Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Electricidad y Electrónica

ESTUDIO DE APLICACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DEVICENET Y CONTROLNET DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES COMO SOLUCIÓN DE RED DE CAMPO Y PROCESO EN UNA PLANTA INDUSTRIAL

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero en Electrónica

PROFESOR PATROCINANTE:
Sr. Cipriano Burgos Valdés
Ingeniero en Electrónica

Juan Maximiliano Muñoz Jorquera
Valdivia, 2007

Profesor Patrocinante

Ing. Cipriano Burgos Valdés _____

Profesores Informantes

Ing. Pedro Rey Clericus _____

Ing. Julio Zarecht Ortega _____

Fecha Examen de Titulación

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis queridos padres Juan Carlos y María Soledad, que con su esfuerzo, dedicación y preocupación, siempre me dieron el aliento necesario para superar difíciles obstáculos. ¡Muchas gracias, padres!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Creador por la bendición de ver terminado un ciclo importante en mi vida.

Agradezco a mis queridos hermanos Sebastián, Soledad y Constanza por su apoyo incondicional, y, en el recuerdo, siempre presente de mi hermano Diego, también le agradezco el cariño y apoyo que me supo entregar.

Agradezco a Katherine por la ayuda y apoyo en momentos difíciles y por el ánimo que me entregó para terminar este trabajo de titulación.

Agradezco el apoyo dado por mis profesores, patrocinante e informantes en cuanto a que orientaron mis dudas y me dieron confianza en relación con el presente trabajo.

Por último, agradezco a todos quienes de alguna forma, directa o indirectamente me apoyaron o sencillamente me dieron de su amistad, en el transcurso de estos años de estudios.

INDICE

RESUMEN XII
ABSTRACT XIII
INTRODUCCIÓN XIV

PARTE I
EL MODELO CIM Y REDES DE CAMPO

Capítulo I: El modelo CIM y jerarquía de redes en la industria 002
1.1 Introducción 002
1.2 Modelo de Automatización CIM 002
1.2.1 Objetivos de CIM 002
1.2.2 Concepto de CIM 003
1.3 Arquitecturas de comunicación basadas en CIM 005
1.3.1 Arquitectura NetLinx 006
1.3.2 Arquitectura SINEC 007
1.4 Jerarquía de redes de comunicación según el modelo CIM 008
1.4.1 Redes de Información 009
1.4.2 Redes de campo 009

Capítulo II: Conceptos sobre las Redes de Campo 011
2.1 Introducción 011
2.2 ¿Redes de Campo o "Buses de Campo"? 011
2.2.1 Características de las redes de campo 013
2.2.2 Modelo ISO/OSI y buses de campo 017
2.2.3 Buses de Campo Existentes 019
2.2.4 Estandarización de buses de campo 022
2.3 Comparaciones de buses de campo 023
2.3.1 Comparación de características generales 023
2.3.2 Comparación de características físicas 024
2.3.3 Comparación de características de protocolo 025

PARTE II
EL PROTOCOLO INDUSTRIAL COMÚN CIP

Capítulo III: El protocolo industrial común CIP y las redes de campo DeviceNet y ControlNet 028
3.1 Introducción 028
3.2 El problema de la integración de las redes en la industria 028
3.3 El Protocolo CIP 029
3.4 Arquitectura NetLinx 030
3.5 Organización de las Especificaciones de las Redes CIP 032
3.5.1 Estandarización Internacional 033
3.5.2 Mantenimiento y desarrollo adicional de las especificaciones 034

Capítulo IV: Descripción del Protocolo Industrial Común CIP 036
4.1 Introducción 036
4.2 Términos generales utilizados por CIP 036
4.3 Modelado de Objetos 039
4.4 Servicios 044
4.5 Protocolo de mensajería 044
4.5.1 Tipos de Conexiones de Mensajería CIP 046
4.6 Objetos de comunicación 047
4.7 Librería de Objetos de las redes CIP 049
4.7.1 Conjunto mínimo de objetos requeridos en un dispositivo 051
4.8 Descripción de objetos CIP 053
4.8.1 Identity Object 053
4.8.2 Parameter Object 056
4.8.3 Assembly Object 058
4.9 Perfiles del dispositivo 060
4.10 Configuración de dispositivo y los Electronic Data Sheets 062
4.10.1 Métodos de Configuración 062
4.10.2 Descripción del EDS 063
4.11 Data Managment 065
4.11.1 Logical Segments 066
4.11.2 Data Types 067
4.12 Bridging y Ruteo de mensajes CIP 068

PARTE III
LA RED DE CAMPO DEVICENET

Capítulo V: Aspectos generales del Estándar de Comunicación Industrial DeviceNet 070
5.1 Introducción 070
5.2 Antecedentes Generales 070

5.3 DeviceNet en el contexto de las estandarizaciones 070
5.3.1 ISO 11898 071
5.3.2 IEC-62026-3 072
5.3.3 IEC 61158 072
5.4 DeviceNet en del contexto de la familia CIP 073
5.5 Características generales de la red DeviceNet 074
5.5.1 Posicionamiento 074
5.5.2 Características de funcionamiento 075
5.6 Test de Conformidad 076
5.6.1 Prueba de Software 077
5.6.2 Prueba de Hardware 077
5.6.3 Prueba de Interoperabilidad del Sistema 077
5.7 Herramientas para la Red DeviceNet 078
5.7.1 Herramientas para la Capa Física 078
5.7.2 Herramientas de Configuración 079
5.7.3 Herramientas de Monitoreo 079

Capítulo VI: Arquitectura de Red del Bus de Campo DeviceNet 080
6.1 Introducción 080
6.2 La capa física de la red DeviceNet 081
6.2.1 Topología 081
6.2.2 Interdependencia de la velocidad y la longitud de la red 081
6.2.3 Niveles del Bus 082
6.2.4 Resistencia de Término 084
6.2.5 Codificación de Bit 085
6.2.6 Bit-Timing y Sincronización 086
6.2.7 Especificaciones del medio físico 087
6.3 La capa de enlace de la red DeviceNet 101
6.3.1 Método de Acceso al Medio 101
6.3.2 Arbitraje del bus 101
6.3.3 Definición del Transmisor/Receptor 103
6.3.4 Formato de la Trama CAN para DeviceNet 103
6.3.5 Codificación 110
6.3.6 Validación de Mensaje 111
6.4 Las capas de red y transporte de la red DeviceNet 112
6.4.1 Utilización del CAN Identifier (CAN-ID) 112
6.4.2 Los Grupos de Mensajes DeviceNet 113
6.4.3 Establecimiento de la Conexión 115
6.4.4 El Predefined Master/Slave Connection Set 116
6.4.5 Conexiones I/O del Predefined Master/Slave Connection Set 121
6.4.6 Secuencia típica de comienzo Master/Slave 126
6.5 Las capas superiores de la red DeviceNet y CIP 128
6.5.1 Modelo de Objeto para DeviceNet 128
6.5.2 Objeto adicional específico de red DeviceNet-Object 129

6.5.3 Perfil de dispositivo 130
6.5.4 Configuración 131

Capítulo VII: Dispositivos para la red DeviceNet 132
7.1 Introducción 132
7.2 Clasificación de los componentes 132
7.3 Plataforma de control 133
7.3.1 Plataforma ControlLogix 135
7.4 Medio 138
7.4.1 Configuración Típica de red DeviceNet con medio Round-Thick 139
7.4.2 Configuración Típica de red DeviceNet con medio Round-Thin 140
7.4.3 Configuración Típica de red DeviceNet con medio Plano-KwikLink 141
7.5 Sensores DeviceNet 142
7.6 Herramientas de Software 144
7.6.1 Architecture Builder 144
7.6.2 RSLogix5000 145
7.7 RSNetworx para DeviceNet 147
7.8 RSLinx 149
7.9 Interfaces para PC 151
7.10 Dispositivo de Entrada/Salida o I/O Device 152
7.11 Fuente de Poder 155
7.12 Interfaz de Operador 156
7.13 Partidores y protección de Motores 158
7.14 Drives 159
7.15 Motion Control 160
7.16 Dispositivos de Enlace 161
7.16.1 Dispositivo de enlace DeviceNet a ControlNet 161
7.16.2 Dispositivo de enlace DeviceNet a EtherNet/IP 163

PARTE IV
LA RED DE CAMPO CONTROLNET

Capítulo VIII: Aspectos generales del Estándar de Comunicación Industrial ControlNet 165
8.1 Introducción 165
8.2 Antecedentes Generales 165
8.3 Estandarización ControlNet 165
8.3.1 ControlNet dentro del contexto de la familia CIP 166
8.4 Características de ControlNet 167
8.4.1 Posicionamiento 167
8.4.2 Características Físicas 168
8.4.3 Características de comunicación 169
8.5 Test de Conformidad 170

Capítulo IX: Arquitectura de Red del Bus de Campo ControlNet 171
9.1 Introducción 171
9.2 La Capa Física ControlNet 172
9.2.1 Topología 172
9.2.2 Interdependencia de la longitud de la red y el número de taps 173
9.2.3 Otras topologías 174
9.2.4 Características de la señal ControlNet 175
9.2.5 Medio Físico 176
9.2.6 Características especiales 183
9.3 La Capa de Enlace ControlNet 184
9.3.1 Método de Acceso al Medio 184
9.3.2 Formato de los Paquetes ControlNet 189
9.4 Las Capas de Red y Transporte ControlNet 194
9.4.1 Conexiones 194
9.4.2 Establecimiento de una Conexión 194
9.4.3 El Modelo Productor/Consumidor en ControlNet 199
9.4.4 Tipos de Conexión Productor/Consumidor 200
9.4.5 Servicios de Transporte 202
9.4.6 Tipos de Conexión de Transporte 205
9.5 Las Capas de Aplicación ControlNet y CIP 209
9.5.1 Modelo de Objetos para ControlNet 209
9.5.2 Objetos adicionales ControlNet 210
9.5.3 Perfil de Dispositivo 212
9.5.4 Configuración 212

Capítulo X: Dispositivos para la Red ControlNet 213
10.1 Introducción 213
10.2 Clasificación de los componentes 213
10.3 Plataforma de Control 215
10.3.1 Interconexión con redes CIP 216
10.4 Medio 217
10.4.1 Medios especiales 218
10.5 Herramientas de Software 219
10.6 Interfaz para PC 220
10.7 Dispositivos de entrada/salida (I/O Device) 221
10.8 Interfaz de Operador 222
10.9 Drives 222
10.10 Repetidor ControlNet 223
10.11 Dispositivo de Enlace 224

PARTE V
CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y APLICACIÓN PARA LAS REDES DE CAMPO DEVICENET Y CONTROLNET

Capítulo XI: Criterios para la selección de las Redes de Campo DeviceNet y ControlNet 227
11.1 Introducción 227
11.2 Posicionamiento de la red y los criterios de selección 227
11.3 Criterios de selección de una red industrial 228
11.3.1 Capacidad de la red 229
11.3.2 Eficiencia de la red 229
11.3.3 Proyección de la red 230
11.4 Criterios para la selección de la red DeviceNet 231
11.4.1 ¿Para qué tipo de aplicaciones es recomendable DeviceNet? 231
11.4.2 ¿Cómo responde DeviceNet a los 3 criterios generales de selección de una red? 232
11.5 Criterios para la selección de la red ControlNet 234
11.5.1 ¿Para qué tipo de aplicaciones es recomendable ControlNet? 234
11.5.2 ¿Cómo responde ControlNet a los 3 criterios generales de selección de una red? 235

Capítulo XII: Consideraciones de Diseño para Redes DeviceNet 237
12.1 Introducción 237
12.2 Etapas de un proyecto de red DeviceNet 237
12.3 Selección de la arquitectura de control 239
12.4 Selección de la estrategia de comunicación 240
12.4.1 Métodos de comunicación Bit-Strobe y Poll 240
12.4.2 Método de comunicación Cíclica 240
12.4.3 Método de comunicación Cambio de Estado (COS) 241
12.5 Selección de los dispositivos 241
12.5.1 Selección del controlador 242
12.5.2 Selección dispositivos servidores y módulos de entrada/salida 243
12.5.3 Software de Configuración 243
12.6 Diseño del Sistema de Cableado 244
12.6.1 Identificar los componentes del medio físico de la red 244
12.6.2 Topología 245
12.6.3 Determinar el medio físico 245
12.6.4 Determinar la longitud de la red y la tasa de transmisión 246
12.7 Diseño del sistema de energización 252
12.7.1 Objetivos del diseño del sistema de energización 252
12.7.2 Consideraciones de diseño 252
12.7.3 Consideraciones sobre la conducción de corriente del medio 255
12.7.4 Determinar los requerimientos de energía 256

12.7.5 Métodos para la determinación de los requerimientos de energía 257
12.8 Diseño de la puesta a tierra 268
12.8.1 Consideraciones generales 268
12.8.2 Puesta a tierra de red con medios Round-Thick y Round-Thin 269
12.8.3 Puesta a tierra de red con medio plano Kwiklink 271
12.8.4 Recomendaciones de puesta a tierra para sistema de Automatización 272
12.9 Montaje 273
12.10 Configuración de la red 273
12.11 Pruebas y diagnóstico de fallas 274
12.11.1 Fallas típicas de la red DeviceNet 274

Capítulo XIII: Consideraciones de Diseño para Redes ControlNet 275
13.1 Introducción 275
13.2 Etapas para un proyecto ControlNet 275
13.3 Selección de la arquitectura de control 277
13.4 Determinación estrategia de comunicación 278
13.5 Selección de los dispositivos 278
13.5.1 Selección del controlador 279
13.5.2 Dispositivos servidores y módulos de entrada/salida 279
13.5.3 Software de Configuración 279
13.6 Diseño del sistema de cableado 280
13.6.1 Topología 280
13.6.2 Longitud de segmento y número de taps 280
13.6.3 Uso de repetidores 281
13.6.4 Uso del medio de fibra óptica 282
13.7 Montaje 283
13.8 Configuración de la red 284
13.8.1 Configuración del controlador de la red ControlNet 284
13.8.2 Configuración de los parámetros de red ControlNet 285
13.9 Pruebas y diagnóstico de fallas 287
13.9.1 Principales causas de fallas en la red 287

Capítulo XIV: Comentarios sobre aplicación real de las Redes DeviceNet y ControlNet 288
14.1 Introducción 288
14.2 Áreas Involucradas en una aplicación industrial con buses de campo 288
14.2.1 Preguntas que debe responder el área de Comunicación Industria 291
14.3 Problema de aplicación 292
14.3.1 Solución basada en la arquitectura NetLinx 292
14.3.2 Descripción de las funciones de las redes en la aplicación 294
14.3.3 Dispositivos conectados a las redes 295
14.4 Posibilidades de comunicación de los dispositivos de control conectados a la red DeviceNet 300
14.4.1 DeviceNet Starter Auxiliary (DSA) Allen-Bradley 300
14.4.2 Overload Relay E3 Solid State Allen-Bradley 306

14.4.3 Variador de Frecuencia Power Flex 40 Allen-Bradley 313
14.4.4 Partidor Suave SMC-Flex Allen-Bradley 320
14.4.5 Drive DC 590+ Eurotherm 326
14.4.6 Variador de Frecuencia 385 Vacon 332
14.5 Observaciones sobre la mensajería explícita 336
14.5.1 Ejemplo de direccionamiento explícito 337
14.6 Posibilidades de comunicación de los dispositivos de control conectados a la red ControlNet 338
14.6.1 Recolección de los datos del campo 338
14.6.2 Adaptador de comunicación ControlNet 342
14.7 Costo de los dispositivos de la aplicación 344

Conclusiones 346

Bibliografía 349

Anexos 352

Glosario 383

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se estudian las redes de comunicación para aplicaciones industriales DeviceNet y ControlNet. Estas redes, también llamadas buses de campo, son de reciente desarrollo y, compiten además con una amplia variedad de otros buses de campo. Por ello, este trabajo tiene como principal objetivo establecer los principios de funcionamiento y entregar criterios de diseño y de aplicación para los buses de campo DeviceNet y ControlNet.

En primer lugar, para establecer los principios de funcionamiento, se recopilaron, estudiaron y analizaron las publicaciones técnicas provistas por los desarrolladores y administradores de las tecnologías, así como, literatura especializada de las áreas de automatización y comunicaciones; se ordenó cada red desde el punto de vista de la estandarización internacional, y, se estructuró el estudio de cada red de acuerdo con su arquitectura de red según el modelo ISO/OSI.

En segundo lugar, para entregar los criterios de diseño y de aplicación, se analizaron las recomendaciones técnicas de uso de las redes de comunicación DeviceNet y ControlNet, provistas por los desarrolladores de la tecnología, así como de otros fabricantes de equipos; se asistió a charlas y seminarios sobre DeviceNet y ControlNet, en donde se aportó información acerca de sus aplicaciones y se realizó un laboratorio práctico de configuración de una red elemental DeviceNet y otra ControlNet, y; se obtuvo información valiosa de conversaciones con profesionales del área de automatización en relación a un problema de aplicación real. Con esto, se estructuró un perfil de criterios para el diseño y aplicación de las redes DeviceNet y ControlNet como solución de automatización.

ABSTRACT

This present research contains a study about networks for industrial application such as DeviceNet and ControlNet. These networks are also called "*fieldbus*", they are new and they compete with an extensive variety of others fieldbus. For that reason this research has as a main objective to establish the principles of its function, to give criterions of designs and applications for fieldbus DeviceNet and ControlNet.

In the first place, to establish the principles of its function, there were recompilation, studies and analysis from some technique publications given by the creators and administrators of the technologies, such as specialized literature of the area of industrial automation and communication. Each network was ordered according its international standardization and the study of each network was classified according with the architecture of the nets according to the model of ISO/OSI.

In the second place, to give the criterions of designs and applications, there were analysis about techniques recommendations of the uses of the nets DeviceNet and ControlNet given by the manufacturer. Also the information was taken from some conferences and seminaries about applications for DeviceNet and ControlNet and also from practical laboratory work about a configuration of an elemental network DeviceNet and another elemental network ControlNet. There were meetings with professionals of the area of the automation in where valuable information was given, information about real application problem. With that, a profile about criterions of designs and applications for DeviceNet and ControlNet was done as solution of automation.

INTRODUCCIÓN

Los buses de campo, o *fieldbus* en inglés, son una tecnología de redes de comunicación orientada a dar soluciones en el ámbito de la industria en aplicaciones de automatización industrial. De ahí, que en algunas publicaciones sean llamadas redes de comunicación industrial. Esta tecnología es de reciente y rápido desarrollo; aparece a mediados de la década de los ochenta del siglo XX como una solución para aplicaciones de control en automóviles, la que, debido a sus prestaciones, es rápidamente llevada para aplicaciones en la industria. De esta manera, en la actualidad existe una amplia variedad de buses de campo, cada cual con sus propias prestaciones y limitaciones. Incluso el término buses de campo, debido a las actuales prestaciones de esta tecnología, resulta impreciso, pues es más preciso hablar de *red de campo* (ver capítulo II).

Justificación y objetivos

La proliferación de buses de campo en la actualidad presenta como problema la correcta elección de uno de ellos para una determinada aplicación. Por otra parte, ya no es posible pensar en soluciones de automatización industrial sin la incorporación de comunicación, pues hoy día se busca la integración total de la factoría, desde los niveles más bajos, como lo son los de sensor/actuador, hacia los niveles más altos, como el de empresa, del modelo *CIM*, o *Computer Intregrated Manufacturing* (ver capítulos I y II). Por lo anterior, se hace necesario establecer criterios para la selección, diseño y aplicación para cada bus de campo.

En este trabajo se estudian en particular dos buses de campo, o redes de campo: DeviceNet y ControlNet. Estas redes de comunicación, están posicionándose fuertemente en la industria nacional, por lo cual resulta importante conocer las prestaciones, limitaciones y aplicaciones de estas redes. Por lo tanto, el objetivo principal de esta tesis es establecer los principios de funcionamiento y entregar criterios de diseño y de aplicación para los buses de campo DeviceNet y ControlNet.

Estructura de la tesis

La tesis se estructura en 5 partes, las cuales son divididas en capítulos:

La **Parte I**, compuesta por los capítulos I y II, sirve para sentar una base al estudio de las redes de campo DeviceNet y ControlNet al presentar los conceptos de modelo CIM (Computer Intregrated Manufacturing) y de redes de campo (buses de campo). En el **capítulo I** se establecen los principales conceptos relacionados al modelo CIM y de cómo se jerarquizan las redes de comunicación en la empresa de acuerdo a este modelo. Por otra parte, el **capítulo II**, analiza las principales características de las redes de campo en general.

La **Parte II**, compuesta por los capítulos III y IV, está dedicada al estudio del Protocolo Industrial Común, CIP (Common Industrial Protocol), el cual es implementado por las redes de campo DeviceNet y ControlNet. Así, el **capítulo III** está dedicado a presentar el protocolo CIP y la relación que existe entre éste y las redes de campo DeviceNet y ControlNet. Por otra parte, el **capítulo IV**, entrega una descripción del protocolo CIP y del concepto de *modelo de objetos*.

La **Parte III**, que se compone de los capítulos V, VI y VII, está dedicada a analizar la red de campo *DeviceNet*. El **capítulo V**, presenta la red de comunicación DeviceNet en el contexto de la estandarización internacional, así como, en el contexto de las redes de campo que implementan CIP, y entrega algunas de sus principales características. En el **capítulo VI** se analiza la arquitectura de red de comunicación de DeviceNet de acuerdo con el modelo de referencia ISO/OSI. El **capítulo VI**, último de esta parte, presenta diferentes equipos que se pueden conectar a la red de campo DeviceNet.

La **Parte IV**, la cual está compuesta de los capítulos VIII, IX y X, está dedicada a analizar la red de campo *ControlNet* (siguiendo el mismo criterio que la *Parte III* para *DeviceNet*). El **capítulo VIII**, presenta la red de comunicación ControlNet en el contexto de la estandarización internacional, así como, en el contexto de las redes de campo que implementan CIP y, entrega también algunas de sus principales características. En el **capítulo IX** se analiza la arquitectura de red de comunicación de ControlNet de acuerdo con el modelo de referencia OSI. El **capítulo X**,

último de esta parte, presenta diferentes equipos que se pueden conectar a la red de campo ControlNet.

La **Parte V** se compone de los capítulos XI, XII, XIII y XIV, y está dedicada a entregar criterios de selección, diseño y aplicación de las redes de campo DeviceNet y ControlNet. El **capítulo XI**, entrega una serie de criterios destinados a orientar la decisión en cuento a qué red de campo se debe utilizar, centrándose cuanto a los criterios de selección de las redes DeviceNet y ControlNet. El **capítulo XII**, entrega una serie de criterios para el diseño de una aplicación con la red de campo DeviceNet. Por otra parte, el **capítulo XIII**, entrega una serie de criterios para el diseño de una aplicación con la red de campo ControlNet. Por último, el **capítulo XIV**, plantea una serie consideraciones respecto de una aplicación real.

Contribuciones

- Se presenta la red de campo DeviceNet en función de su estandarización internacional.
- Se presenta la red de campo DeviceNet en función de su arquitectura de red de comunicación en conformidad al modelo ISO/OSI.
- Se presenta la red de campo ControlNet en función de su estandarización internacional.
- Se presenta la red de campo ControlNet en función de su arquitectura de red de comunicación en conformidad al modelo ISO/OSI.
- Se plantean criterios para la selección de las redes de campo DeviceNet y ControlNet.
- Se plantean criterios de diseño para la red de campo DeviceNet
- Se plantean criterios de diseño para la red de campo ControlNet
- Se entrega una visión, desde el punto de vista del área de comunicaciones industriales, sobre los aspectos a considerar en una aplicación práctica con las redes de campo DeviceNet y ControlNet.

PARTE I
MODELO CIM Y REDES DE CAMPO

PARTE II
EL PROTOCOLO INDUSTRIAL COMÚN CIP

PARTE III
RED DE CAMPO DEVICENET

PARTE IV
RED DE CAMPO CONTROLNET

PARTE V

CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y APLICACIÓN PARA LAS REDES DE CAMPO DEVICENET Y CONTROLNET

CONCLUSIONES

No se recomienda que en nuevos proyectos de sistemas de automatización industrial, no se incorporen capacidades de comunicación industrial. Todo sistema nuevo *debe* poseer capacidades de comunicación de red de campo, lo que previene las "islas de automatización" en la planta.

Para obtener una *verdadera integración* de la empresa de acuerdo al modelo CIM, es decir, en *todos los niveles jerárquicos* de la factoría, es necesario la implementación de redes de comunicación *estandarizadas* internacionalmente de forma que se garantice la interconexión de los distintos niveles. En cuanto a los niveles inferiores del modelo CIM, las redes de campo deben ser estándar y apoyadas por fabricantes internacionales.

El protocolo CIP entrega *flexibilidad* para diferentes tecnologías de redes de campo al entregarles una *capa de aplicación común*, en conformidad con el modelo ISO/OSI. De esta manera, diferentes redes de campo, cada cual con sus propias características, *deben implementar solo las capas más bajas* del modelo ISO/OSI, es decir, capas física, de enlace y de red y transporte. Así, las redes de campo DeviceNet y ControlNet, poseen sus propias definiciones para las capas más bajas, pero, comparten las definiciones de sus capas de aplicación a través de la implementación de CIP. Esta situación trae como ventaja la capacidad de interconexión entre las redes que implementan CIP ("redes CIP"), pues, un mensaje que es producido desde una red, puede ser consumido por otra en forma transparente, solo debiéndose convertir el protocolo al nivel de las capas más bajas. De esta forma, las redes DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP se valen de esta característica para integrar los distintos niveles de comunicación CIM. La solución de integración de comunicación total a través de estas redes CIP, es la denominada *NetLinx*, de Rockwell-Automation.

Las redes de campo DeviceNet y ControlNet son de *estándar abierto*. Sin embargo, las potencialidades que ofrece una *red abierta* no han sido explotadas todavía. Si bien, diversos fabricantes ofrecen productos para ambas redes, Rockwell-Automation/Allen-Bradley, desarrollador de ambas tecnologías, sigue siendo el principal promotor y proveedor de equipamiento DeviceNet y ControlNet. Asimismo, sus equipos y softwares aprovechan al

máximo las capacidades que ofrecen ambas redes. Además, sus equipos son certificados por ODVA y por ControlNet International. En contraste, los demás fabricantes, que si bien suministran equipos con capacidades de comunicación DeviceNet (por ejemplo, Eurotherm y Vacon), y/o ControlNet, no aprovechan todas las capacidades de la red. De hecho, en muchos casos, no ofrecen productos con certificación de ODVA, así como, tampoco de ControlNet International. Por lo mismo, las ventajas de *estándar abierto* en relación a los costos *aún* no son significativas.

Cuando se plantea el diseño de una red DeviceNet y/o una red ControlNet, resulta conveniente dividirlo en etapas de diseño, cada una con sus propias definiciones. Sin embargo, estas etapas se relacionan de tal forma, que las decisiones *no pueden tomarse aisladamente*, pues existe una interrelación entre la etapa anterior y la subsiguiente. En este trabajo, se plantea una serie de 9 etapas de diseño para la red DeviceNet y de 7 para la red ControlNet. La red DeviceNet plantea más criterios de diseño, pues entrega la energización a dispositivos a través del mismo medio (cable) que entrega la señal. Esto implica el cálculo del sistema de energización y la puesta a tierra de la red.

Las principales fallas en un diseño de red de campo DeviceNet y ControlNet son debido a que *no se han seguido correctamente las recomendaciones* de los desarrolladores. En la red DeviceNet, factores críticos son: longitud total de la red/velocidad de transmisión, sistema de energización y puesta a tierra. En la red ControlNet, factores críticos son: longitud de la red/números de taps, topología proyectada. Por otra parte, si en el diseño de una red se han respetado las recomendaciones del desarrollador, se debe evaluar la configuración de la red.

DeviceNet encuentra una de sus aplicaciones principales en *redes de Drives* (dispositivos para el control de motores) debido a la buena inmunidad al ruido eléctrico que le entrega la representación de un bit a través de voltajes inversos, los que cancelan las perturbaciones. Por otra parte, ControlNet, encuentra sus principales aplicaciones como *red de los equipos controladores* (PLC) y como *recolectora/comando de datos de entrada/salida críticos* desde terreno, debido a su alta velocidad de transmisión.

Al plantearse una aplicación de automatización con comunicación a través de una red de campo, *se debe evaluar la solución desde dos puntos de vista*: desde el punto de vista del área de la ingeniería de *automatización* y, desde el punto de vista del área de la ingeniería de *comunicaciones* industriales. Ambas áreas deben complementarse y compartir la información necesaria, de forma que la solución para la aplicación sea la más eficiente.

El servicio de venta y post-venta limitado (a cargo de un solo distribuidor autorizado de Rockwell-Automation en Chile) y el elevado costo de las soluciones con DeviceNet y ControlNet, son las principales desventajas que presentan estas redes de campo al momento de su elección. Sin embargo, debido a sus prestaciones técnicas, aún así, son una alternativa de comunicaciones industriales que se está abriendo un espacio en la industria nacional.

Líneas de trabajo futuras

Diseño y desarrollo de un dispositivo DeviceNet experimental: En conformidad con la información entregada respecto a la capa física y de enlace de la red de campo DeviceNet, es posible plantear la posibilidad del diseño y desarrollo de un dispositivo elemental DeviceNet para objeto de experimentación. El dispositivo puede basarse en alguno de los chips disponibles en el mercado que trae incorporado el protocolo DeviceNet.

Diseño y desarrollo de un dispositivo ControlNet experimental: En conformidad con la información entregada respecto a la capa física y de enlace de la red de campo ControlNet, es posible plantear la posibilidad del diseño y desarrollo de un dispositivo elemental ControlNet para objeto de experimentación. El dispositivo puede basarse en alguno de los chips (ASIC) disponibles en el mercado que traen incorporado el protocolo ControlNet.

Diseño e implementación de un laboratorio de comunicaciones industriales: En conformidad con la información entregada respecto de diseño y aplicación de las redes de campo DeviceNet y ControlNet, es posible plantear el diseño e implementación de un laboratorio de comunicaciones industriales, basado en estas redes, en que puedan analizarse algunas de las aplicaciones prácticas a las que pueden darle solución estas tecnologías, y generalizar hacia las demás redes de campo.

BIBLIOGRAFÍA

Textos

[1] V. Schiffer, The Common Industrial Protocol (CIPTM) and the Family of CIP Networks, 1ª ed., ODVA y Rockwell-Automation, 2006.

[2] Bosh, CAN Specification Version 2.0, Bosch, 1991.

[3] ODVA, CIP Common Specification (chapter 1), volume 1, ODVA.

[4] ODVA, Devicenet Technical Overview, Open DeviceNet Vendor Association, Inc., 2004.

[5] IEC, Internationational Standard IEC 62026-3 DeviceNet (Introduction), 1ª ed., International Electrotechnical Commision, 2000.

[6] IEC, International Standard IEC 61158-1 Overview and guidance for the IEC 61158 series (Introduction), 3a ed., International Electrotechnical Commision, 2003.

[7] IEC, International Standard IEC 61158-2 Physical layer specification and service definition (Introduction), 3a ed., International Electrotechnical Commision, 2003.

[8] IEC, International Standard IEC 61158-3 Data link service definition (Introduction), 3a ed., International Electrotechnical Commision, 2003.

[9] IEC, International Standard IEC 61158-4 Data link protocol specification (Introduction), 3a ed., International Electrotechnical Commision, 2003.

[10] IEC, International Standard IEC 61158-5 Application layer service definition (Introduction), 3a ed., International Electrotechnical Commision, 2003.

[11] IEC, International Standard IEC 61158-6 Application layer protocol specification (Introduction), 3a ed., International Electrotechnical Commision, 2003.

[12] ISO, ISO/IEC 7498-1: 1994(E) Information Processing Systems - OSI Reference Model - The Basic Model, International Standards Organization, 1994.

[13] ODVA, The CIP Advantage Technology Overview Series, Open DeviceNet Vendor Association, Inc., 2006.

[14] Rockwell Automation, Power Flex/DeviceNet Adapter (20-COMM-D series B)/User Manual, 1ª ed, Rockwell Automation, 2004.

[15] Eurotherm Drives, 590+ Series DC Digital Drive/Product Manual, 1ª ed, Eurotherm Drives Limited, 2003.

[16] P. A. Laplante, PE, Ph.D., IEEE Electrical Engineering Dictionary, 1ª ed., CRC Press LLC, 2000.

[17] High Lights, Instrumentación y Control (Control de Tiempo Real), 2ª ed., HIGH LIGHTS, 2004.

[18] Rockwell Automation, Laboratorio Práctico de Introducción a ControlNet con ControlLogix Manual de Laboratorio de Capacitación, 1ª ed., Rockwell Automation Inc. 2004.

[19] Rockwell Automation, Netlinx Selection Guide, 1ª ed., Rockwell Automation Inc., 2004.

[20] Eurotherm Drives, DeviceNet communications interface/Technical Manual, 1ª ed., Eurotherm Drives Limited, 2003.

[21] Vacon, Driven By Drives, User's Manual Nx Frequency Converters, DeviceNet Option Board, 1ª ed., Vacon Drives Ltd.

[22] R. Freeman, Fundamentals of Telecommunications, 2ª ed., Willey-Interscience, 2005.

[23] R. Bliesener, F. Ebel,C. Löffler, B. Plagemann, H. Regber, e.v. terzi, A. Winter, Programmable Logic Controllers, 1ª ed., Festo didactic GmbH & co., 2002.

[24] A. Vázquez, Controladores Lógicos Programables (PLCs), 1ª ed., Electrónica y Servicio,

[25] J. Hackworth, F. Hackworth, Jr., Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications, 1ª ed., Prentice Hall.

[26] Fluid Control Systems, Tecnología de bus de Campo, 1ª ed., Burkert Fluid Control System.

[27] Rockwell-Automation, Industrial Automation Wiring and Grounding Guidelines, Rockwell International Corporation, 1998.

[28] F. Proctor, J. Michaloski, Overview of Communication Standards relating to Motion Control Systems, National Institute of Standards and Technology.

[29] Bosch, Implementation Guide for the CAN Protocol, CAN Specification 2.0 Part A, CAN in Automation.

[30] Bosch, Implementation Guide for the CAN Protocol, CAN Specification 2.0 Part B, CAN in Automation.

[31] P. Bagschik, An Introduction to CAN, I+ME ACTIA GmbH, 1998.

[32] A. Albert, W. Perth, Evaluation and Comparison of the Real-Time Performance of CAN and TTCAN, 9th international CAN Conference, iCC 2003.

[33] A. Albert, R. Strasser, A. Trächtler, Migration from CAN to TTCAN for a Distributed Control System, 9th international CAN Conference, iCC 2003.

[34] Rockwell-Automation, Introducción a DeviceNet: Manual de Laboratorio, Seminario Complete Automation On The Move, Rockwell-Automation, Inc., 2004.

[35] A. Tanembaum, Redes de Computadoras, 3ª ed. en español, Prentice-Hall, 1997.

[36] Rockwell-Automation, DeviceNet Selection Guide, Rockwell-Automation, 2001.

[37] Allen-Bradley, Product Developer's Guide, Rockwell-Automation, 1997.

[38] Allen-Bradley, ControlNet Fiber Media Planning and Installation Guide, Rockwell-Automation, 2004.

[39] Allen-Bradley, DeviceNet Media: Design and Installation Guide, Rockwell-Automation, 2004.

[40] Héctor Kaschel C., Análisis protocolar del bus de campo CAN, Congreso Ingelectra, 2004.

[41] Rockwell Automation, Netlinx: La Solución de Comunicación, Rockwell Automation Inc.

[42] Mario Pozzuoli, Industrial Ethernet – Issues and Requirements, RuggedCom Industrial Strenght Networks.

[43] J. Rinaldi, DeviceNet Unplugged, 3a ed., Real Time Automation, 2004.

Sitios de Internet

Open DeviceNet Vendor Association	www.odva.org
ControlNet International	www.controlnet.org
Rockwell-Automation	www.rockwellautomation.com
Allen-Bradley	www.ab.com
International Electrotechnical Commision	www.iec.ch
Bosch	www.semiconductors.bosch.de
International Standards Organization	www.iso.org
Real Time Automation	www.rtaautomation.com

Sitio de búsqueda en Internet Google www.google.cl (palabras claves: buses de campo, DeviceNet, ControlNet)

ANEXOS

Páginas 352–382.

GLOSARIO

Ancho de banda (en comunicaciones digitales): Cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo.

Backbone: Este término, que traducido al español significa *columna*, se utiliza para referirse a la red de comunicaciones que sirve para enlazar a otras redes de comunicación distribuidas. Por lo general, tiene una topología de línea troncal o de anillo, y desde ella se cuelgan las diferentes redes de comunicación.

Bloque de funciones: Lenguaje de programación gráfico y textual utilizado para el desarrollo de los programas de control que luego se descargan en un controlador (por ejemplo, un PLC).

Bridge: Dispositivo que permite la conexión de redes de comunicación con diferente protocolo. Es decir, el *bridge* sirve como un traductor de protocolo desde una red a otra.

Broadcast: Traducido al español como *difusión*, es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información simultáneamente a todos los nodos receptores conectados en una red (sin necesidad de reproducir la misma transmisión nodo por nodo). En esta comunicación, los nodos no discriminan los mensajes, a diferencia de la comunicación *multicast*, en la cual los nodos sí pueden aceptar o rechazar un mensaje (ver *multicast*).

Cambio de estado: o COS, del inglés Change-of.State. Mecanismo de disparo (*trigger*) para activar una comunicación (transferencia de mensaje), cuando se detecta el cambio de estado de una entrada respecto de un valor de referencia (por ejemplo, detección o no detección de presencia a través de un sensor de proximidad). En la red de campo DeviceNet es el nombre dado al mecanismo de comunicación que se basado en él.

Cíclico: Mecanismo de disparo (trigger) para activar una comunicación (transferencia de mensaje), a través de la determinación de ciclos de tiempo repetitivos. En la red de campo DeviceNet es el nombre dado al mecanismo de comunicación que se basado en él.

CIP: Sigla de Common Industrial Protocol, que se puede traducir al español como Protocolo Industrial Común. Es desarrollado especialmente para ser usado en redes de comunicación industriales, o de campo, y define lo que corresponde a la capa de aplicación según el modelo de referencia ISO/OSI, de cada red. Es administrado por ODVA y ControlNet International.

ControlNet: Es una red de comunicación digital serial de tipo determinista que entrega un transporte de alta velocidad para datos de entrada/salida de tiempo crítico y para mensajería de datos. ControlNet es desarrollada e introducida por la empresa Rockwell-Automation en 1997 como una red de comunicación abierta.

ControlNet Internacional: Es la asociación de vendedores, distribuidores y usuarios de soluciones de automatización industrial basadas en redes de campo ControlNet. También impulsa el uso del protocolo CIP en conjunto con la asociación DeviceNet.

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 período de tiempo determinado.

DeviceNet: La red de campo DeviceNet es una red comunicación industrial de tipo serial que conecta a los controladores de una red con los dispositivos de entrada y salida, o I/O. Es desarrollado por la empresa Rockwell Automation como un bus de comunicación abierto y hace su aparición en 1994.

Drive: Denominación genérica de los dispositivos utilizados para el control de motores, ya sean AC o DC. Variables comunes de control: velocidad, torque y sentido de giro.

EtherNet/IP (Industrial Protocol): Red de campo basada en TCP/IP. Implementa en sus capas de aplicación el protocolo CIP, y por tanto es parte de las familia de redes CIP, junto a DeviceNet y ControlNet.

I/O data: Se refiere a los datos de entrada/salida de una aplicación.

Ladder: Denominado lenguaje de contactos o en escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos.

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.

Mensajería Explícita: 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).

Mensajería Implícita: 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.

Modelo ISO/OSI: Modelo de interconexión de sistemas abiertos, que es la propuesta que hizo la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) para estandarizar la interconexión de sistemas abiertos. Contempla 7 niveles o capas las cuales son: Capa física, capa de enlace, capa de red, capa de transporte, capa de sesión, capa de presentación y capa de aplicación.

Multicast: Es aquella comunicación en que un nodo emisor envía un mensaje a múltiples nodos receptores. A diferencia de *broadcast*, multicast puede discriminar la recepción de un mensaje (ver *broadcast*).

NetLinx: Arquitectura de integración de comunicación de la marca Rockwell Automation y apoyada por ODVA y ControlNet International. Se compone de la redes DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP.

Nodo: Dispositivo conectado a una red y que posee una dirección.

ODVA: Sigla de Open DeviceNet Vendor Association. Es la asociación de vendedores, distribuidores y usuarios de soluciones de automatización industrial basadas en redes de campo DeviceNet. También impulsa el uso del protocolo CIP en conjunto con la asociación ControlNet International.

Paquete (Packet): El término datagrama es usado a veces como sinónimo. Un paquete está generalmente compuesto de tres elementos: una cabecera (header en inglés) que contiene generalmente la información necesaria para trasladar el paquete desde el emisor hasta el receptor, el área de datos (payload en inglés) que contiene los datos que se desean trasladar, y la cola (trailer en inglés), que comúnmente incluye código de detección de errores.

PLC: Sigla en inglés de Controlador Lógico Programable. Es un equipo electrónico capaz de comandar acciones de control y monitoreo en los procesos de automatización industrial.

Poll: Mecanismo de disparo (*trigger*) para activar una comunicación (transferencia de mensaje), a través de la solicitud desde un controlador, la cual la efectúa nodo a nodo (los que tengan configurada este mecanismo de comunicación). En la red de campo DeviceNet es el nombre dado al mecanismo de comunicación que se basado en él.

Programación orientada a objetos: Es una técnica de la ingeniería informática para el desarrollo de programas. La Programación Orientada a Objetos (POO u OOP según sus siglas en inglés) es un paradigma de programación que define los programas en términos de "clases de objetos", objetos que son entidades que combinan estado (es decir, datos), comportamiento (esto es, procedimientos o métodos) e identidad (propiedad del objeto que lo diferencia del resto). La programación orientada a objetos expresa un programa como un conjunto de estos objetos, que colaboran entre ellos para realizar tareas. Esto permite hacer los programas y módulos más fáciles de escribir, mantener y reutilizar. De esta forma, un objeto contiene toda la información, (los denominados atributos) que permite definirlo e identificarlo frente a otros objetos pertenecientes a otras clases (e incluso entre objetos de una misma clase, al poder tener valores bien diferenciados en sus atributos). A su vez, dispone de mecanismos de interacción (los llamados métodos) que favorecen la comunicación entre objetos (de una misma clase o de distintas), y en

consecuencia, el cambio de estado en los propios objetos. Esta característica lleva a tratarlos como unidades indivisibles, en las que no se separan (ni deben separarse) información (datos) y procesamiento (métodos).

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).

Routers: En español, *enrutador* o *encaminador*. Dispositivo de hardware para interconexión de redes de las computadoras que opera en la capa tres (nivel de red)

RPI: Sigla en inglés Intervalo entre Paquetes Solicitados. Es utilizado en ControlNet y determina la velocidad a la que el usuario solicita que los datos se muevan desde el controlador hacia un módulo I/O o viceversa. Los datos sólo se pueden transferir en múltiplos binarios (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128) multiplicados por el NUT.

SINEC: Arquitectura de integración de comunicaciones en la industria desarrollada por Siemens.

Strobe: Mecanismo de comunicación La Conexión I/O Bit-Strobe es un tipo de conexión Multicast

Tap: Punto de conexión de una red de comunicación.

Trama (*frame*): 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 (*disparo*): Mecanismo de disparo para activar algún tipo de comunicación.

Unicast (punto a punto): Es un envío de información desde un único emisor a un único receptor.