

Redes industriales

Julio César Caicedo-Eraso^a, Diana Rocío Varón-Serna^b, Félix Octavio Díaz Arango^c

^a Ph.D. Profesor Departamento de Sistemas e Informática, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

^b Ingeniera. Profesora Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

^c Magister. Profesor Departamento de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

Recibido: 02 de marzo de 2015. Aprobado: 21 de mayo de 2015.

RESUMEN

Con el avance de la tecnología aplicada a los procesos industriales se ha podido llegar a manejar gran cantidad de información mediante los diferentes tipos de redes. Las redes digitales permiten de manera rápida la administración de la información en la industria en los diferentes campos. Para monitorear, supervisar y controlar parámetros y variables. Esta evolución tecnológica ha facilitado herramientas de hardware y software necesarias para centralizar los datos obtenidos por medio de los diferentes captadores, sensores utilizados en la industria tales como: temperatura, presión, nivel, movimiento, pH, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, fuerza, torsión, humedad, desplazamiento, entre otros. Esta información es enviada por medio de un bus de campo a una sala de control donde los ingenieros y operarios se encargan de monitorear y tomar las decisiones con respecto al proceso. Estas respuestas pueden ser automáticas, si son programadas en el sistema o de forma manual dependiendo del grado de automatización. Ello simplifica enormemente la instalación, operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción evitando desperdiciar todo tipo de recursos y por consiguiente haciendo estos más eficientes y rentables.

Palabras clave: redes digitales, tecnología industrial, comunicaciones, instrumentación.

Industrial Networks

ABSTRACT

The advancement of applied technology to industrial processes has enabled the management of large amounts of information through different types of networks. Digital networks allow the quick management of information in different industry fields to monitor, supervise and control parameters and variables. This technological evolution has provided hardware and software tools necessary to centralize the data obtained by different collectors, sensors used in industry such as temperature, pressure, level, movement, pH, light intensity, distance, acceleration, tilt, force, torque, humidity, displacement, and others. This information is sent via a fieldbus to a control room where engineers and operators are responsible for monitoring and making decisions regarding the process. These responses may be automatic, if they are programmed into the system or manually depending on the degree of automation. This greatly simplifies installation, operation of machinery and equipment used in production processes to avoid wasting all kinds of resources and thereby making these more efficient and profitable.

Key words: digital networks, industrial technology, communications, instrumentation.

* Autor de correspondencia.

E-mail: julioc.caicedo@ucaldas.edu.co (J.C. Caicedo-Eraso)

Cómo citar este artículo:

Caicedo-Eraso J.C., Varón-Serna D.R., Díaz F.O. (2012). Redes industriales. *Revista Vector*, 7: 12-17. DOI:

1. Introducción

Los procesos de manufactura, para aumentar su productividad, requieren de sensores y actuadores ligados a sistemas informáticos para que estos a su vez retroalimenten las condiciones del proceso automáticamente (McFarlane, 1997). La información manejada por los instrumentos de proceso y por los sistemas de control son normalizadas por SAMA (Scientific Apparatus Makers Association), en sus inicios con señales análogas: neumáticas 3 a 15 psi y electrónicas 4 a 20 mA hasta llegar al fieldbus, que es un estándar en redes multifuncionales. Utilizándose para transmitir secuencialmente esta serie de señales, el bus que es un cable de comunicación, que ha permitido optimizar diferentes recursos en los procesos automatizados (Creus, 1998).

Para una red industrial, las comunicaciones se representan en una pirámide de cinco niveles en función de la información. Figura 1. (Rodríguez, 2007). Cada nivel puede tener uno o más subsistemas, los cuales deben poder comunicarse, no sólo con los niveles superior e inferior, sino también con los demás subsistemas del mismo nivel (Salazar y Correa, 2011).

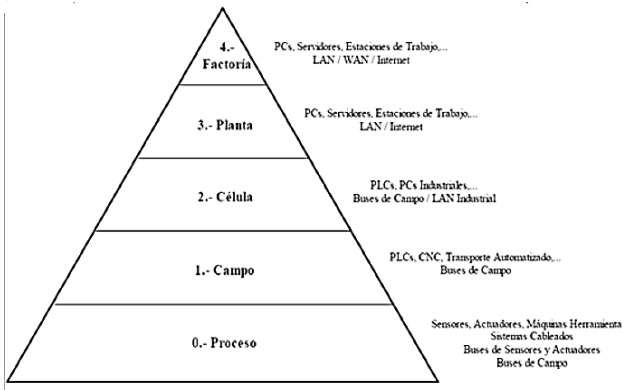


Figura 1. Pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing) (Rodríguez, 2007).

La tecnología fieldbus (bus de campo) es un protocolo de comunicaciones digital de alta velocidad que está creado para remplazar la clásica señal de 4-20 mA que aún se utiliza en muchos de los sistemas (Salazar y Correa, 2011), Sistema de Control Distribuido y PLC (Controladores Lógicos Programables), instrumentos de medida, transmisión, módulos de E/S y válvulas de control. La arquitectura fieldbus conecta estos instrumentos con computadores que se usan en diferentes niveles de coordinación y dirección de la planta (Fieldbus Foundation, 2006).

Uno de las dificultades presentadas en la actualidad con algunos protocolos patentados es la interoperabilidad, que es la capacidad de comunicación de los

sistemas entre sí, generalmente es diferente de un fabricante a otro ya sea en cuanto a lenguaje, características entre otros para los diferentes instrumentos utilizados en el proceso. (Caicedo-Eraso, 2003)

Por ello se requieren instrumentos que no posean esta limitación y tengan la capacidad de dar solución a las necesidades tecnológicas de las empresas, que estén estandarizados y abiertos; Las tecnologías cerradas que no compartan los protocolos de interoperabilidad tenderán en un futuro a desaparecer. (Fieldbus Foundation, 2002).

Hoy en día las diferentes aplicaciones permiten la transferencia de datos en tiempo real son más ágiles y de forma sincronizada, debido a la optimización en los protocolos utilizados en la comunicación.

2. La tecnología de buses de campo

Para el intercambio de datos, es requerida una serie de circuitos y conductores que hacen parte de la red industrial. Existen diferentes conexiones, el bus transmite datos en modo serial y posee por lo general más usuarios a diferencia con el punto a punto, donde sólo dos dispositivos se comunican.

Existen también algunas excepciones, el protocolo de bus particular SCSI, o IEEE-488 (IEEE Computer Society, 2001) utilizado para interconexión de instrumentos de medición (EIA, 2004).

Para una transmisión serial es suficiente un número de cables muy limitado, generalmente son suficientes dos o tres conductores y la debida protección contra la perturbación es externa, para permitir su tendido en ambientes de ruido industrial. (Caicedo-Eraso, 2003)

2.1. Ventajas de un bus de campo (Caicedo-Eraso, 2003)

- El intercambio se lleva a cabo por medio de un mecanismo estándar.
- Flexibilidad de extensión.
- Conexión de módulos diferentes en una misma línea.
- Posibilidad de conexión de dispositivos de diferentes procedencias.
- Distancias operativas superiores al cableado tradicional.
- Reducción masiva de cables y costo asociado.
- Simplificación de la puesta en servicio.

2.2. Desventajas de un bus de campo (Caicedo-Eraso, 2003)

- Necesidad de conocimientos superiores.
- Inversión de instrumentación y accesorios de diagnóstico.
- Costos globales inicialmente superiores.

2.3. Procesos de comunicación por medio de bus

El modo más sencillo de comunicación con el bus es el sondeo cliente/servidor. Más eficiente pero también más costoso es el Token bus (IEEE 802.4) (IEEE Computer Society, 2001), desde el punto de vista físico tenemos un bus lineal, desde el punto de vista lógico un Token ring. El procedimiento Token passing es una combinación entre cliente/servidor y Token bus. Todo servidor inteligente puede ser en algún momento servidor, por ejemplo: PROFIBUS (ODVA, 2010). Si el bus se cierra formando un anillo, obtenemos un Token ring (IEEE 802.5) (IEEE Computer Society, 2001). (Caicedo-Eraso, 2003)

2.4. Algunos tipos de bus

La mayoría de los buses trabajan en el nivel 1 con interfaz RS 485 (Kashel y Pinto, 2002).

2.4.1. ASI (*Actuator Sensor Interface*)

Es el bus más inmediato en el nivel de campo y más sencillo de controlar. Consiste en un bus cliente/servidor con un máximo de 31 participantes, transmite por paquetes de solo 4 bits de dato. Es muy veloz, con un ciclo de 5 ms aproximadamente. Alcanza distancias de máximo 100 m. (Caicedo-Eraso, 2003)

2.4.2. BITBUS

Es el más difundido en todo el mundo, es cliente/servidor que admite como máximo 56 clientes, el paquete puede transmitir hasta 43 bytes de dato (Montejo, 2006).

2.4.3. PROFIBUS (*Process Field Bus*)

Es el estándar europeo en tecnología de buses, se encuentra jerárquicamente por encima de ASI y BITBUS, trabaja según procedimiento híbrido Token passing, dispone de 31 participantes hasta un máximo de 127. Su paquete puede transmitir un máximo de 246 bytes, y el ciclo para 31 participantes es de aproximadamente 90 ms. Alcanza una distancia de hasta 22300 m (PI, 2010).

2.4.3.1. DP estándar DIN E 19245 T3

Para aplicaciones de bajo costo en redes sensor/actuador. Es especial para transmisión de mensajes cortos transferidos a alta velocidad, para 32 nodos y 200 m de red 1,5 Mbps que resulta en un intercambio de 1 Kbps de datos de sensor/actuador en menos de 10 ms. (Caicedo-Eraso, 2003)

2.4.3.2. PA estándar DIN E 19245 T4

Para aplicaciones de control en procesos químicos, donde se deben tener precauciones de explosión e incendio. El bus es el medio que permite conectar diferentes equipos de modo tal que se pueden

transmitir varias señales en la misma línea, todos los dispositivos pueden intercambiar datos entre sí, y en cualquier momento se puede realizar una ampliación. Desde el punto de vista puramente económico puede ocurrir que el sistema de bus sea más costoso, pero por otra parte permite llevar a cabo una instalación más simplificada y rápida, igual que su puesta en funcionamiento. (Caicedo-Eraso, 2003)

2.5. Fieldbus en OSI

En la arquitectura OSI, fieldbus ocupa los niveles 1 (Físico), 2 (Enlace de Datos) y 3 (Aplicación); teniendo en cuenta que este último no solo se encarga de la interfaz de usuario sino también de aplicaciones específicas dependiendo de cada aplicación (Fieldbus Foundation, 2006).

3. Clasificación de las redes industriales

Estas pueden clasificarse por la funcionalidad:

3.1. Buses actuadores y sensores

Inicialmente es usado un sensor y un bus actuador en conexión simple, dispositivos discretos con inteligencia limitada, como un fotosensor, un switch limitador o una válvula solenoide, controladores y consolas terminales. Los sensores y buses actuadores como ASI y CAN (Control Advanced Network) (CIA, 2010), son diseñados para que el flujo de información sea reducido a pocos bits y el costo por nodo sea un factor crítico. (Caicedo-Eraso, 2003)

3.2. Buses de campo y dispositivos

Estas redes se distinguen por la forma como manejan el tamaño del mensaje y el tiempo de respuesta. En general, estas redes conectan dispositivos inteligentes en una sola red distribuida. Estas redes ofrecen altos niveles de diagnóstico y capacidad de configuración, generalmente al nivel del poder de procesamiento de los dispositivos más inteligentes (Kashel y Pinto, 2002). Son las redes más sofisticadas que trabajan con control distribuido real entre dispositivos inteligentes, tal es el caso de Fieldbus Foundation (2006). Comúnmente dichas redes incluyen en los dispositivos y buses de campo las clases: CANopen, DeviceNet, Fieldbus Foundation (ODVA, 2010), Interbus-S, Lonworks_ (local operating network), Profibus. (Caicedo-Eraso, 2003)

3.3. Buses de control

Típicamente los buses de control para redes de punto a punto, entre controladores como PLC (Controlador Lógico Programable), DCS (Sistemas de Control Distribuido), sistemas de consolas terminales usados para HMI (Interface Hombre Máquina), archivamiento

histórico y control supervisor, son usados para coordinar y sincronizar el control entre las unidades de producción y las celdas de manufacturación (InfoPLC, 2007). Usualmente son empleados como buses controladores para redes industriales (ControlNet, Profibus-FMS, Map). Adicionalmente, puede usarse frecuentemente Ethernet con TCP/IP (AIE, 2011), como un bus controlador para conectar dispositivos de alto nivel y consolas terminales (Muñoz, 2007). Pueden usarse también redes Ethernet como Gateway para conectar otras redes industriales. En este caso, es recomendado aislar el segmento de la red industrial Ethernet del bus principal con Bridge para hacer el segmento independiente (Caicedo-Eraso, 2003)

4. Componentes de las redes industriales

En grandes redes industriales un simple cable no es suficiente para conectar el conjunto de todos los nodos de la red. Por ello deben definirse topologías y diseños de redes para proveer un aislamiento y conocer los requerimientos de funcionamiento. (Caicedo-Eraso, 2003). La tecnología en la industria con su rápida evolución ha permitido nuevos desarrollos en ingeniería debido a la capacitación por parte del personal para alcanzar competencias técnicas y administrativas que pueden llevar a incrementar la productividad y con ello sobresalir al hacer más rápida, más simple y más eficiente sus actividades. (Ethercat, 2010).

4.1. Repetidor

El repetidor o amplificador es un dispositivo que intensifica las señales eléctricas para que puedan viajar grandes distancias entre nodos. Con este dispositivo se pueden conectar un gran número de nodos a la red; además, se pueden adaptar a diferentes medios físicos como cable coaxial o fibra óptica. (Caicedo-Eraso, 2003)

4.2. Enrutadores

Es un switch "enrutador" de paquetes de comunicación entre diferentes segmentos de red que definen la ruta. (Caicedo-Eraso, 2003)

4.3. Bridge

Con un puente la conexión entre dos diferentes secciones de red, puede tener diferentes características eléctricas y protocolos; además, puede enlazar dos redes diferentes. (Caicedo-Eraso, 2003)

4.4. Gateway

Un Gateway es similar a un puente ya que suministra interoperabilidad entre buses y diferentes tipos de protocolos y, además, las aplicaciones pueden comunicarse a través de él. (Caicedo-Eraso, 2003).

5. Topología de redes industriales

Los sistemas industriales usualmente consisten de dos o más dispositivos. Como un sistema industrial puede ser bastante grande, debe considerarse la topología de la red. (Caicedo-Eraso, 2003). Las topologías más comunes son:

5.1. Red Bus

Enlaza todos los dispositivos en serie por conexiones extensas con un mismo cable; dependiendo del tipo de red, muchos nodos pueden estar empalmados en el bus y comunicarse con otros nodos por el mismo cable. Además, esta topología es simple de entender, fácil de extender, pero también presenta una serie de desventajas, por ejemplo: una ruptura del cable puede causar fallas de comunicación a un número de dispositivos y la congestión en el tráfico de la red reduce la comunicación en la misma. (Caicedo-Eraso, 2003)

5.2. Red Estrella

Tiene un controlador central y uno o más segmentos de conexión de red que parten del concentrador; con la topología estrella se pueden agregar fácilmente nuevos nodos sin interrumpir la operación de la red. Entre los beneficios de esta topología se encuentra que ante la falla de un dispositivo no se interrumpe la comunicación entre algunos otros dispositivos y la red; pero al fallar el concentrador la red entera falla. (Caicedo-Eraso, 2003)

5.3. Red Híbrida

Es la más usada para aplicaciones industriales ya que permite la combinación de las topologías Bus y Estrella para crear grandes redes que consisten en concentradores y miles de dispositivos iguales. Su configuración es muy popular en las redes industriales Ethernet (Ethernet Powerlink, 2010), Fieldbus Foundation (Fieldbus Foundation, 2006), DeviceNet (InfoPLC, 2007), Profibus (ODVA, 2010) y CAN (CIA, 2010), usando buses híbridos y topología Estrella dependiendo de la aplicación requerida. La red en topología Híbrida ofrece las ventajas y desventajas de las topologías de red Bus y Estrella. Se puede configurar la red Híbrida para que al fallar un dispositivo no se saque a otro de servicio, y se pueden adicionar o retirar segmentos de red sin afectar algún nodo de la ya existente. (Caicedo-Eraso, 2003)

6. Beneficios de una red industrial. (Caicedo-Eraso, 2003)

- Reducción de cableado (físicamente).
- Dispositivos inteligentes (funcionalidad y ejecución).
- Control distribuido (flexibilidad).

- Simplificación de cableado de las nuevas instalaciones.
- Reducción de costo en cableado y cajas de conexión.
- Aplicable a todo tipo de sistema de manufactura.
- Incremento de la confiabilidad de los sistemas de producción.
- Optimización de los procesos existentes.

7. Redes industriales con PLC

Muchos sistemas están conformados por equipos de diferentes fabricantes y funcionan en diferentes niveles de automatización; además, a menudo se encuentran distanciados entre sí; sin embargo, se desea que trabajen en forma coordinada para un resultado satisfactorio del proceso. (Caicedo-Eraso, 2003). El objetivo principal es la comunicación totalmente integrada en el sistema. Al usuario, esto le reporta la máxima flexibilidad ya que también puede integrar sin problemas productos de otros fabricantes a través de las interfaces software estandarizadas (Balces y Romeral, 1997).

En los últimos años, las aplicaciones industriales basadas en comunicación digital se han incrementado haciendo posible la conexión en una planta de procesamiento. De esta manera, que la comunicación entre la sala de control y los instrumentos de campo se ha convertido en realidad.

La comunicación digital debe integrar la información provista por los elementos de campo en el sistema de control de procesos. (Caicedo-Eraso, 2003)

8. Soluciones con Ethernet

Aunque los buses de campo continuarán dominando las redes industriales, las soluciones basadas en Ethernet se están utilizando cada vez más en el sector de las tecnologías de automatización, donde las secuencias de procesos y producción son controladas por un modelo cliente/servidor con controladores, y sistemas ERP (Planificación de los Recursos de la Empresa), teniendo acceso a cada sensor que se conecta a la red. La implementación de una red efectiva y segura también requiere el uso de conectores, estos se encuentran disponibles en una amplia variedad y para soluciones muy flexibles (Caicedo-Eraso, 2003).

Ethernet industrial es todavía un estándar en desarrollo, sin embargo, una de sus características principales es que es muy dinámico. Diferentes institutos, como la Asociación Ethernet Industrial o IOANA Europa, se han asociado para guiar y liderar a fabricantes y usuarios internacionales Ethernet como un estándar en

todo el entorno industrial (Ethercat, 2010). AIE. (2011). La finalidad es crear comunicaciones globales en todos los niveles, desde la automatización de la fábrica, vía la automatización de los procesos productivos, hasta la automatización de edificios (García, 2003).

En principio, los medios de transmisión para Ethernet que hoy están disponibles son, por una parte y como solución más habitual, el cable coaxial para 10 Mbits/seg, el cable Thin-Ethernet-BNC (Ethercat, 2010) para 10 Base 2 y el cable Thick-Ethernet para 10 Base 5. Por otra parte, para 10 Mbits/seg o 100 Mbits/seg (4 líneas de cable trenzado, tanto apantallado como sin apantallar) se utilizan cables de par trenzado. AIE. (2011)

Una efectiva solución para realizar una aplicación de control de procesos industriales es utilizar tecnología de Gateway, (Kashel y Pinto, 2002) con la cual podemos utilizar la red corporativa (sea esta Ethernet, ATM, WLAN, FDDI o Token ring) e integrar dicha red al monitoreo, supervisión, control y aplicaciones de adquisición de datos. De esta forma, podemos hacer control desde estaciones de monitoreo (que pueden ser remotas si existe la necesidad) conectadas directamente a la red TCP/IP de la empresa (IEEE Computer Society, 2001).

Los Gateway son dispositivos de capa de transporte; en donde la capa de aplicación no necesariamente es software, por lo general las aplicaciones son de audio (alarmas), video (vigilancia), monitoreo y control (sensores), conversión análoga/digital y digital/análoga (Kashel y Pinto, 2002). Para la programación de Gateway de alto nivel se utiliza el C++ y para la programación se hace con hojas de cálculo. Estos dispositivos pueden ser programados de tal forma que en caso de una emergencia o un simple cambio a otro proceso no se haga manualmente sino realmente automático (Creus, 1997). Tal es el caso del sistema Freelance 2000 (Hartmann & Braun, 2010); el cual es un sistema Diginet S basado en Ethernet que da acceso a usuarios individuales y transmite datos hacia y desde las estaciones de los operadores, estaciones de los ingenieros por medio de conexiones con cable coaxial, fibra óptica e inalámbricamente (Ethercat, 2010).

Este sistema posee entradas análogas y digitales, al igual que salidas análogas y digitales; lo que es muy ventajoso en una red industrial ya que me permite la interacción más directa entre el sistema de red digital (donde se centra el sistema de monitoreo y control) y el sistema de sensores y actuadores analógico; además, supera el inconveniente de las etapas de control y las etapas de potencia (Caicedo-Eraso, 2003).

Actualmente, las tecnologías que triunfan en el mercado son aquellas que ofrecen las mejores ventajas a los clientes y usuarios. Cada vez más se están acabando

las tecnologías cerradas, que en un mundo en proceso de globalización, es imposible que sobrevivan.

A nivel industrial se está dando un gran cambio, ya que no solo se pretende trabajar con la especificidad de la instrumentación y el control automático, sino que también existe la necesidad de mantener históricamente información de todos los procesos, además que esta información esté también en tiempo real y que sirva para la toma de decisiones y se pueda así mejorar la calidad de los procesos.

Las condiciones extremas a nivel industrial requieren de equipos capaces de soportar altas temperaturas, ruido excesivo, polvo, humedad y demás condiciones adversas; pero además requiere de personal capaz de ver globalmente el sistema de control y automatización industrial junto con el sistema de red digital de datos.

Referencias

- AIE. (2011). *Protocolos de comunicaciones industriales*. Asociación de la Industria Eléctrica y Electrónica (AIE). Disponible en: <http://www.aie.ci/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf> [Visitada en enero de 2011].
- Balces J., Romeral J.L. (1997). *Autómatas programables*. Librería Agrícola Jerez: Barcelona. 110 p.
- Caicedo-Eraso, J.C. (2003). *Redes Industriales*. Disponible en: <http://juce.galeon.com/artredind.pdf>. [Visitada en Enero 2012].
- CIA. (2010). *CAN-based higher-layer protocols (HLP)*. CAN in Automation. Disponible en: <http://www.can-cia.org/index.php?id=518>. [Visitada en agosto de 2010].
- Creus A. (1997). *Instrumentación Industrial*. Alfa omega: Barcelona. 741 p.
- Domingo J., Caro J. (2003). *Comunicaciones en el entorno industrial*. UOC: Aragón. 113 p.
- EIA. (2004). *The Technology Industry at an Innovation Crossroads*. Electronics Industries Alliance (EIA). Disponible en: http://www.fnal.gov/orgs/fermilab_users_org/users_mtg/2004/Technology_Industry.pdf [Visitada en diciembre de 2012].
- Ethercat. (2010). *Technical Introduction and Overview*. Disponible en: <https://www.ethercat.org/en/technology.html> [Visitada en agosto de 2010].
- Ethernet Powerlink. (2010). *Ethernet basics an introduction: Ethernet Powerlink*. Disponible en: <http://www.ethernet-powerlink.org/en/powerlink/technology/> [Visitada en agosto de 2010].
- Fieldbus Foundation. (2002). *About Fieldbus Foundation*. Disponible en: http://www.fieldbus.org/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=196 [Visitada en agosto de 2012].
- Fieldbus Foundation. (2006). *Foundation Technology, Glossary*. Disponible en: http://www.fieldbus.org/index.php?option=com_glossary&func=display&letter=F&Itemid=192&catid=72&page=1 [Visitada en julio de 2012].
- García E. (2003). *Automatización de procesos industriales*. Universidad Politécnica de Valencia: Valencia. 120 p.
- Hartmann & Braun. (2010). *Mounting and installation*. Freelance 2000. Disponible en: http://www.classicautomation.com/ABB_H_B_Freelance_2000.aspx?gclid=CPHU9ofxtsgCFc4WHwodRTYDqw [Visitada en agosto de 2010].
- IEEE Computer Society. (2001). *About the IEEE Computer Society*. Lan's design. Disponible en: <http://www.computer.org/web/about/> [Visitada en agosto de 2012].
- InfoPLC. (2007). *Historia de la comunicaciones industriales*. Actualidad y recursos sobre automatización industrial. Disponible en: http://www.infopl.net/documentacion/docu_comunicacion/info-PLC_net_Historia_Comunicaciones_industriales.html [Visitada en enero de 2011].
- Kashel H., Pinto E. (2002). *Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales*. *Ciencia Abierta*, 19:8p.
- McFarlane I. (1997). *La automatización de la fabricación de alimentos y bebidas*. Madrid Vicente: Madrid. 300 p.
- Montejo M.A. (2006). *Bitbus*. *Autómatas Industriales*. Disponible en: <http://www.automas.org/redes/bitbus.htm> [Visitada en marzo de 2011].
- Muñoz J.M. (2007). *Estudio de aplicación de los estándares Devicenet y ControlNet de comunicaciones industriales como solución de una red de campo*. Trabajo de titulación (Ingeniero en Electrónica). Escuela de Electricidad y Electrónica, Universidad Austral de Chile: Valdivia, Chile. 387 p.
- ODVA. (2010). *Ethernet/IP technology Overview*. Michigan. Disponible en: <http://www.odva.org/Home/ODVATECHNOLOGIES/EtherNetIPTechnologyOverview/tabid/75/ing/en-US/language/en-US/Default.aspx> [Visitada en julio de 2010].
- PI. (2010). *About PI*. PROFIBUS and PROFINET International (PI). Disponible en: <http://www.profibus.com/pi-organization/about-pi/> [Visitada en julio de 2010].
- Rodríguez P.A. (2007). *Sistemas SCADA*. 2 ed. Marcombo: México D.F. 19p.
- Salazar C.A., Correa L.C. (2011). *Buses de campo y Protocolos en redes industriales*. *Ventana Informática*, 25:83-109.