



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTILÁN

Redes industriales de arquitectura abierta: DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP, punto de partida para creación de proyectos en el ámbito de automatización industrial.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.

PRESENTA:

LUIS MOISÉS HERNÁNDEZ VALDEZ.

ASESOR:

Ing. Marcelo Bastida Tapia.

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2018.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.



Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Redes industriales de arquitectura abierta: DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP, punto de partida para creación de proyectos en el ámbito de automatización industrial

Que presenta el pasante: **LUIS MOISÉS HERNÁNDEZ VALDEZ**

Con número de cuenta: **40808596-4** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 15 de enero de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en T.I. Jorge Buendía Gómez	
VOCAL	Ing. Jorge Ramírez Rodríguez	
SECRETARIO	Ing. Marcelo Bastida Tapia	
1er. SUPLENTE	Ing. Luis Raúl Flores Coronel	
2do. SUPLENTE	Ing. Gilberto Chavarría Ortiz	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm*

AGRADECIMIENTOS.

A LOS CIMIENTOS DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA: PROFESORES.

A los excelentes ingenieros y muy pronto colegas en los que encontré fuente de inspiración, ejemplo de vida y éxito, gracias por guiarme y darme eso que a ustedes los hace grandes y diferentes de los demás, su sabiduría adquirida a través de la vida y sus conocimientos adquiridos en las aulas y en la industria. Deben saber que existimos personas reservadas pero con grandes aspiraciones, ser por lo menos una parte de lo que ustedes son. Por ejemplos como ustedes existimos gente que no claudicamos.

Ingeniero **Marcelo Bastida Tapia**, profesional único, gracias por las innumerables explicaciones que me diste, gracias por confiar en tus alumnos, brindar ayuda sin excusa, hacerme razonar antes de mencionar una palabra, a todas las excelentes clases, precisas, pulcras, objetivas y desparramadas de profesionalismo. Además de la elaboración de este trabajo.

Ingenieros **Ernesto Ramírez Orozco** y **Diana Fabiola Arce Zaragoza**, gracias por su confianza, bondad, por haberme integrado a ustedes sin juzgarme, por el apoyo brindado y el soporte que dan en momentos difíciles, sus consejos los llevo muy arraigados dentro de mí para dárselos a quien los necesite, cuestión que aprendí el tiempo que compartí con ustedes.

Ingeniero **José Luis Barbosa Pacheco**, excelente profesional, persona y amigo, estaré muy pero muy agradecido, por tus consejos, apoyo en las materias en las que tuve el honor de presenciar y por las experiencias de vida que me llegaste a contar.

Profesor **Jorge López Cruz**, seguramente por el número inmenso de personas que pasan por tus clases tanto en la preparatoria como en esta enorme institución que es la **UNAM** no me recordarás, pero, fuiste de manera implícita la primera persona que me impulsó a seguir.

Definitivamente son ejemplos tangibles de esfuerzo, dedicación y éxito, su inmensa e inagotable sed de aprendizaje es el ejemplo perfecto de verdaderos Ingenieros. Agradezco esa ayuda libre de conveniencia y recompensa, tales razones y muchas otras cualidades hacen que sean personas respetables.

No puedo mencionar a todos los excelentes profesores con los que tuve la satisfacción y el honor de compartir su tiempo, porque se llenarían muchas hojas de las cualidades que envuelven su persona, solo me queda mencionar un enorme **GRACIAS** a todos ustedes que son y han sido parte de esta gloriosa carrera **IME**.

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”.

DEDICATORIA.

La carrera y en especial este trabajo es dedicado a la persona más maravillosa del planeta, que Dios me hizo el inmenso favor de darme como **MADRE**, cualidades como: bondad, valor, comprensión, cariño, respeto, paciencia, amor, tolerancia, trabajo, son pocas de las cosas que describen esta hermosa persona, porque sé que te esforzaste de la misma manera que yo lo hice, te preocupaste tanto como yo en cada paso que di, alimentaste mi esperanza, mi alma y mis metas, gracias **LUISA VALDEZ CASAS**.

A mi hermano **JOSÉ DOMINGO HERNÁNDEZ**, dedicado a ti por tus motivaciones, tu ejemplo de trabajo, por tu inmensa capacidad de idear cosas, por tu ayuda desinteresada, por todo lo que me diste para lograr esta meta, gracias por no dudar que este sería uno de nuestros grandes logros, orgulloso me siento de que seas mi hermano por todas las cualidades que me mostraste, no cabe duda que sin tu ayuda esto no habría culminado nunca.

A mi hermana **JAZMÍN HERNÁNDEZ**, por depositar toda tu confianza pude llegar al final de un grandioso camino, aunque sé que es el inicio de otros, tú ayuda económica no solo significó dinero, sino un voto de confianza en un momento muy difícil. Gracias por acompañarme en las innumerables noches de desvelo las cuales recordaré por siempre.

He conocido a personas especiales pero como tú en verdad nadie, tu sed de lucha, carisma, entusiasmo, esa facilidad que te caracteriza para congeniar con los demás, pero sobre todo esa sonrisa que me conquistó en el buen sentido de la palabra me marcaron para la eternidad, no son solo palabras a la deriva son cualidades justas que un amigo enuncia a otro en un momento complicado de la vida, por esta y otras razones, te dedico este trabajo **MARISOL**.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO 1.

CONCEPTOS GENERALES DE COMUNICACIONES Y REDES INDUSTRIALES.

1.1 Introducción.....	1
Conceptos Generales De Comunicaciones Y Redes Industriales.....	1
1.2 Sistemas De Comunicaciones.....	4
1.3 Modos De Transmisión De Datos.....	7
1.3.1 Paralelo.....	7
1.3.2 Serie.....	8
1.3.3 Simplex (SX).....	8
1.3.4 Semiduplex (HDX, De Half Duplex).....	8
1.3.5 Duplex Total (FDX, De Full Duplex).....	9
1.3.6 Duplex Total/General (F/FDX, De Full/Full Duplex).....	9
1.4 Formas de Comunicación.....	9
1.4.1 Comunicaciones Cíclicas.....	9
1.4.2 Comunicaciones Acíclicas.....	10
1.5 Modos de Comunicación.....	10
1.6 Tiempo Real En Un Sistema De Comunicación Industrial.....	12
1.7 Normalización: Modelos De Referencia.....	14
1.8 Tareas Asignadas A Cada Uno De Los Niveles OSI.....	23
1.8.1 Capa Física.....	23
1.8.2 Capa de Enlace de Datos.....	24
1.8.3 Capa de Red.....	24
1.8.4 Capa de Transporte.....	26
1.8.5 Capa de Sesión.....	26
1.8.6 Capa de Presentación.....	27
1.8.7 Capa de Aplicación.....	28
1.9 Redes Locales Industriales.....	28
1.9.1 Grupo 1: Interfaz con el Proceso.....	28
1.9.2 Grupo 2: Mando y Regulación.....	29

1.9.3 Grupo 3: Supervisión y Mando Centralizados	29
1.9.4 Grupo 4: Gestión y Documentación	29
1.10 Topologías de las LAN	31
1.10.1 Estrella.....	32
1.10.2 Anillo.....	33
1.10.3 Bus.....	34
1.11 Protocolos de Comunicación	37
1.12 Justificación e Importancia de las Redes Industriales.....	39
1.13 Comunicación Mediante Buses de Campo.	40
1.13.1 La Pirámide de la Automatización.....	41
1.13.1.1 Nivel de Gestión.....	43
1.13.1.2 Nivel Célula.....	43
1.13.1.3 Nivel de Campo.....	43
1.13.1.4 Nivel Actuador-Sensor.....	44
1.14 Características de los Buses de Campo.....	46
1.14.1 Sustitución de la Señal de 4-20mA por Señales Digitales.....	47
1.14.2 Aplicación a Sistemas de Control Distribuido.....	47
1.14.3 Topologías de Buses de Campo.....	48
1.14.4 Interoperabilidad.....	48
1.14.5 Sistemas Abiertos.....	48

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE ARQUITECTURA NETLINX.....	49
2.1 El Protocolo CIP (Common Industrial Protocol).....	50
2.1.1 Características de CIP.....	52
2.1.1.1 Independencia.....	52
2.1.1.2 Encaminamiento Multired.....	53
2.1.1.3 Perfilado Preciso de Dispositivos.....	53
2.1.1.4 Servicios de Control.....	54
2.1.1.5 Comunicación e Intercambio de Datos.....	54
2.1.1.6 Servicios de Productor/Consumidor.....	55
2.1.1.7 Seguridad.....	55
2.1.2 Términos utilizados por CIP.....	56

2.1.2.1 Cliente/Servidor.....	57
2.1.2.2 Master/Slave (Maestro/Esclavo).....	57
2.1.2.3 Modelo Fuente/Destino.	57
2.1.2.4 Modelo Productor/Consumidor.	57
2.1.2.5 Modelo Productor/Consumidor Para CIP.....	58
2.1.2.6 Mensaje Explícito.	58
2.1.2.7 Mensaje E/S o Implícito.	58
2.1.2.8 Modelo de Objetos.	58
2.1.2.9 Punto a Punto.....	59
2.1.2.10 Multicast.	59
2.1.3 Modelado de Objetos.	59
2.1.4 Librería de Objetos de las Redes CIP.	61
2.1.5 Perfiles de Dispositivos.....	62
2.1.6 Configuración y Hojas de Datos Electrónicas (EDS).....	64
2.1.6.1 Configuración por Hoja de Datos Impresa.	64
2.1.6.2 Configuración por Parameter Object.....	65
2.1.6.3 Configuración por EDS.	65
2.1.6.3.1 Descripción del EDS.....	65
2.1.6.3.1.1 Secciones de un EDS.....	66
2.2 Modelo OSI Aplicado a las Redes Industriales.	67
2.2.1 Las Capas de OSI.	67
2.3 ODVA.	68
2.4 Redes de Arquitectura NetLinx.	69
2.4.1 Prestaciones del Protocolo CIP dentro de la Arquitectura NetLinx.....	72
2.4.2 Redes Productor Consumidor.	73
2.4.3 Comunicación sin Fisuras.	74

CAPÍTULO 3

RED A NIVEL DISPOSITIVO.....	77
3.1 Protocolo de Comunicación DeviceNet.....	77
3.1.1 Trama de Datos de CAN.	80
3.1.1.1 Start Of Frame (SOF).	81
3.1.1.2 Arbitration Field.	81

3.1.1.3 Control Field.....	81
3.1.1.4 Data Field.	81
3.1.1.5 CRC Field.....	82
3.1.1.6 Ack Field.	82
3.1.1.7 End Of Frame.	82
3.1.2 El Propósito de DeviceNet.	82
3.1.2.1 Diagnóstico.....	83
3.1.2.2 Inserción con Alambre Vivo.	83
3.1.2.3 Dispositivos de Entrada/Salida (E/S).	83
3.2 Capa Física y características de DeviceNet.	84
3.2.1 Distancias Máximas.	84
3.2.2 Valores de Operación Según UL.....	85
3.2.3 Número de Nodos.....	85
3.2.4 Resistencias Terminales.	86
3.2.5 Estándares.....	86
3.2.6 Suministro de Energía.	87
3.2.7 Codificación de Bit.....	88
3.2.8 Especificaciones del Medio Físico.	89
3.3 Capa de Enlace de Datos.	89
3.3.1 Método de Acceso al Medio.....	89
3.3.1.1 Control de Enlace Lógico.....	91
3.3.1.1.1 Funciones de la Subcapa LLC.	91
3.3.1.2 Control de Acceso al Medio.	91
3.3.1.3 Arbitraje del Bus.....	92
3.4 Capa de Red y Transporte.....	94
3.4.1 Can Identifier (Can-ID).....	94
3.4.2 Grupos de Mensajes DeviceNet.	95
3.4.2.1 Mensaje de Grupo 1.....	95
3.4.2.2 Mensajes de Grupo 2.	96
3.4.2.3 Mensaje de Grupo 3.....	96
3.4.2.4 Mensaje de Grupo 4.....	96
3.4.3 Establecimiento de la Conexión.....	97

3.5 Capas Superiores.....	99
3.5.1 Objeto Adicional Específico de Red DeviceNet-Object.....	99
3.6 Tipos de Mensajes Predefinidos en una Conexión Maestro/Esclavo.....	100
3.6.1 Conexión I/O Polled.....	101
3.6.2 Conexión Bit-Strobe I/O.....	102
3.6.3 Conexión I/O Cambio de Estado/Cíclico (Cos/Cyclic I/O).....	104
3.7 Topología de la Red DeviceNet.....	106
3.7.1 Longitud Máxima de la Línea Troncal.....	108
3.7.1.1 Longitud de Red Medida entre las Resistencias de Término.....	109
3.7.1.2 Longitud de Red Medida entre los Dispositivos Extremos.....	109
3.7.1.3 Longitud de Red Medida entre la Resistencia de Término y el Dispositivo Extremo.....	110
3.7.2 Longitud Acumulativa de la Línea Derivación.....	111
3.7.3 Selección de Fuente de Alimentación.....	112
3.7.4 Información Sobre las Capacidades de Alimentación, Corriente de Alimentación Requerida y Métodos de Calculo de Fuentes de Alimentación.....	114
3.7.4.1 Requerimientos de Energía.....	115
3.7.4.1.1 Ubicación de la Fuente de Poder.....	115
3.7.5 Métodos Para la Determinación de Los Requerimientos de Energía.....	116
3.7.5.1 Método Simple.....	116
3.7.5.1.1 Aplicación del Método Simple, Conexión de una Fuente.....	117
3.7.5.2 Método Look-Up.....	117
3.7.5.2.1 Ejemplo de Aplicación del Método Look-Up.....	118
3.7.5.3 Método de Cálculo Completo.....	120
3.7.5.3.1 Pasos a Seguir con el Método de Cálculo Completo.....	122
3.7.5.3.1.1 Ejemplo de Aplicación del Método de Cálculo Completo.....	123
3.8 Componentes que Integran la Red.....	124
3.8.1 Clasificación de los Componentes.....	124
3.8.1.1 Plataforma de Control.....	126
3.8.1.2 Medio.....	127
3.8.1.3 Herramientas de Software.....	128
3.8.1.3.1 Architecture Builder.....	128
3.8.1.3.2 RsLogix5000.....	128

3.8.1.3.3 RsNetworx para Devicenet	129
3.8.1.3.4 RsLinx.....	130
3.8.1.4 Interfaces para PC.....	130
3.8.1.5 Fuente de Poder.	131

CAPÍTULO 4

RED A NIVEL DE CONTROL.	132
4.1 Introducción a ControlNet.	133
4.2 Capa Física.....	134
4.2.1 Características Principales de ControlNet.....	134
4.2.2 Características que Integran la Capa Física.....	137
4.2.2.1 Descripción de los Diferentes Elementos que Conforman una Red ControlNet.	138
4.2.3 Interdependencia de la Longitud de la Red y el Número de Taps.	141
4.2.4 Topologías.....	142
4.2.5 Características de la Señal ControlNet.....	144
4.3 Capa de Enlace.....	144
4.3.1 Método de Acceso al Medio.....	144
4.3.1.1 Servicio Scheduled.	145
4.3.1.2 Servicio Unscheduled.....	146
4.3.1.3 Consideraciones Importantes.....	148
4.3.1.4 El GuardBand.	148
4.3.2 Formato de los Paquetes ControlNet.....	149
4.3.2.1 El Mac-Frame.....	150
4.3.2.2 El Lpacket.....	151
4.4 Capa de Red y Transporte.....	151
4.4.1 Establecimiento de una Conexión.....	152
4.4.1.1 El Unconnected Message Manager (UCMM).....	152
4.4.1.2 El Message Router.....	153
4.4.1.3 El Connection Manager.....	154
4.4.2 El Modelo Productor/Consumidor En ControlNet.....	155
4.4.2.1 Mensajes Objeto.	156
4.4.2.2 Tipos de Conexión Productor/Consumidor.....	156
4.4.2.2.1 Conexión Punto a Punto (Point-To-Point).....	156

4.4.2.2.1.1 Conexión Multicast.	157
4.4.2.3 Servicios de Transporte.	157
4.4.2.3.1 Transporte Clase 1.	158
4.4.2.3.2 Transporte Clase 3.	158
4.5 Capas Superiores.	158
4.5.1 Objetos Adicionales ControlNet.	159
4.5.1.1 ControlNet Object.	159
4.5.1.2 El Keeper Object.	159
4.5.1.3 El Scheduling Object.	160
4.6 Mensajería Explícita.	160
4.7 Mensajería I/O.	161
4.8 Componentes que Integran la Red ControlNet.	162
4.8.1.1 Plataforma de Control.	163
4.8.1.2 Software de Configuración.	164
4.8.1.3 Interfaz Para PC.	165

CAPÍTULO 5

RED A NIVEL DE INFORMACIÓN.	166
5.1 Introducción.	167
5.1.1 Definición de Ethernet.	167
5.1.1.1 Ethernet 10Base-T.	168
5.1.1.2 Ethernet 100Base.	169
5.1.1.3 Justificación de Ethernet/IP en la Industria.	171
5.2 Características de la Red Ethernet/IP.	173
5.2.1 Estándar IEEE 802.3.	174
5.2.2 Formato Básico de la Trama Ethernet.	175
5.3 Capa Física y Enlace de Datos.	177
5.3.1 Método de Acceso CSMA/CD.	178
5.3.1.1 Colisiones.	179
5.3.2 Topologías.	180
5.3.2.1 Topologías en Líneas Pasivas.	180
5.3.2.2 Topologías en Líneas Activas.	181
5.3.2.3 Topología Bus.	181

5.3.2.3.1 Ventajas de la Topología Bus.	181
5.3.2.3.2 Desventajas de la Topología Bus.	182
5.3.2.4 Topología en Estrella.	182
5.3.2.4.1 Ventajas de una Topología Estrella.	182
5.3.2.4.2 Desventajas de una Topología en Estrella.	183
5.3.2.5 Topología en Anillo.	183
5.3.2.5.1 Ventajas de una Topología En Anillo.	184
5.3.2.5.2 Desventajas de una Topología en Anillo.	184
5.3.3 Tipos de Cables.	185
5.3.3.1 Problemas en los Cables de Red.	186
5.3.3.2 Cable Unshielded Twisted Pair (UTP).	187
5.3.3.2.1 Cable Directo.	188
5.3.3.2.2 Cable Cruzado.	189
5.3.3 Fibra Óptica.	190
5.4 Capa de Red y Transporte.	190
5.4.1 Mascara en Direcciones IP.	192
5.4.2 Formatos de las Direcciones IP.	193
5.4.3 Encapsulado TCP/IP.	193
5.4.4 Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP).	195
5.5 Capas Superiores.	196
5.5.1 Conexiones.	198
5.5.2 Términos para Entender las Conexiones.	199
5.5.2.1 Productor/Consumidor.	199
5.5.2.2 Cliente/Servidor.	200
5.5.2.3 Transporte.	200
5.5.2.4 UCMM (Unconnected Message Manager).	200
5.5.2.5 Conexiones TCP.	201
5.5.2.6 Conexiones CIP.	201
5.5.2.6.1. Bridged.	201
5.5.2.6.2 End-Node.	202
5.5.2.6.3 Rack-Optimized.	202
5.5.2.6.4 Directa.	202

5.5.2.7 Tipos De Mensajes en una Conexión CIP.....	202
5.5.2.7.1 Conexiones Implícitas.....	202
5.5.2.7.2 Conexiones Explícitas.....	202
5.5.2.8 Tipos de Conexiones CIP.....	203
5.6 Componentes, Infraestructura Ethernet.....	205
5.6.1 Hubs.....	206
5.6.2 Repetidor.....	207
5.6.3 Convertidores de Medio.....	207
5.6.4 Bridge (Puente).....	208
5.6.5 Routers y Gateways.....	209
5.6.6 Switches.....	209
CONCLUSIÓN.....	211
GLOSARIO.....	215
BIBLIOGRAFÍA.....	220

INTRODUCCIÓN.

Con el paso del tiempo se han logrado grandes cambios en todos los aspectos de un proceso productivo, esta evolución se ha dado a consecuencia de la demanda de productos de todos los sectores industriales, tal es el caso de los sistemas de comunicación a nivel industrial con el propósito de conectar todos los niveles de una empresa y de esta forma mejorar todos los aspectos posibles de un proceso de fabricación en específico. Este trabajo mostrará los aspectos más relevantes acerca de tres redes manejadas por ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) las cuales son: DeviceNet, ControlNet y Ethernet, conocidas también como redes NetLinx, el trabajo se estructura de la siguiente manera:

En el capítulo uno se describirán aquellos conceptos y aspectos necesarios para entender en que se basan para su funcionamiento y todo aquello que envuelve el concepto de redes industriales, tal como: sistemas de comunicaciones, modos de comunicación, tiempo real, redes LAN, etc.

El capítulo dos trata de explicar los aspectos altamente indispensables que soportan la arquitectura NetLinx, es decir, temas como: el protocolo CIP, el modelo OSI aplicado a las redes industriales y sus respectivas capas, quién es ODVA, y las características en las que descansa es concepto NetLinx.

El capítulo tres se enfoca en una de las redes en este caso a la red a nivel dispositivo DeviceNet, explicando los aspectos más relevantes para el diseño de una red. Las capas de enlace, red, transporte y física son mencionadas aquí, aspectos como longitud en línea troncal y derivada, fuente de alimentación y corriente necesaria, estas características también se mencionan.

El capítulo cuatro está enfocado a la red de control llamada ControlNet, siguiendo la misma estructura, se mencionan aspectos fundamentales como: los tipos de mensajes que utiliza para la comunicación, la topología que se implementa con esta red y los componentes que integran ésta red.

Finalmente el capítulo cinco menciona la red de información EtherNet/IP, abordando los temas fundamentales para su entendimiento tales como: las características que la conforman,

la capa física, los elementos propios de la red, el estándar IEEE 802.3, las topologías que se pueden implementar en esta red, etcétera.

CAPÍTULO 1.

CONCEPTOS GENERALES DE COMUNICACIONES Y REDES INDUSTRIALES.



1.1 INTRODUCCIÓN.

CONCEPTOS GENERALES DE COMUNICACIONES Y REDES INDUSTRIALES.

Desde la primera máquina automatizada a base de componentes electromecánicos, hasta las grandes instalaciones compuestas por multitudes de máquinas trabajando coordinadamente, ha habido siempre un denominador común en mayor o menor medida: la relación de la máquina con su entorno.

Una máquina aislada no deja de necesitar información de su entorno para poder trabajar correctamente (finales de carrera, detectores, sistemas de medida, etcétera).

En cuanto se empiezan a utilizar señales en un sistema o máquina, será necesario coordinar los diferentes componentes para poder obtener un resultado productivo. Al agrupar varias máquinas para realizar un trabajo determinado, éstas deben coordinarse para conseguir un resultado fruto de ese agrupamiento.

Hasta los años 60's, el control industrial se venía realizando mediante lógica cableada a base de relés electromecánicos. Desde entonces, el desarrollo de la electrónica ha hecho posible de la implementación de los dispositivos con microprocesador, también llamados Autómatas Programables o Controladores Lógicos.

En una primera etapa, todas las señales de control de un sistema se guiaban mediante cables entre la máquina y el armario donde se localizaban los componentes de mando (armario eléctrico).

Si en vez de una máquina se tienen varias, el tema se complica; aparecen fenómenos de interferencia, caídas de tensión, las canales de distribución eléctrica, repletas de mangueras que transportan energía y señales entran a las máquinas y el armario.

El concepto anterior, es a grandes rasgos, lo que se conoce como control centralizado, todos los mensajes y las ordenes tienen un punto focal único, esto se muestra en la Figura 1.1.

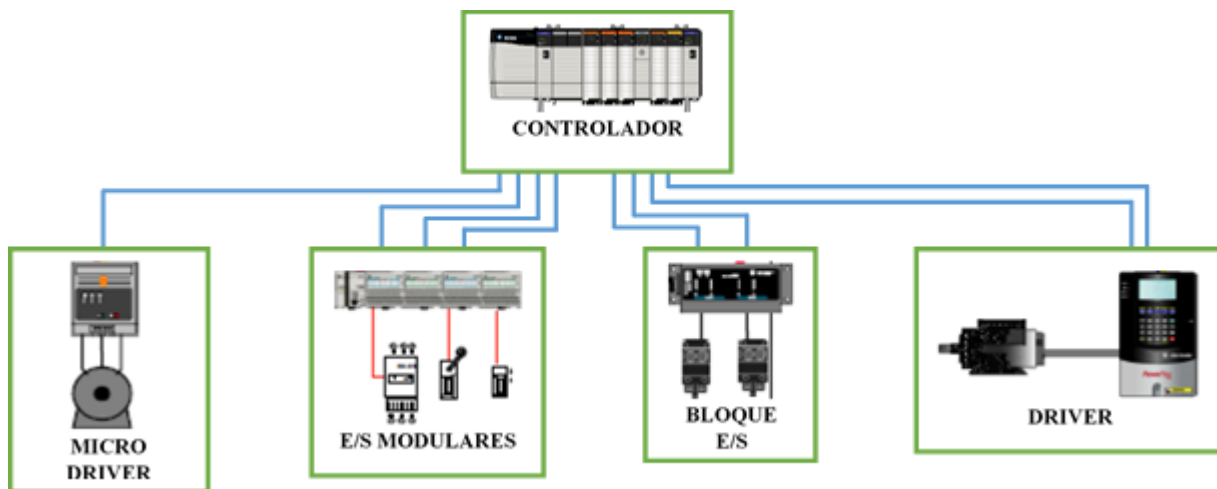


FIGURA 1.1 CONTROL CENTRALIZADO.

La necesidad de simplificar las instalaciones y reducir los costos de mantenimiento de las mismas dio lugar a que sistemas de producción complejos se dividiesen en subsistemas más sencillos, dedicados a tareas específicas y gobernadas por controladores propios.

La aparición de los autómatas programables (PLC, Programmable Logic Controller) permitió reducir en gran medida la cantidad de material necesario para conseguir controlar una máquina, los controladores se programan en su interior y las modificaciones de funcionamiento no significan necesariamente cambios físicos y, además, el tiempo de mantenimiento se reduce.

Las señales entre periferia y control, inicialmente de tipo analógico y de punto a punto, gracias al diseño de la electrónica digital y el auge de los microprocesadores, se convierten, dentro del mismo elemento de campo, en un conjunto de señales capaces de transportar esa información mediante un único medio de transporte (bus de campo) gracias a un protocolo de comunicación, y que permite que esa señal (por ejemplo sensor activado) pueda hacerse llegar a donde interese.

La posibilidad de conectar autómatas entre sí, además, permitió eliminar casi todo el cableado de control entre máquinas, quedando solamente una línea de comunicación entre ellas, a través de la cual se podía coordinar el funcionamiento de todos los componentes de un sistema. Otras ventajas fueron la posibilidad de la programación a distancia, supervisión remota, diagnóstico

de todos los elementos conectados, modularidad, acceso a la información prácticamente de forma instantánea etc. Todo esto hace que el sistema sea más fiable y menos costoso, pues los elementos de control no necesitan ser tan complejos.

Estas líneas de comunicación son llamados buses de campo. Permitir unir todos los elementos de control necesarios de forma que puedan intercambiar mensajes entre ellos. Esta idea se conoce como control distribuido mostrado en la Figura 1.2; un sistema complejo se divide en subsistemas autónomos con control propio que se integran gracias a un sistema de comunicaciones común.

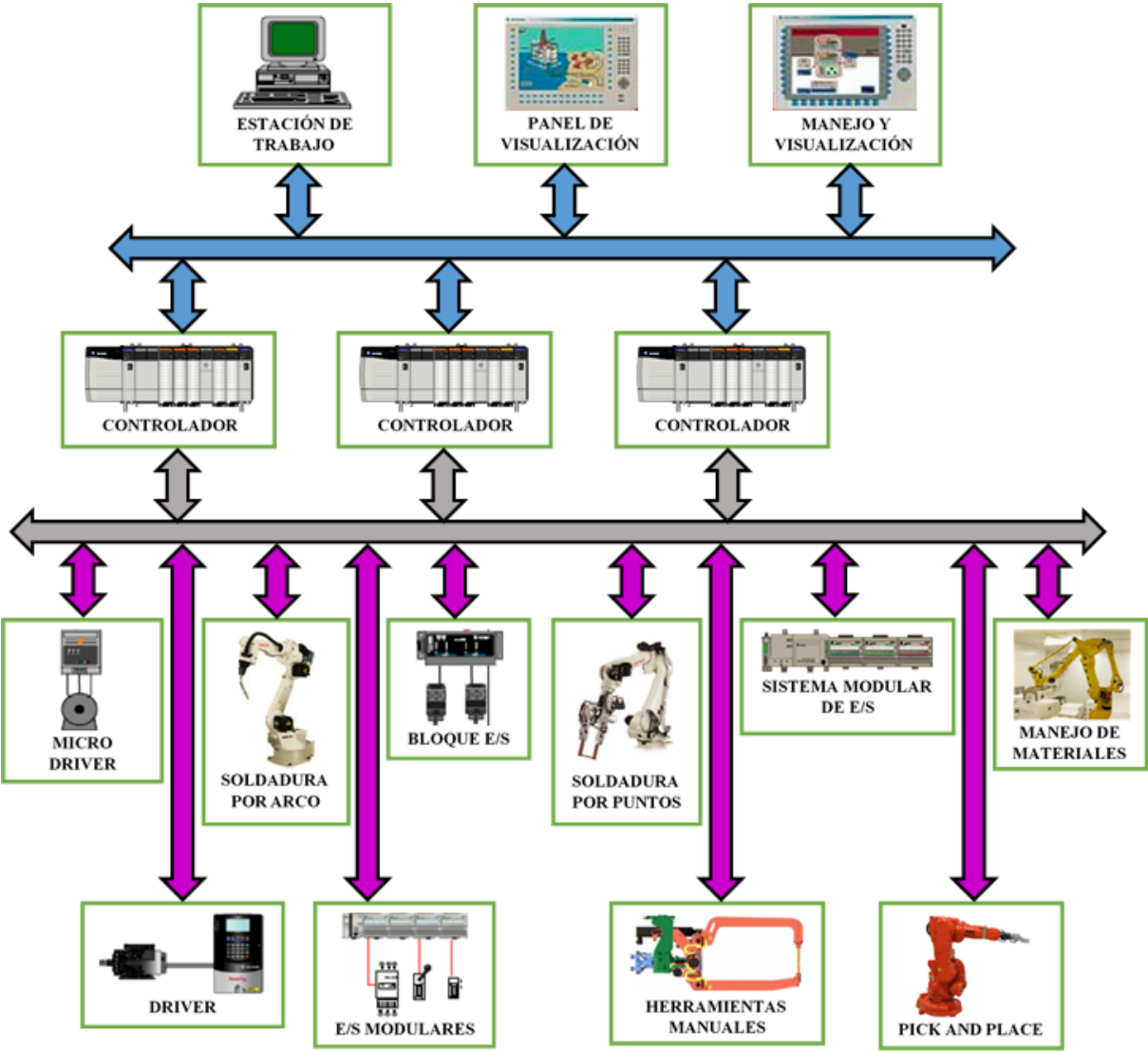


FIGURA 1.2. CONTROL DISTRIBUIDO.

Además, toda la información generada puede almacenarse en bases de datos y ser accesible a cualquier nivel dentro del organigrama de la empresa, permitiendo plantear y evaluar estrategias de manera integral de elementos productivos, dentro de los cuales se integran elementos tales como datos de procesos productivos, recursos humanos, tecnología, logística, etc.

Todo esto es posible gracias a que se han determinado toda una serie de reglas para realizar el intercambio de información: el lenguaje debe ser explícito, sin ambigüedades, el vocabulario debe ser conocido por todos los interlocutores, y las normas de cortesía deben respetarse.

El responsable de esta normalización es la ISO (International Standards Organization), que ha definido toda una serie de normas en el modelo OSI (Open Standards Interconnection). [1]

1.2 SISTEMAS DE COMUNICACIONES.

Un sistema se define formalmente como una entidad que manipula una o más señales para llevar a cabo una función, produciendo de ese modo nuevas señales.

En un sistema de comunicación, la función del sistema es transportar el contenido de la información de la señal del mensaje sobre un canal de comunicación y entregarla a un destinatario de una manera confiable. [2]

En esencia, las comunicaciones electrónicas son la transmisión, recepción y procesamiento de información usando circuitos electrónicos. Se define a la información como el conocimiento o las señales inteligentes comunicados o recibidos. Un sistema de comunicaciones comprende de tres secciones principales: una fuente, un destino y un medio de transmisión. La información se propaga a través de un sistema de comunicaciones en forma de símbolos que pueden ser analógicos (proporcionales), como la voz humana, la información de las imágenes de video, o la música; o bien pueden ser digitales (discretos) como los números codificados en un sistema binario, los códigos alfanuméricos, los símbolos gráficos, los códigos de operación de microprocesadores, o la información de bases de datos. [3]

Se pueden definir las “Comunicaciones Industriales ” como el área de la tecnología que estudia la transmisión de información entre circuitos y sistemas electrónicos utilizados para llevar a cabo tareas de control y gestión de ciclo de vida de los productos industriales.

Las comunicaciones industriales deben, por lo tanto resolver la problemática de la transferencia de información entre los equipos de control del mismo nivel y entre los correspondientes a los niveles contiguos de la pirámide CIM.

En la década de 1980, las comunicaciones industriales comenzaron a realizarse mediante comunicaciones digitales punto a punto para facilitar la utilización de los computadores como sistemas de diseño asistido por computadora del programa de control. Pero las conexiones punto a punto dan lugar a múltiples canales de comunicación, con el consiguiente incremento de complejidad. Por ello, para llevar a cabo dicha transferencia de información de la manera más eficaz posible, los equipos deben compartir canales de comunicación, lo cual incentivó el desarrollo de redes de comunicaciones que posean las características adecuadas. [4]

El sistema de comunicaciones soporta el intercambio de información entre los elementos de planta, la arquitectura de hardware implementada y los elementos de gestión.

Permite implementar el sistema de controladores que realizará el intercambio de información entre los elementos de campo (autómatas reguladores) y los ordenadores que realizarán la recopilación de datos de información.

La transmisión de datos entre sistemas se realiza, generalmente, de forma transparente al usuario. Los datos entran por un sitio y salen por otro sin necesidad de intervención humana, no exactamente.

Hay una serie de equipamiento que no estaba ahí; equipos de comunicación más o menos sofisticados con alguna que otra caja negra en su interior totalmente desconocida (módems, routers, switches, hubs y un largo etc.), cables, antenas, etc. Todo este equipamiento esperamos que haga una labor cuidadosa de guía de datos hacia un destino y de su integridad y privacidad. [1, pp. 58, 218]

En la industria moderna, las comunicaciones de datos entre diferentes sistemas, procesos e instalaciones suponen uno de los pilares fundamentales para que esta se encuentre en un nivel de competitividad exigida en los procesos productivos actuales.

En un sistema de comunicaciones de datos industrial es tanto más exigente cuanto más cerca del proceso nos encontramos. En la Tabla 1.1 se realiza una comparativa entre tres de las

principales características que determinan la aplicación de las diferentes redes de comunicación, como son:

- ❖ Volumen de datos: Cantidad de datos que viajan por la red en cada envío (Bytes).
- ❖ Velocidad de transmisión: Velocidad a la que viajan los datos por la red (Bytes por segundo).
- ❖ Velocidad de respuesta: Velocidad que hay entre el momento de dar la orden y la respuesta del dispositivo (milisegundos).

	Volumen de datos	Velocidad de transmisión	Velocidad de respuesta	Aplicación
Red de Ordenadores	Elevado	Elevado	Bajo	Lectura de Datos
Detector de Proximidad	Muy bajo	Bajo	Instantánea	Sistema de Seguridad

TABLA 1.1. COMPARATIVA DE LAS CARACTERISTICAS EN UN SISTEMA DE COMUNICACION INDUSTRIAL.

Una empresa se encuentra en la necesidad de incorporar un sistema de comunicaciones integrado para poder obtener un beneficio, como puede ser:

- ❖ La reducción de costos de producción.
- ❖ La mejora de la calidad.
- ❖ La mejora de la productividad.
- ❖ La reducción del almacenaje.
- ❖ La mejora de la efectividad de sus sistemas.
- ❖ La reducción de los costos de mantenimiento.

Para conseguir estos objetivos el sistema de comunicaciones debe permitir:

- ❖ Sistemas de comunicación que enlacen la planta de producción con la de gestión e ingeniería de la empresa.

- ❖ La integración de las bases de datos de la empresa (producción, pedidos, almacén, etc.).

- ❖ Compartir las aplicaciones tanto a nivel de:

- * Software: Gestión: Textos, hojas de cálculo, bases de datos, etc.

- Diseño: CAD/CAE.

- Producción: PLC, robots, CNC, etc.

- * Hardware: Impresoras, otros dispositivos.

Al integrar un sistema de comunicaciones se pueden conseguir ventajas como:

- ❖ Tras la orden de fabricación, todos los elementos de un sistema, proceso o planta reciben de forma simultánea la información.

- ❖ Permitir centralizar las señales de alarma de cada componente del proceso.

- ❖ Permitir el control de la producción, ya que todos los equipos de la planta pueden enviar información a otro sistema que almacenará y procesará dicha información. [5]

1.3 MODOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS.

1.3.1 PARALELO.

Esta forma de transmisión permite el envío de información a gran velocidad. El inconveniente es la cantidad de líneas de comunicación y la distancia máxima a la cual se puede realizar esta.

Actualmente es la única opción válida para los sistemas con microprocesadores (el bus local del PC).

Se mide en bits, o líneas de comunicación (pistas de circuito impreso). Existen buses de 8, 16, 32, 64 y 128 bits.

Ejemplos de este tipo de bus son:

- ❖ Sistemas domésticos: ISA, PCI, AGP.

- ❖ Sistemas industriales: Eurocard, VME, FutureBus.

1.3.2 SERIE.

Mediante un sistema clásico de transmisión de señal, por niveles de tensión por ejemplo, el sistema transmisor hace variar los niveles de señal entre dos valores o estados. El sistema receptor debe ser capaz de identificar esos cambios de estado e interpretarlos correctamente para poder traducirlos a bits. Este método exige que tanto emisor como receptor, estén sincronizados.

Para sincronizar emisor y receptor se pueden utilizar dos métodos:

- ❖ Asíncrono: emisor y receptor trabajan a la misma velocidad y con el mismo número de bits por mensaje. Una señal determinada (start bit) indica el inicio del mensaje y el receptor comienza el muestreo de la señal presente en el medio.

Este método requiere precisión en las operaciones de muestreo (periodos de reloj constantes en el tiempo).

- ❖ Síncrono con reloj: una señal de reloj adicional indica al receptor los instantes de muestreo de señal.

Este método requiere una línea de comunicación adicional.

La ventaja de este método es que el receptor solo debe seguir los flancos de la señal de reloj, y este no tiene por qué ser preciso. [1, p. 262]

1.3.3 SIMPLEX (SX).

Con el funcionamiento simplex, las transmisiones sólo se hacen en una dirección. A veces, a los sistemas simplex se les llama sólo en un sentido, sólo recibir o sólo transmitir. Una estación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambos a la vez. Como ejemplo de transmisión simplex está la emisión comercial de radio o televisión: la estación de radio sólo transmite a uno, y uno siempre recibe.

1.3.4 SEMIDUPLEX (HDX, DE HALF DUPLEX).

En el funcionamiento Semiduplex, las transmisiones se pueden hacer en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. A veces, a los sistemas Semiduplex se les llama de alternar en ambos sentidos, en uno de los sentidos, o de cambio y fuera. Una estación puede ser

transmisora y receptora, pero no al mismo tiempo. Los sistemas de radio en dos sentidos que usan botones para hablar (PTT, de Push-to-Talk) para conectar sus transmisores, como son los radios de banda civil y de policía, son ejemplos de transmisión en Semiduplex.

1.3.5 DUPLEX TOTAL (FDX, DE FULL DUPLEX).

Con el funcionamiento Duplex total, o simplemente Duplex, puede haber transmisiones en ambas direcciones al mismo tiempo. A veces, a los sistemas Duplex se les llama simultáneos de dos direcciones, Duplex completos o líneas bilaterales o en ambos sentidos. Una estación puede transmitir y recibir en forma simultánea; sin embargo, la estación a la que se transmite también debe ser de la que se recibe. Un sistema telefónico normal es un ejemplo de funcionamiento Duplex.

1.3.6 DUPLEX TOTAL/GENERAL (F/FDX, DE FULL/FULL DUPLEX).

Con la operación en Duplex total/general es posible transmitir y recibir en forma simultánea, pero no necesariamente entre las mismas dos estaciones (es decir, una estación puede transmitir a una segunda estación, y recibir al mismo tiempo de una tercera estación). Las transmisiones Duplex total/general se usan casi exclusivamente en circuitos de comunicaciones de datos. El Servicio Postal en Estados Unidos es un ejemplo de funcionamiento en Duplex total/general. [3, p. 10]

1.4 FORMAS DE COMUNICACIÓN.

La forma de comunicación utilizada se puede observar desde el punto de vista de la frecuencia con la que se intercambian los datos entre los equipos, pudiendo ser de dos maneras:

- ❖ Cíclica (periódica)
- ❖ Acíclica (aperiódica)

1.4.1 COMUNICACIONES CÍCLICAS.

A la hora de transmitir vía bus de campo, interesa que el tiempo empleado en enviar y recibir todos los datos entre estaciones (tiempo de scan), sea lo más corto posible.

En un caso ideal no debería haber retraso. Por ejemplo, entre pulsar un botón de paro de estación en el sistema de visualización del Maestro y el paro real de la misma.

Es inevitable que transcurra un tiempo determinado entre dos sucesos:

- ❖ El maestro tiene un ciclo de trabajo de una duración determinada (ciclo de scan).
- ❖ El sistema de comunicaciones tarda un tiempo en enviar-recibir todos los datos programados.
- ❖ El esclavo tiene su ciclo de scan propio.

Enfocándose en las comunicaciones, una manera de reducir el tiempo de emisión-recepción, sin variar la velocidad de transmisión, es reducir la cantidad de datos a gestionar por el sistema de transmisión, enviando únicamente los datos necesarios (marcha, paro, alarmas, etc.).

En determinadas situaciones, puede ser necesaria la transferencia de grandes cantidades de datos entre estaciones. Si esto se realizase de manera cíclica, la carga de trabajo del sistema de comunicaciones podría aumentar de tal manera que este podría volverse inoperante debido a los tiempos de retraso.

1.4.2 COMUNICACIONES ACÍCLICAS.

En el caso de intercambio de grandes cantidades de información no crítica (piezas producidas, tiempo de funcionamiento, visualización de algunas variables analógicas, etc.), se puede optar por realizar el envío de información en momentos determinados del proceso, o solo cuando se solicite.

Así como la comunicación cíclica se realiza de forma automática, la lectura y escritura de datos en modo acíclico debe ser realizada mediante la ejecución de instrucciones específicas de comunicación (lectura y escritura).

La comunicación de tipo acíclico representa una carga adicional a las comunicaciones de tipo cíclico, que se ejecutan de modo automático. Por lo tanto, un exhaustivo, o muy frecuente uso de la comunicación de tipo acíclico repercutirá en el tiempo total de procesamiento necesario para las comunicaciones.

1.5 MODOS DE COMUNICACIÓN.

Las relaciones entre los nodos de red estarán determinadas por el protocolo que utilicen. Será en función de la forma en la cual se gestione la información o en el tipo de información que mantendrán con los otros nodos.

Los diversos modos de comunicación permiten estructurar las diferentes estrategias de intercambio de información. Se pueden dividir en dos categorías:

- ❖ Punto a punto.
- ❖ Productor-Consumidor.

El concepto de comunicación punto a punto consiste en enviar la información tantas veces como sea necesario para que llegue a todos los destinatarios (una carta, una dirección). Este concepto emplea más ancho de banda del realmente necesario, pues el mensaje se repite muchas veces, tantas como destinatarios. Además los mensajes llegan en intervalos de tiempo diferentes.

La comunicación punto a punto tiene una serie de puntos débiles:

- ❖ Exceso de producción, hay nodos de red que pueden no necesitar los datos en un momento dado (pero tienen que ver si son para ellos).
- ❖ Inexactitud, pues los datos se transmiten durante varios ciclos de bus (un mismo mensaje enviado a varios nodos).
- ❖ Falta de determinismo debido a la cantidad de nodos presentes.

Con el modelo de productor-consumidor, el dato generado se coloca en el bus con una etiqueta única y es accesible por cualquier nodo que lo necesite, permitiendo, además, el acceso simultáneo (principio de sincronismo).

Este es un modelo altamente eficiente, pues:

- ❖ Economiza recursos de transmisión al no enviar información en donde no es necesaria.
- ❖ Sincroniza los destinatarios, pues todos reciben los datos al mismo tiempo.
- ❖ El tiempo necesario para transmitir no varía con el número de destinatarios.

En la Tabla 1.2 observamos los protocolos que se rigen bajo los dos modos de comunicación.

Modo de Comunicación	Protocolos
Punto a Punto	Ethernet Profibus Modbus Interbus
Productor/Consumidor	ControlNet Foundation Fieldbus DeviceNet

TABLA 1.2. PROTOCOLOS Y COMUNICACIÓN.

1.6 TIEMPO REAL EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.

Los sistemas de comunicación industrial deben ser capaces de satisfacer demandas muy estrictas una pequeña falla de un sistema de comunicación puede ser la que encabece un mal funcionamiento del sistema completo y por esto las altas pérdidas económicas en forma de bajas de producción o colisiones mecánicas y destrucción así como daños al personal.

El determinismo es una palabra que está muy ligada a la capacidad de tiempo real. El determinismo describe la predictibilidad exacta del comportamiento del tiempo en un sistema de comunicación. Si es posible predecir exactamente el comportamiento temporal de un sistema en todos sus estados, entonces el sistema es estrictamente determinístico. [6, p. 69]

Es una medida relativa, como ocurre con los decibeles, se debe comparar con algo. Por ejemplo, diferentes máquinas o equipos de un mismo sistema pueden tener necesidades diferentes de tiempo real en función del trabajo que realicen. Equipos para control de movimiento deben ser capaces de dar tiempos de respuesta de unos 50 microsegundos, con unas variaciones máximas (jitter) de unos 10 microsegundos. Para exigencias más grandes, debe utilizarse equipo especial.

Para un PLC, el ciclo típico está por debajo de los 10 milisegundos y las variaciones pueden llegar a ser de fracciones de milisegundos.

Una de las características más importantes que se busca en un sistema de comunicaciones industrial es la capacidad de respuesta del mismo. Es decir, el tiempo que tarda una señal en transmitirse desde el punto de origen hasta el punto de evaluación (programa de control) y la ejecución de la acción necesaria. Este tiempo suele denominarse tiempo de respuesta.

Cuando el tiempo de respuesta es menor que el tiempo en el que una variable o condición determinada tarda en provocar un cambio en el sistema, se dice que el sistema de control opera en tiempo real.

A la hora de diseñar un sistema automatizado se debe tener en cuenta que los componentes que lo integran sean capaces de dar un determinado tiempo de respuesta que permita que el sistema opere en tiempo real.

La Figura 1.3 muestra, de forma general, todos los elementos involucrados en el control de una señal, desde su origen hasta la orden que ésta origina en el sistema de control. [1, pp. 269-274]

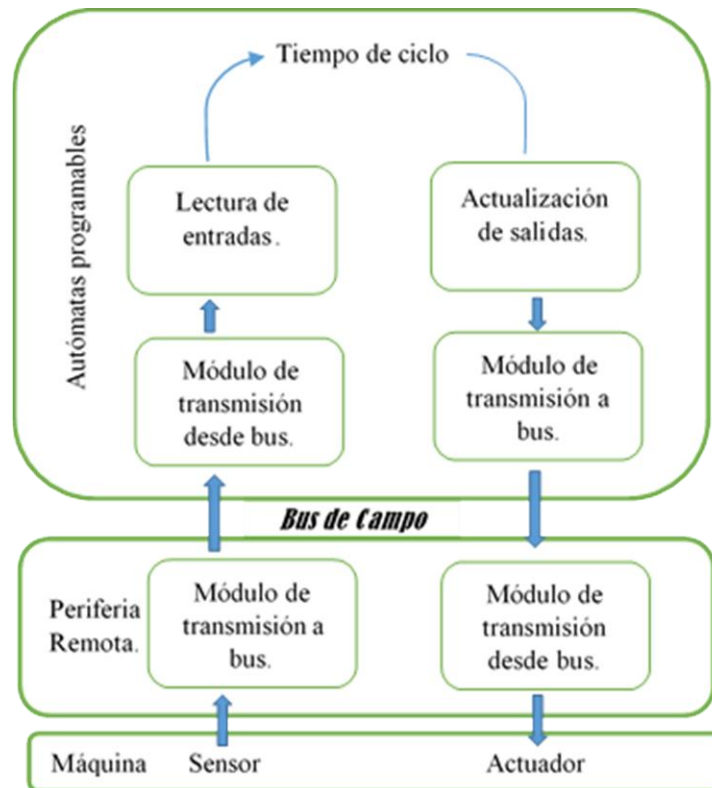


FIGURA 1.3. TIEMPO DE CICLO.

1.7 NORMALIZACIÓN: MODELOS DE REFERENCIA.

El mundo de las comunicaciones, abarca, como se ha dicho, una amplia gama de productos y servicios en la que el área industrial es solo una pequeña parte. Para que sea posible la integración en una misma red de distintos sistemas digitales, con funciones muy diversas y peculiaridades propias, es preciso que todos ellos estén contruidos bajo unos ciertos criterios de normalización.

Un primer aspecto en considerar, común, en la mayor parte de las redes de comunicación es que la transmisión de datos se efectúa casi siempre en serie, por motivos de economía de conexiones en el caso de las LAN y por imperativos de la red pública conmutada en el caso de las WAN (solo algunos buses locales serán de tipo paralelo).

En general, el diseño de una red persigue como objetivo fundamental conseguir una comunicación transparente y eficaz entre varios equipos terminales o hosts. Para simplificar este proceso se suelen utilizar modelos que permiten un diseño modular en capas o niveles. Una capa se puede imaginar como la agrupación de funciones de similares características. Por

ejemplo, las funciones de encaminamiento corresponden al llamado nivel de red, mientras que las de modulación se inscriben dentro del nivel físico.

Precisamente, el conjunto de esas capas y sus correspondientes funciones asociadas es lo que se llama modelo de referencia. [7]

En otros aspectos, la normalización en un campo que se desarrolla tan rápidamente como el de las comunicaciones, es ciertamente difícil y no puede ser muy rígida si no se quiere que quede obsoleta a causa de la continua innovación. De todas formas, debe garantizar una mínima compatibilidad entre productos antiguos y los más evolucionados y más recientemente se ha visto también la necesidad de integrar productos que en principio parecían muy distintos, como pueden ser, por ejemplo, un autómatas, un enlace telefónico, un sistema de transmisión de imágenes, un ordenador de diseño CAD, etc.

Así pues, las normas en este campo solo pueden consistir en una serie de reglas marco, de aceptación general, suficientemente abiertas para dar cabida a todas las aplicaciones actuales y de prever la integración de otras en el futuro.

Todo ello hace que dichas normas puedan parecer complejas en exceso en algunos aspectos y poco concretas en otros, sobre todo si se contemplan solo bajo la óptica de las necesidades industriales. Pero hay que entender que no están pensadas exclusivamente para ellas. Es más se podría decir que en principio estaban pensadas para las comunicaciones telefónicas y que el intento de unificación de normas ha hecho que los productos industriales se adapten a un mismo esquema o regla marco. Los organismos que se han ocupado de la normalización y que han conseguido una mayor aceptación internacional en lo concerniente al tema de las redes de comunicaciones digitales son los siguientes:

ISO (Organización Internacional de Normalización). Este organismo ha desarrollado la norma marco más general, denominada modelo OSI, pensada desde abarcar redes locales hasta las grandes redes de paquetes conmutados. Uno de los miembros de ISO, la EIA (Electrical Industries Association) ha tenido también un importante protagonismo en la definición de normas referentes a los medios físicos de comunicación. Así, por ejemplo, el conocido bus RS-232, es una recomendación de EIA.

CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico). Las normas más importantes emanadas de este Comité se refieren a la definición de los medios físicos de transporte e interfaces de comunicación. En los aspectos de normalización de la red el CCITT ha adoptado al modelo OSI, desarrollando varias recomendaciones para los niveles de transporte y aplicación.

IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos). Este organismo ha desarrollado una serie de normas en el campo de las redes locales, destacando las recomendaciones 802.1 a 803.6 referente, sobre todo, a protocolos de enlace. Concretamente la 802.1 sitúa todas estas recomendaciones en el contexto del modelo OSI.

En general, puede decirse que todos los Organismos de Normalización adoptan como norma marco el modelo OSI y todas las normas de detalle que van surgiendo tanto a nivel de LAN como de WAN, se desarrollan basándose en dicho modelo. Las recomendaciones OSI no son, en realidad, normas concretas, sino más bien unas reglas genéricas, cuyo mayor mérito ha sido el de subdividir el conjunto de tareas de comunicación en siete niveles, asignando a cada uno ciertas funciones. La Figura 1.4 muestra una primera aproximación esquemática, indicando cuales son las tareas y como se ordenan según el modelo OSI.



FIGURA 1.4. SUBDIVISIÓN DE TAREAS DE COMUNICACIÓN: APROXIMACIÓN AL MODELO OSI.

La característica esencial del modelo es que permite que cada nivel se ocupe de unas tareas y utilice los servicios de los niveles inferiores sin necesidad de preocuparse de cómo funcionan. Las reglas de protocolo consistirán, pues, en relaciones de tipo horizontal (Figura 1.5) que deben ser compatibles entre cada par de terminales enlazados. [8, pp. 275, 276]

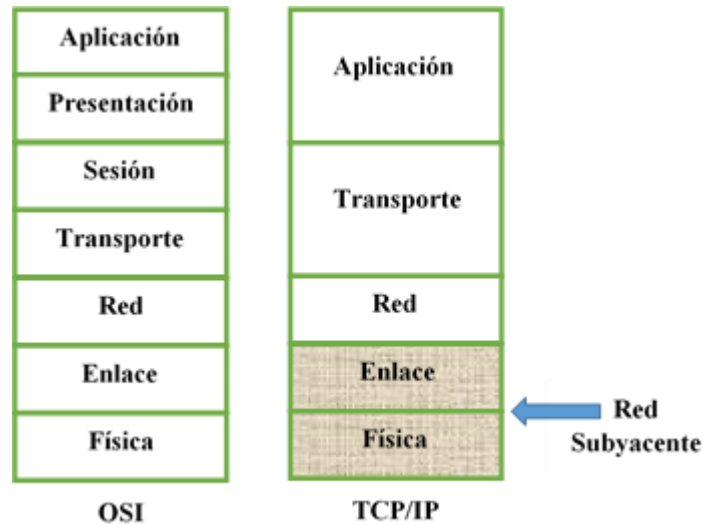


FIGURA 1.5. NIVELES DE LOS MODELOS DE REFERENCIA OSI Y TCP/IP

La labor de ISO consistió en definir un conjunto de capas, así como los servicios, a realizar por cada una de ellas. La división debería agrupar a las funciones que fueran conceptualmente próximas en un número suficiente tal que cada capa fuese lo suficientemente pequeña, pero sin llegar a definir demasiadas para evitar así sobrecargas en el procesamiento. Las directrices generales que se adoptaron en el diseño se resumen en la Tabla 1.3. El modelo de referencia resultante tiene siete capas, las cuales son mostradas, junto a una breve definición, en la Figura 1.7. La Tabla 1.4 proporciona la justificación para la selección de las capas argumentada por ISO.

La Figura 1.6 muestra la arquitectura OSI. Cada sistema debe contener siete capas. La comunicación se realiza entre dos aplicaciones de los dos computadores, etiquetada como aplicación X e Y en la figura. Si la aplicación X quiere transmitir un mensaje a la aplicación Y, invoca a la capa de aplicación (capa 7). La capa 7 establece una relación paritaria con la capa 7 del computador destino, usando el protocolo de la capa 7 (protocolo de aplicación). Este protocolo necesita los servicios de la capa 6, de tal forma que las entidades de la capa 6 usan un protocolo común y conocido, y así sucesivamente hasta llegar a la capa física, en la que realmente se transmiten los bits a través del medio físico.

1. No crear demasiadas capas de tal forma que la descripción e integración de las capas implique más dificultades de las necesarias.
2. Crear una separación entre capas en todo punto en el que la descripción del servicio sea reducida y el número de interacciones a través de dicha separación sea pequeña.
3. Crear capas separadas allá donde las funciones sean manifiestamente diferentes tanto en la tarea a realizar como en la tecnología involucrada.
4. Agrupar funciones similares en la misma capa.
5. Fijar las separaciones en aquellos puntos en los que la experiencia acumulada haya demostrado su utilidad.
6. Crear capas que puedan ser rediseñadas en su totalidad y los protocolos cambiados de forma drástica para aprovechar eficazmente cualquier innovación que surja en la arquitectura, el hardware o tecnologías software, sin tener que modificar los servicios ofrecidos o usados por las capas adyacentes.
7. Crear una separación allá donde sea conveniente tener la correspondiente interfaz normalizada.
8. Crear una capa donde haya necesidad de un nivel distinto de abstracción (morfológico, sintético o semántico) a la hora de gestionar los datos.
9. Permitir que los cambios en las funciones o protocolos se puedan realizar sin afectar a otras capas.
10. Para cada capa establecer separaciones solo con sus capas inmediatamente superiores o inferiores.
Las siguiente premisas se propusieron igualmente para definir subcapas:
11. Crear posteriores subagrupamientos y reestructurar las funciones formando subcapas dentro de una capa en aquellos casos en los que se necesiten diferentes servicios de comunicación.
12. Crear, allá donde sea necesario, dos o más subcapas con una funcionalidad común, y mínima para permitir operar con las capas adyacentes.
13. Permitir la no utilización de una subcapa dada.

TABLA 1.3. DIRECTRICES SEGUIDAS EN LA DEFINICIÓN DE LAS CAPAS OSI

(X.200).

Nótese que, exceptuando la capa física, no hay comunicación directa entre las capas pares. Esto es, por encima de la capa física, cada entidad de protocolo pasa los datos hacia la capa inferior contigua, para que esta las envíe a su entidad par. Es más, el modelo OSI no requiere que los dos sistemas estén conectados directamente, ni siquiera en la capa física. Por ejemplo, para proporcionar el enlace de comunicación se puede utilizar una red de conmutación de paquetes o de conmutación de circuitos.

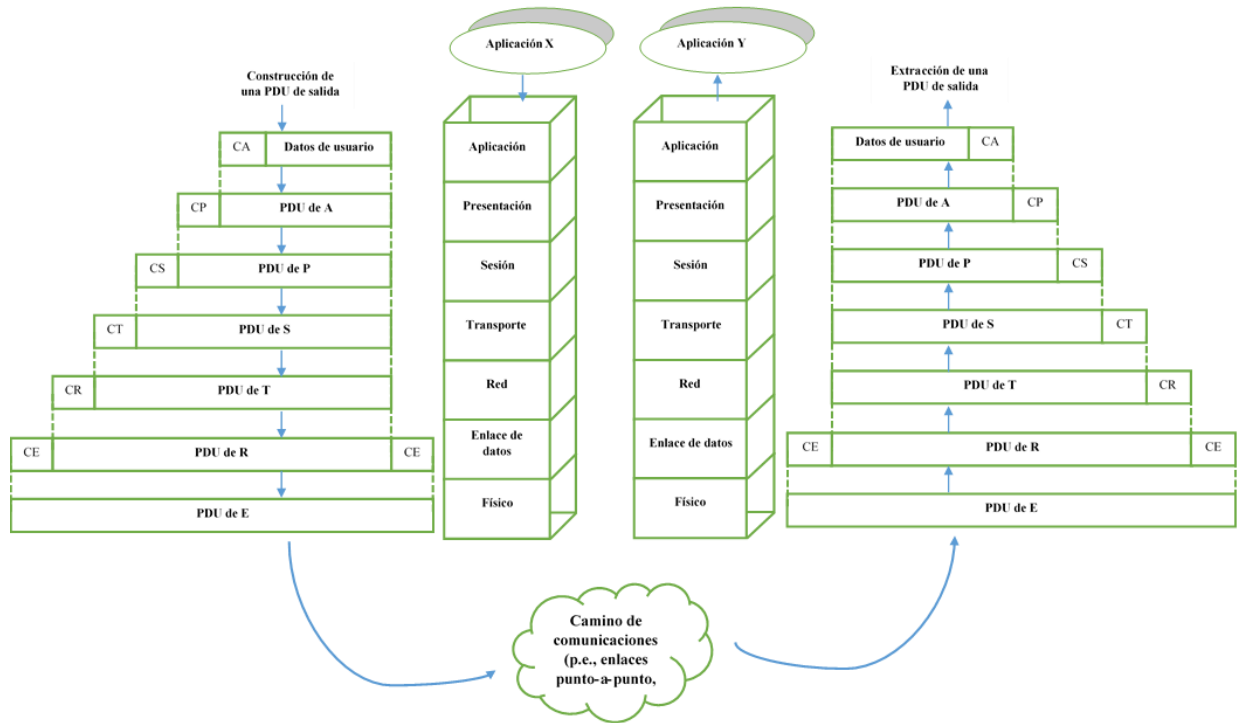


FIGURA 1.6. ENTORNO OSI.

La Figura 1.6 también muestra cómo se usan las unidades de datos de protocolo (PDU) en la arquitectura OSI. En primer lugar, considérese la forma más habitual de implementar un protocolo.

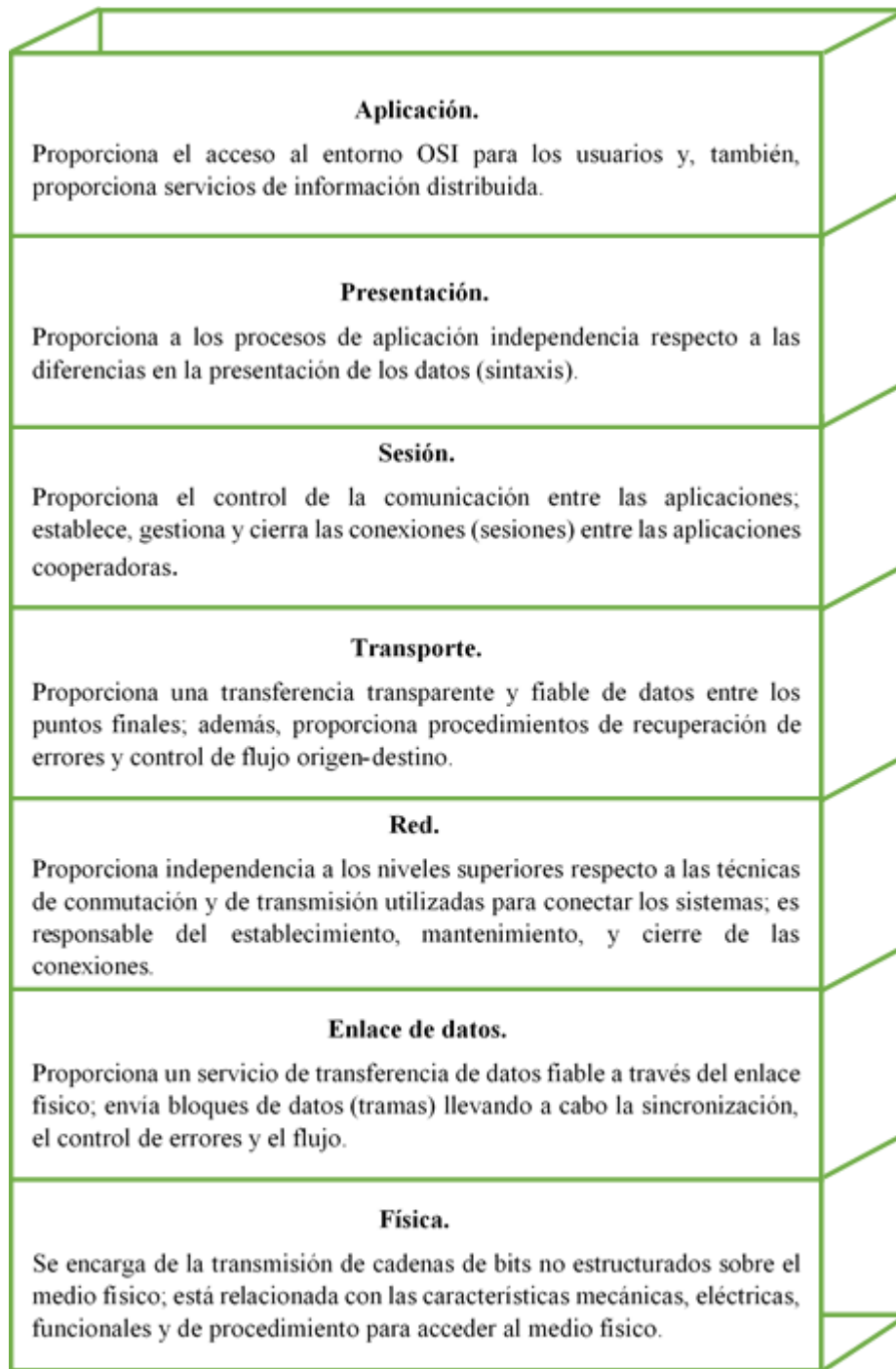


FIGURA 1.7. LAS CAPAS DE OSI.

Cuando la aplicación X tiene un mensaje para enviar a la aplicación Y transfiere estos datos a una entidad de la capa de aplicación. A los datos se les añade una cabecera que contiene información necesaria para el protocolo de la capa 7 (encapsulado). Seguidamente, los datos originales más la cabecera se pasan como una unidad a la capa 6. La entidad de presentación

trata la unidad completa como si de datos se tratara y le añade su propia cabecera (un segundo encapsulado). Este proceso continua hacia abajo hasta llegar a la capa 2, que normalmente añade una cabecera y una cola.

La unidad de capa 2, llamada trama, se pasa al medio de transmisión mediante la capa física. En el destino, al recibir la trama, ocurre el proceso inverso. Conforme los datos ascienden, cada capa elimina la cabecera más externa, actúa sobre la información de protocolo contenida en ella y pasa el resto de la información hacia la capa inmediatamente superior.

En cada etapa del proceso, cada una de las capas puede fragmentar la unidad de datos que recibe de la capa inmediatamente superior en varias partes, de acuerdo a sus propias necesidades. Estas unidades deben ser ensambladas por la capa par correspondiente antes de pasarlas a la capa superior. [9]

1. Es esencial que la arquitectura permita la utilización de una variedad realista de medios físicos para la interconexión con diferentes procedimientos de control (por ejemplo, V.24, V.25, etc.). La aplicación de los principios 3, 5 y 8 nos conduce a la identificación de la **capa física** como la capa más baja en la arquitectura.
2. Algunos medios de comunicación físicos (por ejemplo, las líneas telefónicas) requieren técnicas específicas para usarlos, al transmitir datos entre sistemas a pesar de sufrir una tasa de error elevada (una tasa de error para la gran mayoría de las aplicaciones). Estas técnicas específicas se utilizan en procedimientos de control de enlace de datos que han sido estudiados y normalizados durante una serie de años. También se debe reconocer que los nuevos medios de comunicación física (por ejemplo, la fibra óptica) requerirán diferentes procedimientos de control del enlace de datos. La aplicación de los principios 3, 5 y 8 nos conduce a la identificación de la **capa del enlace de datos** situada encima de la capa física en la arquitectura.
3. En la arquitectura de sistemas abiertos, algunos sistemas actuarán como el destino final de los datos. Algunos sistemas abiertos podrían actuar solamente como nodos intermedios (reenviando los datos a otros sistemas). La aplicación de los principios 3, 5 y 7 nos conduce a la identificación de la **capa de red** encima de la capa de enlace de

datos. Los protocolos dependientes de la red, como por ejemplo el encaminamiento, se agrupan en esta capa. Así, la capa de red proporcionará un camino de conexión, (conexión de red) entre un par de entidades de transporte incluyendo el caso en el que estén involucrados nodos intermedios.

4. El control de transporte de los datos desde el sistema final origen al sistema final destino (que no se lleva a cabo en nodos intermedios) es la última función necesaria para proporcionar la totalidad del servicio de transporte. Así, la capa superior situada justo encima de la capa de red es la **capa de transporte**. Esta capa lidera a las entidades de capas superiores de cualquier preocupación sobre el transporte de datos entre ellas.
5. Existe la necesidad de organizar y sincronizar el diálogo y controlar el intercambio de datos. La aplicación de los principios 3 y 4 nos conduce a la identificación de la **capa de sesión** encima de la capa de transporte.
6. El conjunto restante de funciones de interés general son aquellas relacionadas con la representación y la manipulación de datos estructurados, para el beneficio de los programas de aplicación. La aplicación de los principios 3 y 4 nos conduce a la identificación de la **capa de presentación** encima de la capa de sesión.
7. Finalmente, existen aplicaciones consistentes en procesos de aplicación que procesan la información. Un aspecto de estos procesos de aplicación y los protocolos mediante los que se comunican comprenden la **capa de aplicación**, que es la capa más alta de la arquitectura.

TABLA 1.4. JUSTIFICACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE LAS CAPAS ARGUMENTADA POR ISO.

1.8 TAREAS ASIGNADAS A CADA UNO DE LOS NIVELES OSI.

1.8.1 CAPA FÍSICA.

La capa física se encarga de la interfaz entre los dispositivos. Además, define las reglas que rigen en la transmisión de los bits. La capa física tiene cuatro características importantes:

Mecánicas: Relacionadas con las propiedades físicas de la interfaz con el medio de transmisión. Normalmente, dentro de estas características se incluye la especificación del

conector que transmite las señales a través de conductores. A estos últimos se les denominan circuitos.

Eléctricas: Especifican como se representan los bits (por ejemplo, en términos de niveles de tensión), así como su velocidad de transmisión.

Funcionales: Especifican cada una de las funciones que realiza cada uno de los circuitos de la interfaz física entre el sistema y el medio de transmisión.

De procedimiento: Especifican la secuencia de eventos que se llevan a cabo en el intercambio del flujo de bits a través del medio físico.

Algunos ejemplos de estándares de esta capa son el EIA-232-F y algunas secciones de los estándares de comunicaciones inalámbricas y LAN.

1.8.2 CAPA DE ENLACE DE DATOS.

Mientras que la capa física proporciona exclusivamente un servicio de transmisión de datos, la capa de enlace de datos intenta hacer que el enlace físico sea fiable. Además proporciona los medios para activar, mantener, y desactivar el enlace. El principal servicio proporcionado por la capa de enlace de datos a las capas superiores es el de detección y control de errores. Así, se dispone de un protocolo en la capa de enlace de datos completamente operativo, la capa adyacente superior puede suponer que la transmisión está libre de errores. Sin embargo, si la comunicación se realiza entre dos sistemas que no estén directamente conectados, la conexión constará de varios enlaces de datos en serie, cada uno operando independientemente. Por tanto, en este último caso, la capa superior no estará libre de la responsabilidad del control de errores.

Algunos ejemplos de estándares en esta capa son HDLC y LLC.

1.8.3 CAPA DE RED.

La capa de red realiza la transferencia de transmisión entre sistemas finales a través de algún tipo de red de comunicación. Libera a las capas superiores de la necesidad de tener conocimiento de la transmisión de datos subyacente y las tecnologías de conmutación utilizadas para conectar los sistemas. En esta capa, el computador establecerá un dialogo con

la red para especificar la dirección destino y solicitar ciertos servicios, como por ejemplo, la gestión de prioridades

Existe un amplio abanico de posibilidades para que los servicios de comunicación intermedios sean gestionados por la capa de red. En el extremo más sencillo están los enlaces punto-a-punto directos entre estaciones. En este caso no se necesita capa de red ya que la capa de enlace de datos puede proporcionar las funciones de gestión del enlace necesarias.

Siguiendo en orden de complejidad creciente, podemos considerar un sistema conectado a través de una única red, como una red de conmutación de circuitos o de conmutación de paquetes. Un ejemplo de esta situación es el nivel de paquetes del estándar X.25. La Figura 1.8 muestra como la presencia de una red se encuadra dentro de la arquitectura OSI. Las tres capas inferiores están relacionadas con la conexión y la comunicación con la red. Los paquetes creados por el sistema final pasan a través de uno o más nodos de la red, que actúan como retransmisores entre los dos sistemas finales. Los nodos de la red implementan las capas 1 a 3 de la arquitectura. En la figura 1.8 se muestran dos sistemas finales conectados a través de un único nodo en la red. La capa 3 en el nodo realiza las funciones de conmutación y encaminamiento. Dentro del nodo, existen dos capas del enlace de datos y dos capas físicas, correspondientes a los enlaces con los dos sistemas finales. Cada capa del enlace de datos (y física) opera independientemente para proporcionar el servicio a la capa de red con su respectivo enlace. Las cuatro capas superiores son protocolos «extremo-a-extremo» entre los sistemas finales.

En el otro extremo de complejidad, una configuración para la capa de red puede consistir en dos sistemas finales que necesitan comunicarse sin estar conectados a la misma red. Más bien, se considera que están conectados a redes que, directa o indirectamente, están conectadas entre sí. Este caso requiere el uso de alguna técnica de interconexión entre redes.

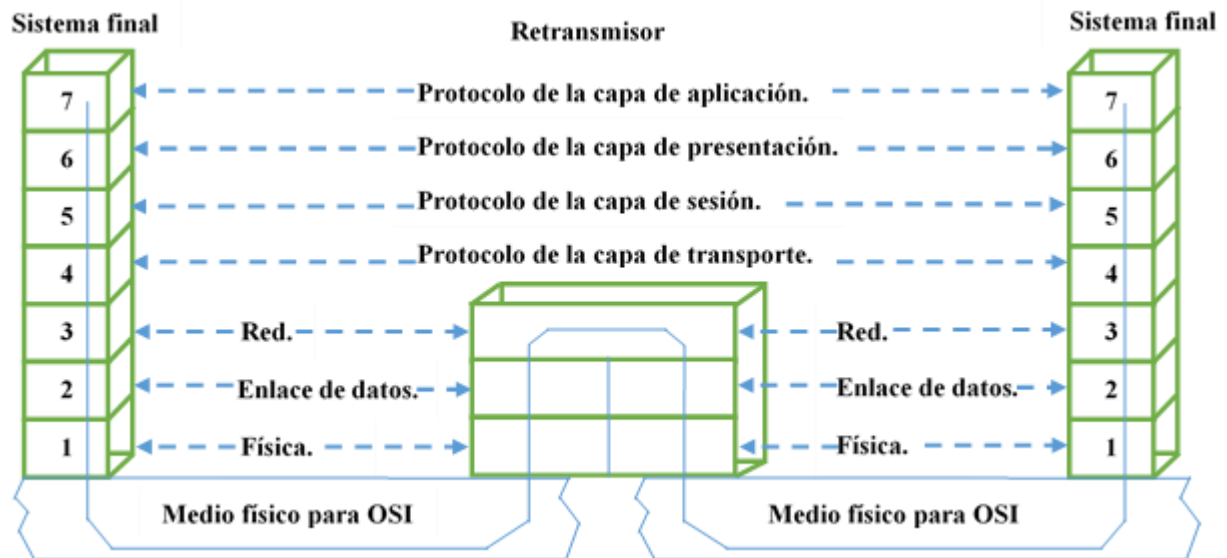


FIGURA 1.8 UTILIZACIÓN DE UN RETRANSMISOR.

1.8.4 CAPA DE TRANSPORTE.

La capa de transporte proporciona un mecanismo para intercambiar datos entre sistemas finales. El servicio de transporte orientado a conexión asegura que los datos se entregan libres de errores, en orden y sin pérdidas ni duplicaciones. La capa de transporte también puede estar involucrada en la optimización del uso de los servicios de red, y en proporcionar la calidad del servicio solicitada. Por ejemplo, la entidad de sesión puede solicitar una tasa máxima de error determinada, un retardo máximo, una prioridad y un nivel de seguridad dado.

El tamaño y la complejidad de un protocolo de transporte depende de cómo de fiables sean los servicios de red y las redes subyacentes. Consecuentemente, ISO ha desarrollado una familia de cinco protocolos de transporte normalizados, cada uno de ellos especificado para un determinado servicio subyacente. En la arquitectura de protocolos TCP/IP se han especificado dos protocolos para la capa de transporte: el orientado a conexión, TCP (Protocolo de Control de la Transmisión, Transmission Control Protocol) y el no orientado a conexión UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario, User Datagram Protocol).

1.8.5 CAPA DE SESIÓN.

Las cuatro capas inferiores del modelo OSI proporcionan un medio para el intercambio fiable de datos permitiendo, a su vez, distintos niveles de calidad del servicio. Para muchas

aplicaciones, este servicio básico es, a todas luces, insuficiente. Por ejemplo, una aplicación de acceso a un terminal remoto que puede requerir un diálogo *half-duplex*. Por el contrario, una aplicación para el procesamiento de transacciones puede requerir la posibilidad de interrumpir el diálogo, generar nuevos mensajes y, posteriormente, continuar el diálogo desde donde se interrumpió.

Todas estas capacidades se podrían incorporar en las aplicaciones de la capa 7. Sin embargo, ya que todas estas herramientas para el control del diálogo son ampliamente aplicables, parece lógico organizarlas en una capa separada, denominada capa de sesión.

La capa de sesión proporciona los mecanismos para controlar el diálogo entre las aplicaciones de los sistemas finales. En muchos casos, los servicios de la capa de sesión son parcialmente, o incluso, totalmente prescindibles. No obstante, en algunas aplicaciones su utilización es ineludible. La capa de sesión proporciona los siguientes servicios:

Control del diálogo: Este puede ser simultáneo en los dos sentidos (*full-duplex*) o alternado en ambos sentidos (*half-duplex*).

Agrupamiento: El flujo de datos se puede marcar para definir grupos de datos. Por ejemplo, si una empresa o almacén están transmitiendo los datos correspondientes a las ventas hacia una oficina regional, estos se pueden marcar de tal manera que se indique por grupos el final de las ventas realizadas en cada departamento. Este servicio permitiría que el computador destino calcule los totales de las ventas realizadas en cada departamento.

Recuperación: La capa de sesión puede proporcionar un procedimiento de puntos de comprobación, de tal forma que si ocurre algún tipo de fallo entre puntos de comprobación, la entidad de sesión puede retransmitir todos los datos desde el último punto de comprobación.

ISO ha definido una normalización para la capa de sesión que incluye como opciones los servicios que se acaban de describir.

1.8.6 CAPA DE PRESENTACIÓN.

La capa de presentación define el formato de los datos que se van a intercambiar entre las aplicaciones y ofrece a los programas de aplicación un conjunto de servicios de transformación de datos. La capa de presentación define la sintaxis utilizada entre las

entidades de aplicación y proporciona los medios para seleccionar y modificar la representación utilizada. Algunos ejemplos de servicios específicos que se pueden realizar en esta capa son los de compresión y cifrado de datos.

1.8.7 CAPA DE APLICACIÓN.

La capa de aplicación proporciona a los programas de aplicación un medio para que accedan al entorno OSI. A esta capa pertenecen las funciones de administración y los mecanismos genéricos necesarios para la implementación de aplicaciones distribuidas. Además, en esta capa también residen las aplicaciones de uso general como, por ejemplo, la transferencia de archivos, el correo electrónico y el acceso desde terminales a computadores remotos, entre otras. [9, pp. 36-39]

1.9 REDES LOCALES INDUSTRIALES.

Como se ha dicho, el modelo OSI fue desarrollado originalmente pensado en la comunicación entre grandes redes de ordenadores, con técnicas basadas en la comunicación de paquetes y el envío a través de los nodos de una red WAN. En cambio, las comunicaciones en el entorno industrial suelen basarse en redes más reducidas del tipo LAN y, aun manteniendo la compatibilidad con el modelo, se pueden soslayar las funciones de alguno de los niveles OSI o agrupar otras de niveles distintos en uno solo para simplificar el sistema.

En un sistema de control distribuido, las tareas se suelen dividir en cuatro niveles distintos, llamados grupos (mostrados en la Figura 1.9) para no confundirlos con los «niveles» OSI. En consecuencia, la estructura de comunicaciones se suele distribuir también por funciones en cuatro grupos.

1.9.1 GRUPO 1: INTERFAZ CON EL PROCESO.

Este nivel está constituido básicamente por unidades de captación de señales y entrada/salida de datos del proceso o de un operador local. Su conexión a red permite la comunicación con sensores, captadores y accionamientos y el control manual a pie de proceso.

El enlace entre unidades de este nivel suele efectuarse mediante redes simples o buses de campo, cuya estructura suele ser del tipo maestro-esclavo o en algunos casos de maestro flotante.

1.9.2 GRUPO 2: MANDO Y REGULACIÓN.

Constituido por unidades de control, con CPU y programas propios tales como autómatas, controladores de robot, controles numéricos, etc., que se encargan del control automático de pares del proceso. La integración en red de estas unidades permite que intercambien datos e información que son de utilidad para el control global de dicho proceso.

Estas unidades suelen ejercer el papel de maestro en la comunicación con el nivel inferior (bus de campo), pero a su vez permiten el enlace con niveles superiores, enlace que suele requerir redes con protocolos más elaborados que el bus de campo.

1.9.3 GRUPO 3: SUPERVISIÓN Y MANDO CENTRALIZADOS.

Este nivel incluye una serie de unidades destinadas al control global del proceso, tales como ordenadores de proceso, terminales de diálogo, sinópticos, terminales de enlace con oficina técnica (CAD), etc. Desde estas unidades se tiene acceso a la mayor parte de variables de proceso, generalmente con el propósito de supervisar, cambiar consignas, alterar programas y obtener datos con vistas a su posterior procesamiento.

1.9.4 GRUPO 4: GESTIÓN Y DOCUMENTACIÓN.

Este nivel incluye la comunicación con ordenadores de gestión y se encarga del procesamiento de los datos obtenidos por el nivel 3 para efectos estadísticos, control de producción, control de calidad, gestión de existencias, y dirección general. En algunos casos, las unidades de este nivel pueden disponer de conexión a redes más amplias de tipo WAN.

En cada uno de los grupos podemos distinguir dos tipos de bloques: bloques de procesamiento y bloques de comunicación, con funciones distintas, generalmente ejercidas por distintas CPU. Los primeros serán responsables del control propiamente dicho y del diálogo con los operadores, mientras que los bloques de comunicación tienen a su cargo asegurar las transferencias de información con la máxima rapidez y fiabilidad, ya sea entre unidades del mismo nivel (flujo horizontal) o con los niveles superiores e inferior (flujo vertical).

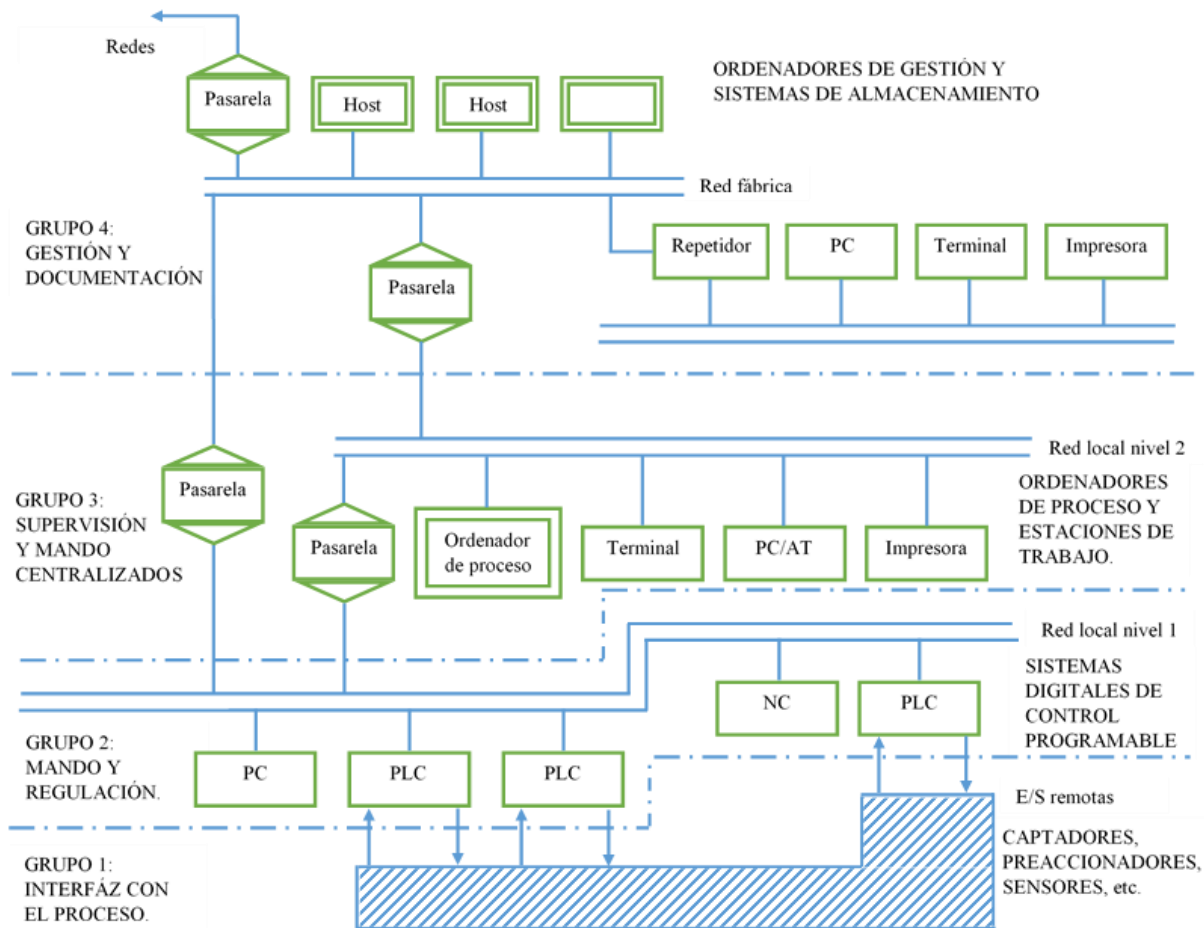


FIGURA 1.9. GRUPOS DE TAREAS EN UN SISTEMA DE CONTROL INDUSTRIAL CON ESTRUCTURA DISTRIBUIDA.

Así pues, a excepción de los bloques del bloque 4, en las LAN industriales no se utiliza el modelo OSI completo, sino solo aquellas funciones que son imprescindibles. Más concretamente, no se implementan explícitamente los niveles red (3), transporte (4) y sesión (5), puesto que la red es de uso exclusivo y se gestionan estos servicios desde el nivel de enlace (2), en contraste con lo que ocurre en las WAN, que suelen ser de titularidad pública y el usuario alquila sólo un servicio. En cuanto al nivel de presentación (6) no suele ser necesario dentro de redes que contengan dispositivos homogéneos o compatibles entre sí (buses de campo normalizados), y en tal caso las funciones del nivel 6 son asumidas por el nivel aplicación (7).

Pero existen, «pasarelas» o traductores de código, que pueden considerarse interfaces de presentación (6) para enlazar entre sí productos no compatibles directamente (por ejemplo, enlace de un bus de campo a un sistema de más alto nivel como pueda ser el MAP).

Como se ha dicho, los dispositivos de grupo 4, dentro de las LAN industriales, constituyen una excepción de lo dicho anteriormente ya que, precisamente, ejercen la función «pasarelas» entre la LAN industrial y las redes WAN. Para ello suelen disponer de un procesador específico de comunicaciones dotado de todas las funciones del modelo OSI completo. [8, pp. 277-279]

1.10 TOPOLOGÍAS DE LAS LAN.

En los niveles más bajos de cualquier red de comunicación, y en particular en las LAN, hay que distinguir dos aspectos: el medio de enlace físico (cables, fibra óptica, enlace radio, etc.) y la estructura de enlace de la red, es decir, el conjunto de reglas que regulan el diálogo y el tráfico de datos en la misma.

La topología lógica es el método que se usa para comunicarse con los demás nodos, la ruta que toman los datos de la red entre los diferentes nodos de la misma, que es la forma en que las máquinas se comunican a través del medio físico. Los dos tipos más comunes de topologías lógicas son broadcast (Ethernet) y transmisión de Tokens (Token ring).

La topología de *broadcast* significa que cada nodo envía sus datos hacia todos los demás nodos del medio de red. Las estaciones no siguen ningún orden para utilizar la red, sino que cada máquina accede a la red para transmitir datos en el momento en que lo necesita. Esta es la forma en que funciona Ethernet.

En cambio, la transmisión de Tokens controla el acceso a la red al transmitir un Token eléctrico de forma secuencial a cada nodo. Cuando un nodo recibe el Token significa que puede enviar datos a través de la red. Si el nodo no tiene ningún dato para enviar, transmite el Token hacia el siguiente nodo y el proceso se vuelve a repetir. [10, p. 19]

Se entiende por topología de una red la disposición física de los distintos terminales que la componen y la forma en que se encuentran enlazados por el medio físico. Así pues, la topología define la configuración de la red desde el punto de vista del nivel 1 del modelo OSI. Entendemos, en cambio, por estructura lógica la que define el nivel 2 de OSI, es decir, la estructura de enlace.

La elección de la topología tiene una fuerte influencia sobre las prestaciones de la red y condiciona muchas veces sus posibilidades de ampliación, de cambio y de compartición de recursos. Las topologías básicas en redes locales son tres: estrella, anillo, y bus. Existen, sin embargo, algunas estructuras híbridas, generalmente en forma de árbol, cuyas ramificaciones parten de los nodos principales de una red con una de las estructuras básicas.

1.10.1 ESTRELLA.

En esta topología, todas las estaciones están conectadas a un nodo central, que sirve de punto de enlace con todos los nodos periféricos. Por el nodo central pasan todos los datos, incluso aquellos que se intercambian entre estaciones periféricas. Es frecuente, además, que la estación central esté configurada como maestra, por lo que deberá tener una potencia de procesamiento y de comunicación superior a las demás y, normalmente, centralizará las funciones de gestión, comunicación con operador y otros sistemas, concentrando periféricos compartidos por el resto de la red (impresoras, consolas, etc.).

La principal ventaja de la configuración en estrella es la facilidad de añadir nuevos periféricos y el hecho de que una avería en un nodo periférico solo afecta el tráfico con éste. No obstante, presenta varios inconvenientes: el primero y más importante es que cualquier fallo en el nodo central causa la parada total de la red. La fiabilidad del conjunto depende, pues, directamente de la estación central. En función de la estructura lógica puede presentar también el inconveniente de mayores retardos y congestión a medida que aumenta el número de estaciones soportadas por el nodo central. Todo ello hace que actualmente sea una topología poco utilizada en grandes redes, aunque sigue gozando de cierta popularidad en redes pequeñas (en concreto no ha sido incluida dentro de las estructuras normalizadas por IEEE).

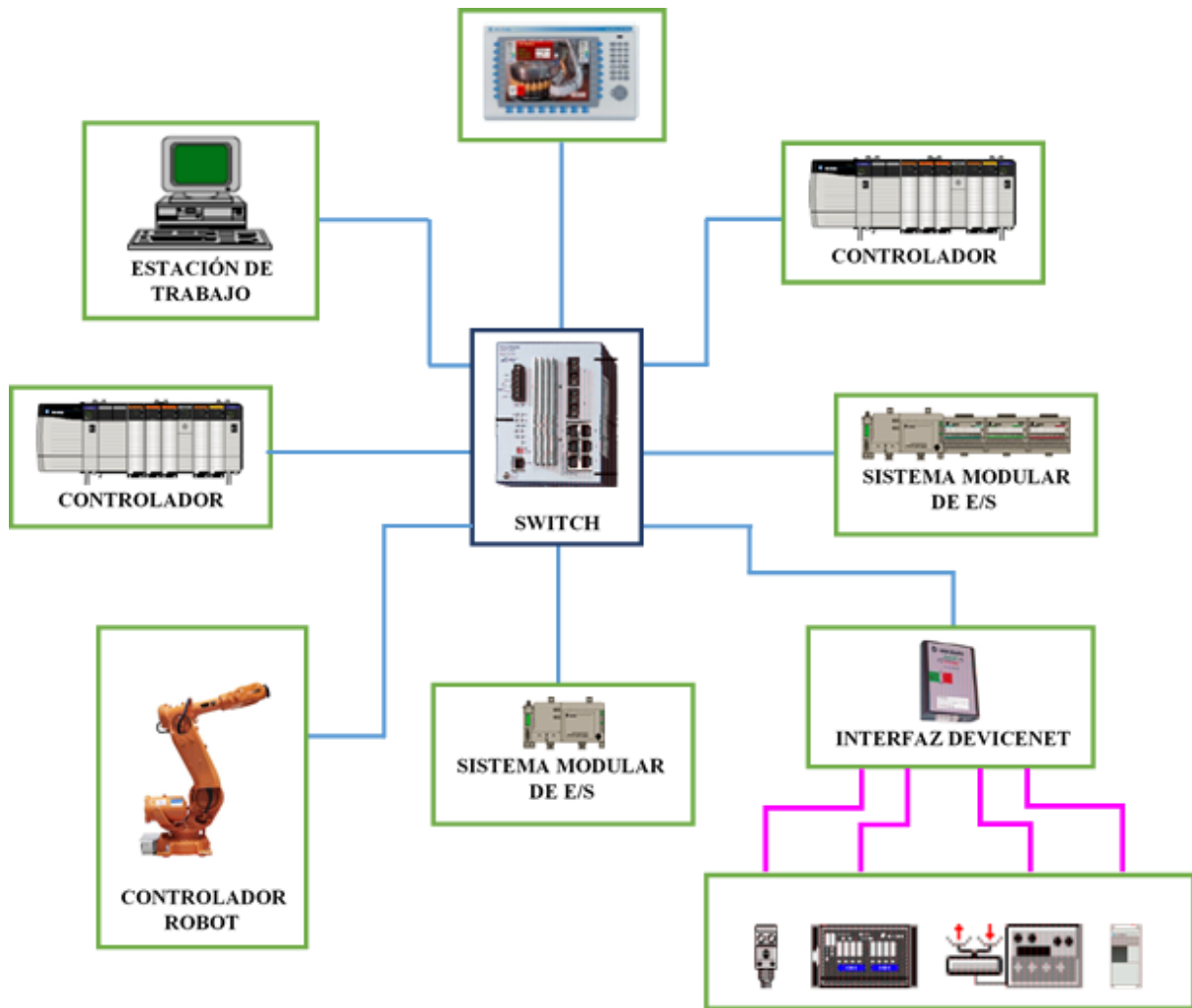


FIGURA 1.10. EJEMPLO DE TOPOLOGÍA EN ESTRELLA.

1.10.2 ANILLO.

En esta topología las estaciones están conectadas en forma de lazo cerrado. Cada estación tiene conexión con otras dos y los datos circulan en una única dirección, de forma que cada estación recoge los datos de la anterior, comprueba si es ella la destinataria y, en caso contrario, los retransmite a la siguiente estación.

El control de la red puede ser centralizado o distribuido, pero se obtienen ventajas con un control distribuido, ya que se elimina la dependencia de una sola estación. Dado que la información circula por todas las estaciones sucesivamente, la fiabilidad y velocidad de la red queda condicionada por la peor de las estaciones que la forman y la interrupción de una de las estaciones interrumpe totalmente la red. Para paliar estos problemas en redes locales y en caso

de un control distribuido, se puede prever el «bypass» de la estación defectuosa, ya sea en forma manual o automática.

Una red en anillo puede en principio crecer indefinidamente, aunque la inclusión de cada nueva estación provoca una pérdida de velocidad, debida al retraso adicional que esta introduce. Este hecho puede llegar a afectar al funcionamiento del conjunto.

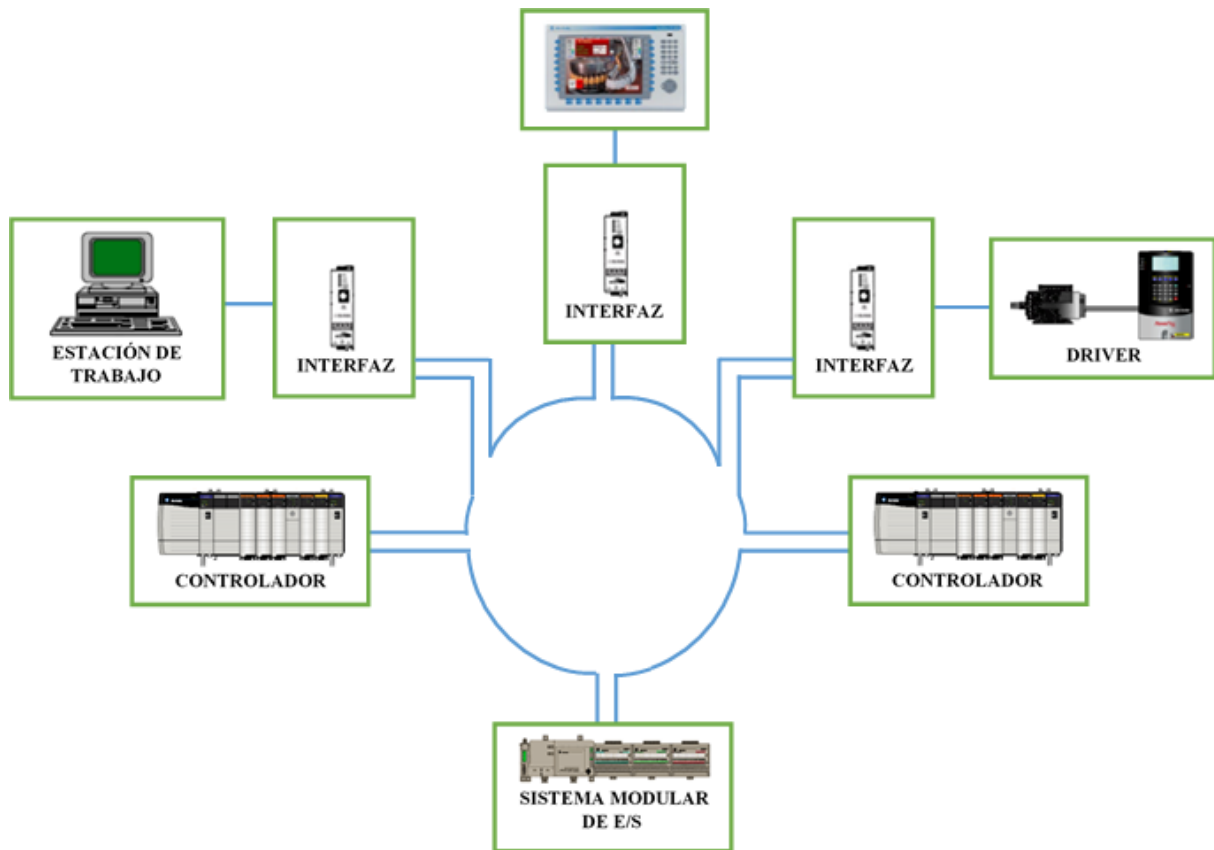


FIGURA 1.11. EJEMPLO DE TOPOLOGÍA EN ANILLO.

1.10.3 BUS.

En esta topología las estaciones están unidas entre sí a través de unas líneas comunes compartidas por todos los nodos. Esta disposición física plantea un problema lógico, puesto que el bus es único y solo uno de los terminales podrá ocuparlo para transmitir. En consecuencia, el acceso al medio físico debe ser controlado por algún método lógico (MAC, Media Access Control).

La configuración de bus es la más utilizada en redes de autómatas y ofrece, en principio, la máxima fiabilidad y flexibilidad en cuanto a añadir o eliminar terminales. En la práctica esto puede no ser del todo cierto si la estructura lógica confiere alguna prioridad a alguna de las estaciones en el control de bus (tal es el caso de los buses que funcionan con estructuras lógicas de tipo maestro-esclavo o anillo lógico). Sin embargo, puede hacerse que todos los terminales tengan idéntica prioridad y prestaciones (maestro flotante), con lo que el sistema adquiere la máxima flexibilidad.

La capacidad del bus en cuanto a máximo número de estaciones depende del medio físico. A partir de un cierto número será necesario incluir amplificadores que mantengan el nivel de las señales en el bus.

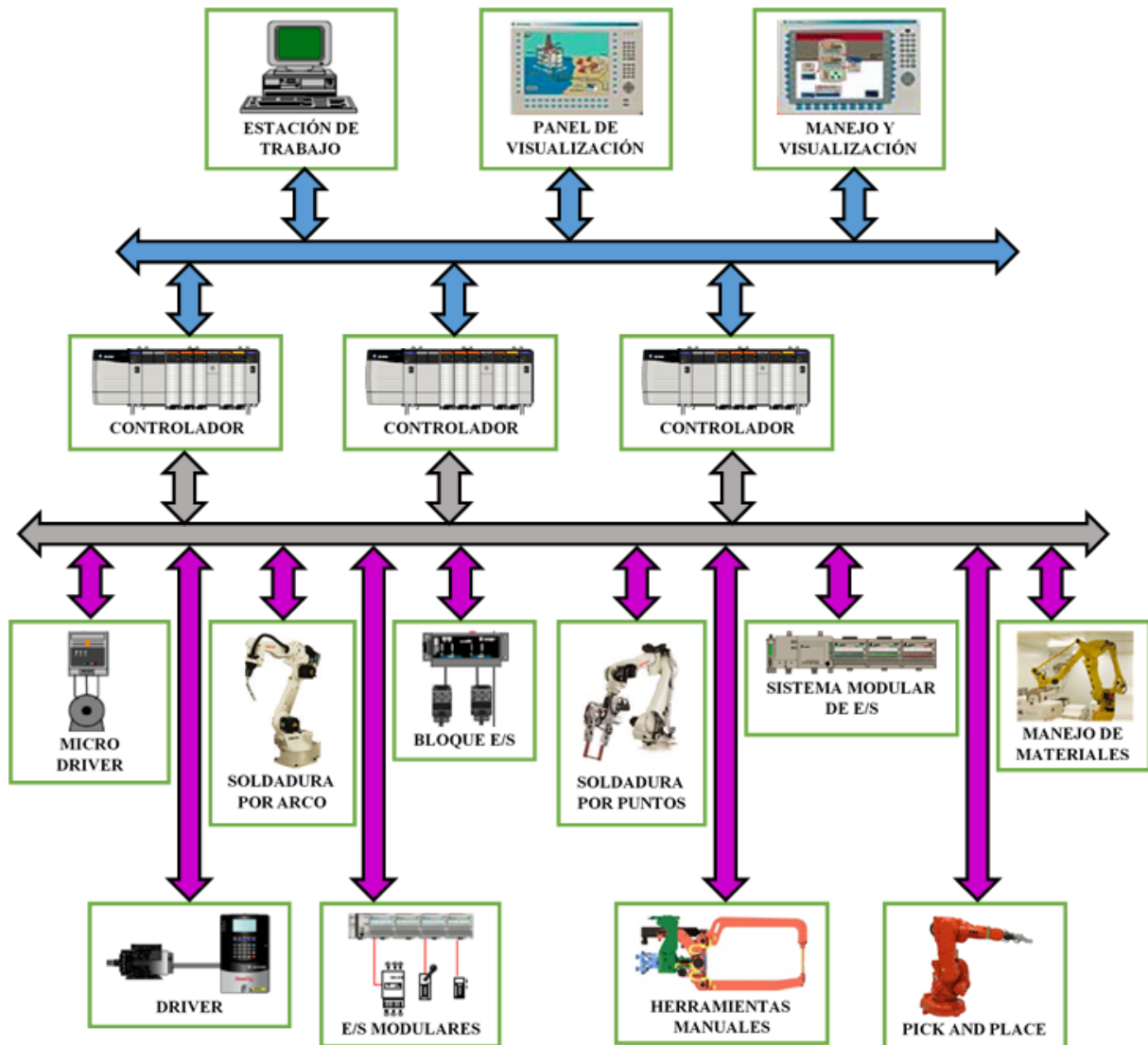


FIGURA 1.12. EJEMPLO DE TOPOLOGÍA BUS.

La Tabla 1.5 muestra un cuadro comparativo de las prestaciones de las tres configuraciones básicas. Cabe decir que las topologías híbridas en forma de árbol, suelen configurarse a base de una estrella, un bus o un anillo en los que alguna de las estaciones es, a su vez, el centro de una estrella. [8, pp. 279, 280]

TOPOLOGÍA	ESTRELLA	ANILLO	BUS
Costo de conexión	Alto	Medio	Bajo
Ampliación	Fácil	Difícil	Fácil
Fiabilidad	Baja	Media	Alta
Retardos	Medio	Alto	Bajo
Rendimiento global	Bajo	Medio	Alto

TABLA 1.5. CUADRO COMPARATIVO DE PRESTACIONES DE LAS TOPOLOGÍAS.

1.11 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.

Una vez definido el soporte físico y las características de la señal a transmitir, hay que determinar la forma en la cual se va a realizar el intercambio de información (sincronización entre los extremos de línea, detección, y corrección de errores, gestión de enlaces de comunicación, etc.).

El protocolo de comunicación engloba todas las reglas y las convenciones que deben seguir dos equipos cualesquiera para poder intercambiar información.

Cualquier tipo de enlace de comunicación se puede estructurar como lo muestra la Figura 1.13.



FIGURA 1.13. COMPONENTES DE UN ENLACE DE DATOS

DTE (Data Terminal Equipment): Equipo terminal de Datos.

DCE (Data Communication Equipment): Equipo de Comunicación de Datos.

El objetivo de cualquier protocolo de comunicación es conectar y mantener el dialogo entre dos Equipos Terminales de Datos (DTE), permitiendo que la información pueda fluir entre

ambos con seguridad (sin fallos). Es decir, todas las reglas y especificaciones del lenguaje a utilizar por los equipos.

Si varios proveedores utilizan el mismo protocolo en sus productos, se llega al ideal, dentro de cualquier sistema; la integración de sistemas con el mínimo esfuerzo.

La estandarización es un punto de conflicto entre intereses técnicos y comerciales, pues cada fabricante realiza sus investigaciones encaminadas a que sus equipos cubran determinadas necesidades y, por supuesto, después pretende que estas utilidades se conviertan en estándar ya que, por supuesto, son las mejores soluciones del mercado.

Este tipo de soluciones tienen denominaciones tales como:

Hart	Control de procesos.
Profibus	Control Discreto y Control de Procesos.
AS-i	Control Discreto.
Can	Control Discreto.

Prácticamente cualquier protocolo puede integrarse, en menor o mayor medida, en cualquier nivel de la famosa Pirámide de Automatización (CIM Computer Integrated Manufacturing), pero la gracia está en encontrar la relación prestaciones/precio ideal, y el equilibrio entre varias tecnologías que permitan complementarse unas a otras.

No hay un bus mejor que otro, sino que, dependiendo de la aplicación, hay unos buses más adecuados que otros.

A la hora de decantarse por uno u otro bus, deberán tomarse en cuenta algunos de los siguientes puntos:

- ❖ Costo por nodo de bus.
- ❖ Costo de programación (o desarrollo).
- ❖ Tiempos de respuesta.
- ❖ Fiabilidad.
- ❖ Robustez (tolerancia a fallos).
- ❖ Modos de funcionamiento (Maestro-Esclavo, acceso remoto).

- ❖ Medios físicos (cable, fibra óptica, radio...).
- ❖ Topologías permitidas.
- ❖ Gestión.
- ❖ Interfaces de usuario.
- ❖ Futuro (o lo que es lo mismo, normalización). [1]

1.12 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LAS REDES INDUSTRIALES.

Los sistemas o redes de comunicación empleados en ambientes industriales se encuentran sometidos a una problemática específica que condiciona enormemente su diseño y los diferencia de las redes tradicionales de datos. Por otro lado, la necesidad de comunicación no se restringe a la producción, ya que otros departamentos de la empresa también pueden participar en la red de comunicaciones para permitir un control global del sistema. [10, p. 1]

A pie de fábrica, los controladores tienen que acceder a datos en los mismos sistemas operativos, estaciones de trabajo y dispositivos I/O. Aquí el tiempo es crucial y ello requiere una comunicación en tiempo real. Parar un robot soldador o la operación de rellenar una botella en su tiempo justo requiere un ajuste de tiempo sumamente preciso, comparativamente a lo que se exige para acceder a un archivo en un servidor remoto o sencillamente hojear una página Web por Internet. [11]

Tradicionalmente, las redes usadas en empresas de manufactura fueron hechas para funcionar en aplicaciones específicas, más comúnmente para control, información y seguridad. Mientras satisfizo la funcionabilidad para lo que fueron diseñadas, es decir, estas redes no fueron desarrolladas con una sola arquitectura coherente. Desde que la eficiencia, la fiabilidad y, finalmente, la rentabilidad que generalmente son dependientes una de otra, los fabricantes se vieron forzados a implementar varias redes diferentes, ninguna de las cuales originalmente se comunicaba con la otra. Con el paso del tiempo y como consecuencia, en la mayoría de los ambientes de las empresas de manufactura, las redes se han caracterizado por numerosas especializadas y generalmente incompatibles redes existentes en un mismo espacio.

Hoy, sin embargo, las expectativas corporativas para el paisaje manufacturero en la red de automatización son dramáticamente diferentes, gracias a la rápida y ubicua adopción de la tecnología de Internet. Compañías de todos los tamaños, de todo el mundo, tratan de encontrar las mejores formas de conectar a la empresa entera. No es suficiente el control en los procesos

de manufactura: El nuevo mandato de manufactura es permitirle a los usuarios en toda la compañía acceder a los datos de fabricación desde cualquier posición, en cualquier momento, e integrar esta información como una sola pieza con sistemas de información comerciales.

Debido a esta adopción y a esta expansión del uso de tecnologías de Internet, un número rápidamente creciente de usuarios en todo el mundo ha acudido a los sistemas "abiertos" como una forma para asociar sus procesos desiguales de la empresa. Sin embargo, los dispositivos, programas y los procesos usados en las diversas capas de las siete capas del modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) tienen opciones diferentes, capacidades (o la falta de) y estándares. En general, integrar estas redes requiere programación y recursos adicionales y aun así, los espacios entre los sistemas a menudo no pueden estar en una sola pieza y completamente conectados. Las capas de aplicación común son la clave de la comunicación avanzada e integración de una autentica red. [12, p. 7]

1.13 COMUNICACIÓN MEDIANTE BUSES DE CAMPO.

El aumento de la competencia y la presión sobre los precios que afectan todas las áreas de producción y proceso obliga a la máxima explotación, entre otros, de los recursos técnicos.

Entre los recursos más destacados, los buses de campo han demostrado ser una herramienta muy eficaz en los procesos de automatización, reduciendo los tiempos de puesta en marcha, modificación y mantenimiento de sistemas automáticos.

El grado creciente de automatización en máquinas y sistemas influye de forma proporcional a los kilos de cobre en forma de cable repartidos por la instalación (por ejemplo, cada señal procedente de un sensor, como mínimo, necesita dos hilos). Esto se traduce en tiempo de configuración, instalación, montaje y mantenimiento.

En comparación, la interconexión de serie de componentes de planta mediante bus de campo es una opción mucho más rentable:

- ❖ Los mazos de cable que abarrotan las canales pasacables se ven considerablemente reducidos, o incluso eliminados. La interconexión de equipos, ya sea elementos de campo (sensores, actuadores) o elementos de control (PLC, reguladores) se realiza mediante el mismo cable de bus.

- ❖ Los elementos pueden situarse fácilmente en cualquier ubicación y conectarse mediante el cable de bus, proporcionando una estructura de comunicaciones ideal para aplicar los conceptos de racionalización y competitividad actuales.
- ❖ La etapa de diseño y planificación también se beneficia del bus de campo; la identificación de elementos, es más simple, no es necesario identificar tantos componentes dentro de un esquema (mangueras, hilos, borneros, elementos de interconexión, convertidores de señal) y además se reducen las dimensiones de los armarios y cajas de conexión.
- ❖ Las tareas de autodiagnóstico pueden mostrarse de manera amigable para el operador, reduciendo el tiempo de mantenimiento o parada.
- ❖ Los protocolos de transmisión tienen rutinas de detección y corrección de errores, aumentando la fiabilidad y eficiencia de las comunicaciones.
- ❖ La estandarización permite que un integrador pueda escoger dispositivos de múltiples fabricantes.

A la hora de diseñarse un sistema de bus de campo, deben tenerse en cuenta varios factores:

- ❖ Disponibilidad de elementos (varios fabricantes independientes).
- ❖ Inmunidad al ruido eléctrico.
- ❖ Tiempos de ciclo.
- ❖ Protocolos de transmisión.
- ❖ Herramientas de configuración y diagnóstico.

1.13.1 LA PIRÁMIDE DE LA AUTOMATIZACIÓN.

La industria moderna utiliza estructuras jerarquizadas en niveles para modelar sus sistemas de automatización. Sin embargo, esta estructura plantea el problema de la integración total de sus distintos niveles, es decir, la capacidad de comunicarse entre ellos y tomar decisiones que afecten a la producción. De ahí que se han desarrollado sistemas completos de automatización de la empresa, que involucran todos estos niveles jerárquicos con el objetivo de presentar a la empresa como un solo bloque unificado, es decir, integrado. El modelo CIM (Computer Integrated Manufacturing), el cual aparece a mediados de la década de los ochentas del siglo pasado, representa a la empresa como un único bloque, el cual a su vez está jerarquizado en

distintos niveles en los cuales se realizan funciones específicas asociada a ello un tipo de información y de procesamiento diferente. [13, pp. 1, 2]

De ahí, queda determinada la jerarquía a la cual pertenece una red. Cada red gobierna las funciones del nivel inferior y sirve de interfaz al nivel superior (integración del proceso automatizado). El flujo de la información fluye tanto en sentido horizontal (dentro de su propio nivel) como en sentido vertical (a un nivel superior o inferior). [14, p. 4]

El modelo CIM tiene como objetivos los siguientes:

- ❖ Aumentar la flexibilidad.
- ❖ Mejorar la calidad del producto.
- ❖ Reducir los costos.
- ❖ Reducir el tiempo y el número de pasos empleados en la fabricación.
- ❖ Aumentar la confiabilidad del sistema.

Así, una definición formal de CIM puede ser la siguiente:

“Es un modelo que busca la manufactura automatizada, el transporte automatizado de piezas y materiales, usando las tecnologías computarizadas en todas las etapas de producción de un producto, desde el diseño a la fabricación, pasando por el control de calidad, hasta el producto terminado”. [13, pp. 1, 2]

La denominada pirámide de la automatización, CIM, intenta resumir, de forma gráfica la estructuración de los sistemas de comunicación en un entorno productivo.

Se divide en niveles, de acuerdo con el tráfico y tipo de información que se intercambia.



FIGURA 1.14. PIRÁMIDE CIM.

1.13.1.1 NIVEL DE GESTIÓN.

Procesa tareas del tipo corporativo que implican, generalmente, grandes cantidades de información (administración). Se puede acceder a todos los puntos de la red para, por ejemplo, recoger datos de proceso y transmitir nuevas consignas de producción. Puede haber cientos de puestos de trabajo (estaciones).

Los equipos que aparecen aquí son ordenadores (PC), minicomputadoras y grandes equipos informáticos. Desde aquí se accede al exterior mediante redes de área amplia (WAN).

1.13.1.2 NIVEL CÉLULA.

Procesa las tareas de automatización. Aquí aparecen los autómatas, PC's y equipos de visualización. La transferencia de información es considerable, aumentando el tamaño de los paquetes de información y el tiempo de tránsito necesario para la transmisión de estos. Ya no es tan importante la rapidez, prima más la seguridad del envío.

1.13.1.3 NIVEL DE CAMPO.

Realiza la unión entre las instalaciones y los equipos que la controlan. Permite la comunicación entre los equipos de control de maquinaria y los equipos del nivel de célula.

La periferia distribuida en planta, compuesta por módulos de entradas/salidas, medidores, sistemas de control de velocidad, válvulas o pantallas de operador, emplea técnicas de

transmisión muy eficientes, capaces de trabajar en tiempo real, utilizando comunicaciones cíclicas o acíclicas.

1.13.1.4 NIVEL ACTUADOR-SENSOR.

En cualquier aplicación automatizada se tiene una multitud de elementos que requieren uno o algunos bits de información (de entrada o salida) para trabajar (pulsadores, selectores, sensores, pilotos). Esta característica es la que define el nivel sensor-actuador (pocos bits) dentro de un sistema automatizado.

El nivel sensor-actuador es el peldaño más bajo dentro de la jerarquía de los sistemas automatizados. Trabaja con poca información, y su gestión es relativamente sencilla.

Se transmiten cantidades reducidas de información (pocos bits).

Las interfaces utilizan técnicas de instalación sencillas y de bajo costo, empleando el mismo medio para alimentar a los elementos de campo y para transmitir la información mediante comunicaciones cíclicas.

Es posible utilizar sistemas de bus existentes, pero el costo de material y puesta en marcha sería excesivo, trabajando con recursos sobredimensionados y poco eficientes:

- ❖ Sistema de transmisión inadecuado o de costo elevado (cables de fibra de vidrio, apantallados o demasiado rígidos).
- ❖ Protocolos de comunicación estocásticos (aleatorios como Ethernet), que podrían echar por tierra el concepto, necesario, de tiempo real, proporcionado por los sistemas determinísticos.
- ❖ Electrónica sobredimensionada y, por tanto, cara.
- ❖ Instalación compleja y laboriosa, que necesita operarios con probada experiencia.

La red que se buscamos a este nivel debe proporcionar una relación bits transmitidos/costo, lo más ajustada posible. Esto será posible gracias a:

- ❖ Un cableado sencillo y económico (dos hilos sin apantallar).
- ❖ Flexibilidad en el tendido del cableado (cualquier topología imaginable).
- ❖ Comunicaciones robustas (inmunes a interferencias).

- ❖ Protocolo de comunicación que garantice la respuesta en tiempo real (determinístico y rápido).
- ❖ Interfaces adaptadas a cada necesidad (electrónica de bajo costo).
- ❖ Conocimientos técnicos mínimos para realizar la instalación.
- ❖ Protección IP, elevada (IP65 como mínimo).
- ❖ Resistencia a amplios márgenes de temperatura (-25° C a +85° C).

Con este planteamiento, da la impresión que las distintas redes compiten entre sí por los diferentes nichos de automatización, pero el caso es que cada tipo de red tiene unas funciones específicas que la hacen más adecuada que otra para una tarea determinada.

Las redes de bus de campo y las redes de equipos de instrumentación (el nivel más bajo en la pirámide de automatización) tiene funcionalidades diferentes.

- ❖ Las redes de bus de campo (niveles superiores) incorporan la capa de aplicación, que permite implementar rutinas de control en el elemento situado en planta o en el controlador. Además proporcionan seguridad intrínseca para los elementos utilizados en zonas peligrosas.
- ❖ Las redes de nivel más bajo (tipo actuador-sensor) tienen como principal característica la transmisión de pequeñas cantidades de información a gran velocidad. Utilizadas en unión de sistemas de más alto nivel (bus de campo) pueden utilizarse para el control de tareas de automatización discretas (control de máquina). [1, pp. 292-295]

La estructuración jerárquica en niveles propuesta en el modelo CIM, si bien, conceptualmente es clara, en la práctica se enfrenta al problema de integrar estos niveles. Debido a que cada nivel CIM tiene definidas sus propias necesidades, se utilizan distintas tecnologías que logren satisfacerlas. Estas tecnologías poseen sus propias características de protocolo de comunicación, así como de programación, entre otras. Esto hace que la integración de tecnologías dentro del mismo nivel no sea tan complicada por la similitud y adopción de normas estándar, es decir, por compatibilidad (se habla entonces de integración horizontal), pero no así para integrar tecnologías de distintos niveles que no poseen necesariamente normas de compatibilidad (se habla entonces de integración vertical). En la Figura 1.15 se representa esta situación.

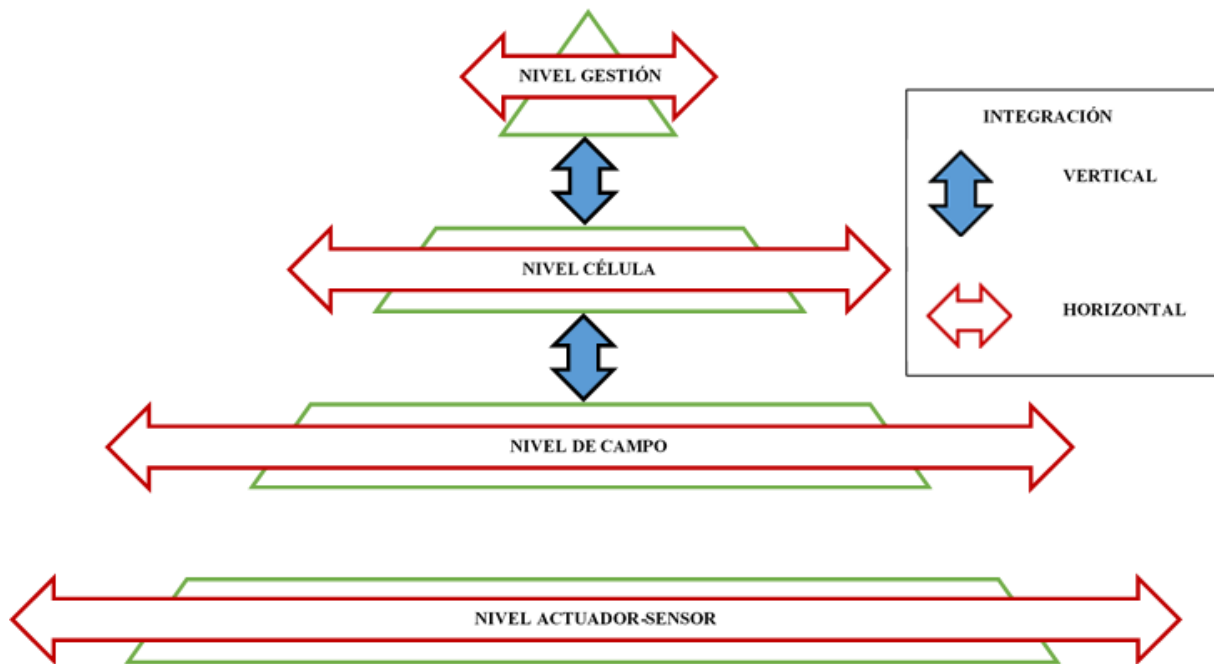


FIGURA 1.15. NIVELES CIM CORTADOS POR FUNCIONES Y TECNOLOGÍA, PROBLEMA DE INTEGRACIÓN DE NIVELES.

Para solventar esta necesidad de integración de los niveles jerárquicos, se han desarrollado recientemente sistemas de automatización que trabajan bajo el concepto de **integración total**, es decir, capacidades completas de integración de los niveles CIM, tanto en sentido horizontal como vertical. Esto implica: 1) que pueden tomarse las decisiones en gerencia en el nivel de gestión, al disponer de la información que proviene desde los niveles más bajos, y 2) que los sistemas de control pueden recibir cambios y procesar órdenes desde los niveles superiores, que afectan a la producción. Y todo bajo un sistema altamente automatizado e informático.

Así, puede definirse el concepto de Integración Total como:

“Sistema de automatización total de empresa, que integra transparentemente todos los niveles de la jerarquía CIM”. [13, pp. 3, 4]

1.14 CARACTERÍSTICAS DE LOS BUSES DE CAMPO.

En las redes de campo se pueden destacar las siguientes 4 características principales:

- Sustitución de la señal de 4-20mA por señales digitales.
- Aplicación a sistemas de control distribuido.
- Interoperabilidad de dispositivos.

- Sistemas abiertos.

1.14.1 SUSTITUCIÓN DE LA SEÑAL DE 4-20mA POR SEÑALES DIGITALES.

La sustitución de las señales de 4-20mA por señales digitales trae consigo sustanciales ventajas sobre estas.

- **Mayor exactitud y confiabilidad de datos:** Debido a la comunicación digital, ya que los microprocesadores, por ejemplo en un transmisor y un controlador, pueden hablar directamente, en lugar de pasar a través de conversiones D/A y A/D, de las cuales hay muchas en un lazo cerrado. El estado es enviado junto con los datos de medición y control. En consecuencia, es posible determinar si la información es confiable o no. Todos los datos son verificados y garantizados libres de distorsión debido al ruido o a algún desajuste de impedancia que en las señales analógicas no serían detectados.
- **Acceso multivariable:** Esto significa que un transmisor de presión, por ejemplo, no está limitado a una sola salida para presión, sino que también informa la temperatura de proceso. Otro ejemplo es el acceso a la variable de setpoint y a la variable manipulada de un controlador en el mismo dispositivo, o los distintos canales de entrada en un transmisor de temperatura.
- **Configuración y diagnósticos remotos:** La comunicación digital permite modificar remotamente la configuración completa. La calibración se efectúa en funcionamiento sin tener que aplicar ninguna entrada o medir la salida. De manera similar se puede interrogar el estado de los autodiagnósticos.
- **Disminución y simplificación del cableado:** Se logra a través de la conexión de varios dispositivos sobre un solo par de cables. La conexión es una tarea sencilla, ya que todo se encuentra en paralelo y el número de terminales a utilizar es mínimo. Esto significa un bajo costo y un fácil reemplazo de viejos transmisores.

1.14.2 APLICACIÓN A SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO.

Los buses de campo permiten un control distribuido al incorporar esta función en los propios dispositivos. Sin embargo, también es posible configurar una arquitectura de control centralizada.

1.14.3 TOPOLOGÍAS DE BUSES DE CAMPO.

Los buses de campo admiten la implementación de distintas topologías. Entre ellas, las más comunes son: estrella, anillo y bus.

En muchos casos, la topología del sistema será la combinación de dos o más de estas topologías elementales.

1.14.4 INTEROPERABILIDAD.

Los buses de campo tienen capacidad de interoperabilidad, que es la capacidad que tiene la red de reemplazar un dispositivo por otro del mismo tipo independientemente de la marca del fabricante.

1.14.5 SISTEMAS ABIERTOS.

La interoperabilidad es posible debido a que la mayoría de los buses industriales son de estándares abiertos que son administrados por asociaciones internacionales integradas por empresas fabricantes. De esta manera, las especificaciones para producir hardware y software compatible con determinado bus, están disponibles para los desarrolladores de dispositivos.

[14, pp. 13-16]



CAPÍTULO 2.

FUNDAMENTOS DE ARQUITECTURA NETLINX.

2.1 EL PROTOCOLO CIP (COMMON INDUSTRIAL PROTOCOL).

Diferentes empresas y organizaciones han presentado algunas soluciones para permitir esta integración total de la información en la empresa. Una de estas alternativas es la presentada por las asociaciones ODVA y ControlNet Internacional. Para ello han desarrollado el protocolo llamado Common Industrial Protocol, CIP, que se traduce como Protocolo Industrial Común. El protocolo CIP define las características de las capas de aplicación para diferentes redes.

La filosofía del desarrollo del protocolo CIP, es la de proveer de una capa de aplicación que se abstraiga de la tecnología particular de una red industrial, es decir, de las capas más bajas que definen las características físicas y propias del protocolo de comunicación. De esta forma, se puede aplicar esta capa común a distintas tecnologías de redes, cada una con sus capacidades y aplicaciones particulares. Así también, es posible otorgar una capacidad de interconexión entre las redes que implementen CIP en sus capas superiores de una forma transparente. Esta capacidad de interconexión también la tendrían futuras redes que implementen CIP en sus capas superiores. [14, pp. 29, 30]

Las capas de aplicación común son la clave de la comunicación avanzada e integración de una autentica red. Las cuatro mejores redes de ODVA: EtherNet/IP™, DeviceNet™, ControlNet™ y CompoNet™, todas están asociadas a uno de los protocolos industriales más versátiles de la automatización industrial: El Protocolo Industrial Común, conocido como CIP™. CIP abarca un juego completo de mensajes y servicios para un conjunto de aplicaciones de automatización industrial como: control, seguridad, energía, sincronización y movimiento, información y la administración de red. CIP permite a los usuarios integrar estas aplicaciones con nivel empresarial redes de Ethernet y de internet. Apoyado por centenares de vendedores alrededor del mundo y verdaderamente independiente del medio, CIP provee a los usuarios de una arquitectura unificada de comunicación en todas partes de la empresa industrial. CIP permite a los usuarios aprovecharse hoy de muchas ventajas de redes abiertas y protege sus inversiones en automatización existentes, al proveer una arquitectura extensa y actualizable de comunicación.

Con independencia del medio viene la elección, la habilidad de escoger la mejor red de CIP adecuada para una aplicación. Como una plataforma sola, independiente del medio que es compartida por una colección variada de tecnologías de sistemas de redes, CIP provee la interoperabilidad y la intercambiabilidad que es imprescindible en redes y sistemas abiertos.

[15, p. 7]

La base del protocolo CIP es el modelado de objetos abstractos que le permite una funcionalidad independientemente de la tecnología de la red. [14, p. 36]

Las siguientes tres redes son adaptaciones que ha hecho CIP:

EtherNet/IP™: CIP en la Tecnología de Ethernet.

EtherNet/IP provee a usuarios de las herramientas de red para desplegar tecnología Ethernet estándar (IEEE 802.3 combinado con el juego TCP/IP) para aplicaciones de automatización industrial al permitir Internet y conectividad de la empresa dando como resultado datos en cualquier momento y donde sea. Ethernet /IP ofrece opciones diversas de topología incluyendo un arreglo convencional en estrella con dispositivos de infraestructura de Ethernet estándar, o topología anillo a nivel dispositivo (DLR) con dispositivos Ethernet/IP. QuickConnect™ es la funcionalidad que permite a los dispositivos ser reconectados rápidamente mientras la red está en funcionamiento usando un procedimiento de puesta en marcha abreviado.

DeviceNet™: CIP en la Tecnología CAN.

DeviceNet provee a usuarios una red rentable para distribuir y manejar dispositivos simples en toda su arquitectura. DeviceNet usa una topología trunkline/dropline y tiene una fuente de voltaje de CD disponible en el cable de red para simplificar instalaciones proporcionando un solo punto de conexión para la comunicación de la red y una fuente de poder de hasta 24 Vdc, 8 Amperes. La funcionalidad QuickConnect permite a los dispositivos ser reconectados rápidamente mientras la red está en funcionamiento usando un procedimiento de puesta en marcha abreviado.

ControlNet™: CIP en Tecnología CTDMA.

ControlNet provee a usuarios de las herramientas para lograr transporte determinista, de alta velocidad de entradas/salidas (I/O) de tiempo crítico e interlocks peer-to-peer. ControlNet le ofrece una gama de opciones de topologías incluyendo trunkline/dropline, estrella o árbol. Opciones de hardware también son ofrecidas para aplicaciones que requieren hardware intrínsecamente seguro. La comunicación redundante de la red también está disponible.

CompoNet™: CIP en Tecnología TDMA.

CompoNet permite a los usuarios maximizar el rendimiento específico de la red para aplicaciones que necesitan transmitir rápidamente pequeños paquetes de datos entre controladores, sensores y accionadores. Su conector simple de red y esquema de cableado disminuye el costo y el tiempo total del sistema.

Además de estas implementaciones a la red, ODVA ha publicado extensiones de CIP para aplicaciones críticas. [15, pp. 7-9]

Las soluciones implementadas según las directrices del Protocolo Industrial Común, CIP, permite integrar la gestión de entradas y salidas, la posibilidad de configuración de dispositivos y la recolección de datos de los elementos de la red, siendo posible que todo ello tenga lugar en varias redes de comunicación. Esto último permite reducir los costos de ingeniería, puesta en marcha y mantenimiento.

CIP es una aproximación basada en objetos, orientada a permitir el diseño de dispositivos de control que combina el método de direccionamiento de red y las reglas de intercambio de mensajes.

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE CIP.

Las características más destacadas de este protocolo son:

2.1.1.1 INDEPENDENCIA.

CIP se diseñó para ser independiente de cualquier capa de enlace o capa física. El resultado es una especificación independiente y sin ramificaciones a otras capas facilitando las tareas de adaptación a las capas inferiores.

Además tiene la posibilidad de adaptarse a las nuevas tecnologías emergentes, tales como: Firewire, Bluetooth, o USB, sin que ello signifique que los creadores de estas nuevas tecnologías estén obligados a cambiar sus planteamientos iniciales de desarrollo.

Otra característica importante que diferencia a las redes basadas en CIP es la posibilidad de que, por ejemplo, un mensaje generado bajo DeviceNet puede transferirse a EtherNet/IP sin necesidad de ser retocado por la capa de aplicación.

El usuario solamente deberá especificar el camino del mensaje, mientras que el protocolo se asegurará que éste llegue a su destino sin importar el número de redes que deba atravesar.

2.1.1.2 ENCAMINAMIENTO MULTIRED.

El diseño original también contempla las técnicas de encaminamiento, incluyendo un método común que permite el paso sin problemas entre redes EtherNet/IP, ControlNet o DeviceNet.

Aunque es posible utilizar pasarelas para interconectar redes diferentes, éstas son caras, complicadas de configurar y generalmente reducen el tráfico de datos disponible para las capas superiores. Como CIP se diseñó para trabajar con el Protocolo de Internet (IP), es posible la conexión remota vía Internet a través de un Router CIP y poder, por ejemplo, observar o cambiar el estado de un sensor conectado a DeviceNet.

2.1.1.3 PERFILADO PRECISO DE DISPOSITIVOS.

Los perfiles de dispositivos quedan completamente definidos desde el punto de vista de la red de comunicaciones. Son un conjunto de objetos y las interacciones entre ellos. Cada tipo de dispositivo tiene definidos los objetos que se deben aplicar y los atributos y servicios que deben incluir.

Un elemento se disgrega en elementos lógicos (objetos), acordes con su función (un arrancador, o un variador se configurarán, diagnosticarán y controlarán de manera similar por tener la base lógica similar).

Cada objeto se compone de:

- ❖ Atributos (datos).
- ❖ Servicios (comandos).
- ❖ Comportamiento (reacciones a eventos).

De esta manera, un dispositivo que se ciña al estándar, tendrá los mismos datos en comunicación y configuración, y responderá de la misma manera a los comandos enviados que

cualquier otro dispositivo que siga el mismo perfil. Así se asegura que dispositivos similares sean intercambiables aunque vengan de fabricantes diferentes.

Además, los desarrolladores pueden convertir con facilidad un dispositivo DeviceNet a EtherNet/IP, pues los objetos de aplicación (cómo trabaja el dispositivo, lo que hace y lo que comunica) son similares, independientemente de la red CIP a la cual se halle conectado el dispositivo.

Como cada tipo de dispositivo tiene los mismos objetos básicos, los dispositivos de vendedores diferentes tienen el mismo comportamiento visto desde dentro de la red. Además, estos perfiles tienen elementos de valor añadido específicos de cada vendedor, pero que deben ceñirse a las especificaciones CIP para mantener el principio de intercambiabilidad.

2.1.1.4 SERVICIOS DE CONTROL.

CIP se basa en la conexión lógica de objetos en la red. Cuando una conexión de entrada/salida se establece, los dispositivos negocian el tipo de datos, la secuencia de intercambio y el mecanismo de sincronización.

El intercambio de datos sobre conexiones puede ser unidireccional, bidireccional o multicast (uno a muchos).

Con el control de entrada/salida, la notificación de errores es primordial para evitar situaciones de riesgo y solucionar rápidamente los problemas. CIP permite implementar unos tiempos de vigilancia en ambos extremos de la comunicación, de manera que cualquier dispositivo puede determinar de manera autónoma cuando ha fallado la comunicación y pasar a un estado seguro.

CIP también proporciona la indicación de inactividad. Este estado coloca las conexiones en estado de espera cuando un controlador pasa a estado de programación (no operativo). Esto es importante porque, cuando uno de los puntos de final de una conexión está inactivo, los demás están pendientes de los datos pero no los actualizan y pasan a un estado predefinido por el programador.

2.1.1.5 COMUNICACIÓN E INTERCAMBIO DE DATOS.

Los eventos de entrada/salida, intercambio cíclico, o cambio de estado, son métodos de intercambio de datos entre conexiones de entrada/salida. CIP permite escoger el que mejor convenga en cada momento.

En colaboración con la capa de enlace (Capa 2 de OSI) se consigue una alta eficiencia en la transmisión de datos gracias a la posibilidad de utilizar varios métodos de comunicación. Cuando es posible, los datos se transmiten de forma libre y en cualquier momento, pero hay un riesgo de atascos y es posible que los datos tarden en llegar a su destino. Si necesitamos puntualidad utilizamos métodos más estrictos de transmisión, menos flexibles, pero más seguros.

2.1.1.6 SERVICIOS DE PRODUCTOR/CONSUMIDOR.

Este título se refiere al método utilizado para enviar la información a la capa de enlace.

El productor de datos pone un número delante de cada paquete que envía (el identificador de datos, ID) y cada dispositivo lee el código para saber si puede utilizarlo (Consumidor).

El modelo Productor/Consumidor permite una gestión más eficiente del ancho de banda:

- ❖ Si el nodo necesita recibir, solo necesita notificarlo una vez.
- ❖ Si otro nodo (o varios) requieren los mismos datos, sólo necesitan conocer el identificador pertinente (ID) para poder acceder de forma simultánea a estos.

El resultado es una comunicación del tipo multicast (uno a varios), en la cual sólo hay que indicar a los dispositivos de red qué tipo de información pueden utilizar.

Enfrentando a este método está el de fuente/destino, en el cual cada paquete tiene la dirección del destino (uno). Si más de un dispositivo necesita la información, debe repetirse el envío con la dirección correspondiente. Este método provoca problemas de sincronización entre nodos al no llegar la información de forma simultánea a todos.

La mayoría de sistemas de comunicación industrial funcionan de esta manera (la denominación Maestro-Esclavo).

CIP soporta comunicaciones de casi todos los tipos (Maestro-Esclavo, Punto a Punto, Multicast, Broadcast).

2.1.1.7 SEGURIDAD.

CIP safety permite conectar dispositivos de seguridad y dispositivos de control normal dentro de la misma red sin la necesidad de un elemento de control central (PLC o módulo de seguridad).

Cuando se establecen lazos de seguridad entre sensores y actuadores, la comunicación es directa, minimizando el tiempo de respuesta ante una eventualidad.

Gracias a las características de encaminamiento (routing) y salto (bridges), es posible integrar elementos de seguridad de un segmento DeviceNet con el controlador de seguridad de otro.

La posibilidad de dividir la red en varios segmentos de seguridad hace que los tiempos de reacción sean más reducidos. [1, pp. 288-291]

En la Figura 2.1 se muestran las redes que hacen uso del protocolo CIP y sus respectivas adaptaciones.

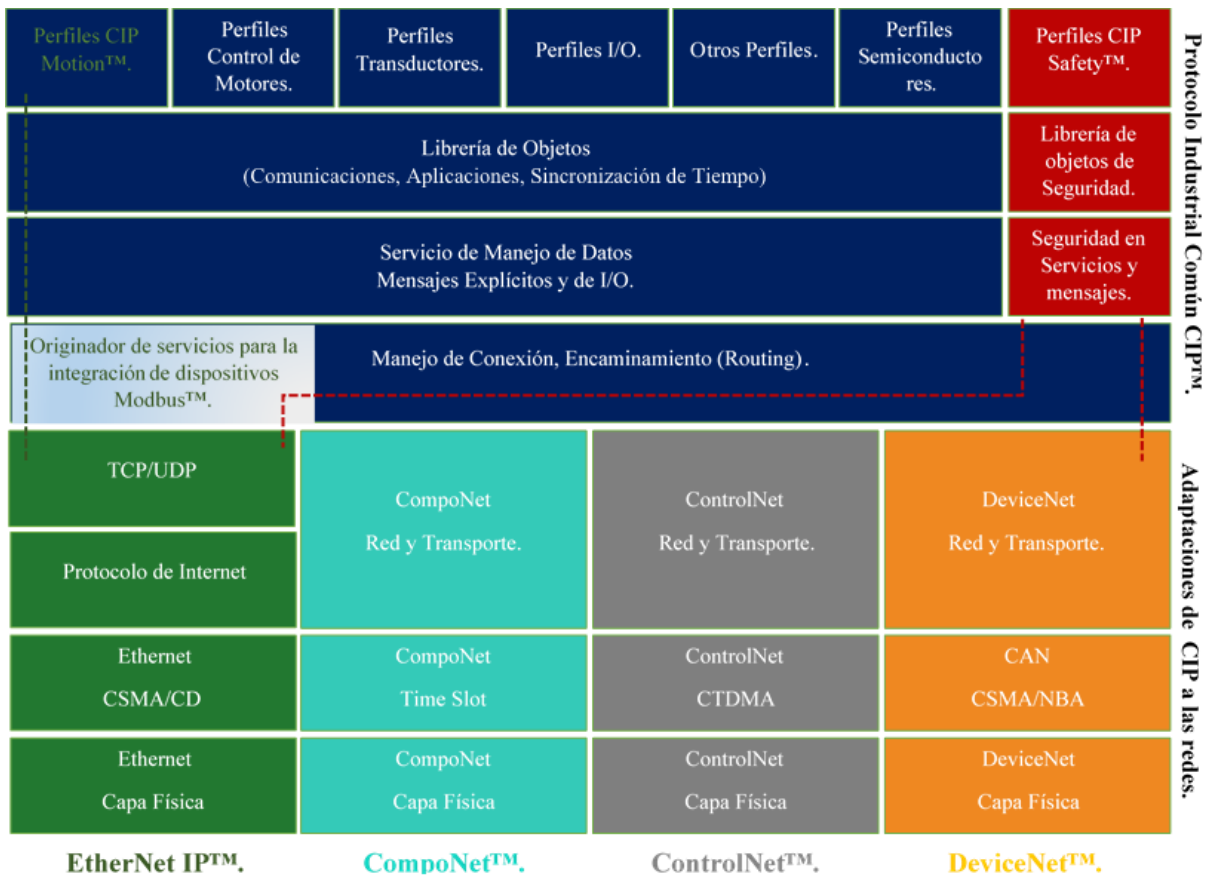


FIGURA 2.1. REDES DEL PROTOCOLO CIP Y SUS RESPECTIVAS ADAPTACIONES.

2.1.2 TÉRMINOS UTILIZADOS POR CIP.

En el estudio del protocolo industrial común CIP, es necesario esclarecer algunos términos típicos en el ámbito de los sistemas de control, pero dentro del contexto de CIP. A continuación se entregan las definiciones para algunos términos.

2.1.2.1 CLIENTE/SERVIDOR.

Es una arquitectura de comunicación, en donde se establece la relación que existe entre los procesos de dispositivos distintos. El cliente es el dispositivo que envía una solicitud a un servidor. El cliente espera una respuesta del servidor. Por otra parte, el servidor es el dispositivo que recibe una solicitud de un cliente. Se espera que el servidor dé una respuesta al cliente.

2.1.2.2 MASTER/SLAVE (MAESTRO/ESCLAVO).

Es una aplicación particular de la arquitectura de comunicación cliente/servidor en que el Master, es decir, el cliente, requiere y envía información hacia un Slave, es decir, un servidor. Por otra parte, el Slave, se limita a enviar la información solicitada y a efectuar las acciones de control dadas por el Master.

2.1.2.3 MODELO FUENTE/DESTINO.

Es un modelo de comunicación que establece la forma en que son compartidos los mensajes. En este modelo, el dispositivo fuente envía un mensaje a un solo dispositivo destinatario específico. Por otra parte, el dispositivo destino es el que recibe el mensaje procedente desde el dispositivo fuente. Por esta razón, se incluye en la cabecera de un mensaje, la dirección de red del dispositivo fuente y la dirección de red del dispositivo destino. Este tipo de comunicación es punto a punto.

2.1.2.4 MODELO PRODUCTOR/CONSUMIDOR.

En este modelo, el dispositivo productor coloca un mensaje sobre la red para el consumo por uno o varios consumidores. Generalmente, el mensaje producido no se dirige a un consumidor específico. Por otra parte, el consumidor es un dispositivo que recoge (consume) un mensaje puesto en la red por un dispositivo productor.

El consumidor determina qué mensaje consumir por medio de un identificador en la cabecera del mensaje. Este modelo de comunicación es inherentemente multicast y puede soportar además comunicación punto a punto (por lo tanto, puede decirse que incorpora al modelo fuente/destino). En la Figura 2.2 se comparan los mensajes de los modelos fuente/destino y de productor/consumidor.



FIGURA 2.2. MODELOS DE COMUNICACIÓN FUENTE/DESTINO Y PRODUCTOR/CONSUMIDOR.

2.1.2.5 MODELO PRODUCTOR/CONSUMIDOR PARA CIP.

El protocolo CIP utiliza el modelo de comunicación productor/consumidor, en contraste con el modelo tradicional de fuente/destino. Aprovecha su naturaleza multicast. Los nodos sobre la red determinan si se deben consumir los datos de un mensaje basándose en un valor de identificación (identifier) de la conexión, el cual está incluido en el paquete.

2.1.2.6 MENSAJE EXPLÍCITO.

Los mensajes explícitos contienen la información de dirección y de servicio que lleva al dispositivo receptor a realizar cierto servicio (una acción) en una parte específica de un dispositivo (por ejemplo, un atributo).

2.1.2.7 MENSAJE E/S O IMPLÍCITO.

Los mensajes E/S o implícitos no llevan la información de dirección y/o de servicio; el nodo consumidor sabe qué hacer con los datos basados en la Conexión ID que fue asignada cuando la conexión fue establecida. Los mensajes implícitos son nombrados así porque el significado de los datos está implícito por la conexión ID.

2.1.2.8 MODELO DE OBJETOS.

El protocolo CIP utiliza el modelo de objetos para la implementación de las capas de aplicación de las distintas redes de campo. El modelo de objetos se basa en representaciones abstractas de las características de los dispositivos conectados a determinada red. Dado que estos objetos se ubican en las capas de aplicación de acuerdo al modelo ISO/OSI, un objeto es creado a través del uso de algún lenguaje de programación apropiado (por ejemplo, C++) siguiendo las pautas de estructura y sintaxis entregadas por las especificaciones de CIP.

2.1.2.9 PUNTO A PUNTO.

Es el envío de información entre un dispositivo emisor (por ejemplo, un Master que envía un mensaje de solicitud de información) hacia un solo dispositivo receptor (por ejemplo, un Slave que recibe el mensaje y luego reenvía la información solicitada).

2.1.2.10 MULTICAST.

Es el envío de información desde un dispositivo emisor (por ejemplo, un cliente que envía un mensaje de solicitud de información) hacia varios dispositivos receptores determinados (por ejemplo, varios dispositivos servidores). [14, pp. 36-38]

2.1.3 MODELADO DE OBJETOS.

El protocolo CIP utiliza un modelo de objetos abstractos para describir:

- ❖ El conjunto de servicios de comunicación disponibles.
- ❖ El comportamiento visible externamente de un nodo CIP.
- ❖ Un medio común para el acceso e intercambio de información entre productos CIP.

Todo nodo CIP es modelado como una colección de objetos. Un objeto provee una representación abstracta de un componente particular dentro de un producto. Cualquier cosa no descrita en forma de objeto no es visible a través de CIP.

Los objetos CIP están estructurados en los siguientes elementos:

- ❖ **Clases**
- ❖ **Instancias**
- ❖ **Atributos**

Una **clase** es un conjunto de objetos donde todos representan el mismo tipo de componente de sistema. Un objeto **instancia** es la representación real de un objeto particular dentro de una clase. A su vez, cada instancia de una clase posee los mismos **atributos**, y que a su vez poseen su propio conjunto particular de valores.

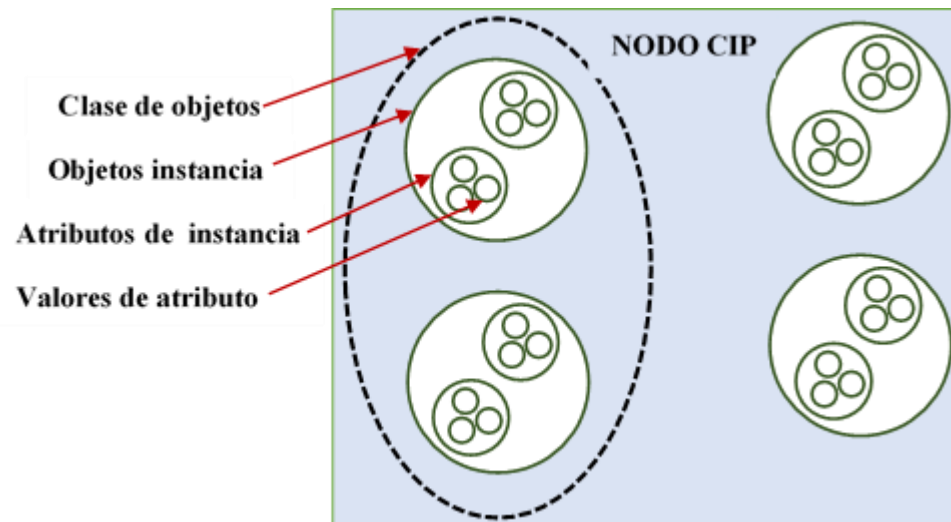


FIGURA 2.3 NODO CIP REPRESENTADO SEGÚN EL MODELO DE OBJETOS.

Tal como se muestra en la Figura 2.3 múltiples objetos instancia dentro de una clase particular pueden residir dentro de un nodo CIP.

Los objetos y sus componentes son direccionados a través de un esquema uniforme compuesto de los siguientes elementos:

- ❖ **Node Address** (Dirección de Nodo)
- ❖ **Class Identifier o Class ID** (Identificador de Clase)
- ❖ **Instance Identifier o Instance ID** (Identificador de Instancia)
- ❖ **Attribute Identifier o Attribute ID** (Identificador de Atributo)
- ❖ **Service Code** (Código de Servicio)

Node Address (o Node ID): Dirección de Nodo. Es un valor entero de identificación asignado a cada nodo sobre una red CIP. En DeviceNet y ControlNet, también es llamado MAC-ID y es el número de nodo del dispositivo dentro de la red. En EtherNet/IP, la dirección de nodo es la dirección IP.

Class ID: Identificador de clase. Es un valor entero de identificación asignado a cada clase de objetos accesible desde la red.

Instance ID: Identificador de Instancia. Es un valor entero de identificación asignada a un objeto instancia que lo identifica entre todas las instancias de la misma clase.

Attribute ID: Identificador de Atributo. Es un valor entero de identificación asignado a una clase o atributo.

Service Code: Código de servicio. Es un valor entero de identificación que denota una solicitud de acción que puede estar dirigido a un objeto instancia particular u objeto clase. [14, pp. 36, 41]

2.1.4 LIBRERÍA DE OBJETOS DE LAS REDES CIP.

La Familia de Protocolos CIP, es decir, el conjunto de redes que implementan el protocolo CIP, posee una amplia colección de objetos definidos comunes. El conjunto total de clases de objeto se puede subdividir en tres tipos:

- ❖ **General-use** (o de uso general)
- ❖ **Application-specific** (o específico de aplicación)
- ❖ **Network-specific** (o específico de red)

Los objetos definidos en la Librería de Redes CIP están disponibles para utilizarse en todas las adaptaciones de la red CIP. Algunos de estos objetos pueden requerir cambios o limitaciones específicas cuando están implementadas en algunas de las adaptaciones de red.

Objetos de uso general CIP	
Assembly	Message Router
Acknowledge Handler	Parameter
Connection	Parameter Group
Connection Configuration	Port
Connection Manager	Register
File	Selection
Identity	

TABLA 2.1. OBJETOS CIP DE USO GENERAL.

Objetos específicos de aplicación	Objetos específicos de aplicación
AC/DC Drive	Overload
Analog Group	Position Controller
Analog Input Group	Position Controller Supervisor
Analog Output Group	Position Sensor
Analog Input Point	Presence Sensing
Analog Output Point	S-Analog Actor
Block Sequencer	S-Analog Sensor
Command Block	S-Device Supervisor
Control Supervisor	S-Gas Calibration
Discrete Group	S-Partial Pressure
Discrete Input Group	S-Single Stage Controller
Discrete Output Group	Safety Supervisor
Discrete Input Point	Safety Validator
Discrete Output Point	Softstart Starter
Group	Trip Point
Motor Data	

TABLA 2.2. OBJETOS CIP DE USO ESPECÍFICO.

Objetos específicos de red
ControlNet
ControlNet Keeper
ControlNet Scheduling
DeviceNet
Ethernet Link
TCP/IP Interface

TABLA 2.3. OBJETOS ESPECÍFICOS DE RED CIP.

Los objetos de uso general pueden ser encontrados en muchos dispositivos diferentes, mientras que los objetos específicos de aplicación típicamente se encuentran sólo en los dispositivos diseñados para tal aplicación. [14, pp. 49, 51]

2.1.5 PERFILES DE DISPOSITIVOS.

Es posible diseñar productos para las redes CIP siguiendo solamente las especificaciones de comunicación de la red y el modelo de objetos. Sin embargo esto resultaría en que productos

similares finalmente tendrían estructuras y comportamientos muy diferentes unos de otros. Con el objetivo de superar esta situación y permitir una aplicación de dispositivos CIP más simple, se han agrupado los dispositivos de funcionalidad similar y se les ha asociado un determinado perfil.

Este perfil de dispositivo CIP contiene la descripción completa de la estructura y el comportamiento del objeto.

En la Tabla 2.4 se muestran los perfiles de dispositivos, junto a su número identificador. Estos perfiles son válidos en todas las redes CIP, tales como DeviceNet y ControlNet.

Perfiles de dispositivos CIP	
AC Drives Device (0x02)	Mass Flow Controller (0x1A)
Communications Adapter (0x0C)	Motor Overload Device (0x03)
Contactora (0x15)	Motor Starter (0x16)
ControlNet Phy. Layer Component (0x32)	Photoelectric Sensor (0x06)
ControlNet PLC (0x0E)	Pneumatic Valve (0x1B)
DC Drives (0x13)	Position Controller (0x10)
DC Power Generator (0x1F)	Process Control Valve (0x1D)
Encoder (0x22)	Residual Gas Analyzer (0x1E)
Fluid Flow Controller (0x24)	Resolver (0x09)
General Purpose Discrete I/O (0x07)	RF Power Generator (0x20)
Generic Device (0x00)	Safety Discrete I/O (0x23)
Human Machine Interface (0x18)	Softstart Starter (0x17)
Inductive Proximity Switch (0x05)	Turbomolecular Vacuum Pump (0x21)
Limit Switch (0x04)	Vacuum/Pressure Gauge (0x1C)

TABLA 2.4. PERFILES DE DISPOSITIVOS CIP.

Los desarrolladores de dispositivos deben usar un perfil. Cualquier dispositivo que no cae dentro de uno de los perfiles especializados enlistados en la Tabla 2.4 debe usar un perfil de dispositivo genérico o un perfil específico de fabricante. En la documentación provista por el usuario, debe ser descrito el perfil que utiliza y qué partes son implementadas.

Todo perfil de dispositivo se compone de un conjunto de objetos, tanto requeridos como opcionales, y un comportamiento asociado con el tipo de dispositivo particular. La mayoría de los perfiles también definen uno o más formatos de dato I/O (Assembly) que definen el significado de sus bits individuales y Bytes.

Además de los objetos de definición pública, los vendedores pueden agregar sus propios objetos si sus dispositivos entregan funcionalidades adicionales. Asimismo, los fabricantes pueden desarrollar sus propios perfiles de dispositivos en el contexto de perfil específico de vendedor.

En la tabla 2.5 se enlistan los rangos asignados de los números que identifican los perfiles públicos (es decir, los definidos por ODVA y ControlNet Internacional) y los específicos de vendedor. Todos los otros números de perfil que no aparecen en la tabla están reservados por CIP. [14, pp. 60, 61]

Rangos de perfiles para dispositivos CIP	
Perfiles de dispositivo públicos	0x00 – 0x63 0x10 – 0x02FF
Perfiles específicos de fabricante	0x64 – 0xC7 0x0300 – 0x02FF

TABLA 2.5. RANGOS QUE IDENTIFICAN LOS PERFILES PÚBLICOS DEFINIDOS POR ODVA Y CONTROLNET INTERNACIONAL.

2.1.6 CONFIGURACIÓN Y HOJAS DE DATOS ELECTRÓNICOS (EDS).

El protocolo CIP entrega varias opciones para la configuración dispositivos. De ellas se pueden destacar los siguientes tres métodos:

- ❖ Por Hoja de datos impresa,
- ❖ Por el Parameter Object, y
- ❖ Por un Electronic Data Sheet, EDS, (u hoja de datos electrónica)

A los métodos enunciados se agrega también el uso de un objeto Configuration Assembly, y combinaciones de los métodos. De todas las alternativas, la más eficiente es el uso de un Electronic Data Sheet o EDS.

A continuación se da una descripción de los tres métodos de configuración y posteriormente se describe en más detalle lo que es el EDS.

2.1.6.1 CONFIGURACIÓN POR HOJA DE DATOS IMPRESA.

Al usar la información de configuración recogida en una hoja de datos impresa, las herramientas de configuración pueden proporcionar solamente las sugerencias para datos de servicio, clase, instancia y atributo y retransmitir esta información a un dispositivo. Mientras

que este procedimiento puede hacer el trabajo, es la solución menos deseable puesto que no determina el contexto, el contenido o el formato de los datos.

2.1.6.2 CONFIGURACIÓN POR PARAMETER OBJECT.

El objeto Parámetro proporciona una descripción completa de todos los datos configurables en un dispositivo. Puesto que el mismo dispositivo proporciona toda la información necesaria, una herramienta de configuración puede acceder a todos los parámetros y mantener una interfaz de uso amigable. Sin embargo, este método impone una carga para el dispositivo con información completa del parámetro que puede ser excesiva para un dispositivo pequeño, como por ejemplo, dispositivo simple DeviceNet. Por lo tanto, una versión liviana del objeto Parameter Object, llamada Parameter Object Stub, puede ser utilizada. Esta opción todavía permite el acceso a los datos del parámetro, pero no describe el significado de ellos. Se puede utilizar el Parameter Object Stub en combinación con una hoja de datos impresa, pero aun así, la configuración resulta engorrosa.

2.1.6.3 CONFIGURACIÓN POR EDS.

Un EDS, por otra parte, entrega toda la información que contiene un Parameter Object Full, además de la información de la Conexión I/O. De esta forma, el EDS entrega las funcionalidades y facilidades de uso de un objeto Parameter Object Full, sin imponer una carga excesiva sobre un dispositivo individual. Además, un EDS proporciona un medio para que las herramientas de software puedan realizar configuraciones offline y descargarla hacia los dispositivos posteriormente.

2.1.6.3.1 DESCRIPCIÓN DEL EDS.

Un EDS es un archivo de texto escrito en ASCII y que se puede generar en cualquier editor ASCII (por ejemplo, el bloc de notas de Windows). La especificación CIP proporciona un sistema de reglas para el diseño y la sintaxis de un EDS, lo cual hace que la configuración de los dispositivos sea más simple. El propósito principal de un EDS es entregar la información sobre varios aspectos de las capacidades del dispositivo, siendo las más importantes las conexiones I/O que soporta y qué parámetros de configuración existen dentro del dispositivo.

2.1.6.3.1.1 SECCIONES DE UN EDS.

Un EDS se estructura en secciones. Cada sección comienza con un nombre de sección entre corchetes []. Las primeras dos secciones son obligatorias para todo el EDS.

- ❖ [File]: Describe el contenido y la revisión del archivo.
- ❖ [Device]: Es equivalente a la información del Identity Object y se utiliza para emparejar un EDS a un dispositivo.
- ❖ [Device Classification]: Describe con qué red se puede conectar el dispositivo. Esta sección es opcional para DeviceNet, pero requerido para ControlNet y EtherNet/IP.
- ❖ [IO_Info]: Describe los métodos de conexión y tamaños de I/O. Requerido para DeviceNet solamente.
- ❖ [Variant_IO_Info]: Describe múltiples configuraciones de datos IO_Info. Requerido solo para DeviceNet.
- ❖ [ParamClass]: Describe atributos del nivel de clase del Parameter Object.
- ❖ [Params]: Identifica todos los parámetros de configuración en el dispositivo, sigue la definición del Parameter Object.
- ❖ [EnumPar]: Lista de enumeración de opciones de parámetro para presentar al usuario. Este es un método antiguo especificado solamente para DeviceNet.
- ❖ [Assembly]: Describe la estructura de los ítems de dato.
- ❖ [Groups]: Identifica a todos los grupos de parámetros en el dispositivo y nombre de grupo de listas y números de instancia de Parameter Object.
- ❖ [Connection Manager]: Describe las conexiones soportadas por el dispositivo. Utilizado típicamente en ControlNet y EtherNet/IP.
- ❖ [Port]: Describe los puertos de red que un dispositivo puede tener.
- ❖ [Modular]: Describe las estructuras modulares dentro de un dispositivo
- ❖ [Capacity]: Especifica la capacidad de comunicación de los dispositivos ControlNet y EtherNet/IP.

A través de estas secciones se entrega una descripción muy detallada del dispositivo. El fabricante debe determinar qué secciones requiere su dispositivo, de esta forma no es necesario implementar todas las secciones.

Una herramienta de software con una librería de EDS usará primero la sección [Device] para intentar asociar un EDS con cada dispositivo conectado a la red. Una vez que un dispositivo particular ha sido asociado con su EDS, la herramienta de software mostrará sus propiedades y parámetros y permitirá al usuario realizar las modificaciones (si es necesario). Una herramienta software también puede mostrar qué conexiones I/O permite un dispositivo y cuál de éstas está en uso. [14, pp. 62-65]

2.2 MODELO OSI APLICADO A LAS REDES INDUSTRIALES.

El modelo de referencia OSI se ha convertido en el modelo principal para las comunicaciones por red, aunque existen otros modelos, la mayoría de los fabricantes de redes relacionan sus productos con el modelo de referencia de OSI, esto es en particular así cuando lo que buscan es enseñar a los usuarios a utilizar sus productos, se considera la mejor herramienta disponible para enseñar cómo enviar y recibir datos a través de una red.

Este modelo reduce complejidad, estandariza las interfaces, facilita el diseño modular, asegura la interoperabilidad de la tecnología, acelera la evolución y el aprendizaje. [16, p. 41]

Los buses de campo, como redes de comunicación, se basan en la estructura jerárquica. Cada bus de campo implementa las capas definidas en el modelo OSI, pero no necesariamente definirá todas las capas. Las capas que no se definen permanecen vacías o bien son implementadas parcialmente en la misma capa de aplicación (capa 7). Las capas físicas, de enlace y de aplicación son siempre necesarias. [17, p. 37]

2.2.1 LAS CAPAS DE OSI.

A nivel de las comunicaciones industriales las capas utilizadas son:

FÍSICA: Se encarga de la transmisión de bits al canal de comunicación. Define los niveles de la señal eléctrica con la que se trabajará. Controla la velocidad de transmisión (duración de un bit).

Esta capa contiene tres subniveles, que son los siguientes:

MEDIO: Canal de transmisión, si es cable, FO, radio, etc.

MAU (Media Attachment Unit): Contiene la electrónica donde se generan o donde se reciben los niveles eléctricos.

PLS (Physical Logical Signal): Codificación en la emisión de la información binaria a señales eléctricas y decodifican en la recepción de la señal eléctrica a señal digital binaria.

ENLACE: Se encarga de establecer una comunicación libre de errores entre dos equipos. Forma la trama organizando la información binaria y la pasa a la capa física. Esta capa contiene dos subniveles, que son los siguientes:

MAC (Media Acces Control): Control del canal de transmisión para que en el momento que esté libre, pueda enviar la información.

LLC (Logical Link Control): Controla y recupera los errores, también codifica la información (hexadecimal o ASCII) a enviar a formato binario o decodifica a información binaria recibida a hexadecimal o ASCII.

APLICACIÓN: Es la capa más próxima al usuario y puede ofrecer servicios tales como correo electrónico, acceso a base de datos, transferencia de ficheros, videoconferencia. [18, p. 14]

2.3 ODVA.

ODVA es una asociación internacional conformada de miembros de compañías líderes en automatización. Colectivamente, ODVA y sus miembros apoyan la tecnología de redes basadas en el protocolo industrial común (CIP™). Estas actualmente incluyen ControlNet™, DeviceNet™, EtherNet/IP™, CompoNet™, CIP Motion™, CIP Safety™, y CIP Sync™. ODVA maneja el desarrollo de estas tecnologías abiertas, y ayuda a los fabricantes y usuarios de redes CIP por medio de herramientas, entrenamiento y actividades de mercadotecnia.

Además, ODVA ofrece pruebas de conformidad para ayudar a asegurar que los productos contruidos con sus especificaciones operan en sistemas multi vendedor. ODVA también es miembro activo en otras organizaciones de desarrollo de estándares y consorcios industriales para manejar el crecimiento de estándares de comunicación abiertos. [19, p. 8]

La misión de ODVA es hacer crecer la información abierta interoperable y las tecnologías de la comunicación en automatización industrial. La visión de ODVA es contribuir a la

sustentabilidad y prosperidad de la comunidad global transformando el modelo de información y las tecnologías de la información en un ecosistema industrial. Para futura interoperabilidad de sistemas de producción y la integración de sistemas de producción con otros sistemas, ODVA abraza la adopción de COMMERCIAL-OFF-THE-SHELF (COTS), el estándar de internet no modificado y tecnologías Ethernet como un principio guía donde sea posible. Este principio es ejemplificado por EtherNet/IP la red Ethernet número uno en el mundo. [20, p. 4] Dos palabras claves caracterizan ODVA, **independiente** y **estándar**. Juntos estos dos conceptos aseguran un mercado y una arquitectura abierta para DeviceNet. Las actividades de ODVA incluyen:

- ❖ Publicar un catálogo ODVA de productos para DeviceNet.
- ❖ Patrocinar varios Grupos de Interés Especiales (SIGs) para enfocarse a nuevos estándares o problemas.
- ❖ Extender y mantener la membresía de compañías o personas físicas. Los miembros hacen recomendaciones o peticiones para mejorar las ideas o productos existentes.
- ❖ Publicar especificaciones y llevar a cabo pruebas de cumplimiento
- ❖ Diseñar nuevos estándares conforme avanza la tecnología. [21]

2.4 REDES DE ARQUITECTURA NETLINX.

Las comunicaciones de red se rigen por una serie de protocolos que permiten la transferencia e intercambio de datos a través de canales de comunicación entre los distintos dispositivos que conforman una red determinada. En sistemas de control de procesos industriales es fundamental que la comunicación de los dispositivos sea eficiente y confiable, por lo que una buena arquitectura de red es imprescindible.

La arquitectura de redes abiertas, por “abiertas” se entiende que las especificaciones y la tecnología no proceden ni dependen únicamente de Rockwell Automation y que tiene aceptación internacional, es una estrategia que consiste en implementar la tecnología de interconexión en redes abiertas para lograr una integración total, desde la planta hasta la administración gerencial. Las redes de la arquitectura NetLinx Figura 2.4, es decir, DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP, utilizan el mismo lenguaje y comparten un conjunto universal de servicios de comunicación. Gracias a que la arquitectura NetLinx, integra todos los componentes de un sistema de automatización, abarcando desde unos cuantos dispositivos en

una red, hasta múltiples dispositivos en redes, incluyendo acceso a internet, se puede aumentar la flexibilidad, reducir los costos de instalación y mejorar la productividad. [22, pp. 15, 16]

Estas tres redes permiten que haya transferencia de información dentro de los equipos que están dentro de un mismo nivel jerárquico (se dice que hay comunicación horizontal), así como entre equipos que están en niveles jerárquicos diferentes (se dice que hay comunicación vertical). A esta capacidad de las redes se denomina integración de comunicación, o bien comunicación integrada. El que incorporen una capa de aplicación común permite una completa interconexión entre ellas. Sus capas inferiores, desde la capa física a la capa de red y transporte, son particulares para cada red y responden a las aplicaciones y niveles de comunicación para el cual son destinadas. [13, p. 73]

La arquitectura NetLinx está diseñada para:

- ❖ Incluir redes de dispositivos, control e información y aportar un medio más eficiente para combinar redes sin que el rendimiento se vea afectado.
- ❖ Tener la posibilidad de combinar una, dos o las tres redes, en función de los requisitos de su aplicación.
- ❖ Transferir datos sin problemas entre las redes, sin necesidad de programar, configurar o crear tablas de encaminamiento.

Esta arquitectura incluye la plataforma Logix proporcionando un rendimiento y eficiencia de alto nivel abarcando todos los componentes necesarios para la conexión del sistema de producción al sistema comercial.

Con la arquitectura NetLinx se puede:

a) Controlar: Transmisión de datos en tiempo real a través de distintos métodos como puede ser frecuencias de actualización de E/S programadas, cíclicas y por cambio de estado. Sistema de uno o varios productores, entradas compartidas, transmisión de mensajes entre dispositivos similares e interbloqueo entre controladores.

b) Configurar: Permite configurar todos los dispositivos de red desde una ubicación centralizada, configurarlos durante la puesta en marcha o modificar parámetros con el mouse o mediante lógica de controlador sin que el control se vea afectado. Para operaciones de

configuración no es necesario desplazarse de una red a otra sino solamente de la misma ubicación con la misma conexión.

c) Recopilar: Presenta soluciones para la presentación de HMI, análisis y tendencias, la gestión de recetas, tareas de mantenimiento y solución de problemas a intervalos regulares o a petición sin necesidad que los controladores deban regular el tráfico de la red con programación adicional. [23, pp. 177, 178]

Algunas de las funciones más importantes que se pueden implementar con NetLinx son:

- ❖ Los centros de control de motor inteligentes aumentan considerablemente las funciones disponibles de control, al tiempo que reducen el número de componentes, permitiendo la reducción del cableado y de los costos de instalación.
- ❖ El acceso a datos de la planta mediante DeviceNet puede proporcionar la base para análisis de rendimiento y programas de mantenimiento predictivos. Los dispositivos pueden conectarse directamente a los controladores mediante redes abiertas, sin necesidad de tener que realizar un costoso y lento cableado en los módulos de E/S.
- ❖ En caso de fallo de un dispositivo, la función Automatic Device Replacement (ADR) automáticamente pone en marcha el dispositivo de repuesto y descarga los parámetros de configuración cuando se conecta dicho dispositivo de repuesto. Con la tecnología de reemplazo automático de dispositivos (ADR), se reduce de forma significativa el tiempo de configuración al reemplazar una unidad que sufrió daño. [24]

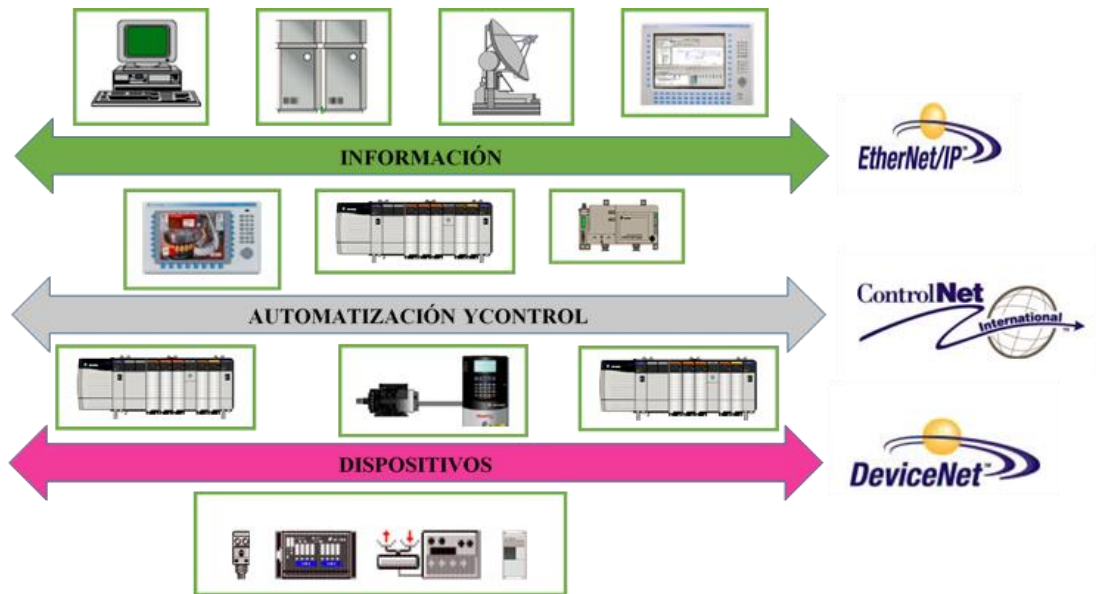


FIGURA 2.4. ARQUITECTURA NETLINX.

2.4.1 PRESTACIONES DEL PROTOCOLO CIP DENTRO DE LA ARQUITECTURA NETLINX.

El protocolo CIP dentro de la arquitectura NetLinx proporciona las siguientes prestaciones:

- Servicios comunes de control:** Ofrece un conjunto de servicios estándar basados en el modelo de productor/consumidor para el movimiento de datos de control en tiempo real en las tres redes de la arquitectura NetLinx.
- Servicios comunes de comunicación:** Permite la conexión de cualquier red y la configuración y recopilación de datos desde cualquier red.
- Posibilidades comunes de encadenamiento:** Ahorrar tiempo durante la configuración del sistema, ofrece monitoreo remoto y solución de problemas sin necesidad de tablas de encaminamiento, lógica adicional o controladores para transmisión de datos entre redes.
- Base común de conocimientos:** Reduce las necesidades de formación cuando se cambia de red dentro de la arquitectura NetLinx ya que las características y las herramientas de configuración son similares. [23, p. 177]

2.4.2 REDES PRODUCTOR CONSUMIDOR.

El modelo productor/consumidor, es un concepto o paradigma de comunicaciones de datos que, describe una relación entre un productor y uno o más consumidores. Este modelo describe un servicio de comunicaciones en el que un proceso proporciona, datos por difusión de mensajes a otros procesos sin que estos los soliciten. Debido a que el productor no conoce a los consumidores no se requiere de una confirmación del servicio. [25, p. 8]

Las redes que están basadas en el modelo productor/consumidor, donde los datos son identificados, estando bastante ligados a una fuente y destino específicos, pueden soportar control, configuración y servicios de recolección de datos de una manera muy eficiente. [26, p. 107]

Emplea un sistema por el que todos los nodos reciben los mensajes que se transmiten, siendo la tarea de cada nodo decidir si ese mensaje debe aceptarlo. Todos los nodos reciben el mensaje simultáneamente y no es necesario repetirlo para cada uno de los nodos a los que está dirigido, con el consiguiente ahorro en el tiempo de utilización del bus. Así el tiempo de transmisión resulta constante independientemente del número de nodos a los que se desea hacer llegar el mensaje. En este caso, la trama del mensaje incluye un identificador de mensaje; este identificador permite que los nodos receptores conozcan si deben aceptarlo o no. (Broadcast, multicast). [13, p. 151]

Dentro de las redes de comunicaciones industriales se puede concebir de la siguiente forma:

La estrategia productor distribuidor-consumidor, en la que hay un procesador que actúa como árbitro y decide cual es el procesador que debe colocar determinada información en el bus (Producer or Provider) y cuáles deben ser los que la reciban (Consumers). Para ello el árbitro envía un mensaje en el que indica la información a transmitir, cual es el procesador que debe actuar como productor y cuáles son los que deben actuar como consumidores. Una vez que tanto los consumidores como el proveedor reciben el citado mensaje se produce la transferencia de información entre ellos.

La estrategia productor-consumidor propiamente dicha, en la que el productor y los consumidores de determinada información se definen durante el proceso de configuración del

sistema de control distribuido para que las transferencias se produzcan en los instantes adecuados. [8, p. 810]

La arquitectura NetLinx es eficiente gracias al modelo productor/consumidor en el cual si un nodo necesita el paquete lo consumirá.

El controlador de origen envía el paquete una vez y todos los nodos consumen el mismo paquete si lo necesitan. Esta particularidad aporta grandes ventajas como son:

a) *Mayor Eficiencia:* Los datos se producen una vez, independientemente del número de consumidores.

b) *Sincronización:* Los datos llegan a todos los nodos al mismo tiempo, y estos se pueden configurar para conseguir un rendimiento más preciso del sistema.

c) *Comunicación Autónoma:* Los dispositivos similares se pueden configurar de forma autónoma sin necesidad de algún dispositivo maestro, controlador o memoria adicional para la administración de la red. [23, p. 179]

2.4.3 COMUNICACIÓN SIN FISURAS.

El protocolo CIP define mecanismos que permiten la transmisión de mensajes a través de las diferentes redes que lo implementen. Dado que las capas de aplicación de las redes de la familia CIP comparten una estructura común, los mensajes pueden ser transmitidos desde una red CIP a otra. Por ejemplo, un mensaje producido por un nodo en una red DeviceNet, puede ser transmitido al medio y consumido por un nodo conectado a la red ControlNet. Esto se realiza a través de dispositivos Routers o Bridge.

El dispositivo *bridge* para redes CIP solo debe traducir la porción correspondiente a la tecnología, es decir, los contenidos relativos a las capas inferiores (física, enlace, de red y transporte). Pero respecto del significado al nivel de aplicación, este es el mismo en ambas redes.

Esto optimiza el uso de redes CIP para implementar los distintos niveles de una arquitectura de comunicación para la integración de los niveles CIM. [14, p. 68]

No hay que programar los dispositivos entre las redes para comunicar a través de ellos. Algunas redes soportan Bridging a otras redes pero precisan programación en cada dispositivo Bridge. El Bridging (o routing) sin fisuras tiene muchas ventajas, como:

- ❖ Acceso centralizado a todas las partes de la arquitectura.
 - ❖ Se pueden segmentar las redes (tráfico, seguridad) y continuar comunicado a través de las redes.
 - ❖ Integración de la arquitectura, permite el flujo de información desde la planta de producción hasta los sistemas de negocio de la empresa.
 - ❖ Usando una capa de aplicación común se elimina la necesidad de “traducir” la información a medida que pasa entre las redes.
 - ❖ Ahorro de tiempo y esfuerzos al configurar el sistema. Se puede hacer routing a través o a lo largo de múltiples redes sin necesidad de configurar tablas de routing o añadir lógica a los procesadores.
 - ❖ Reduce tiempo de parada. Mantenimiento más fácil, se pueden leer y escribir datos a múltiples emplazamientos, desde un punto único. No hace falta conectar a los dispositivos individualmente. Se pueden realizar diagnósticos remotos vía modem y rotando a través de la arquitectura.
 - ❖ Optimiza la producción. Fácil de expandir. No hay que parar la producción ni añadir ningún programa para satisfacer las necesidades cambiantes de captura de información.
- [27, pp. 14-18]



CAPÍTULO 3.

RED A NIVEL DISPOSITIVO.

3.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN DEVICENET.

Introducido originalmente en 1994 por Allen-Bradley, DeviceNet transfirió su tecnología a ODVA, esta red está clasificada en el nivel de red llamada devicebus, cuyas características principales son: alta velocidad, comunicación a nivel de Byte que incluye comunicación con equipos discretos y analógicos y el alto poder de diagnóstico de los dispositivos de la red.

La red DeviceNet es un vínculo de comunicación abierto y de bajo nivel que proporciona conexiones entre dispositivos industriales sencillos (como detectores y accionadores) y dispositivos de alto nivel (como controladores). Basada en la tecnología estándar de red de área de controladores (CAN). [28, p. 33]

Lo que significa que utiliza telegramas CAN para el intercambio de datos de la red. El protocolo CAN es un protocolo de comunicación serial que describe los servicios de la capa 2 del modelo OSI/ISO (capa de enlace de datos). En esta capa, son definidos los diferentes tipos de telegramas (frames), la forma de detección de errores, validación y arbitraje de mensaje. [29, p. 7]

La especificación CAN define dos estados lógicos:

- ❖ Recesivo (1 lógico)
- ❖ Dominante (0 lógico)

Por lo tanto, la transmisión de mensajes CAN y de la competencia por acceso al bus se basa en la habilidad para representar un valor de bit en términos de “Dominante” y “Recesivo”. Esto debe ser realizado por medios eléctricos.

Una transmisión CAN se compone de dos señales denominadas CAN_H (CAN High o CAN Alto) y CAN_L (CAN Low o CAN Bajo). Estas se transmiten simultáneamente cada una por un conductor distinto. Estas operan en modo diferencial, lo que significa que portan voltajes invertidos, para disminuir la interferencia de ruido. Los niveles de voltajes dependen del estándar utilizado. En la Figura 3.1 se muestra un esquema que representa esta situación.

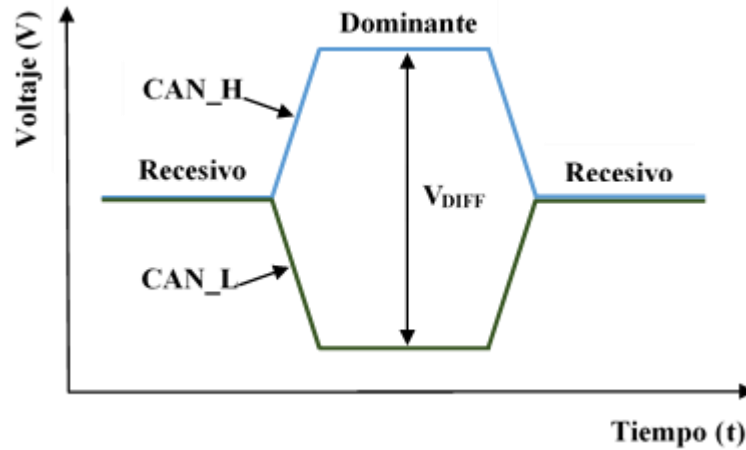


FIGURA 3.1. NIVELES DE VOLTAJES CAN UTILIZADOS PARA REPRESENTAR UN BIT DOMINANTE O UNO RECESIVO.

Como se muestra en la Figura 3.1 para la representación de un bit “Recesivo” (1 lógico) los niveles de voltaje de las señales CAN_H y CAN_L es el mismo; y para la representación de un bit “Dominante” (0 lógico) existe una diferencia de voltaje, V_{DIFF} , en donde el nivel de voltaje

CAN_H es mayor que el de CAN_L. DeviceNet utiliza los valores definidos por ISO 11898-2, adaptada en IEC 62026-3, para los niveles de voltaje de estas señales. En la Tabla 3.1 se describen los niveles de voltaje definidos por esta especificación. [30, pp. 82, 83]

Señal	Recesivo			Dominante			Unidad
	Min	Nominal	Máx.	Min	Nominal	Máx.	
CAN-High	2.0	2.5	3.0	2.75	3.5	4.5	Volt
CAN-Low	2.0	2.5	3.0	0.5	1.5	2.25	Volt

TABLA 3.1. NIVELES DE VOLTAJE DEFINIDOS PARA LA SEÑAL CAN EN DEVICENET.

CAN es un protocolo de transmisión síncrona. Por ello, para que el receptor esté habilitado para recibir un mensaje, se requiere de continuas resincronizaciones. Para ello, se utiliza el bit-time, o tiempo de bit, el cual se subdivide en 4 segmentos. En la Figura 3.2 se representa el bit-time nominal CAN.



FIGURA 3.2. BIT-TIME NOMINAL CAN Y SUS SEGMENTOS.

De la Figura 3.2 se desprenden las siguientes definiciones:

- ❖ **Segmento de Sincronización (SYNC_SEG):** Es usada para sincronizar los nodos conectados en el bus. Se espera que un borde quede dentro de este segmento.
- ❖ **Segmento de Retardo de Propagación (PROP_SEG):** Es usado para compensar los retardos debidos a la propagación de la señal en el medio físico dentro de la red. Considera los recorridos de ida y vuelta de la señal entre un nodo transmisor y un nodo receptor.
- ❖ **Segmento de Fase 1 (PHASE_SEG1) y Segmento de Fase 2 (PHASE_SEG2):** Son usados para compensar errores de fase de borde. Estos segmentos de tiempo pueden ser alargados o acortados para lograr la resincronización.
- ❖ **Punto de Muestreo (Sample Point):** Es el momento en que el nivel del bus es leído e interpretado como un valor respectivo de bit. Se ubica al final del PHASE_SEG1.

A través de la subdivisión del bit-time en los segmentos de tiempos, se logra los propósitos de sincronización y las sucesivas resincronizaciones. Entonces, se distinguen dos tipos de sincronización: Sincronización Dura (Hard) y Resincronización por salto de anchura.

- ❖ **En la Sincronización Dura (Hard),** el bit-time es reiniciado al término del segmento de sincronización (SYNC_SEG). Por consiguiente, el borde que causó la sincronización dura, queda dentro del SYNC_SEG del bit-time reiniciado.
- ❖ **En la Resincronización por salto de anchura,** los segmentos de fase son acortados o alargados, para cambiar el punto de muestreo. En este caso, el PHASE_SEG1 es alargado, y el PHASE_SEG2 es acortado dentro del bit-time. Por tanto, estos segmentos parten con un valor inicial por sobre el cual se alargan o acortan. [30, pp. 86, 87]

En el contexto del protocolo de comunicación CAN, define la unidad Transmisora o Receptora según la función que está realizando, en determinado momento.

- ❖ **Transmisor CAN:** una unidad originadora de un mensaje es llamada “Transmisor” de ese mensaje. La unidad permanece como Transmisor hasta que el bus está desocupado o bien, hasta que la unidad pierda el arbitraje.
- ❖ **Receptor CAN:** una unidad es llamada “Receptora” de un mensaje, si esta no es Transmisora de un mensaje y el bus no está desocupado.

La especificación CAN define 4 tipos de tramas, o frames, para la transmisión de datos, y son las siguientes:

- ❖ **Data Frame** (Trama de Dato): porta datos desde un transmisor a los receptores.
- ❖ **Remote Frame** (Trama Remota): es transmitido por una unidad del bus para requerir la transmisión del Data Frame con el mismo IDENTIFIER.
- ❖ **Error Frame** (Trama de Error): es transmitido por cualquier unidad que haya detectado un error en el bus.
- ❖ **Overload Frame** (Trama de Sobrecarga): es usado para proveer un retardo extra entre el precedente y el siguiente Data Frame o Remote Frame.

3.1.1 TRAMA DE DATOS DE CAN.

El Data Frame, o Trama de Datos, porta los datos desde un dispositivo transmisor a uno o varios dispositivos receptores. Está compuesto de 7 diferentes campos de bits que se muestran en la Figura 3.3:

- ❖ **Start of Frame** (Comienzo de Trama, SOF)
- ❖ **Arbitration Frame** (Arbitraje de Trama)
- ❖ **Control Field** (Campo de Control)
- ❖ **Data Field** (Campo de Dato)
- ❖ **CRC Field** (Campo CRC)
- ❖ **ACK Field** (Campo ACK)
- ❖ **End of Frame** (Fin de Trama, EOF)

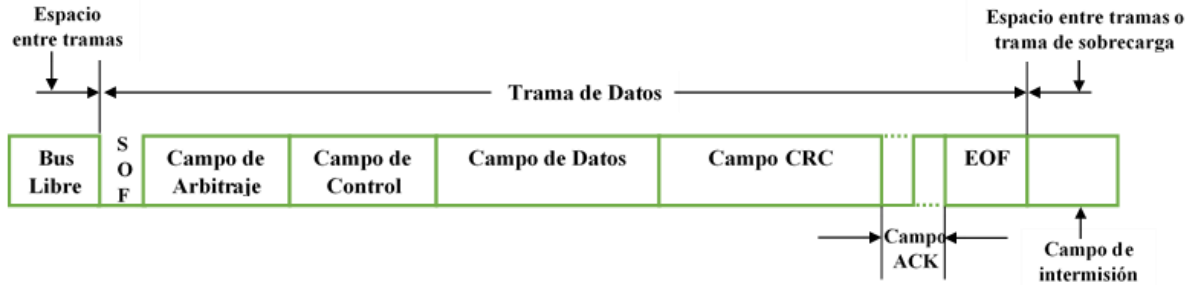


FIGURA 3.3. REPRESENTACIÓN DEL DATA FRAME CAN.

3.1.1.1 START OF FRAME (SOF).

El Start of Frame indica el comienzo del Data Frame. Consiste de un único bit “dominante”. Una estación puede comenzar a transmitir solamente cuando el bus está desocupado. Al comenzar a transmitir un nodo, éste lleva al bus a un estado dominante a través del bit de comienzo Start of Frame, por lo cual, todas las estaciones deben sincronizarse al cambio de estado producido por este para escuchar la transmisión. En el caso de que más de una unidad comience a transmitir simultáneamente, el conflicto por el acceso al medio se resuelve mediante el arbitraje.

3.1.1.2 ARBITRATION FIELD.

El Arbitration Field, o Campo de Arbitraje, es la porción del Data Frame en dónde opera el mecanismo de arbitraje para resolver el conflicto por el acceso al medio. El Arbitration Field de CAN se compone del Identifier, o Identificador, y el RTR-Bit.

3.1.1.3 CONTROL FIELD.

El Control Field, o Campo de Control, entrega la información acerca de cuántos Bytes de datos son contenidos dentro del Data Field, o Campo de Dato, que le siguen después. El Control Field consiste de 6 bits, distribuidos en el Data-Length-Code, o Código de Longitud de Dato, de 4 bits y los 2 bits restantes están reservados. Los bits reservados deben ser enviados como “dominante”.

3.1.1.4 DATA FIELD.

El Data Field, o Campo de Datos, contiene los datos a transferir. Puede contener desde 0 hasta 8 Bytes, lo cual es indicado previamente en el Campo de Control. Los 8 bits son transmitidos desde el MSB al LMS.

3.1.1.5 CRC FIELD.

El CRC Field, o Campo de CRC, tiene una longitud de 16 bits, divididos en la Secuencia CRC (CRC Sequence) de 15 bits, seguida por el Delimitador CRC (CRC Delimiter) de 1 bit.

3.1.1.6 ACK FIELD.

El ACK Field, o Campo ACK, significa el Campo de Reconocimiento. Se compone de 2 bits, el ACK Slot, o Ranura ACK, y el ACK Delimiter, o Delimitador ACK.

Cuando el nodo Transmisor envía los 2 bits del ACK Field, éstos son de niveles “recesivos”. Cuando el nodo Receptor ha recibido un mensaje correctamente, reporta esto al Transmisor por el envío de un bit “dominante” durante el ACK Slot (envía un “ACK” o reconocimiento).

3.1.1.7 END OF FRAME.

El End of Frame, o Fin de Trama, delimita a todo Data Frame, para indicar, tal como su nombre lo indica, el fin de éste. Consiste de una secuencia de 7 bits “recesivos”. [30, pp. 103-110]

3.1.2 EL PROPÓSITO DE DEVICENET.

Un producto es atractivo para los usuarios finales si permite reducir los costos de operación, incrementar las utilidades y mejorar la ventaja competitiva. Las cuatro áreas principales en las cuales se pueden lograr estas cosas son: instalación, mantenimiento, detección de fallas, y tiempo muerto. DeviceNet ofrece ventajas en cada una de estas cuatro áreas. Por ejemplo, DeviceNet reduce los tiempos de preparación e instalación debido a su esquema simplificado de alambrado para acometidas múltiples y a la eliminación de alambrado de punto a punto. DeviceNet puede también reducir los errores potenciales de alambrado y el tiempo que se requiere para corregirlos. Esto puede reducir los costos de alambrado por un factor de tres o cuatro.

De la misma manera que ahorra tiempo y dinero en la instalación, DeviceNet ofrece costos de mantenimiento significativamente menores debido a que sus dispositivos inteligentes pueden detectar un problema antes que cause daños severos, pérdida de producto, o tiempo muerto.

3.1.2.1 DIAGNÓSTICO.

Mediante la colocación de microprocesadores en cada dispositivo, se ha agregado una forma de inteligencia. Se aprovecha esta inteligencia haciendo que cada dispositivo se monitoree a sí mismo y monitoree dispositivos asociados (como por ejemplo motores, bombas, o excitadores) para señas de desgaste, daño o falla. Teniendo un diagnóstico en dispositivos reduce el tiempo muerto alertando a los operadores inmediatamente cuando falla un dispositivo. Se puede utilizar también el diagnóstico para monitorear dispositivos para detectar problemas potenciales y corregirlos antes que cierren el sistema.

3.1.2.2 INSERCIÓN CON ALAMBRE VIVO.

¿Cómo es posible que dispositivos enlazados en DeviceNet tengan mucho mejor desempeño si el dispositivo está haciendo la misma tarea que solía hacer? DeviceNet fue diseñado teniendo en mente la inserción y remoción de componentes con alambre vivo. Por ejemplo, un sensor fotoeléctrico puede tener un cambio de enfoque en línea de tal manera que pueda adaptarse a tareas diferentes sin cerrar las operaciones para establecer una nueva configuración. Si existe un problema, el dispositivo es suficientemente inteligente para decir a los ingenieros que ya no es confiable, de tal manera que el problema puede ser resuelto casi inmediatamente. Y para corregir el problema, las operaciones ya no tienen que ser suspendidas para un nuevo alambrado. Simplemente se desatornilla el dispositivo que presenta falla y se atornilla el nuevo dispositivo compatible con DeviceNet. Este reemplazo rápido se conoce como inserción con alambre vivo puesto que la energía puede estar conectada mientras se efectúan las composturas.

3.1.2.3 DISPOSITIVOS DE ENTRADA/SALIDA (E/S).

Los departamentos de ingeniería de tamaño reducido consideran los dispositivos E/S inteligentes como ahorradores de tiempo. Los instrumentos de DeviceNet tienen capacidad de base de datos, pueden ser calibrados en campo, y pueden efectuar diagnósticos a distancia. La capacidad de conexión y utilización de DeviceNet, su capacidad de detección de falla mejorada, y de diagnóstico a nivel de nodo contribuyen a reducir el tiempo muerto. Y la inteligencia incrementada en los nodos no solamente ahorra tiempo a los usuarios, sino que junto con la lógica distribuida puede eliminar la necesidad de controladores separados para muchas aplicaciones. Finalmente, además de todas las eficiencias de tiempo y costo que

ofrece, DeviceNet ayuda a las plantas a cumplir con los estándares de calidad y seguridad ISO 9000. [21, p. 7]

3.2 CAPA FÍSICA Y CARACTERÍSTICAS DE DEVICENET.

Puesto que el chip de CAN fue diseñado para operar a varias velocidades, los usuarios finales pueden seleccionar utilizar DeviceNet a velocidades diferentes. Medimos la velocidad de comunicación en número de bits (contados en 1000s) por segundo (Kbps o bien KBaud). La velocidad de comunicación depende de la longitud del cable del sistema.

Entre más corto el sistema, más rápido puede comunicar DeviceNet. DeviceNet tiene tres velocidades correspondientes a las longitudes diferentes de sistemas: 125, 250, y 500 KBaud. En términos métricos, las longitudes de los cables son fáciles de recordar: 500 metros, 250 metros, y 100 metros respectivamente si se está utilizando un cable grueso para toda la troncal. Los equivalentes ingleses se muestran en la Tabla 3.2. La Figura 3.4 muestra como las velocidades varían según la longitud de cables gruesos y delgados utilizados en el sistema.

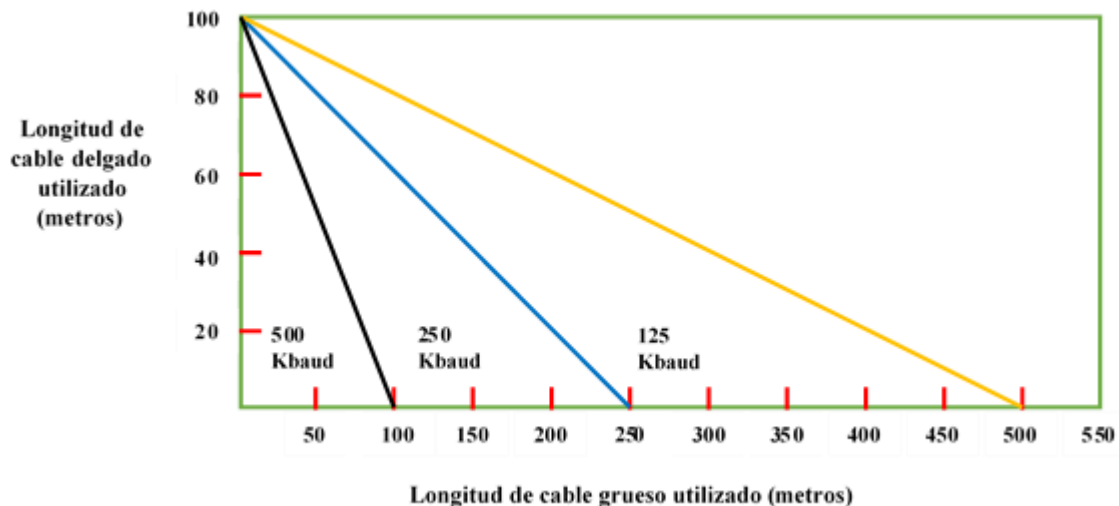


FIGURA. 3.4. ENTRE MÁS CORTO EL SISTEMA, MÁS RÁPIDO PUEDE COMUNICAR DEVICENET.

3.2.1 DISTANCIAS MÁXIMAS.

Manteniendo la velocidad de comunicación deseada, incluye también dos reglas adicionales para la configuración de troncal y línea de acometida:

- ❖ **Acometida individual máxima:** la longitud mayor que puede tener un cable secundario
- ❖ **Acometida acumulada:** la longitud total de todos los cables secundarios.
- ❖

La Tabla 3.2 presenta un resumen de los parámetros de distancia versus velocidad. Obsérvese que todas las distancias y velocidades siguen teniendo 64 nodos en la línea. Se debe también recordar que un sistema es tan rápido como el más lento de sus componentes.

Velocidad de Datos	125 Kbaud	250 Kbaud	500 Kbaud
Número de Nodos	64	64	64
Distancia de cable Grueso	1640ft (500 metros)	656ft (200metros)	328ft (100 metros)
Distancia de cable Delgado	328ft (100 metros)	328ft (100 metros)	328ft (100 metros)
Acometida individual Máxima	20ft (6 metros)	20ft (6 metros)	20ft (6 metros)
Acometida Acumulada	512 ft (156 metros)	256 ft (78 metros)	128 pies (39 metros)

TABLA 3.2. VELOCIDAD DE DATOS Y DISTANCIAS.

3.2.2 VALORES DE OPERACIÓN SEGÚN UL.

El medio físico puede tener un valor de operación según *UL-Underwriter's Laboratories, Inc.* de 300-600 Volts. El valor de operación que necesita será determinado por las necesidades de la aplicación particular, en dónde se usa el cable en la planta, las condiciones eléctricas y ambientales existentes, y el trabajo que se está realizando.

3.2.3 NÚMERO DE NODOS.

Un nodo es una unión o un punto de enlace, en una red. Puede referirse a un solo dispositivo, es decir, un interruptor limitador particular. Un nodo puede ser un grupo de dispositivos alambrados a un bloque de terminal de entradas y salidas un bloque E/S. Un bloque E/S releva la información de los dispositivos conectados a él, a partir de una dirección de nodo única. Existen algunos límites en cuanto a las combinaciones de bloque E/S que pueden estar en la red. DeviceNet puede soportar hasta 64 nodos, y de tres o cuatro veces este número de objetos, según la configuración.

3.2.4 RESISTENCIAS TERMINALES.

La mayoría de las redes de comunicación actuales utilizan resistencias terminales para correspondencia de impedancia a lo largo de las líneas de comunicación. Esto es cierto en el caso de sistemas más antiguos (como por ejemplo, Data Highway y Data Highway Plus), así como en el caso de sistemas de comunicación en red más recientes (como por ejemplo DeviceNet, Interbus-S, y Profibus DP). Sin resistencias terminales, existiría tanto ruido e interferencia en la línea que el sistema de control podría caerse.

DeviceNet requiere de dos resistencias terminales en su red, una en cada extremo de la troncal. Las resistencias son:

- **121 Ohm**
- **Película de metal al 1%**
- **1/4 Watt**

3.2.5 ESTÁNDARES.

Como forma de estandarizar el desempeño de envolturas, grupos tales como National Electrical Manufacturers Association (NEMA) e International Standard (IP) han creado sistemas de calificación para identificar la capacidad de un producto para resistir a fuerzas ambientales externas. A continuación la Tabla 3.3 presenta una lista de estándares que deben cumplir cables y conectores sellados en DeviceNet:

NEMA 1, 3, 4, 6, y 13

IP 67

Estos estándares de envoltura NEMA se aplican a cables y conectores sellados.

Clasificación de Protección IP de International Standard.

Designación de tipo	Definición NEMA
1	Envolturas para uso interno, primariamente para proporcionar un grado de protección contra contacto con el equipo cubierto o lugares en donde no existen condiciones de servicio no habituales.
3	Envolturas contempladas para uso externo, primariamente para proporcionar un grado de protección contra polvo aventado por el aire, lluvia y aguanieve; no dañado por la formación de hielo en la envoltura.
4	Envolturas contempladas para uso en interiores o exteriores, primariamente para proporcionar un grado de protección contra polvo aventado por el aire y lluvia, agua salpicada, agua aplicada con manguera; no se dañan por formación de hielo en la envoltura.
6	Envolturas contempladas para uso en interiores o exteriores en casos de inmersión ocasional.
13	Envolturas contempladas para uso en interiores, primariamente para proporcionar un grado de protección contra polvo, agua rociada, aceite, refrigerantes no corrosivos.

TABLA 3.3. LISTA DE ESTÁNDARES QUE DEBEN CUMPLIR CABLES Y CONECTORES SELLADOS EN DEVICENET.

3.2.6 SUMINISTRO DE ENERGÍA.

DeviceNet le permite utilizar suministros de energía individual o múltiple, y proporciona una cantidad mucho mayor de corriente a los dispositivos que redes comparables. Mediante la utilización de suministro de energía ordinario, DeviceNet garantiza también una amplia disponibilidad de partes a un precio razonable. A continuación se presentan algunos detalles sobre la capacidad del sistema de cableado DeviceNet:

- ❖ Capacidad de corriente de suministro individual de hasta 16 Amperes total de corriente continua (troncal gruesa).

- ❖ Hasta 8 Amperes disponibles para un dispositivo ubicado cerca de una fuente de energía.
- ❖ Hasta 3 Amperes disponibles si se utiliza una línea de acometida
- ❖ Bus de energía continuo (no segmentado) cuando se utilizan múltiples suministros de energía. Esto significa que todos los dispositivos pueden utilizar la energía de cualquier suministro en la línea, sin limitarse a un suministro de energía específico.
- ❖ El sistema DeviceNet es ópticamente aislado de los dispositivos. Esto protege el sistema contra los efectos destructores de una sobretensión o sobrecorriente (cortocircuito) en un dispositivo.

Los suministros de energía pueden colocarse de varias maneras. Cualquier arreglo es factible a condición que cumpla con todos los límites de intensidad en el sistema y pueda suministrar suficiente energía a todos los dispositivos. [21, pp. 26-30]

Los dispositivos DeviceNet deben cumplir con requisitos de interoperabilidad e intercambiabilidad.

- ❖ La interoperabilidad se refiere a que todo dispositivo DeviceNet, independientemente del fabricante, tiene la capacidad de ser configurado para operar dentro de una red DeviceNet.
- ❖ La intercambiabilidad se refiere a que todo dispositivo que sigue un mismo perfil es capaz de ser sustituido por otro, independientemente del fabricante, que cumple con el mismo perfil. [31, p. 21]

3.2.7 CODIFICACIÓN DE BIT.

El método de codificación de bit (bit-encoding) utilizado por DeviceNet es Non Return to Zero, NRZ (no retorno a cero). Según esta codificación de bit, el nivel de señal permanece constante durante el bit-time (tiempo de bit) y así simplemente un tiempo de slot (time slot) es necesario para representar un bit (otros métodos de codificación de bit son por ejemplo, Manchester o Modulación por Ancho de Pulso, PWM). El nivel de señal puede permanecer constante durante un periodo largo de tiempo; entonces es necesario tomar medidas para asegurar que el máximo intervalo permitido entre dos bordes de señal no sea excedido. Esto es importante para los propósitos de sincronización. Un bit de relleno (bit-stuffing) es insertando

luego de 5 bits de igual valor. El receptor identifica los bits de relleno y procesa el contenido del dato original.

3.2.8 ESPECIFICACIONES DEL MEDIO FÍSICO.

La especificación DeviceNet define 3 tipos de cables: Round-Thick, Round-Thin y Flat (o plano). Los medios Round tienen 5 hilos conductores, mientras que el medio Plano tiene 4. En la Tabla 3.4 se muestran los hilos conductores definidos en DeviceNet.

Color de cable	Identificación de cable	Uso en cables tipo Round	Uso en cables tipo Flat
Blanco	CAN_H	Señal	Señal
Azul	CAN_L	Señal	Señal
Desnudo	Drenaje	Blindaje	N/A
Negro	V-	Fuente	Fuente
Rojo	V+	Fuente	Fuente

TABLA 3.4 HILOS DE CABLES ESPECIFICADOS EN DEVICENET.

Pueden observarse los hilos conductores para las señales CAN_H y CAN_L. También puede notarse que se incluye un par de hilos conductores correspondientes a V- y V+, por los cuales se entrega la energía a los distintos dispositivos conectados al bus. Estos pares están presentes en los 3 tipos de cable. Además, se define un quinto hilo conductor para los cables tipo Round (Thick y Thin) para protección eléctrica, Drenaje.

3.3 CAPA DE ENLACE DE DATOS.

3.3.1 MÉTODO DE ACCESO AL MEDIO.

Como se ha mencionado, DeviceNet implementa el protocolo de CAN en su capa de enlace. Así, el método de acceso al medio definido por CAN consiste en un mecanismo de arbitraje de bus para evitar la pérdida de la información debida a una colisión. Este método ha sido llamado CSMA/NBA, lo cual es la sigla para Carrier Sense Media Access/Not destructive Bit-

wise Arbitration, que se traduce como Acceso al Medio por Detección de Portadora/Arbitraje de Bit-inteligente no destructivo. [30, p. 101]

La particularidad de este método es la siguiente:

Cuando un elemento transmite, se escucha así mismo para asegurarse que la transmisión es correcta, detectando así transmisiones simultáneas.

Si dos nodos intentan transmitir simultáneamente un algoritmo especial de arbitraje resuelve el conflicto sin pérdida de datos. Se decide que nodo accede al bus, y el resto de nodos esperarán a que el bus quede libre.

En Ethernet, cuando hay colisión, todas las tramas se pierden. En CAN, cuando se detecta una colisión, sobrevive la trama con mayor prioridad. Este procedimiento se lleva a cabo antes de enviar los datos del mensaje, por lo cual la información no se destruye, permitiendo aprovechar el bus al 100%.

El ganador del arbitraje es aquel con el número identificador (11 bits) más bajo.

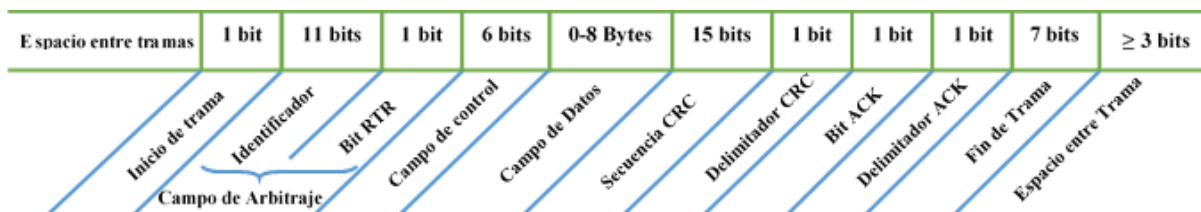


FIGURA 3.5. TRAMA DE PROTOCOLO CAN.

El método que se aplica se basa en estas tres premisas:

1. Se realiza una función AND con todos los bits presentes en el bus.
2. Cada nodo lee la información presente en el bus.
3. Si la información no coincide con la que se “coloca” en el bus, se abandona la transmisión. [1, pp. 338, 339]

La capa de enlace de datos se divide en dos subcapas: Control de Enlace Lógico (LLC, Logic Link Control) y Control de acceso al medio MAC (Media Access Control).

3.3.1.1 CONTROL DE ENLACE LÓGICO.

La subcapa de control de Enlace Lógico describe la parte alta de la capa de enlace de datos y define las tareas independientes del método de acceso al medio, así mismo proporciona dos tipos de servicios de transmisión sin conexión al usuario LLC (LLC User):

- ❖ Servicio de Transmisión de Datos sin Reconocimiento: Proporciona, al usuario LLC, los medios para intercambiar unidades de datos de servicio de enlace (LSDU, Link Service Data Units) sin establecer una conexión de enlace de datos. La transmisión de datos puede ser punto a punto, multidifusión o difusión.
- ❖ Servicio de Petición de Datos Remota sin Reconocimiento: Proporciona, al usuario LLC, los medios para solicitar que un nodo remoto transmita sus LSDU's sin establecer una conexión de enlace de datos.

De acuerdo con los tipos de servicio, se definen dos formatos de tramas, de datos LLC y remota LLC. Ambos formatos definen identificadores de 11 bits (estándar) y de 29 bits (extendida).

3.3.1.1.1 FUNCIONES DE LA SUBCAPA LLC.

La subcapa LLC realiza las siguientes funciones:

- ❖ Filtrar mensajes (frame acceptance filtering): El identificador de una trama no indica la dirección destino pero define el contenido del mensaje, y mediante esta función todo receptor activo en la red determina si el mensaje es relevante o no para sus propósitos.
- ❖ Notificar sobrecarga (Overload notification): Si las condiciones internas de un receptor requieren un retraso en la transmisión de la siguiente trama de datos o remota, la subcapa LLC transmite una trama de sobrecarga. Solamente se pueden dos tramas de sobrecarga como máximo.
- ❖ Proceso de recuperación (recovery management): La subcapa LLC proporciona la capacidad de retransmisión automática de tramas cuando una trama pierde el arbitraje o representa errores durante su transmisión, dicho servicio se confirma al usuario hasta que la transmisión se cumple con éxito.

3.3.1.2 CONTROL DE ACCESO AL MEDIO.

Una red CAN brinda soporte para procesamiento en tiempo real a todos los sistemas que la integran. El intercambio de mensajes que demanda dicho procesamiento requiere de un

sistema de transmisión a frecuencias altas y retrasos mínimos. En redes multimaestro, la técnica de acceso al medio es muy importante ya que todo nodo activo tiene los derechos para controlar la red y acaparar los recursos.

Para acceder al medio, los nodos CAN utilizan el mecanismo de arbitraje que se describe enseguida. [25, p. 43]

3.3.1.3 ARBITRAJE DEL BUS.

Cada vez que el bus está libre, cualquier unidad (nodo) puede comenzar a transmitir un mensaje. Si 2 o más unidades comienzan a transmitir un mensaje en el mismo momento, el conflicto por el acceso al bus es resuelto por el mecanismo de bit-wise arbitration (o arbitraje de bit inteligente) usando el IDENTIFIER (o identificador), contenido en la trama CAN. El mecanismo de arbitraje garantiza que ninguna información ni tiempo es perdido.

Como se mencionó anteriormente, el protocolo CAN define dos estados para el bus:

“Recesivo” (1 lógico) y “Dominante” (0 lógico). Los nombres de los estados lógicos tienen que ver con el proceso de arbitraje. Durante el arbitraje todo transmisor compara el nivel del bit transmitido con el nivel de bit que es detectado en el bus. Si estos niveles son iguales la unidad puede continuar enviando. Cuando un nivel “recesivo” es transmitido y un nivel “dominante” es detectado, la unidad ha perdido el arbitraje y debe retirarse sin enviar ningún bit más.

En la Figura 3.6 se muestra una representación de cómo opera el mecanismo de arbitraje del bus CAN, en dónde 3 nodos comienzan a transmitir simultáneamente.

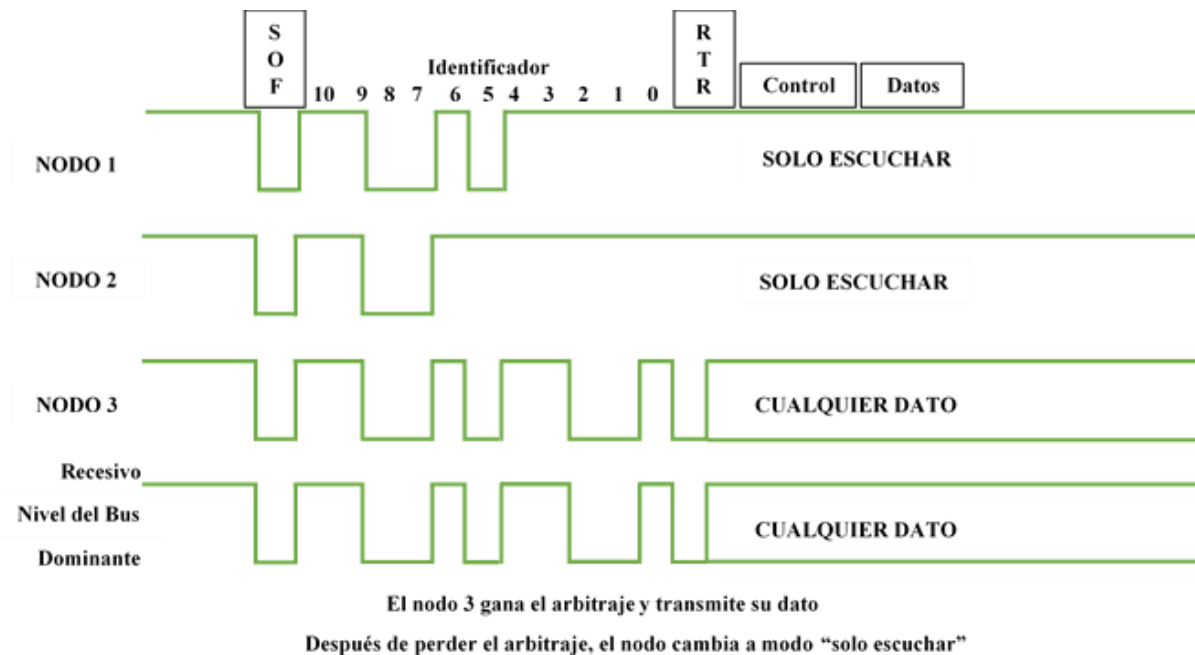


FIGURA 3.6 REPRESENTACIÓN DEL MECANISMO DE ARBITRAJE DEL BUS CAN.

Se observa que los 3 nodos transmiten un IDENTIFIER que es igual hasta el bit 6. Luego de ese momento el mecanismo de arbitraje realiza las siguientes acciones:

- ❖ En el bit 5 del IDENTIFIER, el nodo 2 transmite un nivel recesivo, mientras que los nodos 1 y 3 transmiten un nivel dominante. De esta manera, el nodo 2 pierde el arbitraje al detectar que el estado del bus es recesivo cuando está transmitiendo un nivel recesivo. Por lo tanto, entra en modo “sólo escuchar” y los nodos 1 y 3 aún participan por la contienda del bus.

- ❖ Hasta el bit 3 del IDENTIFIER, los nodos 1 y 3 transmiten niveles de bit iguales. Situación que cambia en el bit 2, en donde el nodo 1 transmite un bit recesivo mientras que el nodo 3 transmite un bit dominante. Ahora el nodo 1 pierde el arbitraje frente al nodo 3 y entra en estado de sólo escuchar. El nodo 3 ha ganado el arbitraje al no haber más contendientes por el bus y transmitirá su dato. [30, p. 102]

3.4 CAPA DE RED Y TRANSPORTE.

Los mensajes de la red CAN llegan a todos los nodos de forma simultánea. Estos deben decidir si los datos que reciben son coherentes. Si no es así, el nodo que detecta el fallo emite un mensaje de error que anula el recibido con fallos.

Cada trama CAN comienza con un identificador de trama llamado COB-ID (Communication Object Identifier). Durante la configuración de la red cada nodo recibe los COB-ID para las tramas que va a proporcionar a la red y para las que va a consumir.

Así, en una red CAN no se hablará de nodos de red, sino de identificadores. Esto permite que un dispositivo de red pueda enviar su imagen de Entradas-Salidas en más de un PDO (Process Data Objects), que podrá ser transmitido mediante diferentes tipos de transmisión, e incluso con prioridades diferentes. Esto también permitirá que pueda haber más de un consumidor para un único PDO, pues solo se fijarán en el COB-ID de la trama.

Para establecer la conexión, el dispositivo genera una petición a la red para reservar un canal de comunicación. Reservado este, entonces se puede realizar la transferencia de datos entre nodos.

El identificador de cada mensaje incorpora información sobre su prioridad, de manera que sus características determinan las posibilidades de sobrevivir a una colisión. La detección de error y retransmisión automática, unido a la gestión de mensajes prioritarios garantiza el trabajo en tiempo real.

Durante la programación es cuando se decidirá los identificadores que se asignan a cada variable de cada nodo, por lo cual es uno de los puntos más delicados del proceso de implementación y puesta en marcha de un bus CAN. [1, pp. 339, 340]

3.4.1 CAN IDENTIFIER (CAN-ID).

Dado que DeviceNet implementa CAN en su capa de enlace, se utiliza el Identifier de 11 bits, del campo de arbitraje del Data Frame, para identificar diferentes mensajes. Por consiguiente, pueden distinguirse $2^{11} = 2048$ mensajes.

El Identifier de CAN, llamado de ahora en adelante CAN-ID, es desglosado por DeviceNet en las siguientes dos partes:

❖ MAC-ID

❖ Mensaje-ID

El MAC-ID es la dirección de nodo (ya sea fuente o destino) dentro de la red. Siempre es de 6 bits. Por lo tanto, la cantidad de nodos admitidos en una red DeviceNet es de 64.

El Mensaje-ID identifica a un tipo de mensaje.

El rango de CAN-IDs está dividido en 4 Grupos de Mensaje, variando el tamaño. En la Tabla 3.5 se pueden observar estos rangos.

ID de Conexión= Identificador CAN											Usado por
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
0	ID de Mensaje				MAC ID Fuente						Mensajes de Grupo1
1	0	MAC ID					ID de Mensaje				Mensajes de Grupo2
1	1	ID de Mensaje			MAC ID Fuente						Mensajes de Grupo3
1	1	1	1	1	ID de Mensaje						Mensajes de Grupo4
1	1	1	1	1	1	1	x	x	x	x	Identificador Inválido de CAN

TABLA 3.5. GRUPOS DE MENSAJE DEVICENET.

En DeviceNet, el CAN-ID es la Connection-ID, CID (o Conexión ID). Comprende el Grupo de Mensaje ID, el Mensaje-ID dentro de este grupo y el MAC-ID del dispositivo, que puede ser dirección de fuente o destino. La definición depende del Grupo de Mensaje y del Mensaje ID.

3.4.2 GRUPOS DE MENSAJES DEVICENET.

Los 4 Grupos de Mensajes usados en DeviceNet se describen a continuación.

3.4.2.1 MENSAJE DE GRUPO 1.

Tiene asignados 1024 CAN-ID (0x0000 – 0x03FF), que es el 50% de todos los IDENTIFIERS disponibles. Hasta 16 Mensajes-IDs diferentes están disponibles por dispositivos (nodo) dentro de este grupo. La prioridad de un mensaje de este grupo es primeramente determinada por el Mensaje-ID (el significado de este mensaje), y solo después por la fuente MAC-ID (dispositivo productor). Si 2 dispositivos transmiten al mismo tiempo, entonces el dispositivo

con el más bajo Mensaje-ID ganará siempre el arbitraje. Sin embargo, si 2 dispositivos transmiten el mismo Mensaje-ID al mismo tiempo sobre el bus CAN, entonces el dispositivo con el menor MAC-ID ganará. Por lo tanto, los Mensajes de Grupo 1 están hechos para el intercambio de datos de proceso de alta prioridad.

3.4.2.2 MENSAJES DE GRUPO 2.

Tiene asignado 512 CAN-ID (0x0400 – 0x05FF). La mayoría de los Mensajes-IDs en este grupo son definidos opcionalmente a lo que normalmente es llamado el Predefined Master/Slave Connection Set (traducido al español como Conjunto de Conexión Predefinida Maestro/Esclavo). Un Mensaje-ID es definido para la gestión de red. La prioridad se determina primero por medio del MAC ID y, sólo después, por medio del Mensaje ID.

3.4.2.3 MENSAJE DE GRUPO 3.

Tiene asignados 448 CAN-ID (0x0600 – 0x07BF). Tiene una estructura similar a la del Grupo 1. Sin embargo, a diferencia de ese grupo, intercambia datos de proceso de baja prioridad. Además, el uso principal de este grupo es preparar conexiones explícitas dinámicas. Son posibles 7 Mensajes IDs por dispositivo, y 2 de estos están reservados a lo que es llamado el puerto Unconnected Message Manager, UCMM, lo cual se traduce como el Gestionador de Mensajería No Conectada.

3.4.2.4 MENSAJE DE GRUPO 4.

Tiene asignados 48 CAN-ID (0x07C0 – 0x07EF). No incluye ninguna MAC ID, sólo Mensajes ID. Los mensajes en este grupo sólo son usados para la gestión de la red. Cuatro Mensajes-ID son normalmente asignados para los servicios del Conjunto de Conexión Offline. Los restantes 16 CAN-ID (0X07F0 – 0X07FF) son inválidos y por lo tanto no se permite su uso en sistemas DeviceNet.

Con esta asignación de CAN-ID, no pueden ser usados por otros los CAN-ID inválidos.

Por consiguiente, cada dispositivo tiene exactamente:

- ❖ **16 Mensajes ID en el Grupo 1,**
- ❖ **08 Mensajes ID en el Grupo 2,**
- ❖ **07 Mensajes ID en el Grupo 3, y**
- ❖ **0 Mensajes ID en el Grupo 4.**

Una ventaja de este sistema es que los CAN-ID usados en la red siempre pueden ser claramente asignados a un dispositivo. Los dispositivos son responsables de la gestión de sus propios identificadores. Esto simplifica el diseño, la manutención y el diagnóstico del sistema DeviceNet. De esta manera, no es necesaria una herramienta central que guarde un registro de todas las asignaciones en la red.

3.4.3 ESTABLECIMIENTO DE LA CONEXIÓN.

El intercambio de mensajes en una red DeviceNet está basado en conexión. Esto significa que debe establecerse primero una conexión entre los dispositivos antes de poder transmitir y recibir. Se puede comparar a una conexión de circuito telefónico. Cuando se realiza una llamada, el sistema de telefonía selecciona un camino para ésta y configura cada estación de combinación en la ruta. Con tal de que la llamada continúe, resulta un circuito virtual (CV) que permanece abierto, transportando datos o tráfico de voz. En el sistema telefónico, una llamada puede atravesar múltiples y diferentes tipos de enlaces. A través de todo esto, aparece la misma conexión en ambos lados de la comunicación: sonido en un extremo, volviéndose sonido también en el otro.

También, una conexión entrega un camino entre 2 puntos extremos. Una vez que el administrador de la conexión determina el circuito virtual, la ruta entre los puntos extremos es fijada. En la Figura 3.7 se representa una transferencia de mensajes DeviceNet a través de un CV basado en conexión.

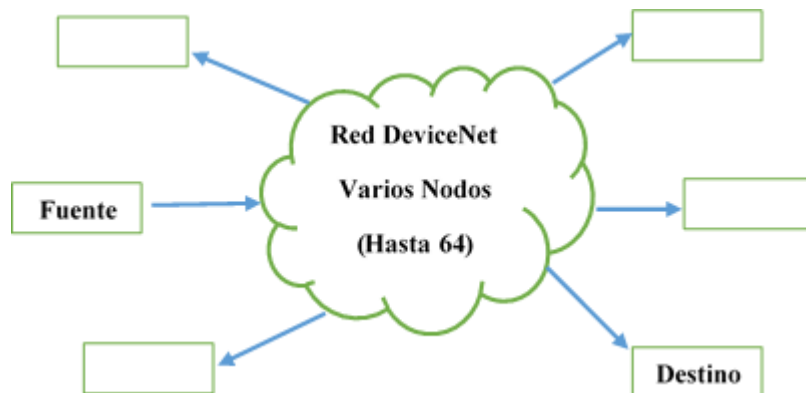


FIGURA 3.7. CIRCUITO VIRTUAL DEVICENET.

Los Communication Objects (Objetos de Comunicación), deben estar preparados para este propósito. Éstos no están disponibles inicialmente cuando un dispositivo es encendido; ellos

deben ser creados primero. Los únicos puertos por los que un dispositivo DeviceNet puede ser direccionado cuando es encendido por primera vez, son el puerto Unconnected Message Manager (UCMM) o el puerto Group 2 Only Unconnected Request del Predefined Master/Slave Connection Set (que se traduce como Conjunto de Conexión Predefinida Maestro/Esclavo).

Para entender cómo funcionan estos puertos, puede ilustrarse que son como las puertas del dispositivo. Sólo una llave abrirá cada puerta. La llave apropiada para cada cerradura es la CONNECTION ID (el CAN-ID con la indicación del MAC-ID y el Mensaje-ID) del puerto seleccionado. Otras puertas en el dispositivo pueden ser abiertas sólo si la llave apropiada está disponible y otras instancias del Connection Objects están preparadas.

La comunicación a través del puerto UCMM representa un procedimiento general que debe ser agregado en todo dispositivo DeviceNet. Dispositivos con la característica de Predefined Master/Slave Connection Set y capacidades UCMM son llamados Servidores de Grupo 2. Un Servidor de Grupo 2 puede ser direccionado por uno o más conexiones de uno o más clientes.

Dado que un dispositivo con capacidades UCMM necesita de buena potencia de proceso para requerimientos de múltiples servicios de comunicación, se ha creado un método de establecimiento de comunicación simplificada e intercambio de I/O para dispositivos de bajas capacidades. Este es llamado el Predefined Master/Slave Connection Set, o Conjunto de Conexión Predefinida Maestro/Esclavo. Este cubre 5 conexiones predefinidas que pueden ser activadas (asignadas) al acceder al dispositivo. El Predefined Master/Slave Connection Set representa un subconjunto del método de establecimiento de conexión general, y se limita a relaciones tipo Master/Slave.

Los dispositivos Slave sin capacidades de UCMM y que sólo soportan éste subconjunto son llamados Group 2 Only Servers. Sólo el Master que asigna esto puede direccionar a un Group 2 Only Server. Todos los mensajes recibidos por este dispositivo son definidos en el Mensaje de Grupo 2. [30, pp. 112-116]

3.5 CAPAS SUPERIORES.

DeviceNet hace servir el protocolo CIP para las capas superiores (Sesión, Presentación, Aplicación y Usuario).

Como el protocolo CIP define una capa de Aplicación común, los datos de las redes basadas en este protocolo no variarán aunque cambie el tipo de red. Al definir los perfiles de los dispositivos, si estos se ciñen al estándar, dos dispositivos que sigan el mismo perfil reaccionarán de manera similar. [1, p. 344]

CIP define objetos que son comunes para los dispositivos de las redes basadas en este modelo. Dentro de los objetos, algunos son de requerimiento mínimo para los dispositivos para implementar una red funcional, los objetos requeridos como mínimo por un dispositivo de red basada en CIP son:

- ❖ Identity Object
- ❖ Message Router Object
- ❖ Object Connection o Connection Manage Object
- ❖ Objetos adicionales específicos de red

Debido a la naturaleza distinta de cada red, se definen objetos adicionales específicos para cada red.

3.5.1 OBJETO ADICIONAL ESPECÍFICO DE RED DEVICENET-OBJECT.

Para la red DeviceNet, la especificación CIP define el objeto adicional específico de red DeviceNet-Object. Este objeto es necesario en todo dispositivo DeviceNet. Las instancias atributos de este objeto contienen la siguiente información para el dispositivo:

- ❖ El MAC-ID de los dispositivos de la red.
- ❖ La tasa de transmisión de la red.

Ambos atributos no son volátiles, por ejemplo, después de una interrupción de energía, el dispositivo está esperando intentar seguir en línea nuevamente con los mismos valores almacenados en esos atributos antes de la interrupción de la energía.

El DeviceNet-Object es identificado como un objeto de *Class ID* 0x03. [30, p. 129]

Gracias a CIP, los mensajes que se generen en una red que haga servir este protocolo, podrán pasar por varias redes sin necesidad de retocar el mensaje en la capa de aplicación. Solo será necesario indicar la ruta que deberán seguir los datos. [1, p. 344]

3.6 TIPOS DE MENSAJES PREDEFINIDOS EN UNA CONEXIÓN MAESTRO/ESCLAVO.

DeviceNet utiliza una dirección de dispositivo dentro del campo de identificación CAN, lo que proporciona un mecanismo de detección de nodos con direcciones repetidas. Esto presenta la ventaja de poder añadir o quitar nodos sin necesidad de conocer la configuración existente. Como no hay que localizar ningún tipo de registro, y los nodos conocen los identificadores en uso, solo es necesaria una petición de conexión entre los dos elementos de red indicando el tipo. [1, p. 344]

El establecimiento de una conexión vía el puerto UCMM requiere, relativamente, numerosos pasos que deben ser completados para permitir el intercambio de datos vía DeviceNet, y los dispositivos deben entregar recursos para administrar las conexiones dinámicas. Dado que todo dispositivo puede preparar una conexión con cualquier otro dispositivo, y el MAC-ID fuente de los dispositivos es contenido en la Connection ID, el CAN-ID puede ser filtrado vía software. Esto depende de sobre cuántas conexiones el dispositivos soporta, y sobre el tipo y número de screeners (filtros CAN-ID en hardware) del chip con protocolo CAN usado en la fabricación del dispositivo.

Mientras esta aproximación maximiza el uso de capacidades CAN de multicast, peer to peer, y Productor/Consumidor, un método más simple requiere menos recursos de CPU para dispositivos menos complejos. Ésta es la razón por la cual fue definido el Predefined Master/Slave Connection Set (Conjunto de Conexión Predefinida Maestro/Esclavo).

La base de este modelo es una estructura de comunicación 1: n, esto es, un dispositivo de control a “n” dispositivos I/O descentralizados. La porción central de cada sistema es conocida como el “Master” y los dispositivos descentralizados son conocidos como “Slaves”. Se permite que se conecten a la red varios Masters, pero un Slave puede ser asignado a solo uno de éstos. [30, p. 117]

3.6.1 CONEXIÓN I/O POLLED.

La conexión tipo Polled, o de sondeo, es usada para implementar la clásica relación Master/Slave entre una unidad de control y un dispositivo. En esta configuración, un Master puede transferir datos a un Slave usando el Poll-Request y recibir datos desde el Slave usando el Poll-Response. En la Figura 3.8 se muestra el intercambio de datos entre un Master y tres Slaves en un modo Polled I/O.

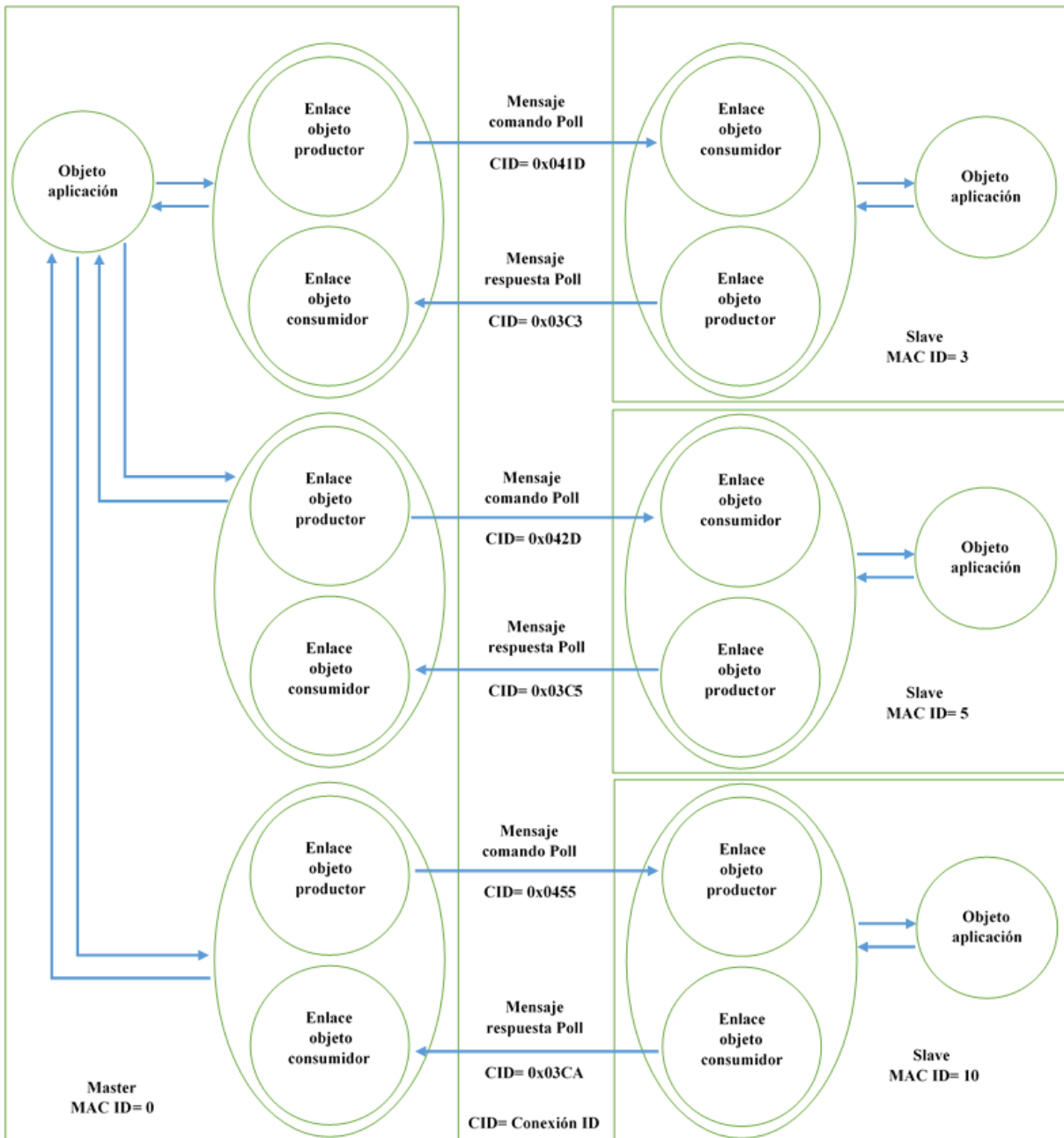


FIGURA 3.8. CONEXIONES POLLED I/O EN DEVICENET.

La cantidad de datos transferidos en un mensaje entre un Master y un Slave usando la conexión Polled puede ser de cualquier longitud. Si la longitud excede a 8 Bytes, el protocolo de fragmentación es usado automáticamente. La conexión Polled I/O siempre es una conexión punto a punto entre un Master y un Slave. Los Slaves consumen los mensajes Poll y envían de regreso una respuesta apropiada (normalmente sus datos de entrada).

La conexión Polled está sujeta a la función de monitoreo de tiempo, que puede ser ajustada en el dispositivo. Un comando Poll debe haber sido recibido dentro de este tiempo ($4 \times \text{EPR}$) o bien la conexión revierte a modo time-out (fuera de tiempo). Cuando una conexión está en time-out, el nodo opcionalmente puede pasar a un estado de falla, preconfigurado según lo haya definido el usuario. El Master realiza el poll en todos los Slaves normalmente mediante el método round-robin.

El tiempo de respuesta de un Slave a un comando Poll no está definido en la especificación DeviceNet. Esto entrega flexibilidad a los dispositivos Slaves que están diseñados para aplicaciones simples; sin embargo, puede excluir al dispositivo para el uso en aplicaciones de alta velocidad.

3.6.2 CONEXIÓN BIT-STROBE I/O.

La conexión I/O Bit-Strobe es un tipo de conexión Multicast, en que el Master realiza la transmisión de mensajes a través de un comando llamado Bit-Strobe-Command. Utilizando este comando, el Master envía un mensaje multicast que alcanza a todos los Slaves asignados por la Conexión I/O Bit-Strobe. El frame enviado por el Maestro a través de este comando, siempre es de 8 Bytes o de 0 Bytes (si está desocupado). De estos 8 Bytes, cada Slave está asignado a 1 bit.

Cada Slave puede enviar de regreso hasta 8 Bytes de datos en su respuesta. En la Figura 3.9 se muestra el formato de dato de la conexión Bit-Strobe I/O.

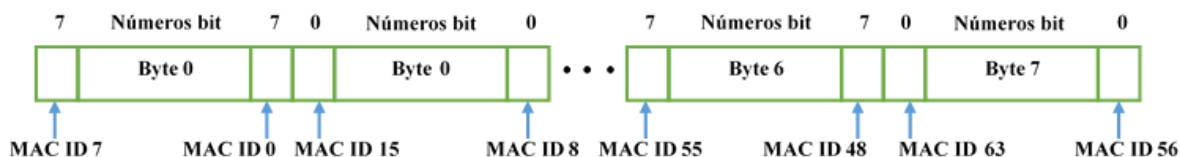


FIGURA 3.9. FORMATO DE DATO DE LA CONEXIÓN BIT-STROBE I/O DE DEVICENET.

En una conexión Multicast, un Master envía un mensaje sobre la red que todos los nodos Slaves ven simultáneamente, pero que sólo los nodos que estén asignados lo consumirán. En la Figura 3.10 se representa una conexión Bit-Strobe como una conexión multicast.

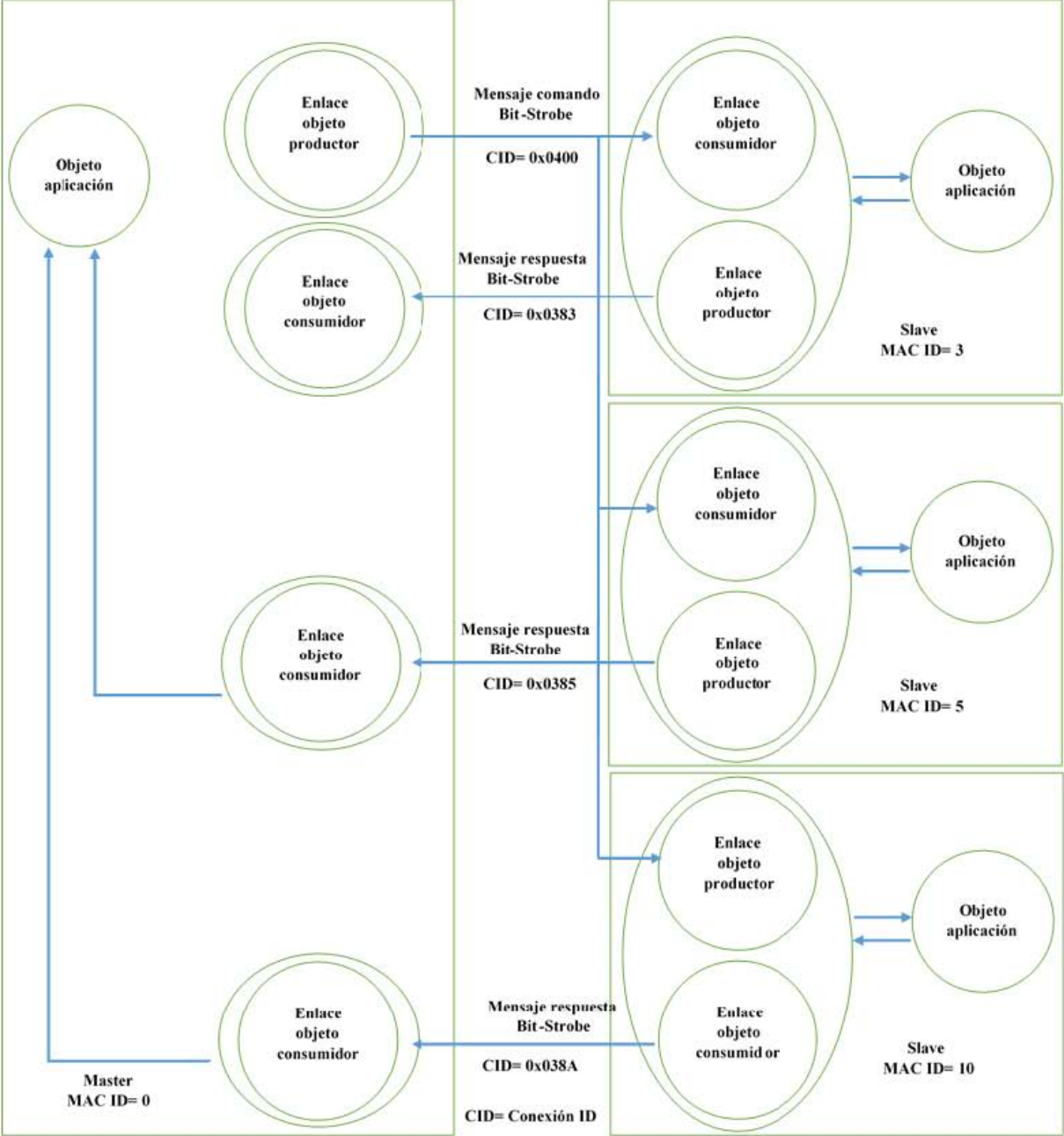


FIGURA 3.10. CONEXIÓN I/O BIT-STROBE DE DEVICENET.

Dado que todos los dispositivos en una red reciben el comando Bit-Strobe al mismo tiempo, ellos pueden ser sincronizados por medio de este comando. Cuando el comando Bit- Strobe es recibido, el Slave puede consumir su bit asociado, y envía entonces una respuesta de hasta 8 Bytes.

Como se desprende de la Figura 3.10, el comando Bit-Strobe utiliza el MAC ID fuente en la conexión ID. Debido a esto los dispositivos que soportan la conexión Bit-Strobe I/O y que tienen un chip CAN con screening limitado a 8 bits del CAN-ID (11 bits), deben realizar un screening por software del CAN Identifier.

3.6.3 CONEXIÓN I/O CAMBIO DE ESTADO/CÍCLICO (COS/CYCLIC I/O).

La conexión I/O COS/Cyclic es diferente de los otros tipos de conexión I/O en que ambos endpoints (puntos extremos) producen sus datos independientemente. Esto puede ser llevado a cabo a través de un cambio de estado o por medio de un ciclo. En el primer caso, la conexión I/O COS reconoce que el dato del objeto de aplicación indicado por el Produced Connection Path (o Camino de Conexión Producido) ha cambiado. En el segundo caso, un tiempo de la conexión I/O Cyclic expira y entonces dispara (*trigger*) la transferencia de mensaje de los últimos datos del objeto de aplicación. En la Figura 3.11 se representan conexiones del tipo I/O COS/Cyclic.

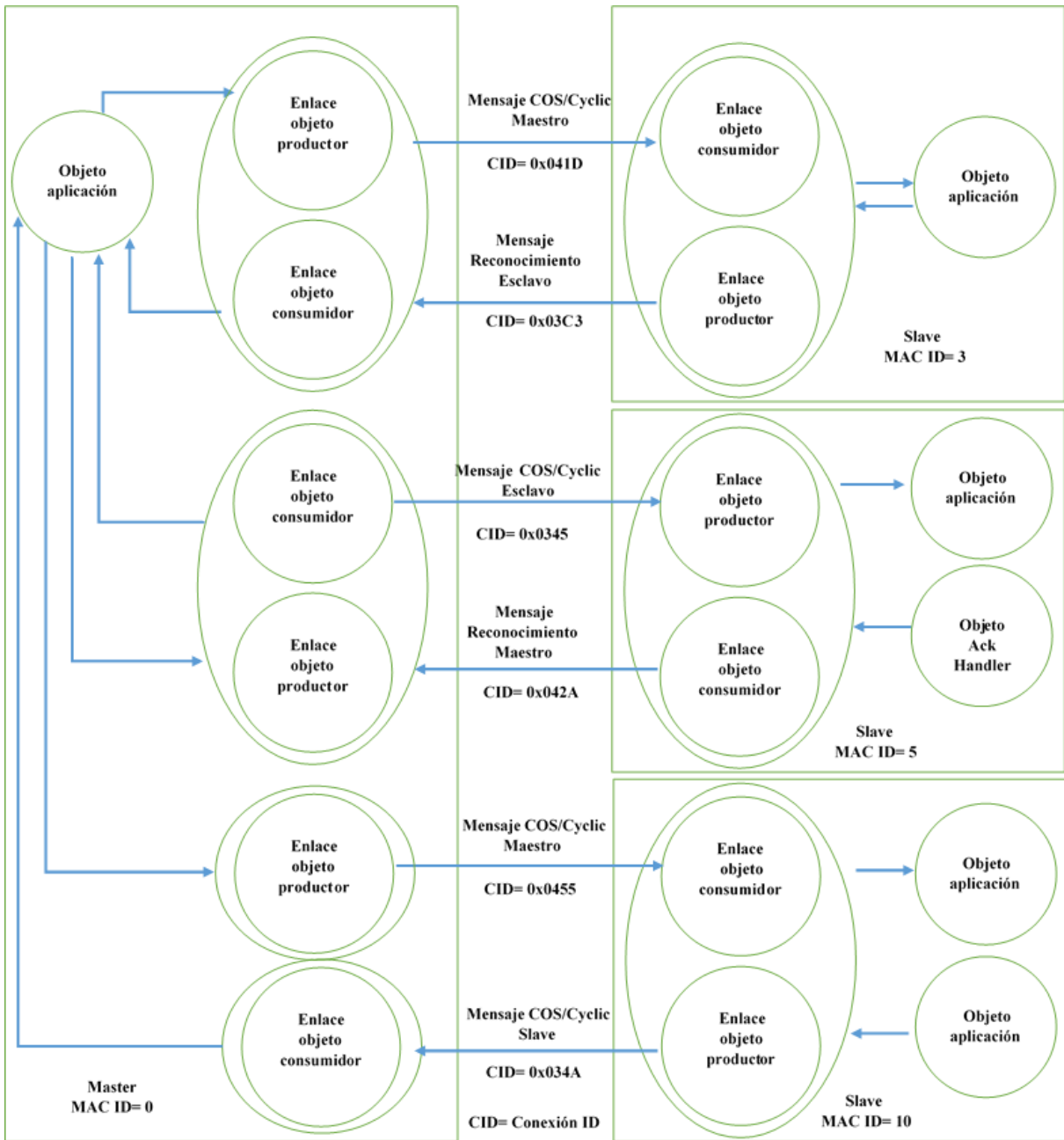


FIGURA 3.11. CONEXIONES I/O COS/CYCLIC POSIBLES EN DEVICENET.

Una conexión COS/Cyclic I/O puede ser configurada con reconocimiento (Acknowledged) o sin reconocimiento (unacknowledged).

En la configuración Acknowledged, el lado consumidor de la conexión debe definir un camino al Acknowledge Handler Object para asegurar que los reintentos, si son necesarios, son gestionados apropiadamente.

Una conexión I/O COS/Cyclic puede ser también originada desde un Master, haciéndole aparecer al Slave como una Conexión I/O. Esto puede observarse en la Figura 3.11, dado que la misma Conexión ID es emitida por el Mensaje I/O Polled del Master como es emitido por el Mensaje I/O COS/Cyclic del Master.

Las conexiones COS poseen dos comportamientos adicionales. El Expected Packet Rate (EPR) es usado como un *Production Trigger*, o productor de disparo, por defecto, tal que, si el dato no tiene cambios después que el Timer-EPR ha expirado, éste será notado. Éste “Heart-beat” (o latido), como algunas veces es llamado, es utilizado para que los nodos consumidores puedan saber la diferencia entre un nodo “muerto” y uno cuyos datos no han cambiado. Las conexiones COS poseen también una característica *Production Inhibit Timer* (Temporizador de Inhibición de Producción) que previene a un nodo de producir datos demasiados frecuentes, y que en consecuencia utilizan demasiado ancho-de-banda. El Production Inhibit Timer determina la cantidad de tiempo que el nodo debe permanecer en silencio después de producir datos a la red. [30, pp. 121-125]

3.7 TOPOLOGÍA DE LA RED DEVICENET.

La red DeviceNet utiliza una topología lineal Figura 3.12 con pares separados para transmisión de señal y de potencia.

El cable grueso (Thick cable) o delgado (Thin cable) puede utilizarse tanto para línea principal (Trunk line) como para líneas secundarias (drop lines). La longitud de red variará tanto por la velocidad como por los cables utilizados.

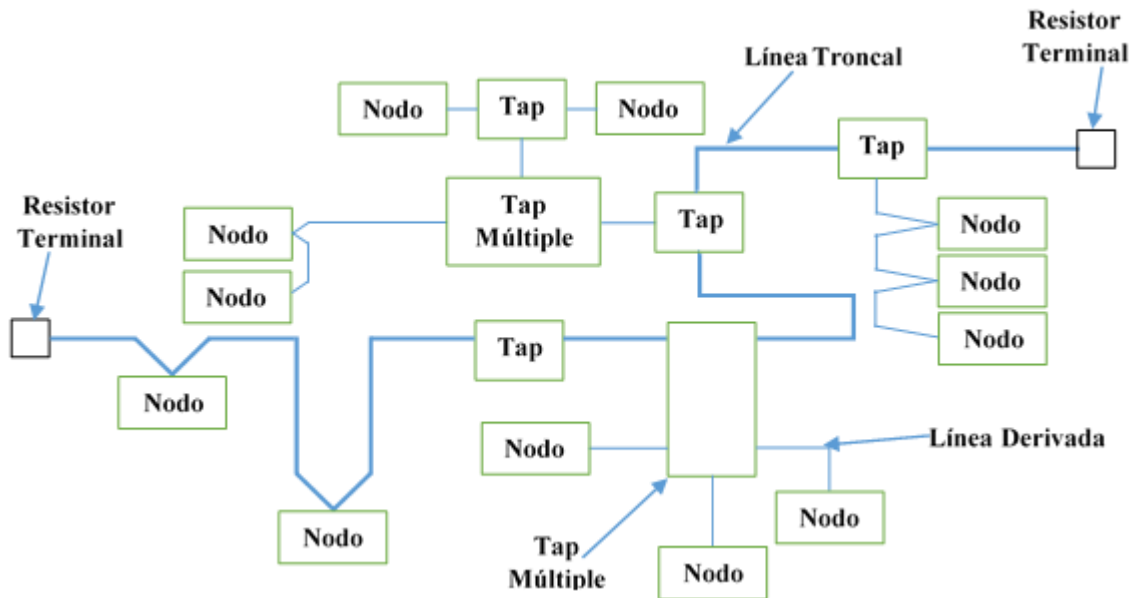


FIGURA 3.12. OPCIONES DE TOPOLOGÍA DEVICENET.

Se pueden utilizar elementos de red, con o sin aislamiento. Para el caso de hacer servir elementos con alimentación externa (arrancadores de motores, electroválvulas, relés), se recomienda utilizar elementos con aislamiento (optoacopladores para la conexión al bus).

Permite alimentaciones redundantes, conectadas en cualquier punto de la red (un ramal principal, o trunk line, soporta hasta 8A).

Los datos y la alimentación van por el mismo cable, de cuatro hilos (trenzados por separado, datos y potencia). Las salidas se alimentan por separado. [1, p. 343]

Si no se consideran las medidas apropiadas, las señales eléctricas transmitidas en las líneas del bus CAN se reflejan al final de la línea eléctrica principal y en las líneas de extensión, por ello es necesario que las reflexiones sobrepuestas de la señal estén debidamente atenuadas cuando se muestra el nivel de bit para interpretar los niveles de bus recibidos. Las reflexiones de la señal se pueden evitar al colocar resistores de terminación con una impedancia equivalente a la de línea en ambos extremos del bus, y al evitar líneas de extensión de grandes longitudes. De esta forma, mediante una topología de bus se puede lograr el producto más alto de velocidad de transferencia y longitud de línea.

En aplicaciones industriales es común no conectar un nodo al bus mediante líneas de extensión muy cortas, sin embargo, con la configuración apropiada de los parámetros de los tiempos de

bit, el punto de muestreo de bit puede colocarse al final del tiempo de bit, con ello se minimizan los efectos de reflexión de la señal.

En muchas aplicaciones es inevitable utilizar topologías extendidas, por ejemplo para conectar herramientas de diagnóstico o servicio. Para superar las limitaciones de la topología de bus CAN se emplean repetidores, puentes y pasarelas con la finalidad de adaptar la topología de red de acuerdo con las necesidades geográficas de cada aplicación específica. [25, p. 30]

3.7.1 LONGITUD MÁXIMA DE LA LÍNEA TRONCAL.

En la red DeviceNet existe una interdependencia entre la longitud de la red y la tasa de transmisión. Esta es debido al retardo de propagación de la señal. El retardo de propagación es determinado por dos nodos que están más alejados el uno del otro dentro del sistema. Es el tiempo que se toma la señal para viajar desde un nodo a otro que sea el más lejano (tomando en cuenta el retardo causado por la transmisión y recepción del nodo), sincronización y la señal desde el segundo nodo que viaja de regreso al primero. Debido a esto, la relación que existe entre la longitud y la tasa de transmisión es inversamente proporcional, es decir, a mayor longitud de red, menor es la tasa de transmisión posible. [31, p. 22]

Puede elegirse una velocidad siempre y cuando la longitud de la red no pase la longitud máxima permitida. En la Tabla 3.6 se muestran las diferentes distancias para los diferentes tipos de cables.

Velocidad de Transmisión	Distancia Máxima (Cable Flat)	Distancia Máxima (Cable Thick)	Distancia Máxima (Cable Thin)
125 kbits/s	420m (1378ft)	500m (1640ft)	100m (328ft)
250 kbits/s	200m (656ft)	250m (820ft)	100m (328ft)
500 kbits/s	75m (246ft)	100m (328ft)	100m (328ft)

TABLA 3.6. TASA DE TRANSMISIÓN VERSUS DISTANCIA LÍNEA TRONCAL. [32, p. 11]

Se distinguen 3 criterios de medir la longitud de la línea troncal:

- ❖ Longitud de red medida entre las resistencias de término.
- ❖ Longitud de red medida entre los dispositivos extremos.

- ❖ Longitud de red medida entre la resistencia de término y el dispositivo extremo.

3.7.1.1 LONGITUD DE RED MEDIDA ENTRE LAS RESISTENCIAS DE TÉRMINO.

Si la distancia entre el último tap de la red y la resistencia de término (TR) es mayor que la distancia de la derivación que nace desde ese tap, entonces la medida debe hacerse desde la resistencia de término. En la Figura 3.13 se muestra una ilustración de este criterio.

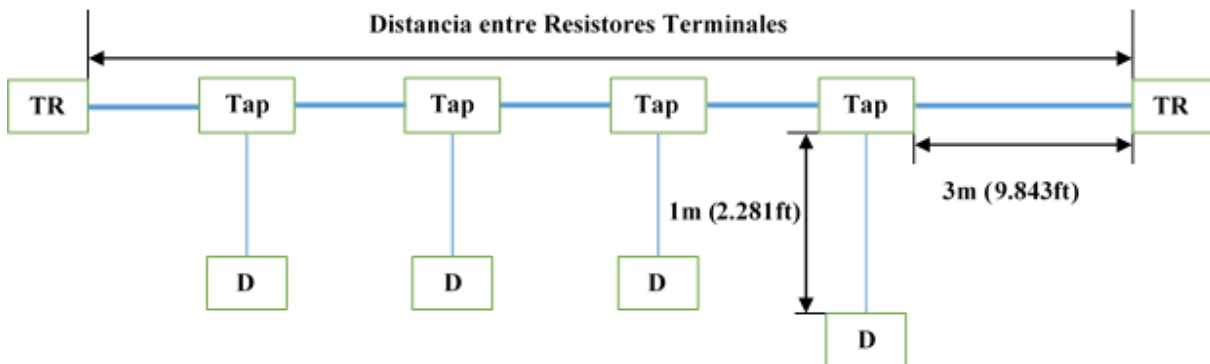


FIGURA 3.13. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA LÍNEA TRONCAL DESDE LAS RESISTENCIAS DE TÉRMINO.

En este ejemplo, se observa que la distancia entre el último tap y la resistencia de término es de 3 m, mientras que la distancia de la derivación que nace desde este tap es de un 1 m. Por tanto, debido a que la distancia entre el tap y la resistencia de término es mayor, la longitud de la red debe ser medida desde TR.

3.7.1.2 LONGITUD DE RED MEDIDA ENTRE LOS DISPOSITIVOS EXTREMOS.

Si la distancia entre el último tap de la red y la resistencia de término (TR) es menor que la distancia de la derivación que nace desde ese tap, entonces la medida debe hacerse desde el dispositivo. En la Figura 3.14 se muestra una ilustración de este criterio.

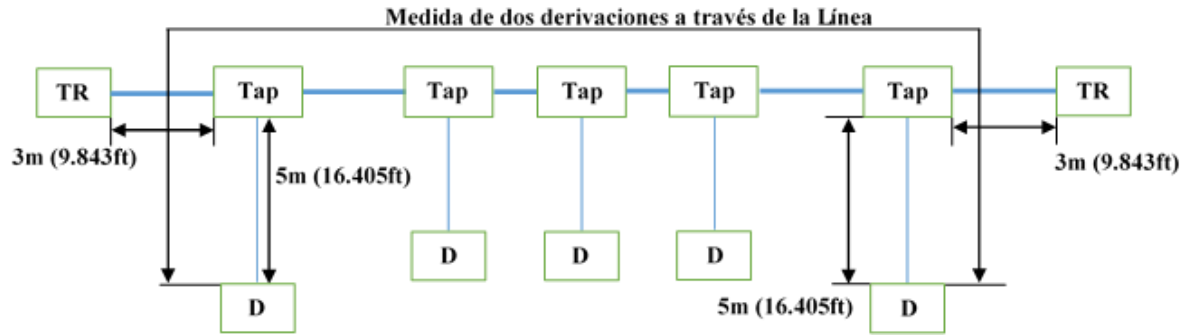


FIGURA 3.14. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA LÍNEA TRONCAL DESDE LOS DISPOSITIVOS EXTREMOS.

En este ejemplo se observa que la distancia entre el último tap y la resistencia de término es de 3 m, mientras que la longitud de la derivación que nace desde este último tap es de 5 m. Por lo tanto, la longitud de la red debe ser medida desde el dispositivo.

3.7.1.3 LONGITUD DE RED MEDIDA ENTRE LA RESISTENCIA DE TÉRMINO Y EL DISPOSITIVO EXTREMO.

Esta situación corresponde a una combinación de las dos anteriores. En la Figura 3.15 se ilustra este criterio.

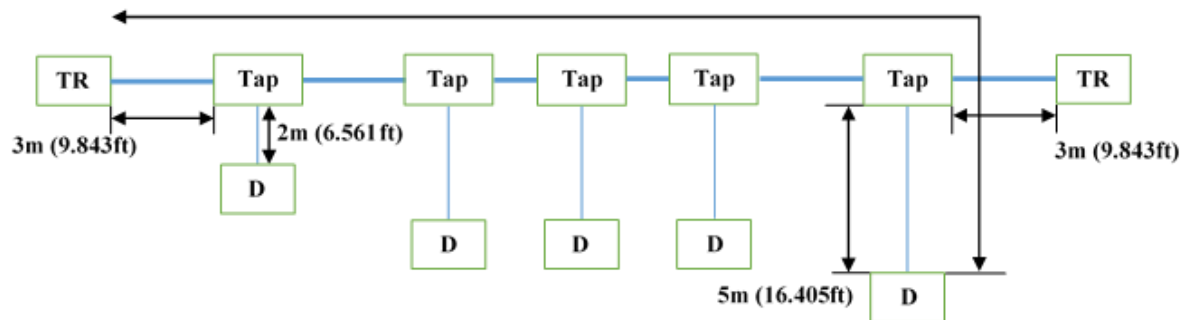


FIGURA 3.15. LONGITUD DE RED MEDIDA ENTRE LA RESISTENCIA DE TÉRMINO Y EL DISPOSITIVO EXTREMO.

En este ejemplo, en un extremo de la red, la distancia entre el último tap y la resistencia de término es de 3 m, y la distancia de la derivación que nace desde ese tap es de 2 m, por lo tanto la medida se realiza desde TR. En el otro extremo, la distancia entre el último tap y la resistencia de término es de 3 m, mientras que la distancia de la derivación que nace desde ese tap es de 5 m. Por lo tanto, la medida se realiza desde el dispositivo. [30, pp. 247-249]

3.7.2 LONGITUD ACUMULATIVA DE LA LÍNEA DERIVACIÓN.

La longitud acumulativa de la línea de derivación es la suma de todas las líneas de derivación en el sistema de cableado, bien sea cable grueso, cable delgado o cable plano. Esta suma no puede superar la longitud acumulativa máxima que se determina en función de la velocidad de transmisión de datos.

La Tabla 3.7 muestra las longitudes acumuladas máximas permitidas para cada tasa de transmisión.

Velocidad de Transmisión	Longitud acumulada de Línea Derivación
125k bits/s	156m (512ft)
250k bits/s	78m (256ft)
500k bits/s	39m (128ft)

**TABLA 3.7. LONGITUDES ACUMULADAS DE DERIVACIONES
NORMALIZADAS.**

A través del siguiente ejemplo, ilustrado en la Figura 3.16, se explica la forma en que se debe calcular la longitud acumulada de derivaciones.

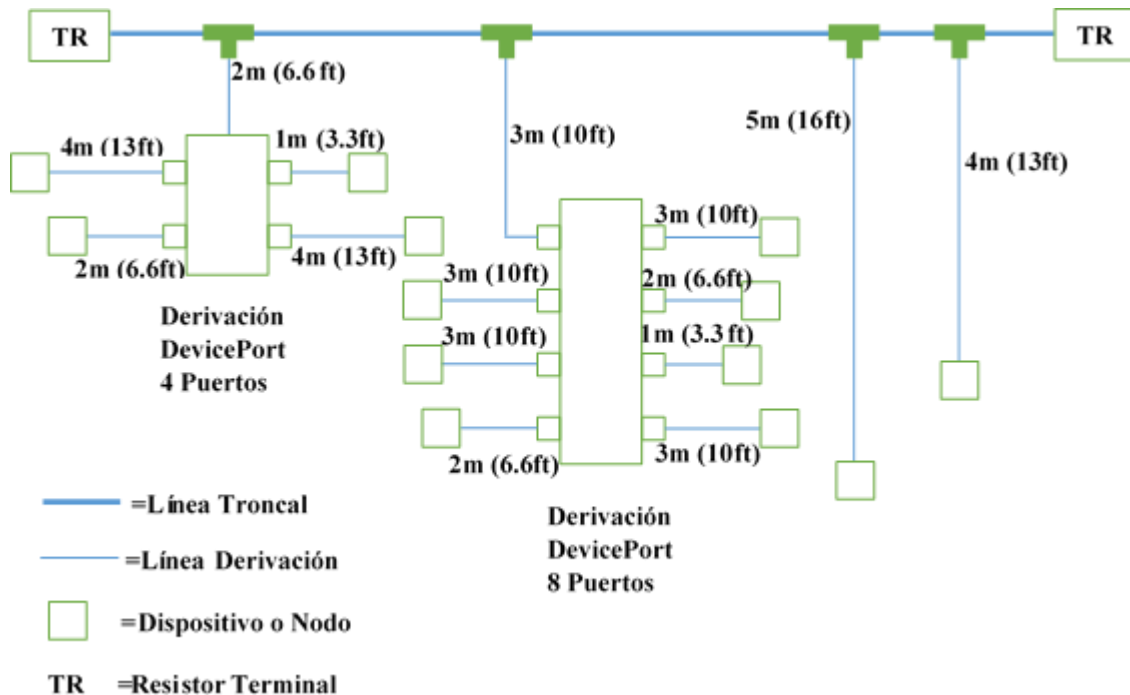


FIGURA 3.16. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA LONGITUD ACUMULADA DE LAS DERIVACIONES DE UNA RED.

En la Figura 3.16 se muestra una red construida con medios Round (Thick o Thin). Como se observa, la red tiene 4 taps tipo T, desde donde nacen las 4 derivaciones que posee. Además, tiene 2 taps tipo Deviceport, uno de 4 puertos y otro de 8 puertos. Los tap Deviceport conectan 11 dispositivos a la línea troncal.

La suma total de las derivaciones es de 42 m. Además, ningún nodo está conectado a una distancia mayor a 6 m desde la línea troncal.

Con esto se pueden utilizar velocidades de 250 kbits/s o 125 kbits/s (dependiendo de la longitud que tenga finalmente la línea troncal y el medio Round utilizado, Thick o Thin, tal como se muestra en la Tabla 3.7).

La tasa de transmisión de 500 kbits/s no puede ser utilizada en este ejemplo debido a que su longitud acumulada de las líneas de derivación de 42 m, supera a los 39 m, que es el límite permitido para trabajar a esta tasa de transmisión. [30, pp. 249-251]

3.7.3 SELECCIÓN DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

El suministro de alimentación en el sistema de cables DeviceNet es fundamental ya que de este depende el buen funcionamiento de los dispositivos de la red.

Como es de conocimiento el sistema de cables alimenta a los dispositivos a través de los terminales V+ y V- con 24Vdc. Por lo que la forma para dimensionar la fuente de voltaje DC es:

- a) Sumar el consumo (corriente) de cada uno de los dispositivos.
- b) Al valor total (sumatoria) de corriente aumentarle un 10% por sobrecargas.
- c) El valor de placa de la fuente debe ser mayor que el valor calculado.

Para DeviceNet se tiene un estándar de valores de fuente de 4A y 8A. Estos valores han sido estandarizados en base a la capacidad de corriente de los 3 tipos de cables para DeviceNet, la máxima capacidad de corriente que soportan es de 8A.

Una vez realizado el dimensionamiento de la fuente, el siguiente paso es determinar si la distribución de los dispositivos sobre la red permite el correcto suministro de energía a cada uno de ellos. Esto se debe a que de acuerdo a la ubicación de los dispositivos en redes de gran distancia la pérdida por el cable y conectores es considerable. [33, p. 6]

El sistema de cables deberá verificar lo siguiente:

- ❖ La fuente de alimentación tiene que tener su propia protección limitadora de corriente.
- ❖ Cada segmento del sistema de cables debe de disponer de protección por fusible.
- ❖ La fuente de alimentación tiene que estar dimensionada correctamente para proporcionar a cada dispositivo la alimentación necesaria.
- ❖ Utilizar la fuente de alimentación únicamente para el sistema de cables. Si un dispositivo requiere una fuente de alimentación de 24V esta debe ser una fuente diferente a la fuente de alimentación DeviceNet.

El conjunto de los factores siguientes no debe superar en 3.25% los 24V nominales necesarios para un sistema de cables DeviceNet.

- ❖ Regulación de línea – 0.30%.
- ❖ Deriva de temperatura –0.60%.
- ❖ Deriva de tiempo –1.05%.

- ❖ Regulación de carga -0.30%.

Importante: Las salidas de CC de todas las fuentes de alimentación deben estar aisladas del lado de CA de la fuente de alimentación y de la caja de la fuente de alimentación. [34, p. 81]

Los objetivos del diseño del sistema de energización son los siguientes.

- ❖ Suministrar a cada nodo un rango de voltaje entre los conductores V- y V+ desde 11V como mínimo hasta 25V como máximo.
- ❖ Limitar la caída de voltaje de modo común sobre los conductores V- y V+.
 - La diferencia de voltaje entre cualquiera de dos puntos sobre el conductor V- no debe exceder al máximo voltaje de modo común de 4.65V.
- ❖ Suministrar la corriente apropiada para la red. [30, p. 252]

3.7.4 INFORMACIÓN SOBRE LAS CAPACIDADES DE ALIMENTACIÓN, CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN REQUERIDA Y MÉTODOS DE CÁLCULO DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN.

Aunque los tipos de cable que conforman el medio de la red DeviceNet, tienen cada uno su limitación de conducción de corriente, el sistema de cableado puede soportar una carga mayor. Esta característica debe tenerse presente para el diseño del sistema de energización. Los cables tipo Round-Thick y Plano-Kwiklink de Clase 1, son los que tienen la mayor capacidad de conducción, soportando ambos hasta 8A. Sin embargo, el sistema de cableado construido con alguno de estos dos medios puede soportar una carga total mayor a los 8A. Por ejemplo, se puede conectar una fuente de energía de 16A en algún lugar del centro físico de la línea troncal del sistema de cableado, dividiéndola en dos secciones. De esta forma, la fuente de energía suministra 8A para cada sección de la línea troncal. Sin embargo, en ningún caso, debería suministrarse más de 8A a uno de los lados de la línea troncal.

Las líneas de derivación (Droplines), las cuales son construidas con medios Round-Thick o Round-Thin, permiten hasta 3A, dependiendo de su longitud. La corriente máxima disminuye a medida que aumenta la longitud de la red.

Para determinar la corriente máxima de la línea de derivación, se utilizan la siguiente ecuación:

$$I_D = \frac{4.57}{L} (A) \dots \text{Ecuación 1}$$

En donde I_D es la corriente de la línea de derivación en amperes, y L es la longitud de la derivación en metros. También puede utilizarse los valores normalizados que se muestran en la Tabla 3.8.

Longitud en Línea Derivación	Corriente Permisible
1.5m (5ft)	3A
2m (6.6ft)	2A
3m (10ft)	1.5A
4.5m (15ft)	1A
6m (20ft)	0.75A

TABLA 3.8. VALORES NORMALIZADOS DE LONGITUD DE LÍNEA DE DERIVACIÓN VERSUS CORRIENTE PERMITIDA.

La máxima corriente permitida se aplica a la suma de las corrientes de todos los nodos sobre la línea de derivación.

3.7.4.1 REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA.

El objetivo de la determinación de los requerimientos de energía de la red, es que el sistema de energización sea capaz de entregarlos.

Por ello, se establecen las siguientes dos estrategias para cumplir con tal objetivo:

- ❖ Ubicación de la fuente de poder en la red.
- ❖ Uso de fuentes redundantes.

3.7.4.1.1 UBICACIÓN DE LA FUENTE DE PODER.

Una fuente de poder puede ser ubicada en un extremo o en medio del sistema de cableado. La ubicación final, dependerá del resultado de la determinación de los requerimientos de energía de la red.

El uso de fuentes redundantes le otorga flexibilidad al sistema de energización. [30, pp. 255-257]

Las redes DeviceNet con líneas troncales largas o con dispositivos que consumen gran cantidad de corriente a gran distancia experimentan en ocasiones dificultades con el voltaje del terminal común.

Si el voltaje del conductor V- negro y el conductor V+ rojo cae por debajo de 4.65 V desde un punto a otro de la red, pueden producirse problemas de comunicación.

Para resolver estos problemas, añadir una fuente de alimentación adicional o la fuente de alimentación existente a las cargas con corrientes mayores. [34, p. 83]

3.7.5 MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA.

Existen 3 métodos para determinar los requerimientos de energía de la red, los cuales son:

- ❖ Método simple.
- ❖ Método Look-up.
- ❖ Método de cálculo completo.

3.7.5.1 MÉTODO SIMPLE.

El método simple es utilizado cuando la extensión de la red es pequeña. Este método sirve como una aproximación para determinar la fuente, o fuentes de poder necesarias.

Este método consiste en:

- ❖ Sumar los requerimientos de corriente nominal de todos los dispositivos que consumen potencia de la red. Con ello se obtiene la corriente nominal total del sistema I_{TN} .
- ❖ Agregar un 10% adicional a I_{TN} para permitir sobrecargas de corriente. Con ello se obtiene la corriente total I_T del sistema:

$$I_T = I_{TN} + 0.1(I_{TN})$$

- ❖ Asegurarse de que I_T es menor que la mínima corriente nominal indicada en la placa de la fuente de poder que se utilizará.

3.7.5.1.1 APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLE, CONEXIÓN DE UNA FUENTE.

En este ejemplo se supone que la red DeviceNet ha sido construida con medio Round- Thick.

La Figura 3.17 muestra que el diagrama esquemático de la red.

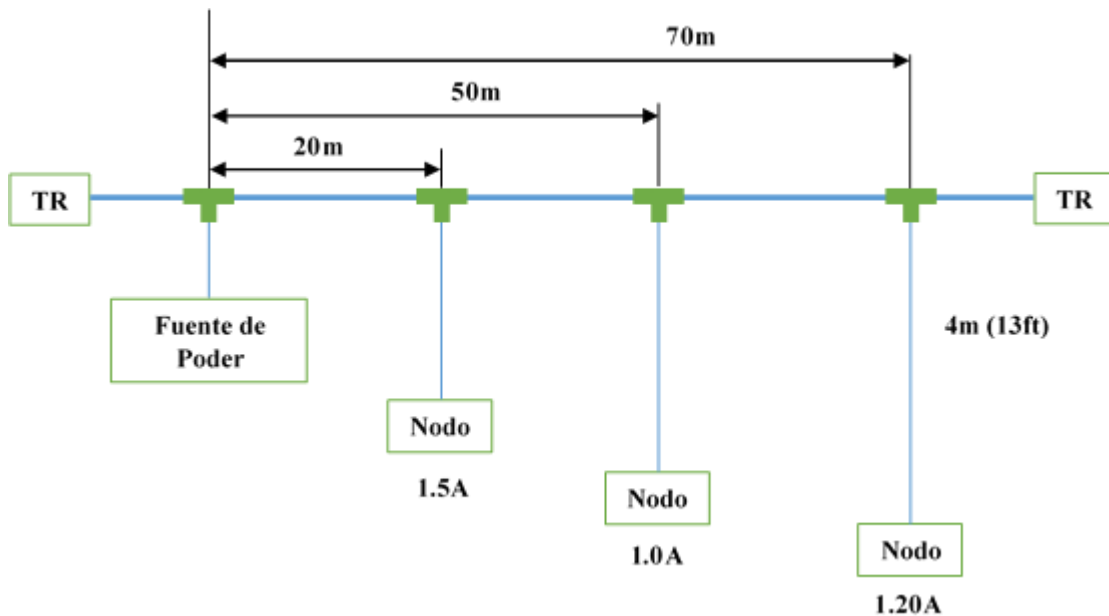


FIGURA 3.17. RED DEVICENET QUE UTILIZA UNA FUENTE DE PODER CONECTADA EN UN EXTREMO DE LA LÍNEA TRONCAL.

Se observa que posee una fuente de poder conectada en un extremo de la red.

La corriente nominal total de este sistema es:

$$I_{TN} = 1.50A + 1.0A + 1.2A = 3.7A$$

La corriente total del sistema es:

$$I_T = I_{TN} + 0.1(I_{TN}) = 3.7A + (0.1)(3.7A) = 4.07A$$

De esta forma, la mínima corriente nominal que debe entregar la fuente de poder a escoger es de 4.07A. [30, pp. 257, 258]

3.7.5.2 MÉTODO LOOK-UP.

El método Look-Up es un método de tabla. Esto quiere decir, que se utiliza una curva normalizada para la corriente máxima permitida y la longitud de la línea troncal de cada medio. A partir de una comparación, permite determinar la fuente de poder necesaria para la aplicación.

Éste es el método utilizado para la mayoría de los casos, especialmente cuando la red posee una longitud extensa.

Los pasos a seguir en este método son:

- ❖ Determinar la longitud que existe entre el powertap (el tap al que se conecta la fuente de poder) y el último tap de la red. Esta longitud es L_{PT} .
- ❖ Sumar los requerimientos de corriente nominal de todos los dispositivos que consumen potencia de la red. Con ello se obtiene la corriente nominal total del sistema I_{TN} .
- ❖ Buscar en la curva, o en la tabla extraída de la curva, correspondiente al medio que se esté utilizando, la longitud L_{PT} . Dentro del rango en el que se encuentra L_{PT} , utilizar la longitud mayor y hallar la máxima corriente permitida por el sistema, I_{MAX} .
- ❖ Comparar las corrientes, en donde debe ser $I_{TN} \leq I_{MAX}$
- ❖ De no ser así se pueden tomar las siguientes medidas:
 - Utilizar el método de cálculo completo.
 - Mover la fuente a un lugar en el centro físico del sistema de cableado y reevaluar la situación.
 - Utilización de fuentes redundantes y dividir la red en secciones.

3.7.5.2.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO LOOK-UP.

En el siguiente ejemplo, se supone una red DeviceNet construida con medio Round-Thick. En la Figura 3.18 se muestra un diagrama esquemático de la red.

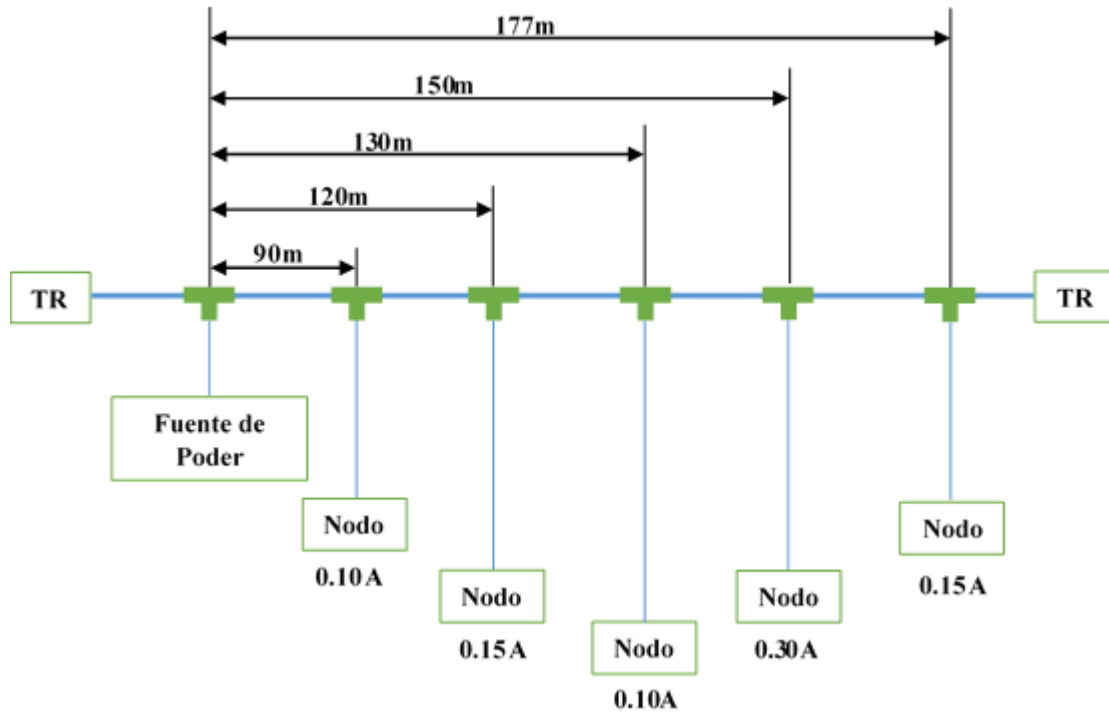


FIGURA 3.18. RED DEVICENET CON UNA FUENTE DE PODER EN UN EXTREMO.

Se observa que la red posee una fuente de poder, la cual está conectada en un extremo. La distancia que existe entre la fuente de poder y el último tap es $L_{PT} = 177m$.

El consumo de corriente nominal total de los dispositivos conectados a la red es:

$$I_T = 0.10A + 0.15A + 0.10A + 0.30A + 0.15A = 0.80A$$

La Figura 3.19 muestra la curva Corriente Máxima – Longitud de línea Troncal para el medio Round-Thick. En ella, debe ubicarse la longitud $L_{PT} = 177m$.

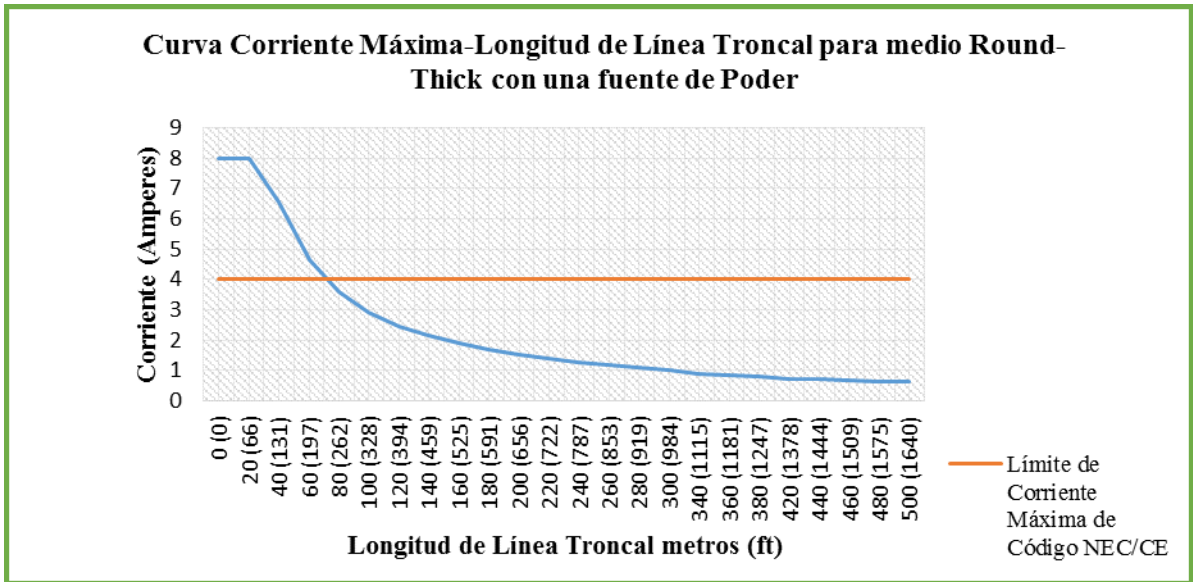


FIGURA 3.19. CURVA DE CORRIENTE MÁXIMA/LONGITUD DE LÍNEA TRONCAL PARA MEDIO ROUND-THICK.

De esta manera, la longitud a utilizar es 180m. De ahí, se tiene que la corriente máxima permitida para la red es $I_{MAX} = 1.70A$.

Al comparar las corrientes:

$$I_{TN} = 0.80A < I_{MAX} = 1.70A$$

Por lo tanto, la corriente I_{TN} es permitida para esta red. La fuente de poder a escoger debe tener como mínimo en su indicación de placa 0,80A de corriente nominal. [30, pp. 260-263]

3.7.5.3 MÉTODO DE CÁLCULO COMPLETO.

Utilizar este método de cálculo si la evaluación inicial indica que una sección está sobrecargada o si los requisitos de la configuración no pueden cumplirse utilizando el método rápido de cálculo.

Cuando los dos segmentos tiene una caída de tensión inferior a 4.65 V, la configuración diseñada funcionará correctamente. Idealmente, la caída de tensión en cada segmento tendría que estar dentro del 10 % del otro segmento.

Si una sección tiene una caída de tensión mucho más grande que en la otra sección, se tiene que intentar equilibrar la carga del sistema de cableado, desplazando la fuente de alimentación entre los dispositivos. Algunas acciones para hacer que el sistema sea operacional son:

- ❖ Disminuir la longitud total del sistema de cableado.
- ❖ Desplazar la fuente de alimentación en dirección de la sección sobrecargada.
- ❖ Desplazar los dispositivos de la sección sobrecargada a la otra sección.
- ❖ Acercar los dispositivos con mayor carga tan cerca de la fuente de alimentación como sea posible.
- ❖ Añadir una segunda fuente de alimentación al sistema de cableado. [34, p. 93]

Una fuente de poder que no es conectada en un extremo de la red, crea dos secciones de línea troncal. Por tanto, se debe evaluar cada sección en forma independiente.

La evaluación de las secciones se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$V_T = \text{SUM} \{[(L_n)(R_C) + (N_t)(0.005)](I_n)\} \leq 4.65V \dots \text{Ecuación 2}$$

En donde cada parámetro significa:

V_T: Es la caída de voltaje total del sistema de cableado.

L_n: Es la distancia (en m o en ft) entre el dispositivo y la fuente de poder, excluyendo la distancia de la línea de derivación. El subíndice “n” hace alusión al número del dispositivo que está siendo evaluado, comenzando por uno de los dispositivos que esté más cerca de la fuente de poder, incrementándose en uno para el siguiente dispositivo. La ecuación suma la caída de voltaje de cada dispositivo y la compara con 4.65V.

R_C: Es la resistencia del medio con el cual se ha construido el sistema de cableado de la red.

Para cada medio, R_C tiene los siguientes valores:

- ❖ Round-Thick: 0.015 Ω/m (0.0045 Ω /ft)
- ❖ Round-Thin: 0.069 Ω /m (0.021 Ω /ft)
- ❖ Plano (Kwiklink): 0.019 Ω /m (0.0058 Ω /ft)

N_t: Es el número de taps entre el dispositivo que está siendo evaluado y la fuente de poder. Por ejemplo:

- ❖ Cuando el dispositivo a ser evaluado es el primero por ser el más cercano a la fuente de poder, $N_t=1$.
- ❖ Cuando existe un dispositivo cualquiera entre el dispositivo a ser evaluado y la fuente de poder, entonces $N_t=2$.
- ❖ Cuando existen 10 dispositivos cualquiera entre el dispositivo a ser evaluado y la fuente de poder, entonces $N_t=11$.

Se tratan como un solo tap los dispositivos que están conectados a un tap tipo Devicebox o a un tap tipo Deviceport. Deben sumarse las corrientes de todos los dispositivos conectados y debe ser usada en la ecuación una sola vez.

(0.005): La resistencia nominal de contacto usada por toda conexión a la línea troncal.

I_n : La corriente utilizada por el dispositivo desde el sistema de cableado. Para corrientes dentro del 90% del máximo, usar la corriente nominal del dispositivo. De lo contrario, utilice la tasa de corriente máxima del dispositivo. Para los taps Devicebox o DevicePorts, sumar las corrientes de todos los dispositivos conectados, y contar el tap como si fuera uno solo.

4.65: La máxima caída de voltaje permitida en la línea troncal DeviceNet. Esta es la caída de voltaje total del sistema de cableado de 5V menos 0.35V reservados para las caídas de voltaje de las derivaciones.

3.7.5.3.1 PASOS A SEGUIR CON EL MÉTODO DE CÁLCULO COMPLETO.

- ❖ Calcular los voltajes de cada dispositivo de la red utilizando la ecuación anterior. Sustituir los valores apropiados según el medio de la red.
- ❖ Sumar el voltaje hallado para cada dispositivo.
- ❖ Comparar el resultado con 4.65V. Si el resultado es menor a 4.65V, entonces el sistema funcionará apropiadamente.
- ❖ Para hallar el porcentaje de carga se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$\%Carga = \left(\frac{V_T}{4.65} \right) (100) \dots \text{Ecuación 3}$$

- ❖ En el caso de que V_T fuera mayor que 4.65V, entonces debe reevaluarse la ubicación de la fuente de voltaje o bien, el uso de fuentes redundantes. Luego repetir el método.

3.7.5.3.1.1 EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO COMPLETO.

En este ejemplo se supone una red DeviceNet construida con medio Round-Thick. En la Figura 3.20 se muestra el diagrama esquemático de esta red.

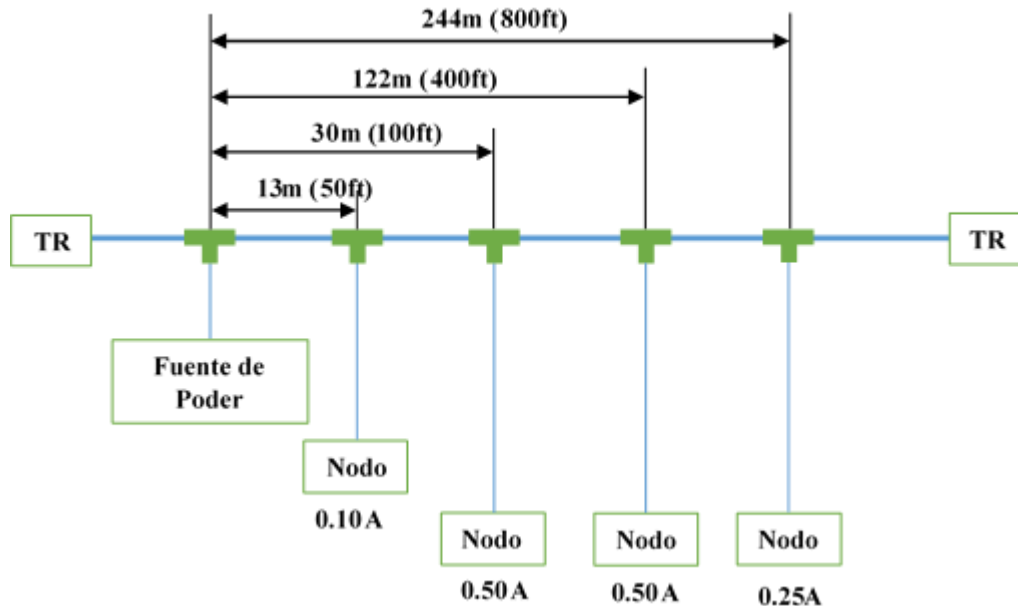


FIGURA 3.20 RED DEVICENET CONSTRUIDA CON MEDIO ROUND-THICK CON UNA FUENTE CONECTADA EN UN EXTREMO A LA CUAL SE LE APLICA EL MÉTODO COMPLETO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR SU CONSUMO.

De acuerdo con las pautas especificadas para este método:

Se calcula la caída de voltaje provocada por cada dispositivo utilizando la Ecuación 2 en un medio Round-Thick:

$$\text{Dispositivo 1: } \{[(15)(0.015) + ((1)(0.005))](1.00)\} = 0.23V$$

$$\text{Dispositivo 2: } \{[(30)(0.015) + ((2)(0.005))](0.5)\} = 0.23V$$

$$\text{Dispositivo 3: } \{[(122)(0.015) + ((3)(0.005))](0.5)\} = 0.92V$$

$$\text{Dispositivo 4: } \{[(244)(0.015) + ((4)(0.005))](0.25)\} = 0.92V$$

Ahora, realizando la suma de estas caídas de voltaje, de acuerdo con la Ecuación 2:

$$V_T = 0.23V + 0.23V + 0.92V + 0.92V = 2.3V$$

Y realizando la comparación:

$$V_T = 2.3V \leq 4.65V$$

La conclusión de este cálculo es que la red funcionará apropiadamente.

Según el método Look-up, esta configuración no es válida, pero como se ve, al realizar el método de cálculo completo, la red sí soporta la capacidad de corriente requerida, es decir:

$$I_T = 1.00A + 0.50A + 0.50A + 0.25A = 2.25A$$

De esta forma, la fuente de poder necesaria para esta red, debe entregar como mínimo 2.25A.

[30, pp. 263-267]

3.8 COMPONENTES QUE INTEGRAN LA RED.

Dado que la red de campo DeviceNet ha sido diseñada como una red para los primeros niveles de la jerarquía de automatización, ésta permite la conexión entre dispositivos industriales simples, tales como sensores y actuadores, y los interfasa con dispositivos de mayor nivel, como lo son los PLC's y computadores personales (PC). Por ello, es necesario estar familiarizado con los posibles dispositivos que se utilizarán en un proyecto con la red DeviceNet.

3.8.1 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES.

Los componentes de la red se clasifican según su función. En la Figura 3.21 se muestra la representación de una red DeviceNet con la clasificación de los componentes de red.

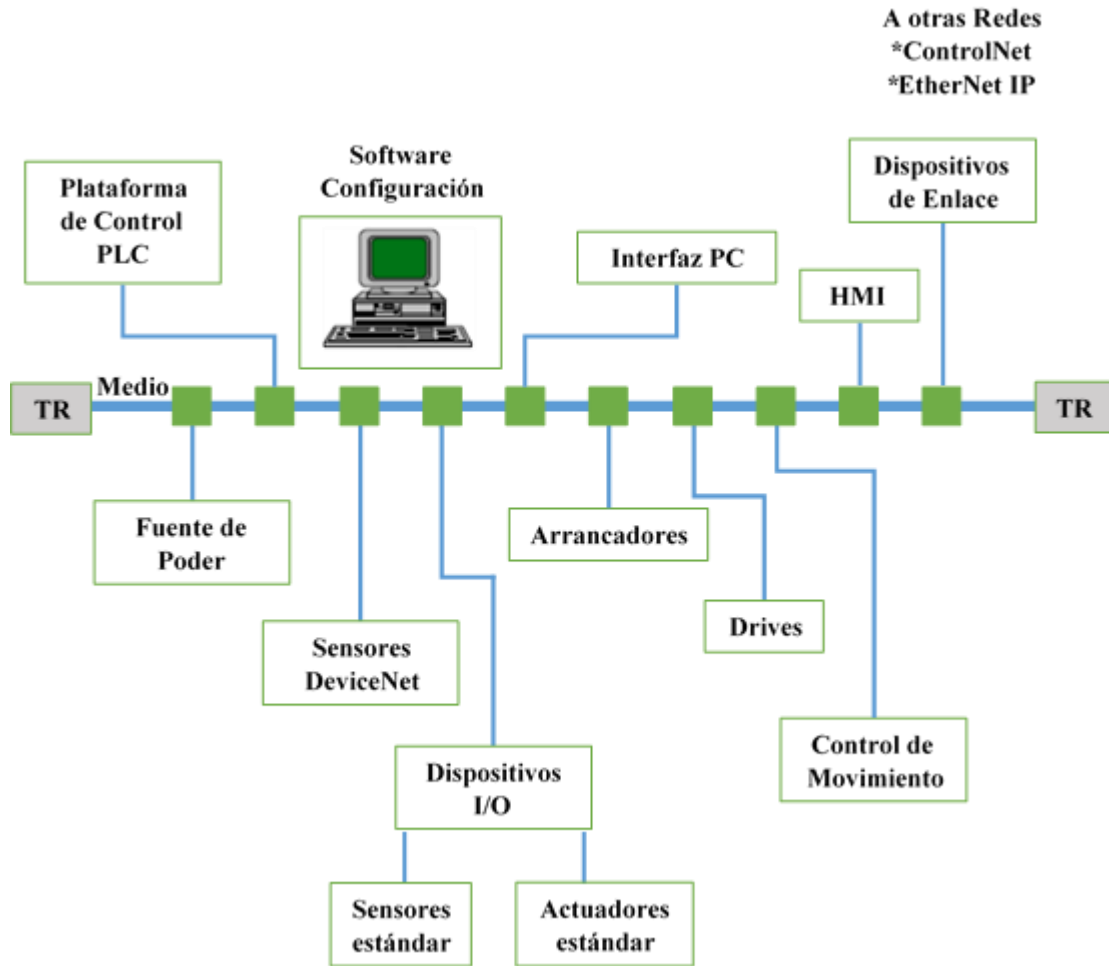


FIGURA 3.21. COMPONENTES DE LA RED DEVICENET.

Como se observa en la figura anterior, el equipamiento que compone a una red DeviceNet se puede clasificar en las siguientes clases:

- ❖ Plataforma de Control*
- ❖ Medio*
- ❖ Sensores DeviceNet
- ❖ Software de Configuración*
- ❖ Interfaz para PC*
- ❖ I/O Device

* Dispositivos imprescindibles

- Fuente de Poder*
- Interfaz de Operador
- Arrancadores
- Drives
- Motion Control
- Dispositivo de Enlace

Una red DeviceNet se compondrá de las clases de dispositivos listadas. Las clases marcadas con “*” son imprescindibles en toda red DeviceNet. El resto de las clases dependerá de la aplicación particular para la cual se ha de emplear. [30, pp. 132, 133]

Por tal motivo solo se describirán las clases imprescindibles.

3.8.1.1 PLATAFORMA DE CONTROL.

La plataforma de control para DeviceNet se compone de un Controlador Lógico Programable, o PLC, junto a un módulo de comunicación para soportar comunicación a una red DeviceNet. En la Figura 3.22 se muestra un esquema que ilustra una plataforma de control para DeviceNet.

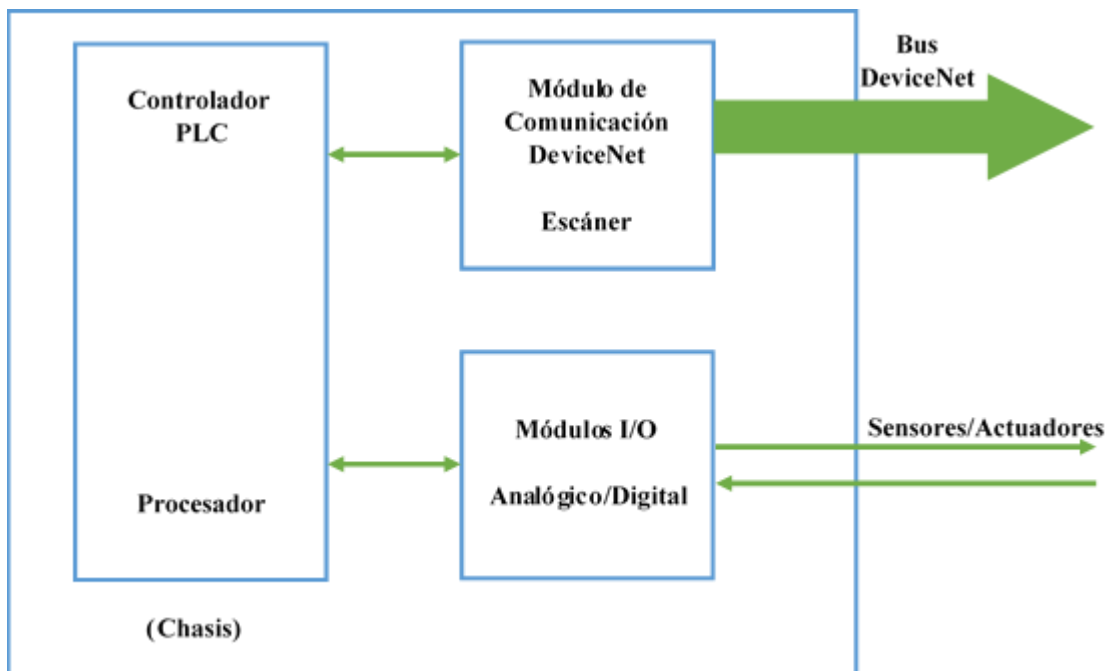


FIGURA 3.22. ESQUEMA DE UNA PLATAFORMA DE CONTROL DEVICENET.

Existe una amplia gama de plataformas de control disponibles para DeviceNet, entre las que se pueden nombrar:

- ❖ ControlLogix
- ❖ CompactLogix
- ❖ PLC-5
- ❖ FlexLogix
- ❖ SLC 500 [30, pp. 133, 134]

3.8.1.2 MEDIO.

En DeviceNet se definen 3 medios que son Round-Thick (segundo de abajo hacia arriba de color amarillo), Round-Thin (el cuarto de abajo hacia arriba de color amarillo) y Plano-KwikLink (el segundo de arriba hacia debajo de color gris). En la Figura 3.23 se muestra el aspecto físico de componentes de los tres medios.



FIGURA 3.23. ASPECTO FÍSICO DE LOS COMPONENTES DE LOS DISTINTOS MEDIOS.

Round-Thick: Este sistema de medio permite la máxima longitud de red para la línea troncal, la cual es de 500m. Es el medio original de DeviceNet.

Round-Thin: Este sistema de medio se utiliza en redes que no tengan una línea troncal de más de 100m, pero permite una instalación más compacta y económica para algunas instalaciones. Se utiliza como alternativa para el medio Round-Thick.

Plano-KwikLink: El medio plano-KwikLink permite la simplificación y ahorro en el diseño y montaje de la red, pero aún tiene limitaciones en relación con el medio Round-Thick respecto de la longitud de la red. Se distinguen 2 clases según su capacidad de conducción de corriente: Clase 1, hasta 4A y Clase 2, hasta 8A. [30, p. 138]

3.8.1.3 HERRAMIENTAS DE SOFTWARE.

Las principales herramientas de software para la red DeviceNet son:

- ❖ Architecture Builder
- ❖ RSLogix5000
- ❖ RSNetworx
- ❖ RSLinx

3.8.1.3.1 ARCHITECTURE BUILDER.

Este software es una herramienta para el diseño de redes que implementan el protocolo CIP, es decir, DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP. A través de esta herramienta es posible diseñar una red DeviceNet, tomando en cuenta el medio, los dispositivos y otros factores asociados.

El programa Architecture Builder permite además la generación de informes y listas de cotización.

3.8.1.3.2 RSLOGIX5000.

El software RSLogix5000 es la herramienta utilizada en la mantención de la plataforma de control. Este permite realizar las siguientes operaciones:

- ❖ Desarrollar los programas de aplicación para el PLC en alguno de los siguientes 4 lenguajes:
 - Ladder
 - Texto estructurado
 - Bloque de funciones
 - Carta de funciones secuenciales
- ❖ Descargar (Download) los programas desde el disco duro del PC hacia el PLC de la plataforma de control, por ejemplo ControlLogix.
- ❖ Subir (Upload) un programa existente en un procesador de la plataforma de control, tal como ControlLogix, al disco duro del PC.
- ❖ Revisar y modificar los programas de ladder instalados en el procesador.
- ❖ Forzar entradas y salidas.
- ❖ Acceder a la configuración y status de operación de todos los módulos conectados al sistema.

- ❖ Examinar la tabla de datos y las estructuras de datos definidas para la aplicación.
- ❖ Diagnóstico de fallas del procesador.

La conexión entre el PC en el cual corre el programa RSLogix 5000 y el PLC de la plataforma de control, se efectúa por defecto vía RS-232. Pero, además, esta se puede efectuar a través de los módulos de comunicación de la plataforma de control, con el soporte del servidor de comunicación RSLinx.

Por último, el PC anfitrión del programa RSLogix5000 puede ser un nodo más en la red con la conexión de una interfaz de comunicación.

3.8.1.3.3 RSNETWORX PARA DEVICENET.

Este software es la herramienta de configuración para una red DeviceNet. Está desarrollado para operar en la plataforma Windows. A través de este, se crea una representación gráfica de la red, agregando y/o quitando dispositivos, y se configuran todos sus parámetros y características.

Todos los dispositivos conectados a la red DeviceNet son configurados con RSNetWorx.

Entre las características de configuración se pueden destacar:

- ❖ Nombre y descripción del dispositivo.
- ❖ Dirección de nodo.
- ❖ Autobaud.
- ❖ Estado de falla.
- ❖ Método de comunicación: Strobe, poll, cambio de estado y cíclico.
- ❖ ADR (reemplazo automático de dispositivo).

La comunicación entre el PC en el cual corre el programa RSNetWorx y la red DeviceNet se realiza por los siguientes medios:

- ❖ Por puerto de red si la plataforma de control posee un módulo de comunicación EtherNet/IP.

- ❖ Por la conexión de una interfaz de comunicación en el PC anfitrión del programa RSNetWorx, con lo cual, el PC puede ser configurado como un nodo más en la red.

Por último, la conexión entre el programa RSNetWorx y la red DeviceNet es establecida por el servidor de comunicación RSLinx.

3.8.1.3.4 RSLINX.

Este software es un servidor de comunicación que permite el enlace entre una red de la familia CIP, y los programas de aplicación en entorno Windows. De esta forma, una red DeviceNet es configurada por RSNetWorx, así como su plataforma de control por RSLogix, dado que el software RSLinx opera para soportar la comunicación.

Entre otras funcionalidades que entrega este programa, se pueden mencionar:

- ❖ Como servidor de comunicación, establece la comunicación entre la red y los programas

RSLogix5000 y RSNetWorx.

- ❖ Subir (Upload) un programa en lenguaje Ladder desde un PLC y modificarlo.
- ❖ Navegar por los dispositivos de la red y monitorear su estado.

En programa RSLinx opera automáticamente desde los programas de configuración para la red DeviceNet, RSLogix 5000 y RSNetWorx.

3.8.1.4 INTERFACES PARA PC.

Permiten la conexión a la red DeviceNet del PC anfitrión de los programas de programación y configuración de la red, como un nodo más. Los tipos de interfaces para PC para la red son tarjetas PCMCIA para Notebooks, tarjetas PCI para PC de escritorio e interfaz para PC vía puerto RS-232. En la Figura 3.24 se muestra el aspecto físico de estos tres tipos de interfaces.



FIGURA 3.24. INTERFACES PARA PC PARA DEVICENET.

A través de estas tarjetas, es posible programar, monitorear y configurar la red DeviceNet desde los programas RSLogix5000 y RSNetWorx. Estas tareas pertenecen al tipo de

mensajería explícita (Explicit I/O). Sin embargo, no aplican las características de mensajería implícita (datos críticos).

A continuación se listan las principales características de estos dispositivos.

- ❖ Sólo mensajería explícita (configuración, programación y monitoreo).
- ❖ Tasas de transmisión: 125, 250 y 500kbps.
- ❖ Autobaud. [30, pp. 144-152]

3.8.1.5 FUENTE DE PODER.

Como se ha mencionado anteriormente, la red DeviceNet entrega la alimentación a dispositivos simples, a través de la misma red. El voltaje utilizado por DeviceNet es de 24VDC.

La fuente de poder se conecta a los hilos conductores V- y V+ de la línea troncal para suministrar la energía. Una fuente de poder para alimentar la red debe cumplir con los requerimientos dados por la especificación DeviceNet.

En la Figura 3.25 se muestra una fuente de poder diseñada específicamente para DeviceNet.



FIGURA 3.25. FUENTE DE PODER DEVICENET DE 24VDC.

Además, existen dispositivos denominados Powermonitor del fabricante Allen-Bradley, que incluyen una fuente de poder junto a un sistema de monitoreo del estado de energía de la red. Estos dispositivos poseen comunicación con la red DeviceNet y son configurados como un nodo más. [14, p. 155]



CAPÍTULO 4.

RED A NIVEL DE CONTROL.

4.1 INTRODUCCIÓN A CONTROLNET.

La red de comunicación industrial ControlNet es una red de estándar abierto e implementada según el modelo OSI. Es desarrollada e introducida por la empresa Rockwell-Automation en 1997 como una red de comunicación abierta. Actualmente, el estándar ControlNet es administrado por la asociación ControlNet International (CI) que agrupa a diferentes empresas fabricantes de productos para la red ControlNet. Tanto ODVA como CI trabajan en conjunto para el desarrollo de nuevas redes basadas en el Protocolo Común Industrial, CIP, y que permitan la interconectividad. [30, p. 165]

ControlNet satisface las demandas de las aplicaciones en tiempo real y altamente efectiva. La red ControlNet usa el protocolo de control industrial (CIP) probado para combinar la funcionalidad de una red de E/S y una red entre dispositivos similares, a la vez que proporciona un rendimiento de alta velocidad para ambas funciones.

La red ControlNet ofrece transferencias deterministas y repetibles de todos los datos de control críticos, además de admitir las transferencias de datos no urgentes. Las actualizaciones de E/S y el enclavamiento de controlador a controlador siempre tienen prioridad sobre las cargas y descargas de programas, así como mensajes. [35, pp. 17, 18]

Además permite que los dispositivos de control inteligentes de alta velocidad compartan la información necesaria para el control, supervisión, la coordinación de las celdas de trabajo, la interface de operador, la configuración de dispositivos remotos, y la resolución de problemas. [36, p. 63]

Dado que ControlNet se basa en una arquitectura productor/consumidor, permite que múltiples controladores trabajen en el mismo sistema. Esto significa que varios PLC u otros controladores pueden controlar sus propias E/S y comunicarse entre ellos mediante la red, ahorrando costos y eliminando las necesidades de mantener redes individuales para realizar la misma función.

ControlNet tiene dos métodos diferentes de tratamiento de la información.

1.- Información crítica en el tiempo:

Son datos de control en tiempo real, datos analógicos o interlocking entre iguales. Tienen la prioridad más alta.

2.- Información no crítica en el tiempo:

Información relacionada con el sistema que está siendo controlado, son mensajes entre iguales (MSG) o programación (Uploads y Downloads). La transferencia de datos no críticos en el tiempo no tienen impacto en la gestión de transferencia de datos críticos, por lo tanto tienen la prioridad más baja.

El ancho de banda en ControlNet se reparte en función de la importancia (en el tiempo) de los datos a transmitir, es decir, el ancho de banda se reserva/configura para soportar la transferencia de datos en tiempo real, llamado servicio Scheduled.

Cada nodo en ControlNet puede reservar o pre-asignar el ancho de banda que necesita para la transferencia de datos en tiempo real.

Los datos enviados en el ancho de banda Scheduled son deterministas y repetitivos. El resto del ancho de banda se utiliza para los datos no críticos en el tiempo, banda Unscheduled, estos datos no son ni deterministas ni repetitivos. [34, pp. 13, 14]

4.2 CAPA FÍSICA.

4.2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE CONTROLNET.

La tasa de transmisión de la red ControlNet es de 5 Mbits/s, siendo una red de alta velocidad. Permite cualquier tipo de topología de red, siendo la topología básica una línea troncal construida con cable coaxial RG-6. Las longitudes que admite son desde 250m hasta 1km, pudiendo llegar a un máximo de 20 km con la utilización de repetidores. También, es posible la conexión de hasta 48 dispositivos por segmento, con un máximo de 99 nodos (entre controladores y dispositivos) en toda la red. En la Figura 4.1 se representan algunas de estas características.

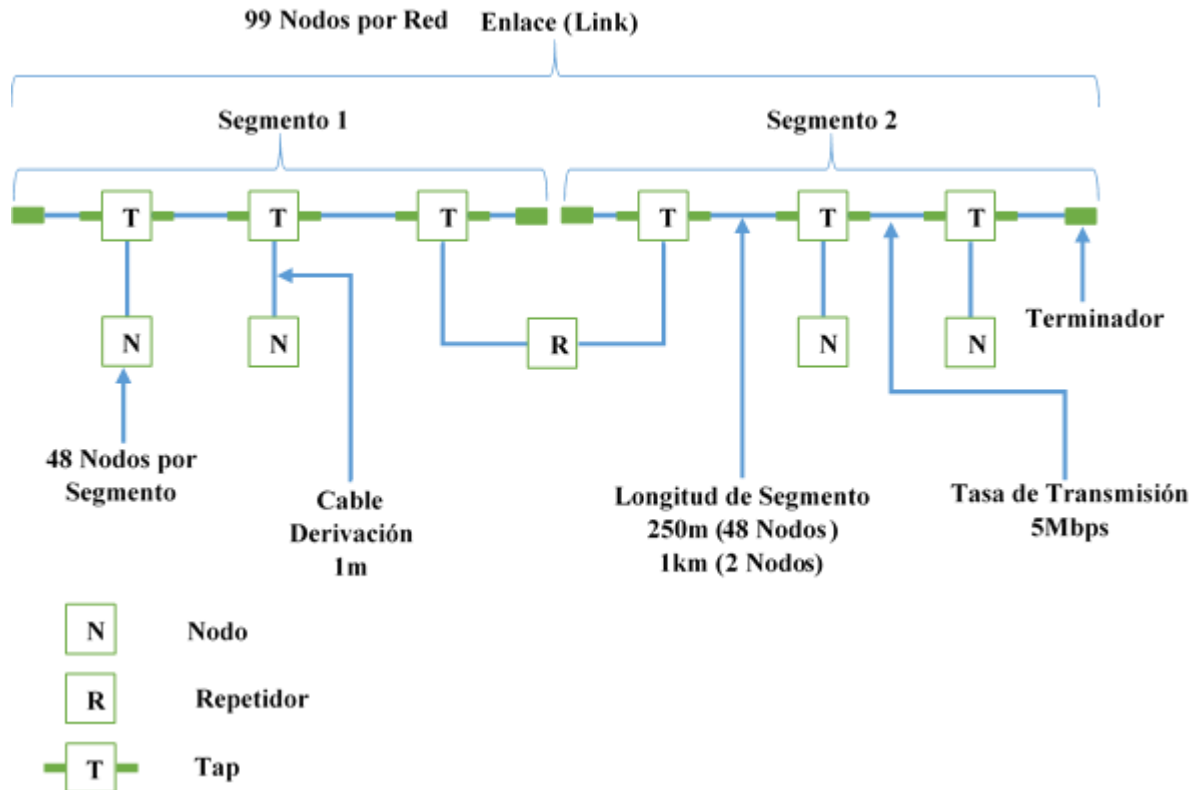


FIGURA 4.1. REPRESENTACIÓN DE RED CONTROLNET JUNTO A SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.

ControlNet, utiliza método de comunicación Productor/Consumidor, que soporta comunicación Punto a Punto y Multicast. Además, esto le otorga la capacidad de priorización de mensajes. Además es una red determinística dado el método de acceso al medio empleado CTDMA, que garantiza la comunicación de los dispositivos. [30, pp. 168, 169]

A continuación se resumen las principales característica de la red ControlNet

- ❖ Cable coaxial RG6 (75Ω), estándar usado en la industria de TV, económico, alta inmunidad al ruido.
- ❖ También puede ser construida con fibra óptica. [30, p. 169]
- ❖ Topologías Bus, estrella (medios ópticos), árbol mediante repetidores o combinaciones.
- ❖ Número máximo de nodos 99.

- ❖ Cada nodo incorpora un NAP (Puerto Acceso Red), permite la conexión de terminales de programación en cualquier punto de la red.
- ❖ Longitud máxima de un segmento es de 1000m.
- ❖ No hay distancia mínima entre taps.
- ❖ Número máximo de repetidores, 20 en serie y 48 en paralelo. Su función es la de extender la longitud física e incrementar el número de nodos.
- ❖ Usa conectores sellados o del tipo abierto.
- ❖ Ofrece alta velocidad de Transmisión de datos (5Mbaud fija) a un alto rendimiento.
- ❖ Inserción o eliminación de nodos cuando la red está en modo Run.
- ❖ Soporta medios redundantes.
- ❖ Comunicación con opciones intrínsecamente seguras.
- ❖ Multifusión (Multicast) con ambas entradas y entre iguales (peer-to-peer) para información reducida.
- ❖ Proporciona una instalación simple y flexible que no requiere de herramientas especiales.
- ❖ Incorpora diagnósticos del sistema, que hacen más fácil configurar y mantener la red.
- ❖ Permite seleccionar el tiempo de actualización del procesador PLC y de las E/S.
- ❖ Permite la comunicación con múltiples dispositivos en la misma red.
- ❖ Determinismo, exacta determinación del tiempo de actualización, por ejemplo, se puede determinar que el tiempo de actualización de las E/S digitales sea cada 3 ms.
- ❖ Repetibilidad, garantía del mantenimiento de los tiempos de actualización en todos los casos posibles. [34, pp. 13-14]
- ❖ Arquitectura de control Centralizada y Distribuida. [30, p. 169]

El campo de aplicación de este tipo de red es todo aquel que requiera entradas y salidas digitales rápidas o señales analógicas remotas, tales como:

- ❖ Líneas automáticas de ensamblado.
- ❖ Tratamiento de aguas.
- ❖ Proceso de alimentos.
- ❖ Industria farmacéutica.
- ❖ Transporte de productos.

Esta red es ideal para la sustitución de grandes cantidades de señales de Entrada/Salida cableadas (RIO, Remote I/O), o la implementación del eje central de un sistema compuesto por varias redes DeviceNet.

Como se mencionó en párrafos anteriores ControlNet utiliza un dialogo que se basa en el principio de Productor/Consumidor. Este método tiene dos ventajas principales:

- ❖ Todos los nodos de la red pueden acceder al mismo dato de forma simultánea, bajando así la carga de comunicaciones. No es necesario enviar un mensaje para cada destinatario, el dato se genera una sola vez, y sirve para todos los que lo necesiten.
- ❖ Todos los nodos de la red están sincronizados, pues los datos llegan al mismo tiempo a todos ellos. [1, pp. 345, 346]

4.2.2 CARACTERÍSTICAS QUE INTEGRAN LA CAPA FÍSICA.

La topología básica definida por la especificación ControlNet consiste de una línea troncal (trunk-line) de cable coaxial RG-6 de 75Ω . Ambos extremos de esta línea troncal son terminados con una resistencia de 75Ω . En la Figura 4.2 se muestra una representación esquemática de ésta topología.

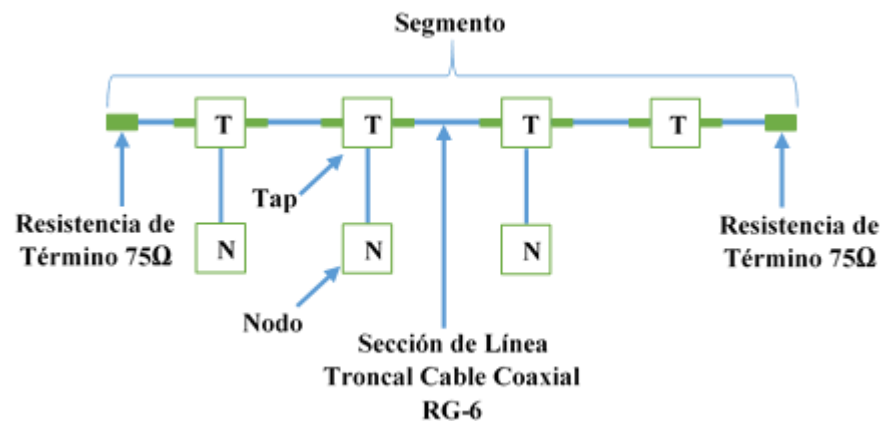


FIGURA 4.2. REPRESENTACIÓN DE LA TOPOLOGÍA BÁSICA CONTROLNET.

El segmento es la unidad básica de red ControlNet. Pueden unirse varios segmentos para formar un enlace, que es la red completa. Todos los dispositivos ControlNet son conectados a la línea troncal a través de taps especiales que reducen la desigualdad de impedancia. Cada dispositivo es un nodo y pueden ser admitidos hasta 99. [30, p. 172]

Para un mejor entendimiento de todos los elementos que componen a una red ControlNet, se dará una breve descripción de ellos. En la Figura 4.3 se muestran los diferentes elementos que componen a una red.

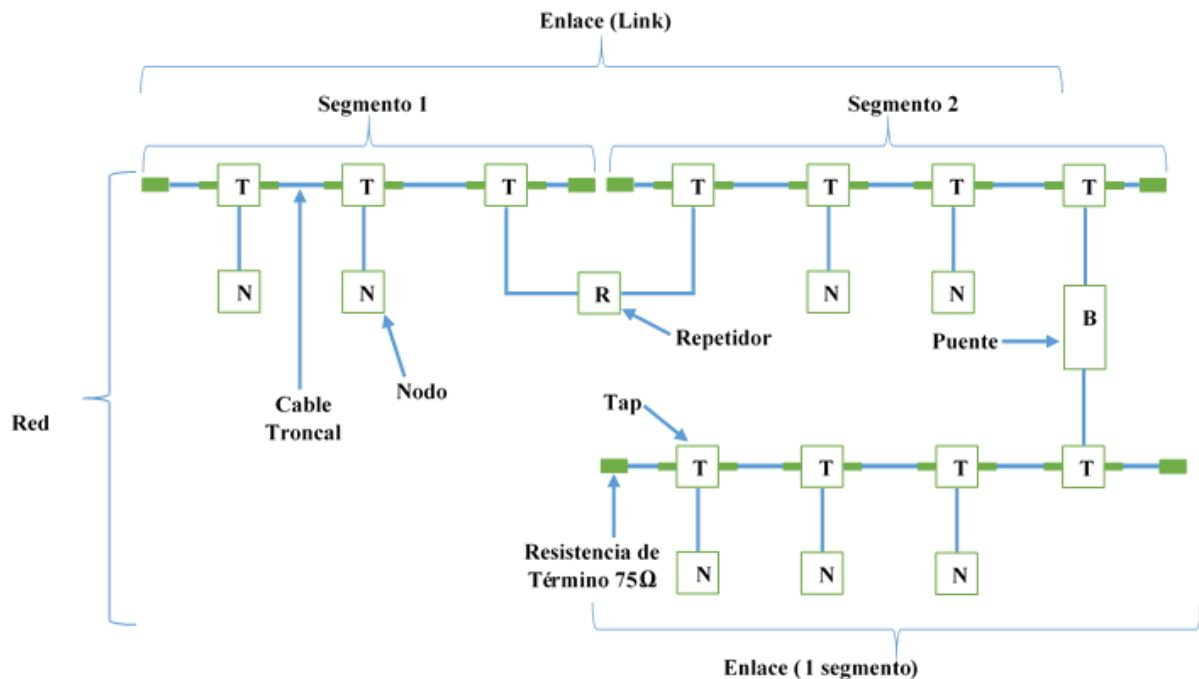


FIGURA 4.3. ELEMENTOS QUE FORMAN A UNA RED CONTROLNET.

4.2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS QUE CONFORMAN UNA RED CONTROLNET.

Nodo: Es un dispositivo físico conectado al sistema de cableado ControlNet que requiere de una dirección de red para funcionar en ControlNet.

Taps: Los Taps conectan un nodo a la red con sistema de cable coaxial mediante una línea de derivación.

Los Taps ControlNet son componentes eléctricamente pasivos, pueden ser con conector BNC o TNC, según la aplicación. Éstos se componen de dos partes:

- ❖ Un adaptador de impedancia de 75 Ohm.
- ❖ Una longitud específica de 1 m. [30, p. 179]

Cable troncal: Es el bus, o parte central del sistema de cable coaxial ControlNet. El cable troncal está compuesto por múltiples secciones de cables. El cable estándar para la construcción del cable troncal es el RG-6 tipo coaxial.

Resistencia de Término: Es una resistencia de 75Ω , necesita ser instalada en los taps situados al final de un segmento.

Segmento: Es un conjunto de secciones de cable troncal coaxial, taps y dos terminadores.

Repetidor: Se utiliza para incrementar el número de taps, extendiendo la longitud total del segmento, o creando una nueva configuración. El número de repetidores y la longitud total del cable viene delimitado por la topología de la red.

Los repetidores ControlNet deben cumplir con los requerimientos de señal establecidos en la especificación. El número de repetidores entre 2 nodos había estado limitado a 5 hasta recientemente. La tecnología mejorada ahora permite conectar hasta 20 repetidores en serie. Sin embargo, a pesar del medio tecnológico utilizado, la longitud total de un sistema ControlNet (la distancia entre 2 nodos cualquiera en la red) está limitada. Esta limitación es debida al retardo de propagación. Con el medio actualmente disponible, la distancia máxima es de 20 km.

Repetidores de fibra óptica pueden ser usados para aumentar el tamaño de la red o para permitir aislamiento de segmentos de red en entornos EMC críticos o para aplicaciones de alto voltaje. [30, pp. 182,183]

Cuando se inserta un repetidor dentro del sistema de cableado, se crea un nuevo segmento. El nuevo segmento tendrá las mismas restricciones respecto al número máximo de taps y longitud del cable.

Conexión: Es una colección de nodos formando:

- ❖ Un segmento.
- ❖ Múltiples segmentos conectados a través de repetidores.

Cada nodo necesita tener una única dirección de red dentro del rango 1-99. Cuando se configura un link utilizando repetidores, se pueden instalar mediante tres métodos, **manteniendo la regla general de que debe existir un solo camino entre dos nodos.**

1. Repetidores en serie.
2. Repetidores en paralelo.
3. Combinación serie-paralelo.

1. Instalación de repetidores en serie Figura 4.4: Cuando se instalan repetidores en serie se puede utilizar el software de configuración RSNetworkx para verificar que el sistema de configuración está permitido por las especificaciones. El tamaño del sistema de cableado está basado en el número máximo de repetidores en serie y la longitud media utilizada entre dos nodos.

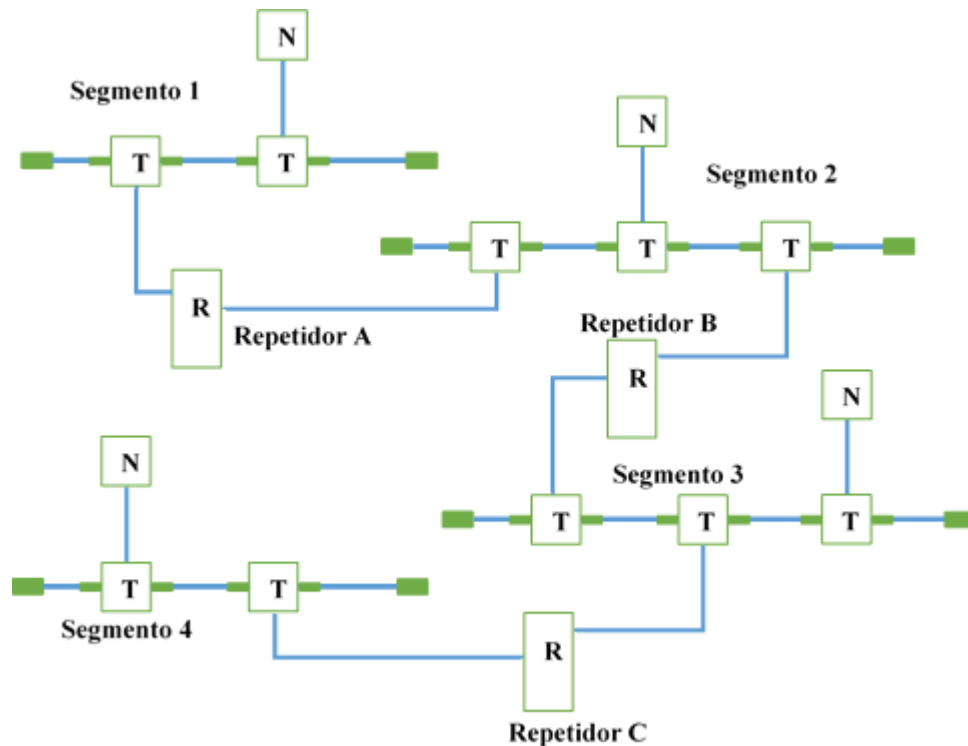


FIGURA 4.4. EJEMPLO DE REPETIDORES CONECTADOS EN SERIE.

2. Instalación de repetidores en paralelo: Cuando se instalan los repetidores en paralelo, únicamente se pueden instalar un máximo de 48 repetidores (250 m por segmento), esta configuración se muestra en la Figura 4.5.

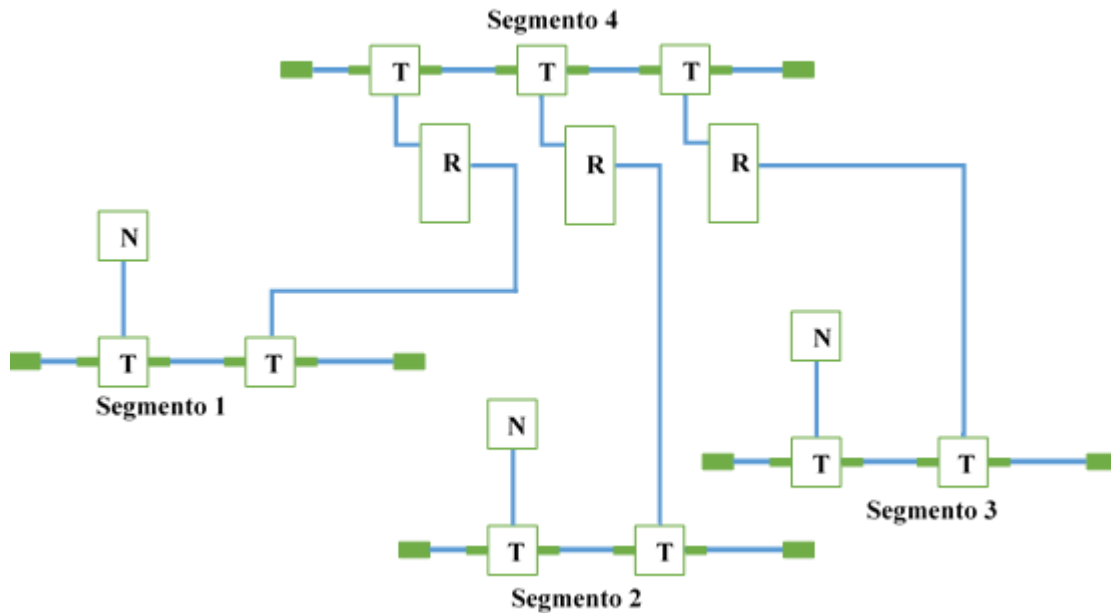


FIGURA 4.5. INSTALACIÓN DE REPETIDORES EN PARALELO.

3. Instalación de repetidores en serie-paralelo: Para topologías mixtas el número máximo de repetidores y la longitud del medio que puede ser utilizado se tiene que verificar con el software de configuración RSNetworkx.

- ❖ Las redes que utilizan una combinación de repetidores mixta se necesita contar los taps y repetidores en todos los segmentos. Únicamente puede existir un único camino entre dos nodos en un link.

Puente: O bridge es un dispositivo utilizado para conectar redes.

Red: Es una colección de nodos conectados junto por repetidores y puentes. [34, pp. 40-45]

4.2.3 INTERDEPENDENCIA DE LA LONGITUD DE LA RED Y EL NÚMERO DE TAPS.

La especificación ControlNet no especifica una distancia mínima entre Taps. Sin embargo, cada Tap introduce en la red una atenuación de señal que se traduce en una disminución en la longitud de la red. Por este motivo, cada Tap disminuye la longitud máxima de la red en 16.3 m.

ControlNet especifica un segmento máximo de red que está definido por:

$$\text{Segmento máximo de red permitido} = 1000\text{m} - (16.3\text{m})(\text{N}^\circ \text{ de Taps} - 2)$$

Esto significa que si un segmento de red posee 2 Taps, la longitud máxima permitida de este segmento es de 1000 m (o 1 km).

El número máximo de Taps permitido por segmento es de 48. Por lo tanto, la longitud máxima de un segmento de red con éste número de taps es de 250m. En la Figura 4.6 se muestra la relación que existe entre el número de taps y la longitud de segmento.

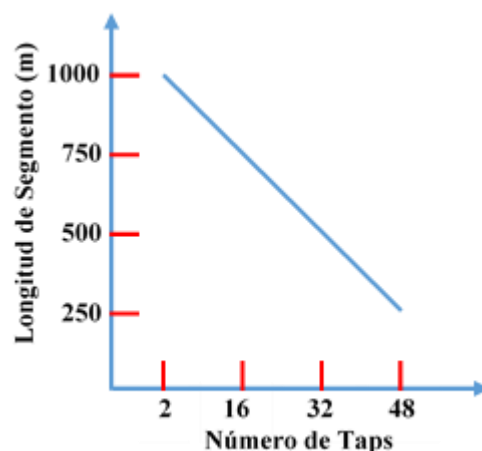


FIGURA 4.6. RELACIÓN ENTRE LA LONGITUD DE SEGMENTO DE RED Y NÚMERO DE TAPS.

4.2.4 TOPOLOGÍAS.

Las limitaciones impuestas a la topología por la longitud de segmento y el número de taps, puede ser superada mediante la utilización de repetidores sin perder velocidad. Por lo cual, si una red incluye un alto número de nodos, con un máximo de 99, y/o con una topología que va más allá de la línea troncal, puede utilizar repetidores ControlNet para extender el bus.

Es posible crear cualquier tipo de topología: árbol, estrella o bus lineal. Incluso, es posible una topología anillo utilizando repetidores especiales. Repetidores de fibra óptica pueden ser usados para aumentar el tamaño de la red o para permitir el aislamiento de segmentos de red en entornos EMC críticos o para aplicaciones de alto voltaje. En la Figura 4.7 se ilustra la representación de 3 topologías ControlNet.

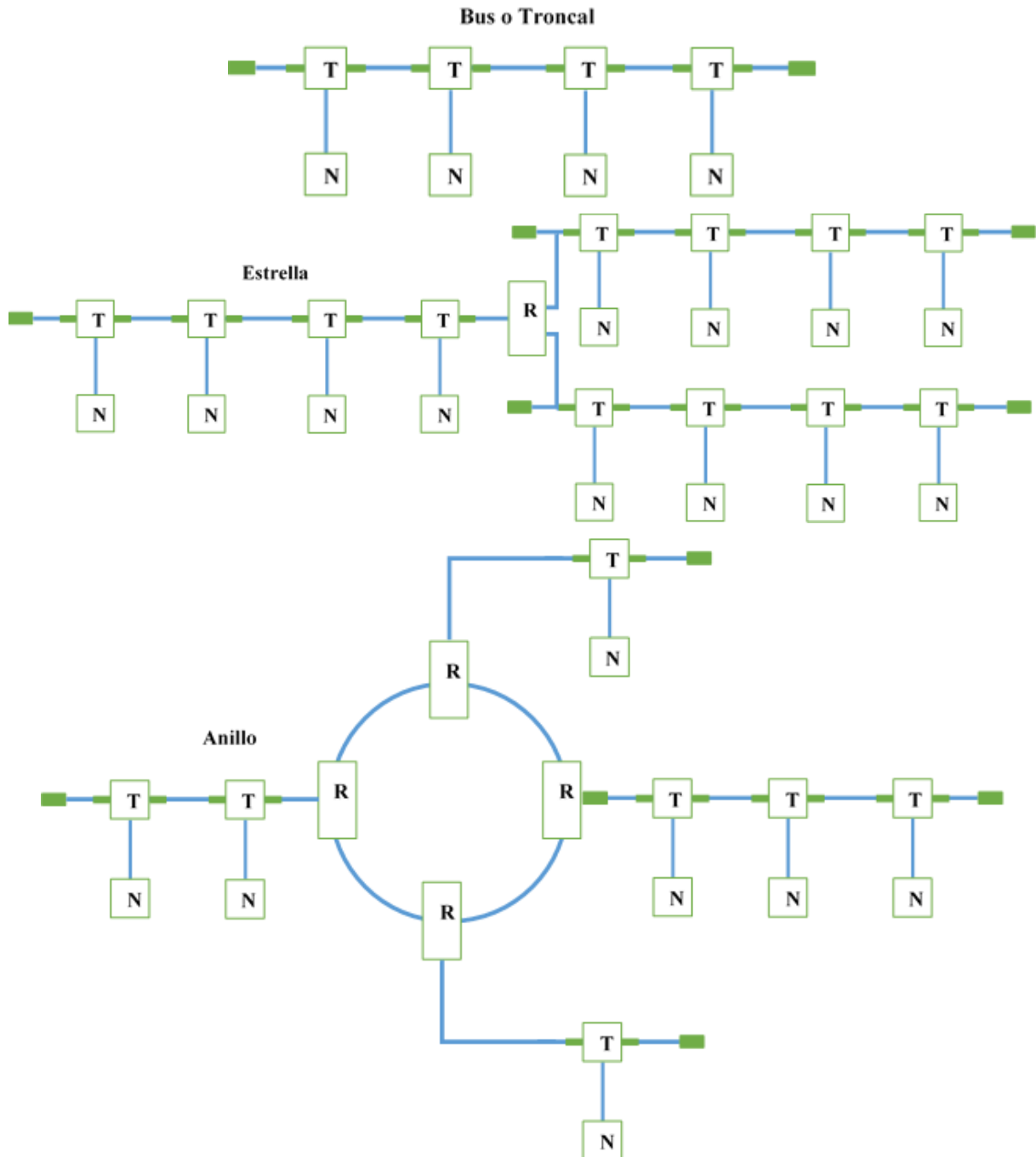


FIGURA 4.7. TOPOLOGÍAS CONTROLNET, LÍNEA TRONCAL, ESTRELLA, ANILLO.

Es posible conectar hasta 20 repetidores en serie. Sin embargo, la longitud total del sistema queda limitada por el retardo de propagación de la señal. Actualmente, la distancia máxima que puede alcanzar una red ControlNet es de 20 km.

4.2.5 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL CONTROLNET.

A continuación se entregan las características de la señal ControlNet:

- ❖ Tasa de Transmisión de bits (bit-rate): 5 Mbps.
 - bit-time = 200 nseg
 - byte-time = 1.6 μseg
- ❖ Codificación de bit (bit-encoding): Manchester.
- ❖ Niveles de voltaje: 9.5V (p-p) en el Transmisor, y que puede ser atenuada hasta 510mV (p-p) en el extremo Receptor.

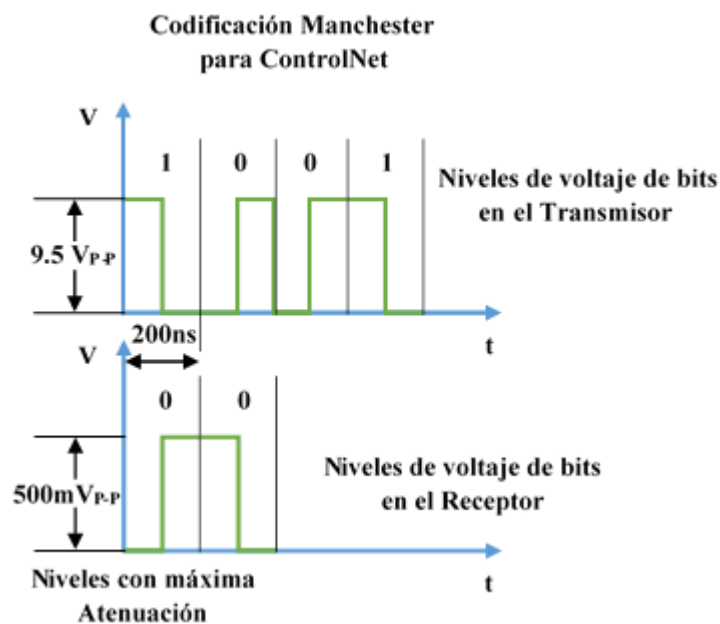


FIGURA 4.8. REPRESENTACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEÑAL CONTROLNET. [30, pp. 173-175]

4.3 CAPA DE ENLACE.

4.3.1 MÉTODO DE ACCESO AL MEDIO.

El acceso a la red es determinado por medio del tiempo. Cada nodo puede transmitir solamente durante el turno que le haya sido asignado, el cual cae dentro de una trama (frame) de tiempo específica. Un algoritmo denominado CTDMA, sigla de Concurrent Time Domain Multiple Access, y que se traduce como Acceso Múltiple por Dominio de Tiempo Concurrente (o concursado), regula la oportunidad de transmitir. Esta oportunidad se repite a sí misma a

intervalos precisos. Se define un NUT, acrónimo de Network Update Time (o Tiempo de Actualización de la Red), que es un intervalo de tiempo repetitivo, fijo y conocido, en que pueden enviarse datos en la red ControlNet. Éste mecanismo de acceso se ilustra en la Figura 4.9.

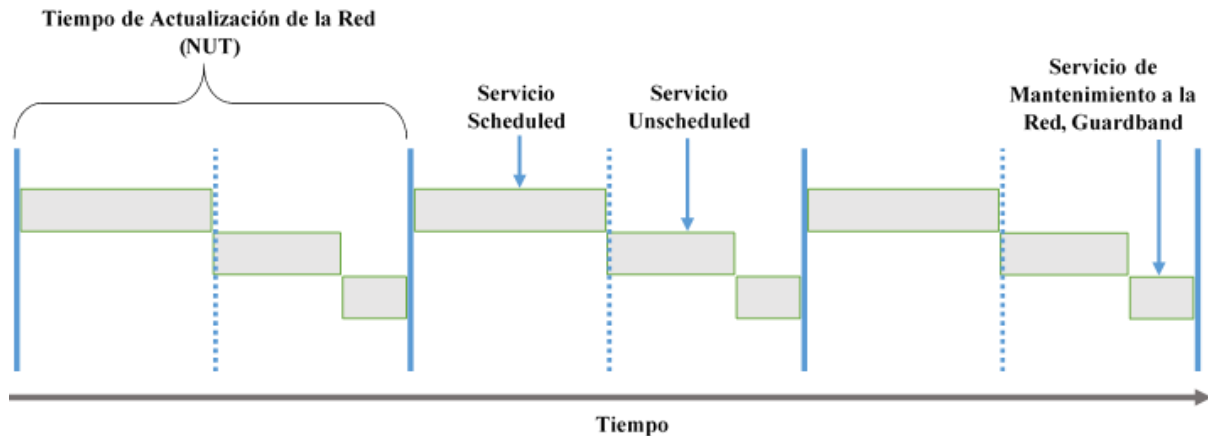


FIGURA 4.9. REPRESENTACIÓN DEL MECANISMO DE ACCESO CTDMA.

Puede observarse en la Figura 4.9 que el NUT está dividido en tres secciones:

- ❖ **Scheduled** (o de aplicaciones fijas o programadas).
- ❖ **Unscheduled** (o de aplicaciones no fijas o no programadas).
- ❖ **GuardBand** (Banda de Guarda o Banda de Protección).

4.3.1.1 SERVICIO SCHEDULED.

La primera porción del NUT está reservada para tráfico de mensaje tipo scheduled (o de aplicaciones programadas). La entrega de mensaje en esta porción del NUT es determinística y repetible. Todo nodo con una dirección de red cayendo entre 0 y S_{MAX} tiene garantizado exactamente una oportunidad de transmitir por NUT. S_{MAX} significa Scheduled Maximum Node, o Máximo Nodo Scheduled (Programado) y es la dirección más alta de red que puede reservar ancho de banda en la sección Scheduled del NUT. Los nodos que tengan direcciones de red por encima de S_{MAX} no enviarán mensajes durante la porción Scheduled del NUT.

Por lo tanto, la porción Scheduled es utilizada en mensajería con restricciones de tiempo crítico, otorgando prioridad de mensajería a los nodos. Cada nodo puede transmitir hasta 510

Bytes durante su turno. El ancho de banda en esta porción es reservado y configurado para apoyar de antemano la transferencia de datos de tiempo real. Tipos de mensajes Scheduled típicos incluyen: datos digitales, analógicos y peer-to-peer.

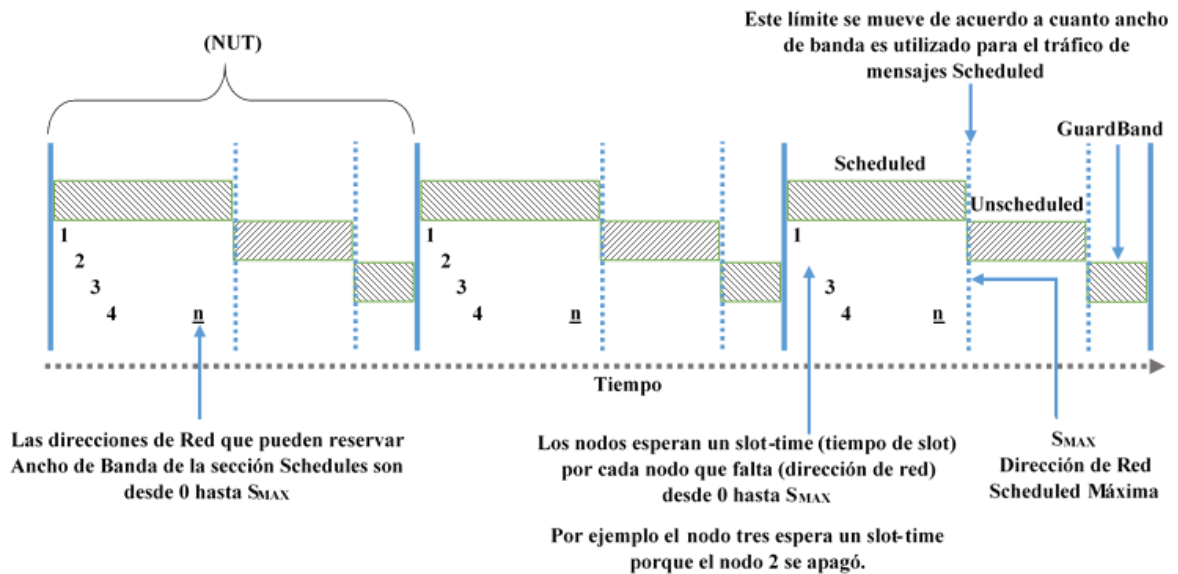


FIGURA 4.10. REPRESENTACIÓN DEL SERVICIO SCHEDULED CONTROLNET.

El *slot-time* (o tiempo de ranura) es la duración en que un nodo esperará por una dirección de red que falte, antes de tomar su turno para transmitir (puede decirse que es un “tiempo de relleno” que permite mantener la estructura del NUT). El tiempo real se basa en la longitud del cable y el número de repetidores.

Un método de Token-implícito regula el direccionamiento de red durante esta porción del NUT. El Token-implícito es la manera en que una dirección de red determina cuando transmitir en relación a los otros nodos de la red. *Ningún Token real es pasado*; el paso es *implícito* debido a que está basado en el tiempo. Cada nodo de la red espera para “escuchar” el fin de la dirección previa o un slot-time de cada nodo faltante antes de enviar su mensaje. Cada nodo permanece en silencio hasta que llegue su oportunidad de transmitir.

4.3.1.2 SERVICIO UNSCHEDULED.

La porción Unscheduled del NUT es utilizada para el tráfico que no tiene restricciones de tiempo crítico, el cual es llamado Unscheduled-Traffic (o Tráfico no Programado). Esta porción comienza después de que todos los nodos scheduled hayan tenido su oportunidad de transmitir.

El tiempo que resta antes del comienzo del Guardband (la tercera porción del NUT) está disponible sobre una base de rotación secuencial para todos los nodos, con una dirección de red entre 0 y U_{MAX} . Esta rotación continúa hasta el comienzo del Guardband. El U_{MAX} , que significa Unscheduled Maximum Node, o Máximo Nodo Unscheduled, es la dirección de red más alta que puede utilizar la porción Unscheduled del NUT para comunicar. Por defecto, es $S_{MAX}+8$. El derecho para transmitir primero en la porción Unscheduled rota un nodo por NUT.

Un nodo puede tener la oportunidad de transmitir varias veces durante la porción Unscheduled del NUT; sin embargo, un nodo no tiene garantizada una oportunidad en todo NUT. Esto significa que algunos nodos pueden transmitir más de una vez en la porción Unscheduled, mientras que otros no podrán ni siquiera una vez. Tipos de datos Unscheduled típicos incluyen: establecimiento de conexión, mensajería peer-to-peer y datos de programación (carga y descarga).

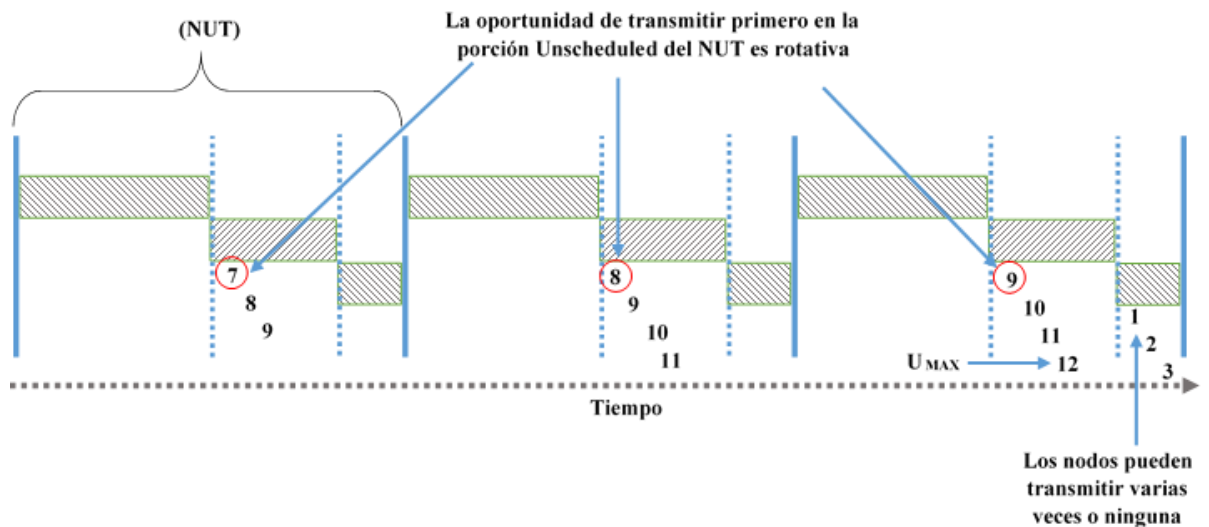


FIGURA 4.11 SERVICIO UNSCHEDULED CONTROLNET.

En la Figura 4.11 se representan 3 intervalos de NUT:

- ❖ En el primer NUT, es el nodo 7 quien comienza a utilizar primero la porción Unscheduled.
- ❖ En el segundo NUT, es el nodo 8 quien esta vez lo comienza a utilizar primero, sin tomar en cuenta qué nodo finaliza la porción Unscheduled. El nodo 7 no transmite en este NUT.

- ❖ En el tercer NUT, es el nodo 9 el que comienza a utilizar la porción Unscheduled primero. Se observa también que el U_{MAX} es el nodo 12; sin embargo, luego de la transmisión de este, comienza la transmisión de los nodos 1, 2 y 3, siendo el nodo 3 el que finaliza la porción. Los nodos 7 y 8, no transmiten en este NUT.

Puede observarse a través de esta ilustración que la oportunidad de transmitir primero en la porción Unscheduled pasa en forma rotativa. También se observa que no todos los nodos transmiten en cada porción Unscheduled de cada intervalo NUT.

De la misma forma que en el servicio Scheduled, el método de Token-implícito regula el direccionamiento de la red. También, los nodos aguardan un slot-time por cada nodo que falte (dirección de red), esta vez desde 0 hasta U_{MAX} . Sin embargo, a diferencia del servicio Scheduled, en el servicio Unscheduled, el reparto de mensajes no es determinístico ni repetible.

4.3.1.3 CONSIDERACIONES IMPORTANTES.

- ❖ El servicio Unscheduled admite las direcciones de red que van desde 0 hasta U_{MAX} . Además, U_{MAX} es siempre mayor o igual que S_{MAX} .
- ❖ Los nodos con direcciones de red mayores que S_{MAX} y menores o iguales que U_{MAX} pueden solamente enviar mensajes de tipo Unscheduled.
- ❖ Los nodos con direcciones de red menores o iguales que S_{MAX} pueden enviar tanto mensajes tipo scheduled como mensajes tipo Unscheduled.
- ❖ Los nodos con direcciones de red sobre U_{MAX} no pueden comunicarse en una red ControlNet.

4.3.1.4 EL GUARDBAND.

El Guardband, traducido como Banda de Guarda, es la parte final del NUT y está reservado para el mantenimiento de la red. Se define la unidad Moderator, o Moderadora, que es el nodo con la más baja dirección de red. Durante el Guardband, este nodo transmite una trama denominada Moderator Frame (o trama moderadora). Esta trama contiene información acerca del NUT, el S_{MAX} , el U_{MAX} y el slot-time de la red, con lo cual se mantiene la sincronización de todos los nodos. [30, pp. 184-189]

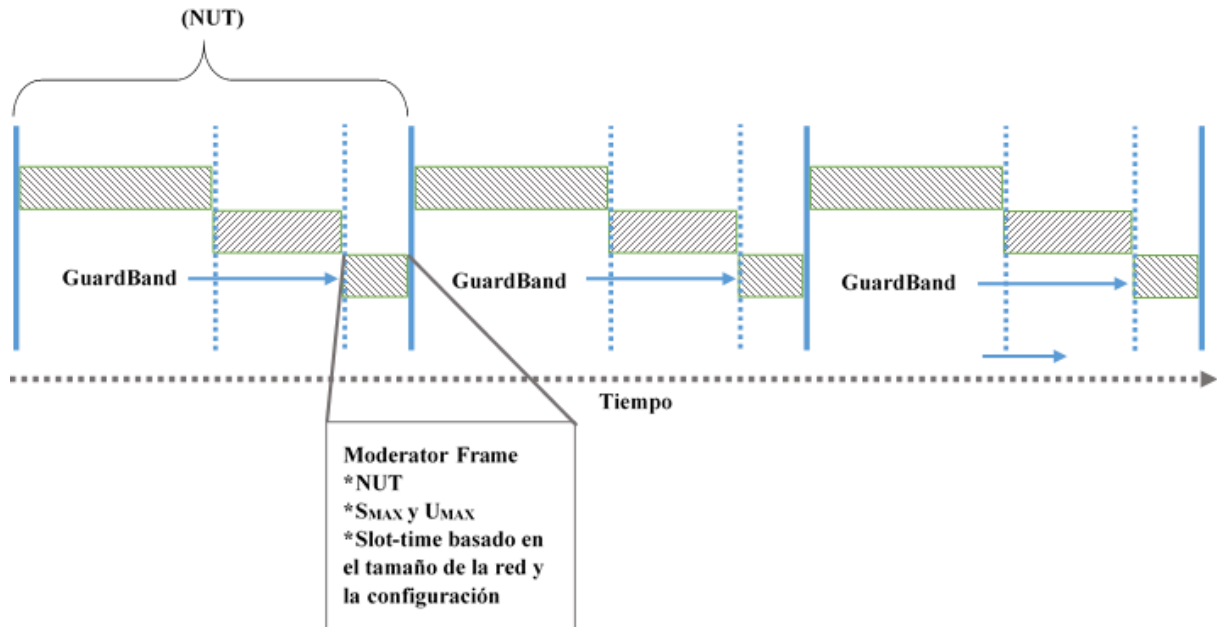


FIGURA 4.12. REPRESENTACIÓN DEL GUARDBAND Y EL MODERATOR FRAME.

Para optimizar el funcionamiento de la red minimizar los posibles saltos de nodos, estos saltos provocan un elevado consumo del ancho de banda de la red y un aumento de la respuesta en tiempo.

- ❖ Siempre que sea posible, empezar a enumerar los nodos secuencialmente a partir de la dirección 1.
- ❖ Adecuar el S_{MAX} y el U_{MAX} a la aplicación. [34, p. 29]

4.3.2 FORMATO DE LOS PAQUETES CONTROLNET.

Cuando un nodo envía datos sobre una red ControlNet, éstos van empaquetados en un MAC-Frame (o Trama MAC). Este MAC-Frame (Media Access Control Frame, traducido como Trama de Control de Acceso al Medio) es la forma en que un nodo transmite un grupo de datos. Este grupo de datos están en la forma de Lpackets. Un Lpacket, o Link Packet (Paquete de Enlace) es un dato que ha sido empaquetado y etiquetado por un nodo en preparación de una transmisión.

Cada MAC-Frame puede contener múltiples Lpackets, los cuales se transmiten juntos.

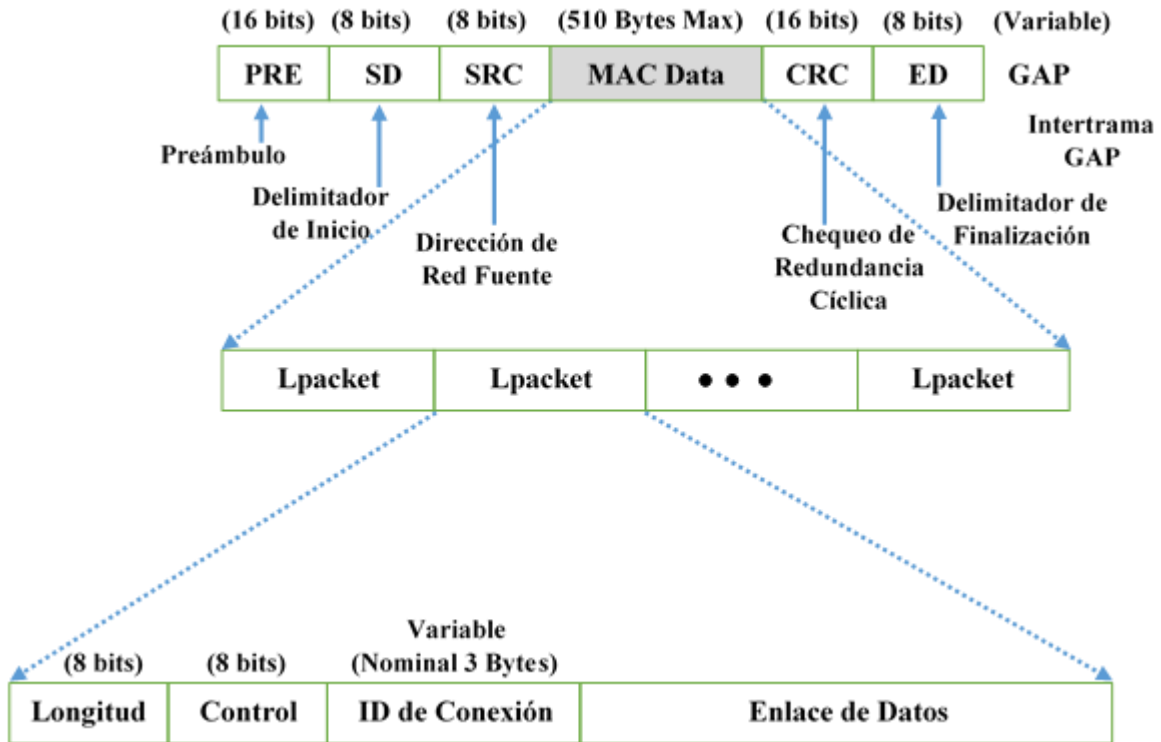


FIGURA 4.13. FORMATO DEL MAC-FRAME Y DE Lpackets CONTROLNET.

Cada nodo puede enviar solamente un MAC Frame con un máximo de 510 Bytes en cada oportunidad de transmisión.

4.3.2.1 EL MAC-FRAME.

En un MAC-Frame son insertados distintos campos antes de transmitir en la red ControlNet. A continuación se indican cuáles son estos campos:

- ❖ Preámbulo de 16 bits.
- ❖ Start-delimiter (Delimitador de Inicio) de 8 bits.
- ❖ Source Network Address (Dirección de Red Fuente) de 8 bits.
- ❖ CRC (Chequeo de Redundancia Cíclica) de 16 bits. Utiliza el polinomio estándar internacional CRC-16: $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$
- ❖ End-delimiter (Delimitador de Finalización) de 8 bits.

El Source Network Address (Dirección de Red Fuente) es escrito en un registro del ASIC, que es el chip que incorpora todo dispositivo ControlNet, en donde se encuentra el protocolo de comunicación ControlNet. Una vez que esto ha sido realizado, el sistema necesita entregar sólo el contenido del MAC-Data.

El MAC-Frame permite la transmisión de varias porciones de información denominadas Lpackets (Link packets). Cada Lpacket dentro del campo MAC-Data puede ser destinado para diferentes unidades consumidoras.

4.3.2.2 El Lpacket.

Como se muestra en la Figura 4.13, el campo de trama MAC-Data puede contener varios Lpackets. Los Lpackets llevan mensajes CIP individuales (I/O o Explícitos).

Puede observarse que un Lpacket se compone de:

- ❖ Campo de Longitud (Length) de 8 bits que indica número de palabras que lleva el Link Data.
- ❖ Campo de Control: Indica el tipo de Lpacket (si es con un CID de 2 Bytes o con un CID de 3 Bytes)
- ❖ Conexión ID (CID): Que puede ser de 2 o 3 Bytes.
- ❖ Link-Data: En este campo se llevan los datos CIP, E/S o Explícitos.

La Conexión ID, o CID, es un identificador o valor al cual se asocian las transmisiones cuando se ha establecido una conexión. Si acaso la transmisión es bidireccional, entonces son asignados dos valores CID. En una red ControlNet, la conexión ID es creada automáticamente. A través de este identificador, un nodo decide si determinado Lpacket lleva datos necesarios para él o no. Como la Conexión ID, puede ser de 2 Bytes o de 3 Bytes, se definen dos tipos de Lpacket.

- ❖ Lpacket de Conexión ID Fija, de 2 Bytes.
- ❖ Lpacket de Conexión ID General, de 3 Bytes. [30, pp. 189-191]

4.4 CAPA DE RED Y TRANSPORTE.

ControlNet tiene un sistema de comunicaciones basado en conexiones, la información es transferida una vez establecidas las comunicaciones entre aplicaciones. Una conexión establece un camino entre aplicaciones para permitir la transferencia de datos. Las conexiones deben estar establecidas antes de que la información pueda ser transferida. [34, p. 32]

Se establece entonces un Circuito Virtual, los puntos extremos de conexión son aplicaciones que necesitan compartir datos. La Figura 4.14 ilustra un circuito virtual que atraviesa uno o más nodos intermedios entre la fuente y el destino.

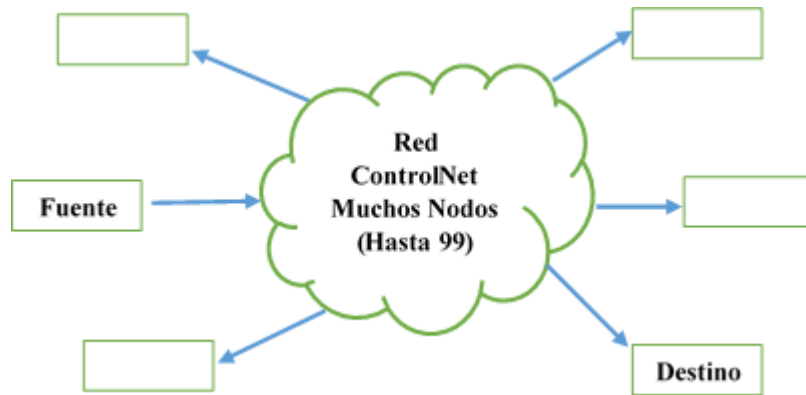


FIGURA 4.14. CIRCUITO VIRTUAL CONTROLNET.

El término fuente y destino implica que una conexión ha sido establecida y que existe actualmente.

4.4.1 ESTABLECIMIENTO DE UNA CONEXIÓN.

Todo nodo ControlNet contiene los siguientes objetos:

- ❖ UNCONNECTED MESSAGE MANAGER (UCMM).
- ❖ MESSAGE ROUTER (MR).
- ❖ CONNECTION MANAGER (CM).

4.4.1.1 EL UNCONNECTED MESSAGE MANAGER (UCMM).

El Unconnected Message Manager (UCMM), que puede traducirse como el Gestor de Mensajería No Conectada, facilita el intercambio de información usada para establecer, abrir o cerrar una conexión entre aplicaciones. Además, se utiliza para llevar datos no repetitivos y datos de tiempo-no-crítico en un único enlace. Para establecer una conexión, el Connection Manager, CM (Gestor de Conexión), entrega al UCMM la dirección de red y el camino hacia la Aplicación-Objetivo (Target-Application). Una vez que la conexión ha sido establecida, la dirección y el camino ya no son requeridos. Al abrir la conexión se establece un valor de Conexión ID (CID), el cual será utilizado para intercambiar información de aplicación. En la Figura 4.15 se ilustra la operación del UCMM.

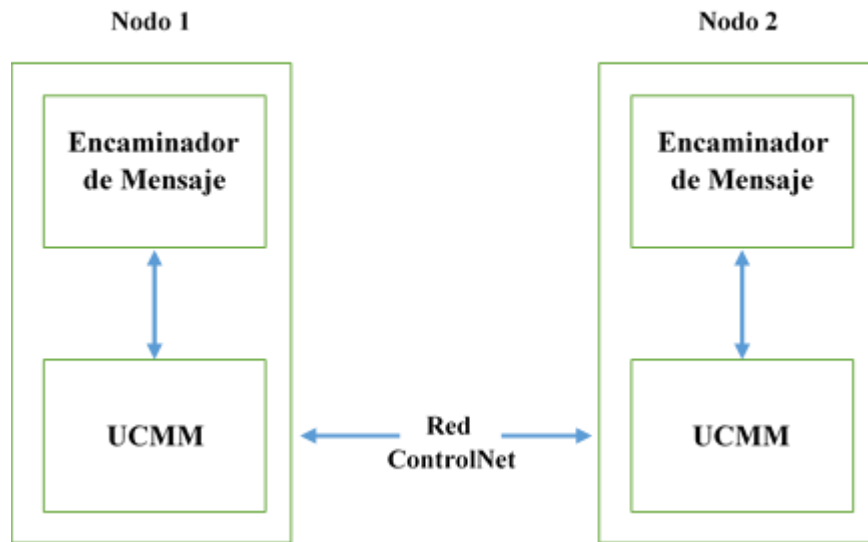


FIGURA 4.15. OPERACIÓN DEL UCMM.

En la Figura 4.15 puede apreciarse que cada mensaje recibido por el UCMM es reenviado al Message Router, o Encaminador de Mensaje, en donde es analizado y enviado a su función específica u objeto. El UCMM mantiene un registro de las transacciones de cada mensaje recibido, así que una respuesta puede ser enviada a la locación apropiada. Los mensajes de requerimiento de abrir o cerrar una conexión siempre son a través del UCMM. Además el UCMM entrega: detección de duplicación, reenvío automático, Message-time-out (Mensaje fuera de tiempo).

4.4.1.2 EL MESSAGE ROUTER.

El Message Router, MR, traducido como Encaminador de Mensaje, permite a una aplicación abrir conexiones a múltiples objetos dentro del mismo nodo. Este actúa como un switch dentro de un objeto de un nodo. Otros nodos pueden establecer una conexión con el MR a través del UCMM y el Connection Manager (Gestionador de Conexión).

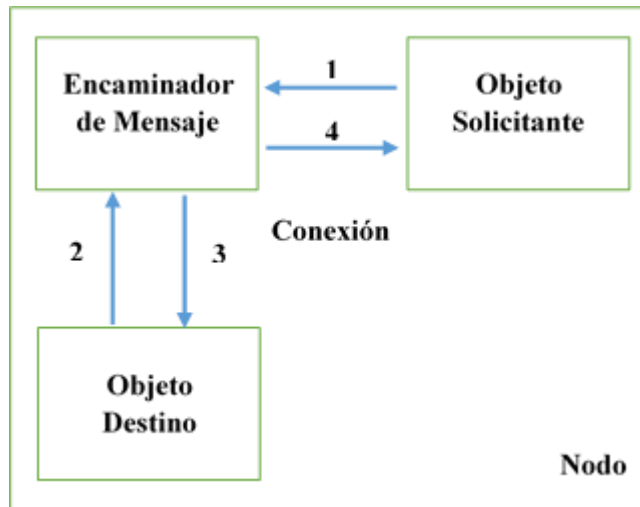


FIGURA 4.16. FUNCIONAMIENTO DEL MESSAGE ROUTER.

Remitiéndose a la Figura 4.16, se tiene que:

1. El MR determina qué objeto realiza el servicio especificado por medio de la interpretación de la porción identificadora del mensaje.
2. El mensaje es reenviado al objeto destino (Destination Object).
3. Una respuesta proveniente del objeto destino es recibida por el objeto solicitante (Requesting Object).
4. El MR reenvía la respuesta al objeto solicitante por medio del establecimiento de una conexión.

Las conexiones pueden ser creadas sin una conexión MR; un mensaje de conexión al MR sólo es obligatorio cuando la aplicación originadora requiere acceder a múltiples objetos internos a través de la misma conexión.

4.4.1.3 EL CONNECTION MANAGER.

El Connection Manager (CM), traducido como Gestor de Conexión, asigna recursos internos necesarios para cada conexión. Los requerimientos de conexión son originados por:

- ❖ Otros nodos a través del UCMM.
- ❖ Una aplicación en un nodo.

La Figura 4.17 ilustra el funcionamiento del CM de un nodo Objetivo al recibir un requerimiento de conexión por un nodo Originador.

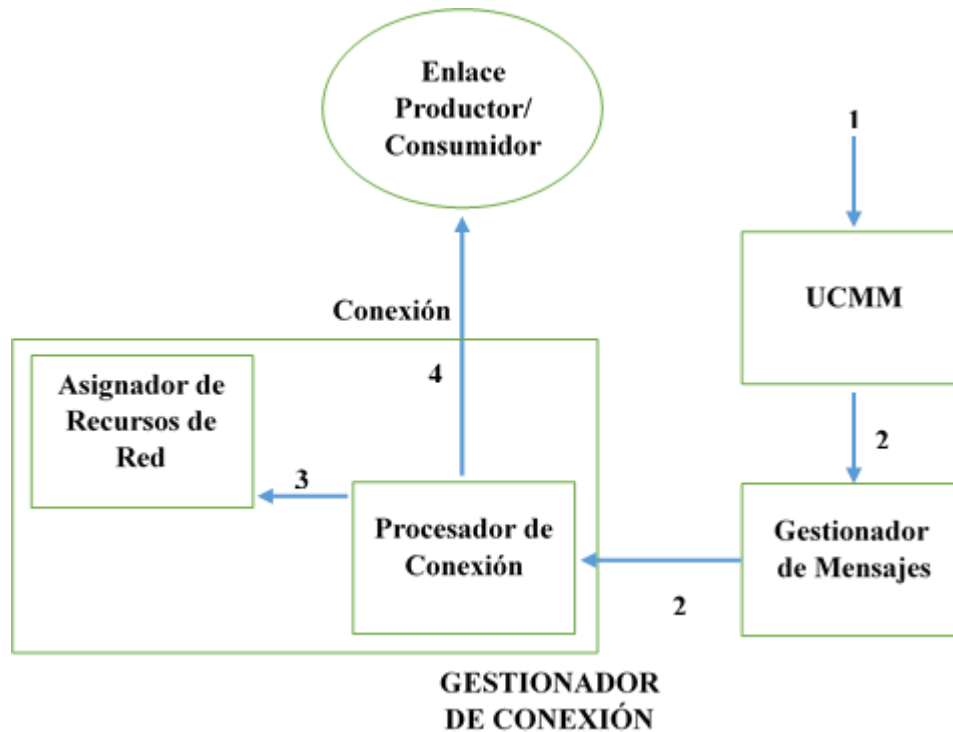


FIGURA 4.17. FUNCIONAMIENTO DEL CONNECTION MANAGER (CM).

Remitiéndose a la Figura 4.17, se tiene que:

1. El UCMM del nodo Originador se contacta con el UCMM del nodo objetivo con un requerimiento de conexión.
2. El requerimiento es encaminado a través del MR del objetivo al CM.
3. El CM asigna los recursos necesarios.
4. Una conexión es realizada al nodo originador.

4.4.2 EL MODELO PRODUCTOR/CONSUMIDOR EN CONTROLNET.

La red ControlNet utiliza el modelo Productor/Consumidor para intercambiar información de aplicación. Este modelo es la base para entender todas las transacciones ControlNet.

En este modelo, el originador pone la información accesible a todos los componentes de la red simultáneamente. Esto provoca que múltiples nodos puedan recibir la información simultáneamente y que la sincronización de nodos sea fácil de obtener. [34, p. 21]

Las bases de este modelo para ControlNet son:

- Mensajes Objeto
- Conexión ID

- Tipos de Conexión Productor/Consumidor
- Servicios de Transporte
- Tipos de conexión de transporte

4.4.2.1 MENSAJES OBJETO.

En el modelo Productor/Consumidor de la red ControlNet, los Mensajes-Objeto son utilizados para intercambiar información. Un Mensaje-Objeto es un fragmento de información que interesa a uno o más nodos de la red. Éste lleva un valor de configuración con una descripción de lo que significa. La red ControlNet transfiere Mensajes-Objeto entre Productores y Consumidores para llevar la información. En la Figura 4.18 se muestra una representación simplificada de un Mensaje-Objeto.



FIGURA 4.18. MENSAJE-OBJETO DENTRO DEL MAC FRAME.

El Mensaje-Objeto, identifica una Conexión ID (CID) y un Dato-Objeto que contiene la información. Ésta forma de composición de los mensajes permite un menor procesamiento, con lo cual aumenta el rendimiento de la aplicación y se reducen los códigos.

Los nodos “ven” claramente los CID’s transmitidos por los nodos Productores. Una vez que un nodo reconoce un CID, este consume el mensaje, es decir, lo acepta pues es para él, y en consecuencia, se vuelve un “Consumidor”. La red supone que cada Mensaje-Objeto tiene exactamente un significado pero que puede tener uno o más consumidores.

En términos sencillos, un productor es un nodo que está transmitiendo un mensaje, mientras que un consumidor es un nodo que recibe y acepta un mensaje.

4.4.2.2 TIPOS DE CONEXIÓN PRODUCTOR/CONSUMIDOR.

4.4.2.2.1 CONEXIÓN PUNTO A PUNTO (POINT-TO-POINT).

Este tipo de conexión es aquella en que se conectan directamente un Productor y un Consumidor.

4.4.2.2.1.1 CONEXIÓN MULTICAST.

Este tipo de conexión es aquella en que un mensaje es transmitido simultáneamente a más de un nodo Consumidor. El mensaje puede ser recibido por alguno, algunos o todos los nodos de la red según el mensaje (esto a diferencia de una comunicación Broadcast en que el mensaje siempre es transmitido a todos los nodos). En la Figura 4.19 se representa este tipo de conexión.

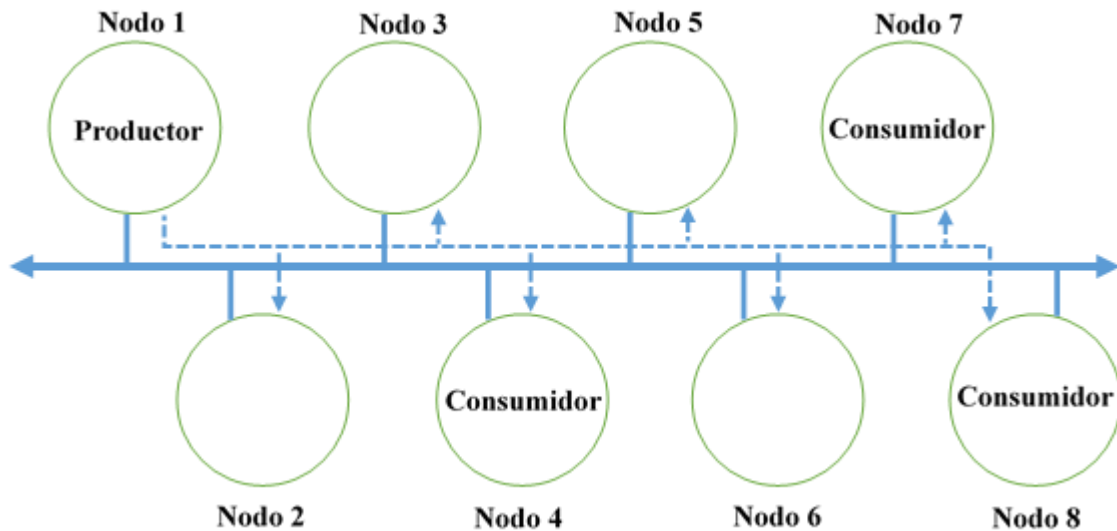


FIGURA 4.19. CONEXIÓN PRODUCTOR/CONSUMIDOR TIPO MULTICAST.

En la Figura 4.19, se representa una red compuesta de 8 nodos. La flecha de línea segmentada representa un Mensaje-Objeto. El nodo #1 es el Productor de este Mensaje-Objeto, y los nodos #4, #7 y #8 son sus Consumidores. Aunque todos los nodos ven el mensaje, no todos están interesados en él. En la Figura, los nodos #2, #3, #5 y #6 no consumen el mensaje. Los nodos pueden ser Productores, Consumidores o ambos, según qué operación realicen.

4.4.2.3 SERVICIOS DE TRANSPORTE.

En la Tabla 4.1 se enlistan las dos clases de transporte de propósito general que han sido definidas por la red ControlNet. Cada clase de transporte entrega diferentes niveles de servicios. Estos servicios permiten la comunicación entre aplicaciones. Las clases de transporte con números altos incorporan y construyen las funciones de clases de transporte bajas. La aplicación originadora debe determinar qué clase de transporte es mejor para sus necesidades para la transferencia de un determinado dato.

CLASES DE TRANSPORTE	
Clase Número	Nombre de Clase
1	Detección de Duplicación
3	Verificación

TABLA 4.1. CLASES DE TRANSPORTE CONTROLNET.

4.4.2.3.1 TRANSPORTE CLASE 1.

Esta clase sólo entrega un nivel mínimo de servicio con detección de duplicación de datos. Las características de esta clase de transporte son las siguientes:

- ❖ Usa una conexión.
- ❖ Entrega un encabezado de conteo de secuencia para detectar duplicación de paquetes de datos repartidos.
- ❖ No carga ninguna aplicación-objetivo (target) con detección de duplicación.
- ❖ Usada para transferencia cíclica de datos.

4.4.2.3.2 TRANSPORTE CLASE 3.

Esta clase sí entrega verificación de datos. Las características de esta clase de transporte son las siguientes:

- ❖ Usa una conexión para repartir datos de aplicación.
- ❖ Emplea una segunda conexión para verificar que el dato transmitido ha sido recibido y leído por el Consumidor.
- ❖ Usado para transferencia de datos de Cambio de Estado (Change-Of-State, COS) y aplicaciones de Triggered (de disparo). [30, pp. 194-204]

4.5 CAPAS SUPERIORES.

El protocolo CIP define objetos comunes para todos los dispositivos de las redes basadas en este modelo. Dentro de los objetos comunes, existen una cantidad mínima de objetos para que la red sea funcional. Por lo que de la misma manera que para DeviceNet, los objetos comunes mínimos que debe implementar cada dispositivo de la red son:

- ❖ **Identity Object.**
- ❖ **Message Router Object.**
- ❖ **Object Connection o Connection Manager Object.**
- ❖ **Objetos adicionales específicos de red.**

Debido a la naturaleza distinta de cada red, se definen objetos adicionales específicos para cada red.

4.5.1 OBJETOS ADICIONALES CONTROLNET.

Los objetos adicionales específicos para la red ControlNet, son:

- **ControlNet Object**
- **Keeper Object**
- **Scheduling Object**

4.5.1.1 CONTROLNET OBJECT.

El ControlNet Object, traducido como objeto ControlNet, es requerido por todo dispositivo conectado a la red ControlNet. Contiene un servidor de información acerca del estado de las interfaces de los dispositivos ControlNet, entre ellos contadores de diagnóstico, parámetros de timing y el MAC-ID. El ControlNet Object es identificado como un objeto Class ID 0xF0.

4.5.1.2 EL KEEPER OBJECT.

El Keeper Object, es requerido por todo dispositivo originador de conexión, como por ejemplo, un PLC (por tanto, no es necesario que todos los dispositivos lo implementen). La función del Keeper Object es la de retener, a través del software de configuración de la red, una copia del dato de configuración del originador de conexión, para todos los dispositivos originadores de conexión que estén utilizando la red.

Toda red ControlNet con tráfico de I/O de configuración, debe tener al menos un dispositivo que implemente el Keeper Object, generalmente un PLC (u otro dispositivo Originador de Conexión). Si una red con el tipo de tráfico especificado posee más de un dispositivo con el Keeper Object implementado, se debe determinar a un Keeper–Master. El Keeper Object es identificado como un objeto Class ID 0xF1.

4.5.1.3 EL SCHEDULING OBJECT.

El Scheduling-Object, que se traduce como objeto de configuración, es requerido por todo dispositivo originador de conexión de mensajería I/O. Siempre que una herramienta de configuración de red accede a un originador de conexión de la red ControlNet, una instancia del Scheduling-Object es creada y un conjunto de servicios de objetos-específicos es usado como interfaz con este objeto. Una vez que la instancia es creada, la herramienta de configuración de red (software instalado en un PC o un programador portátil), puede leer y escribir datos de todas las conexiones originadas desde este dispositivo. Después de haber leído los datos de conexión provenientes de todo originador de conexión, la herramienta de configuración de red puede calcular una configuración global de la red ControlNet y escribe este dato en todos los originadores de conexión. La sesión de configuración es finalizada por el borrado de la instancia en el Scheduling-Object. El Scheduling-Object es identificado como un objeto Class ID 0xF2.

La Tabla 4.2 resume todos los objetos requeridos para que una red ControlNet sea funcional, sean del conjunto común así como los de definición específica de red.

Objetos para ControlNet	
Identity Object	Objetos comunes para redes CIP
Message Router	
Object Connection or Connection Manager Object	
ControlNet Object	Objetos específicos de la red ControlNet
Keeper Object	
Scheduling Object	

TABLA 4.2. RESUMEN DE OBJETOS UTILIZADOS POR CONTROLNET. [30, pp. 209-211]

4.6 MENSAJERÍA EXPLÍCITA.

Los mensajes explícitos en ControlNet, a diferencia de aquellos en DeviceNet, pueden ser enviados en conexión o sin ella; ambos son transmitidos dentro de la parte Unscheduled del NUT. La transferencia de mensajes explícitos con conexión establece una conexión antes de que los mensajes sean intercambiados. Esto quiere decir que todos los recursos requeridos para el manejo de la conexión son reservados para este propósito con tal de que la conexión exista,

lo cual permite respuestas oportunas a la solicitud del mensaje. Esto es muy útil cuando la aplicación requiere solicitudes explícitas periódicas. La mayoría de los mensajes también pueden ser enviados de manera no conectada, pero este mecanismo hace uso generalmente de recursos limitados en nodos que algunas veces pueden ser sumamente utilizados. Por esta razón, la transferencia de mensajes explícitos no conectados debe ser usada solo cuando la aplicación necesita intervalos de petición muy irregulares y poco frecuentes. Cada parte de un mensaje explícito (solicitud, respuesta, reconocimiento) es envuelta dentro de un paquete usando el formato Lpacket de tag establecido para mensajería explícita no conectada y el formato Lpacket de tag genérico para mensajería explícita conectada. Los campos de servicio, clase, instancia y atributo del mensaje explícito están contenidos en el campo de enlace de datos.

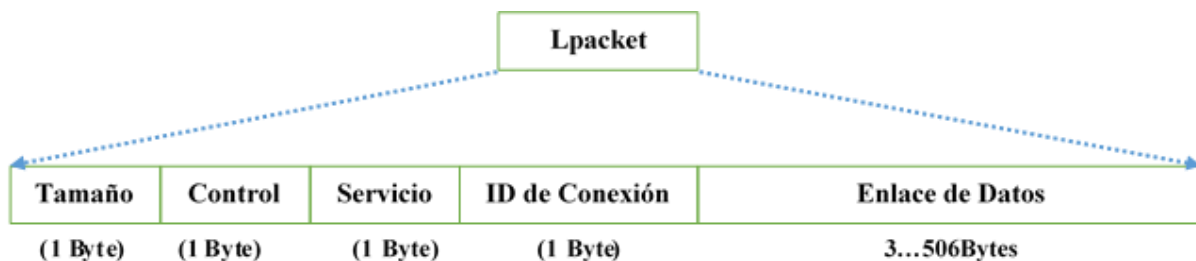


FIGURA 4.20. FORMATO LPACKET DE TAG ESTABLECIDO.

4.7 MENSAJERÍA I/O.

La mensajería I/O ControlNet es lograda usando conexiones y siempre tiene lugar en la parte del Scheduled del NUT. Una sola trama MAC será transmitida por cualquier dispositivo dentro de su tiempo de slot, pero este trama MAC contendrá múltiples Lpackets para que los datos puedan ser enviados a múltiples nodos en un NUT. Los Lpackets individuales serán consumidos solo por un nodo o por múltiples nodos si son configurados para consumir los mismos datos.

Los mensajes I/O usan el formato Lpacket de tag genérico. El campo de enlace de datos contiene el dato I/O preestablecido con un valor de conteo de secuencia de 16 bits para el paquete. Run/Idle pueden ser indicados dentro de una cabecera de tiempo real o enviando el paquete de datos (Run) o paquete sin datos (Idle). El método usado es indicado en los parámetros de conexión en la sección del Gestor de Conexión del EDS (Electronic Data

Sheet). Sin embargo, solo el método de cabecera de tiempo real ha sido usado para ControlNet hasta ahora. [12, pp. 61, 62]

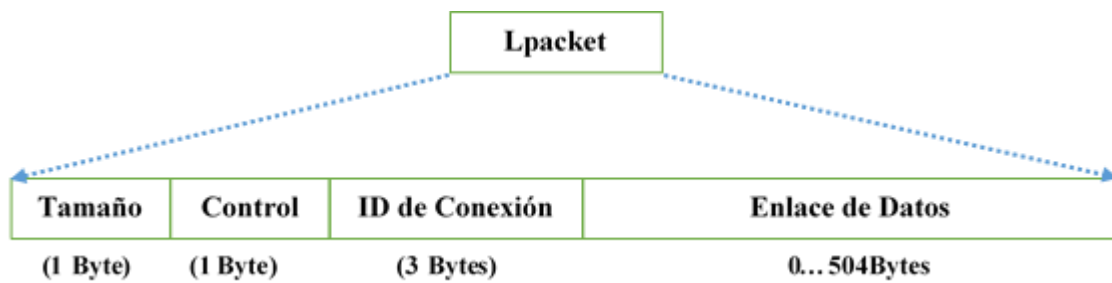


FIGURA 4.21. FORMATO LPACKET DE TAG GENÉRICO.

4.8 COMPONENTES QUE INTEGRAN LA RED CONTROLNET.

Para la implementación de distintas aplicaciones con la red de campo ControlNet, es importante estar familiarizado con los diferentes componentes hardware y software que se requerirán en un determinado proyecto.

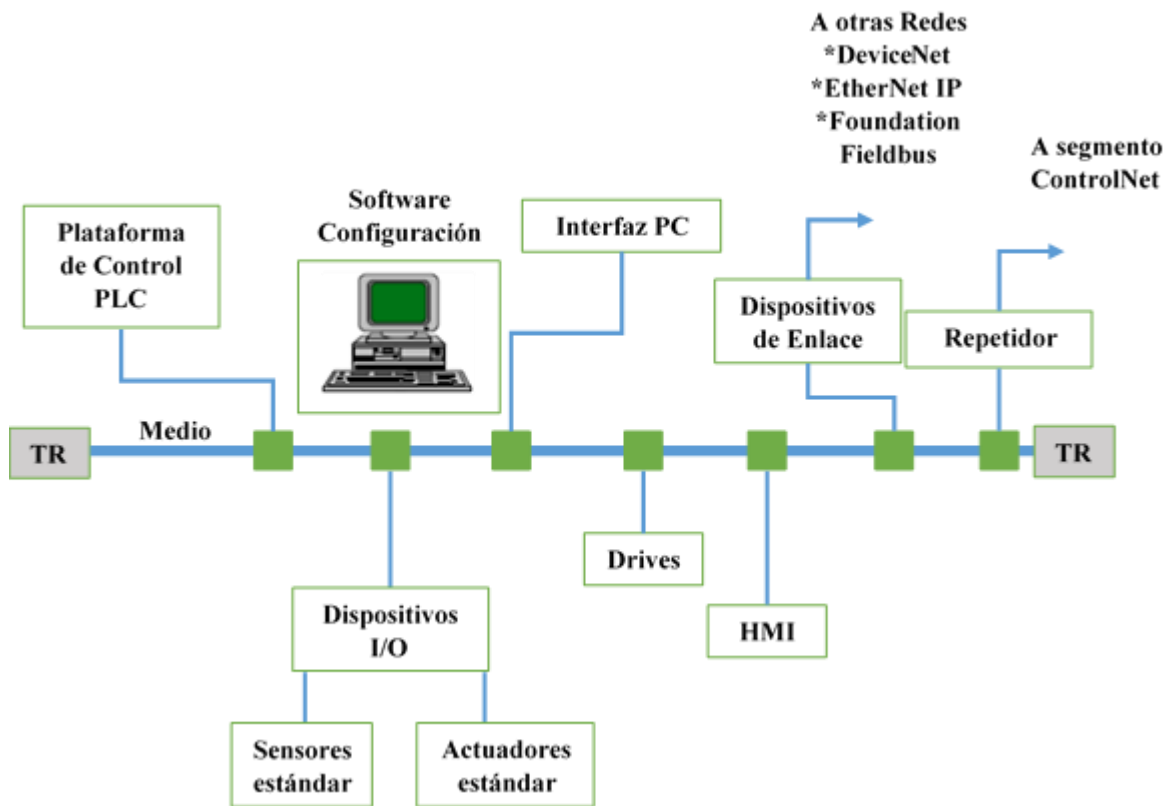


FIGURA 4.22 COMPONENTES DE LA RED CONTROLNET.

Como se observa en la figura anterior, los dispositivos que pueden componer una red ControlNet se puede clasificar en las siguientes clases:

- ❖ Plataforma de Control*
- ❖ Medio*
- ❖ Software de Configuración*
- ❖ Interfaz para PC*
- ❖ I/O Device
- ❖ Interfaz de Operador
- ❖ Drives
- ❖ Repetidor
- ❖ Dispositivo de Enlace

*Componentes imprescindibles.

4.8.1.1 PLATAFORMA DE CONTROL.

Debe considerarse que la clasificación anterior abarca todos los componentes aplicables a una red ControlNet. Las clases marcadas con un “*” son imprescindibles en toda red ControlNet. Por otra parte, el requerimiento de las demás clases de componentes dependerá de la aplicación de la red. Por ejemplo, si se implementará una red ControlNet para el control de motores AC, se requerirá de algún Drive.

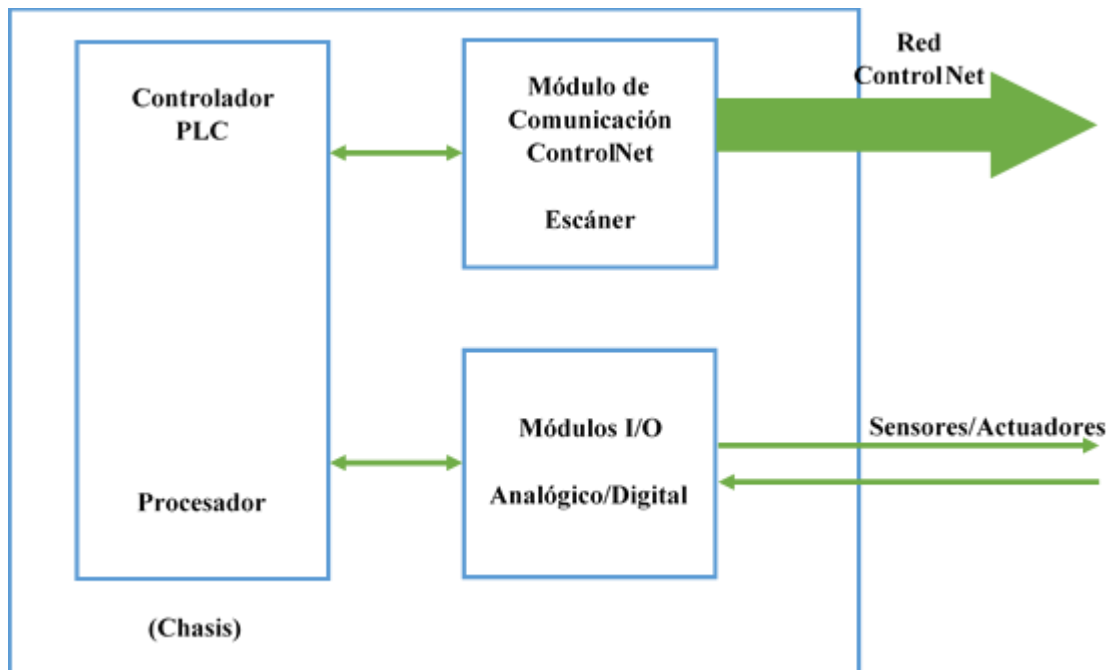


FIGURA 4.23. ESQUEMA DE UNA PLATAFORMA DE CONTROL CONTROLNET.

Se puede observar que las características son similares a las de DeviceNet. La plataforma ControlLogix, por ejemplo, también es aplicable a ControlNet utilizando el mismo PLC (procesador) 1756-L55.

Respecto al módulo de comunicación, se utiliza uno especializado para la red ControlNet. Por ejemplo, el módulo 1756-CNB, de la plataforma ControlLogix, entrega soporte para la comunicación entre el PLC y los dispositivos de la red ControlNet. Además, puede operar como escáner para la colección de datos. [30, pp. 213-215]

4.8.1.2 SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN.

Las herramientas de software utilizadas por ControlNet son las mismas utilizadas en DeviceNet. Es decir, los softwares Architecture Builder, RSLogix5000, RSNetWorx y RSLinx también son utilizados en ControlNet.

Respecto al programa RSNetWorx para la configuración de la red, se debe emplear la versión diseñada para ControlNet.

4.8.1.3 INTERFAZ PARA PC.

En la red ControlNet, los computadores son conectados a través de tarjetas electrónicas que sirven de interfaz. Tanto computadores personales (PC's) de escritorio (desktop) y portátiles (Laptop) pueden utilizarse para configurar la red al instalarles una tarjeta de interfaz o conectar algún módulo de comunicación. De esta manera, se integran a la red como un nodo más. [30, pp. 219, 220]



CAPÍTULO 5.

RED A NIVEL DE INFORMACIÓN.

5.1 INTRODUCCIÓN.

Ethernet es un sistema de transmisión de datos en banda base, diseñado por Xerox Corporation, a mediados de la década de 1970. Se considera que Robert Metcalfe, quien después fue fundador de 3COM Corporation, fue el inventor de Ethernet.

Después de agregar funciones de seguridad y de señalización, el Comité de Normas del IEEE adoptó a Ethernet y publicó la norma inicial de Ethernet, llamada 10BASE-5. Ese término se refiere a las especificaciones para la capa física y la capa de enlace de datos de la jerarquía de red de ISO. El “10” significa que esta adaptación de Ethernet funciona a 10 Mbps, y la palabra “BASE” indica que la LAN conduce datos de banda base (es decir, sin portadora). El “5” indica que la longitud máxima entre los extremos es de 500 m, a menos que se use una repetidora para amplificar las señales. En Ethernet se usa CSMA/CD para entrar a la red.

Hoy, existen cuatro especificaciones para Ethernet: 10BASE-5 (Ethernet gruesa), 10BASE-2 (Ethernet de dos alambres), 1BASE-5 (StarLAN) y 10BASE-T (Ethernet de par trenzado). En la actualidad se trata de desarrollar métodos de transporte de señales Ethernet por cables de fibra óptica [10BASE-FL (FOIRL), fibra óptica, enlace interrepetidor] por radiodifusión terrestre y satelital, y por sistemas de luz infrarroja, en velocidades de transmisión mayores que 100 Mbps.

5.1.1 DEFINICIÓN DE ETHERNET.

El protocolo Ethernet proporciona una interfaz unificada al medio de red que permite a un sistema operativo transmitir y recibir varios protocolos del nivel de red de forma simultánea. Al igual que la mayor parte de los protocolos del nivel de enlace que se utilizan en LAN, Ethernet es, en términos técnicos, no orientado a conexión, y no es fiable. Ethernet realiza todo lo posible para transmitir datos al destino especificado, pero no existe un mecanismo que garantice una entrega correcta.

Ethernet puede definirse como una red de conmutación de paquetes de acceso múltiple (medio compartido), difusión amplia (Broadcast), utiliza un medio pasivo y sin ningún control central y proporciona detección de errores, pero no corrección. El acceso al medio de transmisión está gobernado desde las propias estaciones mediante un esquema de arbitraje estadístico.

Los paquetes de datos alcanzan a todas las estaciones (difusión amplia), siendo cada estación responsable de reconocer la dirección contenida en cada paquete y aceptar los que sean dirigidos a ella.

Ethernet realiza varias funciones que incluyen empaquetado y desempaqueado de las tramas; manejo del enlace; codificación y decodificación de datos y acceso al canal. El manejador del enlace es el responsable de vigilar el mecanismo de colisiones, escuchando hasta que el medio de transmisión está libre antes de iniciar una transmisión (solo un usuario utiliza la transmisión cada vez –Banda Base-). El manejo de colisiones se realiza deteniendo la transmisión y esperando cierto tiempo antes de intentarla de nuevo.

Tal como se define el estándar Ethernet, el protocolo consta de tres componentes esenciales:

- ❖ Una serie de directivas del nivel físico que especifican los tipos de cable, limitaciones de cableado y métodos de señalización para las redes Ethernet.
- ❖ Un formato de trama que define el orden y las funciones de los bits transmitidos en un paquete Ethernet.
- ❖ Un mecanismo de Control de Acceso al Medio MAC denominado Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Detección de Colisiones CSMA/CD, que permite que todos los dispositivos de la LAN dispongan de un acceso similar al medio de red. [37, p. 9]

5.1.1.1 ETHERNET 10BASE-T.

Este sistema es otra norma de transmisión Ethernet de uso frecuente con ambientes de LAN basadas en CP, y usa una topología de estrella. La “T” representa “UTP”, de *unshielded twisted-pair*, o par trenzado no blindado. Se desarrolló el sistema 10BASE-T para permitir el uso de cableado telefónico existente, de grado de voz, para conducir señales de Ethernet. En la norma para interconectar los nodos a la red de área local se especifican conectores telefónicos modulares normales, RJ-45 y RJ-11, y alambre telefónico UTP de cuatro pares. El conector RJ-45 entra directamente en la tarjeta de interfaz de red. El sistema 10BASE-T funciona a 10 Mbps, y usa el protocolo normal CSMA/CD; sin embargo, usa un *concentrador* para distribuir los medios de transmisión entre los usuarios finales, que en esencia convierte varias

conexiones de punto a punto para formar una sola LAN. El concentrador es, básicamente, un “cubo” o “centro” inteligente, o una repetidora multipunto que amplía la topología de estrella del 10BASE-5.

Se agregan nodos a la red a través de un puerto. Cuando se activa un nodo, su transceptor manda una corriente directa al cubo, por el par trenzado. El cubo siente la corriente y activa el puerto, conectando así el nodo con la red. El puerto permanece conectado mientras el nodo continúe suministrando CD al cubo. Si el nodo se apaga o si surge una condición de circuito abierto o cortocircuito en el par trenzado entre el nodo y el cubo. Cesa la CD y el cubo desconecta al puerto, mientras que el resto de la LAN continúa funcionando *status quo*, tal como está. [3, pp. 655, 657]

Además de las tecnologías a 10Mbps, se han desarrollado extensiones de la norma que aumentan la velocidad de transmisión: la conocida 100Base a 100Mbps; Gigabit Ethernet a 1000 Mbps y 10 Gigabit Ethernet. [38, p. 68]

PARÁMETRO	VALOR
Periodo de bit	100ns
Ranura Temporal	512 tiempos de bit (64 Octetos)
Espacio entre Tramas	96 bits
Límite de intentos de Colisión	16
Límite de Postergación	10
Tamaño de Congestión	32 bits
Tamaño de Trama máximo	1518 bits
Tamaño de Trama mínimo	512 bits (64 Octetos)
Codificación	Manchester

TABLA 5.1. PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE ETHERNET 10 Mbps. [16, p. 61]

5.1.1.2 ETHERNET 100BASE.

El mecanismo de control de acceso al medio CSMA/CD es el elemento que define el protocolo Ethernet, pero también es el causante de muchas de sus limitaciones. Con un hardware especial también es posible conseguir que las conexiones Ethernet trabajen en modo Full-Duplex, lo que significa que un dispositivo puede transmitir y recibir datos de forma

simultánea. Cuando se trabaja en este modo se ignora el mecanismo CSMA/CD de MAC. Los sistemas no escuchan las redes antes de transmitir; envían sus datos siempre que lo desean.

Existen tres requisitos para la operación Full-Duplex de Ethernet:

- ❖ Un medio de red con los canales de transmisión y recepción separados.
- ❖ Un enlace dedicado entre cada dos sistemas.
- ❖ Adaptadores de red y conmutadores que admitan la operación Full-Duplex.

Para aumentar la velocidad de la red de 10Mbps a 100Mbps se han definido nuevos estándares de Ethernet que se han dado a conocer a partir de 1995, denominados en conjunto Fast Ethernet (IEEE 802.3u) o también llamado 100BaseX. Tres nuevos tipos de redes Ethernet se han creado y las topologías posibles quedan reducidas a la topología estrella, mostradas en la Tabla 5.2.

TIPO DE ETHERNET	VELOCIDAD (Mbps)	MEDIO
100Base-TX (IEEE802.3u)	100	UTP de Categoría 5
100Base-FX (IEEE802.3u)	100	Fibra Óptica
100Base-T4 (IEEE802.3u)	100	UTP de Categoría 3 modificado

TABLA 5.2. VELOCIDADES Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN DE FAST ETHERNET.

[37, pp. 35, 36]

Las dos tecnologías más importantes son 100Base-TX, que es un medio UTP de cobre y 100Base-FX, que es un medio multimodo de fibra óptica.

Las características comunes a 100Base-TX y a 100Base-FX son los parámetros de temporización, el formato de trama y algunas partes del proceso de transmisión, tanto 100Base-TX como 100Base-FX comparten los parámetros de temporización, un tiempo de bit a $100 \text{ Mbps} = 10 \text{ ns} = 0.01 \mu\text{s}$.

Fast Ethernet representa un aumento de 10 veces en la velocidad respecto de 10Base-T, debido al aumento de velocidad, se debe tener mayor cuidado porque los bits enviados se acortan en duración y se producen con mayor frecuencia, estas señales de frecuencia más alta son más susceptibles al ruido, para tratar estos problemas, Ethernet de 100Mbps utiliza dos pasos de

codificación, la primera parte de la codificación utiliza una técnica denominada 4B/5B, la segunda parte es la codificación real de la línea específica para el cobre o la fibra.

PARÁMETRO	VALOR
Periodo de bit	10ns
Ranura Temporal	512 tiempos de bit (64 Octetos)
Espacio entre Tramas	96 bits
Límite de intentos de Colisión	16
Límite de Postergación	10
Tamaño de Congestión	32 bits
Tamaño de Trama máximo	1518 bits
Tamaño de Trama mínimo	512 bits (64 Octetos)
Codificación	4B/5B y ML3 (TX) transmisión multinivel NRZI (FX) sin retorno a cero invertido

TABLA 5.3. PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE ETHERNET 100 Mbps. [16, pp. 61, 62]

5.1.1.3 JUSTIFICACIÓN DE ETHERNET/IP EN LA INDUSTRIA.

Una de las principales tendencias en el entorno industrial actual es la migración hacia sistemas automatizados abiertos y totalmente especializados. Sin duda alguna, uno de los principales factores que ha impulsado esta creciente tendencia ha sido la introducción de Ethernet en el entorno industrial.

La introducción de Ethernet ha tenido un profundo impacto en la industria: debido a sus capacidades para control de planta y datos de oficina, aportando una gran cantidad de ventajas que incluyen una integración más fácil entre los sistemas de planta y de administración, y la posibilidad de utilizar una sola infraestructura de red para distintas funciones.

Por esta razón, se han desarrollado varios sistemas basados en Ethernet para uso en el entorno industrial. Uno de ellos, EtherNet/IP, ofrece la optimización industrial de una red de control especializada con la apertura y flexibilidad de una Ethernet estándar, aprovechando la tecnología Ethernet estándar, aprovechando los medios físicos y chips de comunicación de Ethernet.

EtherNet/IP es un protocolo de red en niveles para aplicaciones de automatización industrial. Introducida a principios del año 2000, este protocolo es uno de los pioneros en las soluciones Ethernet para la industria, ofreciendo muchas ventajas a usuarios y fabricantes de automatización, como bajos costos de desarrollo de productos, facilidad de uso, simple integración de dispositivos y redes.

Esta solución estándar para la interconexión de redes admite la transmisión de mensajes implícita (transmisión de mensajes de E/S en tiempo real) y la transmisión de mensajes explícita (intercambio de mensajes). EtherNet/IP es una red abierta que utiliza tecnología comercial ya existente, como:

- ❖ El estándar de vínculo físico y de datos IEEE 802.3.
- ❖ El conjunto de protocolos Ethernet TCP/IP (Protocolo de control de transmisión/Protocolo Internet), estándar del sector para Ethernet.
- ❖ Protocolo (CIP), permite la transmisión de mensajes de E/S en tiempo real e información/transmisión de mensajes entre dispositivos similares.

TCP/IP es el protocolo del nivel de transporte y red de Internet. TCP/IP proporciona una serie de servicios que puede utilizar cualquier pareja de dispositivos para compartir datos, en forma eficiente y segura.

El UDP/IP (Protocolo de datagrama de usuario) también se utiliza junto con la red Ethernet. UDP/IP proporciona un transporte de datos rápido y eficiente, características necesarias para el intercambio de datos en tiempo real, pero basado en el mejor esfuerzo.

Para que EtherNet/IP tenga éxito, se ha agregado el protocolo CIP al conjunto TCP/UDP/IP con el fin de proporcionar un nivel de aplicaciones común. Por lo tanto, cuando elija un producto EtherNet/IP, estará seleccionado también prestaciones de TCP/IP y CIP. EtherNet/IP utiliza el modelo de red de productor/consumidor, al igual que las redes DeviceNet y ControlNet, que también utilizan CIP.

Con la introducción de la tecnología de conmutación de Ethernet y la transmisión de datos Full-Duplex, se eliminan las colisiones de datos y el rendimiento mejora drásticamente en la red EtherNet/IP.

Por lo general, una red EtherNet/IP utiliza una topología de estrella activa en la que los grupos de dispositivos están conectados punto a punto con un conmutador. La ventaja de una topología en estrella radica en la compatibilidad con productos de 10 y 100 Mbps, donde el conmutador de Ethernet negociará la velocidad. Así mismo, la topología de estrella le ofrece conexiones fáciles de cablear o de depurar, o en las que resulta fácil detectar fallos y llevar a cabo tareas de mantenimiento.

EtherNet/IP ha sido diseñada para gestionar grandes cantidades de datos de transmisión de mensajes, hasta 1500 Bytes por paquete. Además de su capacidad para el tratamiento de datos, la velocidad de EtherNet/IP (10/100 Mbps), facilita aún más la transmisión de información.

La parte de control del CIP se utiliza para la transmisión de mensajes de E/S en tiempo real (transmisión de mensajes implícita). La parte de información del CIP se utiliza para el intercambio de mensajes y se denomina también transmisión de mensajes explícita.

5.2 CARACTERÍSTICAS DE LA RED ETHERNET/IP.

EtherNet/IP es un sistema de comunicaciones construido en el Ethernet estándar con las siguientes características:

- ❖ Encapsulado de mensajes dentro del protocolo TCP/UDP/IP estándar.
- ❖ Uso de una capa de aplicación compartida CIP, sistemas de red abiertos, utilizando estándares de la industria de tecnología de redes.
- ❖ Fácil interface mediante el cable de par trenzado, sin blindaje RJ45, categoría 5.
- ❖ Acepta operación Half/full-duplex de 10 Mbps o 100 Mbps.
- ❖ Acepta el uso de interruptores estándar.
- ❖ No requiere priorización de red.
- ❖ No requiere tablas de encaminamiento. [39, pp. 50-53]
- ❖ Transporte de grandes paquetes de datos.

- ❖ Amplio ancho de banda.
- ❖ Permite el envío rápido de una gran cantidad de datos.
- ❖ Permiten a los diversos sistemas y archivos el acceso a los datos de la planta, relativos a los costos, calidad, fabricación y desarrollo (ofimática). [17, p. 99]
- ❖ Información en procesos discretos, continuos, por lotes, seguridad, movimiento y aplicaciones de alta disponibilidad.
- ❖ Conecta los dispositivos tales como arrancadores de motores y sensores a los controladores y dispositivos HMI y en la empresa.
- ❖ Es compatible con las comunicaciones no-industriales e industriales en una infraestructura de red común. [17, p. 41]
- ❖ Velocidad de transmisión totalmente independiente: 10, 100, 1000Mbit/s.
- ❖ Los sistemas pueden ser construidos con infraestructura estándar.
- ❖ Virtualmente ilimitado en número de nodos en una red.
- ❖ Las redes pueden ser estructuradas dentro de subredes con Routers IP.
- ❖ Soporte total de comunicación a través de subredes desde que EtherNet/IP usa direccionamiento para toda la comunicación.
- ❖ Comunicación con o sin tiempo real pueden coexistir en la misma subred.
- ❖ Soporta drives coordinados y control de movimiento.
- ❖ Soporta DLR (Device Level Ring), el cual solo provee tolerancia a falla a través medios redundantes.
- ❖ QuickConnect para dispositivos que son frecuentemente removidos o agregados a la red, por ejemplo herramientas de robots.
- ❖ Coexistencia con otros protocolos de capas superiores, tal como: HTTP, FTP, VoIP, etc. [12, p. 66]

5.2.1 ESTÁNDAR IEEE 802.3.

Este comité se identifica con el número 802 y el grupo de trabajo se designó IEEE 802.3. El estándar resultante, publicado en 1982, se denominó 'IEEE 802.3 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications'. El grupo 802.3 del IEEE aludió escrupulosamente el término Ethernet, ya que deseaban evitar que se creara la impresión de que el estándar estaba basado en un producto

registrado como marca comercial de Xerox. Sin embargo, con pequeñas diferencias sin importancia, dicho documento define, en esencia, una red Ethernet bajo otro nombre y, hasta el momento, se utiliza el nombre de Ethernet para los productos que cumplen con el estándar 802.3 del IEEE. Después del lanzamiento del documento IEEE 802.3 se publicó una serie de suplementos, que son los siguientes:

- ❖ IEEE 802.3a-1985 Ethernet delgada 10Base2
- ❖ IEEE 802.3c-1985 Especificaciones de repetidor a 10Mbps
- ❖ IEEE 802.3d-1987 Enlace entre repetidores por fibra óptica (FOIRL)
- ❖ IEEE 802.3i-1990 Ethernet par trenzado 10Base-T
- ❖ IEEE 802.3j-1993 Ethernet de fibra óptica 10Base-T
- ❖ IEEE 802.3u-1995 Fast Ethernet (Ethernet rápida) 100Base-T
- ❖ IEEE 802.3x-1997 Ethernet Full-Duplex
- ❖ IEEE 802.3z-1998 Gigabit Ethernet 1000Base-X
- ❖ IEEE 802.3ab-1999 Gigabit Ethernet 1000Base-T (Par trenzado)
- ❖ IEEE 802.3ac-1998 Extensión del tamaño de trama a 1522 Bytes para VLAN TAG
- ❖ IEEE 802.3ad-2000 Agregación de enlace para enlaces paralelos. [37, p. 10]

5.2.2 FORMATO BÁSICO DE LA TRAMA ETHERNET.

El estándar IEEE 802.3 define un formato básico de la trama de datos que se requiere para todas las implementaciones MAC, más varios formatos opcionales y adicionales que se usan para ampliar la capacidad básica del protocolo.

El formato básico de la trama de datos contiene los siete campos mostrados en la Figura 5.1.

Preámbulo. Indica a las estaciones receptoras que una trama es Ethernet o IEEE 802.3. El preámbulo consiste en siete Bytes, para establecer la sincronización de los relojes. El último Byte del preámbulo se usa como delimitador de la trama de arranque.

Delimitador de la trama de arranque. Byte delimitador de IEEE 802.3 que finaliza con dos bits 1 consecutivos, y que sirve para sincronizar las porciones de recepción de trama de todas las estaciones de la red. Se agrega al final del preámbulo, cuyo objetivo es marcar el final del preámbulo y el principio de la trama de datos.

Direcciones de destino y de fuente. Incluye las direcciones físicas (MAC) únicas de la máquina que envía la trama y de la máquina destino. La dirección origen siempre es una dirección única, mientras que la de destino puede ser de Broadcast única (trama enviada a una sola máquina), de Broadcast múltiple (trama enviada a un grupo) o de Broadcast (trama enviada a todos los nodos).

Campo de longitud. El campo de longitud de 2 Bytes en la trama IEEE 802.3 reemplaza el campo de tipo en la trama Ethernet. El campo de longitud indica la longitud del campo de datos de control de enlace lógico (LLC, de logical link control), que es de longitud variable y contiene incrustados todos los protocolos de capa superior.

Control de enlace lógico (LLC). El campo LLC contiene la información, y puede tener de 46 a 1500 Bytes de longitud. El campo LLC definido en la IEEE 802.3 es idéntico al definido para las redes de anillo con testigo.

Campo de secuencia de verificación de trama. Contiene un valor de verificación CRC (de Cyclic Redundance Check) de 4 Bytes, creado por el dispositivo emisor y recalculado por el dispositivo receptor para verificar la existencia de tramas dañadas.

Delimitador de fin de trama. El delimitador de fin de trama es un periodo de 9.6 μ s en el que no se transmiten bits. En la codificación Manchester, cuando no hay transiciones de longitud mayor que el tiempo de 1 bit, se indica el final de la trama. [3, p. 658]

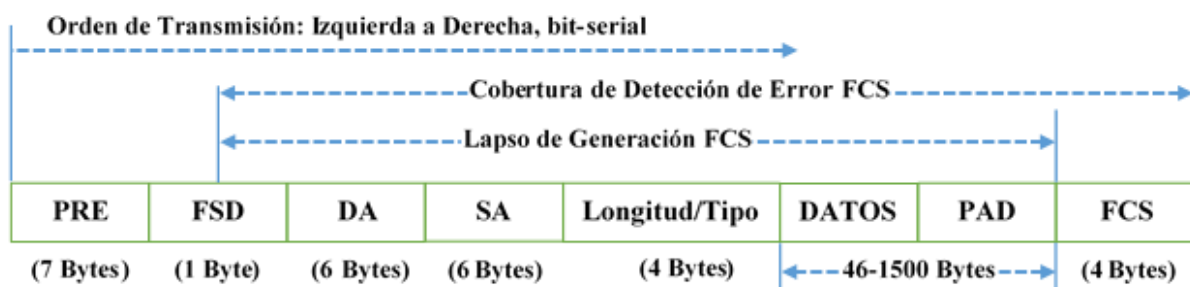


FIGURA 5.1. FORMATO BÁSICO DE LA TRAMA DE DATOS MAC IEEE 802.3

5.3 CAPA FÍSICA Y ENLACE DE DATOS.

Como anteriormente se ha mencionado, la capa física hace referencia a las características eléctricas y mecánicas de la infraestructura como: el aislamiento, construcción del cable y conector, que son diseñados para hacer a EtherNet/IP exitoso en un típico ambiente de automatización. Estos cambios no afectan la señalización actual o la interoperabilidad con productos estándar Ethernet, simplemente hace los dispositivos más adecuados para ambientes industriales ásperos. Como resultado, dos niveles de criterios de cumplimiento son definidos.

- ❖ El COTS (Commercial Off The Shelf). El nivel EtherNet/IP provee básica conectividad Ethernet. Este nivel incluye el bien conocido conector RJ-45 de Ethernet pero especifica las limitaciones de topología (por ejemplo hasta 100m) y los requerimientos de cableado a través de referencias para especificar estándares IEEE, ANSI/TIA/EIA. Tales dispositivos son adecuados para aplicaciones IP20.
- ❖ El nivel industrial EtherNet/IP va más allá del nivel COTS especificando los requerimientos ambientales mínimos de cableado y conectores que incluyen los estándares IEC, ANSI/TIA/EIA. Los conectores requeridos para el nivel Ethernet industrial incluyen un conector RJ-45 con requerimiento mejorado, un conector sellado RJ-45 mucho más compacto, conector M 12-4 D-coded. Los conectores sellados RJ-45 y M 12 pueden conseguir un rango IP 67.

Los cables Cat 5E o Cat 6 blindados o no blindados son recomendados para EtherNet/IP. El uso de cables blindados son específicamente recomendados en aplicaciones en donde materiales adyacentes, tal como ductos de cables, tendrán influencia sustancial en las características del cable. De acuerdo con IEEE 802.3, el cobre podría ser usado solo para distancias de hasta 100m. La fibra óptica es recomendada para largas distancias. La fibra óptica podría también ser aconsejable para aplicaciones de muy alta radiación electromagnética o alto voltaje entre dispositivos. [12, pp. 66, 67]

EtherNet/IP usa el estándar IEEE 802.3 en las capas física y 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 el canal de datos simultáneamente. EtherNet/IP es una red de infraestructura activa, la cual está configurada mediante una serie de segmentos de red contruidos por conexiones punto a punto en una configuración estrella. El núcleo de esta topología de red es una interconexión de switches EtherNet de capa 2 y capa 3, que puede alojar un número ilimitado de 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 fábrica. 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 que la red esté bien conectada o integrada a la red de la empresa.

5.3.1 MÉTODO DE ACCESO CSMA/CD.

Ethernet es una tecnología de Broadcast de medios compartidos. El método de acceso CSMA/CD que se usa en Ethernet ejecuta tres funciones:

1. Transmitir y recibir paquetes de datos.
2. Decodificar paquetes de datos y verificar que las direcciones sean válidas antes de transferirlos a las capas superiores.
3. Detectar errores dentro de los paquetes de datos o en la red. [38, p. 70]

Al igual que cualquier método de MAC, CSMA/CD es un esquema de acceso compartido que permite a los dispositivos de la red intercambiar información con un único medio en banda base sin pérdida de datos aunque solo una cada vez por ese sistema de cableado.

Cuando un dispositivo de red Ethernet desea transmitir datos, verifica si se está utilizando el medio de red en ese momento. Esta fase del proceso es de detección de portadora (Carrier Sense). Si el nodo detecta tráfico en la red, espera un momento y vuelve a escuchar la red. Una vez que la red está despejada, cualquiera de los nodos puede utilizarlo para transmitir sus datos y acceder al medio. Este mecanismo recibe el nombre de Acceso Múltiple (Multiple Access), así mismo se considera un control de arbitraje por sí mismo pero carece de objeto.

A partir de este momento, entra en juego la parte de Detección de Colisiones (Collision Detection), que se encarga de verificar que los paquetes han llegado a su destino sin colisionar con los que pudiera haber sido enviados por otras estaciones por error.

Resulta posible que dos o más nodos detecten una red despejada y comiencen a transmitir sus datos casi en el mismo momento. Esto ocasiona lo que en el estándar 802.3 se denomina un Error de Calidad de la Señal SQE (Signal Quality Error), o bien una colisión de paquetes. Las colisiones se producen cuando un nodo comienza a transmitir sus datos y otro nodo realiza la detección de portadora durante el breve intervalo de tiempo anterior a la llegada del primer bit del paquete transmitido. Cuando ocurre la colisión se informa del error a ambas estaciones, para que manden después su transmisión.

Por tanto, cada uno de los nodos de la red se encuentra en uno de tres estados: Transmisión, Contienda o Inactivo. [37, pp. 22, 23]

La peor situación ocurre cuando las dos estaciones más distantes en la red necesitan enviar una trama y cuando la segunda estación no comienza a transmitir hasta solo momentos antes de que la trama de la primera estación llegue. La colisión será detectada casi inmediatamente por la segunda estación, pero no será detectada por la primera estación hasta que la señal corrupta se ha propagado por todo el camino de regreso a esa estación. El tiempo máximo que se requiere para detectar una colisión (la ventana de colisión, o “time slot”) es aproximadamente igual a dos veces al tiempo de la señal de propagación entre las estaciones más distantes en la red.

Esto significa que la longitud mínima de trama y el diámetro máximo de colisión están relacionados directamente con el time slot. Longitudes mínimas más largas de trama se traducen a slot times y diámetros más grandes de colisión; longitudes mínimas más cortas de trama corresponden a slot times más cortos y diámetros de colisión más pequeños. [26, p. 10]

5.3.1.1 COLISIONES.

Todos los sistemas de una red Ethernet utilizan el mecanismo MAC CSMA/CD para cada uno de los paquetes que transmiten, por lo que el proceso, obviamente, se produce rápidamente. La mayor parte de las colisiones que se producen en una red Ethernet típica se resuelven en

microsegundos. Las colisiones de paquetes son comportamientos naturales y esperados en este tipo de redes, esto no significa, necesariamente, que exista un problema.

El mecanismo de detección de colisiones CSMA/CD funciona bien cuando hay pocos usuarios en la red, el tráfico es leve y se producen pocas colisiones, aunque el inconveniente fundamental ocurre al aumentar el tráfico de la red, ya que también aumentan las colisiones y la tasa de transferencia puede empeorar. Al aumentar el tráfico, puede que las estaciones de trabajo que tienen que retirarse y retransmitir, tengan que retirar las retransmisiones de forma continuamente creciente.

La calidad de transmisión de una red es función del número de sistemas conectados a ella y de la cantidad de datos que envían y reciben a través de la red. [37, p. 23]

5.3.2 TOPOLOGIAS.

Las topologías de una red se puede 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 cómo 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. Los mecanismos de Polling 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.

5.3.2.1 TOPOLOGÍAS EN LÍNEAS 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. Solo una estación puede enviar o recibir datos en un determinado momento. Esta topología es un ejemplo de la clásica “LAN compartida”.

5.3.2.2 TOPOLOGÍAS EN LÍNEAS 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 las estaciones de estas dos subredes. [40, pp. 50, 53]

5.3.2.3 TOPOLOGÍA BUS.

Cuando se habla de una topología de bus se debe tener claro si se 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 o 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 está 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.

5.3.2.3.1 VENTAJAS DE LA TOPOLOGÍA BUS.

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

5.3.2.3.2 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% o 40% debido a las colisiones.
- ❖ No se permite transmisiones Full-Duplex en el medio.
- ❖ El diagnóstico y la solución de problemas se dificulta ya que la falla puede estar en cualquier parte del bus.
- ❖ No es un sistema de transmisión seguro debido a que no hay un reconocimiento automático de mensajes y estos son “vistos” por todos los nodos de la red. [40, p. 51]

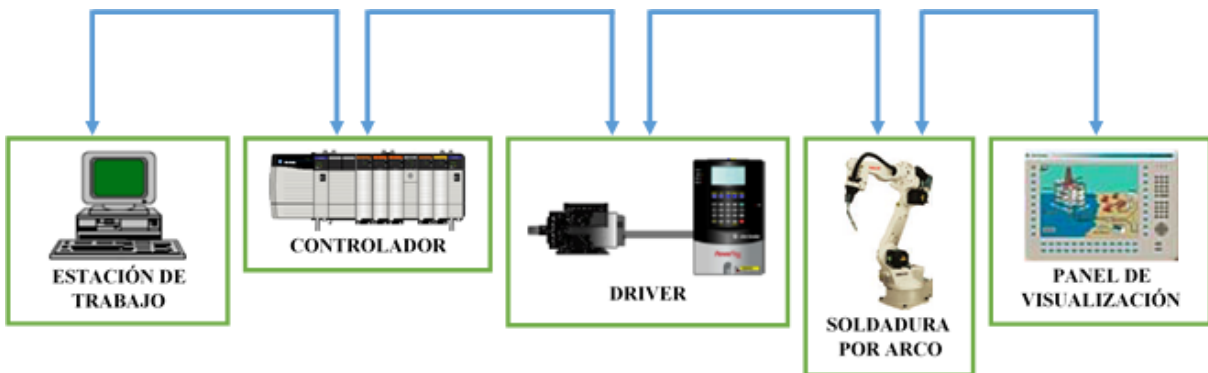


FIGURA 5.2. TOPOLOGÍA TIPO BUS.

5.3.2.4 TOPOLOGÍA EN ESTRELLA.

Una topología en estrella es una topología física en la que múltiples nodos son conectados a través de un distribuidor central como un Switch o 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 estos son las celdas de producción.

5.3.2.4.1 VENTAJAS DE UNA TOPOLOGÍA ESTRELLA.

- ❖ Fácil detección y aislamiento de fallas.
- ❖ Administración, 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.

5.3.2.4.2 DESVENTAJAS DE UNA TOPOLOGÍA EN ESTRELLA.

- ❖ Si el elemento central (Switch o Hub) falla, la red se cae.
- ❖ Requiere una ingente cantidad de cableado. [40, p. 54]

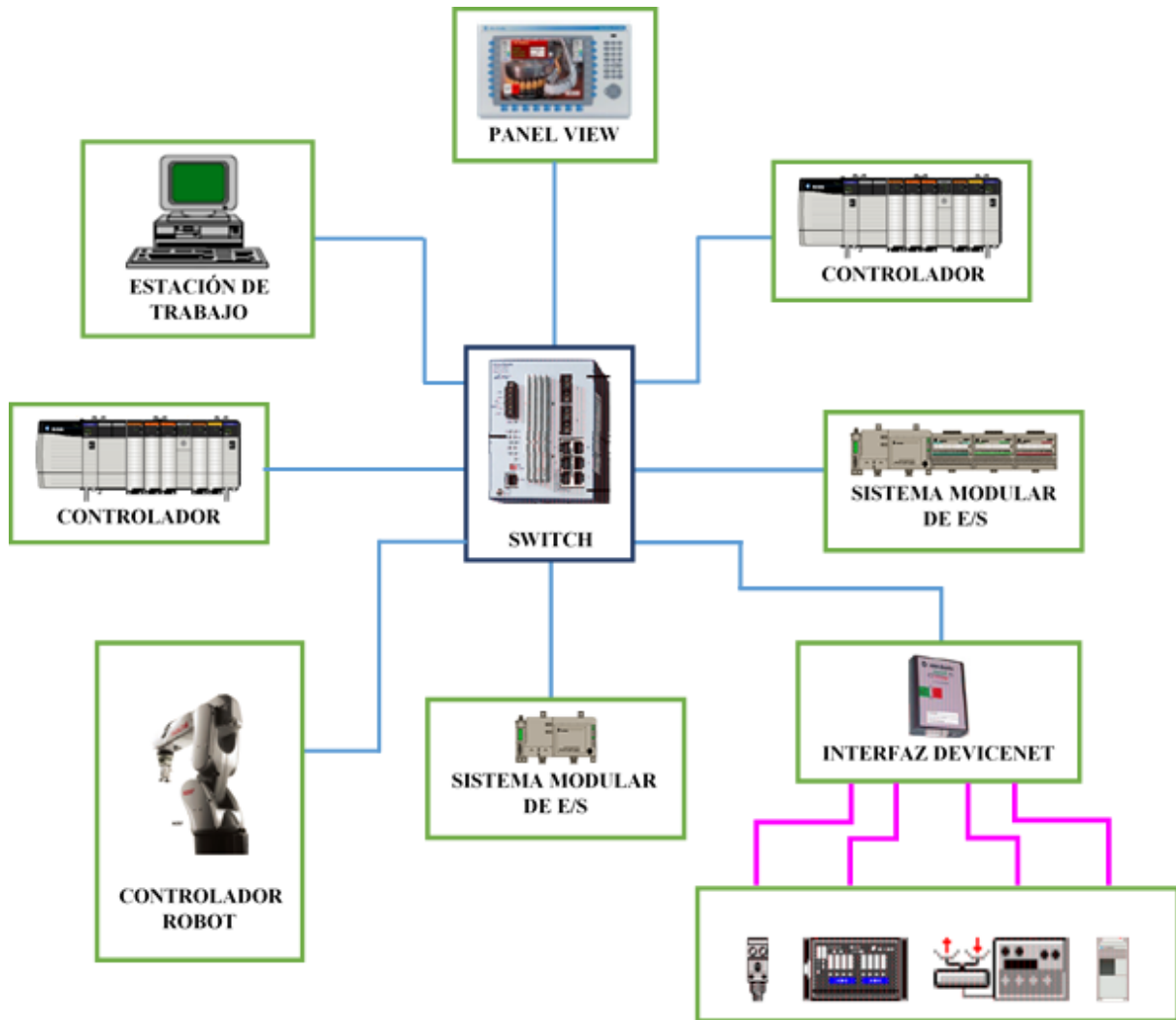


FIGURA 5.3. TOPOLOGÍA TIPO ESTRELLA.

5.3.2.5 TOPOLOGÍA EN ANILLO.

La topología en anillo es una estructura lógica y física. Como una topología lógica, se caracteriza por el hecho de 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 revisa 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.

5.3.2.5.1 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.

5.3.2.5.2 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. [40, pp. 56, 57]

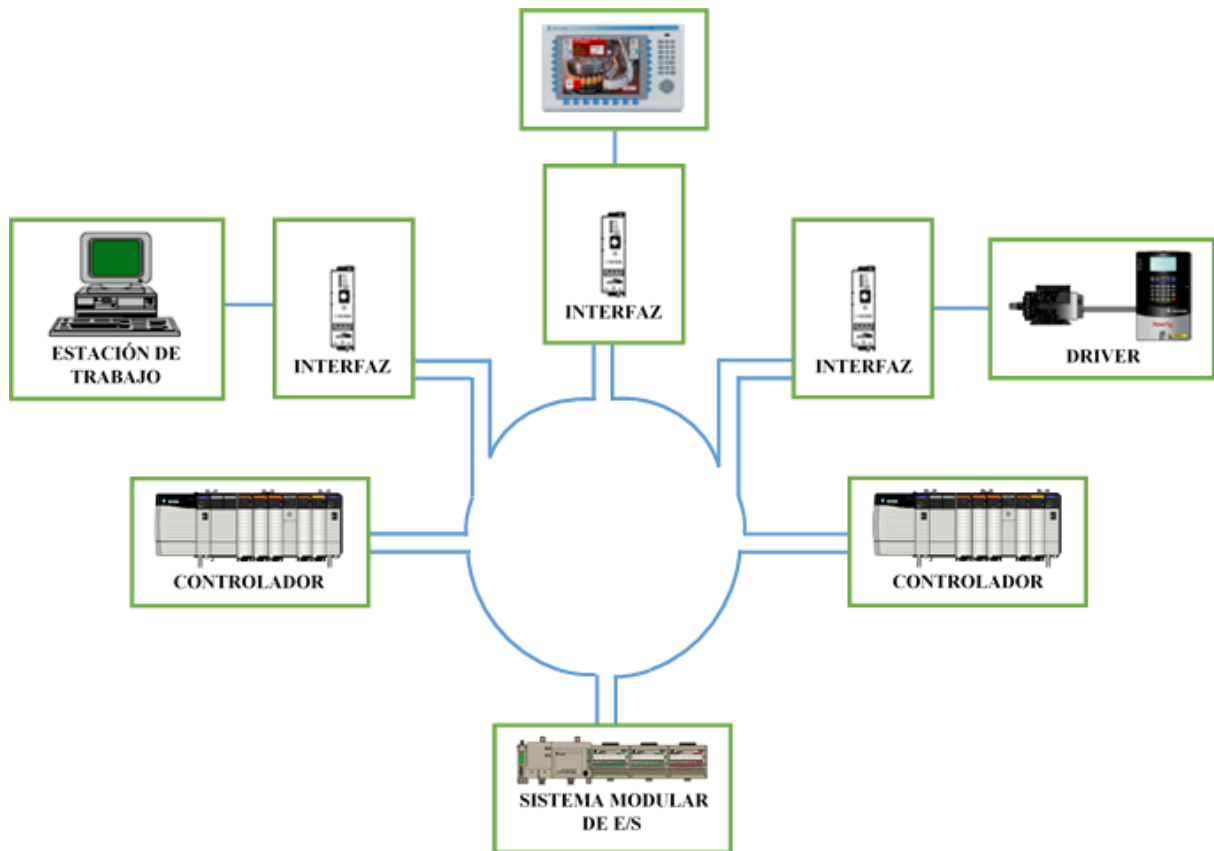


FIGURA 5.4. TOPOLOGÍA TIPO ANILLO.

5.3.3 TIPOS DE CABLES.

Un cable es un conjunto de conductores (eléctricos u ópticos) bajo una cubierta protectora común; este puede contener uno o más conductores. Un conductor es cada uno de los elementos de conducción independientes que existen en el cable. Los conductores están aislados entre sí, por lo que cada uno puede transportar una señal independiente.

La energía puede ser transmitida en forma de corriente eléctrica convencional, en forma de energía electromagnética en la banda de las microondas (ondas de radio), o en la banda de 400-700 nm (zona visible del espectro). En el primer y segundo caso, los hilos conductores son de cobre, en el tercero se trata de cables de fibra óptica, cuyos hilos conductores son de vidrio o plástico.

Los cables conductores suelen ser de cobre unifilar (un solo hilo), también denominado conductor sólido, o multifilar (varios hilos), también denominado conductor trenzado.

5.3.3.1 PROBLEMAS EN LOS CABLES DE RED.

Dependiendo del tipo de cable y de la tecnología empleada, es la utilización de velocidades de transmisión progresivamente crecientes que conlleva una serie de problemas cuyos efectos se hacen también progresivamente crecientes. Estos problemas son de tipo muy diverso, pero se pueden reducir a dos: atenuación de la señal y su corrupción. Significa que para cada tipo de cable y tecnología empleada, hay una velocidad de transmisión a partir de la cual el nivel de ruido lo hace inutilizable.

Las redes de alta velocidad, cuyas señales están en el rango de frecuencia de las ondas de radio, se comportan como antenas, es decir, emiten y captan radiación electromagnética. Esta radiación aparece en el propio cable como ruido y en el exterior (otros cables o dispositivos) como interferencias electromagnéticas (EMI).

Las interferencias de Radio Frecuencia RFI (Radio Frequency Interference), puede venir del exterior del cable, en especial si este circula por zonas de gran actividad (por ejemplo en ambientes industriales o cerca de lámparas fluorescentes), o de los conductores adyacentes; por esta razón se incorpora un apantallado externo (en la cubierta protectora) e interno (entre los propios conductores). La pantalla suele estar constituida por una malla de hilo de cobre desnudo (generalmente estañado) o con papel de aluminio, con o sin drenaje. La misión del apantallado es aislar el interior de la radiación exterior.

En el cable de par trenzado, un par de cables forman un circuito que puede transmitir datos. Los pares están trenzados para proporcionar protección contra la diafonía, el ruido generado por redes adyacentes. Cuando un hilo está transportando corriente, está creando un campo magnético alrededor del hilo. Este campo puede interferir con señales o hilos cercanos. Para combatirlo, los pares de hilos transportan señales en direcciones opuestas, de modo que los dos campos magnéticos también se generan en direcciones opuestas y se neutralizan.

El cable de pares trenzados TP (Twisted Pair) está compuesto de varios pares de conductores enrollados entre sí. El trenzado ayuda a mitigar un efecto indeseado denominado 'Crosstalk', por el que se produce un envío de la señal de un par a otro cercano. Este efecto aumenta con frecuencia, de forma que con valores suficientemente altos, la transmisión se hace imposible pues las señales enviadas desde los pares cercanos tienden a corromper las propias.

Cuando el medio de transmisión es un cable TP, uno de los pares se utiliza para transmisión (TX), y otro para la recepción (RX). En la construcción de redes se utilizan varios tipos de cable TP. El cable de par trenzado (TP) puede ser utilizado hasta un máximo de 115MHz; a partir de este punto, los problemas de ruido (principalmente derivados del ‘Crosstalk’) lo hacen inutilizable.

El cable de par trenzado blindado STP (Shielded Twisted Pair) contiene cuatro pares de hilos de cobre finos cubiertos por unos aislantes plásticos codificados por color y trenzados conjuntamente. Cada par está envuelto en una fina lámina metálica, y los cuatro pares envueltos colectivamente con otra capa metálica. Esta capa se recubre con plástico exterior.

5.3.3.2 CABLE UNSHIELDED TWISTED PAIR (UTP).

El cable de pares trenzados sin apantallar UTP (Unshielded Twisted Pair), es el clásico cable de red de cuatro pares trenzados (8 hilos en total). Debido a que no dispone de protección contra las perturbaciones externas, solo es adecuado para entornos relativamente libres de perturbaciones. [37, pp. 13-15]

Es de bajo costo y de fácil uso, pero se producen más errores que en otros tipos de cables y tiene limitaciones para trabajar a grandes distancias sin regeneración de señal.

El entrelazado de los cables disminuye la interferencia debido a que el área de bucle entre los cables, la cual determina el acoplamiento eléctrico en la señal, se ve aumentada. En la operación de balanceo de pares, los dos cables suelen llevar señales paralelas y adyacentes (modo diferencial), las cuales son combinadas mediante sustracción debido a que ambos cables están expuestos a interferencias electromagnéticas similares.

La tasa de trenzado, usualmente definida en vueltas por metro, forma parte de las especificaciones de un tipo concreto de cable. Cuanto menor es el número de vueltas, menor es la atenuación de la diafonía.

En la Tabla 5.4 se muestran las categorías de cable UTP.

Categoría	Ancho de Banda (MHz)	Aplicaciones
Categoría 1	0.4	Líneas telefónicas y módem de banda ancha
Categoría 2	-----	Cable para conexión de antiguos terminales como IBM 3270
Categoría 3	16	10BASE-T y 100BASE-T EtherNet
Categoría 4	20	16 Mbits/s Token Ring
Categoría 5	100	100BASE-TX y 1000BASE-T EtherNet
Categoría 5e	100	100BASE-TX y 1000BASE-T EtherNet
Categoría 6	250	1000BASE-T EtherNet
Categoría 6e	250-500	10GBASE-T EtherNet
Categoría 7	600	
Categoría 7a	1200	Para servicios de telefonía, televisión por cable y EtherNet 1000BASE-T en el mismo cable
Categoría 8	1200	

TABLA 5.4. CATEGORÍAS DE CABLE UTP.

5.3.3.2.1 CABLE DIRECTO.

El cable directo de red sirve para conectar dispositivos desiguales, como un computador con un Hub o Switch. En este caso ambos extremos del cable deben tener la misma distribución, como se muestra en la Figura 5.5. No existe diferencia alguna en la conectividad entre la distribución 568A y la distribución 568B, siempre y cuando en ambos extremos se use la misma.

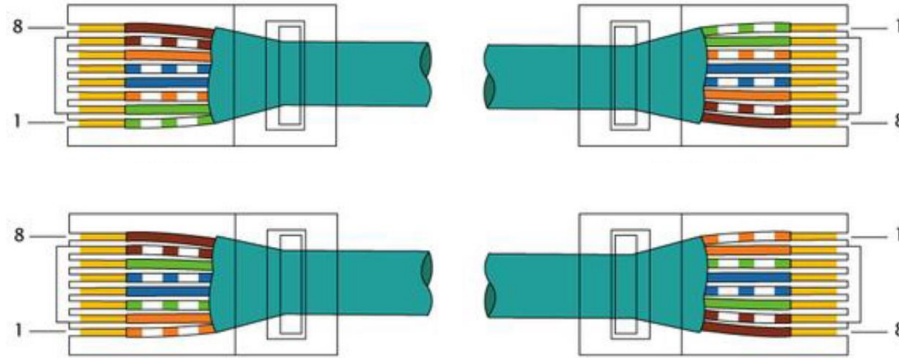


FIGURA 5.5. TIPOS DE CABLE DIRECTO 568A (superior), 568B (inferior).

5.3.3.2.2 CABLE CRUZADO.

Un cable cruzado es un cable que interconecta todas las señales de salida en un conector con las señales de entrada en el otro conector, y viceversa; permitiendo a dos dispositivos electrónicos conectarse entre sí con una comunicación Full-Duplex. También permite transmisión confiable vía conexión Ethernet. Figura 5.6.

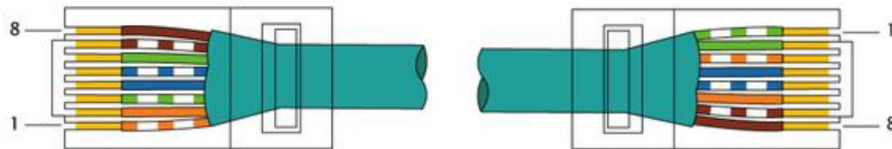


FIGURA 5.6. CABLE CRUZADO.

Para que todos los cables funcionen en cualquier red, se sigue un estándar a la hora de hacer las conexiones. Los dos extremos del cable llevarán un conector RJ45, con los colores en el orden indicado. Existen dos maneras de unir el cable de red con su respectivo terminal RJ45, el pochado se puede hacer de manera manual o al vacío sin aire mediante inyectado de manera industrial. Para usar un Hub o Switch hay dos normas, la más usada es la B, en los dos casos los dos lados del cable son iguales. [31, pp. 14-17]

Norma A	Norma B
1. Blanco-Verde	1. Blanco-Naranja
2. Verde	2. Naranja
3. Blanco-Naranja	3. Blanco-Verde
4. Azul	4. Azul
5. Blanco-Azul	5. Blanco-Azul
6. Naranja	6. Verde
7. Blanco-Marrón	7. Blanco-Marrón
8. Marrón	8. Marrón

TABLA 5.5. NORMAS DE CABLE.

5.3.3 FIBRA ÓPTICA.

La fibra óptica es un medio de transmisión que ofrece varias ventajas respecto al cable de cobre; las principales ventajas son su gran ancho de banda y sus bajas pérdidas (0.17dB/km) prácticamente constantes con la frecuencia. Además la fibra no es afectada por ruido de alta frecuencia. Esto combinado con su inmunidad frente a interferencias (EMI y EMP), la hace muy segura para la transmisión de datos.

La desventaja de la fibra óptica, es que es más cara que el cable de cobre. Por estas razones, las versiones de Ethernet con fibra, son usadas cuando las distancias son largas, cuando la inmunidad frente al ruido y la seguridad sean lo principal y el costo sea secundario. [37, p. 19]

5.4 CAPA 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.

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.

Es un protocolo orientado a conexión, es un mecanismo de transporte Unicast que proporciona control de flujo de datos, fragmentación, reensamblaje y reconocimiento de mensajes. Los nodos deben interpretar cada mensaje, ejecutar la tarea pedida y generar respuestas. TCP es ideal para la transmisión fiable de las 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 y Routers de capa 3. 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 que aparecen en las “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 únicas y jerárquicas en una determinada red.

En la mensajería en tiempo real, EtherNet/IP también emplea UDP sobre IP, que permite a los mensajes ser multicast a un grupo de direcciones de destino. Así es como CIP I/O hace las transferencias de datos (mensajes implícitos) que se envían en EtherNet/IP. En mensajes implícitos, el campo de datos no contiene ninguna información de protocolo, solo los datos de E/S en tiempo real. UDP es un protocolo no orientado a 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 son de tiempo crítico de control de datos. El mecanismo de conexión CIP dispone de un timeout que puede detectar problemas de entrega de datos, una capacidad que es esencial para la confiabilidad de los sistemas de control. [40, pp. 21-23]

5.4.1 MASCARA EN DIRECCIONES IP.

Si se asignase de una manera fija un octeto para cada subred, el máximo número de nodos por subred sería 254, lo que puede resultar insuficiente. Para conseguir incrementar el número de dispositivos conectados se emplea una máscara en la dirección IP. La máscara es un mecanismo compuesto de unos y ceros mediante el cual los unos indican la parte de dirección de red y subred y los ceros se corresponden con las direcciones de Host.

De esta forma la estructura estándar de las direcciones IP puede ser modificada localmente mediante la utilización de bits de dirección de host como bits adicionales de dirección de red. Podríamos decir que, esencialmente la línea divisora entre bits de dirección de red y bits de dirección de host es desplazada creando redes adicionales pero reduciendo el número máximo de host que pueden pertenecer a cada red. Estos nuevos bits de red definen redes, denominadas subredes dentro de grandes redes.

Las organizaciones deciden crear subredes para permitir solventar problemas de topología o de gestión. La división en subredes permite una gestión descentralizada de las direcciones de HOST. Con el esquema de direccionamiento estándar un administrador es responsable de la gestión de todas las direcciones de HOST de la red entera mientras que al realizar divisiones mediante subredes, el administrador puede delegar en otros administradores mediante la asignación de subdirecciones de red.

5.4.2 FORMATOS DE LAS DIRECCIONES IP.

Existen cinco tipos de formatos diferentes para las direcciones IP que se dividen en las siguientes clases:

CLASE A: Contiene 7 bits para direccionar la red (lo que permite un máximo de $2^7 = 128$ redes), cada una de las cuales puede tener $2^{24} - 2 = 16,777,214$ computadores, se utiliza cuando tiene muchos HOST.

CLASE B: Tiene 14 bits para direcciones de red y 16 bits para direcciones de HOST. Esto permite un máximo de $2^{14} - 2 = 16,382$ redes de $2^{16} - 2 = 65,534$ HOST como máximo de cada una.

CLASE C: Tiene 21 bits para direcciones de red y 8 bits para direcciones de host. Esto permite un máximo de $2^{21} - 2 = 2,097,150$ redes de $2^8 - 2 = 254$ host como máximo cada una.

CLASE D: Se reservan todas las direcciones para multi-destino esto es, un computador transmite un mensaje a un grupo específico de computadores, entre computadores de clase D. [17, p. 43]

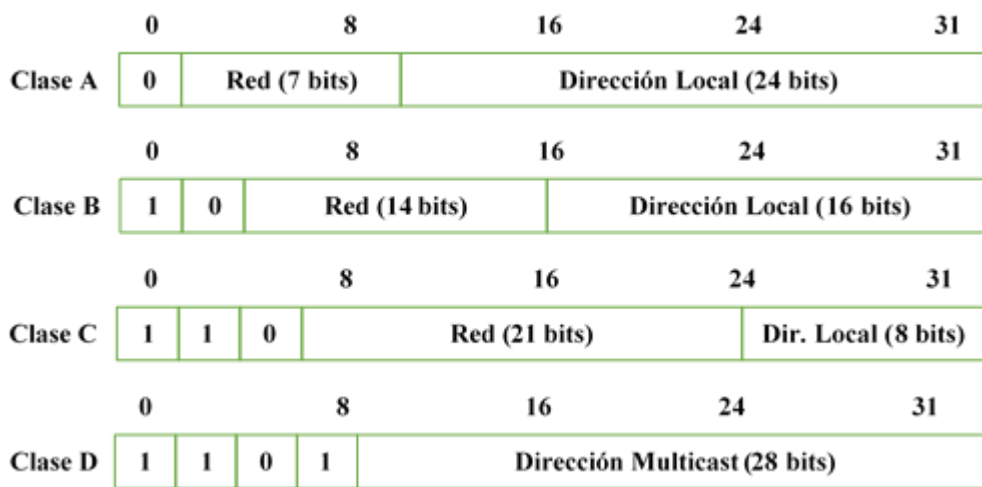


FIGURA 5.7. CLASES DE DIRECCIÓN IP.

5.4.3 ENCAPSULADO TCP/IP.

Las aplicaciones que se desarrollan con TCP/IP, normalmente utilizan un conjunto de protocolos para llevar a cabo la comunicación. La suma de las capas de este conjunto de protocolos se conoce como *stack de protocolo*. De esta forma, cuando una aplicación envía datos usando el protocolo TCP, el dato es enviado hacia abajo del protocolo *stack*, a través de cada capa, hasta que este se envíe como un flujo de bits a través de la red. Cada capa coloca

información adicional al dato en su encabezado (y algunos añaden información para rastreo) para que el dato sea recibido. En la Figura 5.8 se muestra este proceso. Los números abajo de los encabezados y del CRC en la trama Ethernet representan los tamaños típicos en Bytes. Una propiedad física de una trama Ethernet es que la MTU (Maximum Transmision Unit) por default es del tamaño de 1500 Bytes, por lo cual los paquetes IPv4 e IPv6 no exceden este tamaño.

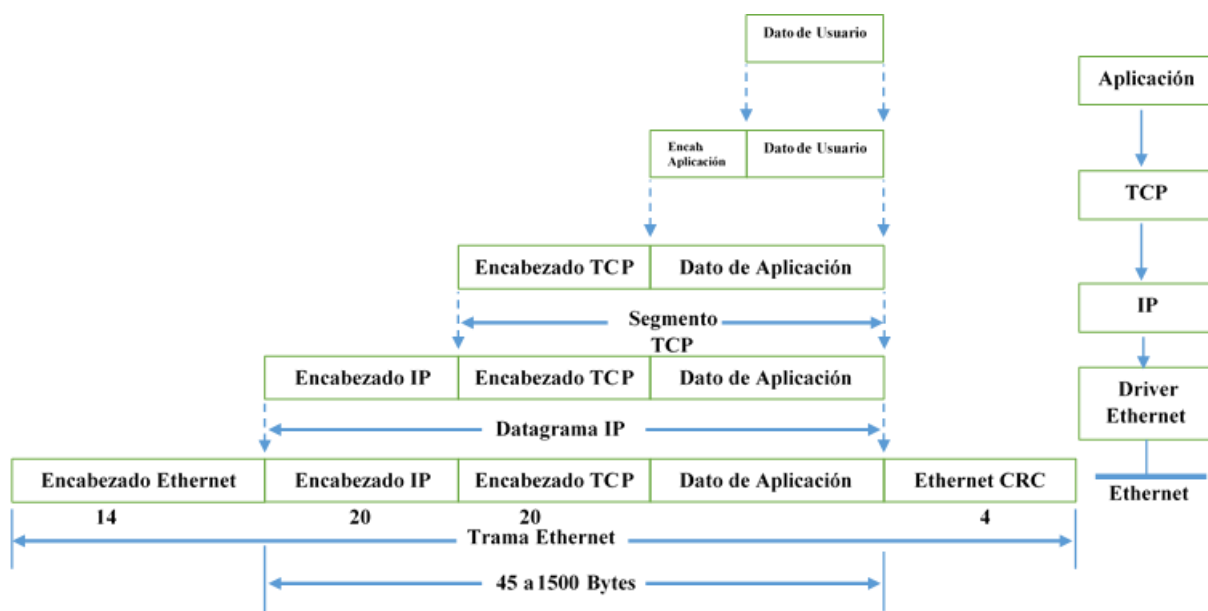


FIGURA 5.8. ENCAPSULADO DE UN DATO.

Como cada capa del protocolo TCP/IP se refiere a los datos que transmite con términos diferentes, en la Figura 5.9 se muestran estos términos. Las aplicaciones que usan TCP se refieren a los datos como *stream*, mientras que las aplicaciones que usan el protocolo de *datagrama* de usuario (UDP) se refieren a los datos como *mensajes*. TCP llama a estos datos *segmentos*, y UDP llama a estos datos *datagramas*. La capa de Internet ve a todos estos datos como bloques y les llama *datagramas*. TCP/IP usa diferentes tipos de redes para mandar sus datos, cada una de las cuales tienen diferentes tipos de términos para los datos que transmiten, en nuestro caso ocuparemos el término que utiliza Ethernet, la cual llama a los datos *frame*, *trama* o *paquete*.

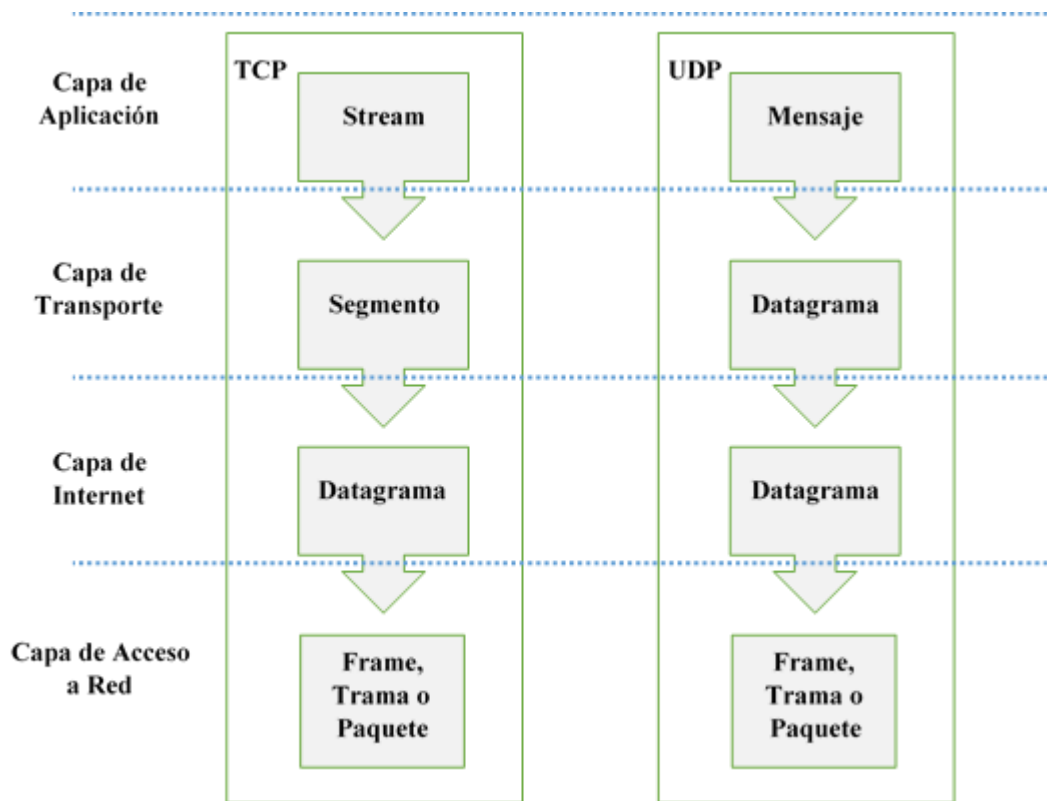


FIGURA 5.9. ESTRUCTURA DE DATOS.

5.4.4 PROTOCOLO DE DATAGRAMA DE USUARIO (UDP).

El protocolo de datagrama de usuario UDP proporciona un transporte de datos rápido y eficiente necesario para el intercambio de datos en tiempo real.

Proporciona un servicio de datagramas sin conexión que ofrece entrega de mejor esfuerzo, lo que significa que UDP no garantiza la entrega ni comprueba la secuencia de los datagramas.

Un Host de origen que necesita comunicación confiable debe utilizar TCP o un programa que proporcione sus propios servicios de secuencia y confirmación. [23, p. 176]

UDP define un conjunto de destinos como los puertos del protocolo. El puerto es una dirección que identifica la aplicación asociada a los datos.

Asimismo, el protocolo define dos tipos de puertos de protocolo: puertos conocidos y puertos asociados dinámicamente. En el caso de puertos conocidos, se reservan determinados números de puertos UDP para determinadas aplicaciones. Estos números se encuentran en el rango de 1 y 255, y se utilizan con aplicaciones específicas. Todas las aplicaciones de UDP hacen uso de

dichos números de la misma manera. En el caso de los puertos asociados dinámicamente, las aplicaciones que solicitan servicios a un proceso deben consultar el nodo para determinar el puerto utilizado por el proceso, y después poder enviar los datagramas UDP al puerto.

En la Figura 5.10 se muestra la estructura de un *datagrama* UDP, y como se puede observar el encabezado se divide en cuatro campos de 16 bits, que especifican el puerto desde el que se envió el mensaje, el puerto para el que se destina el mensaje, la longitud del mensaje y una suma de verificación UDP. [41, p. 9]

0-15 bits	16-31 bits
Puerto Origen	Puerto Destino
Longitud de Mensaje	Suma de Verificación
Datos	

FIGURA 5.10. ESTRUCTURA DE UN DATAGRAMA UDP.

Para aplicaciones de tiempo real UDP es normalmente usado como protocolo de capa 4, ya que la retransmisión y la capacidad de tiempo real son demandas contradictorias.

UDP es más tolerante en la automatización industrial como en el caso de una falla de transmisión simple con una pérdida completa de datos para una actualización con los datos actuales en la siguiente transmisión. De manera opuesta, TCP podría repetir la transmisión con los datos no actualizados hasta que fuera exitoso el envío. [26, pp. 75, 76]

5.5 CAPAS SUPERIORES.

EtherNet/IP usa el Protocolo Industria Común. 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 dispositivos de envío (por ejemplo: el productor) y muchos dispositivos de recepción (por ejemplo: los consumidores), sin necesidad de que los datos 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 las redes Fuente-Destino). Por lo

tanto, el modelo Productor-Consumidor proporciona una clara ventaja para usuarios de las redes CIP haciendo uso eficiente de los recursos de la red de las siguientes maneras:

- ❖ Si uno quiere recibir datos, solo 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 como todos los demás nodos.

CIP también incluye “Tipos de Dispositivos” para los que hay “Perfiles de Dispositivo”. Para un determinado tipo de dispositivo, el perfil del dispositivo a especificar es el conjunto de objetos que CIP debe aplicar y las opciones de configuración de los formatos de los datos de E/S. 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 compuestas de dispositivos de múltiples proveedores. [40, pp. 23, 24]

En sistemas I/O tradicionales, los controladores sondean los módulos de entrada para obtener el estado de sus entradas. En el sistema CIP, los módulos de entradas digitales no son sondeados por un controlador. En vez de eso, producen sus datos en un cambio de estado (COS) o en un intervalo de paquete solicitado (RPI). La frecuencia de actualización depende de las opciones escogidas durante la configuración y donde reside el módulo conectado a la red. El módulo de entrada, por lo tanto, es un productor de datos de entrada y el controlador es un consumidor de datos.

El controlador también puede producir datos para que otros controladores los consuman. El dato producido y consumido es accesible para múltiples consumidores sobre el backplane Logix y sobre la red EtherNet/IP. Este intercambio de datos es conforme al modelo Productor/Consumidor. [42, p. 10]

5.5.1 CONEXIONES.

Los módulos de comunicación EtherNet/IP usan conexiones para administrar la comunicación en una red. Una conexión es un mecanismo de comunicación punto a punto usado para transferir datos entre un transmisor y un receptor. Las conexiones pueden ser lógicas o físicas.

Dos tipos de conexiones, conexiones TCP y conexiones CIP están en capas una sobre otra en cada momento que el dato es transferido. La conexión TCP es la primera que se establece. Es usada por toda comunicación EtherNet/IP y es requerida por toda conexión CIP a usar. Una sola conexión TCP soporta múltiples conexiones CIP y permanece abierta.

Establecida sobre conexiones TCP, las conexiones CIP EtherNet/IP transfieren datos de una aplicación corriendo en un nodo terminal (Transmisor) a una aplicación corriendo en otro nodo terminal (Receptor). Las conexiones CIP son configuradas para usar mensajes de tipo explícito o implícito. Los tipos de mensajes soportan conexiones del tipo conectado o no conectado. Típicamente, los mensajes CIP del tipo conectado son usados para transferir datos. Los mensajes CIP del tipo no conectado son usados pero solo de manera temporal.

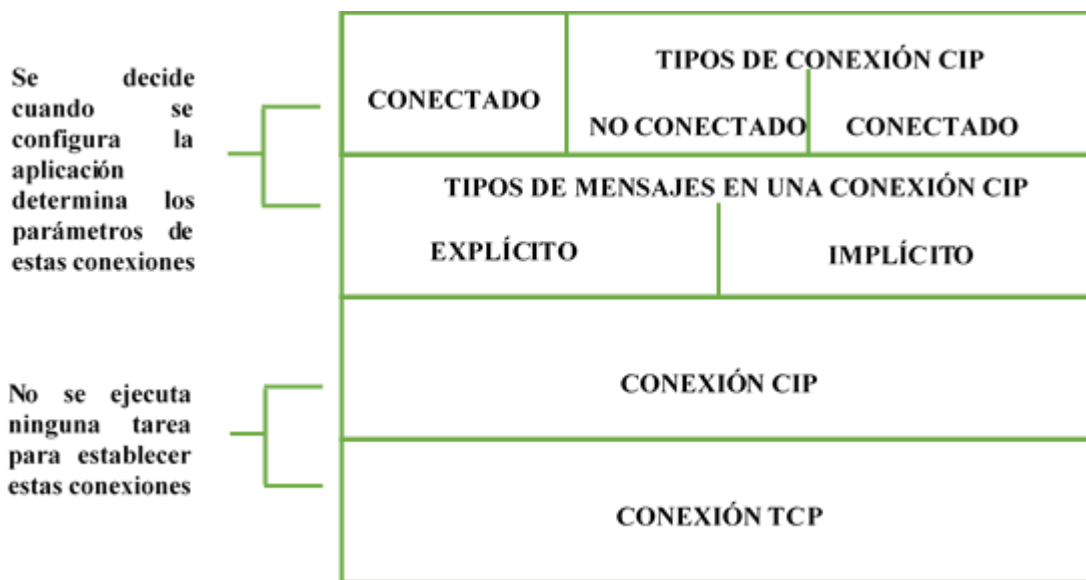


FIGURA 5.11. CONEXIONES SOBRE ETHERNET/IP.

Recordar estos puntos cuando se configure una aplicación en una red EtherNet/IP:

- ❖ Todas las conexiones son usadas cada vez que los datos son transferidos en la red EtherNet.
- ❖ Especificar los tipos de mensajes en la conexión CIP y los tipos de conexión CIP.

Por ejemplo, cuando un controlador Logix5000 envía una instrucción MSG a otro controlador Logix5000, el transmisor envía la instrucción al receptor sobre la conexión. Esa conexión incluye lo siguiente:

- a. Una conexión TCP es establecida .
- b. Una conexión está en capas en la conexión TCP.
- c. Un mensaje de conexión CIP explícito o implícito es comunicado vía conexión CIP.
- d. Si un mensaje de tipo explícito que es usado, puede ser como conectado como no conectado.

Si un mensaje de tipo implícito es usado, es conectado.

- ❖ Cada módulo de comunicación EtherNet/IP tiene límites de conexión TCP y CIP que se debe tener en cuenta cuando se configura la aplicación.

5.5.2 TÉRMINOS PARA ENTENDER LAS CONEXIONES.

5.5.2.1 PRODUCTOR/CONSUMIDOR.

Productor/Consumidor hace referencia a las conexiones implícitas. Con conexiones implícitas, los mensajes son enviados cíclicamente (cada RPI (Requested Packet Interval)).

Ejemplo:

Asumir que un controlador ControlLogix está controlando a un solo rack Flex I/O usando un rack de conexión. Ambos el módulo ENBT el que es local al controlador y el módulo Flex AENT son consumidores y productores de datos. El AENT consume salidas y produce entradas.

5.5.2.2 CLIENTE/SERVIDOR.

Cliente/Servidor hace referencia a conexiones explícitas. Un cliente crea una conexión e inicia los mensajes. Un servidor provee un servicio de datos. Los clientes pueden enviar mensajes continuamente o intermitentemente.

Ejemplo:

Un controlador ControlLogix puede enviar una instrucción MSG a otro controlador.

5.5.2.3 TRANSPORTE.

Cada conexión tiene transportes. Un transporte es una entidad unidireccional con su propio identificador numérico. Una conexión implícita tiene 2 transportes. Una conexión explícita tiene 1 transporte. Los transportes son importantes porque ayudan a calcular el número de paquetes por segundo para cada interface Ethernet.

Ejemplo 1: I/O

Para una conexión I/O hacia un rack de I/O distribuidas, una conexión es configurada en el programa RSLogix 5000 agregando la comunicación del adaptador y módulos de I/O en la lista de I/O. Cuando la conexión es creada, el flujo de paquetes de salida del controlador hacia el rack de I/O. Además, el flujo de paquetes de entrada del módulo de I/O hacia el controlador. Cada dirección de flujo es un transporte. En este ejemplo existen 2 transportes. Un transporte es del controlador al adaptador. El segundo transporte es del adaptador hacia el controlador.

Ejemplo 2: Tag Producido.

Para una conexión de Tag Producido con 2 consumidores, hay una conexión para cada consumidor. Cada consumidor regresa un Heartbeat (latido). Un total de 3 transportes existen en este ejemplo. Un transporte es del controlador productor de tags hacia el medio “cable”. El segundo transporte es de un consumidor hacia el productor de tags. El tercer transporte es del segundo consumidor.

5.5.2.4 UCMM (UNCONNECTED MESSAGE MANAGER).

Este tipo de mensajería es momentánea y por lo tanto puede ser ignorada a menos que se estén resolviendo problemas.

Ejemplos en donde los mensajes UCMM son usados:

- ❖ Actualización del Firmware de un módulo.
- ❖ Algunas funciones en RSLinx.
- ❖ Instrucción CIP genérica MSG.
- ❖ Abrir alguna conexión CIP.

5.5.2.5 CONEXIONES TCP.

Las conexiones TCP son usadas para toda comunicación EtherNet/IP y son establecidas antes de que un dispositivo transmita datos a uno o más dispositivos en la red. Los módulos de comunicación EtherNet usan una conexión para cada dirección IP a la cual el módulo está conectado.

Las conexiones TCP son automáticamente establecidas antes de las conexiones CIP porque solo puedes establecer conexiones CIP sobre una conexión TCP. Una sola conexión TCP soporta múltiples conexiones CIP.

5.5.2.6 CONEXIONES CIP.

Las conexiones CIP son automáticamente establecidas sobre una conexión TCP y transfieren datos de un dispositivo en una red EtherNet/IP a otra. Los siguientes son ejemplos de conexiones CIP:

- ❖ Controlador Logix5000 transfiere mensajes a un controlador Logix5000.
- ❖ Tags Producidos o I/O.
- ❖ Carga de Programas.
- ❖ Cliente RSLinx DDE/OPC.
- ❖ Sondeo de PanelView de un controlador Logix5000.

5.5.2.6.1. BRIDGED.

Una conexión Bridged es una conexión que pasa a través del módulo de comunicación. El punto final de conexión es un módulo excepto el módulo de comunicación EtherNet.

Ejemplo: Una conexión explícita de un controlador a través de un módulo 1756-ENT2 a otro controlador.

5.5.2.6.2 END-NODE.

Una conexión End-Node es una conexión cuyo punto final es el mismo módulo de comunicación EtherNet.

Ejemplo: Una conexión explícita del programa RSLinx hacia el módulo de comunicación para establecer la dirección IP del módulo.

5.5.2.6.3 RACK-OPTIMIZED.

Una conexión Rack-Optimized es una conexión de mensaje implícita hacia un rack u objeto de ensamble en el módulo de comunicación EtherNet. Los módulos de I/O seleccionados son recolectados y producidos en una conexión (conexión Rack-Optimized) mejor que una conexión directa para cada módulo. Esta conexión CIP solo es disponible con módulos I/O digitales.

5.5.2.6.4 DIRECTA.

Una conexión de mensaje implícito de un controlador a un módulo específico de I/O (opuesto a la conexión Rack-Optimized). Esta conexión es disponible para los módulos I/O analógicos y digitales.

5.5.2.7 TIPOS DE MENSAJES EN UNA CONEXIÓN CIP.

Las conexiones CIP usan uno de los siguientes tipos de mensajes en una conexión CIP:

- ❖ Implícito.
- ❖ Explícito.

5.5.2.7.1 CONEXIONES IMPLÍCITAS.

Son de naturaleza crítica en el tiempo. Estas incluyen tags producidos/consumidos y E/S. Implícito se refiere a la información (tal como dirección fuente, tipos de datos, o dirección destino) que es empleada en el mensaje pero no está contenida en el mensaje.

5.5.2.7.2 CONEXIONES EXPLÍCITAS.

No son críticas en el tiempo son de naturaleza solicitud/respuesta. Ejecutar una instrucción MSG o ejecutar la descarga de un programa son ejemplos de conexiones explícitas. Explícito

se refiere a la información básica (tal como dirección fuente, tipos de datos, o dirección destino) que es incluida en todo mensaje.

5.5.2.8 TIPOS DE CONEXIONES CIP.

Los tipos de conexión CIP determinan cómo las conexiones CIP transfieren datos en la red. El tipo de conexión CIP determina cuando una conexión es establecida entre dispositivos. Si una conexión es establecida entre dispositivos, el tipo de conexión determina si esa conexión permanece abierta después de que los datos son transferidos.

Hay dos tipos de conexión CIP:

- ❖ Conectado- Disponible con mensajes explícitos e implícitos.
- ❖ No Conectado- Disponible solo con mensajes explícitos.

Tipo de Conexión CIP	Usado con mensajes Implícitos	Usado con mensajes Explícitos
Connected	<p>Los siguientes eventos ocurren:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Una conexión es establecida entre dispositivos. 2. Los datos son transferidos entre dispositivos. 3. La conexión permanece abierta para transmisión de datos futuros. <p>Los siguientes son ejemplos de mensajería implícita conectada:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Transferencia de datos I/O. ❖ Tags Producidos/Consumidos entre controladores 	<p>Los siguientes eventos ocurren:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Una conexión es establecida entre dispositivos. 2. Los datos son transferidos entre dispositivos. 3. La conexión entre dispositivos es cerrada. <p>Si los datos necesitan ser transferidos otra vez entre estos mismos dispositivos, la conexión debe ser reabierta.</p> <p>Los siguientes son ejemplos de mensajería explícita conectada:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Instrucción MSG.

	<p>Logix5000.</p> <p>Tener en mente los siguientes puntos cuando se use mensajería implícita conectada:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ El tiempo de ejecución es más eficiente porque las conexiones CIP entre dispositivos no necesitan ser reabiertas para cada transferencia de datos. ❖ Los módulos de comunicación EtherNet/IP soportan un número limitado de conexiones CIP. Porque estas conexiones permanecen abiertas todo el tiempo, hay menos conexiones disponibles para otros datos a través del módulo. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ El software de comunicación RSLinx establece la dirección IP para un módulo de comunicación EtherNet/IP. <p>Si se necesita una conexión reservada, la conexión no es cerrada al final de la transacción.</p> <p>Tener en mente los siguientes puntos cuando se use mensajería explícita conectada:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ El tiempo de ejecución es menos eficiente porque la conexión CIP entre dispositivos debe ser reabierta para cada transferencia de datos. ❖ Los módulos de comunicación EtherNet/IP soportan un límite de conexiones CIP. Porque esta conexión CIP es cerrada inmediatamente después de usarla, la conexión CIP está inmediatamente disponible para otros datos a través del módulo.
Unconnected	N/A	En mensajería explícita no

		<p>conectada no es establecida una conexión entre dispositivos.</p> <p>Los datos son enviados en un paquete que incluye la información de identificador destino en la estructura de datos pero no tiene una conexión dedicada.</p>
--	--	--

TABLA 5.6. CONEXIONES USADAS CON MENSAJES IMPLÍCITOS Y EXPLÍCITOS. [42, pp. 51-57]

5.6 COMPONENTES, INFRAESTRUCTURA ETHERNET.

Una red Ethernet industrial está compuesta por una serie de componentes como Switches industriales, Controladores, Drives, Hubs, Convertidores de medios, PLC's, etc., los cuales se encuentran interconectados entre sí para intercambiar información con una conectividad de extremo a extremo. A estos componentes se les puede 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 DTE's son: Servidores de Red, PC's, HMI's y traductores de protocolo.

DCE (DATA COMMUNICATION 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. [40, p. 47]

La topología y el diseño del cable de la red Ethernet es una parte de la capa física. Los sistemas Ethernet requieren varios componentes de infraestructura para conectar segmentos individuales de red. [42, p. 21]

5.6.1 HUBS.

Hubs son repetidores multipuertos. Están basados en la antigua tecnología que ha sido ampliamente reemplazada por Switches de red de la capa 2, pero que aún son usados como herramientas de diagnóstico para analizar el tráfico de red.

- ❖ Un Hub es el centro de una topología en estrella.
- ❖ Los Hubs pueden ser conectados juntos usando una variedad de medios como columna vertebral entre Hubs.
- ❖ Un Hub Broadcast recibe todo en cualquier canal y descarta todos los demás. [42, p. 21]

Estos dispositivos son también conocidos como repetidores Half-Duplex 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 mayor alcance. El reemplazo de estos se ha dado por el hecho de que 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. [40, p. 47]

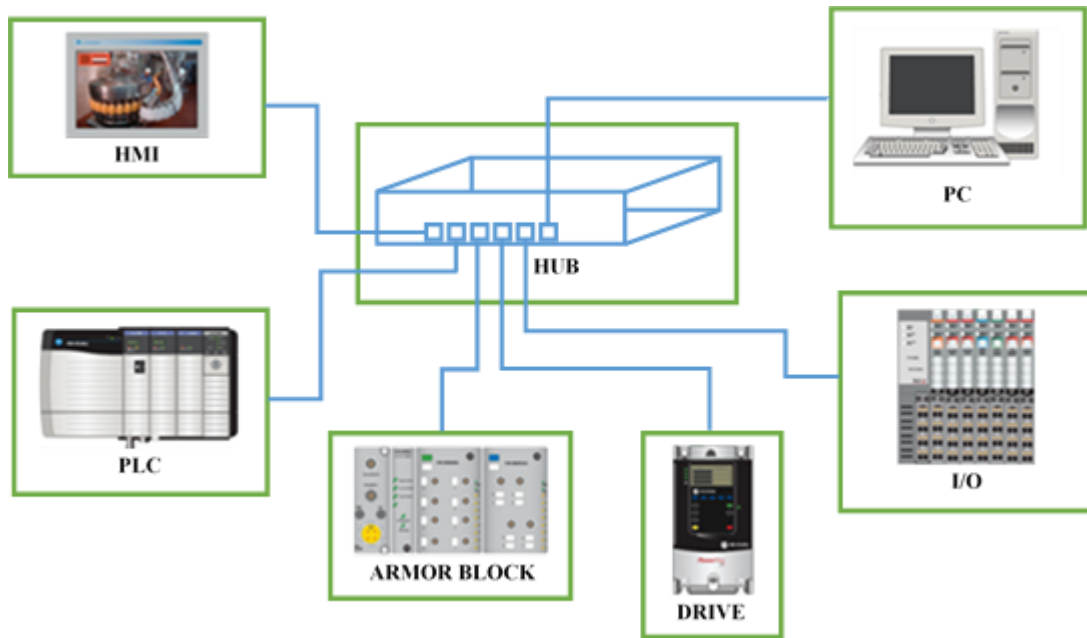


FIGURA 5.12. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE UN HUB.

5.6.2 REPETIDOR.

Un repetidor recrea la señal de entrada y la retransmite sin ruido o distorsión que podría haber afectado la señal tal como se transmitió a través del cable. Los repetidores están generalmente solo en redes antiguas para incrementar la longitud de la red. Redes más modernas usan como medio la fibra óptica o Switches para incrementar la longitud de la red. [42, p. 21]

Usualmente se usa para unir dos áreas locales de igual tecnología y sólo tiene dos puertos. [43, p. 42]

5.6.3 CONVERTIDORES DE MEDIO.

Los convertidores de medios permiten mezclar fibra óptica y cobre (Par Trenzado) en el mismo sistema.

Usar un Switch para mezclar:

- ❖ Dispositivos de la capa física que no ofrecen buffering o características de diagnóstico avanzado.
- ❖ Dispositivos de la capa física que son fácilmente rebasados por un sistema EtherNet/IP (Sin buffering= Datos Perdidos).

- ❖ Dispositivos de la capa 2 que tiene buffering, QoS (Quality of Service), y otras características de administración.

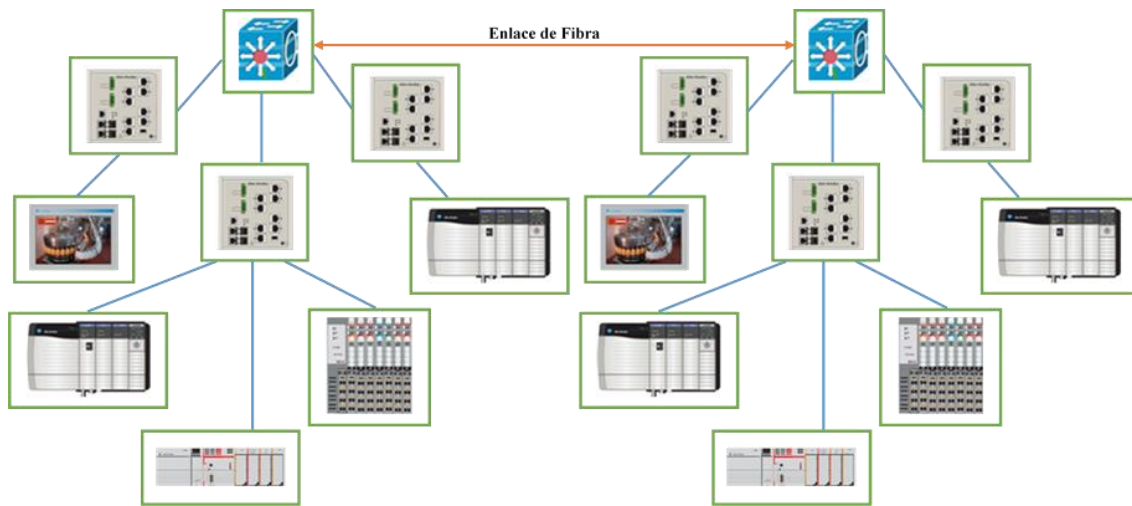


FIGURA 5.13. EJEMPLO DE USO DE CONVERTIDOR DE MEDIOS.

5.6.4 BRIDGE (PUENTE).

Un puente es un dispositivo que aísla el tráfico entre segmentos, selectivamente dirige los tramas al destino adecuado. Es transparente a la red e independiente al protocolo. De manera similar al repetidor, el puente no se usa más, pero dispositivos más avanzados que hacen la función de Bridging son comúnmente usados. [42, pp. 21, 22]

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: 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 a 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 direcciones 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 LAN. [40, p. 48]

5.6.5 ROUTERS Y GATEWAYS.

Los Routers y Gateways usan la porción de red de la dirección IP para identificar dónde están las redes. Mantienen una tabla de encaminamiento que le dice al dispositivo en cuál puerto debe ser transmitido el mensaje para obtener en orden el mensaje correcto de la red.

Si una red en particular no está directamente ligada a ese dispositivo, dirigirá el mensaje al siguiente Gateway o Router en la trayectoria del encaminamiento.

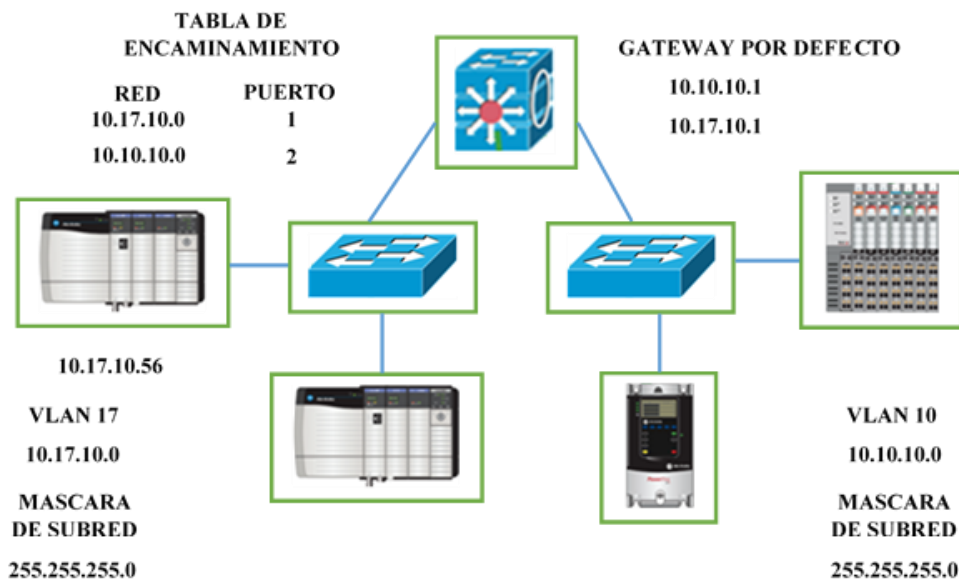


FIGURA 5.14. IMPLEMENTACIÓN DE ROUTER Y GATEWAY.

5.6.6 SWITCHES.

Los Switches son dispositivos clave que proveen determinismo y rendimiento específico para aplicaciones de control. Los Switches que son evaluados a nivel industrial son recomendados para la conexión de computadoras y otros dispositivos el uno al otro y redes de muy alto nivel en la arquitectura de referencia de redes. Los Switches industriales:

- ❖ Operan en modo Full-Duplex para eliminar colisiones.
- ❖ Incluyen características administradas para funcionalidad avanzada de red. [42, p. 24]

Asignan un ancho de banda total a cada Host y controla el flujo de datos.

Los Switches almacenan los paquetes entrantes y a continuación determinan si el paquete contiene errores comprobando el Checksum, en cuyo caso descarta el paquete. Hecho esto, decide a que 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 “caduca” y se elimina de la tabla.

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

Los Switches pueden ser de tipo gestionado o no gestionado. En este último caso, su configuración no se podrá modificar utilizando herramientas de software externas. [40, pp. 48, 49]

CONCLUSIÓN.

Como conclusión se destacan las características que hacen únicas las redes mencionadas en este trabajo. Las adaptaciones que realizó CIP a cada una de las redes, permite dentro de sus destacadas características, la comunicación entre tres redes con marcadas diferencias, pero por tener una la capa superior en común le permite esta transmisión de datos a través de los diferentes niveles (dispositivos, control e información), por mencionar una de las implementaciones destacadas es el uso de EDS en la configuración del dispositivo, permite tener una gran facilidad en el momento de configurar a un dispositivo en específico.

La arquitectura que implementa este protocolo permite como tareas principales: controlar, la transmisión de datos, la frecuencia con la que se actualizan los módulos de entrada/salida, programar eventos que son o no prioritarios en el tiempo. Configuración: permite actualizar datos específicos de uno o varios dispositivos desde una sola red, recopila información para ser presentada al usuario a través de interfaces adecuadas con el fin de ser procesada de la mejor manera para el mejoramiento del proceso productivo.

DeviceNet.

DeviceNet es una red a nivel dispositivo, diseñada con elementos que tienen la capacidad de auto-diagnosticarse e insertarse aun cuando la red esté en funcionamiento.

DeviceNet ofrece beneficios en cuatro áreas principales: instalación, mantenimiento, detección de fallas y tiempo muerto, en la primera se reduce en gran medida los errores en el alambrado, por lo tanto el tiempo de puesta en marcha también se reduce, la facilidad en la detección de fallas y aislarlas son las ventajas en el área de mantenimiento, el hecho de que los dispositivos tengan circuitería permite diagnosticarse y anunciar su sustitución antes de que provoque daños mayores.

Como DeviceNet está basado en el protocolo CAN, que fue diseñado para los automóviles, que posteriormente fue adaptado al protocolo CIP, CAN tiene tres velocidades de transmisión de los datos, dependientes totalmente de la longitud de la red, esto indica que a una distancia de 500m se podrá manejar una velocidad de 125 kbaud, a una distancia de 250m la velocidad que se podrá utilizar es de 250 kbaud y a una distancia de 100m se podrá utilizar una

velocidad de 500 kbaud. Se puede tener un número máximo de nodos de 64 por red, su topología elemental es tipo bus, los nodos pueden ser insertados en línea derivación o directamente en línea troncal.

El método de acceso al medio es CSMA/NBA en este cuando un nodo intenta transmitir sus datos, lo primero que realiza es determinar si está siendo ocupada la red, si no es así enviará sus datos, de lo contrario si uno o más nodos intentan enviar sus datos el mecanismo NBA permite determinar que nodo tiene más prioridad y de esta manera este nodo podrá transmitir sus datos mientras que el otro esperará su turno.

Al igual que ControlNet y EtherNet/IP, DeviceNet es una red de arquitectura abierta permitiendo tener disponibilidad de dispositivos de diferentes fabricantes y una comunicación total entre ellas.

ControlNet.

En sus inicios ControlNet fue creada para la sustitución de grandes cantidades de entradas y salidas.

ControlNet es una red a nivel de control, que esencialmente se usa para la comunicación entre iguales, es decir, entre controladores haciendo el procedimiento llamado interlocking. Posee grandes características destacables como son: velocidad fija de 5Mbps, aunque la topología elemental es la tipo bus, a partir de esta se pueden derivar otras topologías como estrella (medios ópticos) y árbol (repetidores), posee seguridad intrínseca lo cual permite su uso en ambientes ásperos que son habituales en todo sistema industrial, la longitud máxima de un segmento es de 1km permitiendo en su totalidad ser de 20km como longitud máxima con el uso de repetidores, el número de nodos se limita a 99. Cada uno de los nodos incluye un NAP (Network Access Port, Puerto de Acceso a la Red), esta facilidad física permite conectarse en cualquier punto de la red. Tiene la ventaja de que se pueden eliminar o insertar nodos cuando la red está en funcionamiento.

El método de acceso CTDMA hace que esta red sea determinística, es decir, permite asignar ancho de banda para dos servicios: Scheduled, este permite, asignar prioridad a aquellos eventos que son críticos en el tiempo y el servicio Unsheduled que son eventos no críticos en

el tiempo, y por último el GuardBand, que permite la sincronización entre los nodos además de que en este se encuentran parámetros del NUT.

Para que ControlNet sea eficiente se recomienda enumerar los nodos comenzado por el número 1 y de manera ascendente, sin saltos, el que haya una diferencia notable entre ellos hace que el ancho de banda que se utilice sea mayor y los saltos provocan que el tiempo de actualización de la red sea mayor, al evitar esto la red se hace más eficiente.

EtherNet/IP.

EtherNet/IP, está basada en la tecnología estándar, es decir, se basa en los estatutos que marca IEEE 802.3, el método de acceso es CSMA/CD y se utiliza infraestructura común y accesible (estándar). Otra característica relevante es que forma parte de las redes abiertas manejadas por ODVA, esto implica que no le pertenece a un fabricante por consiguiente existe una gran variedad en la elección de dispositivos permitiendo a los integradores tener un amplio margen a este respecto y de las características más destacables es que utiliza el protocolo CIP (Protocolo Industrial Común) permitiendo comunicación horizontal y vertical trayendo como consecuencia la comunicación sin fisuras, es decir, que puede comunicarse con otras redes como ControlNet y DeviceNet sin necesidad de programación adicional o hardware extra que realice esta función. Utiliza en la capa de red y transporte los mismos protocolos que en una red Ethernet estándar, es decir, TCP/IP y UDP/IP, el primero utilizado para mensajería explícita (no crítica en el tiempo), y el segundo para mensajería implícita (crítica en el tiempo).

EtherNet/IP, es una red de grandes prestaciones, como sabemos por naturaleza no es determinística, esto quiere decir que no determina el momento justo en que sucederán las cosas, esto es totalmente visible al utilizar método de acceso CSMA/CD en este, cuando se quieren transmitir datos, el dispositivo que requiere hacer esto escucha si la red está ocupada, si lo está, este espera un tiempo aleatorio para después poder hacerlo, si no lo está podrá transmitir sus datos. Pero esto puede ser solucionado si se agregan dispositivos que cumplan con tal función como lo son los Switches, estos permiten ser determinística, además de brindarle características adicionales como: controlar el tráfico de la red, encaminar los paquetes de datos al nodo que los solicita, le da la capacidad de transmitir en modo Full-

Duplex esto indica que se pueden enviar y recibir datos en el mismo momento y por supuesto extender la longitud de la red.

Existen diferentes velocidades que maneja una red Ethernet pero especialmente las más destacadas por su uso a nivel industrial son: 10 y 100Mbps, esta última pertenece a la clasificación de una red de alta velocidad, permitiendo la transmisión de una cantidad de datos igual a 1500 Bytes.

En esta red se permite la segmentación de subredes, es decir, se pueden separar dos o más redes para funciones dedicadas agregando el hardware adecuado para poder cumplir con esta tarea, como ejemplo común se tiene el trabajo en conjunto de la red administrativa y la red industrial funcionando en una sola infraestructura.

Una característica extremadamente importante es que virtualmente no tiene límite en el número de nodos, esta, resulta de la segmentación con hardware formando subredes de grandes redes, tomando este concepto también se puede hacer lo mismo a partir de una subred.

Como observación final el concepto de unificación en este caso de sistemas específicos (sistemas a nivel dispositivo, control e información) hace que los procesos industriales ya no estén enfocados en el mantenimiento de los mismos como sucedía con sistemas descentralizados, dejando este trabajo en este caso en específico a NetLinx, el cual tiene como propósito configurar, programar, mantener y facilitar el manejo del entorno industrial referente a las comunicaciones y el tratamiento de la información, mejorando todos los aspectos que envuelven a un proceso productivo.

GLOSARIO.

ARQUITECTURA ABIERTA: Arquitectura en la que desarrolladores legalmente pueden hacer productos para los cuales las especificaciones son de dominio público.

BROADCAST: Se refiere a la propiedad que tiene una red cuando todos los nodos escuchan a todos los mensajes transmitidos para propósitos de determinar la prioridad/acceso al bus. Un mensaje que es enviado a todos los nodos en una red.

CIP: Common Industrial Protocol, Protocolo Industrial Común.

CLIENTE/SERVIDOR: Término usado para describir el procesamiento distribuido en sistemas de red en los cuales las responsabilidades de transacción están divididos en dos partes: cliente y servidor. Ambos términos (cliente y servidor) pueden ser aplicados a programas de software o a dispositivos.

COLISIÓN: Es el resultado de la transmisión simultánea de dos nodos. Las tramas de cada dispositivo impactan y son dañadas cuando se encuentran en un medio físico.

COMUNICACIÓN: Proceso de transmisión de información de un emisor a un receptor a través de un medio.

CONEXION: Es un vínculo lógico entre dos objetos de aplicación. Estos objetos de aplicación podrían ser los mismos o dispositivos diferentes.

CONNECTOR: Hardware utilizado para unir cables o para conectar un cable a un dispositivo.

CONSUMIDOR: Es un nodo que recibe datos de un productor.

CONTROLADOR: Es el dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos.

CONTROLLOGIX: Familia de controladores de la marca Allen Bradley.

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection, Mecanismo de acceso al medio donde los dispositivos listos a transmitir datos primero checan el canal para una portadora. Si no se detecta portadora para un periodo específico de tiempo, un dispositivo puede transmitir.

DATAGRAMA: Es un mensaje transmitido.

DETERMINISMO: El determinismo mide la consistencia del intervalo de tiempo especificado entre eventos. Es la capacidad de responder a eventos externos o ejecutar acciones dentro de un periodo de tiempo determinado.

DIRECCION DE RED: Es un valor de identificación del tipo integer asignado a cada nodo en una red CIP.

DROPLINE: Línea Derivación, el cable que conecta uno o más nodos hacia un cable troncal normalmente usando un conector.

ENLACE: Se refiere a la capa de enlace de datos del modelo ISO/OSI.

ETHERNET/IP: Protocolo de red en niveles para aplicaciones de automatización industrial.

EDS: Hoja de datos electrónicos, provee la descripción de los atributos de un dispositivo: nombre, rangos, tipos de datos, atributos específicos del vendedor, etc.

HMI: Human Machine Interface, Interface Hombre Máquina.

IP: Industrial Protocol, Protocolo Industrial.

JITTER: Fluctuación, Fluctuación del retardo entre paquetes; que es a diferencia entre el arribo y llegada de paquetes. La fluctuación es una medida de QoS importante para aplicaciones de video y voz.

Distorsión de línea en la comunicación analógica causada por la variación de una señal desde sus posiciones de referencia de tiempo. La fluctuación puede causar pérdida de datos, especialmente a altas velocidades.

LLC: Logical Link Control, Control de Enlace Lógico, la más alta de las subcapas de la capa de enlace de datos definida por el IEEE. La subcapa LLC maneja el control de errores, control de flujo, tramas, y direccionamiento de subcapa MAC.

MAC: Media Access Control, Control de Acceso al Medio.

MAP: Manufacturing Automation Protocol, Arquitectura de red creada por General Motors para cumplir las necesidades de especificación en las fábricas.

MAPEAR: Se refiere al direccionamiento de un dato de entrada/salida en una posición de memoria del dispositivo scanner o controlador, para su almacenamiento temporal.

MENSAJERIA EXPLICITA: En una red CIP, se refiere a la mensajería que debe indicar claramente, es decir, debe *explicitar* en el mensaje, qué información solicita y que información reenvía (como por ejemplo, un parámetro).

MENSAJERIA IMPLICITA: También llamada mensajería I/O. En una red CIP, se refiere a la mensajería que ya tiene asociado una información determinada. Por ello, el mensaje lleva *implícita* la información requerida.

MULTICAST: Paquete que es enviado a múltiples nodos en un red.

NAP: Network Access Port, Puerto de Acceso a la Red.

NetLinx: Plataforma de redes más actualizada de Rockwell Automation, involucra EtherNet/IP, ControlNet y DeviceNet.

NODO: Punto de conexión entre dos o más elementos de un circuito.

NUT: Network Update Time, Tiempo de Actualización de la Red.

ODVA: Open DeviceNet Vendor Association, Asociación de Vendedores de Redes Abiertas a Nivel Dispositivo.

OSI: Open System Interconnection, Interconexión de Sistemas Abiertos.

PLC: Programmable Logic Controller, Controlador Lógico Programable.

POLLING: Método de acceso en el cual un dispositivo de red primario verifica, en un estilo ordenado si los dispositivos secundarios tienen datos para transmitir. La verificación ocurre en forma de un mensaje a cada secundario que da el derecho a transmitir.

PRODUCTOR: Nodo que es responsable de transmitir datos.

PROTOCOLO: Conjunto de estándares que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre entidades que forman una red.

RACK: Armario destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones. Sus medidas están normalizadas para que sea compatible con equipamiento de cualquier fabricante.

RED: Es una serie de nodos conectados por algún medio. La ruta de comunicación entre cualquier par de nodos puede incluir repetidores y puentes.

REDUNDANCIA: En redes, la duplicación de dispositivos, servicios o conexiones que en un evento de falla, los dispositivos redundantes, servicios o conexiones pueden ejecutar el trabajo de eso que falló.

RESPUESTA DE TIEMPO REAL: Es la capacidad de un sistema de responder a un evento o ejecutar una acción de manera determinística, confiable, y garantizada dentro de un período de tiempo determinado (restricción temporal).

RSNETWORKX FOR ETHERNET/IP, CONTROLNET, DEVICENET: Software que permite obtener un diagnóstico de una red EtherNet/IP, ControlNet y DeviceNet y almacenar un respaldo de la misma.

RSLINX: Software que permite configurar el enlace (puertos de comunicación) del PLC a los dispositivos.

RSLOGIX 5000: Software que permite programar un controlador de la familia Controllogix.

SCADA: Control Supervisión y Adquisición de Datos.

SERVIDOR: Dispositivo u objeto que provee servicios a otro dispositivo (el cliente).

SWITCH: Es un dispositivo digital de lógica de interconexión de redes de computadoras y/o dispositivos.

TCP: Transmission Control Protocol, Protocolo de Control de Transmisión.

TOPOLOGIA: Cadena de comunicación que los nodos conforman en una red usada para comunicarse.

TERMINADOR: Es una resistencia colocada al final de un segmento troncal para prevenir reflexiones de transmisión.

TRAMA: En redes de comunicación, una trama es una unidad de envío de datos. Viene a ser sinónimo de paquete de datos o paquete de red, aunque se aplica principalmente en los niveles más bajos del modelo ISO/OSI, especialmente en el nivel de enlace de datos.

TRIGGER: Mecanismo de disparo para activar algún tipo de comunicación.

TRUNKLINE: Bus principal o parte central de un sistema de cables, comúnmente se conecta una resistencia al final del bus.

UNICAST: Es el envío de información desde un único emisor a un único receptor.

UTP: Unshielded Twisted Pair, Par Trenzado sin Blindaje.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] A. R. Penin, *Sistemas SCADA*, BARCELONA ESPAÑA: MARCOMBO, ALFAOMEGA, 2007.
- [2] V. V. B. Haykin Simon, «Introducción, ¿Qué es un sistema?,» de *Sistemas y Señales*, México, LIMUSA WILEY, 2001, pp. 2-6.
- [3] W. TOMASI, «Comunicaciones Digitales,» de *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, México, PEARSON EDUCACIÓN, 2003, pp. 467,468.
- [4] A. J. M. F. S. C. A. Q. J. I. P. L. S. Mandado Pérez Enrique, «Comunicaciones Industriales,» de *Autómatas Programables*, Madrid ESPAÑA, International Thomson Editores Spain Paraninfo, 2006, pp. 409, 410.
- [5] L. Y. R. M. L. Guerrero Vicente, «Las Comunicaciones Industriales,» de *Comunicaciones Industriales*, México, Alfaomega, 2010, pp. 7-10.
- [6] H. C. E. VICTORINO, 2007. [En línea]. Available: <http://132.248.9.195/pd2008/0625207/Index.html>. [Último acceso: 22 04 2016].
- [7] C. R. Lucas, «Diseño de redes: Modelos de referencia,» de *Introducción a Redes y Servicios.*, España, Universidad de Alcalá, Servicio de Publicaciones., 2010, pp. 14,15.
- [8] J. J. L. R. Balcells, *AUTÓMATAS POGRAMABLES*, BARCELONA ESPAÑA: MARCOMBO, 1997.
- [9] W. Stallings, «OSI, EL MODELO,» de *COMUNICACIONES Y REDES DE COMPUTADORES*, Madrid, PEARSON EDUCATION, 2004, pp. 29-39.
- [10] S. G. ORTEGA, «oreon.dgbiblio.unam.mx,» [En línea]. Available: http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/JTQFYH1EV55FUJPC5G52TCY2E38FD9MAR44E3H7Q3FKLI617YN-05644?func=find-acc&acc_sequence=002092064. [Último acceso: 21 04 2016].
- [11] T. S. COMPANY, «www.siemon.com,» [En línea]. Available: https://www.siemon.com/la/white_papers/03-10-13-ethernet-ip.asp. [Último acceso: 11 05 2016].
- [12] ODVA, «ODVA,» FEBRERO 2016. [En línea]. Available: https://www.odva.org/Portals/0/Library/Publications_Numbered/PUB00123R1_Common-Industrial_Protocol_and_Family_of_CIP_Networks.pdf. [Último acceso: 02 05 2016].

- [13] K. D. P. K. ALVAREZ, «cybertesis.uach.cl,» 2008. [En línea]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcik.13e/sources/bmfcik.13e.pdf>. [Último acceso: 26 04 2016].
- [14] J. M. M. Jorquera, «cybertesis.uach.cl,» 2007. [En línea]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim971e/doc/bmfcim971e.pdf>. [Último acceso: 26 04 2016].
- [15] V. Schiffer, «www.odva.org,» FEBRERO 2016. [En línea]. Available: https://www.odva.org/Portals/0/Library/Publications_Numbered/PUB00123R1_Common-Industrial_Protocol_and_Family_of_CIP_Networks.pdf. [Último acceso: 02 MAYO 2016].
- [16] A. F. GASCA, «132.248.9.195,» 10 2007. [En línea]. Available: <http://132.248.9.195/pd2008/0624226/Index.html>. [Último acceso: 22 04 2016].
- [17] O. R. M. R. T. DANIEL ENRIQUE PONCE MEJÍA, «itzamna.bnct.ipn.mx,» 15 01 2013. [En línea]. Available: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12178/integracionredes.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 26 04 2016].
- [18] L. Y. R. M. L. Guerrero Vicente, Comunicaciones Industriales, México: Alfaomega, 2010, pp. 7-10.
- [19] ODVA, «www.iis-servo.com,» 2008. [En línea]. Available: http://www.iis-servo.com/pdf/odva_brochure.pdf. [Último acceso: 02 05 2016].
- [20] ODVA, «odva.org,» 03 2016. [En línea]. Available: https://www.odva.org/Portals/0/Library/Publications_Numbered/PUB00122R2_CIP-Brochure.pdf. [Último acceso: 02 05 2016].
- [21] E. C. HAMMER, «EATON TECHNOLOGY,» [En línea]. Available: www.eatonuniversity.com. [Último acceso: 06 05 2016].
- [22] E. Y. A. OCHOA, «159.90.80.55,» 01 2010. [En línea]. Available: <http://159.90.80.55/tesis/000147748.pdf>. [Último acceso: 29 04 2016].
- [23] L. M. G. A. CALVACHE BONIFAZ EDISON ANTONIO, «repositorio.espe.edu.ec,» 2009. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/258/6/T-ESPE-026209.pdf>. [Último acceso: 26 04 2016].
- [24] ELECTROINDUSTRIA, «www.emb.cl,» 2004. [En línea]. Available: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=89>. [Último acceso: 21 04 2016].
- [25] C. M. C. ANTONIO, «jupiter.utm.mx,» 04 2005. [En línea]. Available:

- http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/9567.pdf. [Último acceso: 28 04 2016].
- [26] H. C. E. VICTORINO, 2007. [En línea]. Available: <http://132.248.9.195/pd2008/0625207/Index.html>. [Último acceso: 22 04 2016].
- [27] R. AUTOMATION, «infopl.net,» [En línea]. Available: www.infopl.net/files/descargas/rockwell/infoPLC_net_AllenBradley_Netlinx.pdf. [Último acceso: 21 04 2016].
- [28] R. F. M. A. HERNANDEZ ORTIZ LUIS ANTONIO, «tesis.ipn.mx,» 07 06 2012. [En línea]. Available: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12971/Rehabilitaci%C3%B3n%20del%20Sistema%20de%20Automatizaci%C3%B3n.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 06 05 2016].
- [29] WEG, «ecatalog.weg.net,» 2008. [En línea]. Available: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-ssw08-manual-de-comunicacion-devicenet-10000046974-manual-espanol.pdf>. [Último acceso: 06 05 2016].
- [30] J. M. M. JORQUERA, «cybertesis.uach.cl,» 2007. [En línea]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcim971e/doc/bmfcim971e.pdf>. [Último acceso: 26 04 2016].
- [31] R. S. Á. S. R. E. RAMIREZ SIERRA JESÚS DAMIÁN, «tesis.ipn.mx,» 6 2014. [En línea]. Available: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/13288>. [Último acceso: 26 04 2016].
- [32] ODVA, «www.odva.org,» 2003. [En línea]. Available: <https://www.odva.org/Publication-Download>. [Último acceso: 22 04 2016].
- [33] N. N. J. C. C. P. L. A. Campués Valladares Wilson Rodolfo, «www.researchgate.net,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Juan_Nacimba/publication/48227730_Diseo_e_implementacin_de_un_mdulo_didctico_para_una_red_DeviceNet/links/00b495235c355927cd000000.pdf. [Último acceso: 23 09 2016].
- [34] D. d. c. TUNNING, «elj0na.files.wordpress.com,» [En línea]. Available: <https://elj0na.files.wordpress.com/2011/10/curso-redes-control-device-net.pdf>. [Último acceso: 22 04 2016].
- [35] A. O. E. YARIN, 01 2010. [En línea]. Available: <http://159.90.80.55/tesis/000147748.pdf>. [Último acceso: 29 04 2016].
- [36] C. F. O. GULLERMO, «cib.espol.edu.ec,» 2010. [En línea]. Available: http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-90406.pdf. [Último acceso: 28

04 2016].

- [37] S. O. DANIEL, 2006. [En línea]. Available: <http://132.248.9.195/pd2007/0611081/Index.html>. [Último acceso: 22 04 2016].
- [38] G. O. SUSANA, «oreon.dgbiblio.unam.mx,» [En línea]. Available: http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/JTQFYH1EV55FUJPC5G52TCY2E38FD9MAR44E3H7Q3FKLI617YN-05644?func=find-acc&acc_sequence=002092064. [Último acceso: 21 04 2016].
- [39] A. Z. D. R. ERAS HERRERA WENDY YADIRA, «repositorio.espe.edu.ec,» 2010. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/171/6/T-ESPE-027399.pdf>. [Último acceso: 28 04 2016].
- [40] R. B. W. ANTONIO, «repositorio.espe.edu.ec,» 2009. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/482/1/T-ESPE-026669.pdf>. [Último acceso: 26 04 2016].
- [41] G. G. CASTILLO, «mixteco.utm.mx,» [En línea]. Available: <http://mixteco.utm.mx/~resdi/historial/materias/IPv4.pdf>. [Último acceso: 19 05 2016].
- [42] R. A. ALLEN-BRADLEY, «[rockwellautomation.com](http://www.rockwellautomation.com),» 07 2011. [En línea]. Available: <http://www.rockwellautomation.com/literature/>. [Último acceso: 16 10 2016].
- [43] P. P. L. E. MORALES SMEKE JONATHAN ALEJANDRO, «ri.uaq.mx/bitstream,» 02 2012. [En línea]. Available: <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1449/1/RI001002.pdf>. [Último acceso: 28 04 2016].