

**RED DE SENSORES DE PROXIMIDAD PARA EL LABORATORIO DE
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL**

NILSON ADIEL GUTIÉRREZ ASTUDILLO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
POPAYÁN
2008**

**RED DE SENSORES DE PROXIMIDAD PARA EL LABORATORIO DE
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL**



NILSON ADIEL GUTIÉRREZ ASTUDILLO

Monografía de trabajo de grado

Director

I. E. Juan Fernando Flórez Marulanda

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
POPAYÁN
2008**

Nota de Aceptación

Director

I.E. Juan Fernando Flórez Marulanda

Jurado

Ing. Jaime Oscar Díaz Chávez

Jurado

Mag. Héctor Fabio Jaramillo Ordoñez

Fecha de sustentación: Popayán, Noviembre de 2008

AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo, manifiesta su agradecimiento a su director, I.E. Juan Fernando Flórez Marulanda, a la Ing. Elena Muñoz España, al grupo de Aplicación de Tecnologías Inteligentes (ATI), al Licenciado William Gutiérrez docente del SENA seccional valle del Cauca, a la Universidad del Cauca, profesores, amigos y compañeros, quienes contribuyeron con el desarrollo de este trabajo.

“No es verdaderamente exitoso quien no es feliz; lo importante no es alcanzar determinada cumbre señalada por los demás, sino disfrutar el viaje al destino preferido por cada cual”

Albert Einstein

Esto no hubiera sido posible sin ustedes:

*A mis padres, Raquel y Octalivar,
A mi hermana Alejandra
A mi familia, amigos, profesores,
A la Universidad del Cauca*

NILSON

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
1.1. BUS DE CAMPO	3
1.1.1. VENTAJAS DE LOS BUSES DE CAMPO	4
1.1.2. DESVENTAJAS DE UN BUS DE CAMPO	5
1.2. NIVELES JERÁRQUICOS DE LAS REDES INDUSTRIALES.....	5
1.3. BUSES DE CAMPO Y EL MODELO DE REFERENCIA OSI.....	6
1.3.1. CAPA FÍSICA	7
1.3.2. NIVEL DE ENLACE	8
1.3.3. CAPA DE APLICACIÓN	8
1.4. ARQUITECTURA DE UN BUS DE CAMPO.....	9
1.4.1. TOPOLOGÍAS DE LAS REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL	9
1.5. PROCESOS DE COMUNICACIÓN POR MEDIO DE BUS.....	11
1.5.1. MODOS DE TRANSMISIÓN	12
1.5.2. MODOS DE DIRECCIONAMIENTO	13
1.5.3. CONTROL CLÁSICO DE INTERCAMBIO DE DATOS O TIPOS DE MENSAJE	13
1.5.4. JERARQUÍAS DE COMUNICACIÓN	13
1.6. PANORAMA DE LOS BUSES DE CAMPO	14
1.7. REDES DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES EN COLOMBIA	15
1.8. ALGUNAS TECNOLOGÍAS NUEVAS	16
2. ANÁLISIS DE LAS REDES DE BUS DE CAMPO	17
2.1. TIPOS DE REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL	17
2.1.1. RED DE FACTORÍA	17
2.1.2. RED DE PLANTA	18
2.1.3. RED DE CÉLULA	18
2.1.4. RED DE BUS DE CAMPO	19
2.2. TIPOS DE REDES DE BUS DE CAMPO	20
2.2.1. LA RED SENSORBUS	21
2.2.2. LA RED DEVICEBUS	21
2.2.3. LA RED FIELDBUS	21
2.3. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE ALGUNAS REDES DE BUS DE CAMPO	22
2.3.1. REDES SENSORBUS	22
2.3.2. REDES DEVICEBUS.	25
2.3.3. REDES FIELDBUS.	28
2.4. OTRAS REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.....	31

2.4.1.	INDUSTRIAL ETHERNET	31
2.4.2.	ARCNET	31
2.4.3.	CONTROLNET	32
2.4.4.	MODBUS	32
2.4.5.	HART	32
2.4.6.	PROFIBUS	33
2.5.	PAUTAS O CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UN BUS DE CAMPO	34
2.5.1.	CONOCER EL PROCESO	35
2.5.2.	TENDENCIAS EN EL PAÍS	36
2.5.3.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS REDES DE BUS DE CAMPO	37
2.5.4.	INFORMACIÓN ORGANIZADA DE ALGUNAS REDES DE BUS DE CAMPO	40
2.6.	TECNOLOGÍA ADOPTADA EN ESTE PROYECTO	47
2.6.1.	TAREAS DE SELECCIÓN DEL BUS DE CAMPO PARA LOS LABORATORIOS	47
2.7.	DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO SELECCIONADO	50
3.	DISEÑO DEL NODO ESCLAVO DEVICENET	52
3.1.	CONSIDERACIONES IMPORTANTES EN EL DESARROLLO DE DISPOSITIVOS ESCLAVOS DEVICENET ...	52
3.1.1.	REQUERIMIENTOS DE LA CAPA FÍSICA	54
3.1.2.	HARDWARE DEL CONTROLADOR DEL PROTOCOLO CAN	55
3.1.3.	SOFTWARE DEL PROTOCOLO DEVICENET	56
3.1.4.	REQUERIMIENTOS DE CONFIGURACIÓN	56
3.1.5.	PRUEBAS DE CONFORMIDAD	57
3.1.6.	HERRAMIENTAS DE DISEÑO	57
3.1.7.	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS	58
3.2.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL NODO DEVICENET	59
3.3.	NODO DEVICENET USANDO EL EJEMPLO SOFTWARE DE MICROCHIP	59
3.3.1.	VISIÓN GENERAL DEL FIRMWARE DE MICROCHIP	60
3.3.2.	OBJETOS DEVICENET	60
3.4.	DESARROLLO DEL NODO ESCLAVO DEVICENET	63
3.4.1.	CARACTERÍSTICAS DEL NODO DEVICENET	64
3.4.2.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CONTROLADOR UTILIZADO	64
3.5.	DESARROLLO DEL NODO DEVICENET	65
3.5.1.	LA INTERFAZ DE COMUNICACIONES	66
3.5.2.	INTERFAZ DE CONFIGURACIÓN DE BAUD RATE Y MAC ID	69
3.6.	CIRCUITO DE ENTRADAS, SALIDAS, CONFIGURACIÓN Y SEÑALIZACIÓN	69
3.7.	COMUNICACIÓN CON EL MEDIO FÍSICO	70
3.8.	RESET	71
3.9.	MAPEO DE DATOS DE ENTRADA Y SALIDA A TRAVÉS DEL CANAL SSC	71
3.9.1.	MAPEO DE DATOS DESDE EL BUS DE CAMPO	72
3.9.2.	MAPEO DE DATOS DESDE SSC (INPUT)	72
3.10.	FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO	73
3.10.1.	PROTECCIÓN <i>MIS-WIRING</i> (MALA CONEXIÓN)	73
4.	MONTAJE DE LA RED PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN	76
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA FÍSICA DE LA RED	76
4.2.	EL DISPOSITIVO MÁSTER DE LA RED	77
4.2.1.	EL SCANNER 1769SDN	77
4.3.	CONTROLADOR MICROLOGIX 1500	79

4.3.1	TIPOS DE MENSAJES SOPORTADOS POR EL MICROLOGIX 1500	80
4.4	MODULO DE COMUNICACIONES 1770KFD.....	80
4.5.	MEDIO FÍSICO	81
4.5.1.	LONGITUD MÁXIMA DE LA LÍNEA TRONCAL	81
4.5.2.	LONGITUD ACUMULATIVA DE LA LÍNEA DE DERIVACIÓN	82
4.6.	TIPOS DE CONECTORES DEVICENET USADOS EN ESTE PROYECTO	82
4.6.1.	TERMINACIONES DE RED (TR)	83
4.7.	FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	83
4.7.1.	CONSIDERACIONES AL USAR LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	84
4.8.	INTEGRACIÓN DE LOS ELEMENTOS A LA RED	85
4.9.	CONFIGURACIÓN DE LA RED DEVICENET.....	88
4.9.1.	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS REQUERIDAS	88
4.9.10.	EL SOFTWARE RSNETWORX COMO UNA HERRAMIENTA DE CONFIGURACIÓN	89
5.	EVALUACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO	92
5.1.	PRUEBAS Y RESULTADOS	92
6.	CONCLUSIONES.....	97
7.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	99
7.1.	RECOMENDACIONES	99
7.2.	TRABAJOS FUTUROS.....	99
8.	BIBLIOGRAFÍA	101

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Redes de comunicaciones industriales en Colombia	15
Tabla 2. Características de Seriplex	22
Tabla 3 Características de ASI	23
Tabla 4 Características de CAN	24
Tabla 5 Características de Interbus	25
Tabla 6 Características de DeviceNet	26
Tabla 7 Características de SDS.....	26
Tabla 8 Características de LonWorks.....	27
Tabla 9 Características de Profibus DP.....	28
Tabla 10 Características de IEC/ISA SP50	29
Tabla 11 Características de FieldBusF H1	30
Tabla 12 Características de FIP WorldFIP	30
Tabla 13 ProfiBus PA.....	31
Tabla 14. redes de baja funcionalidad	41
Tabla 15. Redes de funcionalidad media.....	42
Tabla 16. Buses de campo de alta velocidad	43
Tabla 17 Descripción de pines del ABICDEV o AB6001	65
Tabla 18 Consumo de potencia del controlador ABICDEV	65
Tabla 19 Switch baud rate	69
Tabla 20 Switch MAC ID	69
Tabla 21 Indicadores de estado.....	69
Tabla 22 Conector DeviceNet.....	71
Tabla 23 datos de entrada	78
Tabla 24 Estructura de estado (<i>Status structure</i>)	78
Tabla 25 Datos de salida	79
Tabla 26 Asignación de arreglo de Bit del modulo	79
Tabla 27. Características del cable DeviceNet	81
Tabla 28. Longitud máxima de la línea troncal	81
Tabla 29. Longitud acumulativa de la línea de derivación.....	82
Tabla 30. Características de al fuente de alimentación	83
Tabla 31 Características eléctricas del Scanner.....	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Pirámide de comunicaciones	6
Fig. 2. (a) Modelo OSI, (b) modelo OSI reducido	7
Fig. 3. Bus de campo	9
Fig. 4. Topología lineal	10
Fig. 5. Topología en anillo	10
Fig. 6. Topología en estrella.	10
Fig. 7. Topología en árbol	11
Fig. 8. Comunicación cliente servidor	11
Fig. 9. Modo simplex	12
Fig. 10. Modo Half Duplex o Semiduplex.....	12
Fig. 11. Modo Full Duplex	12
Fig. 12. Modo Full/FullHalf Duplex	12
Fig. 13. La pirámide CIM y las redes de comunicación industrial.....	19
Fig. 14. Ejemplo de redes industriales en los 5 niveles de la pirámide CIM.	20
Fig. 15. Diferentes tipos de bus de campo y sus aplicaciones	20
Fig. 16. Comparación de algunas redes de comunicaciones industriales.....	40
Fig. 17. Criterios para la elección de una red de bus de campo	44
Fig. 18 criterios para adoptar una red e bus de campo determinada	46
Fig. 19 Área de aplicación de la red de bus de campo.....	48
Fig. 20 diagrama de bloques de un nodo DeviceNet.....	59
Fig. 21 el objeto conexión y los gestores de objetos de más alto nivel	61
Fig. 22. Conexión de objetos desarrollados en este firmware.....	62
Fig. 23 Arquitectura interna del integrado	64
Fig. 24. Interfaz de comunicaciones MIF	66
Fig. 25. Interfaz de comunicaciones SCI	67
Fig. 26 registro de configuración y señalización	68
Fig. 27 Circuito de entradas/salidas.....	70
Fig. 28 Comunicación del IC AB6001 con el medio físico	71
Fig. 29 Reset.....	71
Fig. 30 Mapeo de datos de entrada y salida.....	72
Fig. 31 Mapeo de datos desde el bus de campo	72
Fig. 32 Mapeo de datos desde SSC	72
Fig. 33 Circuito mis wiring	73
Fig. 34 Fuente de alimentación.....	74
Fig. 35. Nodo DeviceNet Unicauca	74
fig. 36. Dispositivo máster	77
Fig. 37 conectores KwikLink manejados en este proyecto	82
Fig. 38. Usando dos fuentes de alimentación.....	84
Fig. 39. Esquema de la red del PIAI	86
Fig. 40. Ubicación de los paneles a través de los laboratorios del PIAI	87
Fig. 41. Dispositivos de la red DeviceNet del PIAI.....	88
Fig. 42 Ventana principal de RSNetworx	90
Fig. 43 Grafico de configuración de RSNetWorx	91
Fig. 44. Nodo DeviceNet Unicauca	92
Fig. 45. Nodo Unicauca comprobado en el laboratorio del SENA.....	93
Fig. 46. Nodo Unicauca comprobado en conjunto con la red del PIAI	94

Fig. 47. Ladder para visualizar las entradas y manipular las salidas del nodo Unicauca 95
Fig. 48. Secuencia de encendido y apagado de los bombillos..... 95
Fig. 49. Equipos usados en las pruebas finales 96

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL NODO

Anexo B: CONSIDERACIONES PARA REALIZAR EL CABLEADO

Anexo C: CONFIGURACIÓN DE UNA RED DE BUS DE CAMPO DEVICENET

Anexo D: CONSIDERACIONES IMPORTANTES DEL NODO DEVICENET

Anexo E: CONFIGURACIÓN DE LA RED DEVICENET DEL PIAI

Anexo F: CONFIGURACIÓN DE LA RED DH485 DEL PIAI

Anexo G: ESTÁNDAR DEVICENET

Anexo digital H: ARCHIVOS EAGLE DEL NODO DEVICENET UNICAUCA

Anexo digital I: ARCHIVOS EDS (ELECTRONIC DATASHEETS) DEL NODO

Anexo digital J: MANUAL DE USUARIO DEL NODO DEVICENET UNICAUCA

RESUMEN

Este documento describe las tareas de diseño e implementación de un nodo esclavo DeviceNet con características técnicas de un dispositivo comercial, se trata varios temas inherentes a las redes de comunicación industrial destacando dentro de estas las redes de bus de campo, se define una serie de criterios que ayudan y orientan en la elección de una red de bus de campo dentro de la gran variedad de opciones existentes, el documento también hace referencia al montaje y configuración de la red DeviceNet y DH485 que gracias a este proyecto entran a formar parte de los laboratorios del programa en ingeniería automática Industrial (PIAI) de la universidad del Cauca.

Con intención de describir el entorno de la solución, en el capítulo 1 se describe algunos fundamentos teóricos de las redes de bus de campo destacando las ventajas de estos sistemas de comunicación industrial, presenta un panorama muy general del estado de los buses de campo en Colombia y a nivel mundial. El capítulo 2 muestra la clasificación de las redes de comunicación industrial con el objetivo de aclarar la posición de las redes de bus de campo dentro de estos sistemas, después de centrarse en el tema de interés que son los buses de campo se lista varias características técnicas de algunas redes de bus de campo mas comunes a nivel mundial y finalmente se presenta una serie de criterios útiles en el momento de seleccionar una red de bus de campo. El capítulo 3 describe la implementación del nodo DeviceNet desarrollado en este proyecto de grado y adicionalmente se presenta una segunda opción para implementar un nodo DeviceNet usando un microcontrolador PIC. En el capítulo 4 se trata el tema de montaje y configuración de la red DeviceNet, describiendo la función y las características técnicas de los dispositivos que conforman la red. En el capítulo 5 se describe y analiza los resultados obtenidos de las pruebas hechas al nodo DeviceNet Unicauca operando en una red DeviceNet estándar y finalmente se consignan las experiencias sobresalientes del desarrollo del proyecto, se explica el porque usar un controlador con el protocolo DeviceNet embebido es la mejor opción cuando se va a producir pocas unidades. Como parte final se consignan las expectativas para trabajos futuros.

Palabras claves: *Fieldbus*, EDS, *Baudrate*, *firmware*, ABICDEV

INTRODUCCIÓN

El ambiente industrial automatizado está instrumentado con una amplia variedad de dispositivos (sensores, actuadores, transmisores, controladores, etc.), normalmente de 4 a 20 mA a nivel de campo, que generalmente están distribuidos a través de todo el complejo industrial. Estos dispositivos son potenciales usuarios de un sistema de comunicación que, admita intercambiar señales de control e información de gestión entre los diferentes dispositivos y estaciones de trabajo en una planta de producción. El hecho de que algunos fabricantes de instrumentos están adoptando la tendencia de incorporar sistemas de comunicaciones en sus dispositivos, facilita las tareas de aplicación de estos sistemas en las diferentes áreas de la empresa. Ejemplo de ello son algunos modelos de PLC siemens que están provistos de comunicación con redes ASI (*interfaz sensor actuador*), directamente sin usar interfaces de acople, compañías como Opto22 incorporan Ethernet en sus Controladores de Automatización Programable (PAC), etc.

En la industria se usan redes de datos y redes de control dependiendo de la información a intercambiar. Las redes de datos manejan grandes paquetes que son transmitidos a altas velocidades, generalmente no tienen restricciones de tiempo real, normalmente están relacionadas con la interacción entre las aplicaciones generales de la empresa e información de los sistemas de control. Las redes de control, se usan para el control y monitoreo de los dispositivos, transportan pequeños paquetes, a una frecuencia determinada entre los nodos y son críticos en el tiempo. La diferencia fundamental entre ambos tipos de redes, es la capacidad de soportar aplicaciones en tiempo real [Roaux 05].

Las redes de bus de campo muy populares hoy en día en el ambiente industrial, han generado la necesidad de realizar estudios que sirvan como referencia y base de conocimiento a los interesados en estos temas. La incursión en el concepto de redes de bus de campo por parte de las universidades está proporcionando conocimientos y material bibliográfico importante, para el estudio y aplicación de las redes de control. Algunas universidades incorporan en sus laboratorios redes industriales que les permita realizar prácticas y reforzar los conocimientos teóricos.

El propósito inicial de este proyecto es investigar las últimas tendencias sobre redes de bus de campo a nivel mundial, con el fin de recopilar y clasificar la información disponible al tenor de tal manera que pueda servir como referencia para quienes enfoquen actividades de I+D (investigación y desarrollo) en redes industriales y principalmente proponer una serie de pautas o criterios que guíen en la aplicación de las redes de bus de campo que satisfagan los requerimientos productivos de la industria Colombiana. Adicionalmente este proyecto representa un aporte importante a la Universidad del Cauca, especialmente a los estudiantes del programa de Ingeniería en Automática Industrial (PIAI), ya que gracias al mismo el PIAI contará con una red de bus de campo, de última tendencia, instalada en los laboratorios, donde se espera facilitar la implementación de nuevas prácticas en comunicaciones industriales (configuración de dispositivos en red, programación en red de los PLC, control y supervisión distribuido etc.) adicionalmente la implementación de nuevos nodos que permitan el crecimiento y mejora de la red. En cuanto al diseño y elaboración de los nodos esclavos DeviceNet, se estudiaron diferentes alternativas como el uso de microcontroladores PIC con el protocolo CAN integrado y otros microcontroladores que implementan el protocolo DeviceNet, encontrando en cada caso diferentes dificultades que condujeron finalmente a usar un controlador especializado en este protocolo, con el cual se obtuvieron excelentes resultados en la implementación final del nodo DeviceNet.

La primera parte de este trabajo contiene la documentación de la base teórica de los temas que fueron aplicados en el desarrollo del proyecto. En los temas concernientes a redes de bus de campo, se hace un análisis de requerimientos y estándares de redes industriales, tratando detalladamente el desarrollo de las pautas de selección de buses de campo y características de estas redes, se presenta el protocolo de bus de campo adoptado como resultado de la aplicación de los criterios para la selección de buses de campo, se especifica en detalle todo el proceso de análisis y diseño de la red DeviceNet para los laboratorios del PIAI, el desarrollo de los componentes hardware y la programación de los controladores, se describe las actividades de diseño y posterior integración de los nodos a la red, así como la información principal de los componentes hardware (scanner, PLC, interfaces de comunicación, etc.) de la red DeviceNet.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el ambiente industrial existe una gran variedad de equipos y dispositivos encargados de realizar funciones como gestión, control adquisición de datos y presentación de información, entre estos elementos está: sensores, actuadores, controladores e interfaces para despliegue de información. El desarrollo de redes de bus de campo ha establecido una forma de comunicar estos dispositivos logrando así integrar tanto los dispositivos del nivel más bajo de la pirámide de comunicaciones con los niveles intermedios y superiores, con el objetivo de crear un puente entre el área de gestión y el proceso productivo.

En este trabajo de grado se busca dar a conocer varias de las tecnologías de bus de campo existentes, destacando algunas de las más importantes, además presenta una serie de pautas o criterios que servirán como referencia y guía de selección en el momento de elegir una tecnología de bus de campo adecuada para una determinada aplicación.

Algunos de los temas de redes de bus de campo se trataran de forma muy general, debido a que son muy extensos y no se podrían incluir ni tratar todos en este documento, el lector interesado en aplicar un sistema de bus de campo podrá hacer uso de este documento como referencia pero una vez defina las posibles soluciones tendrá que estudiar en detalle las diferentes opciones. La documentación de cada protocolo por lo general está disponible y es suministrada por el desarrollador del mismo o por las entidades encargadas de difundir y promocionar estos protocolos.

1.1. BUS DE CAMPO

Un bus de campo es un sistema en tiempo real de transmisión de datos digitales, que comunica múltiples dispositivos de campo y de control entre si y adicionalmente puede comunicarse con otras redes de nivel superior, facilitando las tareas de gestión, control, instalación, operación de maquinaria y equipos del proceso productivo, a través de una comunicación bidireccional serial y multipunto basada en el modelo de referencia OSI

(*Open System Interconnection*). Los buses de campo fueron creados por la necesidad de sustituir las comunicaciones punto a punto entre elementos de bajo nivel de campo, (sensores, actuadores, transmisores en el típico bucle de corriente de 4 a 20 mA) por un sistema capaz de comunicar por un único bus múltiples dispositivos, Integrados en un sistema de comunicaciones donde los dispositivos pueden ejecutar tareas de control y diagnóstico, entre otras, que permiten monitorear el estado de la red, aumentando así la eficiencia y facilitando el mantenimiento del sistema [kaschel y pinto 06].

1.1.1. Ventajas de los Buses de Campo

La principal ventaja ofrecida a los usuarios por la utilización del bus de campo es en definitiva la reducción de costos, que se puede apreciar en tres aspectos: instalación, mantenimiento y funcionamiento global del sistema.

El bus de campo ofrece una significativa reducción en el cableado necesario para el control en un proceso. Se requiere de un cable o línea troncal para la conexión de los diversos nodos que conforman la red. Se estima que puede ofrecer una reducción de 5 a 1 en los costos de cableado con relación a los antiguos sistemas de control [kaschel 06].

La sencillez del bus de campo con respecto a otras redes de uso industrial reduce las necesidades de mantenimiento haciendo que el sistema tenga mayor fiabilidad a largo plazo. Los buses de campo permiten el monitoreo de todos los dispositivos que integran el sistema, de esta forma la detección de las fuentes de problemas en la planta y su corrección resulta mucho más sencilla, reduciendo así los costos de mantenimiento y el tiempo de parada de un proceso [Blanco 06].

Otra ventaja de los buses de campo es que sólo incluyen tres capas del modelo de referencia OSI (Física, Enlace y Aplicación), el usuario no tiene que preocuparse de las capas de enlace o de aplicación, sólo necesita saber cuál es su funcionalidad y tener un conocimiento mínimo de los servicios de administración de la red, debido a que parte de la información generada por dichos servicios puede ser necesaria para la reparación de averías en el sistema, de hecho, el usuario sólo debe preocuparse de la capa física y la capa de usuario [kaschel 06]. Además de lo anterior, los buses de campo ofrecen otras

ventajas tales como: una mayor flexibilidad al usuario en el diseño del sistema, posibilidad de utilizar el bus para programar los dispositivos, solicitar y recibir informaciones de diagnóstico y optimizar el tiempo de procesamiento [Rubiano y Giraldo].

1.1.2. Desventajas de un bus de campo

Necesidad de un conocimiento básico de la red (niveles físico y aplicación) por parte de los operarios lo que involucrara tareas de capacitación y toda las actividades inherentes a esta (costos, tiempo, organización etc.), Inversión en instrumentación y accesorios de diagnóstico (adquisición de equipos y dispositivos). Costos globales inicialmente superiores.

1.2. NIVELES JERÁRQUICOS DE LAS REDES INDUSTRIALES

CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) es un sistema de múltiples niveles creado con el objeto de aumentar y mejorar la producción, mediante la utilización de diferentes sistemas computarizados para lograr automatizar, controlar y elevar el nivel de integración en la planta de producción.

La pirámide CIM busca que todos los departamentos de la empresa puedan participar en la red de comunicaciones para obtener un control global de todas las dependencias de empresa, supervisando así no solo el funcionamiento del área de producción sino otras áreas (ventas, gestión, almacén, etc.).

En las comunicaciones industriales coexisten equipos y dispositivos los cuales suelen agruparse jerárquicamente para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área. De esta forma se definen cuatro niveles de redes industriales representados por la pirámide CIM la figura 1 representa la jerarquía de comunicaciones diferenciando cada nivel para facilitar al lector ubicar los diferentes niveles de CIM.

Fig. 1. Pirámide de comunicaciones



Nivel de Gestión. Es el nivel más elevado de la pirámide y su función es la integración de los niveles siguientes en una estructura de fábrica, los equipos aquí conectados generalmente son estaciones de trabajo (Computadores) que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, en el cual se supervisan las ventas, *stocks*, etc. Se emplea una red de tipo LAN (*Local Area Network*) o WAN (*Wide Area Network*) [Rubiano y Giraldo] [Muñoz].

Nivel de Control. Se encarga de comunicar y dirigir las distintas zonas de trabajo. En este nivel se sitúan los controladores lógicos programables (PLC) de gama alta y los computadores dedicados a diseño, control de calidad, programación, etc. [Rubiano y Giraldo] [Muñoz].

Nivel de Campo y Proceso. Se encarga de la integración de dispositivos como PLC compactos, multiplexores de E/S (entradas/salidas), controladores PID (proporcional integral derivativa), etc. dentro de sub-redes de control. En el nivel más alto de estas redes generalmente se usa uno o varios PLCs modulares, actuando como maestros de la red o maestros flotantes. En este nivel están presentes los buses de campo [Rubiano y Giraldo] [Muñoz].

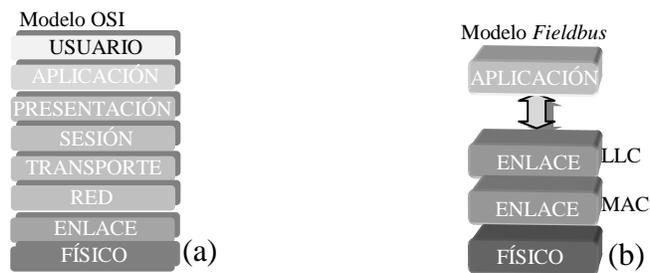
Nivel de E/S. Es el nivel más próximo al proceso, en este nivel están los sensores y actuadores, encargados de la manipulación del proceso productivo [Rubiano Giraldo].

1.3. BUSES DE CAMPO Y EL MODELO DE REFERENCIA OSI

El modelo OSI (*Open System Interconnection*) de ISO (*International Standard Organization*) es un modelo de referencia para identificar y establecer una clasificación de

las diferentes funciones de los sistemas de comunicaciones. En éste modelo se definen siete capas de funciones para un sistema de comunicación. No es obligatorio tener las siete capas en un sistema dado, que dependiendo de la aplicación algunas capas medias pueden ser omitidas [Saucedo] [Muñoz]. Normalmente los buses de campo contienen tres niveles establecidos en el modelo de referencia OSI. La figura 2 (b) representa el modelo de referencia OSI reducido conformado por los niveles físico, enlace y de aplicación.

Fig. 2. (a) Modelo OSI y (b) modelo OSI reducido



Fuente: [Murillo 05]

1.3.1. Capa Física

Esta capa provee transmisión de cadenas de bits entre entidades de la capa de enlace, es el primer nivel del modelo de referencia OSI. Involucra características tanto eléctricas como mecánicas del sistema de comunicación, es el encargado de las conexiones físicas entre los dispositivos que integran la red, especificando los posibles estándares de cables, niveles de tensión para 0 y 1, forma de modulación de la señal (codificación de señal, niveles de tensión, intensidad de corriente eléctrica, modulación, tasa binaria, etc.) y otras características eléctricas. También involucra otros aspectos como el establecimiento de la velocidad de transmisión y la técnica o método empleado para su implementación [Muñoz] [Murillo, Hernández y Rocha 05].

Existen diferentes clases de servicio a nivel de la capa física, en lo referente a: tipo de transmisión (sincrónica o asincrónica), modo de operación (*fulldúplex*, *halfdúplex* y *simplex*), topología (punto a punto o multipunto) y *bit rate* (constante o variable). Existen algunos esfuerzos internacionales de estandarización de esta capa por parte de la

International Electrotechnical Comisión (IEC) en la norma ISO 1158.2 de 1993 [Camilla 06].

Función del nivel físico. Transforma las tramas de datos provenientes del nivel de enlace en señales apropiadas para el medio físico utilizado, cuando actúa en modo recepción el procedimiento es inverso; transforma la señal transmitida en tramas de datos binarios que serán entregados al nivel de enlace. El nivel recibe tramas binarias que al ser procesadas las convierte en señales eléctricas, electromagnéticas u ópticas de tal forma que el receptor pueda tomarlas del medio físico e interpretarlas sin riesgo de pérdidas de información debido a los cambios que pueda sufrir en el medio físico [Wikipedia] [Muñoz].

1.3.2. Nivel de enlace

La capa de Enlace de datos es responsable del intercambio de datos entre un nodo cualquiera y la red, permitiendo la correcta comunicación y trabajo conjunto entre las capas superiores y el medio físico. Este nivel se encarga de que la información transmitida viaje libre de errores, convirtiendo la información en tramas o paquetes provistos de una dirección de nivel de enlace, usando algoritmos de detección y corrección de errores que puedan ocurrir en el nivel físico [wikipedia] [Muñoz].

Función del nivel de enlace. Este nivel se encarga de evitar colisiones y controlar el flujo de información entre los nodos Durante la transmisión, toma los datos presentados por el nivel superior y la divide en tramas, añadiéndole un encabezamiento (*Header*) y un final que se usa para la detección de errores y finalmente la entrega al nivel físico. Durante la recepción de datos, el nivel de enlace convierte el flujo de bits proveniente del nivel físico en caracteres reconocibles o tramas y trata de detectar y corregir los errores.

1.3.3. Capa de Aplicación

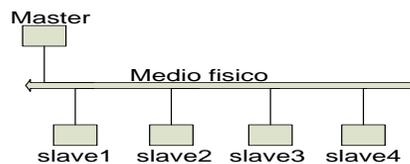
Es la capa superior del modelo de referencia OSI permite que las aplicaciones puedan acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos. El estándar plantea una descripción alternativa de la capa de aplicación en la cual los aspectos de un proceso de aplicación que resultan relevantes para el modelo ISO/OSI se agrupan en un elemento abstracto llamado entidad

de aplicación, los procesos internos intercambian información a través de las entidades de aplicación que los componen, estas entidades ofrecen servicios orientados a conexión y sin conexión que incluyen facilidades como identificación, sincronización, negociación de calidad de servicio y responsabilidades de las contrapartes, etc. En esta capa, el diseñador dispone de dos modelos de comunicación distintos, el modelo cliente/servidor que implementa comunicación punto a punto (*point-to-point*) y que da preferencia al tráfico que no es de tiempo real. En segundo lugar, está el modelo productor/consumidor que da preferencia a los datos identificados y al tráfico de tiempo real [Roaux 05].

1.4. ARQUITECTURA DE UN BUS DE CAMPO.

Los buses de campo están espacialmente representados por una estructura física lineal bien definida de la que se derivan los nodos como muestra la figura 3.

Fig. 3. Bus de campo



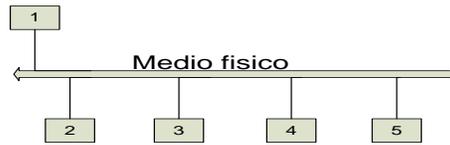
Los nodos están ubicados a lo largo de la trayectoria, conectados a través un medio físico común, puede existir un maestro único que controla los demás nodos o también una configuración Multimaestro donde los nodos esclavos en un tiempo t se comportan como maestros es decir un maestro flotante.

A pesar de que los buses de campo tienen una topología física lineal, existe la posibilidad de que puedan usar topologías lógicas diferentes.

1.4.1. Topologías de las redes de comunicación industrial

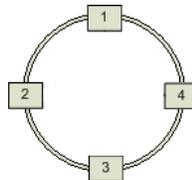
Lineal. La estructura de bus es muy clara y poco compleja, los nodos se comunican formando una estructura lineal, la comunicación conserva el orden definido de tal forma que cada nodo tiene una posición y un turno específico para enviar o recibir datos [Burkert]. Esta topología es descrita en la figura 4 de esta sección.

Fig. 4. Topología lineal



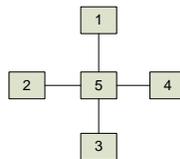
Anillo. Los mensajes se transmiten de un usuario al siguiente en estricto orden formando una comunicación en anillo...ver a figura 5... El hecho de que la señal se amplifique cada vez que se transmite el mensaje lo que permite recorrer grandes distancias [burkert].

Fig. 5. Topología en anillo



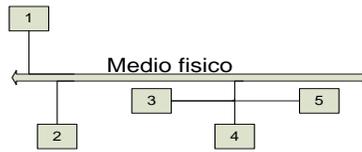
Estrella. Una estación central está conectada a todos los usuarios mediante conexiones que forman una estructura en estrella como indica la figura 6. Esta estación central puede actuar como Maestro y ser responsable del control de la red, o actuar como "acoplador en estrella" estableciendo simplemente la conexión entre el emisor y el receptor [burkert].

Fig. 6. Topología en estrella.



Árbol. La estructura en árbol es similar a la lineal con la única diferencia que puede existir una comunicación en varios ramales formando una estructurad en árbol de la unión de varios buses como se indica en la figura 7 de esta sección [burkert].

Fig. 7. Topología en árbol

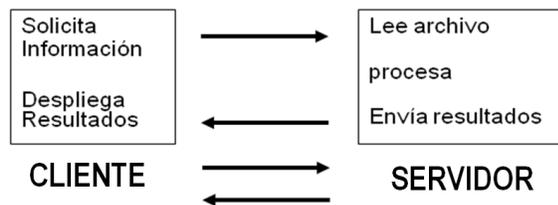


1.5. PROCESOS DE COMUNICACIÓN POR MEDIO DE BUS

Existen modelos básicos con respecto a la forma en que se comunican los diferentes nodos de una red industrial de comunicaciones.

- **Modelo cliente /servidor.** la comunicación se realiza entre dos nodos de la red por medio de servicios confirmados, el cliente puede ser cualesquier nodo de la red que ejecuta una solicitud a otro nodo que en este caso se comportará como servidor...ver la figura 8...En una misma red pueden existir varias relaciones cliente servidor simultáneamente. El modelo cliente servidor utiliza comunicaciones a cíclicas entre los dispositivos [Rojas 06].

Fig. 8. Comunicación cliente servidor



- **Modelo productor consumidor.** La comunicación se lleva a cabo a través de servicios no confirmados, cualquier nodo consumidor emite información como un mensaje global a toda la red, los demás nodos consumidores deciden si recibir y procesar la información. Este modelo emplea grupos de buffers dentro del sistema de comunicaciones de cada estación, cada buffer corresponde a una variable de aplicación, es identificado dentro de un grupo de aplicación mediante una etiqueta lógica que mantiene el valor instantáneo de la variable. El productor Deposita los datos en el buffer de salida de una variable mediante una función local de escritura, la red copia el contenido del buffer de salida del productor en el buffers de recepción del

consumidor y el consumidor toma los valores contenidos en los buffers de recepción mediante una función local de lectura [murillo, Hernández y Rocha 05].

1.5.1. Modos de transmisión

- **Simplex.** La información se transmite en un solo sentido como muestra la figura 9. Se conocen también como líneas sólo para recibir, solo para transmitir o de un solo sentido [Rojas 06] [murillo, Hernández y Rocha 05].

Fig. 9. Modo simplex



- **Half Duplex o Semiduplex.** La información se puede transmitir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo utilizando el mismo medio de transmisión...ver la figura10...[Rojas 06] [murillo, Hernández y Rocha 05].

Fig. 10. Modo Half Duplex o Semiduplex



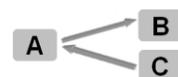
- **Full Duplex.** Es posible realizar la transmisión de información en cualquier sentido simultáneamente, pero deben ser entre las mismas dos estaciones como describe la figura 11 (menor velocidad que el semiduplex) [murillo, Hernández y Rocha 05].

Fig. 11. Modo Full Duplex



- **Full/FullHalf Duplex.** La transmisión de información es posible en ambas direcciones al mismo tiempo, pero no entre las mismas estaciones una estación estará transmitiendo a una segunda estación y recibiendo de una tercera estación...ver la figura 12...[Rojas 06] [murillo, Hernández y Rocha 05].

Fig. 12. Modo Full/FullHalf Duplex



1.5.2. Modos de direccionamiento

El direccionamiento de los nodos es uno de los aspectos claves en una red de control, la información puede ser originada y/o recibida por cualquier nodo, la forma en que se direccionan los paquetes de información, afectará de forma importante a la eficiencia y fiabilidad global de la red, se pueden encontrar tres tipos de direccionamiento:

- **Broadcast - One-to-All.** El paquete es enviado a todos los nodos de la red simultáneamente. Este método es utilizado para control, cuando los datos son comunes a todos los dispositivos.
- **Unicast - One to One.** El paquete es enviado a un único nodo destino en la red.
- **Multicast – One to Many.** El paquete es enviado a un grupo de nodos de la red simultáneamente. Es un método utilizado para control, cuando los datos son comunes a múltiples dispositivos.

1.5.3. Control clásico de intercambio de datos o tipos de mensaje

- **Change-of-State.** Un nodo envía datos cuando ocurre un cambio de estado, ejemplo el cambio de estado de un sensor ante un evento específico.
- **Cyclic.** Es una transferencia de datos enviada a una tasa específica configurable, ejemplo cada 50 ms se envían datos del estado de un proceso.
- **Poll.** Es una transmisión de datos punto a punto de 0 128 bytes entre un maestro y un esclavo.
- **Strobe.** Es una transmisión Multicast de datos.

1.5.4. Jerarquías de comunicación

- **Master/Slave.** En esta configuración existe un dispositivo maestro y múltiples esclavos, los esclavos sólo pueden intercambiar datos con el maestro. Es una comunicación inherentemente Unicast. un solo nodo es facultado para iniciar servicios que pueden ser confirmados y no confirmados. Servicios confirmados cuando el nodo maestro emite una solicitud a un nodo esclavo, buscando una

respuesta oportuna, en los servicios no confirmados el maestro emite una solicitud a uno o varios esclavos [murillo, Hernández y Rocha 05].

- **Multimaster.** Existe más de un maestro en el mismo sistema, cada uno de los cuales tiene sus propios esclavos, los dispositivos esclavos sólo intercambian información con su respectivo maestro. Es una comunicación inherentemente Unicast.
- **Peer-to-Peer.** Los dispositivos son tratados como iguales, hay un libre intercambio de datos con otros dispositivos tanto como sea necesario. Soporta comunicaciones unicast, multicast o broadcast [murillo, Hernández y Rocha 05].

1.6. PANORAMA DE LOS BUSES DE CAMPO

La posibilidad de que los buses de campo los rijan un único estándar no es tan factible por lo menos en un tiempo corto, son pocas las tecnologías que se soportan en los estándares ya establecidos, lo que hace que aumente el número de estas tecnologías soportadas en estándares propietarios. Aunque existen pasarelas que comunican y sirven de puente entre estos estándares, es evidente la necesidad de que usuarios y fabricantes hagan un esfuerzo en la búsqueda de normativas comunes para desarrollar sistemas de comunicaciones industriales estandarizadas.

Desde mediados de los años '80 la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC-CEI) y la Sociedad de Instrumentación Americana (ISA) ha presenciado el aparente esfuerzo de los fabricantes para lograr el establecimiento de una norma única de bus de campo de uso general. En 1992 surgieron dos grupos, el ISP (Interoperable Systems Project) y WorldFIP cada uno promoviendo su propia versión del bus de campo, olvidando por completo la existencia de los estándares propuestos, en el primer grupo estaban fabricantes como Siemens, Fisher-Rosemount, Foxboro y Yokogawa. En el segundo Allen-Bradley, HoneyWell, Square D y diversas empresas. En 1994 ambos grupos se unieron en la Fieldbus Foundation. La disputa ha permanecido vigente a través de los años y la norma del bus universal nunca se acaba de generar, mientras tanto aparecen nuevas opciones como CAN, LonWorks, SDS, etc. Es ambiguo e incomprensible que empresas participantes en el debate generaban en paralelo soluciones propias, como es el caso de Allen-Bradley con DeviceNet y HoneyWell con SDS. Aparentemente sólo los usuarios

están realmente interesados en la obtención de normas de uso general y es evidente que los fabricantes luchan por su cuota de mercado, el panorama sugiere que sólo están a favor de una norma cuando esta recoge características de su propia tecnología, esta situación podría ser debido a los altos costos necesarios en el desarrollo de un bus industrial normalizado [kaschel y pinto 06] [Quiminet].

1.7. REDES DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES EN COLOMBIA

Las compañías Colombianas en búsqueda de optimizar sus procesos productivos implementan y usan tecnologías de punta en el área de producción, las grandes y medianas empresas automatizan sus procesos con ayuda de PLCs y las empresas pequeñas están en el camino de la automatización aplicando en sus procesos controladores lógicos programable, Siendo los más usados en Colombia los de Allen Bradley y Siemens. En cuanto a redes de comunicaciones industriales las empresas usan diferentes tecnologías y tratan de seguir una tendencia en particular.

Soportándose en una consulta realizada a ingenieros integradores de tecnologías de automatización en empresas del país se pudo conocer que muchas empresas colombianas usan redes de comunicación industriales, a continuación se presenta algunos ejemplos de redes de bus de campo en empresas Colombianas las cuales se registran en la tabla1.

Tabla 1. Redes de comunicaciones industriales en Colombia

Red	Empresas que usan actualmente estas tecnologías de comunicación
ProfiBus	Centelsa, Bavaria, Refisal, Ecopetrol, ILC (industria licorera del cauca)
DeviceNet	Alpina, Colanta, Centelsa, Industrias Aliadas Ibagué, Bavaria, Refisal, Colgate, Ecopetrol, Industrias del Maíz
ASI	Alpina, Colanta, Industrias Aliadas Ibagué, Bavaria
DH+	Terpel (Bucaramanga), Colgate
EtherNet	Alpina, Colanta, BP, Global Crossing, Federación De Cafeteros (Manizales), Industrias Aliadas Ibague, Petrobras (Huila)
DH485	Empacor, Terpel (Bucaramanga)
Modbus	Global Crossing, BP
ControlNet	BP(ControlNet redundante), Ingenios (Manuelita, Providencia), Ecopetrol
HART	Ecopetrol
FieldBus	Ecopetrol

Fuente: [ANACONA, RODRÍGUEZ, VIDAL y ZÚÑIGA].

1.8. ALGUNAS TECNOLOGÍAS NUEVAS

NetLinx. Es una tecnología que permite simplificar las comunicaciones con un solo protocolo abierto, cubre todas las áreas de la pirámide CIM, mejorando así la flexibilidad, productividad, y generando una reducción significativa en los costos de implementación. Utiliza el protocolo CIP (protocolo industrial común)...véase el anexo G...con apoyo de ODVA (*Open DeviceNet Vendor Association*) [Rockwell Automation], similar a esta tecnología está Schneider con (*Transparent Factory*), Siemens Simatic Net (dentro de *Totally Integrated Automation*) y Omron con (Solución Global de Comunicaciones).

Opto 22. Una tecnología de comunicación Ethernet de amplias repercusiones en la Industria, es la provista por la empresa Americana Opto22 en su producto bandera denominado PAC (Controlador de Automatización Programable) este, a diferencia del conocido PLC, es un instrumento que le da más preponderancia a Comunicar que a Controlar, por lo que implementar una red de dispositivos PAC es una tarea elemental con Opto 22. En Colombia Sincron S.A. es la empresa que representa y comercializa la tecnología Opto 22, sus principales clientes son las empresas del sector petrolero, como ECOPETROL y PETROBRAS, igualmente existen instalaciones de redes Ethernet – Opto22 en siderúrgicas como CIDELPA y en comercializadoras como TERPEL (Flórez 08).

2. ANÁLISIS DE LAS REDES DE BUS DE CAMPO

Las redes de comunicaciones industriales juegan un papel muy importante en el ambiente industrial, permiten la comunicación entre dependencias de la empresa, y son usadas también para controlar y supervisar los procesos productivos. Los buses de campo son una parte muy importante dentro de las redes de comunicaciones industriales, se hace énfasis en los buses de campo porque es uno de los temas principal de este documento. La diferencia entre buses de campo y redes de comunicaciones industriales radica en que las redes de comunicaciones industriales abarca todos los niveles de la pirámide de comunicación, mientras que un bus de campo hace parte de estas redes y está ubicado en los niveles más bajos de la jerarquía CIM... Ver la figura 13...

Utilizando como referencia la pirámide CIM tratada en la sección 1.2 de este documento se presenta un breve resumen de las redes industriales, destacando dentro de estas las redes de bus de campo más comunes a nivel mundial.

2.1. TIPOS DE REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

Las redes de comunicaciones industriales están ubicadas a través de la pirámide de comunicaciones y según el nivel de la pirámide CIM son denominadas:

2.1.1. Red de Factoría

Son redes de oficina diseñadas para comunicar departamentos como: contabilidad, administración, ventas, gestión de pedidos, almacén, etc. Generalmente son basadas en la tecnología Ethernet y se conectan a Internet a través de un firewall para proteger la red interna de un posible ataque exterior. Son dedicadas a la transferencia de ficheros, proceso de transacciones e intercambian grandes volúmenes de información inherente a las áreas mencionadas en esta sección, donde el tiempo real no es crítico.

2.1.2. Red de Planta

La función de esta red es comunicar módulos y células de fabricación entre sí y con departamentos como diseño o planificación. La información manejada es administrada y controlada por aplicaciones SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), ya sea en forma centralizada o distribuida según la arquitectura implementada en la empresa. En estas redes el tráfico de datos es muy variable y van desde mensajes cortos de órdenes de ejecución hasta mensajes interactivos de terminales de operarios. Estas redes se soportan en el protocolo MAP (*Manufacturing Automation Protocol*). En la práctica se emplean soluciones clásicas Ethernet o Token Ring, por su bajo costo y reconocimiento en la industria que permiten una fácil implementación.

2.1.3. Red de Célula

La principal función de estas redes es interconectar dispositivos de control que operan en modo secuencial (PLCs). Estas redes gestionan mensajes, manejan tráfico de eventos discretos, pueden transmitir mensajes prioritarios entre otras características. Generalmente son redes de 50 o 60 dispositivos que en muchos casos están comunicadas con diferentes redes propietarias al mismo tiempo.

Estas redes suelen ser agrupadas en las siguientes categorías:

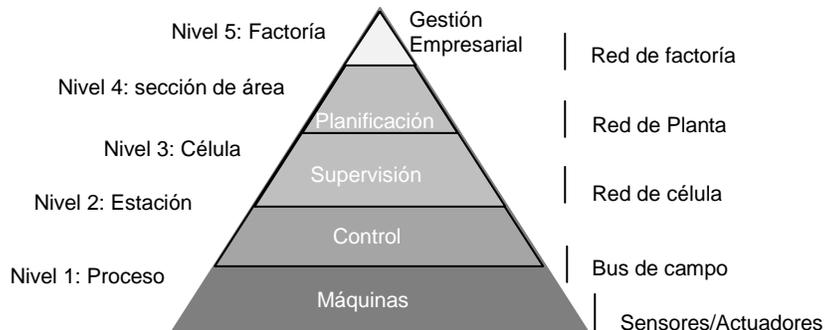
- **Redes de autómatas o redes de PLCs.** (generalmente dependen del fabricante) en esta categoría se encuentran redes como: **Jnet, Jbus, Modbus, Uni-Telway, DH485.**
- **Redes locales heterogéneas.** como **LAC-1, LAC-2.**
- **Redes normalizadas.** las más representativas de esta categoría son **Mini-MAP** que resulta de una simplificación de MAP, para aprovechar las características de tiempo real de este protocolo y **PROWAY** (Process Data Highway) formado por una topología en bus y dotado de un mecanismo de acceso por paso de testigo, cuyos aspectos funcionales están orientados a su aplicación en control de procesos.

- **Redes de propósito general.** Sin duda alguna Ethernet es una de las más comunes en la industria, muchos de los dispositivos industriales modernos disponen de comunicación Ethernet para poder comunicarse con alguna o varias de las categorías antes mencionadas. Es importante tener en cuenta que existen dispositivos que permiten pasar de un protocolo a otro facilitando la integración de dispositivos de diferentes fabricantes.

2.1.4. Red de Bus de Campo

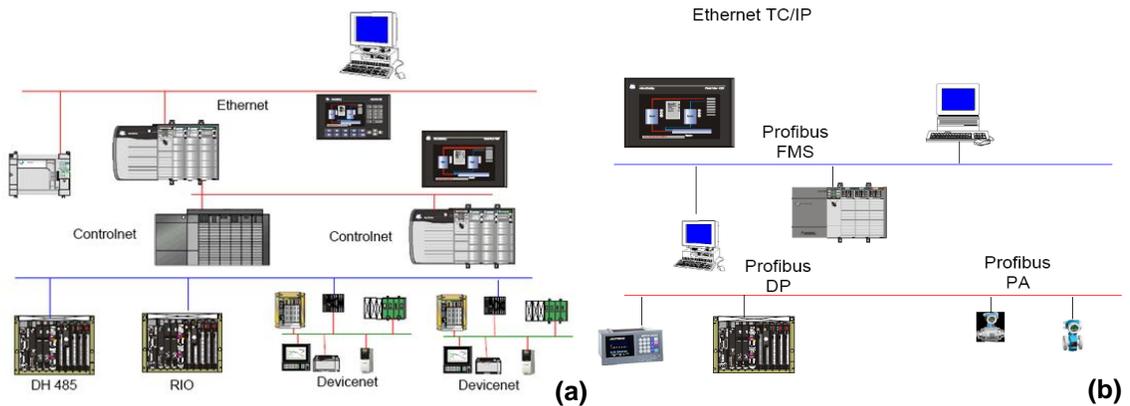
Son las redes de comunicaciones industriales localizados en la parte más baja de la pirámide CIM, procesan la información que envían y/o reciben los dispositivos de campo, cada dispositivo de campo es un dispositivo inteligente y puede llevar a cabo funciones propias de control, mantenimiento y diagnóstico. La figura 13 relaciona la jerarquía CIM y las redes mencionadas en este capítulo mostrando las áreas de cobertura de los diferentes tipos de redes.

Fig. 13. La pirámide CIM y las redes de comunicación industrial



Las redes de bus de campo ubicadas en los niveles mas bajos de la pirámide CIM pueden interconectarse con otras redes de niveles superiores de la jerarquía CIM, existen múltiples arquitecturas definidas o sugeridas por los fabricantes de cada tecnología, la figura 14 es un ejemplo que representa dos implementaciones típicas: americana y europea respectivamente. La figura 14 (a) describe una implementación americana donde en el nivel mas bajo se ubica DeviceNet, a nivel de célula está ControlNet y en el nivel superior Ethernet. La figura 14 (b) es una implementación europea conformada por ProfiBus y Ethernet.

Fig. 14. Ejemplo de redes industriales en los 5 niveles de la pirámide CIM.

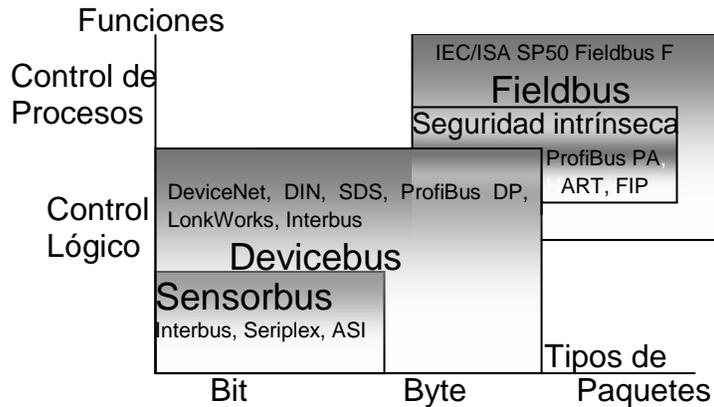


Fuente: [murillo 05]

2.2. TIPOS DE REDES DE BUS DE CAMPO

Para comprender los diferentes tipos de bus de campo se han dividido en tres áreas según la función y el tamaño de los datos manejados: Sensorbus, Devicebus y Fieldbus. En el nivel más bajo, se ubican los buses de sensores (Sensorbus), generalmente a nivel de bit, para dispositivos simples *on-off* (E/S). Según la figura 15 entre los buses de sensores y los buses de campo están los buses de dispositivos (Devicebus), estos son redes de PLCs o computadores. Finalmente están los protocolos de mayor nivel, por lo general denominados buses de campo (Fieldbus), son basados en señales digitales y soportan sofisticada instrumentación de medición y control [Murillo 05].

Fig. 15. Diferentes tipos de bus de campo y sus aplicaciones



Referencia: [Murillo 05] [López 06].

2.2.1. La red Sensorbus

(Datos en formato de bits, alta velocidad y baja funcionalidad) Esta red conecta directamente instrumentos simples como finales de carrera, fotocélulas, relés y actuadores. Los instrumentos o equipos de este tipo de red necesitan comunicación en tiempo real y son típicamente sensores y actuadores de bajo costo que suelen cubrir normalmente la capa física y de enlace del modelo OSI. Estas redes generalmente no cubren grandes distancias; su principal preocupación es mantener los costos de conexión tan bajos como sea posible. Algunos ejemplos típicos son: Sensorbus: Serioplex, ASI, CAN e Interbus [Murillo 05] [ferrari 05].

2.2.2. La red DeviceBus

(Datos en formato de bytes, alta velocidad y funcionalidad media) Son redes de transferencia en tiempo real, pueden cubrir distancias de hasta 500 m, algunas de estas redes admiten la transferencia de bloques de datos con una menor prioridad que permiten la configuración, calibración o programación de dispositivos. Son buses capaces de controlar dispositivos de campo complejos, de forma eficiente y a un bajo costo. Algunos ejemplos de redes Devicebus son: DeviceNet, SDS (*Smart Distributed System*), Profibus DP, LonWorks, Interbus, BitBus y DIN [Murillo 05].

2.2.3. La red FieldBus

(Datos en formato de paquetes de mensajes, altas prestaciones) Son redes capaces de soportar comunicaciones a nivel de toda la factoría, en muy diversos tipos de aplicaciones, interconecta equipos de E/S más inteligentes y puede cubrir mayores distancias. Los equipos acoplados a la red poseen inteligencia para desempeñar funciones específicas de control, tales como lazos de control PID, control de flujo de información etc. Los tiempos de transferencia pueden ser largos, pero la red debe ser capaz de comunicar varios tipos de datos (discretos, analógicos, parámetros, programas e informaciones del usuario). Ejemplo de estas redes: IEC/ISA SP50, Fieldbus Foundation, Profibus PA, FIP (*Factory Instrumentation Protocol*) y HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) [Murillo 05].

Algunas de estas redes Incluyen modificaciones en la capa física para cumplir con los requisitos específicos de seguridad intrínseca en ambientes con atmósferas explosivas, la seguridad intrínseca es un tipo de protección que impide que el dispositivo provoque explosiones debido a chispas en atmosferas industriales explosivas. Algunos ejemplos de redes con seguridad intrínseca HART, Profibus PA y FIP [Murillo 05].

2.3. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE ALGUNAS REDES DE BUS DE CAMPO

Con el fin de facilitar una referencia que sirva como marco de selección de buses de campo se toman los buses de campo más comunes mencionados en este documento se hace una breve descripción de sus principales características para proporcionar una idea general de cada tecnología.

2.3.1. Redes SensorBus

Seriplex. Es un bus de diseño simple, fácil de instalar y los costos de totales de instalación están entre 40 y 70% menos que otras tecnologías, el bus de control Seriplex es una tecnología de red creada en 1990 que ofrece un sistema de E/S distribuido rápido y sencillo para intercambiar datos entre diversos elementos en control de procesos o fabricación (Seriplex). La tabla 2 lista las características más importantes de Seriplex.

Tabla 2. Características de Seriplex

Desarrollador	APC
Año	1990
Estándar	Especificación Seriplex
Abierto	Chips disponibles y múltiples interfaces
Topología	Anillo bus estrella
Medio físico	Cable blindado Cuatro conductores alimentación y datos
Numero de nodos	<i>throughput</i> 0.4 msec Para 32 sensors y 32 actuators o 5msec Para 510I/O
Máxima distancia	5,000ft
Métodos de comunicación	Master/Slave per to per
Velocidad de transmisión	throughput time is 0.4 msec for 32 sensors plus 32 actuators
Tamaño de datos	200Mbps
Método de arbitración	<i>zonal multiplexing</i>
Chequeo de errores	Fin de trama y echo check
Diagnostico	Problemas de cableado

ASI. (*Actuator Sensor Interface*) es un bus de campo desarrollado inicialmente por Siemens, para la interconexión de actuadores y sensores binarios. Actualmente está regido por el estándar IEC TG 17B. A nivel físico la red puede adoptar cualquier tipo de

topología (bus, árbol, estrella o en anillo), permite la interconexión de 31 esclavos con una longitud máxima de 100 metros en cada segmento, dispone de repetidores que permiten la unión de hasta tres segmentos, y sirven de puentes hacia redes ProfiBus. Como medio físico de transmisión emplea un único cable que permite tanto la transmisión de datos como la alimentación de los dispositivos conectados a la red. Para lograr inmunidad al ruido la transmisión se hace basándose en una codificación Manchester [Quiminet]. Cada esclavo dispone de hasta 4 entradas/salidas lo que hace que la red pueda controlar hasta 124 E/S digitales. La comunicación sigue un esquema maestro/esclavo, en la cual el maestro interroga a las estaciones enviándoles mensajes (telegramas) de 14 bits y el esclavo responde con un mensaje de 7 bits. La duración de cada ciclo pregunta-respuesta es de 150 ms. En cada ciclo de comunicación se deben consultar todos los esclavos, añadiendo dos ciclos extras para operaciones de administración del bus [Quiroga 08]. En la tabla 3 se lista algunas de las características más importantes de ASI.

Tabla 3 Características de ASI

Desarrollador	Consortio ASI
Año	1993
Estándar	Se somete a IEC TG 17B
Abierto	Productos en el mercado
Topología	Bus anillo árbol estrella
Medio físico	2 cables
Numero de nodos	31 esclavos
Máxima distancia	100m y 300 con repetidores
Métodos de comunicación	Master/slave
Velocidad de transmisión	167 Kbit/s (constant)
Tamaño de datos	31 esclavos con 4 entradas y cuatro salidas
Método de arbitración	Maestro esclavo con cyclic polling
Chequeo de errores	Codificación manchester
Diagnostico	Falla en el dispositivo, falla en el esclavo

CAN. Es un protocolo de comunicaciones basado en una arquitectura en bus para la transferencia de mensajes en ambientes distribuidos. Originalmente concebido para aplicaciones en el área automotriz rápidamente despertó una creciente atención en el área de control y automatización industrial. Entre sus fortalezas el bus CAN considera una arquitectura Multimaestro, capaz de proveer características de respuesta en tiempo real y tolerancia a fallas en la recepción de mensajes y mal funcionamiento de los nodos. CAN está estructurado de acuerdo con el modelo OSI en una arquitectura de dos capas (física y de enlace). Existen diferentes opciones para la capa de aplicación de CAN

(CANOpen, SDS, DeviceNet y CAN Kingdom) debido a que algunos desarrolladores de sistemas de comunicaciones industriales soportados en el protocolo CAN adicionaron la capa de aplicación para crear un nuevo sistema de comunicaciones industriales. Existen dos implementaciones hardware de CAN (Basic CAN y Full Can), aunque la comunicación en ambas es idéntica y son compatibles entre sí, esto permite administrar el uso del bus en función de las necesidades de cada nodo.

Basic CAN. En esta implementación se da un vínculo muy fuerte entre el dispositivo controlador CAN y el microcontrolador asociado. El microcontrolador es interrumpido para tratar con cada uno de los mensajes CAN. Cada nodo transmitirá sólo cuando se produzca un evento en alguna de las señales que le conciernen.

Full CAN. Contiene dispositivos hardware adicionales que proporcionan un servidor que automáticamente recibe y transmite los mensajes CAN, sin necesidad de interrumpir al microcontrolador asociado, reduciéndose así la carga del mismo.

Existen dos especificaciones CAN CAN 2.0A y CAN 2.0B son las normas internacionales ISO 11519-2 para aplicaciones de velocidades bajas e ISO 11898 para aplicaciones de velocidad altas. La descripción de ISO/OSI sobre especificación de CAN 2.0A y 2.0B están más orientada a los requisitos de fabricación de controladores CAN. (Kaschel y Pinto) [Quiminet]. La tabla 4 contiene las características más representativas de este protocolo.

Tabla 4 Características de CAN

Desarrollador	Bosh
Año	1995
Estándar	ISO 11898
Abierto	17 vendedores de chips, 300 vendedores de productos, especificación abierta
Topología	Bus
Medio físico	Par trenzado opcional señal y alimentación
Numero de nodos	127
Máxima distancia	25-1000m dependiendo el <i>Baud Rate</i>
Métodos de comunicación	Master/slave peer to peer multi master multicast
Velocidad de transmisión	(10 Kbps-1 Mbps)
Tamaño de datos	8 byte mensaje variable
Método de arbitración	Carrier sense multiple Access (CSMA)
Chequeo de errores	15 bits CRC
Diagnostico	mensajes de emergencia, cable roto, cortocircuito, falla dispositivo

Interbus. Es una red de sensores/actuadores distribuidos para sistemas de fabricación y control de procesos continuos. Es un sistema maestro/esclavo abierto de altas prestaciones, y de topología en anillo. Interbus no está respaldada por los grandes fabricantes de PLCs, sin embargo alrededor de setecientos (700) desarrolladores de dispositivos de campo se soportan en este protocolo. Un sistema basado en Interbus está compuesto por una tarjeta de control instalada en un PC industrial o en un PLC que se comunica con un conjunto de dispositivos de entrada/salida. Es un sistema europeo especificado por el estándar EN50254 de 1997 [interbus] [Universidad De Valencia] [Quiminet]. La tabla 5 lista las características más relevantes de Interbus.

Tabla 5 Características de Interbus

Desarrollador	Phoenix contact interbus club
Año	1984
Estándar	DIN 19258 EN 50.254
Abierto	mas de 400 fabricantes de productos
Topología	Bus
Medio físico	Par trenzado fibra óptica
Numero de nodos	256
Máxima distancia	12.8Km
Métodos de comunicación	Master/slave
Velocidad de transmisión	500Kbits/s
Tamaño de datos	1-64bits datos, 256bits de parámetros
Método de arbitración	Ninguno
Chequeo de errores	16 bits CRC
Diagnostico	Localización de segmento o CRC errores y cable roto

2.3.2. Redes DeviceBus.

DeviceNet. Es una red abierta creada por Rockwell Automation en 1993. Las especificaciones y protocolo de la red son abiertos, lo cual significa que los suministradores no tienen que comprar accesorios, software ni derechos a licencias para conectar los dispositivos a un sistema de comunicaciones DeviceNet. Algunas de las características más especiales son posibilidad de conectar dos o tres repetidores en cascada, popularidad mundial, etc. [Saucedo] [Quiminet]. La tabla 6 presenta algunas características básicas de DeviceNet, para más información...véase el anexo G...

Tabla 6 Características de DeviceNet

Desarrollador	Allen Bradley
Año	1994
Estándar	ISO 11898 y 11519
Abierto	Más de 17 vendedores de chips y 300 de productos. Especificación abierta
Topología	Bus
Medio físico	Par trenzado (alimentación y datos)
Numero de nodos	64
Máxima distancia	Máximo 500m depende del baud rate, 6Km con repetidores
Métodos de comunicación	Master/slave, multimaestro y peer to peer
Velocidad de transmisión	500 250 125 Kbits/s
Tamaño de datos	8byte
Método de arbitración	Carrier sense multiple access
Chequeo de errores	CRC
Diagnostico	Monitoreo del bus

SDS. Es junto con DeviceNet y CAN Open uno de los buses de campo basados en CAN más extendidos. Fue desarrollado por Honeywell en 1989. Se ha utilizado sobre todo en aplicaciones de sistemas de almacenamiento, empaquetado y clasificación automática. Se define una capa física que incluye alimentación de dispositivos al igual que DeviceNet. La capa de aplicación define auto diagnóstico de nodos, comunicación por eventos y prioridades de alta velocidad [López 06] [Quiminet]...véase La tabla 7...

Tabla 7 Características de SDS

Desarrollador	Honeywell
Año	1994
Estándar	Honeywell Specification, basado en IEC, ISO11989
Abierto	Más de 17 vendedores de chips, más de 100 productos.
Topología	Bus
Medio físico	Par trenzado (alimentación y datos)
Numero de nodos	64
Máxima distancia	Máximo 500m depende del Baud Rate
Métodos de comunicación	Master/slave, multimaestro, peer to peer y multicast
Velocidad de transmisión	500 250 125 Kbits/s y 1Mbps
Tamaño de datos	8byte
Método de arbitración	Carrier sense multiple access
Chequeo de errores	CRC
Diagnostico	Monitoreo del bus

LONWORKS. Es una red abierta desarrollada y comercializada por la empresa norteamericana Echelon está basada en el protocolo LonTalk y soportado sobre el NeuronChip, alrededor de estas marcas se ha construido toda una estructura de productos y servicios, hábilmente comercializados y dirigidos al mercado del control distribuido, Domótica, edificios inteligentes, control industrial, etc. El protocolo LonTalk

cubre todas las capas OSI, se soporta en hardware y firmware sobre el NeuronChip. Se trata de un microcontrolador que incluye el controlador de comunicaciones y toda una capa de firmware que además de implementar el protocolo ofrece una serie de servicios que permiten el desarrollo de aplicaciones en el lenguaje Neuron C, una variante de ANSI C. Motorola y Toshiba fabrican el NeuronChip, además Echelon ofrece la posibilidad de abrir la implementación de LonWorks a otros procesadores. La red Lonworks ofrece una variada selección de medios físicos y topologías de red: par trenzado en bus, anillo y topología libre, fibra óptica, radio, transmisión sobre red eléctrica etc. Echelon ofrece herramientas de desarrollo, formación, documentación y soporte técnico [Universidad De Valencia] [López 06] [Quiminet]. Las características más importantes de este protocolo son listadas en la tabla 8.

Tabla 8 Características de LonWorks

Desarrollador	Echelon
Año	1991
Estándar	-
Abierto	Documentación del protocolo disponible al publico
Topología	Bus estrella anillo
Medio físico	Par trenzado o fibra óptica
Numero de nodos	32,000
Máxima distancia	2000m a 78Kbps
Métodos de comunicación	Master/slave, peer to peer
Velocidad de transmisión	1.25 Mbs
Tamaño de datos	228bytes
Método de arbitración	Carrier sense multiple Access (CSMA)
Chequeo de errores	16bit CRC
Diagnostico	Base de datos de errores CRC y errores del dispositivo

BitBus. Introducido por Intel a principios de los 80 es un bus maestro/esclavo soportado sobre RS485 y normalizado por IEEE- 1118. Debido a su sencillez ha sido adoptado en redes de pequeños fabricantes o integradores y en su capa de aplicación se puede percibir la gestión de tareas distribuidas. Intel ha desarrollado un Chip, integrando todas las funciones de comunicación, ofreciendo así a los desarrolladores de dispositivos un acceso fácil a esta tecnología. Existe una organización europea de soporte (Bitbus European User's Group) encargada de promover esta tecnología [Saucedo] [López 06] [Quiminet].

Profibus DP. (*Process Field Bus*) Es un protocolo alemán que define las características técnicas y funcionales de un bus de campo, permite interconectar dispositivos de campo e instrumentos de nivel medio (celdas), a través de tres diferentes variantes que lo conforman (DP, PA y FMS). La tabla 9 define algunas de las características más importantes de Profibus DP, la sección 2.5 trata con más detalle los tres perfiles de de Profibus.

Tabla 9 Características de Profibus DP

Desarrollador	Siemens
Año	1994
Estándar	EN 50170 / DIN 19245 part 3(DP) /4
Abierto	ASICs de Siemens y Profichip, más de 300 vendedores de productos
Topología	Bus estrella anillo
Medio físico	Par trenzado o fibra óptica
Numero de nodos	127
Máxima distancia	100m entre segmentos, 24Km total
Métodos de comunicación	Master/slave, peer to peer
Velocidad de transmisión	DP: 9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500 Kbps
Tamaño de datos	0-244byte
Método de arbitración	Token passing
Chequeo de errores	HD4 CRC
Diagnostico	Diagnostico de canal y del modulo

2.3.3. Redes FieldBus.

IEC/ISA SP50. Es un protocolo abierto desarrollado por ISA y FieldBus Foundation a mediados de los 90, cubre los siete niveles OSI y adicionalmente tiene un octavo nivel que se enfoca en labores de interoperabilidad entre dispositivos, con una velocidad de transmisión de 31.25 kbit/sec, 1 Mbit/sec y 2.5 Mbit/sec que depende de la distancia recorrida por el medio físico, este bus de campo está orientado a la interconexión de dispositivos en la industria de procesos continuos.

Tabla 10 Características de IEC/ISA SP50

Desarrollador	ISA y Fieldbus F
Año	1992-1996
Estándar	IEC 1158/ANSI 850
Abierto	Múltiples chips disponibles
Topología	Bus o estrella
Medio físico	Par trenzado fibra óptica y radio
Numero de nodos	IS 3-7
Máxima distancia	1700m a 31.25Kbps y500m a 5Mbps
Métodos de comunicación	Cliente/servidor
Velocidad de transmisión	31.25Kbps
Tamaño de datos	64 Octetos
Método de arbitración	Schedule
Chequeo de errores	16 bits CRC
Diagnostico	Configurable

Fieldbus Foundation. Es un bus Normalizado como ISA SP50, IEC-ISO 61158 orientado a la interconexión de dispositivos en la industria de procesos continuos, su desarrollo ha sido apoyado por importantes fabricantes de instrumentación (Fisher-Rosemount, Foxboro), en la actualidad existe una asociación de fabricantes (Fieldbus Foundation) que utilizan este bus.

En su nivel H1 de la capa física sigue la norma IEC 11158-2 para comunicación a 31,25 Kbps, por lo tanto es compatible con ProfiBus PA, su principal competidor. Se soporta sobre par trenzado y es posible la reutilización de los antiguos cableados de instrumentación analógica 4-20 mA, utiliza comunicación síncrona con codificación Manchester Bifase-L. La capa de aplicación utiliza un protocolo sofisticado, orientado a objetos con múltiples formatos de mensaje. Utiliza diversos mensajes para gestionar comunicación (paso de testigo, comunicación cliente-servidor, modelo productor-consumidor etc.). Existen servicios para configuración, gestión de diccionario de objetos en nodos, acceso a variables, eventos, carga descarga de ficheros y aplicaciones, ejecución de aplicaciones, etc. El nivel H2 está basado en Ethernet de alta velocidad [Murillo, Hernández y Rocha 05] [López 06]. Las características más importantes de este protocolo se registran en la tabla 11 de esta sección.

Tabla 11 Características de FieldBusF H1

Desarrollador	FieldBus F
Año	1995
Estándar	ISA SP50/IEC 61158
Abierto	chips software y productos de múltiples vendedores
Topología	Bus o estrella
Medio físico	Par trenzado fibra óptica
Numero de nodos	240 por segment en 65,000
Máxima distancia	1900m a 31.25K
Métodos de comunicación	Cliente/servidor publisher/ subscriber, Event notification
Velocidad de transmisión	31.25Kbps
Tamaño de datos	128 Octetos
Método de arbitración	Schedule multiple backup
Chequeo de errores	16 bits CRC
Diagnostico	Diagnostico remoto, monitoreo de red, estado de parámetros

FIP- WorldFIP. Desarrollado en Francia a finales de los ochenta y normatizado por EN 50170, que también cubre Profibus. Cubre tres capas del modelo OSI (física, Enlace y aplicación) su capa física y de aplicación son análogas a las de FieldBus Foundation H1 y Profibus PA. La división Norteamérica de WorldFIP se unió a mediados de los noventa a la Fieldbus Foundation en el esfuerzo por la normalización de un bus industrial común. Utiliza un modelo productor-consumidor con gestión de variables cíclicas, eventos y mensajes genéricos [López 06] [Quiminet]. La tabla 12 exhibe algunas de las características más relevantes de este protocolo.

Tabla 12 Características de FIP WorldFIP

Desarrollador	WorldFIP(francia)
Año	1988
Estándar	IEC 1158-2
Abierto	Multiples vendedores de productos
Topología	Bus
Medio físico	Par trenzado o fibra óptica
Numero de nodos	256
Máxima distancia	Mayor de 40Km
Métodos de comunicación	peer to peer
Velocidad de transmisión	31.25 kbps, 1 y 2.5 Mbps, 6 Mbps fibra óptica
Tamaño de datos	Sin limite 128bytes variables
Método de arbitración	Central arbitration
Chequeo de errores	16bit CRC
Diagnostico	Mensaje de dispositivo fuera de tiempo

Profibus PA...En el 5to.parafo de la sección 2.3.2...se mencionó de forma muy general el protocolo Profibus con la finalidad de tratar en una sección aparte los tres perfiles de este protocolo de forma más profunda y concisa, la tabla 13 lista las características básicas de ProfiBus PA para mayor información de este protocolo...véase la sección 2.4.6...

Tabla 13 ProfiBus PA

Desarrollador	Siemens
Año	1995
Estándar	IEC 1158-2
Abierto	ASICs de Siemens y Profichip, más de 300 vendedores de productos
Topología	Bus estrella anillo
Medio físico	Par trenzado o fibra óptica
Numero de nodos	127
Máxima distancia	100m entre segmentos, 24Km total
Métodos de comunicación	Master/slave, peer to peer
Velocidad de transmisión	31.25Kbps
Tamaño de datos	0-244byte
Método de arbitración	Token passing
Chequeo de errores	HD4 CRC
Diagnostico	Diagnostico de canal y del modulo

2.4. OTRAS REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

Estas redes se tratan en este documento para complementar y aclarar determinados temas concernientes a las redes de comunicaciones industriales, algunas de las tecnologías tratadas en esta sección no pertenecen a los buses de campo pero se consideran importantes en las comunicaciones industriales y hacen parte de la jerarquía CIM.

2.4.1. Industrial Ethernet

La norma IEEE 802.3 basada en la red Ethernet de Xerox se ha convertido en el método más extendido para interconexión de computadores personales en redes de proceso de datos. En la actualidad se vive una auténtica revolución en cuanto a su desplazamiento hacia las redes industriales. Diversos buses de campo establecidos como: ProfiBus, Modbus, Rockwell etc. han adoptado Ethernet como red apropiada para los niveles superiores de la pirámide CIM [López 06]. Parece difícil que Ethernet tenga futuro a nivel de sensor, aunque puede aplicarse en nodos que engloban conexiones múltiples de entrada-salida, ejemplo los PAC de Opto 22.

2.4.2. ARCNet

Originalmente desarrollada como red para proceso de datos en los años 70 ARCNet ha encontrado aplicación en el mundo industrial. Su técnica de paso de testigo hace que sea predecible, determinista y robusta, está normalizada como ANSI/ATA 878. 1, tiene una velocidad de comunicación de 2,5 Mbps con paquetes del 0 a 512 bytes, Soporta

topología en bus y estrella y diversos medios físicos (cable coaxial, par trenzado, fibra óptica) [López 06]. Es una red muy apropiada para un nivel intermedio en la pirámide CIM. Algunos fabricantes proponen como jerarquía ideal para control industrial Ethernet en el nivel superior, ArcNET en el intermedio y CAN al nivel de celda de fabricación.

2.4.3. ControlNet

Es un bus promovido por Allen-Bradley se caracteriza por su alta seguridad, robustez, velocidad 5 Mbps y la distancia máxima de 5 Km, El medio físico está soportado por cable RG6/U y se basa en un controlador ASIC (*Advanced Silicon Integration*) de Rockwell [López 06]. No es soportado por muchos fabricantes y resulta de elevado precio por nodo, se ha utilizado para interconexión de redes de PLCs y computadores industriales en aplicaciones de alta velocidad y ambientes muy críticos, se combina con DeviceNet en el área de dispositivos y Ethernet en el área superior para cubrir los niveles de la jerarquía CIM.

2.4.4. ModBus

En su definición inicial Modbus era una especificación de tramas, mensajes y funciones utilizada para la comunicación con los PLCs de la marca Modicon. Modbus puede implementarse sobre cualquier línea de comunicación serie y permite la comunicación por medio de tramas binarias o ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) con un proceso interrogación-respuesta simple. Modbus Plus define un completo bus de campo basado en técnica de paso de testigo. Se utiliza como soporte físico el par-trenzado o fibra óptica. En la actualidad Modbus es soportado por el grupo de automatización Schneider (Telemecanique, Modicon) [Universidad De Valencia].

2.4.5. HART

Es un protocolo para bus de campo soportado por la HART, Communication Foundation y la Fieldbus Foundation, Su campo de aplicación básico es la comunicación digital sobre las líneas analógicas clásicas de los sistemas de instrumentación, manteniendo éstas en servicio. Sus prestaciones como bus de campo son reducidas [López 06]. Utiliza el bus analógico estándar 4-20 mA sobre el que transmite una señal digital modulada en

frecuencia (modulación FSK 1200-2200 Hz). Transmite a 1200 bps manteniendo compatibilidad con la aplicación analógica inicial y sobre distancias de hasta 3 Km. Normalmente funciona en modo maestro/esclavo. [Quiminet].

2.4.6. ProfiBus

Está normatizado en Alemania por DIN E 19245 y en Europa por EN 50170. El desarrollo y posterior comercialización ha contado con el apoyo de importantes fabricantes como ABB, AEG, Siemens, Klöckner-Moeller, Está controlado por la PNO (*Profibus User Organisation*) y la PTO (*Profibus Trade Organisation*). Existen tres perfiles de profibus:

- **Profibus DP.** (*Decentralized Periphery*). Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLCS) o terminales. Brinda comunicación entre sistemas automáticos de control y E/S distribuidos a nivel de campo.
- **Profibus PA.** (*Process Automation*). Empleado normalmente para control de procesos, cumple normas especiales de seguridad para la industria química o ambientes explosivos (IEC 11158-2, seguridad intrínseca). Es una red de sensores y actuadores conectados a un bus común.
- **Profibus FMS.** (*Fieldbus Message Specification*). usado Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización. La evolución de ProfiBus hacia la utilización de protocolos TCP/IP para enlace al nivel de proceso hace que este perfil esté perdiendo importancia.

Profibus usa diversas capas físicas, ProfiBus DP está basada en EIA RS-485, Profibus PA utiliza la norma IEC 11158-2 (norma de comunicación síncrona entre sensores de campo que utiliza modulación sobre la propia línea de alimentación de los dispositivos y puede utilizar los antiguos cableados de instrumentación 4-20 mA) y para el nivel de proceso se tiende a la utilización de Ethernet. También se contempla la utilización de enlaces de fibra óptica y existen puentes para enlace entre diferentes medios, además de *gateways* que admiten el enlace con otros protocolos. Las distancias potenciales del bus van de 100 m a

24 Km (con repetidores y fibra óptica). La velocidad de comunicación puede ir de 9600 bps a 12 Mbps. Utiliza mensajes de hasta 244 bytes de datos.

Las plataformas hardware utilizadas para soportar Profibus se basan en microprocesadores de 16 bits, más procesadores de comunicaciones especializados o circuitos ASIC (*Advanced Silicon Integration*) como el LSPM2 de Siemens.

Profibus se ha difundido ampliamente en Europa y también tiene un mercado importante en América y Asia. El conjunto Profibus DP- Profibus PA envuelve la automatización de plantas de proceso discontinuo y proceso continuo cubriendo normas de seguridad intrínseca [López 06] [Quiminet].

2.5. PAUTAS O CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UN BUS DE CAMPO

La sección previa realiza un rápido vistazo sobre la amplia variedad y ofertas existentes en tecnologías de redes de comunicación industrial a la fecha, si el usuario final de una red industrial no es un experto en la temática con seguridad, se puede afirmar, que se sentirá abrumado y confundido ante tantas ofertas, características y precios de las diferentes opciones de buses de campo disponibles, por lo que se hace imprescindible contar con elementos de juicio a la hora de seleccionar la red apropiada para una aplicación determinada. Esta sección delinea un conjunto de criterios que tienen como propósito solventar la anterior falencia, criterios que involucran tanto las características inherentes a cada red de bus de campo como las necesidades y preferencias del usuario referentes al proceso productivo sobre el cual se va a implementar el sistema. Los criterios para la selección de un bus de campo son una forma muy general de información pertinente, útil para las tareas iniciales en la aplicación de tecnologías de bus de campo.

Se recomienda seguir estos criterios como una secuencia de pasos que ayudaran a enfocarse en una o varias soluciones viables para la aplicación de un sistema de bus de campo. El primer paso dentro de los criterios es conocer el proceso, este tiene como finalidad definir realmente que es lo que se desea obtener del sistema de comunicaciones de acuerdo a las características propias del tipo de industria y las necesidades del proceso, el segundo paso es conocer las tendencias en el país con respecto al uso de las

diferentes tecnologías de comunicación industrial, teniendo en cuenta que la oferta de buses de campo en el mercado es amplia, pero la selección puede ser limitada a las tendencias impuestas, tendencias originadas debido a los resultados satisfactorios conseguidos por ciertas tecnologías instaladas a nivel mundial, que sirve como referencia y filtro de tecnologías prevaleciendo las más representativas por su desempeño y experiencia en la industria. Finalmente el tercer paso es estudiar las características de las diferentes tecnologías de bus de campo y hacer una comparación entre las mejores opciones considerando los pasos anteriores para definir la más adecuada al caso de estudio.

2.5.1. Conocer el proceso

El tipo de proceso productivo si es de tipo continuo, discreto, o por lotes (*batch*) o una cierta combinación de los anteriores es un elemento que condiciona el tipo de tecnología y la instrumentación presente en el área industrial, esta información es determinante en el uso de una u otra tecnología de bus de campo. Por ejemplo los procesos por lotes son más complejos que los continuos, una solución de comunicaciones para un proceso continuo es más simple, requiere una tecnología de menor complejidad, más baja funcionalidad y un tráfico de datos más reducido que la que normalmente se usaría en un proceso *batch* [HERB 99].

Algunos buses de campo están diseñados para trabajar en áreas específicas de la industria, por ejemplo FieldBus Foundation tiene su mayor campo de aplicación en los procesos continuos, Profibus DP e Interbus en procesos discretos, etc. ésta característica de los buses de campo no restringe la aplicación a estas áreas debido a que no existen procesos completamente continuos o completamente discretos, por lo general estas tecnologías son flexibles y permiten ser usadas en varios campos de aplicación.

Conocer las características de la instrumentación del proceso es un aspecto primordial a la hora de considerar una solución de comunicaciones, de este conocimiento se pueden extraer las condiciones que debe tener el bus de campo a adoptar. Conocer el tipo de tecnologías actualmente instaladas en el complejo industrial, por ejemplo los equipos y dispositivos disponibles como sensores, actuadores, controladores, transmisores, sistemas de comunicación, etc. con el fin de puntualizar si se pueden integrar al sistema o

se debe elegir el bus de campo más idóneo que pueda trabajar con los equipos existentes. Elegir una red de bus de campo compatible con los dispositivos presentes en el proceso representa una disminución en los costos, perceptibles al usar tanto los dispositivos como el software, además del conocimiento base de operación y configuración del sistema.

Es importante tener en cuenta que muchos de los fabricantes de PLCs diseñan dispositivos compatibles con varias redes de bus de campo, como es el caso de Schneider que tiene PLCs Modicon compatibles con Modbus, ASI, Unitelway, ProfiBus, Interbus, DeviceNet, Modbus plus, ETHERNETTCP/IP, Lonworks, Seriplex y CAN Open, otro ejemplo es Siemens que es compatible con ProfiBus DP, ProfiBus PA, FieldBus Foundation etc. Lo que facilita al integrador escoger la tecnología más conveniente en cada caso sin estar obligado a usar una tecnología en particular.

Este criterio engloba una serie de actividades trascendentales en la selección de un bus de campo como son: identificar los dispositivos de la planta que harán parte de la red de comunicaciones (numero, tipo, fabricante, tecnología, etc.), listar los equipos a adquirir, conocer las especificaciones técnicas de cada equipo (alimentación, velocidad de transmisión, potencia etc.), examinar la distancia máxima a cubrir con el bus de campo, inspeccionar el tipo de ambiente industrial si es un proceso con ambiente industrial explosivo o si es corrosivo o si es muy ruidoso debido a interferencias electromagnéticas, verificar la posible existencia de un sistema de comunicaciones implementado con anterioridad para definir si se puede usar como base para la nueva red de comunicaciones o crear una comunicación activa entre estos sistemas, definir los posibles dispositivos a reemplazar si es el caso, etc. En conclusión se debe conocer detalladamente el área de aplicación del sistema, dispositivos disponibles, requerimientos del proceso, instrumentación necesaria etc.

2.5.2. Tendencias en el país

Otro aspecto importante es conocer las tendencias al tipo de buses de campo usados en el país, el cual proveerá una referencia importante de las tecnologías comúnmente implementadas en los diferentes sectores productivos a nivel nacional. Sin duda alguna es un buen aspecto a tener en cuenta en el momento de elegir una red de bus de campo, el

hecho de que empresas con buen reconocimiento decidan elegir una determinada tecnología en particular, puesto que generalmente estas empresas integran tecnologías consolidadas a nivel mundial, con buen soporte técnico y robustez, entre otras características.

Hacer un estudio de las tecnologías más comunes, empleadas en Colombia, es una labor que tiene que realizar quien este en proceso de implementar un sistema de comunicación industrial, claro está que partiendo de un conocimiento previo, basado en experiencia propia o en referencias de quienes tienen experiencia en la integración de estas tecnologías, es más fácil inclinarse por una tecnología en particular, reflejando una disminución en el tiempo de total de puesta en marcha del sistema.

Redes de bus de campo más usadas en Colombia. Soportándose en la experiencia del trabajo desarrollado por ingenieros en Automática Industrial de la Universidad del Cauca, en empresas Colombianas dedicadas a la automatización de procesos e integración de tecnologías de tipo industrial, se puede evidenciar el uso de un amplio número de redes de bus de campo, que generalmente están intercomunicadas con otras redes de más alto nivel. Las tecnologías de comunicaciones industriales predominantes en Colombia son DeviceNet, ASI, ModBus, EtherNet, ControlNet, DH485, FieldBus Foundation y ProfiBus...véase la sección 1.7...Las industrias usan combinaciones de redes de comunicaciones para cubrir los diferentes niveles de la pirámide CIM [Zúñiga 08] [Rodríguez 08] [Vidal 08]. Es importante tener un panorama muy general de la tendencia a nivel mundial sobre redes de comunicación industrial, varias de las más comunes como ProfiBus, FieldBus Foundation y DeviceNet son las más representativas y utilizadas con muy buenos resultados en nuestro país.

2.5.3. Características técnicas de las redes de bus de campo

Se recomienda fuertemente conocer las características técnicas de las diferentes tecnologías de bus de campo, este es otro aspecto de gran importancia en la selección de estos sistemas de comunicaciones, dominar características como: número de nodos velocidad de transmisión distancia máxima etc. de las diferentes opciones se puede

fácilmente definir si una tecnología en particular se adecua o no a las necesidades del usuario.

En si la tarea básica en este punto es hacer una comparación de característica técnicas de las tecnologías de bus de campo resultantes de la aplicación de los pasos anteriores, con el propósito de filtrar el mayor número de opciones de selección, y obtener finalmente un numero reducido de posibilidades, que satisfagan requerimientos de la planta de producción y que cumplan tanto con las expectativas del integrador como también las del cliente o usuario del sistema.

Características técnicas a considerar en la selección de un bus de campo. En la sección 2.4 se presentan ciertas características técnicas básicas de algunas las redes de bus de campo más difundidas y consolidadas a nivel mundial por su robustez, desempeño, soporte técnico etc. Para facilitar una comparación entre características de las diferentes redes de bus de campo...véase la sección 2.5.4...en la que se presenta tablas comparativas de varias tecnologías de comunicación industrial agrupadas según el tipo de de bus de campo, que permite con mayor facilidad la selección de un bus de campo teniendo en cuenta los anteriores criterios. Las características a considerar son:

Fabricante. Se refiere al fabricante u organización responsable de difundir el protocolo, conocer el fabricante es una referencia importante para decidir si adquirir o no el producto. En algunas situaciones la marca es un sinónimo de robustez y alta calidad.

Soporte. Soporte técnico prestado por el fabricante generalmente a través de distribuidores del producto. El soporte técnico es proporcional a la posibilidad de implementación de una tecnología en particular. El número de dispositivos disponibles en el mercado para un determinado bus de campo, es indudablemente un factor a tener en cuenta a la hora de decidirse por un sistema u otro, a mayor número de dispositivos disponibles, se tendrá mayores opciones de selección de un sistema debido a que da mayor flexibilidad a la hora de hacer modificaciones o adicionar dispositivos de diferentes características (nodos de control de motores, pasarelas de comunicación entre diferentes tecnologías, *Encoders*, etc.).

Costos. Costos de la implementación y puesta en marcha del sistema (software y hardware) son quizá una de las características más determinantes en la elección de una tecnología en particular, se debe comparar los costos versus prestaciones de cada opción. Tras la aplicación de los métodos anteriores, se reduce el número de opciones de selección de buses de campo, lo que facilita las tareas de cotización de un número menor de sistemas, teniendo en cuenta que los costos de los equipos no son constantes y se obtienen mediante cotizaciones entregadas por los distribuidores. Se recomienda solicitarlas a cada distribuidor y así obtener los costos de los diferentes dispositivos a adquirir, para determinar cual tecnología es la solución menos costosa, sin perder de vista las prestaciones y las características de desempeño, calidad, soporte, etc.

Estándar. (Abierto o cerrado) especificaciones públicas y disponibles a precios razonables, componentes críticos disponibles como (microcontroladores) pasarelas e interfaces para PC, procesos de validación y verificación disponibles y bien definidos para el usuario, conocer si se necesita obtener licencia para su uso, y si las condiciones de uso son restringidas.

Área de acción. Implica conocer el trabajo que desempeña el sistema en el espacio de trabajo en el que se implementa por ejemplo si es un bus de campo desarrollado para aplicación en sensores y actuadores I/O o para Comunicación entre controladores y/o dispositivos inteligentes.

Escalabilidad. Que implica la posibilidad de ampliarlo sin dificultades, sin que esto signifique algún perjuicio a la estructura pre instalada.

Concurrencia. Básicamente que se pueda realizar rutinas de control simultáneamente en toda la planta.

Tolerancia a fallas. La inclusión de redundancia de comunicación de modo que ni el control ni la comunicación entre equipos fallen o reduciendo al mínimo esta posibilidad.

Medio de transmisión. Tipo de medio físico utilizado para la comunicación: radio, fibra óptica, par trenzado. Según la preferencia y las necesidades del proceso.

Interoperabilidad. Conexión segura de dispositivos de diferentes fabricantes a través de pasarelas e interfaces.

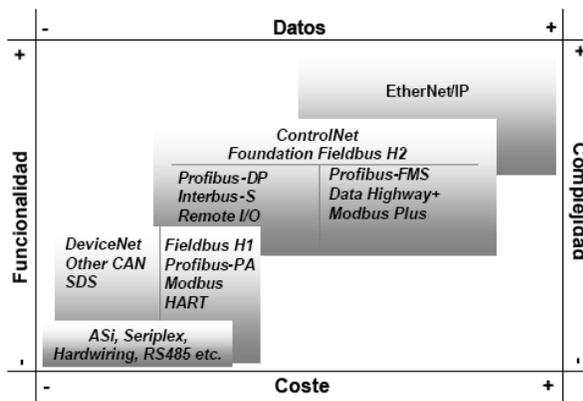
Inter conectividad. Dispositivos de distintos fabricantes funcionan satisfactoriamente en el mismo bus.

Intercambiabilidad. Dispositivos de un fabricante sustituibles por otros de diferente fabricante sin alterar el funcionamiento.

Seguridad intrínseca. Según el tipo de ambiente en el que funcionara el bus de campo podría existir la necesidad de un sistema con protección para ambientes explosivos que impide que el dispositivo provoque explosiones.

La figura 16 muestra algunas características de diversas tecnologías de comunicaciones, características como complejidad, nivel de transferencia de datos por mensaje, costos y funcionalidad, es una representación grafica útil para hacer una comparación rápida entre estas tecnologías.

Fig. 16. Comparación de algunas redes de comunicaciones industriales



Referencia [Universidad de valencia] [Camilla].

2.5.4. Información organizada de alguna redes de bus de campo

Las tablas 14, 15 y 16 desarrolladas en el transcurso de la investigación registran características técnicas de algunas de las tecnologías de bus de campo más

representativas a nivel mundial, características a considerar en la selección de un sistema de bus de campo expuestas en la sección 2.5.3.

Tabla 14. redes de baja funcionalidad

Criterio	Seriplex	ASI	CAN	Interbus Loop
Fabricante	APC.Inc	AS-Interface Consortio(Alemania)	Bosh	Phoenix (Germany)
Soporte	Alto	Alto	Alto	Alto
Costos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Estándar	especificación Seriplex	EN 50295, IEC 62026/2, IEC 947	Iso 11898 Iso 11519-2	DIN 19258, EN 50254/1, IEC 61158 Type 8
Aplicación en sensores actuadores I/O	Si	Si (desarrollada con este objetivo)	Si	Si (via Interbus/Loop)
Aplicación Comunicación entre controladores y/o dispositivos inteligentes	No	No	No	Limitado.
Área de aplicación	Ambiente de manufactura	Particularmente en Procesos industriales	Industria procesos y automotriz	<i>Discrete industry</i>
Escalabilidad	Si	Si	Si	Si
Apertura	Si		Si	
Concurrencia	-	-	-	-
Tolerancia a fallas Estabilidad l sistema	Alta	Alta	Alta	Alta
Disponibilidad de interfaces para PCs	Si	Si (varios vendedores)	Si	Si, vía Phoenix.
Disponibilidad de drivers y SW	Si, chips e interfaces	Si incluida con la <i>PC card</i>	Si	Si incluida con la <i>PC card</i>
Disponibilidad de especificaciones para el usuario	Si	Únicamente para miembros del grupo y para usuarios normales únicamente información básica	Si	puede ser descargada de: www.interbusclub.com
Libros disponibles	-	1	-	8
Medio de comunicación	4 cables datos y alimentación	2 cables (Amarillo cable ASI), Vcc, 2cables adicionales (negro).	4 cables datos y alimentación	4- cables (verde) y Fibra óptica
Longitud máxima	500 ft	300m.	30-5000m	Cada nodo es automáticamente repetidor 13km
Velocidad	200mbps	167 Kbit/s.(constante)	10kbps-1Mbps	500 Kbaud/s, 2 Mbit/s la nueva versión.
Número de nodos máximo	510	31 (V2.0) y 62 (V2.1), Menos cuando se usa análogos o safety I/O.	64	512.
Relación de comunicación entre nodos	Master/slave y Peer to peer	Master/slave un solo maestro	multi-maestro	Master/slave. solo maestro
Interoperabilidad:	-	-	-	-
Topología	Anillo, árbol bus, estrella	Árbol, bus, estrella, anillo	Bus	Árbol, bus, estrella
Interconectividad	-	-	-	-
Intercambialidad	-	-	-	-
Seguridad intrínseca	No	No	No	No.

Tabla 15. Redes de funcionalidad media

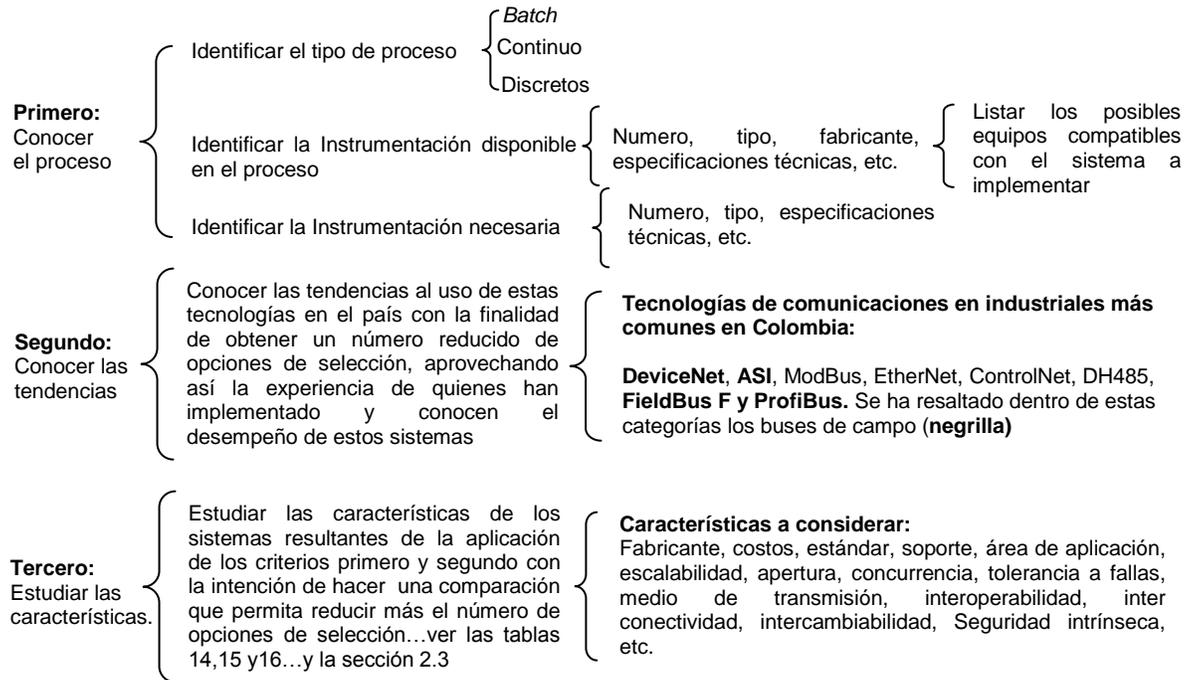
Criterio	DeviceNet,	SDS	Profibus DP	LonWorks	Interbus- S
Fabricante	Allen Bradley	Honeywell	Profibus Consortium (Alemania)	Echelon Corp	Phoenix (Alemania)
Soporte	Si	Si	Si	Si	SI
Costos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Estándar	ISO 11898 y 11519	Honeywell sometido a IEC, ISO11989	EN 50254/2, EN 50170/2, IEC 61158 Type 3, SEMI E54.8	ASHRAE of BACnet	DIN 19258, EN 50254/1, IEC 61158
Aplicación en sensores actuadores I/O	Si	si	No (<i>too complex, and hardware too large</i>)	Si	Si (via Interbus/Loop)
Aplicación Comunicación entre controladores y/o dispositivos Smart	Si	-	Si red de controladores con sensores E/S	-	Limitado.
Área de aplicación	Control de procesos	Sistemas de almacenamiento, empaçado etc.	<i>Discrete industry</i> (DP),	Domotica, control Industrial, ferrocarril	<i>Discrete industry</i>
Escalabilidad	Si	Si	Si	Si	Si
Apertura	Si	Si	Si	Si	Si
Concurrencia	-	-	-	-	-
Tolerancia a fallas Estabilidad del sistema	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Disponibilidad de interfaces para PCs	Si	Si	Si, varios vendedores.	-	Si, via Phoenix.
Disponibilidad de drivers y SW	Si	Si, chips pre programados	Si incluido con la PC card.	-	Si incluida con la PC card
Disponibilidad de especificaciones para usuario	Si pero tiene un costo de \$500US	si	Únicamente para miembros del grupo	Si publicas	puede ser descargada de: www.interbusclub.com
Libros disponibles		-	12	-	8
Medio de comunicación	Cable de cuatro conductores	Par trenzado, señal y alimentación	2-cables (Purpura) y Fibra óptica (via repetidores).	Par trenzado, fibra, <i>power line</i>	Par trenzado fibra, y <i>slip-ring</i>
Longitud máxima	500m	500m	1200m. Repetidores 10 km (cobre) 90 km fibra	2000m @ 78 kbps	400m/ <i>segmen</i> , 12.8 Km total
Velocidad	125, 256 y 512kbs	1Mbps, 500kbps, 250kbps, 125 kbps	9.6 / 19.2 / 93.75 / 187.5 / 500 Kbit/s también soporta 45.45 Kbit/s y 1.5 / 3 / 6 and 12 Mbit/s;	1.25 Mbs full dúplex	500kBits/s, full dúplex
Numero de nodos máximo	64	64 nodos, 126 direcciones	32 (limitación RS485) Repetidores 126 (máximo 125 esclavos)	32,000/ <i>domain</i>	256 nodos
Relación de comunicación entre nodos	Master/slave	Master/slave, peer to peer, multi-cast, multi-master	Master/slave	Master/slave peer to peer	Master/slave with total frame transfer
Interoperabilidad:	-	-	-	-	-
Topología	Bus	Bus	Bus (FMS, DP, PA)	Bus, anillo, <i>loop</i> , estrella	Bus
Interconectividad					
Intercambialidad					
Seguridad intrínseca	No	No	No	-	-

Tabla 16. Buses de campo de alta velocidad

criterio	IEC/ISA SP50	Fieldbus Foundation	Profibus PA	FIP
Fabricante	ISA y Fieldbus F	Fieldbus Foundation	Siemens/PTO	WorldFIP
Soporte	Alto	Alto	Alto	Alto
Costos	Bajos	Bajos	Bajos	Bajos
Estandar	IEC 1158/ANSI 850	ISA SP50/IEC TC65	DIN 19245	IEC 1158-2
Aplicación en sensores/ actuadores I/O	si	Si	Si	Si
Aplicación Comunicación entre controladores y/o dispositivos inteligentes	-	No	-	-
Área de aplicación	Procesos continuos	Procesos continuos	Automatización de procesos	Batch y discretos
Escalabilidad	Si	Si	Si	Si
Apertura	Si	Si	Si	Si
Concurrencia	-	-	-	-
Tolerancia a fallas	Alta	Alta	Alta	Alta
Estabilidad del sistema				
Disponibilidad de interfaces para PCs	Si	Si	Si	si
Disponibilidad de drivers y SW	Si	Si	Si	Si
Disponibilidad de especificaciones para usuario	-	Si	Si	Si
Libros disponibles	-	-	-	-
Medio de comunicación	Par trenzado fibra, y radio	Par trenzado	Par trenzado o fibra	Par trenzado, fibra
Longitud máxima	1700m @ 31.25K 500M @ 5Mbps	1900m @ 31.25K 500m @ 2.5M	24 Km (fibra)	hasta 40 Km
Velocidad	31.25 kbps IS+1, 2.6, 5 Mbps	31.25kbps 1Mbps 2.5Mbps	PA 31.25 kbps	31.25 kbps, 1 & 2.5 Mbps, 6 Mbps fibra
Numero de nodos máximo	IS 3-7 non IS 128	240/segment, 65,000 segments	127 nodos	256 nodos
Relación de comunicación entre nodos	Cliente/servidor <i>Publisher/subscriber</i>	Client/server publisher/ subscriber, Event notification	Master/slave peer to peer	Peer to peer
Interoperabilidad:				
Topología	Estrella o bus	<i>Multidrop with bus powered devices</i>	Bus estrella anillo	Bus
Interconectividad	-	-	-	-
Intercambialidad	-	-	-	-
Seguridad intrínseca	-	-	Si	Si

Como conclusión de las pautas para la selección de un sistema de bus de campo presentadas en este documento, se puede decir que para facilitar la selección de un bus de campo se debe hacer primero un estudio del área de aplicación del sistema y los requerimientos del usuario, posteriormente se debe ir filtrando opciones utilizando como referencia las tecnologías más usadas en Colombia y finalmente comparar las características técnicas de las opciones resultantes del proceso anterior, para definir cual es la más conveniente para integrar al área de aplicación del caso en estudio. Las figura 17 y 18 constituyen el resumen en forma grafica de los criterios de selección de redes de bus de Campo desarrollados en el presente proyecto.

Fig. 17. Criterios para la elección de una red de bus de campo

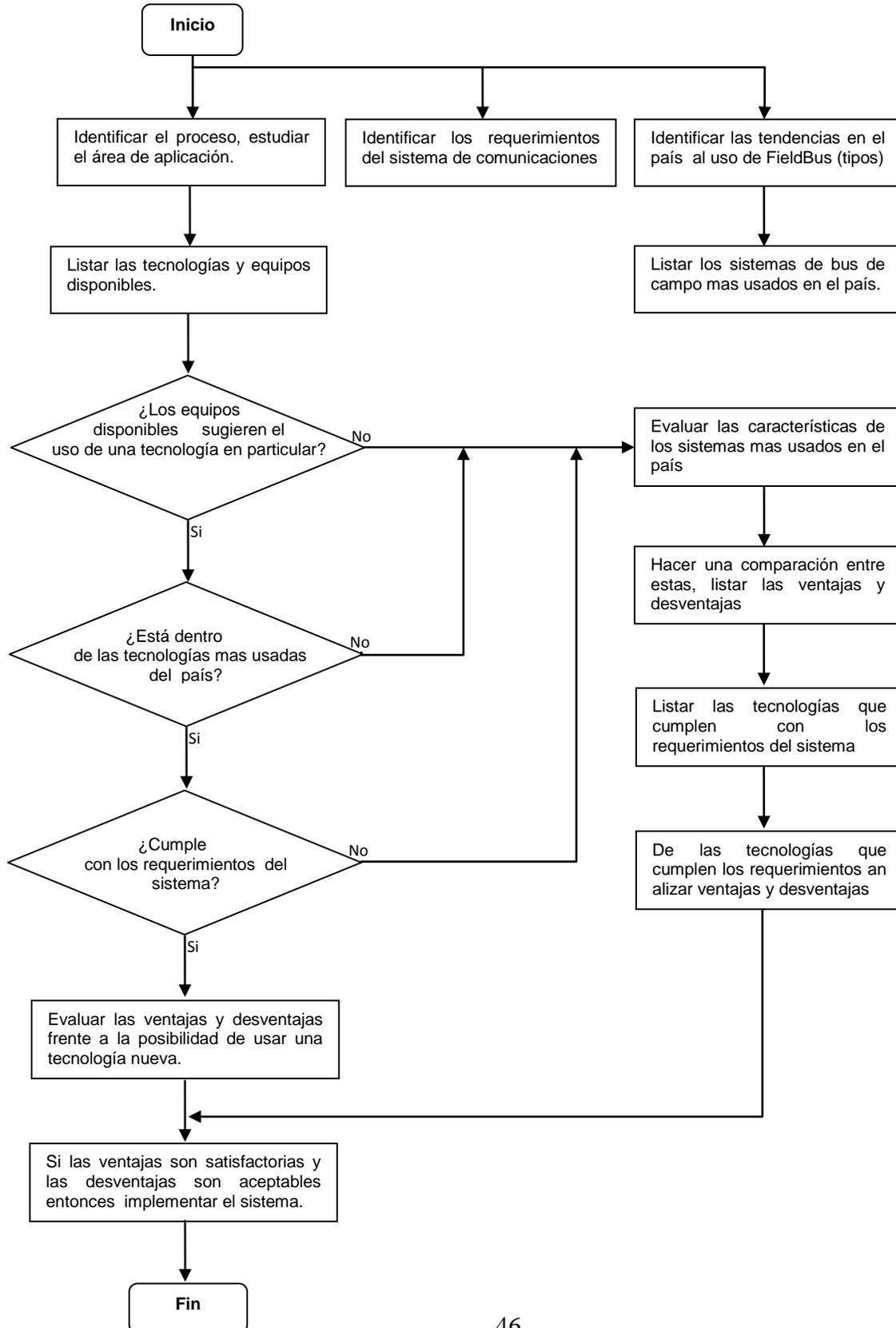


El diagrama de flujo de la figura 18 mostrado en la pagina 46 describe los pasos de aplicación de los criterios de selección de sistemas de bus de campo, se advierte que esta descripción está estrechamente ligada al diagrama de flujo de la figura 18, será difícil de comprender si no se ha revisado, o si no se hace referencia en el diagrama de flujo.

- Siguiendo el diagrama de flujo, inicialmente se debe ejecutar tres tareas en paralelo que son: identificar el proceso (estudiar el área de aplicación e identificar los requerimientos del sistema de comunicaciones), Identificar las tendencias en el país en cuanto al uso de buses de campo (listar las tecnologías más usadas en Colombia).
- De la identificación y reconocimiento del proceso se obtiene información de equipos y dispositivos disponibles que definen si se pueden usar en el sistema a implementar o si la instrumentación instalada sugiere un bus de campo en particular.
- Si los equipos conducen o apuntan al uso de una tecnología determinada entonces se debe ubicar si la solución propuesta está o no dentro de los sistemas mas usados en el país.

- d) Si está en la lista de los mas usados se obliga estudiar las diferentes características técnicas ...véase la sección 2.5.3...se puede consultar las tablas 14, 15 y16, y la sección 2.4 que describe alguna redes de bus de campo,
- e) Si las características satisfacen los requerimientos el siguiente paso es hacer un estudio mas detallado de dicha tecnología consultando directamente el protocolo a través de internet o información entregada por el fabricante o distribuidor del protocolo y así poder evaluar las ventajas y desventajas frente al uso de una tecnología nueva (que no utilice los equipos disponibles en el proceso). Si las ventajas son satisfactorias y las desventajas son aceptables entonces se puede adoptar el sistema de comunicaciones resultante de de este proceso de selección.
- f) Si los equipos y dispositivos disponibles no sugieren el uso de una tecnología, si la tecnología sugerida no está dentro de las mas usadas en el país, o si la tecnología está dentro de las mas usadas en el país pero no cumple con los requerimientos del proceso, entonces se debe inspeccionar nuevamente la lista completa de los sistemas mas usados en el país para analizar las características técnicas y hacer una comparación entre ellas destacando las ventajas y desventajas y obtener una lista más reducida con las tecnologías que cumplen satisfactoriamente todos los requerimientos del sistema, con la finalidad de poder hacer una nueva comparación entre ellas y así obtener un numero mas reducido de opciones de selección, al cual posteriormente se le debe hacer un estudio mas detallado de las características técnicas.
- g) en este punto el diagrama de flujo salta a la sección e) solo que no se evalúan las ventajas y desventajas frente al uso de una tecnología nueva, solo se hace una evaluación con respecto a las tecnologías resultantes de la aplicación del paso e)

Fig. 18 criterios para adoptar una red e bus de campo determinada



2.6. TECNOLOGÍA ADOPTADA EN ESTE PROYECTO

En los laboratorios de control de procesos e instrumentación industrial de la Universidad del Cauca se requiere una red de bus de campo que permita comunicar los PLCs Micrologix 1500 con sensores y actuadores, utilizando un bus lineal común a los diferentes dispositivos. El sistema a implementar debe cumplir con varias características como: capacidad de evolución, tecnología moderna, reconocimiento en el mercado Colombiano y ser una de las más usadas en el país, entre otras características. El objetivo es usar los PLCs y dispositivos disponibles en la Universidad con el propósito de disminuir costos de equipos y software, esta es una de las principales pautas tomadas para definir el tipo de FieldBus a integrar en el proyecto. En la sección 1.7 se mencionó las tendencias del uso de redes de bus de campo en Colombia, siendo una de las más representativas la de Allen Bradley. De esta forma revisando los criterios para selección de una red de bus de campo, el estudio arrojó que la red de bus de campo más idónea para los laboratorios de Automática Industrial es DeviceNet, ya que: es una de las más usadas en el país, tiene buena representación y soporte técnico prestado por los representantes de Rockwell e integradores de tecnologías de automatización en Colombia, los dispositivos adquiridos con anterioridad son diseñados para trabajar con este tipo de redes, es compatible con otras redes de más alto nivel del mismo fabricante, tiene la opción de comunicación con Ethernet a través de dispositivos disponibles en los laboratorios, las características de DeviceNet están por encima de los requerimientos iniciales de este proyecto y finalmente por beneficios económicos gracias al programa académico de Rockwell.

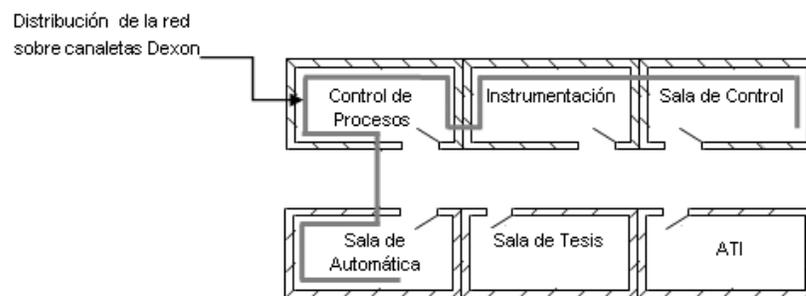
2.6.1. Tareas de selección del Bus de campo para los laboratorios

En la selección del bus de campo se consideraron los criterios mencionados en este trabajo. En el primer punto (conociendo el proceso) se identificaron los dispositivos disponibles para este caso de estudio en el cual no existe un proceso industrial como tal, se cuenta con una serie de plantas de prácticas. De las cuales se describirán sólo tres: una planta de tanques interactuantes instrumentada con ocho sensores de fin de carrera magnéticos, un sensor de nivel de 0 a 5V, tres electroválvulas de 110VAC y una motobomba de ½ HP a 110VAC, una segunda planta de tanques interactuantes

instrumentada con: dos transmisores de caudal de 4 a 20mA, un transmisor de nivel de 4 a 20mA, una electroválvula de 110VAC y una motobomba de ½ HP a 110VAC y una banda transportadora instrumentada con un codificador incremental en cuadratura, tres sensores infrarrojos de proximidad entre otros. En estas plantas y otras similares se identifica una amplia variedad de sensores y actuadores tanto analógicos como discretos. Algunas plantas están gobernadas por controladores industriales stand alone y otras con PLCs Allen Bradley. De estos últimos se cuenta con: seis Micrologix 1500 y tres SLC 500, algunos de los PLCs están provistos de módulos de comunicación en los que se hallan dos módulos 1761-NET AIC, cuatro módulos de comunicación 1747 AIC, un módulo 1770KFD y tres módulos 1747PIC.

Los requerimientos solicitados para el laboratorio son los siguientes: disponer de una red de dispositivos que permita comunicar dispositivos inteligentes, ya sean sensores o actuadores con los PLCs del laboratorio, el sistema debe cumplir con todas las características de una red de bus de campo comercial Intercambiabilidad, Interconectividad, Inter-operabilidad, etc. Una de las principales características que tiene que tener el sistema es la escalabilidad, debido a la necesidad futura de incrementar el número de nodos, interconectando la variedad de instrumentación presente en los laboratorios y la interconexión con otras redes de comunicación industrial. La red de comunicación debe estar en capacidad de comunicar mínimo veinte nodos que estarán distribuidos a través de los laboratorios de Control de Procesos y la sala de Automática, con una distancia máxima a cubrir de setenta metros entre los laboratorios. La figura 19 muestra el cubrimiento de la red de bus de campo en los laboratorios del PIAI.

Fig. 19 Área de aplicación de la red de bus de campo



En este punto se hizo un reconocimiento al proceso, se identificaron los equipos y dispositivos disponibles y se deben obtener las características técnicas que debe cumplir el bus de campo a seleccionar (distancia mínima, número mínimo de nodos topología etc.), queda finalmente aplicar los otros dos criterios de selección.

En la aplicación del segundo criterio se hizo un estudio general de las redes de bus de campo más usadas en Colombia. En este país se evidencia el uso de un amplio número de redes de bus de campo, que generalmente están intercomunicadas con otras redes de más alto nivel, ver tabla 1. Las tecnologías de comunicación industrial predominantes en Colombia son: DeviceNet, ASI, ModBus, EtherNet, ControlNet, DH485, FieldBus y ProfiBus, las industrias usan combinaciones de redes de comunicación para cubrir los diferentes niveles de la pirámide CIM (Adrian, Julián, Milton, 2008). La tabla1 presenta algunos ejemplos de redes de comunicación industrial presentes en empresas Colombianas.

El conocer las tecnologías más comunes en Colombia sugiere el uso de FieldBus, ProfiBus, ASI o DeviceNet. Finalmente aplicando el último criterio de selección, consistente en hacer una comparación de las características técnicas de las tecnologías sugeridas en esta sección, se encontró que cualquiera de los sistemas de comunicación cumple satisfactoriamente los requerimientos del PIAI.

En la etapa final de la escogencia de la red de bus de campo del PIAI, se debe hacer un recuento de los criterios de selección donde se analicen aspectos determinantes para esta selección. Usar el software y los equipos disponibles es una opción que se traduce en una disminución en los costos de aplicación del sistema. Adquirir PLCs y software de otros fabricantes no es una alternativa a considerar para el PIAI, debido a que el presupuesto destinado para implementar el sistema de comunicaciones es bajo, lo que obliga a reducir los costos. Se consideraron los beneficios de participar en programas académicos de empresas como Siemens y Rockwell. Ser parte de un programa académico de alguna de estas empresas significa: descuentos, soporte, capacitación, kit de herramientas software, actualizaciones de software, etc. Soportándose en los criterios de selección para una red de bus de campo, el estudio arrojó que la red de bus de campo más idónea para los laboratorios de Automática Industrial es DeviceNet, ya que: es una

de las más usadas en el país, tiene buena representación y soporte técnico prestado por los representantes de Rockwell e integradores de tecnologías de automatización en el país, los dispositivos adquiridos con anterioridad son diseñados para trabajar con este tipo de redes, es compatible con otras redes de más alto nivel del mismo fabricante, tiene la opción de comunicación con Ethernet que es uno de los requerimientos exigidos en el PIAI, las características técnicas de DeviceNet están por encima de los requerimientos de este proyecto.

Algunas de las características técnicas que se consideraron para la red DeviceNet están representadas en la tabla 6.

DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO SELECCIONADO

En este capítulo se exponen algunas de características más importantes del protocolo, seleccionado...véase el anexo G...con el objetivo de conocer en más detalle acerca del estándar, o consultar La especificación DeviceNet a través de la ODVA. DeviceNet es una Red DeviceBus basada en CIP y una de las redes líderes del mundo para automatización de procesos industriales, fue desarrollada en Norte América por Allen-Bradley en 1994, DeviceNet es una red abierta diseñada para conectar dispositivos de planta tales como sensores de proximidad, arrancadores de motor, variadores de velocidad, etc. Dentro de la pirámide CIM DeviceNet está ubicada en el nivel de planta y puede también extenderse hasta el nivel de célula. Se pueden conectar máximo 64 nodos inteligentes a una red DeviceNet, una de las tantas ventajas de DeviceNet es la capacidad de retirar y conectar dispositivos de la red con la alimentación eléctrica activa. Las diferentes opciones de medio físico DeviceNet permiten alimentar y comunicar los nodos a través del mismo cable, tienen un par trenzado para alimentación y otro para la comunicación. Las características principales de DeviceNet son: Número máximo de nodos 64, distancia máxima: entre 100 m. y 500 m, velocidad de transferencia de datos: 125, 250 y 500 kbit/s, requiere terminación de línea con impedancia de 120 Ohmios aproximadamente, emplea dos pares trenzados (uno para alimentación de hasta 8A y otro para datos), alimentación de 24VDC, tamaño máximo del mensaje: 8 bytes para cada nodo.

El sistema de transmisión está basado en un modelo productor/consumidor, por ello, admite modelo maestro/esclavo, Multimaestro, peer to peer (de igual a igual), que se traduce en la transmisión de mensajes mediante diferentes métodos de comunicación como: Poll, Strobing, envío Cíclico, Cambio de Estado, mensajes explícitos, mensajes fragmentados y gestión de mensajes no conectados (*UCMM, UnConnected Message Manager*). La configuración electrónica de dispositivos se realiza a través de EDS (*Electronic Data Sheet*) lo que permite intercambiar dispositivos de diferentes fabricantes con igual funcionalidad [Universidad de valencia] [Estándar DeviceNet].

3. DISEÑO DEL NODO ESCLAVO DEVICENET

En este capítulo se especifica el proceso de análisis y diseño que conlleva el desarrollo de los dispositivos esclavos DeviceNet. En la primera parte se tratan las consideraciones básicas en el desarrollo de productos DeviceNet con características de esclavos, la segunda parte muestra de una forma muy general cómo implementar un nodo DeviceNet usando el ejemplo software de MICROCHIP. La parte final es el resultado del análisis del esclavo DeviceNet implementado, explica los elementos que conforman el circuito, algunas generalidades y diagramas de bloques del nodo. En el anexo A se trata en detalle los temas inherentes a la configuración del controlador máster que maneja el protocolo DeviceNet del nodo. La sección D.3 trata el diseño de los circuitos acondicionadores de señal de entrada y salida del nodo DeviceNet.

3.1. CONSIDERACIONES IMPORTANTES EN EL DESARROLLO DE DISPOSITIVOS ESCLAVOS DEVICENET

En el diseño de dispositivos DeviceNet se tienen que considerar una gran variedad de aspectos, por ejemplo: requerimientos de comunicación del dispositivo, elección del transceiver CAN, el chip de control de protocolo, etc. El diseñador tiene que definir las características del protocolo y el tipo de herramientas que se van a utilizar en el proceso de diseño e implementación de dispositivos. A continuación se presentan algunos de los aspectos claves para el diseño de esclavos DeviceNet, usando como referencia el artículo *DeviceNet Development Considerations* de la ODVA escrito por Ray Romito y Viktor Schiffer.

Uno de los primeros aspectos a considerar durante el desarrollo de un esclavo DeviceNet es el método de comunicación I/O que se implementará en el dispositivo. DeviceNet soporta diferentes métodos comunicación que pueden ser implementados todos en un dispositivo [Romito y Schiffer]. Estos métodos de comunicación son:

Bit strobe. Es principalmente usado en sensores, debido a que manejan pocos bits de datos o que tienen pocos requerimientos de datos de salida.

Poll. Este método debería ser considerado en todos los diseños, es soportado por todos los dispositivos máster del mercado.

Cambio de estado. Es un potente método ideal para incrementar el *throughput* (velocidad de transmisión) de la red, permite el uso de la inherente capacidad multimaster del protocolo CAN. La importancia y las grandes ventajas de este método reflejan la necesidad de ser adoptadas por los diseñadores de dispositivos DeviceNet.

Considerando que Bit strobe está limitado a máximo un bit como consumidor y 64 como productor. Poll, cambio de estado y Cíclic, estos métodos de intercambio de datos no tienen este tipo de limitación lo que los hace más propensos a ser incorporados en los dispositivos DeviceNet, por lo general los diseñadores deberían incluir todos los métodos de comunicación en los dispositivos. Por otra parte también es importante considerar el uso de fragmentación de datos I/O si los requerimientos de I/O son superiores a 64 bits de la trama CAN, así el usuario de los dispositivos no tendrá que preocuparse por ningún detalle inherente a la fragmentación, ya que la fragmentación y el re ensamble se ejecutan automáticamente en el protocolo DeviceNet.

Otra consideración está relacionada con la funcionalidad de mensaje explícito del dispositivo. Como mínimo la identidad, y los objetos de comunicación deben ser accesibles a través de mensaje explícito, sin embargo, si los requerimientos de configuración van más allá de unos pocos *switch*, se debe considerar la configuración de los dispositivos a través de mensaje explícito. El dispositivo tendrá la opción de configurarse a través de la red por medio de una interfaz de usuario, como RSNetWorx donde se puede modificar la MAC y el *baud rate* (velocidad de transferencia) del dispositivo.

El uso de métodos de configuración propietarios que, generalmente, no son abiertos, ni estandarizados son fuertemente desalentadores para los usuarios de los dispositivos, por la dificultad para entender el funcionamiento, la configuración y el tiempo adicional de puesta en marcha que requieren estos métodos. La fragmentación, aunque no es necesaria, se debe considerar para la recepción de mensajes explícitos, para poder hacer uso completo del campo nombre del producto con hasta 32 caracteres.

3.1.1. Requerimientos de la capa física

Con respecto a la capa física la especificación DeviceNet permite el uso de 4 tipos de conectores, que son: mini, micro, abierto y terminales atornillables, de ser posible en los diseños se debe usar conectores mini, micro, o abiertos que facilitan la instalación, el uso de terminales de tornillo debe ser restringido a casos donde es difícil usar los otros tipos de conectores. Es muy importante tener en cuenta, cuando se usen terminales de tornillos, que se pueda desconectar de la red sin interrumpir la comunicación de la línea troncal. Igualmente hay que considerar que algunos dispositivos como convertidores, circuitos SDS, o dispositivos CAN pueden no tener protección (*mis wiring*) (mala conexión) que es uno de los requerimientos de DeviceNet. Estos dispositivos se deben modificar para que sean compatibles con la red DeviceNet, el uso de un circuito adicional *mis wiring* no afecta el funcionamiento de dispositivos SDS o CAN.

Otro asunto importante de tener en cuenta es el *Baud Rate* que maneja el estándar DeviceNet que es de 125, 250 y 500Kbs, un dispositivo versátil debería contener los tres tipos de Baud Rate, así el usuario puede fácilmente definir con que velocidad de transmisión de datos va a trabajar. En el mercado existen dispositivos auto Baud Rate que tienen la capacidad de detectar la velocidad de la red y configurarse automáticamente para transmitir a la misma velocidad de la red.

Con respecto al *transceiver* requerido por DeviceNet, este debe exceder los requerimientos iso11898, por lo tanto sólo se puede usar los transceptores que cumplan con la especificación DeviceNet, como ejemplo algunos que cumplen los requerimientos son: Philips 82C250, Philips 82C251 y Unitrode UC5350.

La capa física de DeviceNet puede ser *isolated* (aislada galvánicamente) o no *isolated* entre la sección del *transceiver* CAN y la sección del controlador que maneja el protocolo. Si se usa una capa física aislada o no, depende del tipo de producto a desarrollar. Algunos dispositivos que no tienen conexión eléctrica con el mundo exterior y son alimentados directamente del bus no requieren de un circuito separador (*isolator*), un ejemplo típico de estos dispositivos son los sensores, que generalmente no necesitan aislarse, mientras que dispositivos con conexión externas como servo válvulas, motores y otros actuadores necesitan separación en la capa física.

La velocidad del *optoacoplador* usado es crítica debido a que agrega retardo al transceptor. Esta especificación requiere un retardo máximo de 40ns, a través de los optoacopladores, hay que tener en cuenta que un *optoacoplador* rápido no necesariamente significa un bajo retardo de propagación. El típico usado en DeviceNet es de 500mhz. [ODVA Estándar DeviceNet 06].

3.1.2. Hardware del controlador del protocolo CAN

Debido a la variedad de microprocesadores CAN, en este documento sólo se tratarán algunas características de los más generales.

- No se debe usar dispositivos SLIO (*Serial Linked I/O*), no hay manera de poder incorporar los requerimientos mínimos de DeviceNet en los dispositivos SLIO.
- Se pueden utilizar todos los chips CAN que usan el identificador de 11bits, el uso de identificadores largos (29bits) no es soportado por DeviceNet.
- Los dispositivos BasicCAN pueden ser usados con buen éxito en dispositivos esclavos cuando se restringe a esclavos grupo 2, los aspectos del grupo 2 pueden ser optimizados en los chips BasicCAN.
- El uso de micro controladores con CAN integrado como el PIC 16F458 minimizan la cantidad de componentes, pero se recomienda en casos donde la comunicación del chip microprocesador con CAN se acomoda exactamente con los requerimientos del dispositivo, la elección de un chip independiente permite más flexibilidad en el diseño.
- Cada nodo DeviceNet debe tener un número de serie de 32bits (*Vendor ID number*) que debe ser único para cada dispositivo.
- Hay que poner especial atención a las líneas CAN H y CAN L durante el tiempo en que el controlador se reinicia (*Reset*) o durante el apagado y encendido (up/down). Los chips CAN pueden tomar diferentes niveles en estos instantes, que pueden generar cambios indeseados en las líneas CAN H y CAN L o daños en el chip. El uso de resistencias de *Pull ups*, *Pull downs*, registros de control set-up e inversores entre el TXD y el *transceiver*, puede ser adoptados para garantizar que estas condiciones produzcan un estado recesivo en las líneas CAN.
- No permitir entradas sin uso al controlador CAN (RX0, O RX1) o que queden flotantes, se deben poner a $V_{cc}/2$ del *transceiver* o usar divisores de voltaje, dejarlas flotantes causan errores en la trama CAN, existen algunos controladores que

disponen de registros para apagar estas entradas. Este fenómeno puede aparecer aún cuando los pines son deshabilitados, la forma más segura es poner los pines al nivel de voltaje correcto VCC o GND según lo recomendado por el fabricante del chip.

3.1.3. Software del protocolo DeviceNet

No es necesario comprar el software DeviceNet, pero existen paquetes de software en el mercado que se pueden incorporar satisfactoriamente en productos DeviceNet. La decisión de usar un paquete de software debe ser considerada basándose en las características de la implementación y el soporte suministrado por el vendedor. El precio es un asunto importante, pero también hay que tener en cuenta la funcionalidad y los beneficios del software. Se debe considerar algunos de los aspectos referentes al software, por ejemplo si es compatible con el hardware implementado, es necesario hacer modificaciones al código fuente, las características de comunicación implementadas, soporta fragmentación, compiladores que se pueden usar para modificarlo, tiene soporte disponible para EDS, el soporte del distribuidor del paquete software etc.

Comprar el software o no es una decisión que cada diseñador tiene que tomar. Con una experiencia básica y conociendo el protocolo se pueden implementar esclavos simples fácilmente, (algunas compañías logran implementar productos en 2 semanas) [Romito].

3.1.4. Requerimientos de configuración

La configuración de dispositivos DeviceNet puede ser soportada por una herramienta llamada EDS (*electronics data sheet*, hoja de datos electrónica) se recomienda generar EDS incluso si hay pocos parámetros susceptibles de modificación. Los archivos EDS se pueden editar en bloc de notas pero existen herramientas software para generar EDS, algunas de estas son *freeware* (software libre) y se pueden descargar completamente gratis de la ODVA. El EZ-EDS Editor Versión 3.0 es una herramienta que reduce el tiempo de creación de archivos EDS y facilita la edición de estos archivos [ODVA EDS].

La configuración de dispositivos DeviceNet puede ser dividida en dos áreas. La primer área es el ajuste de los parámetros asociados a la comunicación que son el baud rate y el MAC ID. En muchos dispositivos se modifican estos parámetros usando switches mecánicos, mientras que en otros dispositivos se modifican a través de la red DeviceNet.

Este proceso es llamado *device commissioning* (comisionar dispositivo) en el software de configuración de Allen Bradley RSNetWorx, otros dispositivos son auto baud rate, que facilitan la configuración a los usuarios.

Otra de las áreas en la configuración de dispositivos involucra el ajuste de los parámetros relacionados con la aplicación, la configuración de EDS si existen o están disponibles en el dispositivo. Todos los parámetros (lectura escritura o sólo lectura) pueden ser desplegados junto con texto adicional, como ayudas e instrucciones para facilitar el trabajo del usuario.

Las opciones de modificación de los parámetros deberían poder hacerse en un idioma global, preferiblemente el idioma inglés y usar el formato general de unidades, de ser posible, no usar mensajes en formato de bits que el usuario no pueda interpretar fácilmente. Con respecto a los parámetros desplegados se debe incluir la posibilidad de monitoreo en línea del estado de estos parámetros de los dispositivos, esto permitiría el monitoreo del estado de las variables del proceso accesibles a través de los archivos EDS.

3.1.5. Pruebas de conformidad

En esta parte se presenta un vistazo general de las pruebas de conformidad de la ODVA. La ODVA ofrece el servicio de prueba de conformidad del protocolo y de los archivos EDS, a compañías y desarrolladores interesados en que sus productos sean verificados por la ODVA [ODVA DeviceNet Conformance]. Estas pruebas incluyen el cumplimiento de las características del protocolo y aspectos concernientes a la capa física. La ODVA no obliga a efectuar ninguna prueba de conformidad, aunque es altamente recomendado, y algunas veces solicitado por los clientes que adquieren los dispositivos DeviceNet, presentar las pruebas de conformidad a los clientes. Esto dará mayor confianza para adquirir los productos y además puede conducir a realizar mejoras y modificaciones a los dispositivos.

3.1.6. Herramientas de diseño

En esta parte del documento se presenta un resumen de las herramientas de diseño, no se pretende dar una lista completa de los productos requeridos para diseño y verificación de los dispositivos, se describen el tipo de herramientas necesarias en el desarrollo de productos DeviceNet. Se supone que el desarrollador está suficientemente capacitado

para implementar aplicaciones con microprocesadores, por lo tanto esta guía sólo habla de herramientas DeviceNet. Como mínimo se necesita algún tipo de monitor CAN, este es típicamente un tipo de tarjeta CAN ubicado en un PC junto con la herramienta software apropiada. Las tarjetas DeviceNet compatibles para PC están disponibles en compañías como Softing, STZP, Huron networks, SST, etc.

Los paquetes de software de DeviceNet o monitores CAN varían bastante en precio y desempeño, una herramienta barata como la de Allen Bradley es útil para el desarrollo de dispositivos esclavos, mientras que CANalizer de Vector es más costosa con un precio de aproximadamente 10 veces más de lo que se paga por el producto de Allen Bradley. El catalogo de la ODVA online es una buena fuente de información para la elección de las herramientas disponibles.

3.1.7. Requerimientos mínimos

DeviceNet es una red abierta con muy pocas restricciones, sin embargo se debe considerar algunas reglas básicas antes de iniciar un desarrollo, que se tienen que cumplir antes de poner el producto en el mercado.

La única actividad de registro es el registro del ID (identificador de vendedor) sirve para diferenciar el producto entre los demás dispositivos existentes en el mercado. Para poder obtener el ID se debe adquirir primero la especificación DeviceNet. Esta se compone de dos volúmenes, el volumen uno contiene la especificación CIP (common industrial protocol) y el volumen tres es la adaptación DeviceNet de CIP. La especificación es distribuida en CD y una copia en papel.

Adquirir la especificación DeviceNet es un requisito mínimo que deberían cumplir los diseñadores, debido a que es la única forma de obtener el protocolo DeviceNet a través de la ODVA. El protocolo DeviceNet es un requerimiento importante en el momento de modificar o desarrollar el software de los dispositivos. El costo de la especificación DeviceNet es de US\$ 350.00, el código de vendedor (Vendor ID number) para DeviceNet es de US\$ 500.00, el costo total de la especificación y el ID es de US\$ 891.00 usando servicio postal normal y a través de correo exprés el monto total es de US\$ 990.00 [ODVA Specification]. Esta cotización se realizó ante la ODVA el año en curso.

3.2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL NODO DEVICENET

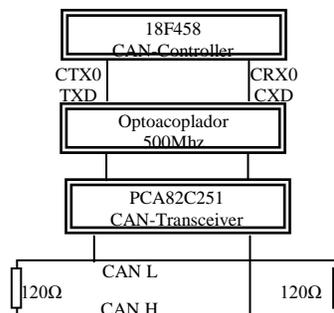
Esta parte del capítulo expone dos métodos tratados en este proyecto para desarrollar un nodo DeviceNet Grupo 2. El primer método se expone de forma muy general con el objetivo de proporcionar una idea básica de cómo implementar un esclavo DeviceNet, tomando como referencia el ejemplo software suministrado por Microchip, usando el micro controlador PIC 18F458 muy común en el mercado de componentes electrónicos. La opción dos se trata con más detalle teniendo en cuenta que es el método adoptado en este trabajo de grado para desarrollar el nodo DeviceNet, en este el dispositivo se implementa usando un chip de la compañía HMS que contiene el protocolo DeviceNet embebido, facilitando así las tareas de desarrollo y configuración, además de otras ventajas que se mencionarán en las secciones siguientes de este documento.

3.3. NODO DEVICENET USANDO EL EJEMPLO SOFTWARE DE MICROCHIP

Los controladores de microchip que tienen el protocolo CAN integrado son una buena opción para los desarrolladores de dispositivos esclavos simples. El análisis de las características del PIC 18F458 proporciona los suficientes criterios para optar por usarlo en este ejemplo.

Características del módulo CAN del PIC 18f458. Baud Rate configurable hasta 1Mbps, módulo CAN con la especificación CAN 2.0A y 2.0B (DeviceNet sólo usa 2.0 A), 3 Buffers de transmisión con priorización, 2 buffers de recepción, 6 filtros de *aceptancia* con priorización, 2 máscaras de *aceptancia*. En la figura 20 se puede observar un diagrama en bloques de un nodo DeviceNet con microcontrolador PIC, en este diagrama se puede observar el controlador 18F458, el *optoacoplador* y el *transeiver* CAN.

Fig. 20 diagrama de bloques de un nodo DeviceNet



Características básicas del transceiver CAN 82c251. Cumple con la norma ISO 11898-24V, protección térmica si la temperatura excede los 160 C, soporta cortocircuito de Vcc y Gnd en sistemas de 24V, modo standby (baja corriente), no distribuye voltaje a través de las líneas, operación a alta velocidad (mayores a 1M baudio), alta inmunidad a las interferencias electromagnéticas. El 82C251 es una interfaz entre el controlador que maneja el protocolo y el medio físico [Philips Semiconductors].

3.3.1. Visión general del firmware de microchip

A continuación se presenta una visión muy general de las características del firmware de microchip. Las librerías DeviceNet de microchip son un ejemplo para trabajar con nodos esclavos DeviceNet Grupo 2, se puede obtener a través de la aplicación Maestro de MPLAB, este firmware es un desarrollo de Microchip para ayudar a los diseñadores de productos esclavos DeviceNet. (Un esclavo DeviceNet Grupo 2 soporta: mensajes poll, multicast, cambio de estado, cíclico, bitstrobe y fragmentación de mensajes).

3.3.2. Objetos DeviceNet

Los objetos mínimos requeridos en cualquier implementación son: Connection Object, Message Router Object, Identity Object, DeviceNet Object. Los anteriores objetos, desarrollados por microchip en este firmware, son un grupo de objetos fundamentales para implementar un dispositivo esclavo DeviceNet con funcionalidad básica. Hay que tener en cuenta que DeviceNet es una colección de objetos, muchos de los cuales no son mencionados en la librería de microchip.

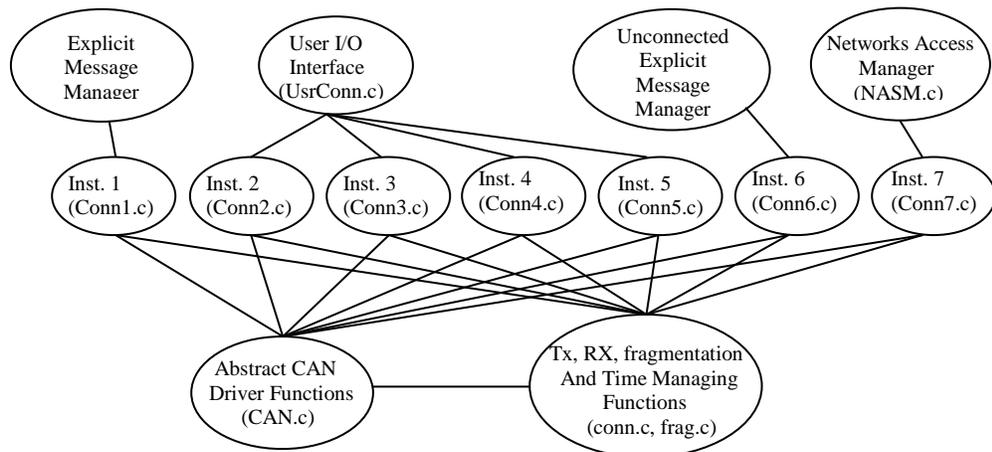
El objeto conexión. Es el encargado de manejar todas las comunicaciones entre el bus CAN y los objetos de los niveles altos. Está conformado por una variedad de código fuente que contiene múltiples instancias y definen la conexión master/slave...véase el capítulo 7 de la especificación DeviceNet...Dentro del objeto conexión se manejan todos los datos y eventos de errores. Los eventos son recibidos por la función (conn.c), a través de las llamadas al driver CAN, son procesados y entregados a las instancias apropiadas en base a la disponibilidad de conexión. Una vez el proceso es inicializado cada instancia gestiona los eventos que recibe. En general los eventos incluyen:

- ConnxCreate. Crea los objetos

- ConnxClose. cierra objetos
- ConnxTimerEvent. indica conexión
- ConnxRxEvent. indica datos recibidos
- ConnxTxOpenEvent. indica la transmisión
- ConnxTxEvent. Notifica cuando los datos han sido puestos en el bus.
- ConnxExplicitEvent. Indica la petición de mensaje explícito.

Para los niveles superiores del objeto conexión están los gestores adicionales con los procesos de recepción de datos de las instancias, esto incluye mensajes explícitos *Unconnected* y *Connected*. La figura 21 presenta el objeto conexión.

Fig. 21 el objeto conexión y los gestores de objetos de más alto nivel



Fuente: [Fosler 03]

Servicios internos del objeto conexión. El objeto conexión encargado de mover los datos desde el buffer, tiene cuatro posibles instancias (Polled Messaging, Bit Strobed Messaging, Cyclic/Change of State Messaging, Multicast Polled Messaging) predefinidas que son expuestas en el capítulo 7 de la especificación DeviceNet. Algunos servicios internos básicos son prestados a través de la conexión de objetos con el objetivo de manejar datos I/O.

- **mConnReadRdy.** Pregunta a la conexión de objetos para determinar el estado del buffer de lectura Retorna verdadero si el mensaje a sido recibido.

- **mConnWriteRdy.** Determina el estado del buffer de escritura, retorna verdadero si el buffer está abierto.
- **mConnRead.** llamado a esta función con la apropiada instancia, informa al objeto conexión que el dato ha sido procesado.
- **ConnWrite.** Indica que los datos han sido cargados en el buffer de conexión para ser transmitidos al bus.

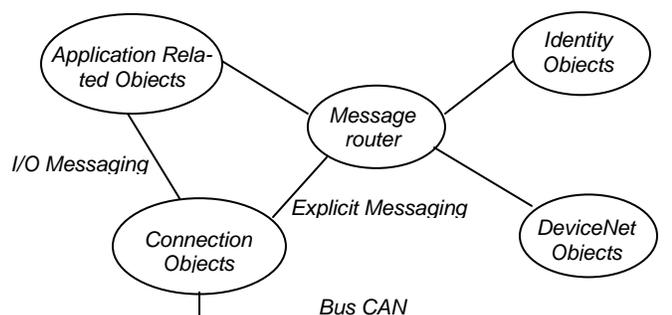
En el ejemplo del firmware las funciones desarrolladas en lenguaje C son muy extensas, por eso se recomienda ver el documento (**AN877**) generado junto con las librerías, donde se encuentra una explicación detallada de la función de cada objeto implementado, las funciones que podrían soportar, funciones que se deberían de implementar, e incluso la función que maneja el driver CAN.

El objeto DeviceNet. En este ejemplo hay una instancia del objeto DeviceNet, este objeto contiene información del nodo, tal como el baud rate, Mac ID, etc. Se divide en 2 archivos fuente, uno de los archivos contiene la información básica mientras que el otro es una aplicación dependiente y requiere ser desarrollada basándose en los requerimientos de la aplicación. Para mayor información ver el archivo AN877 de Microchip.

El objeto identidad. El objeto identidad contiene información que identifica el dispositivo, como el número de serie, la descripción y el fabricante.

El objeto enrutador de mensajes o Router. El objeto router enruta el mensaje explícito al objeto apropiado, en este diseño las rutas son estáticas. La figura 22 describe los objetos DeviceNet implementados por Microchip en este ejemplo.

Fig. 22. Conexión de objetos desarrollados en este firmware



Fuente: [Fosler 03]

3.4. DESARROLLO DEL NODO ESCLAVO DEVICENET

Existen en el mercado circuitos integrados capaces de gestionar completamente el protocolo DeviceNet, teniendo en cuenta las ventajas de este tipo de elementos que facilitan y reducen las tareas de implementación, configuración y puesta en marcha, se optó por usar uno de estos dispositivos en la parte de desarrollo del nodo DeviceNet de este trabajo de grado. El integrado usado para implementar el nodo, integra en un sólo chip todos los elementos necesarios para la comunicación con la red DeviceNet. En las siguientes secciones se describe el proceso de desarrollo del nodo DeviceNet. Se describe cada etapa del circuito por separado, con la finalidad de que el lector interesado en implementar este dispositivo pueda hacer un diseño propio o hacer modificaciones y mejoras al mismo. En el anexo D se consignan los diagramas esquemáticos del circuito principal y de los circuitos adicionales de acondicionamiento de señales de E/S obtenidos en este desarrollo, estos archivos fueron generados usando la herramienta para diseño de circuitos electrónicos Eagle versión 4.11. Todos los archivos generados por Eagle necesarios para reproducir el nodo DeviceNet están disponibles en el anexo digital H dentro de la carpeta con el nombre Eagle, esta carpeta contiene los archivos Gerber (coordenadas espaciales necesarias para el taladrado, cortado, etc. de las PCBs) que se enviaron a Microcircuitos para fabricar las PCBs del nodo DeviceNet, los “proyectos” completos procesados por Eagle, por ejemplo: dentro de la carpeta proyecto 1 (uno) están los archivos: salidas.brd (board salidas) y salidas.sch (diagrama esquemático). El lector interesado en reproducir las board del nodo DeviceNet desarrollado en este proyecto de grado sólo tendrá que enviar los archivos Gerber a Microcircuitos o una empresa dedicada a la fabricación de PCBs, pero si el lector está interesado en hacer modificaciones a los archivos con extensión brd y sch tendrá que tener un conocimiento básico en la herramienta Eagle versión 4.11 o superior.

Los archivos EDS del nodo DeviceNet Unicauca están disponibles en el anexo digital I dentro de la carpeta UnicaucaEDS, estos archivos son requeridos por RSNetworx para “comisionar” el dispositivo...véase la sección C.5...

3.4.1. Características del nodo DeviceNet

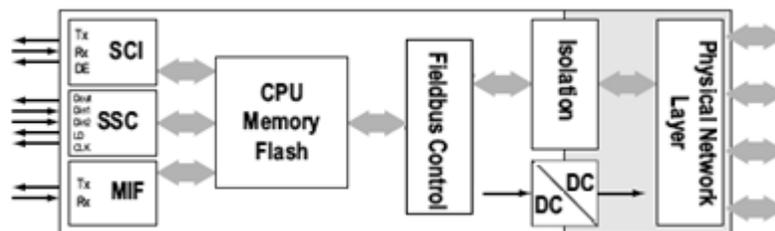
Estas son las principales características del nodo DeviceNet implementado:

- Esclavo DeviceNet Grupo2.
- Soporta UCMM.
- I/O: Soporta Polled I/O, COS/Cyclic I/O, Bitstrobe I/O.
- Soporta objetos DeviceNet, Objetos identidad.
- Archivos EDS que contienen información del dispositivo
- Configuración Baudrate y MAC ID, Soporta Auto Baud.
- *Galvanically isolated* (aislado galvánicamente).
- Interface de Comunicación Serial (SCI) y Canal *Synchronous* Serial (SSC).
- interface de configuración y monitoreo (MIF).
- 3 bytes de entradas discretas (SSC), 3 bytes de salidas discretas (SSC).
- 8 entradas y 8 salidas discretas (todo o nada).

3.4.2. Características generales del controlador utilizado

Encapsulado estándar de 32 pines en doble línea, alimentación de 5V DC, galvánicamente aislado, interfaces de comunicaciones (MIF, SCI, SSC) [Datasheet Anybus]. La figura 23 presenta la arquitectura interna del controlador ABIC 6001 de la empresa HMS, en la tabla 17 se lista la descripción de pines de este controlador.

Fig. 23 Arquitectura interna del integrado ABIC 6001



Fuente: [Anybus. Datasheet]

Tabla 17 Descripción de pines del ABICDEV o AB6001

Pin	Señal	Descripción	Tipo
1	Vcc	+5V Power Supply	I
2	/SSC Reset Out	SSC Reset signal (Active Low)	O
3	/SSC LD	SSC Load signal (Active Low)	O
4	SSC DO	SSC Data Output	O
5	SSC DI2	SSC Data Input 2	I
6	SSC DI1	SSC Data Input 1	I
7	SSC CLK	SSC Clock	O
8	/RESET	Module reset (Active Low)	I
9	Vcc	+5V Power Supply	I
10-12	NC		
13	FB1	CAN_H	I/O
14	FB2	CAN_L	I/O
15	FB3	NC	
16	FB4	NC	
17	PE	PE	
18	SHIELD	SHIELD	
19	FB5a	V-	
20	FB6a	V+	
21-23	NC		
24	GND	GND Power Supply	
25	NC		
26	/INT [BLE]	Interrupt (Active Low) & Boot loader enable switch	O
27	MIF Tx	MIF Transmit signal	O
28	MIF Rx	MIF Receive signal	I
29	SCI DE [AUTO]	SCI DE signal (Auto Initialisation)	O/I
30	SCI Tx	SCI Transmit signal	O
31	SCI Rx	SCI Receive signal	I
32	GND	GND Power Supply	

Especificaciones Eléctricas del ASIC de HMS

El controlador requiere un voltaje de alimentación de $5V \pm 5\%$ DC en los pines uno y nueve, tiene una conexión a 24VDC a través de las líneas CANH y CANL. El integrado está dividido en dos secciones, la sección de control que se alimenta de 5VDC y la sección del bus que se comunica con el medio físico, estas dos secciones están aisladas galvánicamente entre ellas, el consumo de potencia de cada sección se representa en la tabla 18.

Tabla 18 Consumo de potencia del controlador ABICDEV

Sección	Max
Sección de control 5V	85mA
Sección del bus 24V	55mA

3.5. DESARROLLO DEL NODO DEVICENET

Las tareas de implementación se realizan por etapas, tratando en cada una las diferentes funciones y partes que conforman el dispositivo.

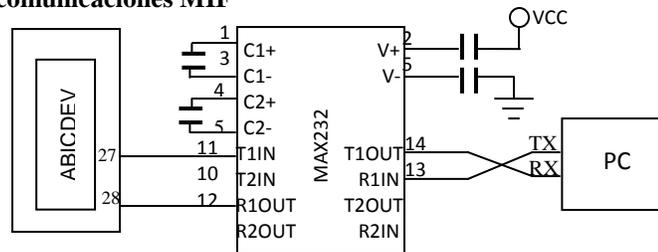
3.5.1. La interfaz de comunicaciones

El dispositivo está habilitado para comunicarse con una estación (PC) de configuración y monitoreo de los parámetros vía RS232, esta interfaz es usada básicamente en las tareas iniciales de implementación, verificación y configuración. Es una comunicación punto a punto y no requiere de programas propietarios adicionales, en la sección A.3 se menciona la forma de acceder al dispositivo a través del puerto serial del computador. Otra de las aplicaciones de la interfaz es permitir la comunicación de un nodo o del controlador máster con un microcontrolador convencional.

La Interfaz MIF. Esta interfaz se usa para monitorear y configurar los parámetros del nodo a través del Hyper Terminal de Windows usando el puerto serial del computador, usa las siguientes señales:

- **MIF_Tx (Pin 27).** Es una salida serial asíncrona que transporta datos del microcontrolador ABICDEV a un terminal remoto que en este caso es el computador usado para monitorear y modificar los parámetros del nodo.
- **MIF_Rx (Pin 28).** Es una entrada serial asíncrona que transporta datos desde el terminal al microcontrolador máster. En la figura 24 se puede observar la comunicación de un terminal con el controlador máster usando un *transceiver* MAX232 y un cable cruzado.

Fig. 24. Interfaz de comunicaciones MIF



Canal SCI. Es una típica interfaz serial asíncrona usada para el intercambio de datos, el protocolo de comunicación está basado en una modificación del estándar Modbus RTU para más información ver el *Datasheet* del AB6001. Esta interfaz usa tres señales que son:

SCI_Tx (Salida, pin 30). Salida serial asíncrona transporta datos desde el microcontrolador máster a la aplicación, donde la aplicación puede ser un microcontrolador convencional o un computador...Véase la figura 25...

SCI_Rx (Entrada, pin 31). Entrada serial asíncrona que transporta datos desde la aplicación al microcontrolador máster.

SCI_DE (Entrada/Salida, pin 29). Esta señal habilita la salida de datos a una red half dúplex (como RS 485). Si este pin es conectado a GND entonces deshabilita el canal SCI e inicializa el controlador automáticamente. El canal SCI le permite comunicarse con microcontroladores genérico y con algunos estándares de comunicación como: RS232, RS485 (multipunto), RS422. Más información en el Datasheet del AB6001. La figura 25 representa un ejemplo de conexión de este canal con un microcontrolador genérico usando una comunicación serial.

Fig. 25. Interfaz de comunicaciones SCI



Usando el canal SCI se puede comunicar el controlador máster con un microcontrolador genérico y a través de esta conexión interactuar con instrumentos e interfaces de configuración y señalización como los switches de *Baud Rate*, MAC ID y los LED indicadores. En este desarrollo sólo se usa el canal SSC, el canal SCI está disponible para usarlo únicamente debe ser habilitado cambiando la configuración de inicialización del nodo...véase la sección A.2...

Canal SSC. Usa una interfaz serial asíncrona independiente para salidas y entradas discretas, además a través de este canal se puede comunicar con interfaces de configuración y señalización como los switch de Baud Rate, MAC ID y los LED indicadores.

La interfaz SSC usa seis señales que son:

Reset_Out (Pin 2). Su función es reinicializar los registros cuando el pin 2 está activo en bajo. (No se debe confundir con el reset general del dispositivo pin 8).

LD (Pin 3). (*Shift register load*). Carga los valores de los *shift register* de entrada.

DO (Pin 4). (*Serial data output*). Es una salida serial de datos.

DI2 (Pin 5). Primera entrada serial de datos desde los *shift register*.

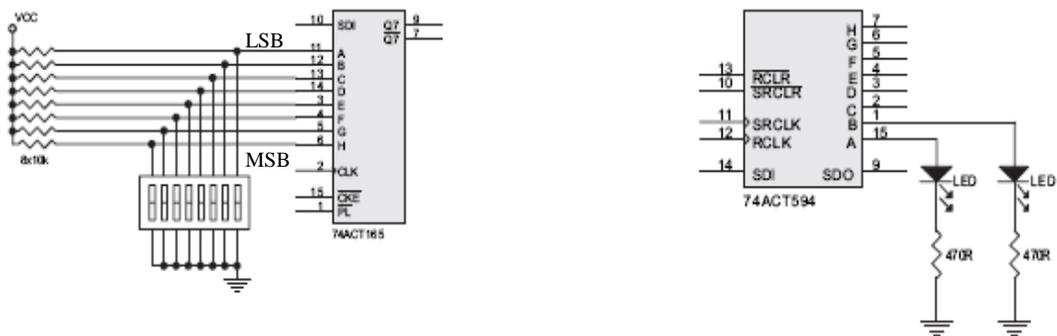
DI1 (Pin 6). Segunda entrada serial de datos desde los *shift register*

CLK (Pin 7). Salida de reloj.

El canal SSC del ABICDEV está creado para comunicarse con registros externos, que habilitan el uso de entradas y salidas discretas. En esta implementación se usa el canal SSC con dos registros de salida y dos de entrada de los cuales uno de salida es usado para los LEDs (diodo emisor de luz) indicadores de estado y uno de entrada que se usa para configurar el baud rate y el MAC ID, los registros restantes son para propósito general (E/S discretas). El ABICDEV detecta automáticamente el número de registros aunque se puede configurar manualmente a través de la interfaz MIF...Véase la sección A.5.10...

Los registros usados en este desarrollo son: 74ACT165 (registro de entrada) y 74ACT594 (registro de salida). El registro 0 de salida se usa como indicador y señalización a través de LEDs. El 74ACT tiene la suficiente capacidad de corriente para manejar los LEDs, la figura 26 muestra la implementación de los indicadores y los *switch* de configuración de *baud rate* (MSB pines 6 y5) y MAC ID (LSB pines 11-14, 3 y 4)

Fig. 26 registro de configuración y señalización



Tomado de: [Anybus. Datasheet]

3.5.2. Interfaz de configuración de baud rate y MAC ID

Se usa un *switch* binario para configurar el MAC ID y el *baud rate*, los 6 bit menos significativos usados para configurar el MAC ID y los 2 más significativos modifican el *baud rate*. La tabla 19 presenta la configuración de la velocidad del dispositivo según el estado de los bits 7 y 8, mientras que la tabla 20 representa la dirección del nodo DeviceNet según la posición de los bits menos significativos del registro cero de entradas.

Tabla 19 Switch baud rate

Bit 7 (MSB)	Bit 6	Baud Rate
0	0	125kbps
0	1	250kbps
1	0	(500kbps)
1	1	NC

Tabla 20 Switch MAC ID

Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	5 Bit 1	Bit 0(LSB)	MAC ID
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	1	0	2
-	-	-	-	-	-	-
1	1	1	1	0	1	61
1	1	1	1	1	0	62
1	1	1	1	1	1	63

La tabla 21 describe el registro cero de salidas usado como indicador de estado del nodo DeviceNet, si el bit menos significativo está en un nivel alto (5V) el LED verde permanecerá encendido, representando un estado de funcionamiento normal del nodo, mientras que el LED rojo indica fallas o funcionamiento anormal.

Tabla 21 Indicadores de estado.

Bit	Estado	Indicación
-	(off)	Sin alimentación (Vcc)
0 (LSB)	Verde	Normal
1	Rojo	Falla irrecuperable
	Rojo intermitente	Falla menor

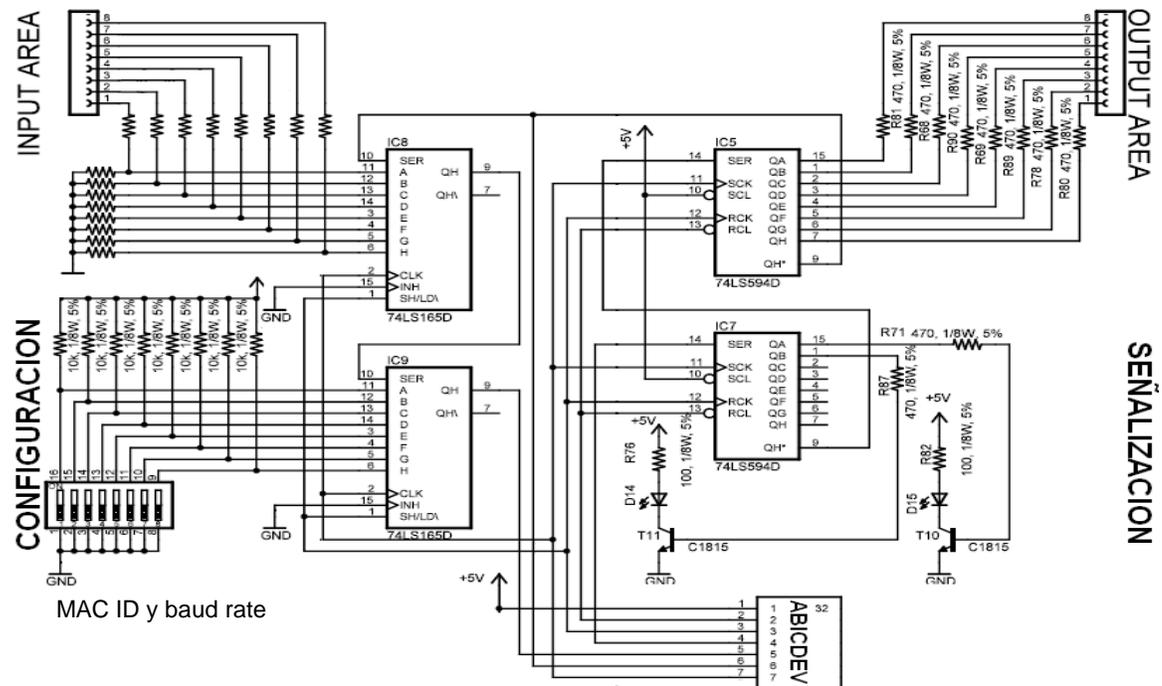
3.6. CIRCUITO DE ENTRADAS, SALIDAS, CONFIGURACIÓN Y SEÑALIZACIÓN

Los registros además de habilitar funciones de señalización y configuración permiten recoger la información de entradas/salidas discretas y entregarlas al controlador Máster que las procesa y las envía a la red DeviceNet. A través de cada registro en serie se dispone de 8 bits de entrada o salida respectivamente. En este desarrollo se usa únicamente 2 registros de entrada y 2 de salida, teniendo en cuenta que el integrado

soporta 17 registros (136 bits) en cada dirección, de los cuales se pueden usar 128 bits para intercambio de datos. Para más información...remitirse a la sección D.1...que contiene aspectos importantes de los registros recomendados por el fabricante del controlador AB6001.

La figura 27 representa el circuito de I/O usado en esta implementación, indica las áreas de entradas y salidas discretas así como las áreas de configuración y señalización del dispositivo.

Fig. 27 Circuito de entradas/salidas



3.7. COMUNICACIÓN CON EL MEDIO FÍSICO

El controlador Incluye requerimientos de protección de tierra PE (*Protective Earth*), cumpliendo con las normas EMC (Compatibilidad Electromagnética), DeviceNet requiere un filtro entre Shield y PE (blindaje y protección de tierra), se debe tener en cuenta que para cumplir con la norma CE se requiere adicionalmente un varistor (V30MLA1812TX1884) en paralelo con el filtro como se indica en la figura 28, la tabla 22 indica los pines y la señal correspondiente a cada pin del ASIC de HMS. El blindaje y la

conexión a tierra, está formado por un circuito externo RC donde C1 es de 10nF/2kV y R1 de 1MΩ cumpliendo con la especificación DeviceNet.

Fig. 28 Comunicación del IC AB6001 con el medio físico

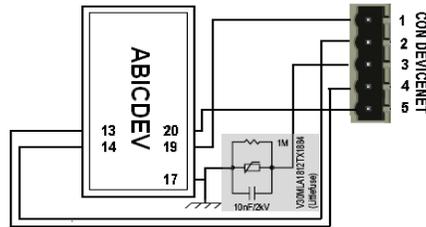
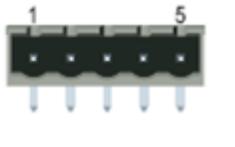


Tabla 22 Conector DeviceNet

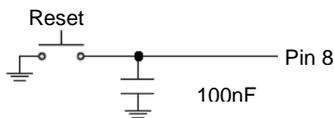
Pin	Señal	Conecta a
1	V-	FB5
2	CAN_L	FB2
3	SHIELD	SHIELD
4	CAN_H	FB1
5	V	FB6



3.8. RESET

El Reset mostrado en la figura 29 es usado para reinicializar el dispositivo, si el pin de Reset no se usa se recomienda conectar directamente a Vcc. En ambientes ruidosos se recomienda usar un capacitor de 10nF entre el pin de Reset y GND.

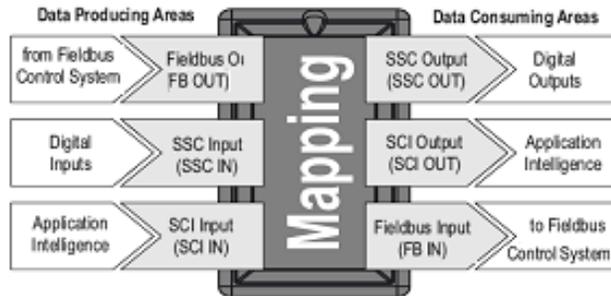
Fig. 29 Reset



3.9. MAPEO DE DATOS DE ENTRADA Y SALIDA A TRAVÉS DEL CANAL SSC

La finalidad de este dispositivo es referenciar directamente los datos desde y hacia el scanner DeviceNet, aunque el dispositivo está facultado para mapear los datos de un canal a otro. Los datos en el ABIC se dividen en dos áreas, una de los datos consumidos y otra de los datos producidos. Los datos producidos pueden ser mapeados a algunas de las otras interfaces del integrado La forma de definir como se mapean los datos es a través de los parámetros de I/O del dispositivo...Véase la sección A.5...

Fig. 30 Mapeo de datos de entrada y salida

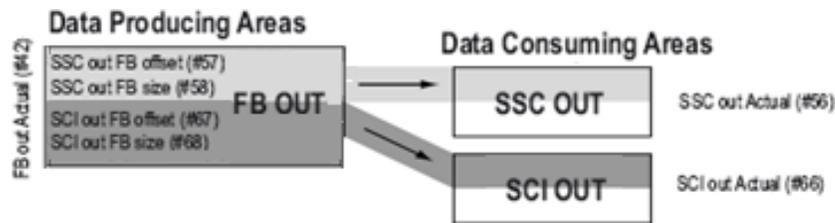


Los datos producidos pueden ser del FieldBus (FB Out) DeviceNet, datos de entrada de los shift registers (SSC In) o datos de la interfaz SCI (SCI In).

3.9.1. Mapeo de datos desde el bus de campo

Los datos producidos por el Scanner 1769SDN residentes en el bus FB Out pueden ser mapeados a las áreas de SSC y SCI de salida como se muestra en la figura 31.

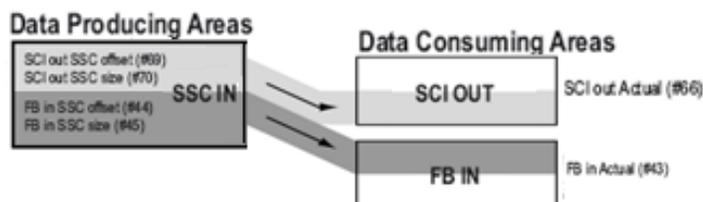
Fig. 31 Mapeo de datos desde el bus de campo



3.9.2. Mapeo de datos desde SSC (input)

Los datos producidos por los SSC residentes en el área de SSC, pueden ser mapeados a las áreas de FB In y al SCI Out como indica la figura 32.

Fig. 32 Mapeo de datos desde SSC



En conclusión los datos enviados por el scanner pueden ser enviados a los registros de salida del dispositivo para activar las salidas de relevo del nodo DeviceNet, o a través del canal SCI a un microcontrolador. Los datos presentes en las entradas del nodo pueden ser enviados al escáner DeviceNet o al canal SCI del ASIC.

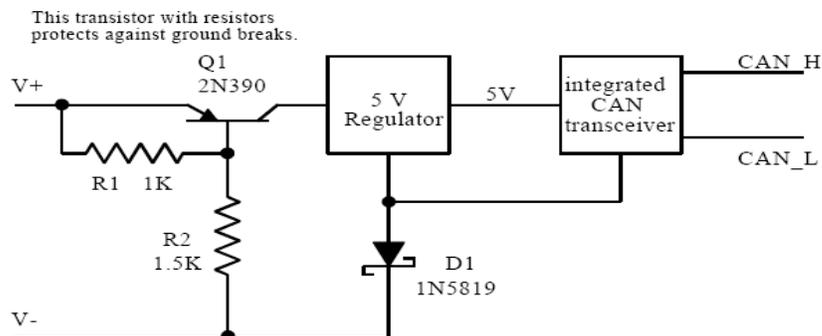
3.10. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO

El dispositivo se alimenta de las líneas CAN V+ y CAN V- de la red DeviceNet y funciona con un voltaje de alimentación regulado de 5V DC usado para alimentar todos los registros y el AB6001.

3.10.1. Protección *Mis-wiring* (mala conexión)

Un requerimiento de DeviceNet es que los nodos sean capaces de soportar (*mis-connection*) una mala conexión o de alguno de los cables del conector de la red, en caso de conexión inversa el circuito evita daños permanentes al nodo. En la figura 33 se puede evidenciar un ejemplo de un circuito *mis-wiring*, formado por un diodo schottky para prevenir conexiones accidentales de la señal de V+ al terminal V-, un transistor para prevenir daños ocurridos debido a una posible pérdida de la conexión V-.

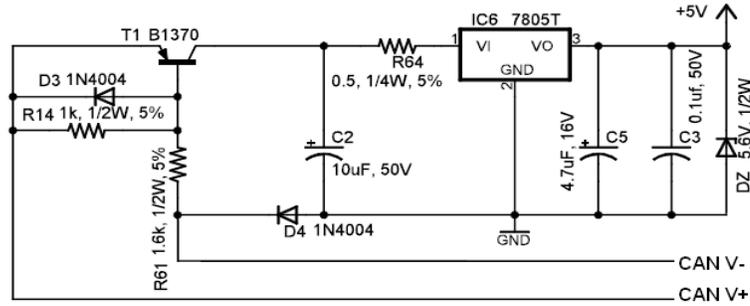
Fig. 33 Circuito mis wiring



Tomado de: [estándar Devicenet 06]

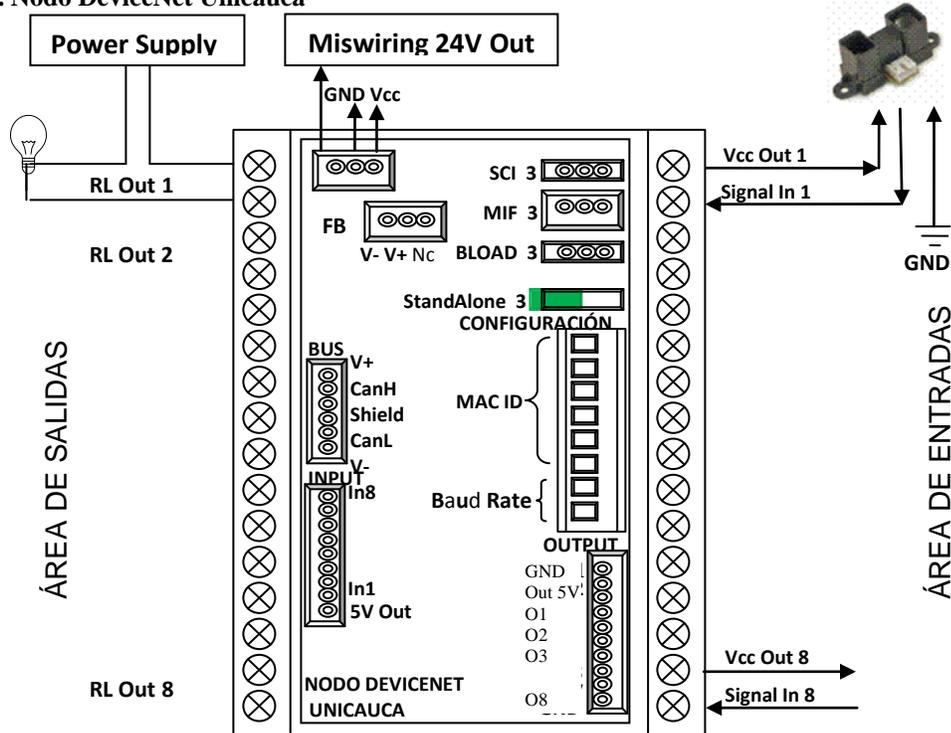
El circuito de la figura 34 utilizado en este desarrollo usa como referencia el circuito sugerido en la especificación DeviceNet. Se efectuaron algunas modificaciones para facilitar la implementación, debido a la disponibilidad de elementos en el mercado local.

Fig. 34 Fuente de alimentación



Como resultado de la combinación de los anteriores circuitos se obtiene un nodo DeviceNet con características de un dispositivo comercial...en el anexo D...se puede ver el diagrama esquemático completo del nodo DeviceNet (*Mainboard*, circuitos acondicionadores de señal, PCBs, etc.) y diagrama de conexiones...véase 2do.párrafo de la sección 3.4...

Fig. 35. Nodo DeviceNet Unicauca



El nodo Unicauca es un nodo DeviceNet provisto de 8 entradas y 8 salidas discretas, una interfaz RS232 de configuración, un puerto serial para comunicación con

microcontroladores y una interfaz de configuración vía switch (MAC ID y Baud Rate). Las salidas discretas tipo relé de hasta 2.5 A /120VCA, 3A/12Vcc permite acoplar actuadores (válvulas solenoides, motores, etc.) fácilmente a través de borneras atornillables. Las entradas admiten sensores discretos con salida de 12 o 5V según la tarjeta de entradas empleada, estas *board* proveen alimentación a los sensores acoplados a la sección de entradas del nodo, el voltaje proveniente de la fuente DeviceNet es regulado y acondicionado por el circuito *mis wiring* para posteriormente ser enviado a los sensores y al nodo DeviceNet en general. En este proyecto se implementó una tarjeta de entradas para sensores con alimentación a 5V, una tarjeta de entradas para sensores de 12V, dos board de salidas tipo relé y dos *mainboard*, las cuales convierten al nodo en un dispositivo modular que permite simultáneamente manejar sensores y actuadores, sólo sensores o sólo actuadores según la necesidad del usuario.

El conector *mis wiring* 24V Out, entrega un voltaje *mis wiring* de 24Vcc, para la alimentación de los circuitos de entradas y salidas, este voltaje no puede ser usado como fuente de alimentación de ningún tipo de actuador. El conector FB suministra un voltaje de 24Vcc proveniente de las líneas V+ y V- del bus de campo, es una conexión opcional de propósito general, en este proyecto no es utilizada pero está disponible como fuente de alimentación para sensores. El Conector Bus comunica el nodo Unicauca con el medio físico DeviceNet...véase el numeral 2.7...

El conector MIF, es una interfaz de configuración y monitoreo de los parámetros de nodo, que se comunica con el PC usando un circuito adicional...ver la sección 3.5.1...El conector SCI es una interfaz MCU o UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*)...ver la sección 3.5.1...que no se puede habilitar en modo *Stand Alone*...ver sección A.1...

La interfaz de configuración es un interruptor de ocho posiciones que permite configurar el *baud rate* y la dirección del nodo...ver secciones 3.5.2 y D.3...

Los conectores Input y Output comunican el nodo DeviceNet con las tarjetas acondicionadoras de señales de entrada y salidas discretas.

4. MONTAJE DE LA RED PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN

DeviceNet es una red abierta, inicialmente desarrollada por Rockwell Automation, actualmente es una de las redes de bajo nivel más populares. En Estados Unidos el 60% de las redes de bus de campo son DeviceNet, en Chile el 40% [Romero 04] en Colombia existen varias implementaciones de redes de bus de campo DeviceNet. Una de ellas con fines educativos ubicada en el laboratorio de comunicaciones industriales del SENA seccional Valle del Cauca. Empresas como Industrias del Maíz, Ecopetrol, Refisal, Bavaria entre otras usan actualmente redes de bus de campo DeviceNet para la comunicación de sus procesos [Anacona 08]. La plataforma DeviceNet es adoptada por la ODVA en 1995, es difundida mundialmente para promover la normalización y perfeccionamiento de este protocolo, con la finalidad de cumplir con los requerimientos de los procesos productivos modernos.

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA FÍSICA DE LA RED

En la figura 40 de la pagina 87 se observan los diferentes dispositivos que conforman la red de sensores propuesta en este trabajo de grado. En las secciones 4.2 a 4.7 se describe el funcionamiento, las características generales, y trabajo desempeñado por los dispositivos que hacen parte de la red. El proyecto no solamente expone elementos que se usarán en el desarrollo, sino que también menciona algunos posibles dispositivos que se pueden usar en una eventual modificación o en futuros proyectos de expansión y mejora de la red, a continuación se inicia la descripción de los componentes de la red DeviceNet, se hace una descripción muy general de los dispositivos, suficiente para entender el funcionamiento básico de cada uno de ellos, el lector interesado en conocer los detalles de cada instrumento puede consultar el manual de usuario de cada dispositivo.

La red DeviceNet implementada está constituida por los siguientes elementos: un PLC, un computador con el software necesario para el funcionamiento del sistema, una fuente de alimentación, el medio físico, un módulo de comunicaciones o interfaz entre el PC y la red DeviceNet, los nodos esclavos implementados en este proyecto y el escáner DeviceNet.

La red está formada por una estructura física lineal común a los dispositivos que la conforman. Los nodos se conectan con ramales cortos formando líneas de derivación que se desprenden de la línea troncal principal.

4.2. EL DISPOSITIVO MÁSTER DE LA RED

El nodo maestro integrado por el PLC Micrologix1500 y el modulo scanner 1769SDN están representados en la figura 36. El scanner establece la comunicación entre el PLC y la red DeviceNet, habilita al PLC para operar como dispositivo esclavo o maestro de la red.

fig. 36. Dispositivo máster



4.2.1 El scanner 1769SDN

El scanner es una tarjeta adicional que se inserta en las ranuras de expansión del PLC, de igual forma que una tarjeta I/O o similar...Ver la figura 36...sirve como interfaz entre la red y el controlador. El escáner (*scanner*) se comunica con los dispositivos de la red para: leer las entradas de los dispositivos esclavos, escribir salidas para los nodos esclavos, comunicar dispositivos peer (mensaje), cargar y descargar programas al PLC a través de la red DeviceNet.

Tipos de mensaje que maneja el scanner 1769SDN. El scanner puede comunicarse con los dispositivos vía strobe, Poll, cambio de estado o mensaje cíclico I/O, mensajes usados para solicitar y entregar información a los nodos de la red. Los datos recibidos son organizados por el scanner para posteriormente ponerlos a disposición del PLC, los datos que envía el controlador se organizan en el scanner, y son enviados a los nodos esclavos [Allen Bradley 1769SDN 05].

- Un mensaje Strobe es una transferencia de datos Multicast con una longitud de 64bits enviada por el scanner, esto inicia una respuesta de cada esclavo. La respuesta de dispositivos Strobe puede ser como máximo 8 bits de información.
- Un mensaje Poll es una transferencia punto a punto de datos de 0 a 128 bytes enviados por el scanner a los esclavos.

El scanner además de los mensajes I/O maneja mensajes explícitos como PCCC (*programmable controller communications comands*) y CIP...véase la sección 4.3.1...

Organización de datos del escáner DeviceNet (Imágenes de I/O). Por cada módulo de entrada/salida, el archivo de datos de I/O contiene el estado actual de los puntos de E/S de campo [Manual AB 02]. La imagen de datos es una posición de memoria en el scanner relacionada con datos de entrada/salida del dispositivo. El escáner utiliza imágenes de datos de entrada y salida para manejar y transferir información, estado y comandos entre el escáner y el controlador.

- **Imágenes de datos de entrada.** La imagen de datos de entrada es transferida del scanner al controlador a través del bus de I/O. Las tablas 23 y 24 describen la imagen de los datos de entrada del escáner 1769SDN.

Tabla 23 datos de entrada

Palabra	Descripción	Tipo de Dato
0...65	Estructura de estado	Matriz de 66 palabras
66...245	Imagen de datos de entrada	Matriz de 180 palabras

Fuente: [Allen Bradley 1769SDN 05]

Tabla 24 Estructura de estado (*Status structure*)

Descripción	Palabra	Tipo de dato
<i>Scan counter</i>	0 y 1	2 palabras
<i>Device failure array</i>	2...5	Matriz de 64 bits
<i>Autoverify failure array</i>	6...9	Matriz de 64 bits
<i>Slave device idle array</i>	10...13	Matriz de 64 bits
<i>Active node array</i>	14...17	Matriz de 64 bits
<i>Reserved</i>	18...19	Matriz de 4 bytes
<i>Scan status</i>	20 y 21	Matriz de 4 bytes
<i>Reserved array</i>	22...31	Matriz de 20 bytes
<i>Device status array</i>	32...63	Matriz de 64 bytes
<i>Module status register</i>	64 y 65	2 palabras

- **Imagen de datos de salida.** La imagen de datos de salida se transfiere del controlador al scanner a través del bus I/O. la tabla 25 representa la imagen de datos de salida del escáner 1769SDN.

Tabla 25 Datos de salida

Palabra	Descripción	Tipo de Dato
0 y 1	Matriz de comandos del módulo	Matriz de 2 palabras
2...181	Imagen de datos de salida	Matriz 180 palabras

Fuente: [Allen Bradley 1769SDN 05]

La tabla 26 describe el modo de operación del escáner a través de la palabra cero y uno según el estado de los bits.

Tabla 26 Asignación de arreglo de Bit del modulo

palabra	Bit	Modo de operación
0	0	1 = run, 0 = idle(inactivo)
	1	1 = fault (Falla)
	2	1 = red desactivada
	3	Reservado(1)
	4	1 = reset
	5...15	Reservado(1)
1	0...15	Reservado(1)

Fuente: [Allen Bradley 1769SDN 05]

Herramientas de configuración del scanner. El software RsNetwork es una avanzada herramienta de configuración de redes DeviceNet, es usada para configurar el scanner y los dispositivos esclavos de la red, se comunica con el scanner a través de la red DeviceNet vía RS232 usando una interfaz 1770KFD o una tarjeta PC card 1784PCD insertada en un computador, es posible también configurar el scanner vía Ethernet usando RSNetWorx si se dispone de un scanner Ethernet en el PLC. RSNetWorx ofrece una versión *freeware* limitada que permite gestionar 6 dispositivos en red, se puede descargar totalmente gratis de la página de Rockwell Automation y no requiere de activación y el serial del *freeware* está incluido en el archivo.

4.3. CONTROLADOR MICROLOGIX 1500

El controlador lógico programable Micrologix 1500 soporta dos procesadores diferentes compatibles con el *scanner* (escáner) 1769DSN (1764LSP y 1764LRP) ambos

procesadores pueden usar el scanner DeviceNet como dispositivo maestro o esclavo [AB Micrologix 1500 02]. El procesador 1764LRP permite funcionalidad de mensajes sobre DeviceNet, pero no puede intercambiar datos I/O directamente, requiere del scanner 1769SDN para comunicarse con redes DeviceNet.

4.3.1 Tipos de mensajes soportados por el Micrologix 1500

Este procesador soporta mensajes explícitos CIP y PCCC (programmable controller communications comand) Comandos de Comunicación para controladores programables, estos proveen comunicación point to point y master/slave entre dispositivos. PCCC es un protocolo abierto contenido en todos los controladores Allen Bradley. [Manual AB 02]. Los mensajes PCCC han sido usados desde hace varios años en redes DH 485, DH+ y Ethernet para comunicaciones punto a punto entre controladores Allen Bradley, este tipo de mensaje permiten Upload/download (cargar y descargar) programas a través de la red DeviceNet. El protocolo CIP es un protocolo nuevo y más versátil que el PCCC, una característica particular del Micrologix 1500 1764LRP serie C es el número de instrucciones de mensajes que facilitan el uso de mensajes CIP. Los mensajes CIP son el formato nativo de mensajes DeviceNet. La Característica CIP Generic permite configurar instrucciones de mensaje que habilitan la comunicación con dispositivos DeviceNet que no soportan mensajes PCCC.

4.4 MODULO DE COMUNICACIONES 1770KFD

Este módulo es una interfaz que permite comunicar un computador con la red DeviceNet a través del estándar RS232. El computador puede ser conectado en cualquier lugar del cable DeviceNet usando este módulo y puede usarse como un nodo permanente o puede ser retirado y conectado cuando sea pertinente. El módulo puede conectarse a un dispositivo con funcionalidad DeviceNet, vía cable DeviceNet en una conexión física punto a punto o conectarse a la red de dispositivos [AB 1770KFD]. También se puede tener acceso remoto a la red a través de un modem (para más información consultar el manual del módulo de comunicaciones). El 1770KFD es un módulo *stand alone* (automático) auto baud rate, auto MAC ID auto diagnostico, indica el estado del módulo, y el estado de la comunicación RS232. Puede ser conectado a cualquier tipo de computador equipado con

un puerto de comunicaciones RS232, y adicionalmente puede ser conectado a dispositivos RS232, como por ejemplo controladores que tengan embebido el protocolo RS232 o sensores de este tipo. El 1770KFD tiene embebidos los siguientes protocolos: PCCC, DeviceNet, CIP y DF1 [AB 1770KFD].

4.5. MEDIO FÍSICO

DeviceNet soporta varios tipos de medio físico (cable plano, redondo grueso y redondo delgado), en este capítulo se presenta un vistazo general del cable plano, usado en este proyecto, para más información consultar el anexo B, o la especificación DeviceNet. El cable plano contiene cuatro conductores: un par (rojo y negro) para alimentación de corriente continua de 24 V; un par (azul y blanco) para datos (sin blindaje)...ver la tabla 27...El cable de derivación KwikLink es un cable gris de cuatro conductores sin blindaje, que sólo se utiliza con sistemas de cable plano KwikLink [AB Cables 99].

Tabla 27. Características del cable DeviceNet

Color del cable	Identidad del cable	Uso del cable redondo	Uso del cable plano
blanco	CAN_H	Señal	Señal
azul	CAN_L	Señal	Señal
sin forro	Tierra	Blindado	n/a
negro	V-	Alimentación	Alimentación
rojo	V+	Alimentación	Alimentación

4.5.1. Longitud máxima de la línea troncal

La distancia entre dos nodos cualesquiera no debe superar el recorrido máximo del cable en función de la velocidad de transmisión de datos, la tabla 28 muestra la longitud máxima de la línea troncal con respecto a la velocidad.

Tabla 28. Longitud máxima de la línea troncal

Velocidad de transmisión de datos	Longitud máxima (cable plano)	Longitud máxima (cable grueso)	Longitud máxima (cable delgado)
125 k bit/s	420 m	500 m	100 m
250 k bit/s	200 m	250 m	100 m
500 k bit/s	75 m	100 m	100 m

Tomado de [cables 99]

El recorrido máximo del cable de red, debe ser igual a la distancia entre las resistencias de terminación que se ubican en los extremos de la línea troncal, sin embargo si la distancia desde una toma de la línea troncal hasta el dispositivo más alejado conectado a la línea troncal desde una línea de derivación es mayor que la distancia existente entre la toma y la resistencia de terminación (TR) más cercana, entonces se deberá incluir la longitud de la línea de derivación como parte de la longitud del cable...Véase la sección B.5...

4.5.2. Longitud acumulativa de la línea de derivación

La longitud máxima de una línea de derivación es de 6m, existe una longitud máxima de la sumatoria de las líneas de derivación, la longitud acumulativa de la línea de derivación se refiere a la suma de todas las líneas de derivación ubicadas en la línea troncal, esta suma no puede superar la longitud acumulativa máxima que se determina en función de la velocidad de transmisión de datos, según la tabla 29.

Tabla 29. Longitud acumulativa de la línea de derivación

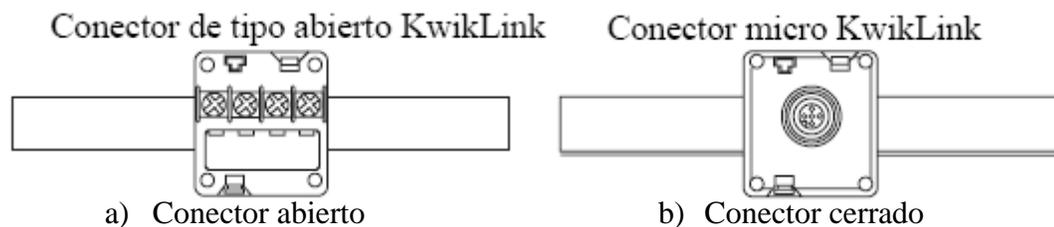
Velocidad de transmisión de datos	Longitud acumulativa de la línea de derivación
125 k bit/s	156 m (512 pies)
250 k bit/s	78 m (256 pies)
500 k bit/s	39 m (128 pies)

Tomado de: [estándar DeviceNet 06]

4.6. TIPOS DE CONECTORES DEVICENET USADOS EN ESTE PROYECTO

Existen dos grupos de conectores, los conectores sellados y los abiertos cada uno con algunas variaciones y sub grupos (mini micro y de terminales de tornillo)...Véase el numeral B.2.3...en esta implementación se usaron tomas Micro tomas KwikLink abiertas y conectores micro KwikLink como se puede observar en la figura 37a) y 37b).

Fig. 37 conectores KwikLink manejados en este proyecto



4.6.1. Terminaciones de red (TR)

En los extremos del cable troncal se debe ubicar los terminadores de red, las resistencias de terminación reducen las reflexiones de las señales de comunicación en la red, estas resistencias son de 120 ohmios, 5 % de tolerancia, o de 121 ohmios, 1 %, 1/4 W, ubicadas en cada extremo del cable troncal entre de los conductores azul y blanco del cable DeviceNet [ODVA networks library 06].

4.7. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación usada en este desarrollo es de 4 A modelo 1606-XLDNET4 suministrada por Rockwell y cumple todas las especificaciones del estándar DeviceNet. DeviceNet especifica que la fuente de alimentación tenga un máximo regulado de 24 VCC y que el circuito de alimentación esté limitado a 8 A aplicando estas condiciones a un circuito de Clase 1. Para un circuito de Clase 2 que funcione también a 24 VCC, la corriente máxima permitida es de 4 A. la tabla 30 indica las características de la fuente de alimentación. Es importante saber que el rango de voltaje entre V- y V+ en cada nodo debe estar entre 11 a 25 V para que el dispositivo opere adecuadamente.

Tabla 30. Características de al fuente de alimentación

Model	1606-XLDNET4
Watts	24V/120 W
Input Voltage	AC 100...120V/200...240V
Operational Range	Manual select DC 210...375V
Hold-up Time	>37 ms (AC 196V)
Rated Input Current	<2.6 A/<1.4 A
Efficiency	typ. 90%
Output Voltage	24V
Rated Output Current	4 A
Power Boost	N/A
Ripple/Noise (20 MHz)	<50 mVpp
Operating Temperature range (Tamb)	-10...+70°C >60°C with derating
MTBF	520 000 hours
Dimensions (W x H x D)	64 x 124 x 102 mm
Weight	620 g
Approvals/Standards	1, 2, 3, 5, 6, 7
Special Features	Electronically limited to 4 A



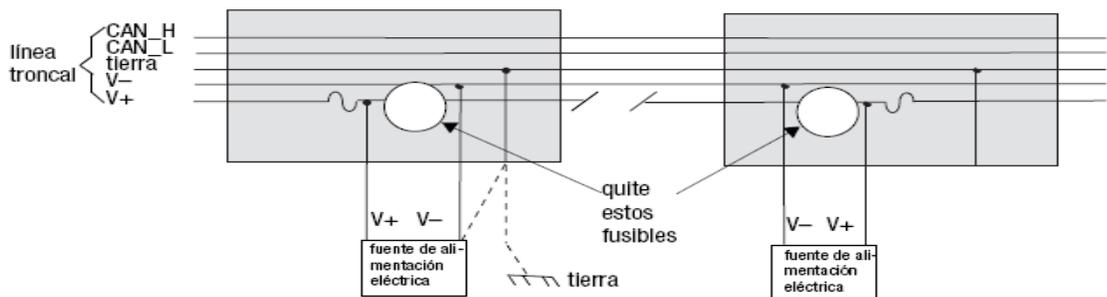
4.7.1. Consideraciones al usar la fuente de alimentación

La fuente de alimentación eléctrica debe ser conectada usando un cable con un par de conductores calibre 12 AWG o dos pares de conductores 15 AWG y una longitud máxima de 3m a la toma de alimentación eléctrica, según lo establecido en el estándar DeviceNet

Para evitar los circuitos a tierra. Cuando se use medio redondo se debe conectar el conductor V-, el blindaje y el cable de tierra en un solo punto, al usar medio plano se debe conectar a tierra el conductor V-.

La fuente de alimentación debe estar ubicada lo más cerca posible del centro físico de la red para maximizar el rendimiento y minimizar el efecto de las interferencias externas. Existen dos métodos (Método de cálculo total y Método de búsqueda) para determinar si la ubicación de la fuente provee la alimentación adecuada a los dispositivos que conforman el sistema de comunicaciones...véase la sección B.3...DeviceNet permite usar más de una fuente de alimentación, si conecta múltiples fuentes de alimentación, el terminal V+ debe dividirse entre las fuentes de alimentación. Cada chasis de la fuente de alimentación debe conectarse a la toma de tierra común como indica la figura 38. Cuando se usan dos o más fuentes se duplica eficientemente la corriente disponible, los fusibles entre las dos tomas PowerTap deben quitarse para dividir el conductor V+ en la línea troncal entre las tomas.

Fig. 38. Usando dos fuentes de alimentación



Fuente: [estándar DeviceNet 06]

4.8. INTEGRACIÓN DE LOS ELEMENTOS A LA RED

La red DeviceNet del PIAI inicialmente estará constituida por dispositivos básicos que permitan comprobar la funcionalidad DeviceNet, teniendo en cuenta que es una red escalable que permite variaciones en cuanto a número y tipo de dispositivos, se puede seguir trabajando para aumentar el número de nodos de la red, cobertura y la posibilidad de comunicación con otras redes de comunicación industrial. Actualmente las redes DeviceNet y DH485 montadas en los laboratorios del PIAI como parte de este trabajo de grado cubren el laboratorio de control de procesos y la sala de Automática, a futuro se tiene presupuestado extender la cobertura de la red DeviceNet e introducir un nuevo sistema de comunicaciones Ethernet soportándose en los aportes de este proyecto que identifica la viabilidad de comunicación de la red de bus de campo con redes de nivel superior como Ethernet IP.

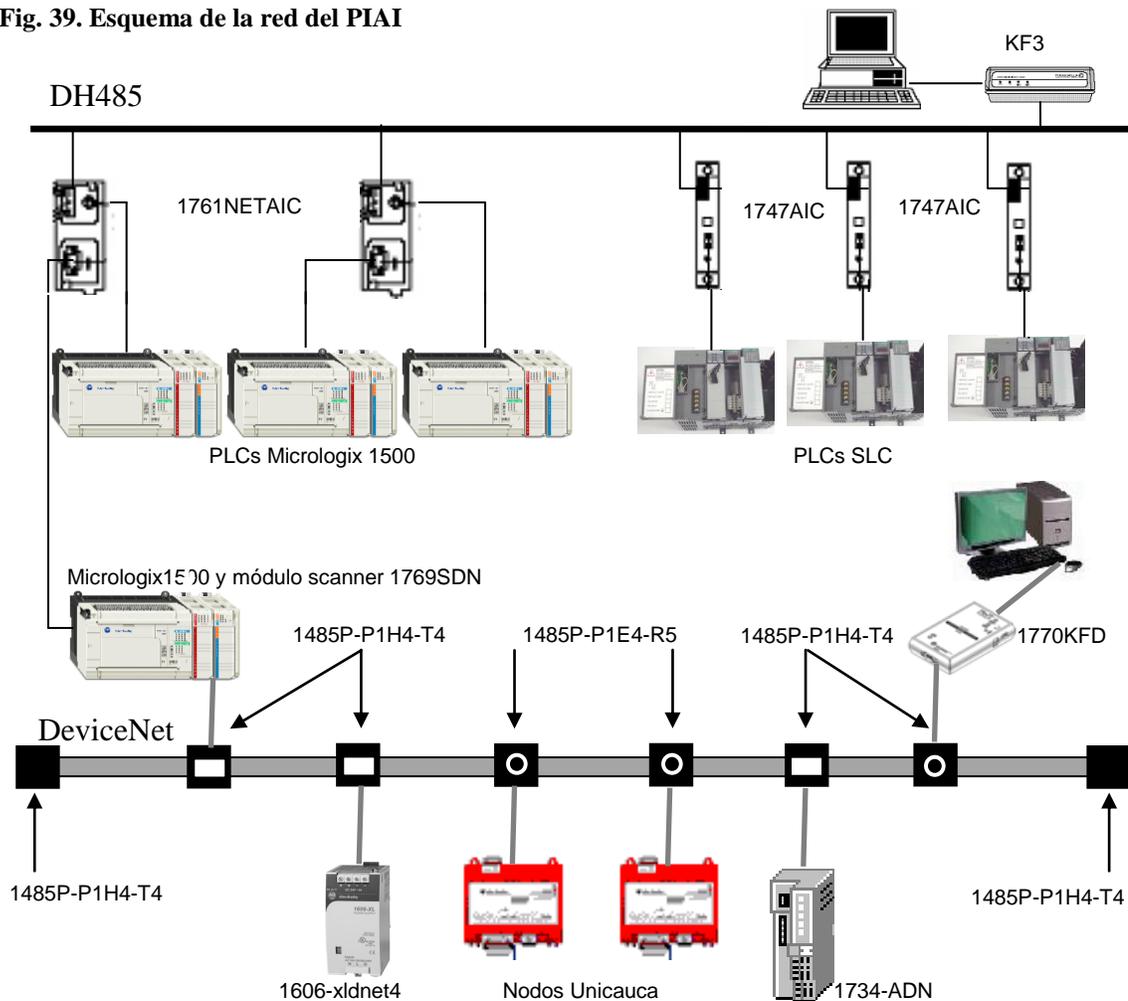
Los elementos que conforman la red DeviceNet del PIAI son:

- El PLC Micrologix1500 y el módulo scanner 1769SDN
- Un módulo de comunicaciones 1770KFD
- 75 metros de cable troncal plano Trunk Cable For DeviceNet Flat Media System - KwikLink Heavy Duty, TPE, Grey, 24VDC 8A, (número de parte 1485C-P1E75)
- Una fuente de alimentación AC/DC Dinrail Mount Power Supply, Devicenet, N+1 Redundancy, 100 W, 24V (numero de parte 1606-xldnet4)
- Dos nodos esclavos DeviceNet UniCauca
- Cable delgado para las líneas de derivación (Cable de derivación KwikLink serie 1485K)
- Cuatro tomas KwikLink abiertas 1485P-P1H4-T4, cuatro tomas KwikLink cerradas 1485P-P1E4-R5 dos terminadores de red KwikLink 1485P-P1H4-T4.

La figura 39 muestra un diagrama de la arquitectura física de la red DeviceNet y DH485 instaladas en los laboratorios de PIAI de la universidad del Cauca, en el anexo F se puede encontrar información de la red DH485 montada en los laboratorios del PIAI como parte adicional de este trabajo de pregrado.

La línea troncal de la red DeviceNet está formada por el cable plano KwikLink de 75 metros donde se ubican los cuatro conectores tipo abierto KwikLink y los cuatro conectores micro KwikLink. Los conectores abiertos sirven de interconexión entre los dispositivos y la red a través de líneas de derivación de 1m, en este caso específico se usa un conector abierto para ubicar la fuente de alimentación DeviceNet y el scanner, los nodos DeviceNet desarrollados en este trabajo de pregrado se ubican en conectores abiertos y en un conector micro se inserta el módulo de comunicaciones 1770KFD.

Fig. 39. Esquema de la red del PIAI



El cableado de ambos sistemas de comunicación (DeviceNet y DH485) que recorren estos laboratorios está protegido y organizado sobre canaletas Dexon 60x16D, los conectores y terminadores de red están empotrados en cajas multipropósito Dexon, cada caja alberga dos conectores DeviceNet y un conector DH485 que permite fácilmente

conectar y desconectar dispositivos de la red. Los equipos que conforman ambas redes están ubicados en paneles que permiten ubicar y retirar fácilmente estos dispositivos, adicionar o intercambiar equipos entre los paneles, entre otras ventajas. Los paneles A y B (PA y PB) se instalaron en la sala de Automática y los paneles C y D en el laboratorio de control de procesos como indica la figura 40, en esta figura también se puede ver la canaleta Dexon, las cajas con los conectores y la caja que aloja el terminador de red DeviceNet...véase la figura 40 y 41...

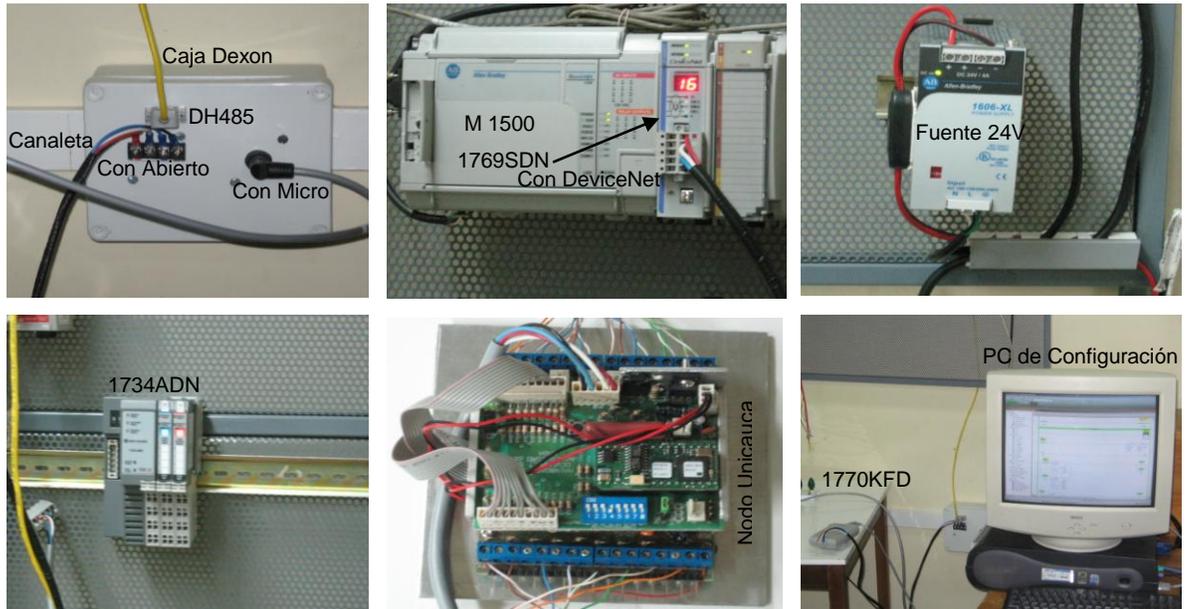
Fig. 40. Ubicación de los paneles a través de los laboratorios del PIAI



En los anexos C, E y F se expone en más detalle la arquitectura de la red DH485 y la configuración tanto de la red DeviceNet como de la red DH485.

La figura 41 muestra las diferentes partes que conforman la red DeviceNet del PIAI, las canaletas Dexon, PLC maestro de la red con el respectivo scanner 1769SDN, la fuente de alimentación, el modulo de comunicaciones 1770KFD, el nodo esclavo 1734ADN y el nodo DeviceNet Unicauca.

Fig. 41. Dispositivos de la red DeviceNet del PIAI



4.9. CONFIGURACIÓN DE LA RED DEVICENET

4.9.1. Equipos y herramientas requeridas

- Un computador (Windows Xp)
- Un PLC MicroLogix 1500
- Un adaptador DeviceNet 1770-KFD RS-232,
- Software de comunicaciones: RSLinx, versión 2.30 o superior
- Software de configuración: RSNetWorx para DeviceNet, versión 3.00 o superior
- Software de programación Ladder logic: RSLogix 500, versión 5.00.10 o superior
- Un módulo scanner 1769-SDN

Listado de pasos a seguir en las tareas iniciales de configuración, asumiendo que el usuario está familiarizado con las herramientas y equipos de una red DeviceNet.

1. Verificación de la configuración del sistema
 - Verificar la corriente de la fuente de alimentación, (el scanner utiliza la misma fuente de alimentación del PLC no requiere de fuente externa, el módulo 1770KFD se alimenta de la línea de 24DC de la red DeviceNet).

Tabla 31 Características eléctricas del Scanner

Modulo	5V DC	24V DC
1769SDN	440mA	0mA

El Scanner no debe estar ubicado a más de cuatro módulos después de la fuente de alimentación en el chasis del PLC.

- Verificar la alimentación de la red DeviceNet

- 2. Suspender la alimentación. Antes de insertar el módulo se debe interrumpir la fuente de alimentación para evitar daños en los equipos
- 3. Ensamblar el módulo. El módulo puede ser insertado adyacente a la fuente de alimentación del PLC y se debe verificar que exista espacio entre los módulos para una buena ventilación
- 4. Conectar el módulo a tierra y completar el cableado de la red DeviceNet
- 5. Aplicar alimentación al sistema
- 6. Asegurarse de que el software de programación y los equipos están listos
- 7. Usar RSLinx para configurar los drivers
- 8. Usa RSNetWorx para configurar el módulo 1769SDN y los dispositivos DeviceNet
- 9. Usar RSLogix para crear el proyecto, (ladder Logic)
- 10. Iniciar el sistema
 - a) Aplicar alimentación
 - b) Descargar el programa poniendo el controlador en modo Run (Run mode.)
 - c) En un inicio normal de los módulos y la red el LED verde de los nodos estará encendido
- 11. monitorear el comportamiento de los dispositivos y de la red para saber si opera normalmente

4.9.10. El Software RSNetWorx como una herramienta de configuración

El software RSNetWorx, usado para configurar el *scanner* y los dispositivos esclavos de la red DeviceNet, debe incluir los archivos EDS requeridos para la configuración de los dispositivos. Si estos archivos no están incluidos en el software de configuración se deben descargar de la siguiente dirección web <http://www.ab.com/networks/eds>. En el caso del

los nodos DeviceNet Unicauca los archivos EDS editados en este proyecto están disponibles en el anexo digital I. Una vez descargados los archivos EDS se deben registrar, usando EDS Wizard en RSNetWorx desde el menú herramientas, del software RSNetWorxv...véase la sección C.5...El controlador debe estar en modo program o el scanner en modo Idle (bit 0 del *Module Command Array* = 0) para que el scanner acepte la nueva configuración [scanner 05]. La figura 42 muestra la ventana principal de RSNetworx para DeviceNet, la figura 43 muestra de forma grafica los pasos básicos de configuración de la red. Los anexos C, E y F está dedicado a explicar en más detalle las tareas de configuración de la red DeviceNet y DH485 del PIAI.

Fig. 42 Ventana principal de RSNetworx

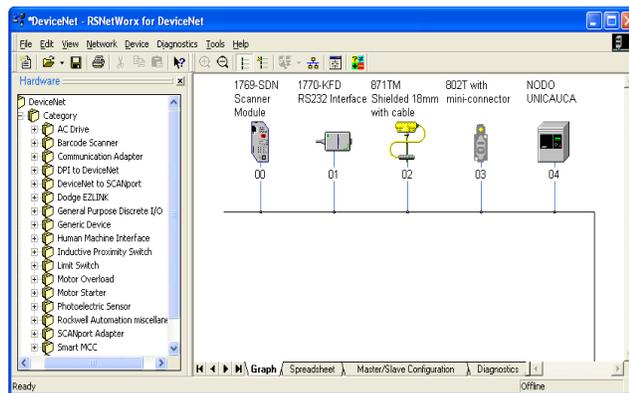
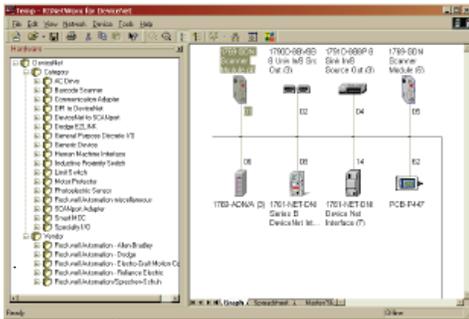
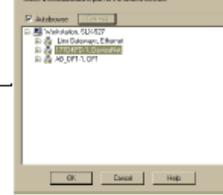


Fig. 43 Grafico de configuración de RSNNetWorx

Ventana principal de RSNNetWorx



Para navegar por la red. click en botón online, seleccionar el driver



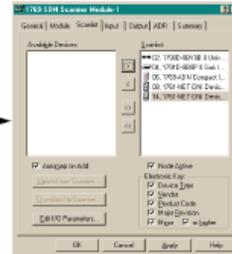
Para acceder al scanner 1769 SDN. Doble click en el icono scanner 1769



Para acceder a scanlist. Click en scanlist



Mueva los dispositivos disponibles a scanlist



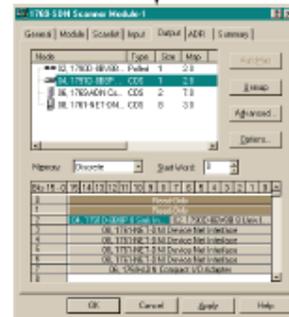
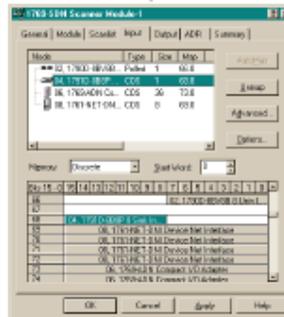
Para descargar la scanlist. Click en el botón download to scanner



Para mapear automáticamente entradas de los dispositivos seleccione input, click en el botón Automap



Para editar parámetros de los dispositivos. Doble click en el dispositivo dentro de scanlist



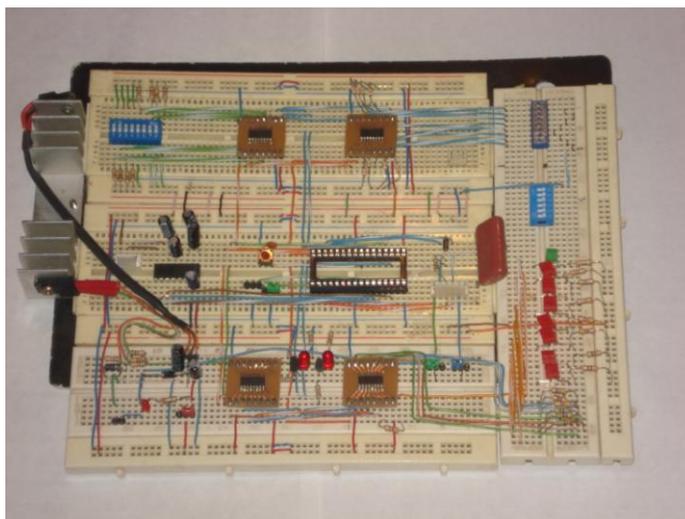
Para mapear automáticamente salidas de los dispositivos seleccione output, click en el botón Automap

5. EVALUACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

5.1. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas iniciales hechas al nodo DeviceNet desarrollado en este trabajo de pregrado se efectuaron en el laboratorio de comunicaciones industriales del SENA Cali, donde se comprobó la funcionalidad y desempeño en condiciones normales, trabajando en conjunto con los dispositivos comerciales que conforman la red de este laboratorio, el prototipo bajo prueba estaba implementado en *protoboard*, se usaron ocho diodos LED para visualizar las salidas discretas del nodo DeviceNet Unicauca, para manipular las entradas también discretas se ubicaron ocho pulsadores que permitían cambiar el estado de las entradas dispuestas en el dispositivo bajo prueba, esta prueba fue determinante para concluir que el dispositivo funcionaba satisfactoriamente. Las etapas del circuito comprobadas en esta sección de pruebas fueron: Circuito miswiring, señalización (LED indicadores de operación) Cambio de MAC ID y Baud Rate, envío de datos usando los ocho pulsadores, recepción de datos que se visualizaron en las salidas del nodo Unicauca a través de los LED, configuración y monitoreo a través del RSLinx RSnetworkx y RSLogix 5000. La figura 44 presenta el prototipo del nodo DeviceNet Unicauca en proto board.

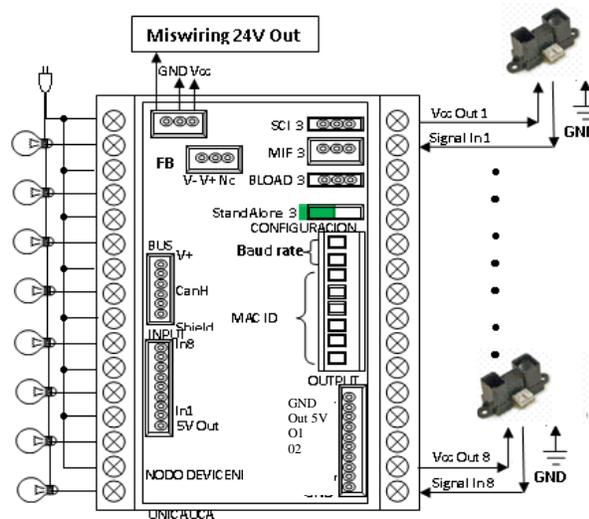
Fig. 44. Nodo DeviceNet Unicauca



La segunda serie de pruebas se hicieron al circuito ya implementado en una PCB (*printed circuit board*) consistieron en verificar el comportamiento del dispositivo en línea, conexión y desconexión del dispositivo con la red DeviceNet activa, para comprobar la característica *Hot Plug* (conexión y desconexión en caliente) de los nodos DeviceNet. Además de una serie de pruebas que involucraron el comportamiento ante entradas y salidas discretas las cuales se pudieron evidenciar tanto en el dispositivo implementado a través de LEDs y pulsadores como en el computador de configuración y monitoreo a través RSNetworkx y RSLogix 5000. Los sensores de proximidad Sharp GP2Y0D02YK, usados como entradas al nodo DeviceNet...véase el anexo D sección D.33... entregaron el comportamiento esperado en condiciones normales de funcionamiento, según las características técnicas del dispositivo sensor y del nodo Unicauca, como actuadores se usaron bombillos de 120V, 7W conectados directamente a las salidas tipo relé del nodo DeviceNet. La figura 45 muestra la configuración del nodo Unicauca expuesto a las pruebas en el laboratorio de comunicaciones industriales del SENA valle.

Las pruebas realizadas al dispositivo final se hicieron usando la interfaz MIF del nodo DeviceNet que permite verificar el funcionamiento y configuración a través del Hyper Terminal de Windows...véase la sección A.3...Pruebas que fueron satisfactorias para verificar el correcto desempeño del nodo DeviceNet Unicauca.

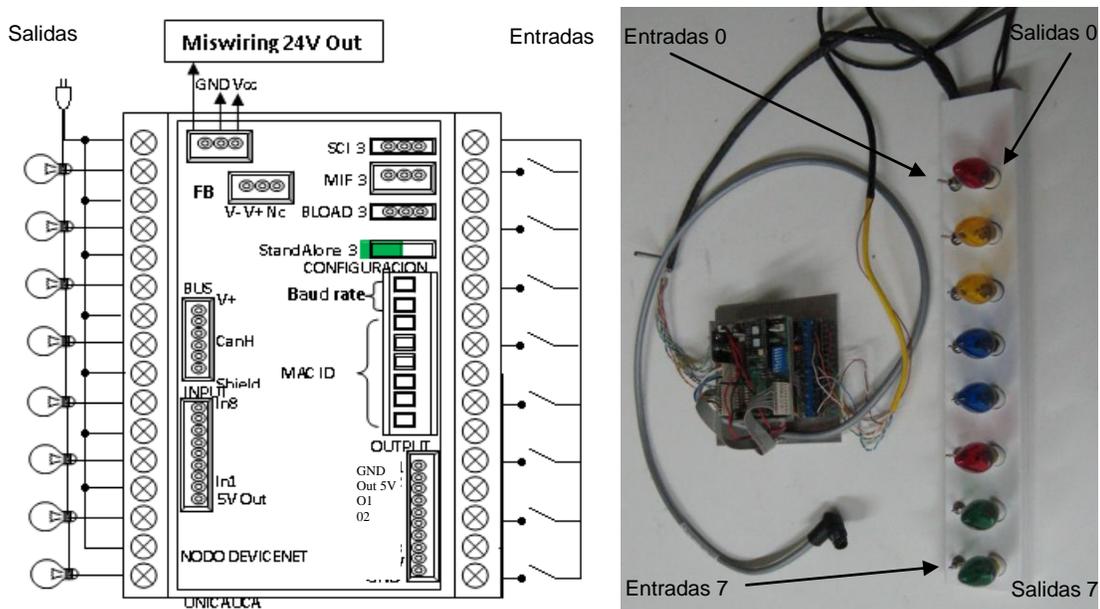
Fig. 45. Nodo Unicauca comprobado en el laboratorio del SENA



El comportamiento del dispositivo lleno totalmente las expectativas planteadas en el inicio del trabajo de grado y además cumplió con los requerimientos característicos de un esclavo DeviceNet grupo 2.

Las pruebas finales efectuadas a la red DeviceNet instalada en los laboratorios del PIAI para comprobar el correcto funcionamiento del sistema, involucraron la configuración de la red DeviceNet usando las herramientas software necesarias RSLinx para configurar los drivers, RSNetworkx para configurar la red DeviceNet y RSLogix para crear el *ladder logic* o programa en escalera. Los pasos de configuración de la red DeviceNet y DH485 de los laboratorios del PIAI se describe en el anexo E. Adicionalmente se repitieron las pruebas hechas al Nodo Unicauca en los laboratorios del SENA de Cali, el nodo DeviceNet presenta un excelente desempeño y funcionamiento en la red del PIAI, su facilidad de configuración, usando las herramientas de Allen Bradley lo hacen un dispositivo amigable para el usuario, quien no tiene que preocuparse de leer un largo manual de usuario para usar este dispositivo, la red lo detecta automáticamente, las salidas y entradas pueden ser mapeadas manual o automáticamente dentro de las imágenes de I/O del scanner y el Baud Rate y el MAC ID se cambian manualmente en el nodo a través del switch de configuración. La figura 46 muestra el nodo DeviceNet Unicauca, los switch empleados para simular físicamente entradas discretas y los bombillos de 120V.

Fig. 46. Nodo Unicauca comprobado en conjunto con la red del PIAI



En esta prueba se creó un ladder logic en RSLogix 500 que permitió manipular las salidas y leer las entradas al nodo DeviceNet de la figura 46, el ladder mostrado en la figura 47 permite encender cada bombillo de las salidas haciendo *toggle bit* en cada una de las salidas, manipulando cada switch manualmente en las entradas 0 a 7 se puede visualizar el cambio de estado en el programa en escalera, para más información ver el anexo E. finalmente se creó un secuenciador en ladder y se descargó al PLC el cual permitió ver una secuencia de encendido y apagado de los bombillos automáticamente, y con respecto a las entradas se programó en el ladder que cada switch de entrada en el nodo DeviceNet Unicauca modifique una salida discreta del PLC...véase la figura 48...

Fig. 47. Ladder para visualizar las entradas y manipular las salidas del nodo Unicauca

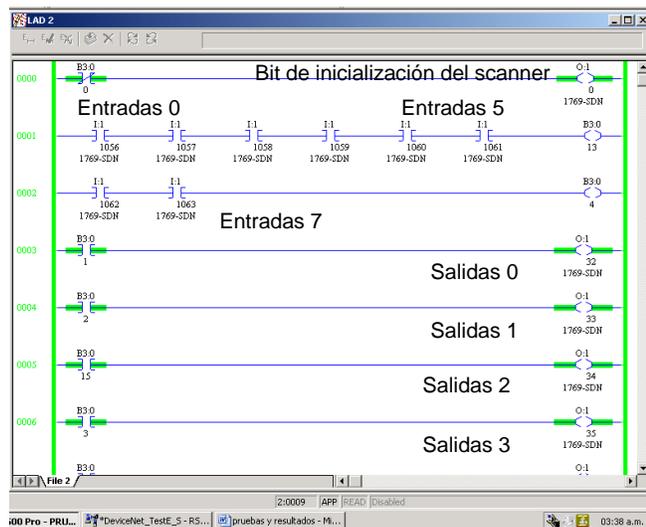
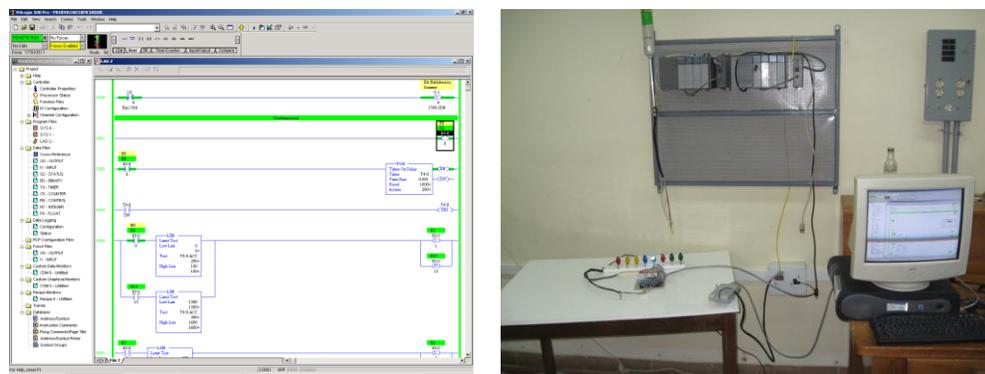
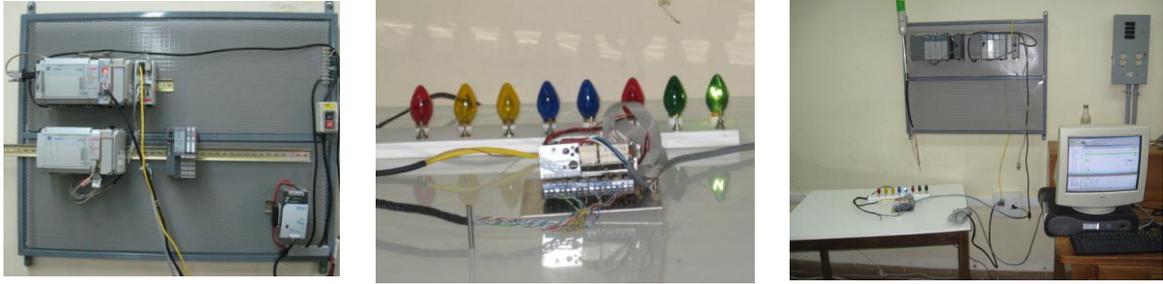


Fig. 48. Secuencia de encendido y apagado de los bombillos



La figura 49 muestra los dispositivos usados en esta prueba: el PLC maestro de la red, el scanner 1769SDN, la fuente de alimentación, el nodo DeviceNet Unicauca, los bombillos usados como actuadores (salidas), los switch como sensores discretos (entradas), el modulo de comunicaciones 1770KFD, y el PC equipado con el software de Rockwell.

Fig. 49. Equipos usados en las pruebas finales



Se puede concluir que los resultados obtenidos de las pruebas son ampliamente satisfactorios, el funcionamiento de la red DeviceNet, la red DH485 y los nodos DeviceNet Unicauca están por encima de los objetivos fijados en este proyecto de pregrado. Como resultado de las pruebas se generaron dos manuales de configuración de redes de Rockwell: manual de configuración de redes DeviceNet y manual de configuración de redes DH485. Debido a que no se pudo encontrar información detallada y organizada para la configuración de estas redes se generó la correspondiente documentación que permite seguir ordenadamente una serie de pasos que logran configurar fácilmente este tipo de redes (los manuales tratan la configuración usando PLCs Micrologix 1500 y el software para el mismo).

6. CONCLUSIONES

En Colombia la Automática tiene un gran campo de aplicación y las comunicaciones industriales son una de las tantas áreas que requiere de trabajo. Las redes de comunicación industrial gozan de popularidad en el sector productivo del país, muchas empresas ya cuentan con los beneficios de las redes de comunicación y otras están en proceso de implementación de estos sistemas.

Las pautas metodológicas y la clasificación de las redes de comunicación industrial permiten fácilmente centrarse en el tipo de tecnología de bus de campo mas conveniente para una aplicación determinada, por ejemplo soportándose en estos dos temas en este proyecto de se logró identificar la opción mas conveniente con respecto a la red de sensores a implementar en el laboratorio de instrumentación industrial del PIAI.

La elección de una red de bus de campo, en particular en Colombia está bien marcada por el tipo de tecnología existente en el proceso, y por el mercado. Definitivamente el poder integrar los equipos disponibles con las nuevas tecnologías representa un ahorro para la empresa, por ejemplo el poder usar los PLCs del proceso con las redes de comunicaciones a implementar. En cuanto al mercado algunas tecnologías se han posicionado y luchan por su cuota de mercado ofreciendo y promocionando sus tecnologías a nivel mundial a través de distribuidores locales, los integradores generalmente se asocian con los distribuidores locales y son los integradores los que finalmente tienden a definir el tipo de red de bus de campo que le compete más al usuario, sin perder de vista las tecnologías que le suministra sus distribuidores.

Existe múltiples opciones de selección para la implementación de una red de bus de campo, según las características técnicas y las ventajas que ofrece cada fabricante de estos sistemas, soportándose en éste proyecto se puede concluir que en Colombia se sigue una tendencia en particular a usar redes DeviceNet, ASÍ, ProfiBus y FieldBus, una de las causas podría ser el mercado, algunas tecnologías tienen mayor penetración en el mercado.

En cuanto al desarrollo de dispositivos esclavos DeviceNet, un diseñador debe conocer ciertos criterios importantes mencionados al inicio del capítulo tres, un requerimiento bien importante es adquirir el protocolo DeviceNet. Muchos de los buses de campo son abiertos pero algunos no publican el protocolo, como es el caso de DeviceNet que es una red abierta, donde la única forma de adquirir el protocolo es comprando la especificación, aunque la ODVA menciona que el estándar es de muy bajo costo, en países como Colombia y sobre todo en Universidades públicas es bien difícil adquirir el protocolo por falta de recursos económicos. En etapas iniciales de este trabajo de grado se pretendió implementar el esclavo DeviceNet usando el microcontrolador PIC 18f458 que tiene el módulo CAN integrado y aplicando como referencia el firmware de microchip, las labores de programación se hicieron complejas debido a la falta del protocolo y la baja facilidad de comunicación permanente con la organización encargada de difundir el protocolo DeviceNet. Es importante tener en cuenta que otras redes de bus de campo permiten descargar el protocolo de la página principal y además ofrecen librerías de ejemplo para facilitar el desarrollo de dispositivos.

En la implementación de dispositivos DeviceNet se debe cumplir con unos requerimientos mínimos, que hacen que la implementación de unas pocas unidades sea bastante costosa, por ejemplo la necesidad de adquirir el protocolo que aunque libre el diseñador tiene que comprarlo, las herramientas de diseño, el kit de desarrollo del controlador usado, el tiempo de elaboración del firmware, etc. La solución a este inconveniente es usar controladores con el protocolo integrado lo que reduce altamente los costos de implementación de dispositivos, la robustez y el soporte entregado por el fabricante del controlador es alto lo que hace que aumente la fiabilidad del dispositivo desarrollado.

Las pautas metodológicas para la selección de una red de bus de campo, el diseño e implementación de un innovador nodo DeviceNet Unicauca, el diseño y montaje de la red de bus de campo DeviceNet y de la red de PLCs DH485 en los laboratorios del PIAI y la publicación de un artículo internacional en el VIII Congreso Latinoamericano de Automatización en Mérida Venezuela el 28 de noviembre del año en curso, todos obtenidos como aportes de este trabajo de grado, permiten evidenciar el cumplimiento satisfactorio de todos los objetivos planteados en el mismo.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1. RECOMENDACIONES

El conocer una gran cantidad de protocolos de comunicación industrial, las tramas, la forma en que intercambian bits con otros dispositivos y muchos otros detalles técnicos, sin conocer una clasificación previa de de estos protocolos y sin saber como aplicar una determinada tecnología de estas, en la practica no es de mucha ayuda, este problema se podría solventar incluyendo las pautas metodológicas, la clasificación de las redes de comunicación industrial y algunas prácticas de laboratorio que involucren la configuración y montaje de las diferentes tecnologías de comunicación industrial disponibles (DeviceNet, DH485 y Ethernet), en las clases de redes Industriales del PIAI

Una de las finalidades de este proyecto es la implementación de una red que permita comunicar tanto sensores como actuadores con los PLC disponibles en la Universidad, la red DeviceNet cumple con este objetivo, en busca de optimizar el laboratorio de instrumentación industrial del PIAI se podría integrar la red DeviceNet con una red de nivel superior como Ethernet usando una interfaz de comunicaciones 1761-NET ENI que permitiría supervisar, programar, controlar, etc.

El hecho de haber trabajado con un integrado que tiene el protocolo embebido no descarta la posibilidad de implementar el mismo modelo de solución usando otras técnicas como el PIC18F458 o los integrados disponibles para DeviceNet (DSTni LX), hay que tener en mente que al optar por la opción dos o por una diferente, se debe adquirir el kit de desarrollo (el kit de DSTni LX incluye ejemplos software, emuladores, full board etc.)

7.2. TRABAJOS FUTUROS

El proyecto realizado tiene buenas opciones de evolución, trabajar en nuevos desarrollos de esclavos con otras funcionalidades ya sea usando el método planteado en este trabajo

de grado o un diseño diferente. En un intento por adquirir el protocolo se podría trabajar con el firmware de Microchip y el microcontrolador PIC18F458 o el DSTni LX.

Quizá un trabajo ineludible con la red DeviceNet sea la organización de guías de laboratorio que involucren el uso de las herramientas de Rockwell como RSLogix y RSNetworx integrando diferentes dispositivos a la red, facilitando así las prácticas a los estudiantes de Automática industrial de la universidad.

Como parte de un trabajo de grado se podría tratar de montar una red ASI muy común en el ambiente industrial Colombiano, aprovechando la disponibilidad de un Scanner ASI para Micrologix 1500 provisto por Siemens (*bihl+wiedemann AS interface master*). Los nodos esclavos ASI son más fáciles de implementar, dado que existe en el mercado chips y librerías de ejemplo, además se puede adquirir chips preprogramados. La red ASI se gestiona fácilmente usando Step 7 o Step5.

La evolución de las comunicaciones industriales, la aceptación e incorporación de estas tecnologías en el ambiente industrial automatizado de Colombia, facilitan realizar un trabajo de investigación y recolección de datos más detallado que involucre consultar empresas que usen redes de comunicación industrial, tipos de redes adoptadas por dichas empresas, beneficios del estándar seleccionado, etc.

8. BIBLIOGRAFÍA

ALLEN BRADLEY Sistema de cables DeviceNet, Manual de planificación e instalación (Núm. cat. DN-6.7.2ES) Publicación DN-6.7.2ES - Mayo de 1999. <<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/dn-um072-es-p.pdf>>.

Ibíd. , p. 76-78.

_____ Manual de referencia del conjunto de instrucciones Controladores programables MicroLogix 1200 y MicroLogix 1500. Boletines 1762 y 1764 Publicación 1762-RM001D-ES-P - Octubre 2002 <<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1762-td001-es-p.pdf>>.

Ibíd. , p. 74-75.

_____ Reference Manual 1770_6.5.22. DeviceNet RS_232 Interface Module Communication Protocol (Cat. No. 1770_KFD) Disponible en internet: <http://www.bitman.ca/DF1.pdf>.

_____ User manual 1769SDN DeviceNet scanner module. Publicacion 1769-UM 009C-EN-P mayo de 2005 Disponible en internet: <<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um009-en-p.pdf>>.

Ibíd. , p. 71-74.

ANACONA, Jesid; RODRIGUEZ, Adrian; VIDAL, Julián y ZÚÑIGA, Milton Sergio. Respuesta para información acerca de Redes de comunicaciones industriales en Colombia. [En línea]. Mensaje para: Nilson GUTIÉRREZ. 22 de abril de 2008. [Citado el 2 de mayo de 2008]. Comunicación personal.

ANYBUS. Datasheet Anybus-IC-5124-ABIC_DG_1_52_ROHS

Ibíd. , p. 59-69.

ARÉVALO, William; BOHÓRQUEZ, Andrés y JARAMILLO, Freddy T. Implementación de un esclavo DeviceNet. Trabajo de pregrado (ingeniero electrónico): Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad del valle. Colombia.2004.

BEAS, Jose y GALÁN Laura. La importancia en la selección de los buses de campo y su correcta implementación en los procesos industriales. [En línea]. Siemens Chile. Disponible en internet: <http://www.emb.cl/electroindustria/xtra/20080122electroindustria_buses_de_campo.pdf>.

BLANCO, Sirgo et al. Comunicaciones industriales. [En línea]. Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática. Universidad de Olmedo. España. Abril 2006. P. 1-8. Disponible en internet: <<http://isa.uniovi.es/docencia/iea/comunicacionesindustrialesdocumento.pdf>>.

BURKERT Tecnología de bus de campo. Fluid Control Systems, La elección más inteligente en Sistemas de Control de Fluidos. P. 6-59. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.burkert.com.br/media/ES_TECNOLOGIA_FIELDBUS.pdf>.
Ibid. , p. 10-11.

CAMILLA, Luís. Artículo: Buses de Campo. [En línea]. Chile. Mayo del 2006 disponible en internet: <<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mv?xid=473&edi>>

FERRARI, Juan Pablo. Sistemas de Control Distribuido. [En línea]. FACULTAD De Ciencias Exactas, Ingeniería Y Agrimensura. [Monografía]. Universidad Nacional De Rosario Escuela de Ingeniería Electrónica Departamento de sistemas e Informática Electiva Sistemas Distribuidos Monografía Año 2005 disponible en internet: <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/sistemas-de-control-distribuido/sistemas-de-control-distribuido.pdf>>.

FOSLER, Ross. AN877 DeviceNet Group 2 Slave Firmware for PIC18 with CAN. Microchip Technology. 2003.
Ibid. , p. 54-59.

HERB, Samuel M. Understanding Distributed Processor System For Control 1999 ISBN 1-55617-645-7. ISA. USA. P 351.

Ibíd. , p. 46-53.

KASCHEL, Héctor C; PINTO, Ernesto L Análisis Del Estado Del Arte De Los Buses De Campo Aplicados Al Control De Procesos Industriales. [En línea]. Facultad. De Ingeniería, Depto. De Ingeniería Eléctrica Universidad de Santiago de Chile. P. 1-6. Disponible en internet:

<[Http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.pdf](http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.pdf)>, <http://www.quiminet.com.mx/art/ar_%2597A%25C9Q%25CB%2594%253F%2512.php>, <<http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc>>.

_____ Héctor C y PINTO, Ernesto L Análisis Protocolar Del Bus De Campo CAN. [En línea]. Facultad. De Ingeniería, Depto. De Ingeniería Eléctrica. Universidad de Santiago de Chile. Disponible en internet: <<http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu2.pdf>>.

LIAN, Feng-Li; MOINE, James R.y TILBURY Dawn M. Evaluation of Control Networks: Ethernet, ControlNet IEEE Control Systems. EN: IEEE Magazine. Nro. 1. Vol. 1, February 2001, p. 86-83.

LÓPEZ, Mariano. Tecnologías de telecomunicaciones aplicadas a transmisión de datos de procesos Industriales. [En línea]. Instituto tecnológico de buenos aires. [Trabajo integrador]: Postgrado de ingeniería en telecomunicaciones 2005 / 2006. Disponible en internet: <<http://www.itba.edu.ar/capis/epg-tesis-y-tf/lopezfiguerola-tfe.pdf>>.

MONTEJO, Miguel Ángel. Bitbus. Disponible en internet: <<http://www.automatas.org/redes/bitbus.htm>>.

MUÑOZ, Alfredo Rosado. Sistemas industriales distribuidos: Una filosofía de automatización. [En línea]. APUNTES TEORÍA 3º ITT-SE. Universidad de Valencia. Dpto. Ingeniería Electrónica. P. 1-17. Disponible en internet: <<http://www.uv.es/~rosado>>, <http://www.uv.es/rosado/sid/Capitulo1_rev1.pdf>.

MURILLO, Jorge E; HERNÁNDEZ, José P y ROCHA, Soto Gerald. Sistemas de Control [Monografía]. Buses de Campo y Protocolos. [En línea]. Universidad de Costa Rica.

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería. Eléctrica Departamento de Automática.
Periodo: II Semestre de 2005. P. 2-39. Disponible en internet:
<<http://www2.eie.ucr.ac.cr/~valfaro/docs/monografias/0502/ucr.ie431.trabajo.2005.02.grupo16.pdf>>.

Ibid. , p. 12-15, 22-24.

ODVA EDS. Software Manual. [En línea] ODVA. El EZ-EDS Editor PUB00135R3. Versión 3.0. Disponible en internet:
<<http://www.odva.org/Home/CIPNETWORKSPECIFICATIONS/Order/Software/EZEDSFreeWareVersion30/tabid/197/ctl/Login/Default.aspx>>.

_____ Estándar DeviceNet. [CD]. The CIP networks library Volume 3. DeviceNet Adaptation of CIP. Edition 1.2. Mayo 2006. Disponible en CD.

_____ DeviceNet Conformance Test Policy. PUB00008R3. Disponible en internet:
<<http://odva.org/Home/CIPPRODUCTCOMPLIANCE/ConformanceTestingProcess/ConformanceTools/tabid/92/Default.aspx>>.

_____ Specification. Specification Subscription Order Form. [En línea]. Disponible en internet:
<<http://www.odva.org/Home/CIPNETWORKSPECIFICATIONS/Order/Specifications/tabid/132/Default.aspx>>.

_____ The CIP networks library DeviceNet Adaptation of CIP Volume 3 Edition 1.2 May 2006.
Ibid. , p. 78-80.

PHILIPS SEMICONDUCTORS. Data Sheet. Product specification PCA82C251 CAN transceiver for 24 V systems. Jan 13 2000

PORTILLO, Javier et al. Implementación del bus CAN para sistemas empotrados. [En línea] Escuela de Ingenieros de Bilbao [citado 30 de mar., 2007]. Universidad del País Vasco. Disponible en internet: <<http://riai.isa.upv.es/CGI->

[IN/articulos%20revisados%202006/versiones%20impresas/vol3_num2/articulo5_vol3_num2.pdf](#) >.

QUIMINET, Buses de campo aplicados al control de productos industriales. [En línea]. Artículo Universidad de Chile. Automatización y control 2006-01-01. Disponible en internet: <http://www.quiminet.com.mx/ar3/ar_%2597A%25C9Q%25CB%2594%253F%2512.htm>.

QUIROGA, José I. Instalación de Sistemas de Automatización y datos. 5º Curso Orientación, Instalaciones y Construcción Universidad de Vigo. Ingenieros Industriales. Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática Vigo, Curso 2007-2008. Disponible en internet: <http://www.uvigo.tv/uploads/material/Video/1452/ISAD_Tema4.pdf, <<http://www.disa.uvigo.es/>>.

ROCKWELL AUTOMATION. Netlinx .Networks and communications. [En línea]. Disponible en internet: <<http://www.ab.com/networks/netlinx.html>>.

ROJAS, Oscar Amaury. Diapositivas clases de redes 2006. [En disco]. Disponible en disco duro.
Ibid. , p. 12-15.

ROMERO, Carlos Alberto. Un Avance del estudio de La Automatización en el país. [En línea] Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de investigación: Sistemas Térmicos y Potencia Mecánica Scientia et Technica Año X, No 26, Diciembre 2004. UTP. ISSN 0122-1701. Disponible en internet: <<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/10493767-72.pdf>>.

ROMERO, Edwuis. Redes de Comunicación Industriales. [En línea] Revista Electrónica No.8. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. Diciembre de 1998. Disponible en internet: <<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/RCI.html>>.

ROMITO, Ray y SCHIFFER, Viktor. DeviceNet Development Considerations. [En línea]. Disponible en internet:

<http://www.odva.org/Portals/0/Library/Publications_NotNumbered/DeviceNet_Development_Considerations.pdf>

ROUAUX, Martín. Diseño y prototipo de middleware basado en Corba para el bus can. [En línea] (Ingeniería informática orientación en sistemas distribuidos). Facultad de ingeniería. Universidad de buenos. Aires. Octubre 2005. P. 3-8. Disponible en internet: <<http://www.fi.uba.ar/materias/7500/rouaux-tesisingenieriainformatica.pdf>>.

RUBIANO, Andrés y GIRALDO, Gina, Lorena. Red Industrial. [En línea] Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Manizales. Colombia. P. 1-2. Disponible en: <<http://telematica5.tripod.com/docs/RedIndustrial.pdf>>.

SAUCEDO, Salvador. Bus de campo. [En línea] disponible en internet: <<http://www.prodigyweb.net.mx/saucedo8/controlIX/ortega1.pdf>>.

SERIPLEX, Diseño, instalación y diagnóstico de problemas 30298-035- 02 5/01. Disponible en internet: <[http://ecatalog.squared.com/pubs/Machine%20Control/Component%20Networks/SERIPLEX/DIT%20\(Spa\).pdf](http://ecatalog.squared.com/pubs/Machine%20Control/Component%20Networks/SERIPLEX/DIT%20(Spa).pdf)>.

SYSCON. Siseño, implementacion y consultoria de sistemas de control de procesos. [En línea]. Disponible en internet: <<http://www.sysconsa.com>>.

TOCCI, Ronald j. Sistemas digitales principios y aplicaciones. Prentice hall hispanoamericana SA. Edición 6

UNIVERSIDAD DE VALENCIA Sistemas Industriales Distribuidos. [En línea].Tema 3. Redes de comunicación industriales. Disponible en internet: <http://www.uv.es/rosado/sid/Capitulo3_rev0.pdf>.

WIKIPEDIA. Modelo de referencia OSI. [En línea] disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Capa_de_aplicaci%C3%B3n#Capa_de_aplicaci.C3.B3n_.28Capa_7.29>WIKIPEDIA. Red industrial. [En línea]. Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Red_industrial>.