de las normas EIA/TIA e ISO/IEC 11801.

El cable UTP en cada par debe ser sintonizado para lograr una impedancia de operación de 100 ± 3 ohmios.

La distancia máxima permisible en el enlace permanente no debe exceder a los 90 m de longitud. La tirada del cable debe ser individual y en un solo tramo de extremo a extremo. Puede incluir un único punto de consolidación, punto de transición o salida de múltiples usuarios [4].

Jack modular RJ45

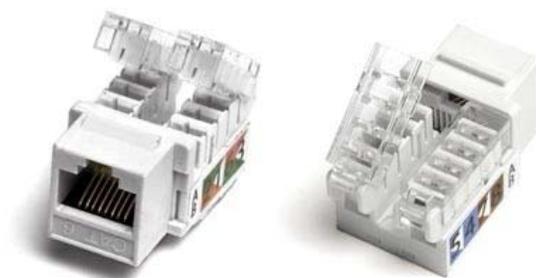


Figura. 5.6 Jack RJ-45

La terminación modular mecánica de los cables horizontales en el área de trabajo será en conectores tipo jack modular RJ45 categoría 6 de 8 posiciones. El jack modular deberá permitir las configuraciones 568 A y 568 B. La conexión mecánica entre los 8 conductores del UTP horizontal y las 8 posiciones del jack RJ45 deberá ser en contactos IDC con corte diferente a 90° , con recubrimiento de plata (no de estaño) y/o capa de oro de 50 micro pulgadas en el área de contacto para proporcionar una conexión libre de

corrosión en el transcurso del tiempo y proporcionar un desempeño confiable en ambientes hostiles.

El IDC del jack modular RJ45 deberá tener la capacidad de terminar cables de calibres 22,24 y 26 AWG y un mínimo de dos conductores del mismo calibre por contacto, así como permitir la terminación de cables filamentosos.

El cuerpo del jack modular debe estar constituido de un material termoplástico de alto impacto, retardante de flama, inhibidor de rayos UV y clasificado bajo la UL 90V-0.

Cordones de parcheo



Figura. 5.7 Patch cord

Los cordones de parcheo en el área de trabajo deberán ser de categoría 6, fabricados con cable UTP categoría 6 conformado por cuatro pares de hilos filamentosos calibre 24 AWG para una flexibilidad superior. Los cordones de parcheo deberán una impedancia de 100 ± 3 ohmios con la finalidad de mantener un alto desempeño del sistema. Los cordones deberán ser terminados en ambos extremos en plugs RJ45 de 8 pines.

La longitud de los cordones deberá ser de 3 m para el área de trabajo con la finalidad de conectar las salidas RJ45 con las NIC de las Workstation/PLC. Para longitudes mayores se deberá seguir la tabla 3.2.

Para mantener el buen funcionamiento del sistema y para que este no sea un elemento de degradación del mismo, los cordones de parcheo deberán ser ensamblados en fábrica, por lo que no se aceptan los hechos en campo.

Placas modulares



Figura. 5.8 Placa modular

En las salidas de información del área de trabajo se considera la instalación de placas modulares de 2 puertos para jack modular UTP RJ45, construida de material termoplástico de alto impacto, retardante de flama, inhibidor de rayos UV y clasificado bajo la UL 94V-0. Estas placas deberán presentar en la parte frontal ventanas para la identificación de nodos y espacios para la identificación de servicios. En las ventanas de las placas modulares que queden sin uso (vacías) se colocan tapas ciegas de características similares a las anteriormente mencionadas. Además la placa modular deberá soportar las siguientes tecnologías de cableado estructurado: UTP, FTP, SCTP.

Organizador horizontal



Figura. 5.9 Organizador horizontal

Para la buena administración de los cordones de parcheo se considera la utilización de un organizador horizontales de cable, con ducto frontal y posterior, fabricado con plástico UL 94V-0. El cual debe estar posicionado en la columna existente en la parte

La longitud combinada de los puentes en el área de trabajo no sobrepasarán los 10 m a menos que se utilicen para una salida multiusuario de telecomunicaciones.

5.8 CLASIFICACIÓN MICE

Por lo general se puede asumir que existen condiciones ambientales permanentes y homogéneas, estables y secas en un ambiente de oficina. En otras palabras, la red no está expuesta a cargas especiales. Sin embargo, en las redes de planta todo esto es diferente ya que en este caso el equipo industrial se encuentra sujeto a interferencias electromagnéticas, polvo, vibración, impactos, etc. Pero todos esos factores pueden ser controlados con un buen diseño de red y una eficiente mitigación de las condiciones ambientales [6].

Carga mecánica M

El primer ítem para analizar es referente a carga mecánica. En este caso los factores a evaluar son choque, impacto, vibración, expansión, tensión y torsión. Examinado la literatura referente a esta tabla y conociendo los valores límite para los niveles de carga, se puede clasificar al CIM como un lugar de baja vibración con lo que encajaría como un ambiente M_1 .

Penetración de partículas extrañas I

El segundo parámetro analiza el peligro de penetración de partículas extrañas, en particular sustancias como polvo y humedad en forma de gotas, aerosoles, salpicaduras. Para establecer una clasificación en este punto se puede revisar la calificación IP que tienen algunos equipos del CIM y sus respectivos datasheets. Así se encuentra

características técnicas como breakers IP20, borneras IP40, canaletas IP41, IEC 60068-2-2, etc. Estas clasificaciones son una clara idea de una clasificación I₂. La clasificación I₃, es utilizada para ambientes en los cuales existen dispositivos con clasificación IP 65 ó IP 67.

Cargas climáticas y químicas C

El parámetro C₁ a C₃ representa muchos factores complejos. Estos factores pueden ser divididos en tres grandes grupos: condiciones climáticas, cargas de sustancias líquidas y cargas de sustancias gaseosas.

Analizando la situación del CIM respecto con el contenido de [6], anteriormente citada encontramos que no existe un clima de temperaturas extremas, no hay presencia de precipitados de gases y líquidos agresivos que puedan provocar reacciones, la influencia del clima que puede corroer el material es mínima, pues se trata de un ambiente cerrado. La carga líquida como agua salada, aceite, jabón, detergentes y sustancias conductoras en soluciones es despreciable. Todos estos análisis hacen referencia a un ambiente tipo ofimático, por lo que se asignará una clasificación C₁.

Cargas electromagnéticas E

En el ambiente de producción del CIM existen los más variados campos eléctricos, electrostáticos que afectan a la red y al cableado en general. Se analizan los parámetros pertinentes para estos fines. Las tablas de clasificación electromagnética (ver bibliografía), intentan cubrir el amplio campo de factores electromagnéticos, frecuencias y descargas electrostáticas. En general se aplica lo siguiente: cuando mayor es la corriente, los voltajes y las frecuencias, mayor será la posibilidad de que la transmisión de datos de vea afectada y más alta es la clase E.

Con los precedentes citados anteriormente se asigna una clasificación E2, por existir elementos como relés, motores eléctricos, breakers, circuitos de alimentación y la

cercanía de estos elementos, además de la presencia en una cantidad considerable de este tipo de dispositivos que son fuentes generadoras de ruido.

5.9 COMUNICACIÓN CON EL CONTROLADOR

Antes de establecer la comunicación de la estación de trabajo con el controlador se debe configurar previamente el software RSLinx y estar en el modo de trabajo en línea con el controlador mediante cable serial. Se puede usar cualquier versión del RSLinx Classic (single node, SDK, OEM, Gateway, professional) con el software RSlogix 5000. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el software RSlogix 5000 no es compatible con el software RSLinx Enterprise. Es necesario también asignar una dirección IP a la NIC de la Workstation [2].

Para ejecutar RSLinx Classic haga click en el menú Inicio entonces escoja la opción Rockwell Software → RSLinx → RSLinx Classic, como muestra la figura 11.

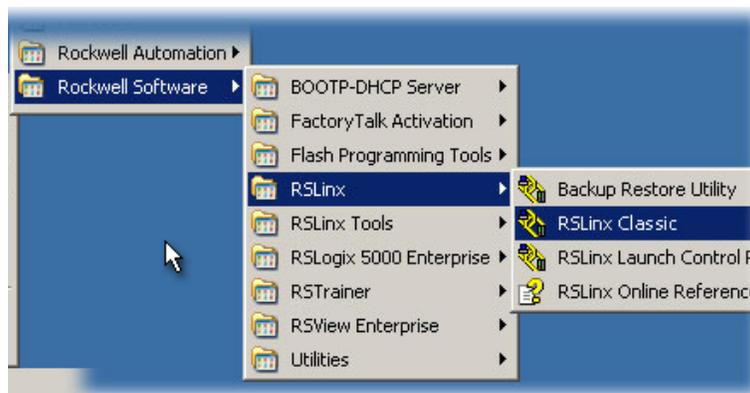


Figura. 5.11 Ejecución de RSLinx

Seleccionar del menú comunicaciones *Configure Drivers* y a continuación *RS- 232 DFI devices*.

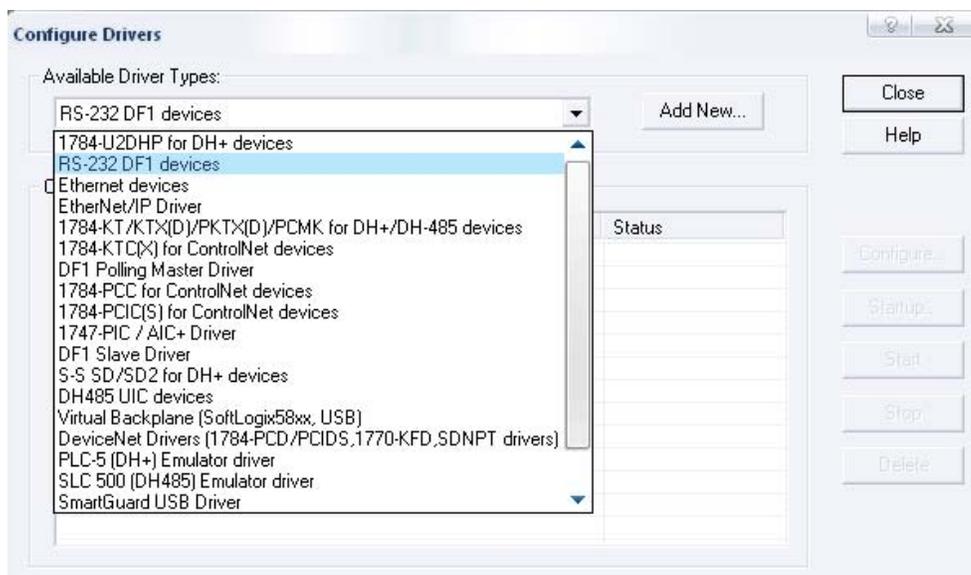


Figura. 5.12 Selección del driver serial

Entonces en el menú contextual *configure drives* pulsar el botón *add new*. Se desplegará el menú *add new RSlinx driver*, en el cual en la caja de texto se debe ingresar el nuevo nombre del driver. El nombre del driver puede contener hasta 15 caracteres, salvo espacios en blanco, signos de exclamación (!), dos puntos (:), punto o slashes (/,\).



Figura. 5.13 Asignación del nombre al driver

Ahora se ha creado el driver de comunicación serial RS-232 DF1. Entonces, se selecciona el puerto de comunicación serial y en dispositivo *Logix 5550 / Compact Logix* para después hacer click en *auto-configure*, recibiendo una respuesta configuración exitosa si el driver se ha configurado correctamente, entonces pulsar *OK*. Si existe como respuesta un mensaje de error, puede ser que se seleccionó el puerto incorrecto o que dicho puerto está en uso.

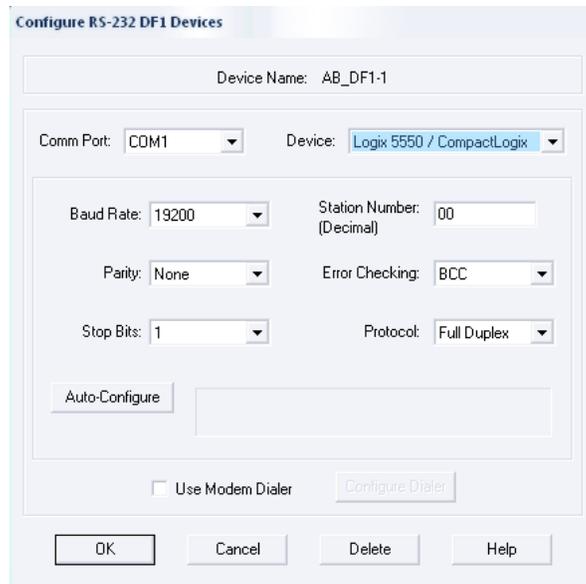


Figura. 5.14 Configuración de la comunicación serial

Entonces aparecerá el nuevo driver disponible, pulsar cerrar. No se debe cerrar RSLinx, minimice la ventana o seleccione *exit*, porque se perdería la comunicación.

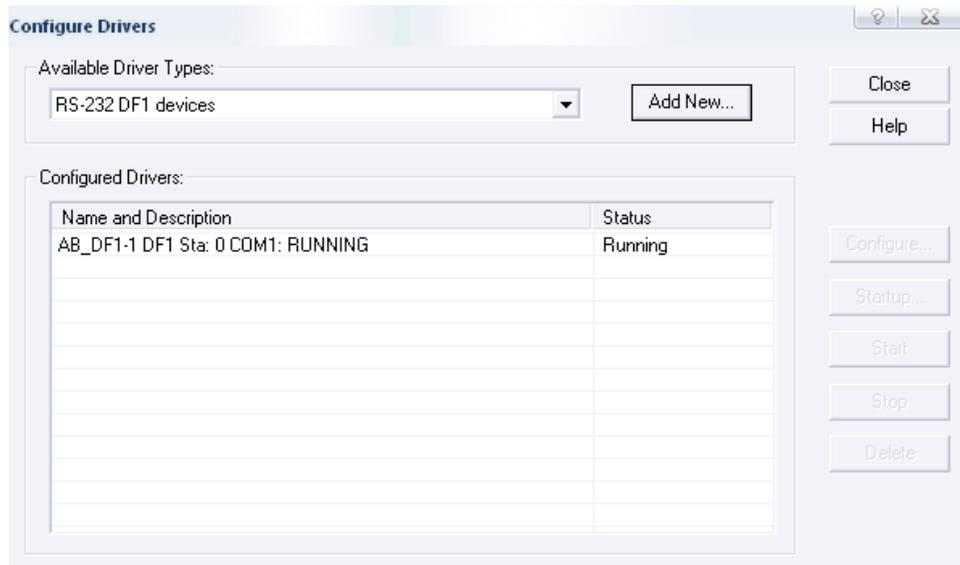


Figura. 5.15 Driver configurado disponible

5.10 CARGAR EL FIRMWARE DEL NUEVO CONTROLADOR

En el proceso de configuración cuando se apronta un nuevo controlador a la red hay que cargar el firmware del mismo. Para lo cual el controlador debe estar en modo de programación o programación remota y se debe entablar una comunicación serial (cable 1756-CP3) entre controlador y la Workstation.

En el caso del CIM el controlador que se pretende configurar es el Controller Compact Logix 5343 (1768-L43).

Se selecciona el controlador activo del menú de comunicaciones. Entonces, se escoge *Who Active* y de la lista desplegable compaginar con el nombre del controlador que se desea cargar el firmware.

Finalmente, seleccionar la revisión del controlador que enlace la revisión del proyecto que será descargada al controlador.

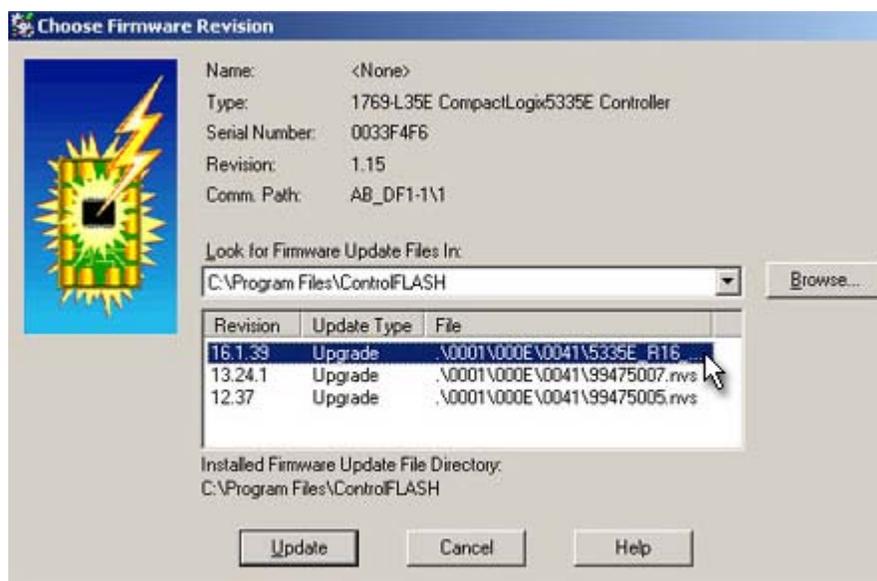


Figura. 5.16 Selección de la versión del firmware

Mientras el proceso de actualización del firmware se ejecuta es importante no interrumpir la comunicación con el controlador ni desconectar el fluido eléctrico. Cancelar en mitad de la actualización del firmware podría causar daños en el módulo.

Una vez concluido el proceso de actualización, la venta se cerrará automáticamente y el controlador estará listo para aceptar la descarga de proyectos.

5.11 ASIGNACIÓN DE UNA DIRECCIÓN IP AL CONTROLADOR.

Antes de estar en línea con el controlador vía EtherNet/IP, es necesario asignar una dirección IP al controlador. Para este propósito se usará en software RSLogix 5000 y se asumirá los siguientes ítems: la Workstation está en línea con el controlador, tanto la estación de trabajo como el controlador se encuentran en la misma subred y los dispositivos pertenecen a una red aislada.

Del menú archivo en RSLogix 5000, escoger *new*, se desplegará una cuadro de diálogo en donde se escoge el tipo de controlador y la versión del software. Entonces, se asigna un nombre al proyecto y una descripción del mismo. Entonces pulsar *OK*, ver figura 5.17.



Figura. 5.17 Creación de un nuevo proyecto.

Posteriormente se desplegará una pantalla en la que se pedirá la confirmación para descargar el proyecto, entonces se debe hacer click en *download*.

En el organizador del controlador, seleccione *I/O ports* y haga click derecho en el controlador del puerto local Ethernet y escoja *properties*. Seleccionar la ficha *port configuration* y deseleccionar *enable boot*.

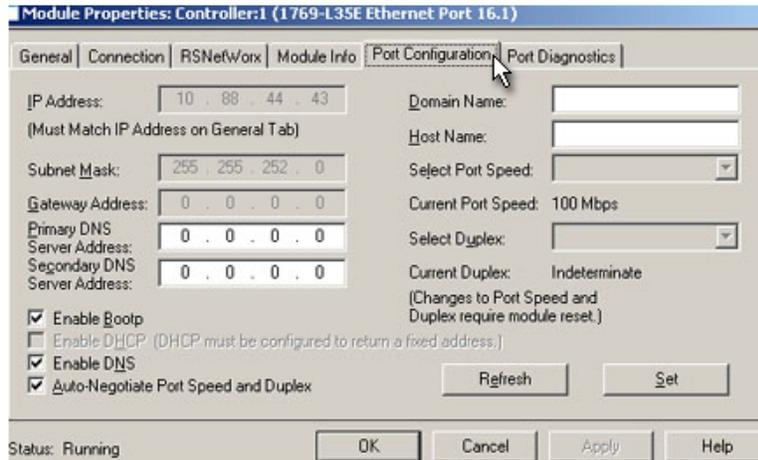


Figura. 5.18 Propiedades del modulo del controlador

En los ítems *IP address* y *subnet mask* se asigna una dirección IP válida y la máscara de red que se tenga asignada en la NIC. Es importante recordar estos datos para usarlos a futuro.

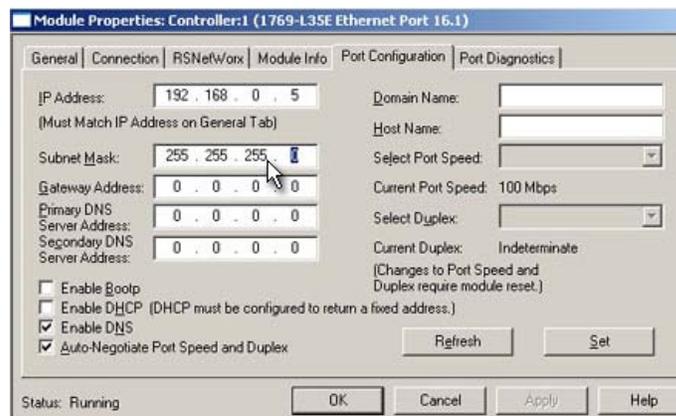


Figura. 5.19 Asignación de la dirección IP al controlador

Pulsar *set* y confirmar en el cuadro de diálogo que se despliega, seleccionar *OK* dos veces. En el menú de comunicaciones se escoge *go offline*. Con este proceso terminado

El siguiente paso es configurar el driver para EtherNet/IP para establecer la comunicación entre la red EtherNet/IP y el controlador.

5.12 CONFIGURACIÓN DEL DRIVER ETHERNET

El proceso descrito a continuación asume que: se está trabajando en una red aislada, el controlador está en línea con la red EtherNet/IP y que tanto el controlador como la Workstation pertenecen a la misma subred.

Seleccionar del menú comunicaciones *Configure Drivers* y a continuación Ethernet/IP driver

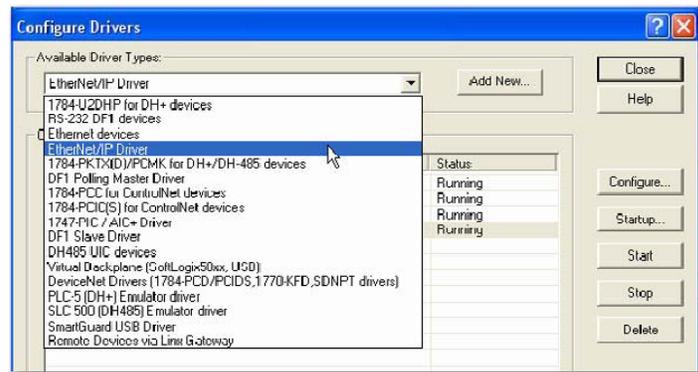


Figura. 5.20 Selección driver EtherNet/IP

Entonces en el menú contextual *configure drives* pulse el botón *add new*. Se desplegará el menú *add new RSLinx driver*, en el cual en la caja de texto ingresaremos el nuevo nombre del driver. El nombre del driver puede contener hasta 15 caracteres, salvo espacios en blanco, signos de exclamación (!), dos puntos (.), punto o slashes (/,\).



Figura. 5.21 Asignación del nombre al driver

En el menú *configure drives* se selecciona *browse local subnet* y a continuación *OK*.

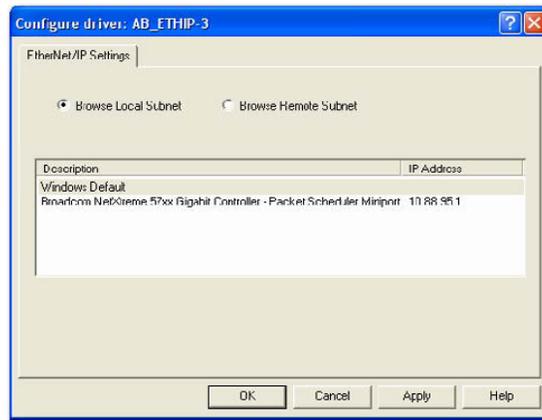


Figura. 5.22 Búsqueda del dispositivo a comunicar

Entonces aparecerá el nuevo driver disponible y pulsamos *close*.

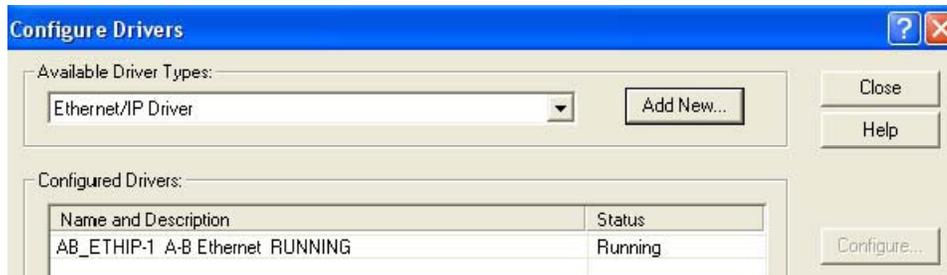


Figura. 5.23 Driver configurado disponible

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

Se ha investigado el proceso de diseño que involucra la implantación de una red EtherNet/IP en una planta industrial.

El análisis inicia con la concepción de la arquitectura de referencia, los procesos involucrados en las distintas zonas y los equipos usados en los procesos productivos.

Dado que existen características fundamentales a tomar en cuenta en la planificación de un proyecto este tipo se trata los requerimientos esenciales de la red para de esta manera asegurar un diseño que preste los servicios y requerimientos técnicos necesarios para hacer frente a las necesidades de las plantas industriales actuales.

La implementación de Ethernet Industrial requiere la elección adecuada de una topología; se consideró una topología en estrella por su facilidad de implementación y debido a que cumple con las necesidades de los requisitos de diseño establecido.

Los requerimientos de implementación del hardware, comunicación y la distribución de ambientes industriales son recogidos en los estándares ANSI/TIA 1005 y ANSI/EIA/TIA 568 para asegurar una implementación que cumpla o exceda con los requerimientos de una certificación.

Adicionalmente se desarrolló la ingeniería básica en la que se realiza un análisis de los requerimientos técnicos y operativos de la red. Se elaboró un proceso de diseño para la red lógica y física. En este proceso se describen los parámetros que deben cumplir la red y la planificación e instalación de los medios físicos de la misma.

Finalmente, como el software es parte integrante de toda implementación se establecen los pasos necesarios para realizar las configuraciones del controlador y driver para realizar una comunicación de una estación del trabajo con el controlador.

6.2 RECOMENDACIONES

- La elección del tipo de cable y la cantidad de pares a utilizar depende de los servicios existentes y futuros previstos. Como normativa general se recomienda el uso de cable UTP, 4 pares de 100 ohmios, categoría 5e o superior de tipo balanceado con chaqueta de PVC retardante al fuego para la instalación del enlace permanente. Para las instalaciones de los patch cord y conexiones cruzadas se debe usar cable de alta flexibilidad.
- Con la finalidad de lograr un mejor desempeño en el throughput del sistema se sugiere el cambio del switch 3COM SuperStack II por un switch Allen – Bradley Stratix 8000, el cual permite aprovechar la velocidad de transmisión de los controlares de tecnología Ethernet/IP existentes en el laboratorio del CIM.
- Para la selección de los elementos pasivos que conforman el canal estos deben ser un mismo fabricante para poder exigir una garantía en el canal de al menos

15 años y cumplir o exceder los requerimientos de desempeño de la EIA/TIA 568 A e ISO/IEC 11801. Adicionalmente se debe pedir a los instaladores de la red una garantía de 5 años en el rendimiento del sistema garantizado cero errores den bits transportados por en canal del sistema de cableado.

- Se deberá realizar pruebas pasivas al 100 % de los nodos de la red, mediante un analizador de nivel dos para redes. Las pruebas se deberán realizar con medidor certificado y calibrado para pruebas de cableado en base al boletín TIA/EIA TSB 67, mostrando el margen de medición en decibeles para cada combinación de pares.
- Se deberá realizar pruebas activas a un 10 % de los nodos como mínimo. Este tipo de pruebas deberá reflejar: desempeño eléctrico de la capa física en dominio del tiempo, monitoreo del tráfico real de la red sobre las redes switcheadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO 1

- [1] http://www.samson.de/pdf_en/1454en.pdf, Technical Information: Foundation Fielbus.
- [2] IDC Technologies, *Practical Fielbus Devicenet & Ethernet for industry*, IDC Technologies
- [3] http://www.cisco.com/web/strategy/manufacturing/ettf_overview.html,
The importance of reference architectures in manufacturing networks
- [4] http://www.cisco.com/web/strategy/docs/manufacturing/industrial_ethernet.pdf,
Industrial Ethernet: A Control Engineer's Guide.
- [5] <http://ethernet.industrial-networking.com/articles/articledisplay.asp?id=1494>,
Technical Article: Scalability: the future-proof key to manufacturing network design.
- [6] JAPERNEITE Jurgen, NUEMAN Peter, *Switched Ethernet for factory communication*, Adisson Wesley, 2000
- [7] REYNDERS Deon, MACKY Steve, Edwin, *Practical Industrial Data Communications*
- [8] CASTELLI Matthew, *Network Consultants Handbook*, Mc Graw Hill, 2007
- [9] HENCRE Enrique, *Tecnologías y redes de transmisión de datos*, Parafino, 2007
- [10] <http://www.10gea.org/>, Ethernet

CAPÍTULO 2

- [1] BAYLEY David, WRIGHT Edwin, *Practical Scada For The Industry*, Newness Press, 2003
- [2] LAMMLE Todd, *CCNA Cisco Certificated Network Associate Study Guide*, Sexta edición, Wiley Publishing, Canada, 2007

- [3] <http://www.ab.com/networks/whitepapers.html>, The Common Industrial Protocol (CIP™) and the Family of CIP Networks
- [4] http://www.cisco.com/en/US/tech/tk648/tk361/technologies_tech_note09186a0080093f18.shtml, Subnet Zero and the All-Ones Subnet
- [5] MURHAMMER Martin, LEE Kok-Keong, MOTALLEBI Payam , BORGHI Paolo, WOZABAL Karl, *IP Network Design Guide*, Segunda edición, IBM Corporation,1999
- [6] PARZIALE Lydia, BRITT David, DAVIS Chuck, FORRESTER Jason, LIU Wei, MATTHEWS Carolyn, ROSSELOT Nicolas, *TCP/IP Tutorial and Technical Overview*, Octava edición, IBM CORP, USA,2006

CAPÍTULO 3

- [1] http://www.esepoch.edu.ec/Descargas/noticias/dacee2_CCNA1_CS_Structured_Cabling_es.pdf, Suplemento sobre cableado estructurado, Panduit.
- [2] <http://www.it-cabling.com/Standards/isocitg/Meeting02/CITG02-15.pdf>, Draf de la norma ANSI/TIA-1005-1.
- [3] <http://www.it-cabling.com/Standards/isoiptg/Meeting09/IPTG09-15.pdf>, MICE Tutorial
- [4] ISO/IEC 29106, Information Technology – Generic cabling – Introduction to the MICE environmental classification for comment.
- [5] LOUNSBURY Robert, *Industrial Ethernet on the plant floor: A planning and installation Guide*, Primera edición, ISA, USA, 2008

CAPÍTULO 4

- [1] http://www.ieee802.org/3/af/public/sep00/vaden_1_0900.pdf, Contribution to IEEE 802.3af power over MDI task group.

- [2] http://www.procobreperu.org/c_puestatierra.pdf, Sistemas de puesta a tierra.
- [3] LOUNSBURY Robert, *Industrial Ethernet on the plant floor: A planning and installation Guide*, Primera edición, ISA, USA, 2008

CAPÍTULO 5

- [1] Rockwell Automation, *Developing a Logix5000 Project Using RSlogix 5000 Software V8*, USA 2001.
- [2] ANSI/EIA/TIA 568 B.2-1, Transmission Performance Specifications for 4-Pair 100 ohm Category 6 Cabling.
- [3] ANSI/EIA/TIA 568 B.1, Commercial Building Telecommunications Cabling Standard.
- [4] ANSI/EIA/TIA 569 A, Commercial Building Standard for Telecommunications Pathways Spaces.
- [5] ANSI/TIA 1005, Telecommunications Standard for Industrial Premises.
- [6] ISO/IEC 29106, Information technology –Generic cabling- Introduction to the MICE environmental classification for comment.
- [7] The industrial Ethernet book, 47, EIB Media, Design considerations for using Ethernet rings, July 2008.

ANEXOS

ANEXO A
TABLA DE CONVERSIÓN PARA TIEMPOS DE PROPAGACIÓN
EN CABLES

ANEXO A – TABLA DE CONVERSIÓN PARA TIEMPOS DE PROPAGACIÓN EN CABLES 138

Vel. relativa a la luz (NVP)	Nanosegundo/metro	bit time/metro (100 Mbps)	bit time/metro (1000 Mbps)
0,4	8,34	0,834	8,34
0,5	6,67	0,667	6,67
0,51	6,54	0,654	6,54
0,52	6,41	0,641	6,41
0,53	6,29	0,629	6,29
0,54	6,18	0,618	6,18
0,55	6,06	0,606	6,06
0,56	5,96	0,596	5,96
0,57	5,85	0,585	5,85
0,58	5,75	0,575	5,75
0,5852	5,7	0,57	5,7
0,59	5,65	0,565	5,65
0,6	5,56	0,556	5,56
0,61	5,47	0,547	5,47
0,62	5,38	0,538	5,38
0,63	5,29	0,529	5,29
0,64	5,21	0,521	5,21
0,65	5,13	0,513	5,13
0,654	5,1	0,51	5,1
0,66	5,05	0,505	5,05
0,666	5,01	0,501	5,01
0,67	4,98	0,498	4,98
0,68	4,91	0,491	4,91
0,69	4,83	0,483	4,83
0,7	4,77	0,477	4,77
0,8	4,17	0,417	4,17
0,9	3,71	0,371	3,71

ANEXO B

TABLA DE RETARDO EN LOS COMPONENTES

ANEXO B - TABLA DE RETARDO EN LOS COMPONENTES 140

Componente	Retardo por metro	Retardo máx. en "bit times"
Dos DTEs TX/FX		100
Dos DTEs T4		138
Un DTE T4 y un DTE TX/FX		127
Cable categoría 3	1,14	114 (100 metros)
Cable categoría 4	1,14	114 (100 metros)
Cable categoría 5	1,112	111,2 (100 metros)
Cable STP	1,112	111,2 (100 metros)
Cable de fibra óptica	1	412 (412 metros)
Repetidor Clase I		140
Repetidor Clase II con puertos TX/FX		92
Repetidor Clase II con puertos T4		67

ANEXO C

TERMINACIÓN DEL CABLEADO HORIZONTAL

El rendimiento del sistema depende de la terminación del cable. Una cuidadosa preparación del extremo del cable ayudará a instalar el conector y a asegurar una correcta instalación del mismo. Preste especial atención a la cantidad de destorción de las parejas de conductores. Destorcione sólo la longitud suficiente para encaminar los cables dentro del cuerpo del conector.

Terminación del cable UTP

1. Primero corte 1 pulgada del forro del cable usando una cortadora apropiada. Tenga cuidado de no cortar el aislamiento del cable. Si corta el aislamiento, corte el extremo del cable y comience nuevamente.

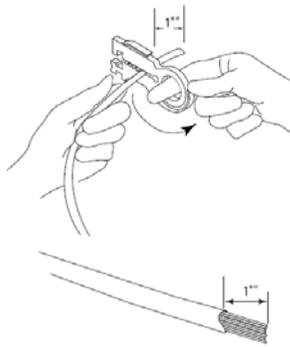


Figura. 1. Corte del forro del cable.

2. Separe las parejas individuales de hilos. Destorcione sólo hasta el forro.
3. Alinee los hilos tal como se muestra en la figura 2.

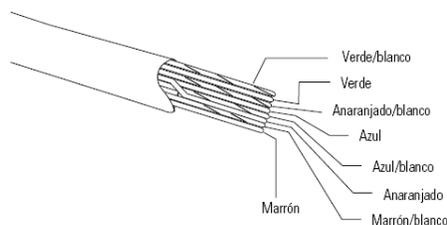


Figura. 2. Alineamiento de los hilos.

4. Sujete los conductores en la orientación correcta y corte el exceso de longitud con un par de tijeras filosas. La longitud final que sobresale del forro debe ser de menos de 0.5 pulgadas.
5. Confirme la orientación correcta de los conductores e inserte los conductores en el cuerpo del conector. Observe que cada hilo tiene su propia ranura.

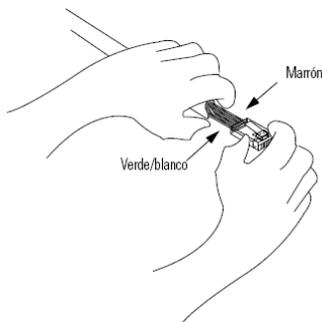


Figura. 3. Inserción de los hilos en el conector.

6. Empuje el cable dentro del cuerpo del conector hasta que todos los hilos toquen el extremo del cuerpo del conector. El forro debe estar suficientemente introducido en el cuerpo del conector para que la abrazadera del cable se enganche y sujete.
7. Proceda a ponchar el cable y verifique tirando suavemente del conector.

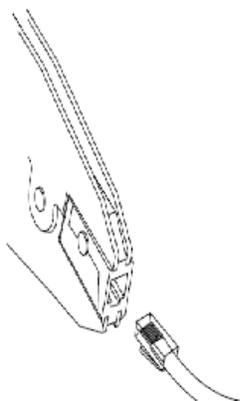


Figura. 4. Inserción de los hilos en el conector.

8. Testee el cable mediante un analizador de redes.

Terminación del cable STP

1. Corte una pulgada del forro y blindaje usando la cortadora de forro. Deseche el blindaje. Tenga cuidado de no cortar el aislamiento de los hilos. Si corta el aislamiento, corte el cable y comience de nuevo.
2. Separe las parejas individuales de hilos. Destorcione sólo hasta el forro.
3. Doble el cable de tierra hacia atrás en línea con el cable.
4. Alinee los hilos tal como se muestra en la figura 5.

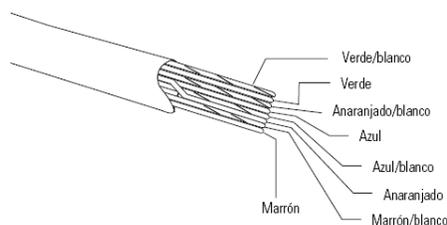


Figura. 5. Terminación T568A.

5. Sujete los conductores en la orientación correcta y corte el exceso de longitud con un par de tijeras filosas. La longitud final que sobresale del forro debe ser de menos de 0.5 pulgadas.
6. Confirme la orientación correcta de los conductores e inserte los conductores en el cuerpo del conector. Observe que cada hilo tiene su propia ranura.

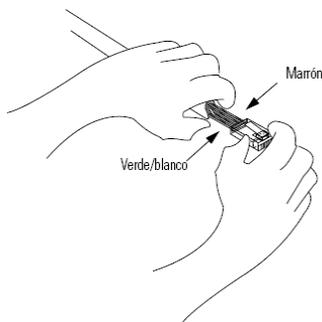


Figura. 6. Inserción de los hilos en el conector.

7. Empuje el cable dentro del cuerpo del conector hasta que todos los hilos toquen el extremo del cuerpo del conector. El forro debe estar suficientemente introducido en el cuerpo del conector para que la abrazadera del cable se enganche y sujete.
8. Proceda a ponchar el cable y verifique tirando suavemente del conector.

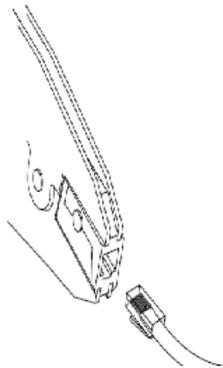


Figura. 7. Inserción de los hilos en el conector.

9. Testee el cable mediante un analizador de redes.

FECHA DE ENTREGA:

Wellington Antonio Remache Benavides

AUTOR

Ing. Víctor Proaño

DIRECTOR DE CARRERA