

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTANDARIZACIÓN DE UN BUS DE CAMPO SEGÚN LINEAMIENTOS DE ARQUITECTURA DE LAS PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Fernández S., Stiven J.  
para optar al Título de Ingeniero Electricista.

Caracas, 2005.

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTANDARIZACIÓN DE UN BUS DE CAMPO SEGÚN LINEAMIENTOS DE ARQUITECTURA DE LAS PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE.**

Tutor: Ing. Francys Daniel Estrada.  
Profesor Guía: Ing. Panayotis Tremante.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Fernández S., Stiven J.  
para optar al Título de Ingeniero Electricista.

Caracas, 2005.

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 02 de junio de 2005

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Stiven Fernández, titulado:

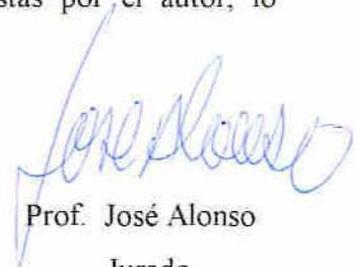
### “ESTANDARIZACIÓN DE UN BUS DE CAMPO SEGÚN LINEAMIENTOS DE ARQUITECTURA DE LAS PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Electrónica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Tamara Pérez

Jurado



Prof. José Alonso

Jurado



Prof. Panayotis Tremante

Prof. Guía

## DEDICATORIA

*A las dos mujeres que me han apoyado en las buenas y en las malas: mi madre Hilda, por estar presente en todos los momentos importantes de mi vida, y mi hermana Sandra, que sin ella no hubiera sido posible alcanzar mis metas.*

*A mi hermano Luis Eduardo, por su apoyo incondicional.*

*A mi padre Candelario, por sus palabras de aliento.*

*A Dari, todas las cosas que has hecho por mí son invaluableles.*

*Stiven José Fernández Suárez.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi agradecimiento a la Universidad Central de Venezuela y a la Escuela de Ingeniería Eléctrica, por haberme proporcionado la formación académica necesaria para el ejercicio de mi carrera profesional.

A Petróleos de Venezuela S.A., por darme la oportunidad de trabajar en el proyecto de estandarización de bus de campo, y muy especialmente a la gerencia de Automatización Industrial, a su gerente Alejandro Morillo, a Fran Estrada, Hilda Rojas, Mariela Martínez y los demás compañeros que me prestaron su apoyo para el desarrollo de este Trabajo de Grado.

A mi Profesor Guía Panayotis Tremante, que ha hecho un gran esfuerzo para que se logren los objetivos planteados en esta tesis.

A todos los compañeros de la Universidad que de una u otra forma me apoyaron en estos años de carrera.

A mi familia.

A todos ellos, mi reconocimiento y agradecimiento.

**Fernández S., Stiven J.**

**ESTANDARIZACIÓN DE UN BUS DE CAMPO SEGÚN  
LINEAMIENTOS DE ARQUITECTURA DE LAS PLANTAS DE  
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE.**

**Tutor: Ing. Francys Daniel Estrada. Profesor Guía: Ing. Panayotis Tremante.  
Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería  
Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica. Institución: PDVSA,  
2005, 108 h. + 4 anexos.**

**Palabras claves:** Bus de campo; distribución de combustible; criterios de selección;  
PDVSA; planta Catia La Mar; sistemas de supervisión y control.

**RESUMEN**

En este desarrollo, se plantea definir la tecnología de bus de campo que mejor se adapta a los sistemas de supervisión y control de las plantas de almacenamiento y distribución de combustible del área metropolitana de PDVSA. Para ello, se estudiaron los diferentes buses de campo, se analizaron los sistemas de supervisión y control de las plantas, se recabaron las normas y lineamientos de automatización de PDVSA y se identificaron las diferentes maneras de integrar un bus de campo con los sistemas existentes. La escogencia de un bus de campo, se realiza mediante criterios de selección, establecidos previamente de acuerdo a los lineamientos de la arquitectura de las plantas de distribución.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	xiii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	xv
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS</b>	xvi
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO I. BUS DE CAMPO: DEFINICIONES, CARACTERÍSTICAS Y TIPOS.</b>	
1.1 Tipos de señales para la comunicación industrial	6
1.2 Niveles de una industria automatizada y red de campo	6
1.3 Bus de campo	7
1.4 Topología física de un bus de campo	8
1.5 Ventajas del bus de campo	8
1.5.1 Simplificación de la arquitectura	9
1.5.2 Facilidad de mantenimiento	9
1.5.3 Flexibilidad	9
1.5.4 Puesta en servicio más sencilla	10
1.5.5 Mayor información para los procesos	10
1.6 Modelo OSI	10
1.7 Buses de campo	12
1.7.1 ASi	12
1.7.2 BITBUS	14
1.7.3 INTERBUS	15
1.7.4 CAN	16
1.7.5 DeviceNet	18
1.7.6 SDS	20
1.7.7 ControlNet	20

	Página
1.7.8 LonWorks	21
1.7.9 Modbus	22
1.7.10 HART	24
1.7.11 PROFIBUS	25
1.7.12 Foundation Fieldbus	27
1.7.13 Ethernet Industrial	30
 <b>CAPÍTULO II. SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE LAS PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE DEL ÁREA METROPOLITANA.</b>	
2.1 Plantas de almacenamiento y distribución de combustible	32
2.2 Planta Catia La Mar	33
2.2.1 Recibo de productos por tanqueros	33
2.2.2 Despacho de productos por poliducto	34
2.2.3 Despacho de productos por turboducto	35
2.2.4 Auto-despacho de productos por llenadero	35
2.3 Tipos de productos recibidos, almacenados y despachados por la planta Catia La Mar	36
2.4 Descripción de los sistemas de medición, control y supervisión de las plantas de distribución de combustible	36
2.4.1 Sistema de Control de Planta (SCP)	36
2.4.1.1 Controlador Lógico Programable (PLC)	37
2.4.1.2 SCADA	39
2.4.1.3 Instrumentación	40
2.4.1.3.1 Transmisores	40
2.4.1.3.2 Actuadores de válvulas	40
2.4.2 Sistema de Control de Llenadero (SCL)	41
2.4.2.1 Componentes del Sistema de Control de Llenadero (SCL)	43

	Página
2.4.2.2 Operación	43
2.4.3 Sistema de Control de Acceso	44
2.4.4 SAND	44
2.4.5 Sistemas conexos	44
2.4.5.1 Sistema de Parada de Emergencia (SPE)	45
2.4.5.2 Sistema Contra Incendios (SCI)	45
2.4.5.3 Sistema de Medición de Tanques (SMT)	45
2.4.5.4 Sistema de Detección de Interfaz y Fugas (SDIF)	46
<b>CAPÍTULO III. NORMAS Y LINEAMIENTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE PDVSA.</b>	
3.1 Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA)	47
3.2 Gerencia de Automatización Industrial, Informática y Telecomunicaciones (AIT)	47
3.3 Normas PDVSA asociadas a los componentes de la arquitectura de automatización	48
3.3.1 Redes Industriales (guías y recomendaciones)	48
3.3.2 Controladores Lógicos Programables (PLC)	50
3.3.3 SCADA	50
3.3.4 Introducción a la instrumentación	52
3.3.5 Selección e instalación de equipos eléctricos y electrónicos en lugares clasificados	52
3.4 Políticas y Lineamientos de la Arquitectura de Automatización Industrial	54
3.4.1 Política PA-010101: Aspectos Robustez Operacional en Continuidad Operacional	57
3.4.2 Política PA-010201: Aspectos de Confiabilidad en Continuidad Operacional	57
3.4.3 Política PA-010501: Protocolos Abiertos en Dispositivos	58
3.4.4 Política PA-020101: Aspectos de Integración en Hardware	59

	Página
3.4.5 Política PA-020401: Interoperabilidad	60
3.4.6 Política PA-020501: Aspectos Autodiagnóstico e Inteligencia de equipos	60
3.4.7 Política PA-050201: Interferencia de Comunicación.	61
<b>CAPÍTULO IV. INTEGRACIÓN DE UN BUS DE CAMPO CON LOS SISTEMAS EXISTENTES EN LAS PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE.</b>	
4.1 Integración y migración a una nueva tecnología	63
4.2 Evaluación de integración/migración de los sistemas de supervisión y control de la planta Catia La Mar con un bus de campo	64
4.3 Maneras de integrar el Sistema de Control de Planta (SCP) con un bus de campo	67
4.3.1 Integración a través de un módulo del PLC Quantum	67
4.3.1.1 Módulo maestro de comunicaciones Profibus DP	68
4.3.1.2 Módulo Quantum maestro AS-i	69
4.3.1.3 Módulos de comunicaciones Quantum Interbus	70
4.3.1.4 Módulos de Opción de Red Quantum LonWorks	70
4.3.1.5 Módulos de Opción de Red Modbus Plus	71
4.3.1.6 Puertos Modbus del CPU del PLC Quantum	71
4.3.2 Integración a través de otro controlador conectado a la red Ethernet	73
4.3.2.1 Honeywell HC900 Hybrid Controller	74
4.3.2.2 Siemens S5/S7	74
4.3.2.3 Allen-Bradley Logix5555	74
4.3.3 Integración a través de un controlador conectado en los servidores del SCADA	75
4.4 Integración del Sistema de Control de Llenadero (SCL) con un bus de campo	75
4.5 Integración/Migración de los Sistemas Conexos a un bus de campo	76

	Página
4.5.1 Sistema de Parada de Emergencia (SPE)	76
4.5.2 Sistema de Medición de Tanques (SMT)	76
4.5.3 Sistema de Detección de Interfaz y Fugas (SDIF)	77
4.6 Soluciones de actuadores de válvulas con tecnología de bus de campo	77
4.6.1 Actuadores Rotork	78
4.6.1.1 Profibus DP	78
4.6.1.2 Foundation Fieldbus	78
4.6.1.3 DeviceNet	78
4.6.1.4 Modbus	79
 <b>CAPÍTULO V. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN BUS DE CAMPO PARA LAS PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE.</b>	
5.1 Tipos de criterios para seleccionar un bus de campo	80
5.2 Criterios asociados a los requerimientos de las plantas de distribución	80
5.2.1 Instrumentación	81
5.2.2 Instalación y puesta en servicio	81
5.2.3 Flexibilidad	81
5.2.4 Mayor información proveniente del nivel de campo	81
5.3 Criterios asociados a los lineamientos de la arquitectura de Automatización Industrial y normas PDVSA	82
5.3.1 Redundancia	82
5.3.2 Protocolos abiertos	82
5.3.3 Inteligencia de equipos	82
5.3.4 Protección ante interferencias en la comunicación	83
5.3.5 Distancia	83
5.3.6 Ambiente industrial	83
5.3.7 Estandarización	83
5.4 Criterios asociados a disponibilidad de equipos y repuestos	83

	Página
5.4.1 Disponibilidad de equipos	83
5.4.2 Disponibilidad del medio de transmisión	84
5.4.3 Disponibilidad de la documentación	84
5.4.4 Entrenamiento al personal	84
5.5 Criterios asociados a posicionamiento de la tecnología en el mercado	84
5.5.1 Posicionamiento en el mercado mundial	84
5.5.2 Utilización en Petróleos de Venezuela S.A.	85
5.5.3 Utilización en otras empresas petroleras mundiales	85
5.6 Evaluación de los criterios para las diferentes tecnologías de buses de campo	86
5.6.1 Evaluación de los criterios para AS-i	86
5.6.2 Evaluación de los criterios para BITBUS	87
5.6.3 Evaluación de los criterios para INTERBUS	88
5.6.4 Evaluación de los criterios para CAN	89
5.6.5 Evaluación de los criterios para DeviceNet	90
5.6.6 Evaluación de los criterios para SDS	91
5.6.7 Evaluación de los criterios para ControlNet	92
5.6.8 Evaluación de los criterios para LonWorks	93
5.6.9 Evaluación de los criterios para Modbus	94
5.6.10 Evaluación de los criterios para HART	95
5.6.11 Evaluación de los criterios para PROFIBUS	96
5.6.12 Evaluación de los criterios para Foundation Fieldbus	97
5.6.13 Evaluación de los criterios para Ethernet	98
5.7 Resultados de la aplicación de los criterios en los buses de campo	99
5.7.1 AS-i	99
5.7.2 BITBUS	99
5.7.3 INTERBUS	99
5.7.4 CAN	99

	Página
5.7.5 DeviceNet	99
5.7.6 SDS	100
5.7.7 ControlNet	100
5.7.8 LonWorks	100
5.7.9 Modbus	100
5.7.10 HART	100
5.7.11 PROFIBUS	101
5.7.12 Foundation Fieldbus	101
5.7.13 Ethernet	101
5.8 Buses que califican según los criterios de selección	101
5.9 Bus de campo que mejor se adapta a las plantas de distribución de combustible	102
5.10 Consideraciones finales	102
<b>CONCLUSIONES</b>	104
<b>REFERENCIAS</b>	105
<b>ANEXO 1</b>	109
<b>ANEXO 2</b>	110
<b>ANEXO 3</b>	111
<b>ANEXO 4</b>	112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
I.	Características de una red AS-i	13
II.	Características del sistema BITBUS	15
III.	Características de INTERBUS	16
IV.	Características físicas de CAN	16
V.	Características físicas y funcionales de DeviceNet	17
VI.	Dispositivos con conexión a DeviceNet y su código	17
VII.	Características de Modbus Plus	23
VIII.	Características de Modbus – TCP	23
IX.	Características de Modbus ASCII/RTU	23
X.	Características de HART	24
XI.	Tecnologías de transmisión (capa física) para PROFIBUS	26
XII.	Características de Foundation Fieldbus H1	30
XIII.	Características de Ethernet	31
XIV.	Transmisores de la planta de distribución Catia La Mar	40
XV.	Actuadores de la planta de distribución Catia La Mar	41
XVI.	Evaluación del SCP	64
XVII.	Evaluación del SCL	65
XVIII.	Evaluación de los Sistemas conexos	66
XIX.	Especificaciones del módulo Profibus DP de Quantum	69
XX.	Especificaciones del módulo AS-i de Quantum	69
XXI.	Especificaciones de los módulos Interbus de Quantum	70
XXII.	Especificaciones del módulo LonWorks de Quantum	71
XXIII.	Módulos de opción de red Modbus Plus	71
XXIV.	Puertos Modbus del CPU Quantum	71
XXV.	Evaluación de los criterios para AS-i	86
XXVI.	Evaluación de los criterios para BITBUS	87

	Página
XXVII. Evaluación de los criterios para INTERBUS	88
XXVIII. Evaluación de los criterios para CAN	89
XXIX. Evaluación de los criterios para DeviceNet	90
XXX. Evaluación de los criterios para SDS	91
XXXI. Evaluación de los criterios para ControlNet	92
XXXII. Evaluación de los criterios para LonWorks	93
XXXIII. Evaluación de los criterios para Modbus	94
XXXIV. Evaluación de los criterios para HART	95
XXXV. Evaluación de los criterios para PROFIBUS	96
XXXVI. Evaluación de los criterios para Foundation Fieldbus	97
XXXVII. Evaluación de los criterios para Ethernet	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 Niveles de una industria automatizada	7
1.2 Topología bus lineal	8
1.3 Modelo OSI y la conexión de dos equipos	11
1.4 Modelo OSI adaptado a bus de campo	12
1.5 Corte transversal del cable AS-i	13
1.6 Trama de CAN	18
1.7 Ejemplo de un sistema ControlNet	21
1.8 Ejemplo de topología PROFIBUS	27
1.9 Ejemplo de red Foundation Fieldbus	29
1.10 Intercambio de datos en Foundation Fieldbus	29
2.1 Plantas de distribución de combustible del área metropolitana	32
2.2 Ubicación geográfica de las plantas de distribución	33
2.3 Conexión del PLC Quantum	38
2.4 Arquitectura del SCADA PlantScape de Honeywell	40
2.5 Arquitectura del Sistema de Control de Llenadero	42
4.1 Integración a través de un módulo del PLC Quantum	68
4.2 Polaridad de conexión en el puerto del módulo AS-i	70
4.3 Puente / Multiplexor BM85	72
4.4 Integración a través de otro controlador	73
4.5 Controlador conectado en los servidores del SCADA	75
5.1 Estudio de mercado de las redes industriales	85

## LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

AI	Analog Input
AIT	Automatización Informática y Telecomunicaciones
AO	Analog Output
AS-i	Aktuator Sensor Interface
ANSI	American National Standards Institute
BEUG	Bitbus European Users Group
CAN	Controller Area Network
CD	Compel Data
CEN	Código Eléctrico Nacional
CHS	Cable Hot Standby
CIT	Centro de Información Técnica
DI	Discrete Input
DO	Discrete Output
DP	Decentralized Periphery
FCU	Field Communication Unit
FF-SIS	Fieldbus Foundation's Safety Instrumented Systems
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
FMS	Fieldbus Message Specification
HART	Highway Adressable Remote Transducer
HSE	High Speed Ethernet
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISA	The Instrumentation Systems and Automation Society
ISO	International Organization for Standardization
LAN	Local Area Network
LAS	Link Active Scheduler
MBP	Manchester Bus Powered

MTU	Master Terminal Unit
NOE	Network Option Ethernet
ODVA	Open Device Net Vendor Association
OSI	Open Systems Interconnection
PDVSA	Petróleos de Venezuela S.A.
PLC	Programmable Logic Controller
PROFIBUS	Process Field Bus
PS	Power Supply
RIO	Remote Input Output
RTU	Remote Terminal Unit
SAND	Sistema Administrativo Nacional de Distribución
SCA	Sistema de Control de Acceso
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCAM	Servicios de Combustibles de Aviación Maiquetía
SCI	Sistema Contra Incendios
SCL	Sistema de Control de Llenadero
SCP	Sistema de Control de Planta
SDIF	Sistema de Detección de Interfaz y Fugas
SDS	Smart Distributed System
SIS	Safety Instrumented Systems
SMT	Sistema de Medición de Tanques
SPE	Sistema de Parada de Emergencia
SSP	Sistema de Selección de Pedidos
VDC	Venture Development Corporation

## INTRODUCCIÓN

La distribución de combustibles en la región capital se realiza por medio de cinco plantas ubicadas en el Distrito Capital y el Estado Miranda: Catia La Mar, Cantinas, Carenero, Guatire y SCAM (Servicios de Combustibles de Aviación Maiquetía). En estas plantas se realizan actividades orientadas a almacenar y distribuir diferentes productos derivados de hidrocarburos, que se usan como combustible vehicular, gas doméstico, kerosene, etc.

El manejo de estos productos derivados del petróleo de forma confiable y eficiente, depende en gran medida del funcionamiento correcto de diferentes sistemas automatizados de supervisión y control. Parte fundamental de esos sistemas es la instrumentación, es decir, todo el conjunto de medidores, transmisores, actuadores y válvulas, llamados dispositivos “de campo” por su cercanía con el proceso a controlar (llamado comúnmente nivel de campo). La comunicación de los dispositivos de campo, se realiza actualmente en las plantas de almacenamiento y distribución de combustible a través de señales analógicas de tensión y corriente; eso limita la información que podría transmitirse del campo a la sala de control y viceversa, es decir, no existe *bidireccionalidad* en la información.

En las últimas dos décadas (desde la aparición de HART en 1986), se han desarrollado diferentes redes para la transmisión de señales digitales entre los dispositivos de campo y los sistemas de control, esto soluciona el problema de la comunicación en una dirección y permite que el medio de transmisión, se comparta entre los diferentes dispositivos. Con las transmisiones digitales, existe la posibilidad de incrementar la información, puesto que se han creado protocolos de mensajes que incluyen parámetros de configuración, alarmas, diagnóstico, etc.

Estas redes digitales, bidireccionales y multipunto son conocidas como BUSES DE CAMPO. En la actualidad coexisten diferentes buses de campo, desarrollados por compañías fabricantes de sistemas de automatización y control; cada uno con diferentes áreas de aplicación y prestaciones. Han existido iniciativas de unificar todos esos buses bajo un solo estándar de comunicaciones pero hasta la fecha

no ha sido posible. Es por eso que cada industria o planta, que desea seleccionar un bus para la comunicación de sus dispositivos de campo, debe estudiar sus procesos, los tipos de instrumentos y equipos a instalar, y sus sistemas existentes (en caso de estar en funcionamiento), para establecer el bus de campo más conveniente.

El estudio de un bus de campo para las plantas de distribución, se justifica puesto que se desea reducir costos de mantenimiento, además de facilitar la instalación de nuevos equipos y proporcionar un mejor diagnóstico y corrección de fallas.

El propósito general de la investigación es determinar qué bus de campo se adapta de mejor forma a las plantas de almacenamiento y distribución de combustible del área metropolitana, integrándose con los sistemas de supervisión y control existentes y cumpliendo con las normas de PDVSA y los lineamientos de la Arquitectura de Automatización. Se desea tomar ese bus de campo como un estándar para las plantas de distribución de combustible.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- ❑ Analizar las diferentes tecnologías de bus de campo existentes, sus prestaciones y campo de aplicación.
- ❑ Determinar las ventajas de un bus de campo.
- ❑ Identificar y describir los sistemas de supervisión y control de las plantas de almacenamiento y distribución de combustible.
- ❑ Resumir las normas de PDVSA relacionadas con instrumentación, sistemas de supervisión y control (SCADA y PLC) y seguridad en áreas peligrosas.
- ❑ Enunciar los lineamientos de la Arquitectura de Automatización Industrial de PDVSA.
- ❑ Definir posibles métodos para integrar la tecnología de bus de campo con los sistemas existentes en las plantas.
- ❑ Establecer criterios para seleccionar un bus de campo.

- Definir el bus de campo más eficiente para las plantas de distribución de combustible, de acuerdo a los criterios fijados.

Estandarizar una tecnología, consiste en plantear un modelo de referencia, que se utilizará como recomendación al momento de diseñar e instalar una solución para un proceso de una industria, planta, edificación o alguna otra aplicación. La estandarización de un bus de campo se refiere al establecimiento de un modelo a recomendar para las plantas de distribución de combustible del área metropolitana, determinado a partir del estudio de una de ellas. Se seleccionó Catia La Mar para el estudio, por ser la única planta en la que se ejecutan todas las operaciones básicas del sistema de distribución de combustibles: recepción de productos vía marítima, almacenamiento, despacho vía poliducto y despacho en camiones cisterna.

La estandarización de un bus de campo es de gran importancia debido a que establece mejores prácticas para el funcionamiento de los sistemas que trabajen con esa tecnología, como estrategias comunes de mantenimiento, disponibilidad de repuestos, entre otras. Además, al seguir los lineamientos de la Arquitectura de Automatización, se busca una mejora sustancial de los sistemas existentes.

Los lineamientos de arquitectura de las plantas de almacenamiento y distribución de combustible son las directrices que rigen el buen funcionamiento de la plataforma de automatización, permitiendo la evolución de los sistemas existentes y la incorporación de una nueva tecnología, como por ejemplo, un bus de campo. Debido a que las plantas pertenecen a la arquitectura automatizada de PDVSA, los lineamientos de las plantas son los lineamientos de la Arquitectura de Automatización Industrial de PDVSA.

La metodología utilizada consistió en estudiar los sistemas existentes y su posible integración a la tecnología de bus de campo, analizar las normas y lineamientos de PDVSA y algunos otros parámetros propios de los buses para establecer los criterios de selección; cada bus se evaluó con esos criterios, lo que permitió determinar el bus que mejor se adapta a las plantas de distribución.

Durante el desarrollo de la investigación se encontraron algunas limitaciones, entre ellas tenemos:

- ❑ El bus de campo es una tecnología relativamente nueva, por lo que existen pocos libros relacionado con el tema. Se procedió a recopilar la información a través de Internet, consultando trabajos de investigación publicados en línea por diferentes universidades, además de las páginas oficiales de cada bus.
- ❑ No hay ningún antecedente de implementación de bus de campo para plantas de distribución de combustible de PDVSA, por lo que no existía un método de selección de un bus para este tipo de aplicación.
- ❑ Es muy limitada la información sobre la instrumentación de las plantas de distribución, ya que no existen inventarios de los equipos instalados, y los planos de instrumentación son escasos y no están actualizados.
- ❑ Las normas de PDVSA relacionadas con instrumentación, SCADA, PLC, redes industriales y seguridad en áreas peligrosas no han sido revisadas recientemente, por lo que se trabajó con normativas de hace cinco o más años. La rapidez en que aparecen nuevos desarrollos tecnológicos para aplicaciones industriales, y en general para cualquier ámbito, amerita que las normas se revisen en lapsos más cortos.

El presente Trabajo de Grado está compuesto por cinco capítulos. En el primero de ellos, titulado “Bus de campo: definiciones, características y tipos”, se definen los conceptos relacionados con la tecnología de bus de campo y se describen los diferentes buses existentes.

En el segundo capítulo, titulado “Sistemas de supervisión y control de las plantas de almacenamiento y distribución de combustible del área metropolitana”, se analizan las actividades relacionadas con el almacenamiento y distribución de combustible en la planta Catia La Mar y se explican los sistemas existentes para el desarrollo de dichas actividades.

En el tercer capítulo, titulado “Normas y lineamientos de Automatización Industrial de PDVSA”, se resumen las normativas de PDVSA y los lineamientos de la arquitectura de Automatización.

El cuarto capítulo, titulado “Integración de un bus de campo con los sistemas existentes en las plantas de almacenamiento y distribución de combustible” trata sobre las maneras de implementar un bus de campo de forma tal que se logre una completa integración con los equipos y sistemas existentes en las plantas.

En el quinto y último capítulo, titulado “Criterios de selección de un bus de campo para las plantas de almacenamiento y distribución de combustible”, se establecen los criterios de selección, y se evalúan para cada bus de campo.

# CAPÍTULO I

## BUS DE CAMPO: DEFINICIONES, CARACTERÍSTICAS Y TIPOS.

### 1.1 Tipos de señales para la comunicación industrial

En una industria, el conjunto de operaciones ejecutadas para la obtención, transformación o transporte de un producto, requiere de una serie de equipos y dispositivos que continuamente intercambien información para el control o supervisión de los procesos. Los tipos de señales para transmitir esa información son: señales neumáticas, señales hidráulicas y señales eléctricas. Las señales neumáticas envían la información mediante aire a presión, siendo el estándar la señal de 3 – 15 psig. Las señales hidráulicas utilizan un fluido a presión y son utilizadas ocasionalmente cuando se necesita una gran potencia. Por último tenemos las señales eléctricas, éstas a su vez, se clasifican en: señales analógicas y señales digitales.

Las señales analógicas se han convertido en un estándar y aún son utilizadas en muchas industrias. La señal analógica de corriente toma valores entre 4 mA y 20 mA continuos, siendo un estándar equivalente a los 3 – 15 psig de las señales neumáticas; de igual forma, tenemos la señal de 0 a 20 mA y también, existen señales analógicas de tensión para la transmisión, como 0 a 5 V, –5 a 5 V, 0 a 10 V y –10 a 10 V, menos difundidas en la industria de procesos.

Las señales digitales, han permitido aumentar la información que viaja a través del medio, se transmite la variable y adicionalmente se incluyen datos para configuración o detección de problemas. Estos datos son generados por dispositivos inteligentes, que incorporan capacidades de diagnóstico, compensación de no linealidades, etc.

### 1.2 Niveles de una industria automatizada y red de campo

Una forma de simplificar la estructura de una industria para su estudio, es separar por grupos sus componentes, clasificándolos jerárquicamente en niveles de automatización. De forma gráfica, se representan esos niveles mediante una pirámide

(ver figura 1.1). La base de la pirámide es el nivel de campo, que es el más próximo al proceso. En él encontramos actuadores, transmisores, sensores, dispositivos de entrada/salida, etc.

Existen múltiples alternativas para la interconexión eléctrica de los dispositivos de campo: a través de enlaces analógicos, como 4 – 20 mA, soluciones híbridas (como HART que se estudiará más adelante) y sistemas completamente digitales como el bus de campo.

Clasificar las redes, de acuerdo al nivel de la pirámide de automatización en la que actúan (por ejemplo: Redes de Campo, Redes de Control y Redes de Gestión y Planificación), se dificulta porque varias de ellas trabajan en dos o más niveles. Sin embargo, en algunos casos, asignar un nivel de aplicación sí es posible.



Figura 1.1: Niveles de una industria automatizada.

### 1.3 Bus de campo

Un bus de campo es un sistema de comunicación digital, bidireccional y multipunto que conecta dispositivos de campo como transmisores, actuadores y dispositivos de entrada/salida. Sirve como Red de Área Local (LAN) para aplicaciones de supervisión y control de procesos automatizados [1].

El medio de transmisión de un bus de campo puede ser cable de cobre, fibra óptica o medio inalámbrico.

En general, se habla de red si existe comunicación digital, de ahí que algunos autores hablen de “red de campo” al referirse a un bus de campo. En este estudio, se

usarán los términos “bus” y “red” indistintamente para referirse a sistemas de transmisión digital.

#### 1.4 Topología física de un bus de campo

La topología física de una red puede ser anillo, estrella, bus o punto a punto. Existen otras topologías que son variantes de estas cuatro, por ejemplo, *daisy chain*, que es una forma de bus, o la topología árbol, que es la unión de dos o más de esas topologías. En general, no se define una única topología para un bus de campo, aunque podría pensarse a primera instancia que la topología es tipo bus. En la figura 1.2, se muestra un ejemplo de conexión para elementos de un bus. En algunas tablas de características de redes de campo se llama a este tipo de arreglo “topología lineal” o “bus lineal”.

En esta investigación, se hará referencia a “bus de campo” de forma independiente del tipo de topología. Se mostrará que una de las características más importantes de un bus de campo, es que permite conectar varios dispositivos sobre un mismo segmento de cable, lo que reduce el cableado en comparación con conexiones punto a punto.

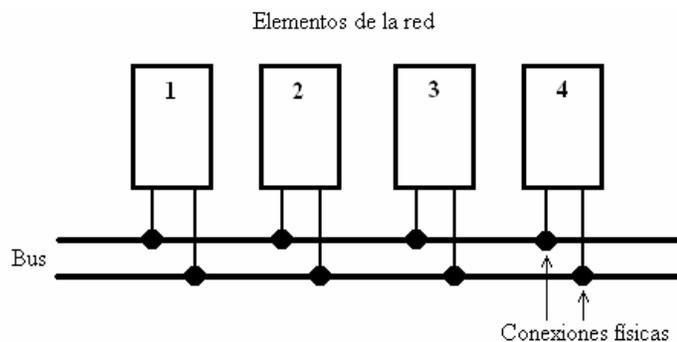


Figura 1.2: Topología bus lineal.

#### 1.5 Ventajas del bus de campo

Un bus de campo ofrece un método digital de comunicación entre los dispositivos de campo y el sistema de control. Esto permite tener acceso a una amplia

cantidad de información residente en equipos inteligentes, permitiendo un cambio en la distribución de las funciones de control del sistema. Ésta y otras ventajas de los buses de campo se presentan a continuación:

**1.5.1 Simplificación de la arquitectura:** Un bus de campo reduce la complejidad del sistema en términos de hardware debido a que reduce drásticamente la cantidad de cables y el número de dispositivos [2].

La topología en la transmisión de 4 – 20 mA, es punto a punto, es decir, que cada uno de los dispositivos está conectado a una entrada o salida analógica. Adicionalmente, la transmisión se realiza en un sentido. Por ello, se requiere un cable para adquirir la información y otro para transmitir las señales de control.

Con la tecnología de bus de campo, la información viaja en ambas direcciones por el mismo cable. Adicionalmente, se reduce el cableado al conectar múltiples dispositivos en un mismo segmento del bus.

**1.5.2 Facilidad de mantenimiento:** Con un bus de campo resulta posible diagnosticar el funcionamiento incorrecto de un instrumento de forma remota. Si un dispositivo detecta un problema, lo indica a la sala de control, permitiendo una rápida acción correctiva. Solucionar fallas en el menor tiempo posible se traduce en un ahorro de gastos, debido a que se reducen las pérdidas y se reducen las horas – hombre invertidas en la ubicación de la falla.

De igual forma, el mantenimiento se facilita al reducir la cantidad de cables, en comparación con la transmisión analógica, porque se reducen los posibles puntos de falla.

**1.5.3 Flexibilidad:** Un bus de campo permite incorporar nuevos instrumentos en el sistema, evitando el tendido de nuevas líneas de cables hacia la sala de control. Con la tecnología de bus de campo, simplemente se conecta el nuevo elemento a un segmento del bus y se configura.

En el caso de los buses de campo abiertos (independientes del fabricante), existen otras ventajas adicionales, como por ejemplo la flexibilidad de sustituir un dispositivo de un fabricante por el de otro sin alterar la funcionalidad del sistema.

**1.5.4 Puesta en servicio más sencilla:** La configuración y calibración de los equipos, además de detección de fallas en el cableado se simplifica con la tecnología de bus de campo [2]. Dispositivos inteligentes que responden a las llamadas de los operadores, e informan de su estado, flexibilizan la puesta en servicio de la red de campo.

**1.5.5 Mayor información para los procesos:** Los dispositivos de campo proveen de mayor información, que no se tendría acceso con la instrumentación convencional de 4 – 20 mA, como alarmas, información para mantenimiento, valores de tendencia, etc.

## 1.6 Modelo OSI

El modelo de referencia OSI (*Open Systems Interconnection*) fue creado por un comité de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) para modelar la interconexión de equipos de diferente naturaleza (norma ISO7498). Está constituido por siete capas: Física, Enlace, Red, Transporte, Sesión, Presentación, y Aplicación. Cada una de estas capas cumple tres premisas [3]:

- Cada capa ofrece servicios a la capa inmediatamente superior.
- Cada capa solicita servicios a la capa inmediatamente inferior.
- No son posibles otras comunicaciones.

De acuerdo a estas premisas, un equipo implementa cada capa sin afectar la funcionalidad externa, permitiendo completa compatibilidad. En la figura 1.3 se muestra la conexión entre dos equipos (Equipo A y Equipo B), cada uno representado por siete bloques que corresponden con los niveles o capas del modelo OSI.

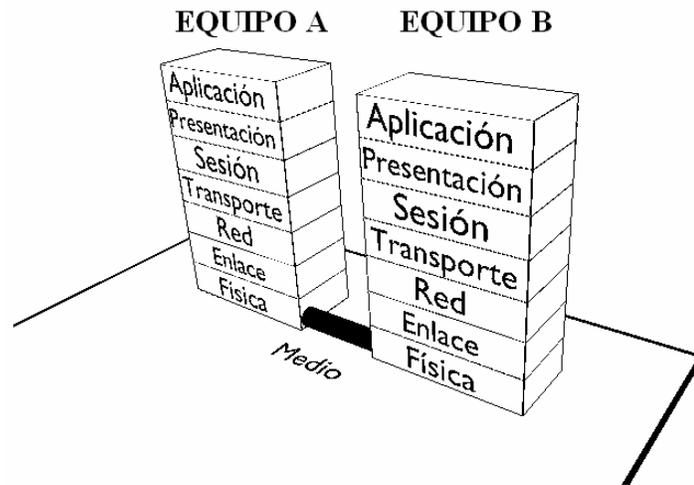


Figura 1.3: Modelo OSI y la conexión de dos equipos.

**La capa física** define el medio de transmisión y sus características eléctricas, mecánicas y funcionales como el tiempo de duración de un bit, la velocidad de transmisión, la codificación de los bits y los niveles de la señal, así como los tipos de conectores y el número de hilos. Dos ejemplos de la implementación de esta capa son los estándares RS232 y RS485.

**La capa de enlace** transforma el medio de transmisión en una línea sin errores, fraccionando los datos en tramas y transmitiéndolos en forma secuencial, también establece el control de acceso al medio. Incluye códigos de detección de errores como redundancia cíclica (CRC).

**La capa de red** determina las rutas adecuadas para llevar la información mediante funciones de cálculo de rutas óptimas. Difícilmente podrían cambiarse las rutas en la red si se encuentran cableadas [4]. Es responsabilidad de esta capa establecer, mantener y terminar las conexiones.

**La capa de transporte** provee las transmisiones de datos de forma confiable entre dos puntos. Realiza funciones de búsqueda de rutas alternativas en caso de error y reconstrucción de mensajes.

**La capa de sesión**, también conocida como capa cinco del modelo OSI, controla el diálogo a través de una conexión llamada sesión [4]. Básicamente

establece cómo se inicia la conexión, cómo se desarrolla (maestro – esclavo, peer to peer, etc.) y cómo finaliza.

**La capa de presentación** realiza las conversiones de formato para la comunicación de dispositivos. Se ocupa de la sintaxis y semántica de la información.

**La capa de aplicación** determina los mecanismos de utilización de los servicios de la red por parte de los usuarios.

Si un sistema de comunicación no requiere alguna de las funciones de una capa en particular, ésta será omitida [5]; este es el caso de los buses de campo. El modelo OSI para los buses de campo, está constituido por los niveles 1, 2 y 7 (ver figura 1.4); con las variantes propias de cada bus.

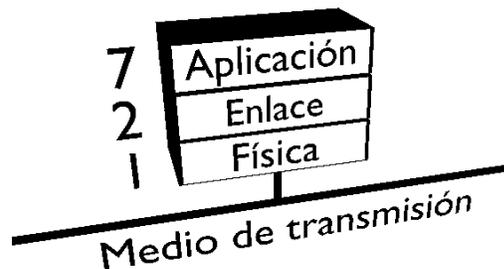


Figura 1.4: Modelo OSI adaptado a bus de campo.

## 1.7 Buses de campo

En la actualidad coexisten muchos buses de campo, cada uno con diferentes prestaciones y áreas de aplicación: ASi, Bitbus, Interbus, CAN, DeviceNet, SDS, ControlNet, LonWorks, PROFIBUS, HART, Foundation Fieldbus, Modbus y Ethernet Industrial forman parte de la diversidad de redes encontradas en el campo de la automatización. A continuación se realizará un resumen de características de cada uno de ellos.

**1.7.1 AS-i (Aktuator Sensor Interface):** Es un sistema de comunicación mono-maestro diseñado por Siemens para la interconexión de actuadores y sensores binarios [6]. Los componentes de una red AS-i son: el maestro, los esclavos, la fuente de poder y el medio de transmisión.

El medio de transmisión es un cable de dos hilos, desarrollado especialmente para AS-i, que transporta simultáneamente los datos y la alimentación de los dispositivos. Su corte asimétrico transversal, ver figura 1.5, previene conexiones con polaridad inversa. Este cable cuenta con un recubrimiento con tecnología de fácil conexión - desconexión que evita cortar o retirar la cubierta. La longitud máxima del cable es 100 metros; con repetidores puede llegar a 300 metros.

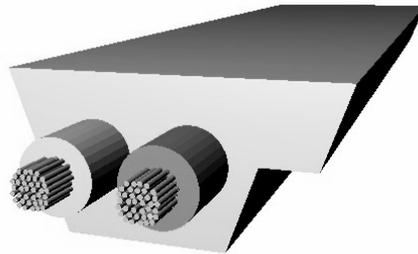


Figura 1.5: Corte transversal del cable AS-i “amarillo”.

La topología de AS-i es completamente adaptable a la aplicación, podría ser bus, estrella o árbol, y por su capacidad de transportar los datos y la alimentación sobre la misma línea, reduce el cableado. Sus ventajas son: poco tiempo para su instalación y prueba, el personal no necesita entrenamiento especializado y fácil detección de errores y mantenimiento.

Otras características de AS-i: no requiere resistencia terminal, el tiempo máximo del ciclo de interrogación a los esclavos es de 5 ms (ver tabla I), posee bit de paridad para la detección de errores y permite la conexión de sensores y actuadores convencionales a través de módulos especiales con diferentes entradas y salidas.

Tabla I: Características de una red AS-i.

Número de esclavos	Hasta 31
Número de Entradas/Salidas	E: 248 / S: 186
Método de comunicación	Maestro/esclavo
Señales	Datos y alimentación hasta 7 A
Medio de transmisión	Cable sin apantallar
Longitud máxima (*)	100 m, 300 m con repetidores
Tiempo máximo de ciclo	5 ms

(\*) Incluye la longitud de los ramales.

Entre los dispositivos que podrían conectarse a una red AS-i tenemos [7]:

- ❑ Módulos discretos de entrada/salida.
- ❑ Módulos para botoneras.
- ❑ Interruptores de posición, interruptores fotoeléctricos.
- ❑ Actuadores on/off.
- ❑ Indicadores.
- ❑ Maestros: módulos de PLCs, tarjetas para PCs, *gateways*.
- ❑ Nota: requiere fuente de poder, además de repetidores si se desean distancias superiores a 100 m.

La organización AS – International Association se encarga de difundir, estandarizar y certificar productos ASi, entre las compañías miembros están: Siemens, Allen-Bradley, Bosch, Endress + Hauser, Fuji, Schneider y Honeywell, entre otras. La sede principal de AS – International Association se encuentra en Alemania y posee sub-sedes en varios países: Suecia, Inglaterra, Japón, Holanda, Francia, China, Brasil, EEUU, Suiza y Bélgica.

AS-i se ofrece como una alternativa para el nivel de sensores – actuadores de una planta de procesos, su eficiente relación costos/desempeño ha permitido que sea considerada como una buena opción por muchos diseñadores al momento de implantar una solución en este nivel.

**1.7.2 BITBUS:** Diseñado por INTEL en los años 80's, es un bus basado en estándares como RS485 con comunicación del tipo maestro/esclavo. BITBUS (estandarizado como IEEE 1118), recibe soporte por BEUG, Bitbus European Users Group [6]. Este bus ha sido implementado por pequeñas y medianas compañías en aplicaciones como sistemas de seguridad, supermercados, sistemas de control industrial, plantas de potencia, entre otras. Actualmente existen 4 millones de nodos BITBUS a nivel mundial [8]. La tasa de baudios estándar es de 375 kbit/s, el resto de las características de BITBUS se muestran en la tabla II.

Tabla II: Características del sistema BITBUS

Número de esclavos	28 por segmento
Topología	Bus con terminadores en ambos extremos
Método de comunicación	Maestro/esclavo
Tasa de transmisión	62,5 kbit/s; 375 kbit/s o 1,5 Mbit/s
Medio de transmisión	Cable de par trenzado
Transmisión	RS485
Longitud	300m a 62,5 kbit/s; 1200m a 375 kbit/s

Elementos de redes BITBUS [8]:

- ❑ Tarjetas para PCs, bus ISA o PC104.
- ❑ Controladores.
- ❑ Computadores industriales.
- ❑ Módulos de entradas/salidas discretas y analógicas, además de entrada a termocuplas y RTD.

BITBUS utiliza el tradicional sistema de señales analógicas de 4 – 20 mA, para adquirir o actuar sobre las variables a través de elementos de campo adicionales como transmisores o actuadores. Los elementos de campo no incorporan ningún tipo de inteligencia, por lo tanto, no ofrecen autodiagnóstico o configuración remota.

**1.7.3 INTERBUS:** Es un sistema abierto de bus serie utilizado para transmitir datos entre diferentes tipos de sistemas de control como PLCs y PCs, además de dispositivos de entrada/salida donde se conectan actuadores y sensores.

Un sistema INTERBUS consiste en una tarjeta controladora instalada en una computadora o en un PLC que se comunica a una gran variedad de dispositivos de entrada/salida.

INTERBUS fue introducido por la compañía Phoenix Contact en el año 1984, y estandarizado bajo la norma EN50254.

Algunas de las características más importantes de INTERBUS se muestran en la tabla III. Se observa que aunque se define como un bus, su topología puede llegar a ser tan compleja como árbol o anillo.

Tabla III: Características de INTERBUS

Número de dispositivos	512 en total
Topología	Bus, árbol, anillo, estrella.
Método de comunicación	Maestro/esclavo
Tasa de transmisión	500 kbit/s, full duplex
Medio de transmisión	Cable de par trenzado, fibra, infrarrojos
Longitud máxima	12.8 Km (cobre), 400m entre dispositivos

Dispositivos que se pueden conectar a INTERBUS [9]:

- ❑ Computadores industriales.
- ❑ Módulos de entrada/salida, módulos de temperatura (entrada para PT100).
- ❑ Módulos para PLCs.
- ❑ Tarjetas para PCs.
- ❑ Interfaces para operadores (pantallas, teclados, etc.).

**1.7.4 CAN (Controller Area Network):** Es un protocolo estandarizado bajo ISO 11898 para comunicaciones seriales. Fue introducido por Bosch en el año de 1986, originalmente para aplicaciones en automóviles. En la actualidad, CAN ha ampliado sus aplicaciones en el área de control y automatización industrial, manteniendo un amplio uso en automóviles. El bus CAN es del tipo *broadcast*, es decir, todos los nodos reciben las transmisiones. No hay manera de enviar un mensaje a solo un nodo específico. Sin embargo, existen filtros para que un nodo reaccione solo ante un mensaje que le interese. CAN usa mensajes cortos, máximo 94 bits. Algunas de las características físicas del bus CAN (nivel uno del modelo OSI), son resumidas en la tabla IV.

Tabla IV: Características físicas de CAN

Tasa máxima de transmisión	1 Mbit/s, Low speed hasta 125 kbit/s.
Tasa mínima de transmisión	10 kbit/s.
Medio de transmisión	Cable de par trenzado.
Longitud máxima	40m a 1 Mbit/s, 6km a 10 kbit/s.
Conectores	No estandarizado, podría ser 9-pin DSUB.

CAN trabaja bajo una estructura multi-maestro capaz de proveer tolerancia a fallas en la recepción de mensajes y mal funcionamiento de los nodos. El funcionamiento de CAN se basa en las capas 1 y 2 del modelo OSI. Existen distintas opciones para la capa de aplicación, por ejemplo: CANOpen, SDS y DeviceNet [6].

La trama del bus CAN consta de siete secciones o campos:

1. El bit de inicio: marca el comienzo del protocolo de enlace de datos.
2. El campo de estado: establece la prioridad del dispositivo. Si por ejemplo hay dos equipos que intentan transmitir simultáneamente, se concede la preferencia al dispositivo de mayor prioridad. Consta de 11 bits.
3. El campo de control: especifica la cantidad de información que está contenida en el campo de datos. De esta forma, cada receptor puede verificar si ha recibido la información completa. Consta de 6 bits.
4. El campo de datos: contiene la información. Consta de un máximo de 64 bits.
5. El campo de aseguramiento: detecta fallos en la transmisión. Consta de 16 bits.
6. El campo de confirmación: los receptores señalan mediante este campo, si han recibido correctamente el mensaje. En caso contrario, el transmisor repite su transmisión. Consta de 2 bits.
7. El campo de fin de la trama: informa del fin de la transmisión. Consta de 7 bits.

En la figura 1.6, se muestra la trama del bus CAN y los diferentes campos que la conforman.

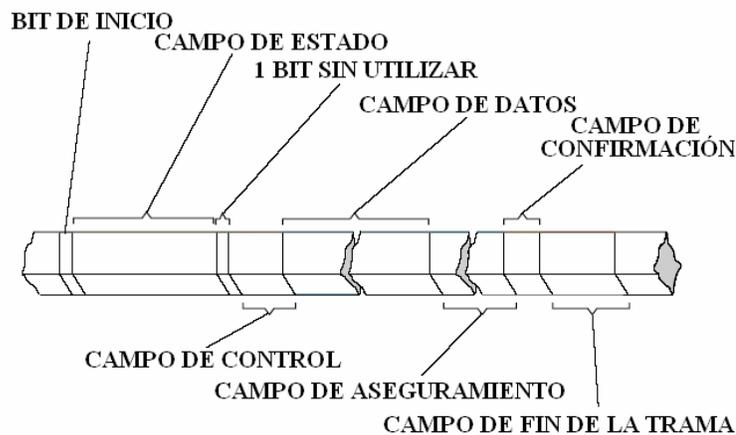


Figura 1.6: Trama de CAN.

CAN define en su capa física (ISO 11898), un conductor de par trenzado (2 *wire - twisted*); también establece los niveles alto y bajo del protocolo: si hay una diferencia de potencial de 2 V entre los dos conductores del cable, se trata de un nivel alto o “1” lógico; en caso de que la diferencia de potencial sea de 0 V, se trata de un nivel bajo o “0” lógico [10]. CAN necesita de resistencias terminales en los extremos del bus para minimizar los efectos de las ondas reflejadas.

**1.7.5 DeviceNet:** Es una tecnología de red diseñada para aplicaciones en la industria automatizada. Utiliza CAN como capa de enlace y CIP (*Common Industrial Protocol*) para capas superiores. La organización que da soporte al estándar abierto DeviceNet es ODVA (*Open DeviceNet Vendor Association*).

DeviceNet sirve como red de comunicación para controladores industriales y dispositivos de entrada/salida. Puede ser configurado para operar bajo el método maestro/esclavo o una arquitectura *peer to peer*. DeviceNet permite alimentar dispositivos a través de la red, lo que se traduce en reducciones de puntos de conexión y por tanto menores dimensiones físicas.

Las características de DeviceNet (ver tabla V) corresponden físicamente con las del protocolo CAN.

Tabla V: Características físicas y funcionales de DeviceNet

Tamaño de la red	Hasta 64 nodos.
Topología	Lineal: datos y alimentación en el mismo cable.
Longitud máxima	100m a 500 kbit/s, 500m a 125 kbit/s.
Paquetes de datos	0-8 bytes.
Direccionamiento en el bus	1. <i>Peer to peer</i> con <i>multicast</i> . 2. Maestro/esclavo (permite multi-maestro)
Conectores	No estandarizado.

La capa de enlace de DeviceNet es definida por la especificación e implementación de CAN. El protocolo CAN define cuatro tipos de tramas: trama de datos, trama remota, trama de sobrecarga y trama de error. Los datos son transmitidos en DeviceNet usando la trama de datos, las restantes tramas no son utilizadas, salvo alguna excepción especial. Cuando un dispositivo transmite, éste también monitoriza (recibe) cada bit enviado para verificar que es el mismo. Esto permite detectar errores de transmisión.

Tipos de dispositivos soportados por DeviceNet [11]:

DeviceNet asigna un código hexadecimal único a cada tipo de dispositivo que podría conectarse a la red, en la tabla VI se nombran algunos de ellos.

Tabla VI: Dispositivos con conexión a DeviceNet y su código

Dispositivo	Código único
Contactador.	15H
Entrada/salida discreta de propósito general.	07H
Interfaces para operadores (pantallas, teclados, etc.).	18H
Interruptor de límite ( <i>limit switch</i> ).	04H
Sensor fotoeléctrico.	06H
Válvula neumática.	1BH
Analizador de gas residual.	1EH
Arrancador de motor ( <i>motor starter</i> ).	16H
<i>AC drives</i> .	02H
<i>DC drives</i> .	13H
Generador DC.	1FH

DeviceNet fue desarrollado por Allen-Bradley a mediados de los noventa, posteriormente pasó a ser una especificación abierta (soportada por ODVA). Existen

productos compatibles con DeviceNet de diferentes fabricantes como Allen-Bradley, ABB, Bosh, Festo, Omron, entre otros.

**1.7.6 SDS (Smart Distributed System):** Es un sistema de bus basado en CAN, desarrollado por Honeywell para sensores y actuadores inteligentes.

Sobre un cable de cuatro hilos, SDS puede conectar hasta 64 nodos. Los sensores y actuadores inteligentes SDS hacen algo más que solo pasar de estados ON a OFF y viceversa, tienen funciones avanzadas de diagnóstico y configuración.

SDS puede conectarse a PCs o PLCs, lo que lo hace ideal para aplicaciones industriales de manera que se reemplacen sensores y actuadores cableados discretamente [11].

La adopción de SDS bajo el estándar IEC 62026-5 se realizó en el año 2000, once años después de que fuera introducido al mercado.

Las capas física y de enlace de SDS operan bajo el protocolo CAN, por tanto, las características físicas y funcionales son iguales.

**1.7.7 ControlNet:** Es una red de control para aplicaciones de alta velocidad desarrollada por Allen-Bradley que combina las funcionalidades de una red de entrada/salida con una red *peer to peer*.

Entre las especificaciones técnicas de ControlNet tenemos las siguientes [12]:

- ❑ Forma de utilizar el bus: control, datos de E/S y de programación en el mismo cable.
- ❑ Topologías: lineal, árbol, estrella.
- ❑ Velocidad máxima de transmisión: 5 Mbit/s.
- ❑ Longitud de un segmento: 1000 m (cable coaxial) a 5 Mbit/s con dos nodos, 250 m con 48 nodos. 3000 m (fibra óptica) a 5 Mbit/s.
- ❑ Nodos: 48 sin repetidor, hasta 99 con repetidores.
- ❑ Alimentación de los dispositivos: externa.
- ❑ Conectores: BNC estándar.

- ❑ Longitud máxima de un paquete de datos: 510 bytes.
- ❑ Número de puntos de E/S: sin límites.
- ❑ Modos de comunicación: maestro/esclavo, permite multimaestro; *peer to peer*.
- ❑ Opción de seguridad intrínseca.

Dispositivos que se pueden conectar a ControlNet:

- ❑ Controladores.
- ❑ Interfaces para operadores (pantallas, teclados, etc.).
- ❑ Entradas y salidas discretas y analógicas.
- ❑ AC – DC drives.
- ❑ Tarjetas para PC.

En la figura 1.7 se presenta un ejemplo de un sistema ControlNet, se observan diferentes controladores intercambiando información por medio de un bus de alta velocidad. ControlNet es básicamente una red de control, ver sección 1.2.

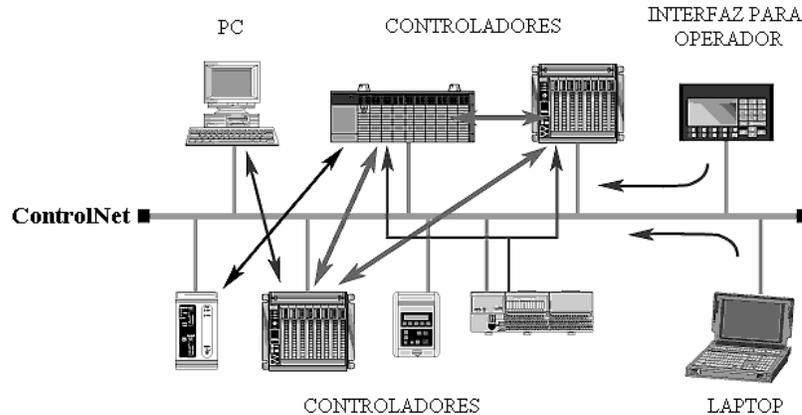


Figura 1.7: Ejemplo de un sistema ControlNet

**1.7.8 LonWorks:** Es una solución para automatización de casas y edificios, industrias, transporte, entidades públicas, entre otros. El protocolo LonWorks es también conocido como ANSI/EIA 709.1.

Entre los dispositivos que se pueden conectar a un sistema LonWorks tenemos:

- ❑ Sensores de movimiento.
- ❑ Interfaces para operadores (pantallas, teclados, etc.).
- ❑ Cámaras de seguridad.
- ❑ Dimmers / Interruptores.
- ❑ Termostatos.
- ❑ Válvulas.
- ❑ Dispositivos de E/S.
- ❑ Productos de conectividad a Internet.

LonWorks ofrece una amplia gama de servicios para extensas arquitecturas de muchos nodos, como aplicaciones en edificios inteligentes [6].

**1.7.9 Modbus:** El protocolo Modbus es un estándar de comunicaciones soportado por muchos fabricantes de PLCs y equipos industriales. Existen dos versiones del protocolo Modbus serial: Modbus RTU y Modbus ASCII [13]. Fue originalmente desarrollado por Modicon en 1978, convirtiéndose en un estándar de facto para intercambio de datos entre sistemas de PLC.

El protocolo Modbus define una estructura de mensaje que los controladores reconocerán y usarán, sin importar el tipo de red sobre la cuál se comunican (Modbus, Modbus Plus, Ethernet). Esta estructura describe cómo un controlador interroga y cómo responde a las solicitudes de otros dispositivos, además de cómo los errores son detectados y reportados [14].

Los controladores se comunican usando la técnica maestro/esclavo, en la cual el maestro inicia las transacciones. Los esclavos responden las interrogantes o toman las acciones solicitadas por él. El maestro se puede comunicar a un esclavo en particular o puede enviar un mensaje del tipo *broadcast* para todos los esclavos, que no arrojará ninguna respuesta.

Sobre otra red, los mensajes Modbus son incluidos en la estructura de trama o paquete propia de esa red. Adicional a las capacidades del estándar Modbus, algunos controladores se pueden comunicar sobre Modbus Plus usando la técnica *peer to peer*, en la cual un controlador puede iniciar transacciones con otros controladores. El

principio sigue siendo maestro/esclavo, pero el método de comunicación es *peer to peer*. El controlador que origina el mensaje hace las veces del maestro, similarmente, cuando un controlador recibe un mensaje, se convierte en un esclavo y debe responder al maestro.

Modbus/TCP es un estándar diseñado para facilitar la transferencia de mensajes usando el protocolo TCP/IP y las redes Ethernet estándar.

En las tablas VII, VIII y IX, se resumen las características del protocolo Modbus.

Tabla VII: Características de Modbus Plus

Tamaño de la red	Hasta 32 nodos.
Topología del bus	Token passing/virtual token ring, bus RS485.
Tasa de transmisión	1 Mbit/s.
Longitud máxima	1500m, hasta 6000m con repetidores
Direccionamiento	Multi-maestro y <i>peer to peer</i> .

Tabla VIII: Características de Modbus – TCP [15]

Tamaño de la red	Casi ilimitado.
Topología del bus	Estrella.
Longitud de la red	10/100 Base-T = 100m. Fibra óptica entre 35m y 2000m.
Tasa de transmisión	10, 100, 1000 Mbit/s.
Direccionamiento	Multi-maestro y <i>peer to peer</i> .

Tabla IX: Características de Modbus ASCII/RTU [16]

Tamaño de la red	250 nodos por segmento.
Método de comunicación	Maestro/esclavo.
Máxima distancia	350m.
Medio de transmisión	Par trenzado apantallado.
Detección de error	ASCII: LRC; RTU: CRC.
Alimentación de los dispositivos	Separado del bus de comunicación.

Dispositivos con conexión a Modbus [17]:

- ❑ PCs, PLCs, controladores.
- ❑ Módulos de entrada/salida discretas y analógicas.
- ❑ Unidades terminales remotas.
- ❑ Interfaces para operadores (pantallas, teclados, etc.).

- AC drives, DC drives.
- Gateways a diferentes redes.
- Transmisores.
- Actuadores de válvulas.

**1.7.10 HART (Highway Adressable Remote Transducer):** Fue introducido en el año de 1986 por Rosemount. Su filosofía es la compatibilidad de la transmisión de la señal de 4 – 20 mA con la transmisión digital. Su versatilidad incluye utilizar el cableado ya existente, lo que permitió que se adoptara por muchas industrias para sus procesos automatizados. HART es un protocolo maestro esclavo, lo que significa que el dispositivo esclavo envía información solo cuando es solicitada por el maestro.

La vigencia de HART es relativa, se espera que se continúen comercializando dispositivos con salidas HART, por ser una tecnología usada actualmente por muchas industrias, pero la comunicación totalmente digital ofrece otras ventajas que le han dado preferencia en nuevas instalaciones.

Entre los miembros de la *HART Communication Foundation* (organización internacional que ofrece soporte a aplicaciones con protocolo HART), tenemos a Rosemount, Yokogawa, ABB, Endress+Hauser y Honeywell. Muchas de estas compañías de automatización y control igualmente son miembros de otras fundaciones de redes industriales.

El protocolo HART utiliza el estándar Bell 202 FSK. Un cero lógico es representado por una frecuencia de 2200 Hz, y el uno lógico por 1200 Hz. Estas señales se superponen a la señal analógica, manteniendo el mismo valor promedio, por lo tanto, no se modifica la variable transmitida. Las características más resaltantes del protocolo HART se resumen en la tabla X.

Tabla X: Características de HART [18]

Método de comunicación	Maestro/esclavo.
Tasa de transmisión	1200 bit/s
Máxima distancia	1500m multiple 2 wire twisted 24 AWG.
Número de unidades en el bus	Máximo 15.
Número de maestros	Máximo dos.

Dispositivos con conexión a HART [19]:

Existen muchos dispositivos con conexión a una red HART, a continuación se presentan algunos de los más importantes.

- ❑ Transmisores de flujo, presión, temperatura, nivel y otras variables físicas.
- ❑ Controladores.
- ❑ Sistemas de entrada/salida.
- ❑ Barreras de seguridad.
- ❑ Actuadores.
- ❑ *Gateways* a diferentes redes.
- ❑ Handhelds (para calibración, configuración y diagnóstico).

**1.7.11 PROFIBUS (Process Field Bus):** La historia de Profibus se remonta al año 1987 en Alemania, con un proyecto fomentado por autoridades públicas, que permitió que 21 compañías e institutos unieran fuerzas para desarrollar un bus de campo. El primer paso fue la creación del protocolo de comunicaciones PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification). En 1993, nace PROFIBUS DP (Decentralized Periphery), que a su vez se divide en tres versiones DP-V0, DP-V1 y DP-V2, cada una para aplicaciones particulares. En 1995 se funda PROFIBUS International (PI) con más de 1000 miembros, incluyendo algunos de USA, China y Japón [5]. Entre las compañías miembros de PI tenemos: ABB, Siemens, Endress + Hauser, Schneider, Bosch, Honeywell, Yokogawa, Festo, Rockwell Automation y Texas Instruments.

PROFIBUS provee diferentes versiones para la capa física del modelo de referencia OSI. En la tabla XI se muestran las características de las cuatro tecnologías de transmisión disponibles. Estas cuatro versiones están basadas en estándares de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

Tabla XI: Tecnologías de transmisión (capa física) para PROFIBUS [5]

	<b>MBP(*)</b>	<b>RS485</b>	<b>RS485-IS(**)</b>	<b>Fibra óptica</b>
Tasa de transmisión	31.25 kbit/s	9.6 hasta 12000 kbit/s	9.6 hasta 1500 kbit/s	9.6 hasta 12000 kbit/s
Seguridad de los datos	Preámbulo, delimitación de start/end	Bit de paridad, delimitación de start/end	Bit de paridad, delimitación de start/end	Bit de paridad, delimitación de start/end
Conductor	Cobre, par trenzado apantallado	Cobre, par trenzado apantallado tipo A	Cobre, 2 par trenzado apantallado tipo A	Fibra multimodo, monomodo, plástica
Topología	Lineal, árbol	Lineal	Lineal	Estrella, anillo
Número de estaciones	Hasta 32 por segmento, en total 126.	Hasta 32 por segmento sin repetidor, en total 126 con repetidor.	Hasta 32 por segmento, en total 126 con repetidor.	Hasta 126.
Número de repetidores	Máximo 4.	Máximo 9.	Máximo 9.	Sin límite.
Tipo de protección	Seguridad intrínseca (EEx ia/ib)	Ninguna.	Seguridad intrínseca (EEx ib)	Ninguna.

(\*) Manchester Coded, Bus Powered.

(\*\*) RS485 – Intrinsic Safety.

PROFIBUS DP y sus versiones DP-V0, DP-V1 y DP-V2 ofrecen un amplio espectro de opciones, las cuales permiten una comunicación óptima para diferentes aplicaciones. Históricamente hablando, PROFIBUS FMS fue el primer protocolo de comunicaciones PROFIBUS y el precursor de PROFIBUS DP.

PROFIBUS DP es el proceso de intercambio de datos rápido, simple y determinístico entre un maestro y los esclavos asignados a él. DP-V2 provee comunicación directa entre esclavos en un ciclo de bus asincrónico. En la figura 1.8 se ejemplifica el procedimiento de coordinación de varios maestros mediante anillo lógico con paso de testigo o *token ring*. Hasta 32 estaciones (maestras o esclavas) pueden ser conectadas a un segmento, en caso de que se necesite conectar más estaciones se deberán utilizar dispositivos repetidores.

PROFIBUS PA hace énfasis en la automatización de procesos, trabaja típicamente con la tecnología de transmisión MBP y el protocolo DP-V1.

La tecnología MBP es usualmente limitada a segmentos específicos, en áreas peligrosas, utilizando acopladores de segmentos o *links* (ver figura 1.8, donde se

denomina DP/PA link). Estos acopladores son transparentes para el protocolo, ellos “mapean” los esclavos conectados en el segmento PA hacia el segmento DP.

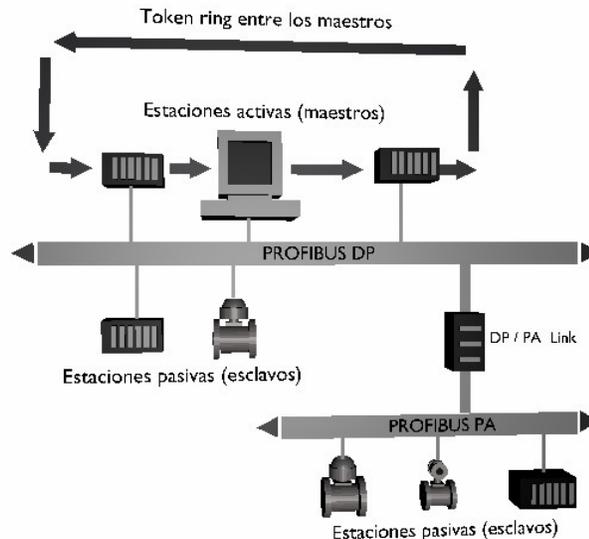


Figura 1.8: Ejemplo de topología PROFIBUS

Dispositivos con conexión a PROFIBUS:

- ❑ PCs, PLCs, controladores.
- ❑ Dispositivos de entrada/salida.
- ❑ Interfaces para operadores (pantallas, teclados, etc.).
- ❑ Válvulas.
- ❑ Transmisores (presión, temperatura, flujo, nivel, etc.)
- ❑ Dispositivos de análisis de variables.
- ❑ Diversas herramientas para calibración, configuración, diagnóstico.
- ❑ Gateways a distintas redes.
- ❑ AC drives, DC drives.

**1.7.12 Foundation Fieldbus:** Es un sistema de comunicación bidireccional, completamente digital, conformado por dos protocolos: H1, que interconecta dispositivos de campo tales como sensores, actuadores y elementos de entrada/salida

a una tasa de transmisión de 31.25 kbit/s y HSE (High Speed Ethernet), que provee integración para controladores, subsistemas H1 y estaciones de trabajo.

H1 mantiene y optimiza las características de sistemas de 4-20 mA como alimentación de los dispositivos en el bus y opciones de seguridad intrínseca, adicionalmente incrementa las capacidades debido a las comunicaciones digitales.

Fieldbus Foundation es una organización independiente, que basa los principios de bus de campo en el trabajo de La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la ISA (*The Instrumentation Systems and Automation Society*), está formada por 185 compañías proveedoras de gran parte de productos de instrumentación y control a nivel mundial.

Foundation Fieldbus usa bloques de función para implementar las estrategias de control. Entre los bloques de función tenemos: AO, analog output; AI, analog input; DI, discrete input; DO, discrete output y PID [20].

En la figura 1.9 se ejemplifica un lazo de control en una red Foundation Fieldbus, las acciones de entrada y salida se representan mediante los bloques de función. Los dispositivos de campo, en este caso una válvula y un transmisor de flujo, se comunican a través de la red H1 a 31,25 kbit/s. El *linking device* lleva los datos de una (o más) red (es) H1 hacia el sistema HSE. Una característica a destacar de Foundation Fieldbus, es su capacidad de distribuir las aplicaciones de control a través de la red. En la figura 1.9, se observa un ejemplo de la red Foundation Fieldbus, observamos cómo la acción PID es ejecutada directamente en el dispositivo de campo.

Dispositivos con conexión a Foundation Fieldbus:

- ❑ *Linking Devices* (conexión H1 a HSE).
- ❑ Controladores.
- ❑ Dispositivos de entrada/salida.
- ❑ Interfaces para operadores (pantallas, teclados, etc.).
- ❑ Elementos de acción final.
- ❑ Transmisores (presión, temperatura, flujo, nivel, etc.)
- ❑ Dispositivos de análisis de variables.

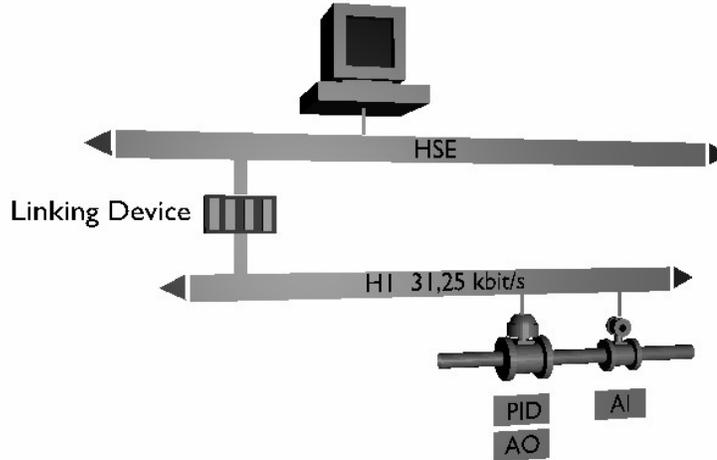


Figura 1.9: Ejemplo de red Foundation Fieldbus

La capa de enlace de Foundation Fieldbus define dos tipos de dispositivos:

- ❑ Dispositivos básicos (Basic devices)
- ❑ Maestros de enlace (Link Masters)

Los maestros de enlace pueden convertirse en el LAS (Link Active Scheduler) del sistema. El LAS organiza el intercambio de datos a través del bus. Éste, envía un mensaje (llamado *Compel Data*, CD) al dispositivo que le corresponde transmitir, ese dispositivo “publica” su mensaje en el bus y es recibido por los dispositivos “suscriptores” (ver figura 1.10). Un bus de campo Foundation puede tener más de un maestro de enlace, lo que significa que si falla el LAS original, cualquiera puede convertirse en él.

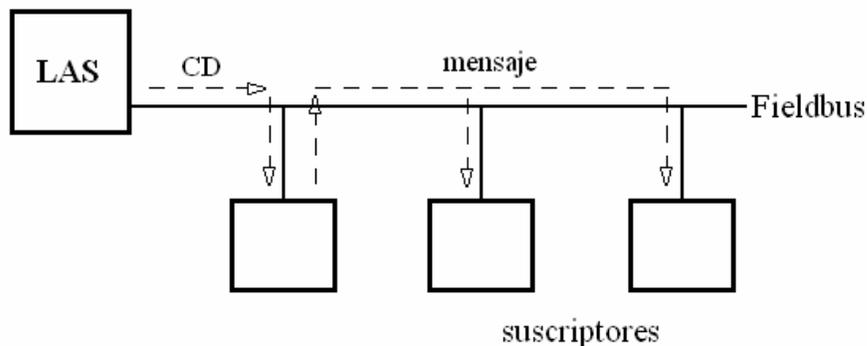


Figura 1.10: Intercambio de datos en Foundation Fieldbus.

En la tabla XII se muestran las características de una red H1. Algunos parámetros cambian si se lleva la alimentación de los dispositivos a través de los dispositivos. En caso de que la red sea instalada en un área clasificada, el número de dispositivos se reduce notablemente. La longitud total es de 1900 metros, incluyendo la longitud de los ramales. Un ramal es el segmento de cable que va desde el bus hacia el dispositivo.

Tabla XII: Características de Foundation Fieldbus H1

Topología	Bus, árbol	Bus, árbol	Bus, árbol
Tasa de transmisión	31.25 kbit/s	31.25 kbit/s	31.25 kbit/s
Alimentación en el bus	no	DC	DC
Clasificación	-	Seguridad Intrínseca	-
Número de dispositivos	2 – 32	2 – 6	2 – 12
Longitud total	1900 m	1900 m	1900 m
Longitud de los ramales	120 m	120 m	120 m

**1.7.13 Ethernet Industrial:** Ethernet ha sido la red más exitosa de los últimos años. Basándose en ella se ha desarrollado Ethernet Industrial para trabajar en control de procesos [21].

Los medios físicos de Ethernet, trabajan con una gama de protocolos de comunicación tales como IP, que van muy bien en el ambiente de oficina, permiten que los usuarios compartan archivos, accedan a servicios de impresión, naveguen en Internet, etc. [22]. Sin embargo, las necesidades industriales son más exigentes y demandan de requerimientos generales. Es así como varias organizaciones han trabajado en el desarrollo de un protocolo para Ethernet Industrial. Podemos tomar como ejemplos a ProfiNet, Modbus – TCP, Ethernet/IP y Foundation Fieldbus HSE.

Ethernet/IP (*Ethernet Industrial Protocol*) es el producto desarrollado por cuatro organizaciones: ODVA (*Open DeviceNet Vendor Association*), IOANA (*Industrial Open Ethernet Association*), CI (*ControlNet International*) e IEA (*Industrial Ethernet Association*). Es usado para productos de robótica, PLCs, *drives*, etc, este protocolo es ampliamente usado en Estados Unidos y se está haciendo popular en Europa, Japón y China.

Las características de Ethernet se muestran en la tabla XIII.

Tabla XIII: Características de Ethernet [36]

Estándar	Ethernet según IEEE 802.3
Alcance de la red	Casi ilimitado.
Tasa de transmisión	10, 100, 1000 Mbit/s
Topología	Estrella.
Número de estaciones	Casi ilimitado.
Medio de transmisión	Par trenzado. Cable de fibra óptica.
Protocolo	Independiente del protocolo.

Las características de Modbus – TCP, Foundation Fieldbus HSE y ProfiNet, son iguales a Ethernet/IP, debido a que todas estas redes están basadas en el estándar IEEE 802.3

En principio, los medios de transmisión para Ethernet que están disponibles, son cables coaxiales y de par trenzado, tanto apantallado como sin apantallar.

## CAPÍTULO II

### SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE LAS PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE DEL ÁREA METROPOLITANA.

#### 2.1 Plantas de almacenamiento y distribución de combustible

El sistema de distribución del área metropolitana está conformado por las plantas Catia La Mar, Carenero, Cantinas, Guatire y SCAM (Servicios de Combustibles de Aviación Maiquetía), que se encargan de surtir de combustible a la región capital y zonas adyacentes.

La planta Catia La Mar recibe el combustible vía marítima almacenándolo en varios tanques para su posterior despacho en gandolas, además de realizar bombeo vía poliducto hacia las planta Cantinas y vía turboducto hacia SCAM. Un poliducto es una tubería de acero al carbono que interconecta dos plantas para el bombeo de diversos productos. Se denomina turboducto si el combustible es para aviones. Carenero recibe también vía marítima y bombea hacia la planta Guatire. En la figura 2.1 se muestra cómo son las operaciones de recepción de producto, despacho y bombeo en las plantas de distribución del área metropolitana.

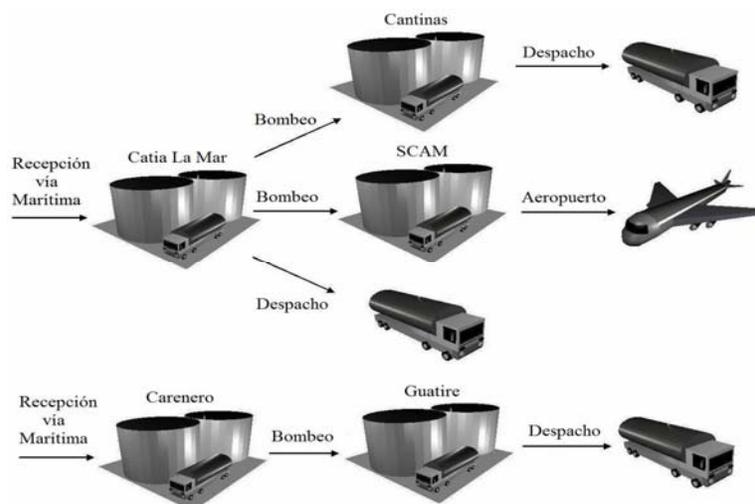


Figura 2.1: Plantas de distribución de combustible del área metropolitana.

**Ubicación geográfica:** Las plantas de almacenamiento y distribución de combustible se ubican geográficamente en las siguientes poblaciones (ver figura 2.2):

- ❑ Catia La Mar: en la urbanización Catia La Mar, Estado Vargas.
- ❑ Cantinas: en el sector Plan de Manzano, Distrito Capital.
- ❑ SCAM: en el Aeropuerto Internacional de Maiquetía, Estado Vargas.
- ❑ Carenero: en la población de Carenero, Estado Miranda.
- ❑ Guatire: en la urbanización El Ingenio, Guatire, Estado Miranda.

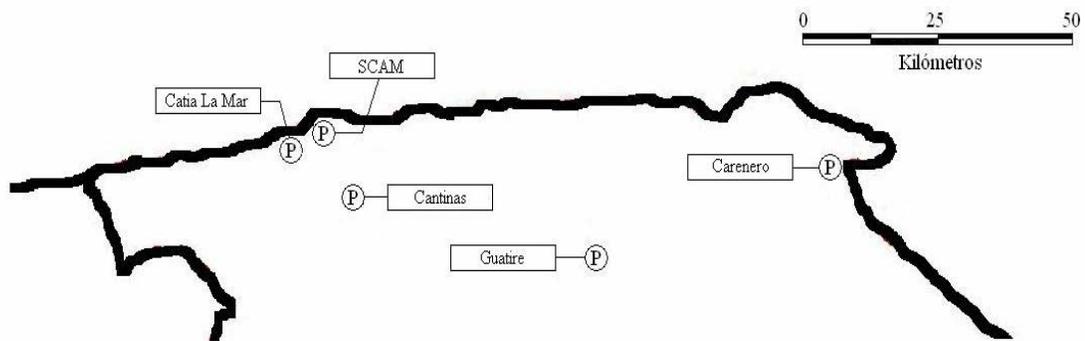


Figura 2.2: Ubicación geográfica de las plantas de distribución.

## 2.2 Planta Catia La Mar

La operación en la planta de distribución Catia La Mar comprende las actividades de recepción de productos de buques tanqueros, almacenamiento, despacho por poliducto/turbo ducto y despacho en gandalas. A continuación se describen estas actividades.

**2.2.1 Recibo de productos por tanqueros:** El supervisor de operaciones portuarias establece comunicación con la agencia naviera respectiva para solicitar información sobre el día y hora estimada de llegada del tanquero al área de aproximación al terminal marino de la planta. Luego notifica a la contratista del terminal marino con aproximadamente doce horas de anticipación la hora de llegada.

El supervisor de guardia de la planta prepara toda la documentación requerida para la recepción de productos desde el tanquero. Al arribar el tanquero al terminal marino, el aforador realiza la toma de muestras de los diferentes productos contenidos en sus compartimientos. Se mide la temperatura y los volúmenes de producto comparándolos con los certificados de origen desde la refinería, si el supervisor de guardia no está conforme solicita una nueva inspección. Al estar conforme se procede a firmar el mutuo acuerdo con el oficial de guardia del tanquero.

El supervisor de operaciones portuarias verifica visualmente que la contratista realice la conexión correcta de las mangueras del tanquero con las correspondientes líneas de descarga e informa al supervisor de guardia de la planta que esta operación ha finalizado. Éste, previa realización de las pruebas de certificación de calidad, ordena la alineación de las válvulas para el recibo de productos. Mientras se descargan los productos, se miden constantemente la temperatura, el flujo y el nivel de los tanques. En caso de presentarse algún problema, se detiene la descarga.

Al finalizar la descarga, se realizan los cálculos de volúmenes de productos recibidos, para firmar el mutuo acuerdo con el oficial de guardia del tanquero. Se desconectan las mangueras, finalizando de esta forma las maniobras y el tanquero sale del terminal [23].

**2.2.2 Despacho de productos por poliducto:** El supervisor de operaciones del Sistema Tacagua (Plantas Catia La Mar, Cantinas y poliducto) envía una nota con el programa de bombeo al supervisor del Sistema Tacagua, al supervisor de suministro de planta Cantinas y a los supervisores de guardia de las plantas Cantinas y Catia La Mar. El técnico de operaciones de Catia La Mar verifica el producto a bombear y el tanque desde el cual se realizará el despacho, luego se comunica con el técnico de operaciones de planta Cantinas para revisar el programa de bombeo y verificar la disposición de esa planta de comenzar a recibir el producto programado. Se procede a la alineación del tanque correspondiente según el producto a despachar mediante las válvulas motorizadas y manuales. El técnico de operaciones recibe instrucciones del supervisor de guardia para arrancar las bombas que alimentan la

bomba principal verificando que la presión de succión de la bomba principal se encuentre dentro de los parámetros operativos. El supervisor de guardia gira instrucciones de arrancar el motor de la bomba principal para dar inicio al despacho. Se verifica continuamente los parámetros de presión y flujo. Al finalizar el despacho programado se para el bombeo, se cierran las válvulas manuales y motorizadas y se registra la información en el libro de novedades diarias [24].

**2.2.3 Despacho de productos por turboducto:** El supervisor de guardia verifica la existencia de producto disponible para el bombeo según el inventario diario de existencias y suministra a la planta SCAM todas las características del producto. Luego solicita al técnico de operaciones, la alineación del tanque a la bomba mediante la apertura y cierre de las válvulas correspondientes y revisa a través de los monitores de la sala de control la correcta alineación. El técnico de operaciones realiza el arranque de la bomba seleccionada e informa al supervisor de guardia de planta SCAM la hora de inicio del bombeo. Se verifican continuamente los parámetros de presión y flujo, anotando los resultados en la forma de control.

El supervisor de guardia de Catia La Mar recibe vía telefónica o por radio del supervisor de guardia de SCAM, la solicitud de detener el bombeo y solicita al técnico de operaciones que lo haga. El técnico de operaciones apaga la bomba y el sistema cierra automáticamente las válvulas [25].

**2.2.4 Auto-despacho de productos por llenadero:** El conductor del vehículo cisterna selecciona el pedido a cargar en la taquilla de selección de pedidos, tomando el ticket de pre-despacho con las cantidades a cargar y el número de turno asignado. Luego se dirige al área de espera, hasta que el sistema le indique, a través de la pantalla anunciadora colocada sobre la caseta de despacho, su turno y el número de isla de llenado que le corresponde. Al tocarle el turno, ingresa a la isla asignada y apaga el motor. A continuación conecta el sistema de puesta a tierra. Se conectan los picos de llenado correspondientes y se procede al llenado. Una vez finalizado el procedimiento, el chofer retira la factura, dejando copia firmada [26].

### **2.3 Tipos de productos recibidos, almacenados y despachados por la planta Catia La Mar**

Los productos derivados de hidrocarburos que se reciben, se almacenan y se despachan en la planta de distribución Catia La Mar son:

- ❑ Gasolina sin plomo.
- ❑ Gasolina con plomo.
- ❑ Insol 400.
- ❑ Insol 300.
- ❑ Diesel.
- ❑ Jet – A1.
- ❑ Av – Gas.

### **2.4 Descripción de los sistemas de medición, control y supervisión de las plantas de distribución de combustible**

En las plantas de almacenamiento y distribución de combustible existen una serie de sistemas que permiten supervisar y controlar las actividades relacionadas con la distribución de productos derivados de hidrocarburos de forma automatizada, segura, y confiable. En líneas generales, los sistemas que existen en las plantas de distribución de combustible son:

- ❑ Sistema de Control de Planta (SCP).
- ❑ Sistema de Control de Llenadero (SCL).
- ❑ Sistema de Control de Acceso (SCA).
- ❑ Sistema Administrativo Nacional de Distribución (SAND).
- ❑ Sistemas conexos.

**2.4.1 Sistema de Control de Planta (SCP):** Comprende los sistemas de control y supervisión (PLC y SCADA) y la instrumentación asociada para medición de variables y apertura/cierre de válvulas.

**2.4.1.1 Controlador Lógico Programable (PLC):** Los controladores lógicos programables de las plantas de distribución son de la serie Modicon Quantum, siendo éstos diseñados para aplicaciones de control en tiempo real. Este PLC es expansible y su arquitectura básica se compone de los siguientes módulos [27]:

- ❑ Fuente de alimentación.
- ❑ CPU.
- ❑ Entradas/Salidas (Input/Output, I/O).
- ❑ Interfaces de red.

**Fuente de alimentación:** Provee la energía que alimenta los módulos del PLC.

**CPU:** Es un módulo usado para el procesamiento de funciones lógicas, secuenciales, de temporización y aritméticas programadas por el usuario.

**Entradas/Salidas:** Los módulos de entrada y salida (llamados I/O en el PLC Quantum por sus siglas en inglés) convierten las señales provenientes de los dispositivos de campo para ser procesadas por el CPU o convierten las señales del CPU en señales adecuadas para el control de un proceso. Ejemplos de estas señales son: interruptores de límite (limit switches), sensores de temperatura, actuadores de válvulas, etc. Todos los módulos de entrada y salida están aislados ópticamente para proteger el sistema y disminuir el impacto de alguna falla en el equipo.

**Interfaces de red:** Los módulos Quantum para interfaz de red son nueve, en la arquitectura del SCP encontramos dos de ellos: RIO (Remote Input/Output) y Ethernet TCP/IP.

Físicamente el PLC y sus módulos de comunicación y de entrada/salida están dispuestos en varios armarios llamados *drops*. Estos *drops* se comunican con el CPU, que es el módulo donde se realiza el procesamiento de las variables, a través de unos módulos conocidos como RIO (Remote Input/Output). En cada armario hay un módulo “RIO drop” conectado mediante un cable coaxial redundante con el “RIO



Modicon que permite conectividad sin repetidores hasta de 4.5 km. La conexión a la red Ethernet es igualmente redundante, puesto que cada arreglo tiene un módulo NOE. Esta configuración se denomina *Dual Cable Hot Standby*. Todos los módulos, excepto los del nivel inferior del *drop* 1 (PS, CPU, RIO, NOE, CHS) son de la serie 800 de Modicon.

En la planta Catia La Mar existen nueve *drops*, seis en la sala de control y otros tres distribuidos por la planta.

**2.4.1.2 SCADA:** El SCADA de la planta de distribución Catia La Mar es PlantScape™ Release 500 de Honeywell. Éste es un sistema basado en PC para supervisión y control de variables de planta, procesos continuos y control *batch*.

Los componentes del SCADA son: servidores, estaciones de trabajo e impresora (ver figura 2.4). Los controladores, integrados al sistema mediante una red Ethernet, toman las variables y realizan las acciones programadas, compartiendo los datos con los servidores.

Las estaciones toman los datos del servidor activo y los muestran en despliegues configurados previamente, de forma tal que pueden ser manipulados por los operadores (como apertura/cierre de válvulas), notificando la actividad de la planta, los eventos y las alarmas que se presenten.

La impresora es de propósito general, se utiliza para imprimir diferentes tipos de reportes y cualquier información que se crea conveniente.

PlantScape™ permite la generación de reportes y gráficos de tendencias, además de análisis estadístico de las variables de planta.

El servidor que se encuentre en *standby* actualiza continuamente su base de datos, para convertirse en servidor activo cuando la situación lo amerite. Los servidores también pueden utilizarse como estaciones de trabajo.

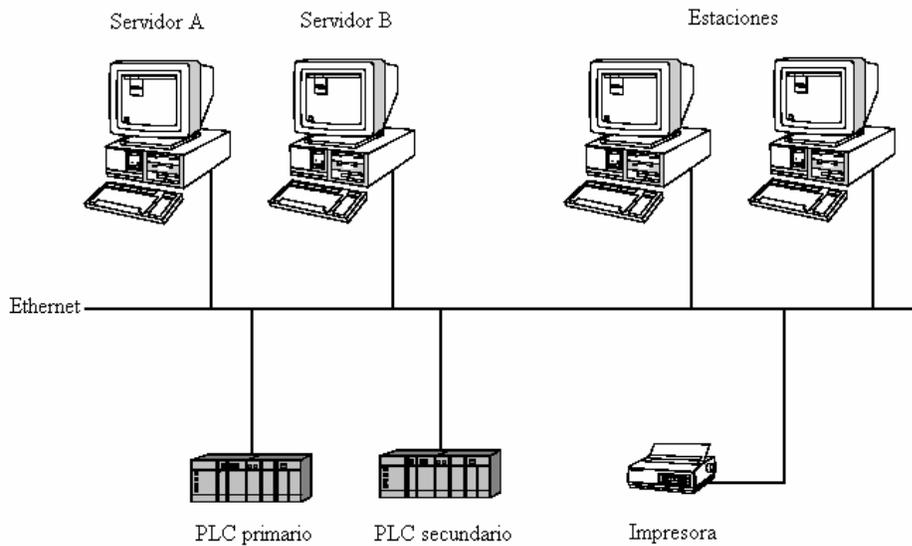


Figura 2.4: Arquitectura del SCADA PlantScape™ de Honeywell.

**2.4.1.3 Instrumentación:** Comprende los transmisores, las válvulas y los actuadores.

**2.4.1.3.1 Transmisores:** La cantidad de transmisores de presión, temperatura, densidad y flujo de la planta de distribución de combustible Catia La Mar, se muestran en la tabla XIV.

Tabla XIV: Transmisores de la planta de distribución Catia La Mar

Tipo de variable	Cantidad
Presión	23
Presión diferencial	3
Temperatura	9
Densidad	2
Flujo	8

**2.4.1.3.2 Actuadores de válvulas:** Las válvulas se clasifican de acuerdo al área de la planta en que se encuentren: múltiple de recibo, múltiple de distribución, poliducto, múltiple de entrada al turboducto, múltiple de salida del turboducto, sala de bombas del llenadero y sala de bombas al turboducto.

Se conoce como “múltiple” al área donde se encuentran los arreglos de válvulas, tuberías e instrumentación, necesarios para que el combustible mantenga un recorrido deseado. El múltiple de recibo, por ejemplo, consiste en un grupo de válvulas, tuberías e instrumentación que permiten que los productos recibidos de los buques tanqueros, lleguen a los tanques correspondientes para su almacenamiento. Los actuadores de las plantas de distribución son de la empresa Rotork En la tabla XV, se muestra la cantidad de actuadores de acuerdo al área donde se encuentran.

Tabla XV: Actuadores de la planta de distribución Catia La Mar

Área	Cantidad
Múltiple de recibo	15
Múltiple de distribución	22
Múltiple de entrada al turboducto	11
Múltiple de salida al turboducto	7
Sala de bombas al turboducto	6
Sala de bombas del llenadero	7
Poliducto	24
Tanques de almacenamiento	16

Si contamos los actuadores de las válvulas del Sistema Contra Incendios (SCI), que son seis, tenemos un total de 114 actuadores en la planta Catia La Mar.

**2.4.2 Sistema de Control de Llenadero (SCL):** Es el encargado de realizar el control de los despachos de combustible a las cisternas. Se integra con el Sistema de Control de Acceso (SCA) y el Sistema Administrativo Nacional de Distribución (SAND) para recibir la información de los pedidos y el control del acceso para la carga de combustible. El SCL asigna el turno y la de isla de llenado [28]; también interactúa con los computadores de flujo (acculoads) a los cuales les envía la programación de manera automática para ejecutar los despachos y recibe de éstos la información del volumen real despachado al concluir con el llenado. En la figura 2.5 se muestra la arquitectura del SCL.

El Sistema de Control de Llenadero (SCL) está integrado por:

- ❑ Una aplicación SCL.
- ❑ Una consola de llenadero.
- ❑ Una interfaz SCL.
- ❑ Un Sistema de Selección de Pedidos (SSP).
- ❑ Un Sistema de Control de Acceso (SCA).

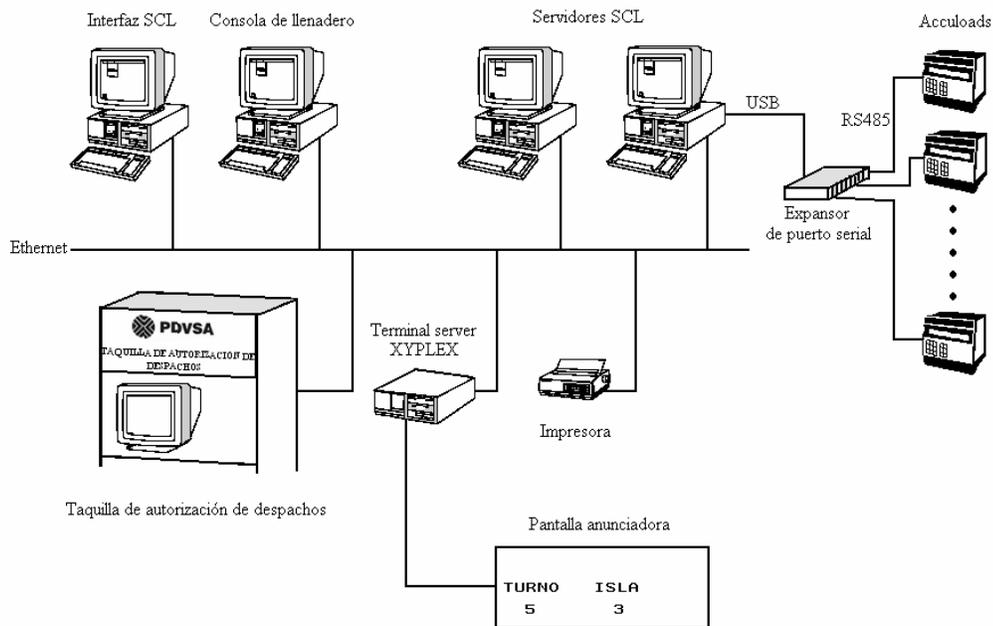


Figura 2.5: Arquitectura del Sistema de Control de Llenadero.

**Aplicación SCL:** Corre en los servidores primario y secundario. El servidor que se encuentre activo (que en general es el primario) controla las operaciones de llenado, cancela despachos, realiza *tests* a los *acculoads*, muestra volúmenes despachados, pedidos pendientes, etc. El servidor no activo, se encuentra en espera (*standby*) y muestra los camiones cargando, pero, no puede realizar ninguna operación.

**Consola de llenadero:** Tiene varios usos, como emisión de reportes, inserción de pedidos, etc. A través de ésta se pueden visualizar los despachos de un día en particular.

**Interfaz SCL:** Efectúa el intercambio de información necesaria para el correcto despacho de pedidos en el llenadero. Ingresan los datos procedentes de la facturación para luego ser procesados por el SCL en conjunto con los computadores de flujo que se encuentran en campo realizando los despachos, para luego dar respuesta de los resultados obtenidos. Es la interfaz de comunicaciones con los Sistemas de Facturación (SAND), Selección de Pedidos (SSP) y Control de Acceso (SCA).

**Sistema de Selección de Pedidos (SSP):** Le permite a los conductores de las gandolas seleccionar sus pedidos.

**Sistema de Control de Acceso (SCA):** Controla las barreras para permitir/negar el acceso a los vehículos cisternas al área de llenadero.

**2.4.2.1 Componentes del Sistema de Control de Llenadero (SCL):** En la figura 2.5 se observa la arquitectura del SCL y sus componentes. Se explicará la función de cada uno de ellos.

**Servidores SCL:** En ellos corre la aplicación SCL.

**Acculoads:** Son computadores de flujo que controlan el caudal de producto que se despacha hacia la cisterna. Hay un *accuload* por cada pico de llenado. La medición del flujo se realiza a través de un contador de flujo, que indica al *accuload* cuánto combustible ha circulado hacia el compartimiento de la gandola. Estos computadores de flujo se comunican con el SCL a través de un equipo **expansor de puerto serial**.

**XYPLEX:** Conecta el SCL con la **Pantalla anunciadora**, que indica el turno y la isla que le corresponde a cada cisterna.

**Taquilla de autorización de despachos (SSP):** A través de ella el conductor del vehículo cisterna ingresa los despachos.

**2.4.2.2 Operación:** El cliente mayorista realiza la solicitud de pedido a través del Sistema Administrativo Nacional de Distribución (SAND). En la base de datos SAND se cargan los pedidos que pasan al SCL por medio de la interfaz SCL.

El conductor del vehículo cisterna ingresa el despacho en la **taquilla de autorización de despachos** del Sistema de Selección de Pedidos (SSP), retirando el ticket de pre-despacho con las cantidades a cargar y el número de turno asignado. El SCL asigna un turno y una isla de llenado que se indicará en la **pantalla anunciadora** en el momento que le corresponda. En la planta Catia La Mar hay cuatro islas de llenado.

El Sistema de Control de Acceso (SCA) permite el ingreso de la gandola subiendo la barrera, el conductor realizar el aterramiento del vehículo y conecta los picos de llenado correspondientes. El computador de flujo (*accuload*) se conecta con el SCL para el control de los volúmenes a despachar. Al concluir el despacho se permite la salida y se imprime la factura correspondiente (SAND).

**2.4.3 Sistema de Control de Acceso (SCA):** Este sistema se encuentra integrado al SCL y al SAND para permitir/negar el acceso de los vehículos cisterna de acuerdo a los datos ingresados en el SSP.

El SCA está compuesto por:

- ❑ Servidores con la aplicación SCA y bases de datos instalada.
- ❑ Barrera de acceso.
- ❑ Interfaz con SCL y SAND.
- ❑ Taquilla de despachos PROPANEL (SSP).

**2.4.4 SAND:** Es un sistema encargado de recibir las solicitudes de pedido de los clientes mayoristas, crear las solicitudes de despacho y enviarlas al SCA y SCL, generar la facturación de despacho y comunicarse con el sistema SAP de PDVSA.

**2.4.5 Sistemas conexos:** Los sistemas conexos son los siguientes:

- ❑ Sistema de Parada de Emergencia (SPE).
- ❑ Sistema Contra Incendios (SCI).
- ❑ Sistema de Medición de Tanques (SMT).
- ❑ Sistema de Detección de Interfaz y Fugas (SDIF).

**2.4.5.1 Sistema de Parada de Emergencia (SPE):** Es un sistema de seguridad con tres objetivos: resguardar la salud y vida de las personas que se encuentren en las plantas, proteger los equipos y sistemas existentes y minimizar las pérdidas por derrames o fugas de productos derivados de hidrocarburos. Una parada de emergencia detiene la operación normal de la planta. El sistema básicamente abre/cierra válvulas y apaga/enciende bombas como medida correctiva y/o preventiva ante cualquier eventualidad.

En la planta Catia La Mar existen 7 pulsadores para parada de emergencia que solo pueden ser accionados por personal autorizado y bajo la seguridad absoluta de que se trata de una emergencia real.

**2.4.5.2 Sistema Contra Incendios (SCI):** Está constituido por elementos de detección de humo y llamas y por los sistemas de extinción (espuma, agua, CO<sub>2</sub>). También posee una serie de alarmas para indicar a las personas que se encuentren en la planta sobre el peligro ante un posible incendio.

**2.4.5.3 Sistema de Medición de Tanques (SMT):** Se encarga de medir el nivel, la densidad y la temperatura del combustible almacenado en los tanques de las plantas de distribución, para determinar el inventario de los volúmenes de combustible. SAAB, Varec y Enraf son los fabricantes de los Sistemas de Medición de Tanques de las plantas de distribución.

En la planta Catia La Mar, donde existen 18 tanques, la medición de nivel se hace a través del sistema Varec. El principio de medición del Varec es un flotador, unido a una cinta de acero inoxidable, que reposa sobre la superficie del líquido. El movimiento del flotador desplaza la cinta, que a su vez se encuentra unida a un disco dentado, y el movimiento de rotación del disco es procesado para transmitirse. Los transmisores envían la información en un bus de cuatro hilos hasta un concentrador llamado TGI (*Tank Gauge Interfaces*), éste a su vez, la envía al SCP.

**2.4.5.4 Sistema de Detección de Interfaz y Fugas (SDIF):** Este sistema es llamado Sistema “Controlotron” debido al nombre del fabricante del equipo. Tiene la capacidad de medir la velocidad de propagación del sonido a través del fluido y la temperatura, de esta forma, determina el tipo de líquido que pasa a través de medidor.

El método de detección de fugas consiste en medir el caudal en dos puntos de la tubería, estos valores se restan, tomando en cuenta la variación de volumen por efectos de la temperatura y la compactación en la línea de flujo, obteniendo el valor de las fugas, que debe ser aproximadamente igual a cero en condiciones normales.

## **CAPÍTULO III**

### **NORMAS Y LINEAMIENTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE PDVSA.**

#### **3.1 Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA)**

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) es una corporación mundial de energía propiedad del Estado venezolano, que trabaja para transformar los recursos energéticos del país en productos y servicios. Sus actividades operacionales y comerciales son la exploración, explotación, refinación, transporte y distribución de hidrocarburos, así como negocios petroquímicos y ORIMULSIÓN®.

Entre los objetivos de PDVSA se incluyen reducir costos de operación, apoyar la generación de productos limpios e impulsar el crecimiento económico de Venezuela. En este sentido, incorpora y capitaliza tecnología en toda su cadena de negocio [29].

#### **3.2 Gerencia de Automatización Industrial, Informática y Telecomunicaciones (AIT)**

La Gerencia Corporativa de Automatización Industrial, Informática y Telecomunicaciones, conocida como AIT, es la encargada de proveer las soluciones integrales, oportunas, eficientes e innovadoras a los procesos tecnológicos de PDVSA [29].

La Gerencia de Automatización Industrial es parte de AIT y se encarga, entre otras cosas, de dar soporte técnico de mantenimiento a las soluciones de automatización; servir de apoyo directo a los usuarios mediante la atención y monitoreo del comportamiento de los sistemas y aplicaciones de supervisión y control; proponer y hacer seguimiento a mejoras, ampliaciones y modificaciones de los sistemas de automatización; garantizar disponibilidad de repuestos y apoyos técnicos especializados; identificar, evaluar y probar tecnologías de automatización

aplicables en la corporación; y redactar y revisar estándares y guías sobre usos y selección de tecnologías de automatización.

Aplicar todas esas actividades a las plantas de almacenamiento y distribución de combustible del área metropolitana es competencia de La Gerencia de Automatización Industrial Metropolitana.

### **3.3 Normas PDVSA asociadas a los componentes de la arquitectura de automatización**

Se resumirán las normas relacionadas con redes industriales, instrumentación y seguridad en plantas de PDVSA, extraídas del Centro de Información Técnica (CIT) de Intevep. Algunos de los documentos no han sido revisados durante varios años, pero de igual forma se utilizarán como recomendaciones para una posible arquitectura de bus de campo en las plantas de distribución de combustible de la región metropolitana.

#### **3.3.1 Redes Industriales (guías y recomendaciones)**

##### **Documento k-362**

**Fecha: Diciembre de 1994**

Resumen: El uso de las redes requiere el cumplimiento de una serie de requisitos entre los cuales tenemos:

**Flexibilidad:** las redes deben poder evolucionar, es decir, servir nuevas localizaciones, sumar nuevos elementos a los nodos de acceso sin que sus capacidades de procesamiento y de manejo de recursos hardware y software se resientan.

**Seguridad de funcionamiento:** debe existir redundancia en la línea de transmisión y en las unidades de interfaz de comunicaciones. Los protocolos de comunicación deben asegurar la detección y corrección de errores.

**Distancia:** las redes deben asegurar la cobertura geográfica donde se mantengan operaciones y procesos.

**Tiempo de respuesta:** la velocidad de transmisión de la red debe garantizar el seguimiento de las variables del proceso, aún para aquellas que posean la dinámica más rápida. El tiempo de muestreo debe ser al menos cincuenta (50) veces más rápido que el período de la componente de frecuencia de la variable con la dinámica más rápida.

**Ambiente industrial:** el diseño de redes debe contemplar variables propias del ambiente como: altas temperaturas (en especial para Exploración y Producción E&P), gases corrosivos, ambiente clasificado clase I división II e interferencias electromagnéticas.

**Apertura de sistemas:** la apertura de los sistemas interconectados por redes hace que sea necesario tomar en cuenta requerimientos particulares:

1. Interoperabilidad: las redes deben soportar la interoperabilidad de sistemas de control heterogéneos y productos de comunicaciones, garantizando una apertura fundamental para la conexión simple y económica.
2. Integrabilidad: las redes deben contar con facilidades para integrar sistemas de control cerrados, aún cuando evidentemente lo ideal sería que dichos sistemas sean abiertos.
3. Interconectividad: para garantizar la interoperabilidad y/o la integrabilidad, las redes deben asegurar una interconectividad que garantice la comunicación par a par (peer to peer communication) entre los sistemas de comunicación adscritos a la misma.
4. Escalabilidad: el diseño original de la red debe ser escalable; es decir, añadir o suprimir estaciones no significa tener que rediseñarla sino que será un evento natural sin impacto, otro que no sea la anexión o supresión de las funciones que realizaban dichas funciones, sobre el resto de la red.
5. Estandarización: las redes industriales a instalar en PDVSA deben obedecer a una estandarización reconocida.

### **3.3.2 Controladores Lógicos Programables (PLC)**

**Documento k-360**

**Fecha: Agosto de 1994**

Resumen: La red de comunicaciones del PLC permite el intercambio de datos con otros controladores, con el SCADA y con dispositivos de entrada/salida conectados en el sistema.

La comunicación entre el PLC y otros equipos debe ser a través de un enlace digital. El sistema debe poseer un enlace redundante que conmute inmediatamente al fallar el primario.

Otros requerimientos asociados a la red del PLC son: posibilidad de longitudes de 300 metros o superiores, dar opciones de expansión a través de componentes modulares, trabajar con altas velocidades de transmisión, utilizar cableado redundante y ofrecer alternativas entre: par trenzado, fibra óptica y cable coaxial.

El PLC debe poseer puertos Ethernet, Modbus y de algún otro protocolo para permitir la integración del PLC en diferentes redes.

En cuanto a la seguridad de los datos, se recomienda incluir en cada trama el código de Chequeo de Redundancia Cíclica (Cyclic Redundancy Check), conocido como CRC y cuya longitud es de 16 bits, además de otras verificaciones de seguridad. Debe realizarse una re-transmisión automática en caso de algún error.

La conexión y desconexión de equipos no deben afectar las demás comunicaciones excepto en casos específicos.

### **3.3.3 SCADA**

**Documento k-309**

**Fecha: Agosto de 1994**

Resumen: El sistema SCADA consiste de una unidad terminal maestra (*master terminal unit*, MTU) la cual recoge toda la información de medición y

control, además de *status* de los sistemas, vía un enlace de comunicaciones con las unidades terminales remotas (*remote terminal units*, RTU) localizadas en diferentes áreas de la planta para que los operadores supervisen los procesos y tomen las acciones de control necesarias. Las funciones de control se dividen en dos niveles: local y remoto. El control local se ubica en las RTU y el remoto, que corresponde con secuencias de arranque, parada o cambio de un *set-point*, se localiza en la sala de control. El control local no depende del enlace de comunicaciones, si éste falla no resulta una mala operación del proceso.

Las comunicaciones entre la MTU y las consolas debe ser digital. El sistema de comunicaciones debe tener un enlace redundante que conmute automáticamente al fallar el enlace primario.

El SCADA no debe controlar al Sistema de Parada de Emergencia (SPE), éste debe ser manejado independientemente según las especificaciones de PDVSA.

La red de comunicaciones debe soportar la expansión a través de componentes modulares hasta 300 metros de distancia sin el uso de repetidores.

La consola de operaciones debe acceder a la data de todos los controladores conectados al enlace de comunicaciones.

Las comunicaciones deben ser rápidas, seguras, redundantes y basadas en los estándares internacionales como el modelo OSI.

Entre las opciones de capa física se deben permitir cable de cobre, coaxial y fibra óptica.

En el caso de interacción con otros sistemas, el protocolo aceptado es TCP/IP.

El sistema SCADA debe poder comunicarse con otros protocolos a través de equipos dedicados a la comunicación basados en el software que corra en la MTU o las remotas.

### **3.3.4 Introducción a la instrumentación**

**Documento k-300**

**Fecha: Febrero de 1999**

Resumen: Las señales para la instrumentación deben ser:

Electrónicas:

1. 4 a 20 mA D.C.
2. Señales discretas: hasta 24V D.C.
3. Milivolts (para termocuplas).
4. Pulsos (0 – 10 kHz).
5. Otros: comunicaciones internas del PLC, Buses, etc.

Neumáticas:

1. 3 a 15 psig.

### **3.3.5 Selección e instalación de equipos eléctricos y electrónicos en lugares clasificados**

**Documento 90619.1.101**

**Fecha: Diciembre de 1998**

Resumen: Esta guía de diseño tiene como objetivo establecer los requisitos mínimos para la selección apropiada e instalación de equipos eléctricos, electrónicos y cableado en lugares o áreas donde pueda existir el peligro de incendio o explosión debido a la presencia efectiva o potencial de gases o vapores inflamables y/o líquidos inflamables.

#### **Clasificación de áreas:**

Según CEN (Código Eléctrico Nacional):

**Clase I:** Son aquellos lugares en los cuales están o pueden estar presentes en el aire, gases o vapores inflamables en cantidades suficientes para producir mezclas explosivas o inflamables.

**Clase I, División 1** es un lugar:

1. Donde pueden existir concentraciones de gases o vapores inflamables; bajo condiciones normales de operación.
2. Donde pueden existir frecuentemente concentraciones de gases o vapores inflamables; debido a reparaciones, operaciones de mantenimiento o fugas.
3. Donde se llevan a cabo procesos de tal naturaleza que roturas o mal funcionamiento de los equipos, podría liberar concentraciones inflamables de gases o vapores, y a la vez causar simultáneamente una avería en el equipo eléctrico de tal forma que se convierta en una fuente de encendido.

**Clase I, División 2** es un lugar:

1. Donde se maneja, procesa o se usan líquidos volátiles inflamables o gases inflamables, pero confinados dentro de recipientes cerrados o sistemas cerrados de donde ellos pudieran escapar solamente en el caso de rotura accidental o avería o en el caso de una operación anormal del equipo.
2. Donde concentraciones inflamables de gases o vapores son extraídas normalmente por medios mecánicos; estos lugares pudieran convertirse en peligrosos por falla o por la operación anormal del equipo de ventilación.
3. Que se encuentre adyacente a un lugar Clase I, División 1 y hacia el mismo pudieran llegar ocasionalmente concentraciones inflamables de gases o vapores, a menos que ello sea impedido por un sistema adecuado de ventilación de presión positiva de una fuente de aire limpio y se hayan previstos resguardos eficaces contra las fallas del sistema de ventilación.

**Clase II:** Los lugares Clase II son aquellos que son clasificados debido a la presencia de polvo combustible.

**Clase II, División 1** es un lugar:

1. En el cual, bajo condiciones normales de operación hay polvo combustible en el aire en cantidades suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables;
2. En el cual una falla mecánica o funcionamiento anormal de una maquinaria o equipo pueda producir mezclas explosivas o inflamables y pueden también proporcionar una fuente de encendido en caso de una falla simultánea del equipo eléctrico, o del funcionamiento de los dispositivos de protección o de otra causa.
3. Donde polvos combustibles de naturaleza eléctrica conductiva puedan estar presentes en cantidades peligrosas.

**Clase II, División 2** es un lugar en el cual no existe en el aire, polvo combustible en cantidades suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables, y las acumulaciones de polvos, son insuficientes para interferir con el normal funcionamiento del equipo eléctrico y de otros aparatos; pero, por causa de un mal funcionamiento del equipo, pueda existir polvo combustible en el aire y acumulaciones de polvo combustible sobre o dentro del equipo eléctrico o en su vecindad que puedan interferir con la disipación segura del calor de los mismos y puedan ser incendiados debido a un funcionamiento anormal.

**Clase III:** Los lugares Clase III son aquellos que son clasificados debido a la presencia de fibras o partículas volátiles de fácil inflamación, pero no es probable que dichas fibras o partículas se encuentren en suficiente cantidad para producir mezclas inflamables.

**Clase III, División 1:** Un lugar Clase III, División 1, es un lugar en el cual se manejan, procesan o usan, fibras fácilmente inflamables o materiales que producen partículas volátiles combustibles

**Clase III, División 2:** Un lugar Clase III, División 2, es un lugar donde se almacena o manejan fibras fácilmente inflamables.

### **Técnicas o métodos de protección conforme al CEN:**

1. Aparatos a prueba de explosión (*explosion proof apparatus*): para clase I división 1 y 2. Aparatos encerrados en una caja, que es capaz de resistir una explosión de un gas o vapor que ocurra en su interior, para impedir el encendido del gas o vapor que rodea a la envoltura. Esta caja debe funcionar a una temperatura exterior tal, que la atmósfera inflamable que lo rodea no se incendie por su causa.
2. A prueba de ignición de polvo (*dust-ignition proof*): para clase II, división 1 y 2.
3. Purgado y presurizado (*purge and pressurized*): es una técnica que permite reclasificar un lugar clase I ó II, división 1 a no clasificado o a división 2; o para cambiar un clase I ó II división 2 a no clasificado.
4. Sistemas intrínsecamente seguros (*intrinsically safe systems*): Equipos o cableados intrínsecamente seguros es un cableado no capaz de desprender suficiente energía eléctrica o térmica bajo condiciones normales o anormales para causar el encendido de una específica mezcla atmosférica combustible en su más fácil concentración de encendido. Condiciones anormales son definidas como daños accidentales a cualquier cableado en el campo, falla de componentes eléctricos, sobretensiones, ajustes y operaciones de mantenimiento y condiciones similares.
5. Circuitos que en condiciones normales, por apertura, corto circuito o puesta a tierra, no liberan suficiente energía para encender una determinada atmósfera peligrosa (*noincendive circuits*): permitido en lugares división 2 y clase III. Un circuito en el cual cualquier arco o efecto térmico, bajo las condiciones prescrita de operación del equipo, o debido a la apertura, cortocircuito o puesta a tierra del cableado de campo, no es capaz, bajo condiciones de pruebas especificadas, de encender el gas o vapor inflamable, o una mezcla de polvo–aire.

6. Componentes que en condiciones normales, no liberan suficiente energía para encender una determinada atmósfera peligrosa (noincendive components). Son componentes que tienen contactos para cerrar o abrir el circuito referido arriba y están construidos o dimensionados para que absorban la energía de la chispa que es liberada a la atmósfera tal que no es suficiente para causar el incendio.
7. Inmerso en aceite (oil immersion): Será permitido para interrumpir la corriente en lugares División 2 si los contactos están sumergidos en aceite por lo menos 5 cm para los de potencia y 2,5 cm para los de control.
8. Sellado herméticamente (hermetically sealed): Un dispositivo sellado para evitar la entrada de la atmósfera externa y en el cual el sello será hecho por fusión, ej.: soldadura, bronce soldadura o cobresoldadura (brazing), fusión de vidrio a metal. Será permitido para interrumpir la corriente en lugares División 2.

### **3.4 Políticas y Lineamientos de la Arquitectura de Automatización Industrial**

Un lineamiento es un señalamiento imperativo de algo que debe cumplirse [30], refiriéndose a las directrices que rigen las políticas de la arquitectura de Automatización Industrial. Los lineamientos indican la dirección que deben seguir las plantas de almacenamiento y distribución de combustible de la región metropolitana al incorporar nuevas tecnologías en su arquitectura de automatización.

Los **lineamientos** están asociados a las **políticas** de la arquitectura de automatización industrial. Las políticas son los objetivos, en tanto que los lineamientos señalan las medidas a tomar para cumplir con esos objetivos [30].

A continuación se citan fragmentos de las políticas y lineamientos de Automatización Industrial de interés para el estudio en desarrollo. A cada política se le asignó un código que la identifica.

### **3.4.1 Política PA-010101: Aspectos Robustez Operacional en Continuidad Operacional.**

#### **Descripción y lineamientos:**

Criterios de alta disponibilidad en ambientes o procesos de alta o mediana criticidad deben ser definidos para los equipos de automatización de la corporación.

Un sistema se puede definir como robusto cuando asegura la continuidad del servicio ante condiciones de falla.

La plataforma debe tener redundancia total o parcial, principalmente en los equipos de la red de procesos, control y transmisión de datos.

### **3.4.2 Política PA-010201: Aspectos de Confiabilidad en Continuidad Operacional.**

#### **Descripción y lineamientos:**

Se debe garantizar una instalación cuya plataforma de equipos, dispositivos de campo, redes de control, servidores de aplicaciones y recurso humano permita la operación de manera altamente confiable.

Se refiere a la plataforma de equipos, dispositivos de campo, controladores lógicos programables, unidades terminales remotas, cableado, redes de control y servidores de aplicaciones de proceso y su interrelación, que garantizan las operaciones y el manejo de las variables de los procesos productivos.

La confiabilidad operacional se define como: “Capacidad de una instalación (infraestructura, personas, tecnologías) para cumplir su función y en caso de que falle, lo haga del modo menos dañino posible”.

La confiabilidad de la arquitectura debe estar enfocada hacia:

- ❑ Disponibilidad de una red de procesos de alta disponibilidad y ancho de banda, para soportar procesos críticos de adquisición de datos, supervisión, control y optimización.
- ❑ Distribución de funciones hacia dispositivos inteligentes.
- ❑ Sistemas Autónomos.
- ❑ Repositorios de conocimientos.
- ❑ Incrementar seguridad y confiabilidad.
- ❑ Garantizar evolución tecnológica conforme lo requiera el negocio.
- ❑ Aumentar productividad.
- ❑ Integración de todos los componentes de Arquitectura.
- ❑ Atención de tareas de soporte y mantenimiento de forma remota.

### **3.4.3 Política PA-010501: Protocolos Abiertos en Dispositivos.**

#### **Descripción y lineamientos:**

La plataforma de Automatización Industrial debe estar completamente normalizada con respecto a los protocolos de comunicación y bajo los estándares de Código Abierto de la IEEE.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas o convenciones que determinan y controlan el intercambio de datos entre dos o más máquinas o dispositivos siguiendo un orden entre sí para transferir, intercambiar e interpretar información y de esta manera, puedan entenderse y comunicarse.

Según el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), se define un “Sistema de Código Abierto” como:

“Un sistema que incorpora suficientes especificaciones o estándares para interfaces, servicios y formatos como para desarrollar y planificar aplicaciones software capaces de: trasladarse con cambios mínimos a un amplio banco de sistemas provenientes de uno o más fabricantes, dialogar con otras aplicaciones tanto en el sistema como en sistemas remotos, e interactuar con los usuarios y programadores de modo que facilita la migración y, que permita la inclusión de especificaciones, que mantenidas y actualizadas por organizaciones, son consensuadas por un amplio grupo de expertos, y permiten que se incorporen las nuevas tecnologías y los requerimientos que puedan aparecer con el paso del tiempo”.

Con esta definición, se puede observar que no se restringe a una tecnología en particular, ya sea hardware o software.

Se puede concluir que la estandarización de protocolos de comunicación industrial permite la modificación, optimización y reducción de costos por pago y mantenimientos de licencias, ya que el cliente no se ata a la utilización de esquemas de comunicación propietarios estando todos los dispositivos comunicándose bajo el mismo protocolo.

#### **3.4.4 Política PA-020101: Aspectos de Integración en Hardware.**

##### **Descripción y lineamientos:**

Los dispositivos de hardware empleados deben satisfacer criterios y estándares a fin de satisfacer la integración de los dispositivos y equipos de automatización industrial para la integración de sistemas.

Los dispositivos de campo deben contemplar la existencia de interfaces para protocolos que permitan la comunicación entre los diferentes dispositivos que se conecten en la plataforma de automatización. La situación deseada y probable será la de dispositivos con interfaz para redes (Ethernet, TCP/IP) multipunto con especificación abierta.

#### **3.4.5 Política PA-020401: Interoperabilidad.**

##### **Descripción y lineamientos:**

Todo sistema debe brindar los niveles de calidad de servicio e integración y cumplir con el criterio de minimización de costos pertinentes a la integración de equipos de tecnologías heterogéneas de múltiples fabricantes.

La heterogeneidad tecnológica en una arquitectura de automatización indica la existencia de una diversidad de tecnologías, ofrecidas por los distintos consorcios tecnológicos, con la misma funcionalidad.

Se busca lograr flexibilidad, robustez, independencia tecnológica, facilitar la migración de aplicaciones, mayor transparencia en la integración y mayores facilidades para alcanzar una arquitectura escalable, distribuida y tolerante a fallas.

#### **3.4.6 Política PA-020501: Aspectos Autodiagnóstico e Inteligencia de equipos.**

##### **Descripción y lineamientos:**

Debe disponerse de una arquitectura de automatización industrial que contemple tecnología con capacidad de autodiagnóstico y autónomo para asegurar la continuidad operacional de los procesos industriales.

La continuidad operacional de los procesos industriales es de vital importancia para el mantenimiento de los índices de producción. Por lo tanto, es necesario contar con equipos para que el personal de la planta pueda predecir, detectar y reparar eventuales fallas en dispositivos y equipos de procesos. Los equipos denominados “inteligentes”, están dotados de sistemas electrónicos que realizan funciones de control, auto-prueba, diagnóstico de fallas, calibración, ajustes y configuración tanto “in situ” como de manera remota.

Este tipo de instrumentación incorpora las operaciones necesarias para solucionar correctamente las situaciones anormales de un determinado proceso.

### **3.4.7 Política PA-050201: Interferencia de Comunicación.**

#### **Descripción y lineamientos:**

Se deben evaluar los problemas de interferencia en los canales de comunicación en el control de los procesos de producción petrolera y desarrollar y/o implementar técnicas para minimizarla en los casos en que no sea posible eliminarla.

En el caso de las señales analógicas se deben usar cables que disminuyan al máximo la influencia del ruido sobre las señales que transportan.

Para las señales digitales alámbricas se debe imponer el uso de fibra óptica. En el caso de no ser factible, se debe usar sistemas de transmisión balanceados o diferenciales como el IEA-485 o IEA-422.

**Resumen:** Las políticas de automatización apuntan a sistemas abiertos, confiables, con dispositivos inteligentes, y con capacidades de comunicación a redes Ethernet para una mejor integración de los componentes de la plataforma. Cualquier propuesta

que involucre la incorporación de nuevas tecnologías a las plantas de distribución de combustible, y en general a cualquier proceso automatizado de PDVSA, debe cumplir con los lineamientos descritos.

## CAPÍTULO IV

### INTEGRACIÓN DE UN BUS DE CAMPO CON LOS SISTEMAS EXISTENTES EN LAS PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE.

#### 4.1 Integración y migración a una nueva tecnología

Una migración significa el reemplazo total de una tecnología existente por una nueva y se justifica si se presenta una o más de las siguientes situaciones:

- ❑ El sistema existente está obsoleto y como consecuencia presenta alta tasa de fallas.
- ❑ Se desea incorporar nuevas funcionalidades que el sistema existente no es capaz de proveer.
- ❑ El sistema existente no cumple con los requisitos de seguridad, de eficiencia, de disponibilidad de repuestos, etc.

Una integración es la implementación de una nueva tecnología sin el reemplazo absoluto de los sistemas y equipos existentes. En general, es la conexión de los nuevos elementos con los existentes. Se justifica si se presenta una o más de las siguientes situaciones:

- ❑ Los nuevos equipos a instalar sólo funcionan con la nueva tecnología.
- ❑ El sistema existente está en el límite de su capacidad y se desea una expansión (instalar nuevos lazos).
- ❑ Se desean incorporar nuevas funcionalidades que el sistema existente podría proveer al integrarse con la nueva tecnología.
- ❑ Se desea diferir un reemplazo total por razones logísticas, de costos, de seguridad, de confiabilidad, etc.

## 4.2 Evaluación de integración/migración de los sistemas de supervisión y control de la planta Catia La Mar con un bus de campo

Determinar la factibilidad de implementar un bus de campo en la planta Catia La Mar, depende de la situación actual de los sistemas existentes. Se evaluarán los sistemas de supervisión y control, de acuerdo a las situaciones planteadas para justificar una integración (conexión con los equipos existentes) o una migración (reemplazo total del sistema) a la tecnología de bus de campo. Esta evaluación consiste en definir qué situaciones se presentan en las plantas, verificando si corresponden con una integración o una migración (ver tablas XVI, XVII y XVIII).

Tabla XVI: Evaluación del SCP

Situaciones que justifican una migración	✓ / χ	Observaciones
El sistema está obsoleto y como consecuencia presenta alta tasa de fallas.	χ	El SCADA y el PLC fueron instalados recientemente.
Se desea incorporar nuevas funcionalidades que el sistema actual no es capaz de proveer de ninguna forma.	χ	Se espera que el sistema actual permita incorporar dispositivos de campo inteligentes a mediano plazo.
El sistema no cumple con los requisitos de seguridad, de eficiencia, de disponibilidad de repuestos, etc.	χ	Cumple los requisitos de seguridad, eficiencia y disponibilidad de repuestos.
Situaciones que justifican una integración		
Nuevos equipos a instalar sólo funcionan con la tecnología de bus de campo.	χ	No se tiene previsto instalar nuevos equipos a corto plazo.
El sistema está en el límite de su capacidad y se desea una expansión (instalar nuevos lazos).	χ	El sistema no está en el límite de su capacidad, tiene posibilidad de expansiones.
Se desean incorporar nuevas funcionalidades que el sistema podría proveer al integrarse con la tecnología de bus de campo.	✓	Se desea instrumentación con autodiagnóstico y configuración remota, disminuir cableado, etc.
Se desea diferir un reemplazo total por razones logísticas, de costos, de seguridad, de confiabilidad, etc.	✓	No se justifica un reemplazo total del SCADA y del PLC.

✓ = se presenta la situación en el sistema.

χ = no se presenta la situación en el sistema.

**Resultado de la evaluación:** El Sistema de Control de Planta (SCP) está cumpliendo su función básica de supervisión y control, aunque se desean incorporar ventajas

inherentes a un sistema con tecnología de bus de campo que podrían aprovecharse mediante una integración. El reemplazo total (migración de toda la instrumentación y sistemas de supervisión y control) no es conveniente por el impacto que tendría en las operaciones de la planta.

Tabla XVII: Evaluación del SCL

<b>Situaciones que justifican una migración</b>	<b>✓ / χ</b>	<b>Observaciones</b>
El sistema está obsoleto y como consecuencia presenta alta tasa de fallas.	✓	En general, las fallas del SCL son consecuencia de problemas de comunicación con los Acculoads.
Se desea incorporar nuevas funcionalidades que el sistema actual no es capaz de proveer de ninguna forma.	✓	Se desea migrar a una plataforma de software libre.
El sistema no cumple con los requisitos de seguridad, de eficiencia, de disponibilidad de repuestos, etc.	χ	Cumple con la seguridad y la disponibilidad de repuestos, la eficiencia es relativa (problemas de comunicación).
<b>Situaciones que justifican una integración</b>		
Nuevos equipos a instalar sólo funcionan con la tecnología de bus de campo.	χ	Los equipos a instalar, en todo caso serían nuevos servidores y estaciones para el SCL en software libre.
El sistema está en el límite de su capacidad y se desea una expansión (instalar nuevos lazos).	χ	No se tiene previsto instalar nuevas islas ni picos de llenado.
Se desean incorporar nuevas funcionalidades que el sistema podría proveer al integrarse con la tecnología de bus de campo.	✓	Se desea evaluar la comunicación del computador de flujo (Accuload) con los servidores.
Se desea diferir un reemplazo total por razones logísticas, de costos, de seguridad, de confiabilidad, etc.	χ	Un reemplazo total impactaría negativamente en el despacho de combustible.

✓ = se presenta la situación en el sistema.

χ = no se presenta la situación en el sistema.

**Resultado de la evaluación:** Este sistema será migrado a una plataforma de software libre. Los problemas del SCL son básicamente, fallas en la comunicación de los computadores de flujo; se desea determinar qué opciones existen para conectarlos por medio de un bus de campo.

Tabla XVIII: Evaluación de los Sistemas conexos

<b>Situaciones que justifican una migración</b>	✓/χ	✓/χ	✓/χ	<b>Observaciones</b>
	SPE	SMT	SDIF	
El sistema está obsoleto y como consecuencia presenta alta tasa de fallas.	✓	✓	✓	Estos sistemas están obsoletos.
Se desea incorporar nuevas funcionalidades que el sistema actual no es capaz de proveer de ninguna forma.	✓	✓	✓	No hay posibilidad de incorporar nuevas funcionalidades.
El sistema no cumple con los requisitos de seguridad, de eficiencia, de disponibilidad de repuestos, etc.	✓	✓	✓	El SPE no cumple con la seguridad. El SMT y el SDIF no son eficientes.
<b>Situaciones que justifican una integración</b>				
Nuevos equipos a instalar sólo funcionan con la tecnología de bus de campo.	χ	χ	χ	Existen diferentes opciones de comunicación para estos sistemas (algunos del tipo propietario).
El sistema está en el límite de su capacidad y se desea una expansión (instalar nuevos lazos).	χ	χ	χ	No se desea expandir, en todo caso se desea reemplazar por nuevos equipos.
Se desean incorporar nuevas funcionalidades que el sistema podría proveer al integrarse con la tecnología de bus de campo.	✓	✓	✓	Un bus de campo solucionar los problemas de comunicación, reducir el cableado, etc.
Se desea diferir un reemplazo total por razones logísticas, de costos, de seguridad, de confiabilidad, etc.	χ	χ	✓	Los tres sistemas están en evaluación para ser reemplazados. Sin embargo, se desea diferir un reemplazo para el SDIF.

✓= se presenta la situación en el sistema.

χ = no se presenta la situación en el sistema.

**Resultado de la Evaluación:** Estos sistemas serán reemplazados (migración a otras tecnologías) a mediano plazo. Existen proyectos para el SPE y el SMT. Se está estudiando un reemplazo del SDIF. Un bus de campo es una opción para la comunicación entre los dispositivos de cada sistema.

El sistema SCI no se evaluó porque su funcionalidad, elementos y características no corresponden con un sistema con conexión a bus de campo. Los

elementos del Sistema Contra Incendios (SCI) son sensores y elementos de extinción que trabajan independientemente de los sistemas de supervisión y control propiamente dichos de la planta y no existe una alternativa conocida de bus de campo para ellos.

En general, no resulta factible la migración del SCP a un bus de campo, en la planta de distribución Catia La Mar, porque los sistemas de supervisión y control existentes no están totalmente obsoletos y un reemplazo absoluto tendría gran impacto en la operación de la planta. Eso no implica que no se puedan aprovechar los beneficios de un bus de campo, como incorporación de instrumentación inteligente, reducción del cableado, etc.; para ello se puede realizar una integración que permitiría a mediano plazo determinar las ventajas reales de esta tecnología. Los sistemas conexos pueden migrarse a tecnologías de comunicación del tipo bus de campo, debido a que existen proyectos de reemplazo de estos sistemas.

### **4.3 Maneras de integrar el Sistema de Control de Planta (SCP) con un bus de campo**

Probablemente, existen varias maneras de integrar un sistema existente con un bus de campo para aprovechar las ventajas de esta tecnología. Se propondrán tres de ellas de acuerdo a algunos fabricantes de soluciones de automatización:

- ❑ Integración a través de un módulo del PLC Quantum.
- ❑ Integración a través de otro controlador conectado a la red Ethernet.
- ❑ Integración a través de un controlador conectado en los servidores del SCADA.

**4.3.1 Integración a través de un módulo del PLC Quantum:** En la figura 4.1 se observa cómo es la integración a través de un módulo del PLC Quantum con protocolo de bus de campo. Las variables son leídas por el PLC y no se afectan directamente las comunicaciones con el SCADA.

Los módulos de bus de campo (*Field Bus Modules*) del PLC Quantum son cuatro [27]:

- ❑ Módulo maestro de comunicaciones Profibus DP.
- ❑ Módulo maestro Quantum AS-i.
- ❑ Módulos de comunicaciones Quantum Interbus.
- ❑ Módulos de Opción de Red Quantum LonWorks.

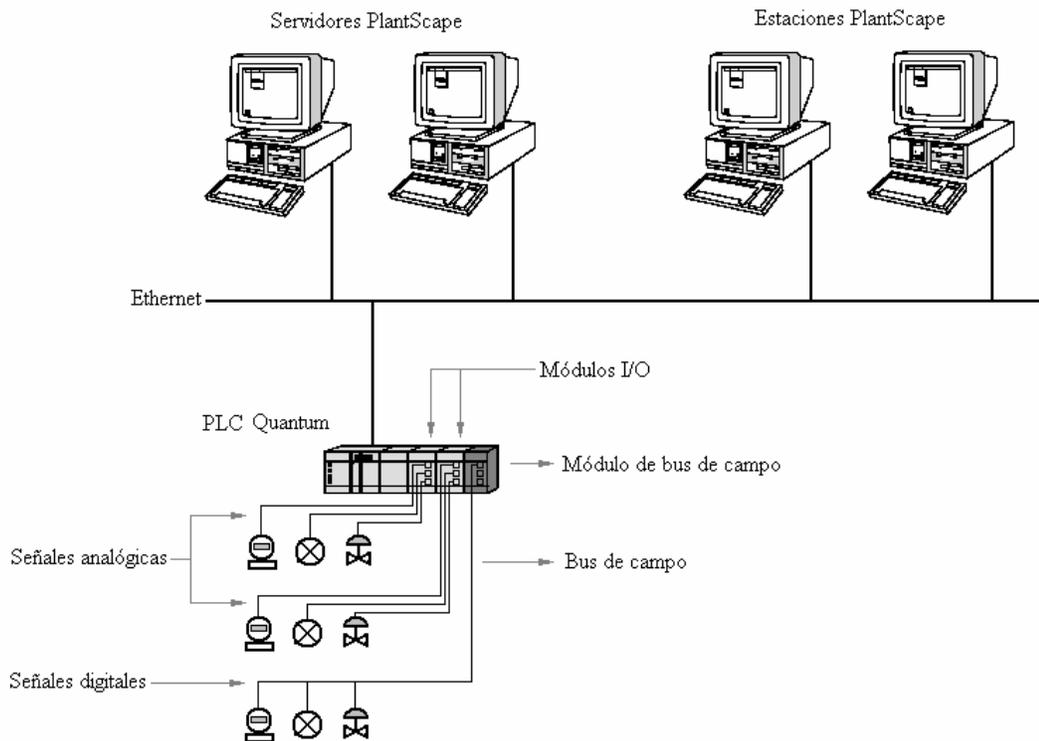


Figura 4.1: Integración a través de un módulo del PLC Quantum.

**4.3.1.1 Módulo maestro de comunicaciones Profibus DP:** El resumen de las especificaciones de este módulo de bus de campo para el PLC Quantum se muestra en la tabla XIX.

Tabla XIX: Especificaciones del módulo Profibus DP de Quantum

<b>Módulo</b>	<b>Profibus DP</b>
Número de parte	140CRP81100
Nodos	32
Longitud del bus	Máx. 1.2 km. a 9.6 Kbps Máx. 1.2 km. a 19.2 Kbps Máx. 1.2 km. a 93.75 Kbps Máx. 1.0 km. a 187.5 Kbps Máx. 0.5 km. a 500 Kbps Máx. 0.2 km. a 1.5 Mbps Máx. 0.1 km. a 3 Mbps Máx. 0.1 km. a 6 Mbps Máx. 0.1 km. a 12 Mbps
Medio de transmisión	Par trenzado apantallado.
Interfaz de datos	EIA RS-485.
Topología	Bus lineal.
Tipo de nodo	Maestro clase 1 (DPM1-V0).
Acceso al bus	Maestro/esclavo.
Software para la configuración	1. ProWORX nxT en combinación con el programa 332 SPU 833 01. 2. Concept 2.2 o superior en combinación con el programa TLX LFBC 10M

El módulo Quantum Profibus DP debe colocarse en el *local drop* (ver página 38) del PLC, el funcionamiento en RIO (Remote input/Output) no es posible y la máxima cantidad de módulos de este tipo que se pueden conectar al CPU es seis.

**4.3.1.2 Módulo Quantum maestro AS-i:** Este módulo posee un canal de comunicaciones AS-i y se puede conectar en un *local drop* o en *RIO drop*.

La distancia que cubre AS-i es 100 metros, mediante el uso de repetidores puede alcanzar hasta 300 metros. Las características del módulo AS-i se presentan en la tabla XX.

Tabla XX: Especificaciones del módulo AS-i de Quantum

<b>Módulo</b>	<b>Maestro AS-i</b>
Número de parte	140EIA92100
Cantidad máxima de esclavos	31
Estradas / Salidas	Máx. 124 / 124
Longitud	100 m, 300 m con repetidores
Fuente de alimentación del bus	30 V nominal.
Tasa de transmisión	167 kbit/s

El conector AS-i de este módulo se observa en la figura 4.2, la polaridad del cable es como se muestra en la figura. En este puerto AS-i se interconecta el cable AS-i y la fuente de alimentación.

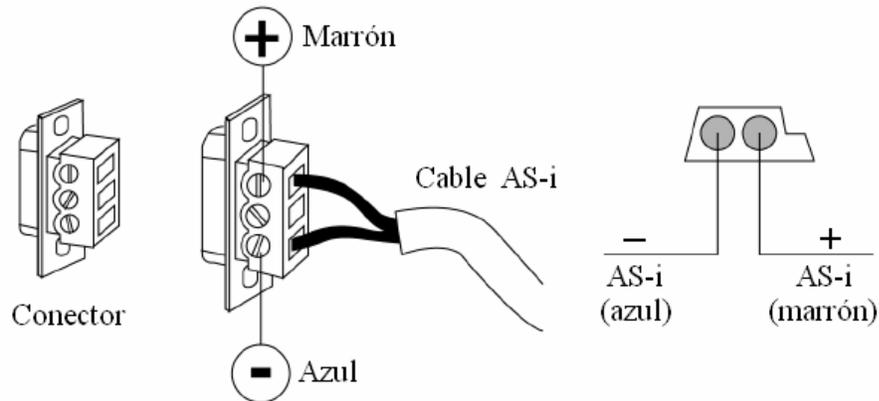


Figura 4.2: Polaridad de conexión en el puerto del módulo AS-i.

**4.3.1.3 Módulos de comunicaciones Quantum Interbus:** En la tabla XXI se muestran las especificaciones de los tres tipos de módulos Interbus del PLC Quantum.

Tabla XXI: Especificaciones de los módulos Interbus de Quantum

Módulo	Interbus		
	NOA61100	NOA61110	NOA62200
Número de parte	NOA61100	NOA61110	NOA62200
Número máx. de esclavos	512.	512.	251.
Cantidad de módulos por <i>local drop</i>	3.	3.	6.
Interfaz de datos	RS-485.		
Tasa de transmisión	500 kbit/s.		
Instalación	<i>Local drop.</i>	<i>Local drop.</i>	<i>Local drop.</i>

**4.3.1.4 Módulos de Opción de Red Quantum LonWorks:** Los módulos LonWorks proveen de conectividad entre un controlador Modicon Quantum y una red de control basada en la tecnología LonWorks de la compañía Echelon. Este módulo puede funcionar como participante pasivo o activo de una red LonWorks.

Las especificaciones de los módulos LonWorks para el PLC Quantum, se presentan en la tabla XXII.

Tabla XXII: Especificaciones del módulo LonWorks de Quantum

<b>Módulo</b>	<b>LonWorks</b>		
Número de parte	140NOL91100	140NOL91110	140NOL91120
Cantidad de puertos LonWorks	2: primario y auxiliar ( <i>jack</i> telefónico RJ45)		
Tasa de transmisión	78 kbit/s.	78 kbit/s.	1.25 Mbit/s.
Topología	Libre	Lineal	Lineal

**4.3.1.5 Módulos de Opción de Red Modbus Plus:** Estos módulos no son clasificados como módulos de bus de campo (*Field Bus Modules*) en la guía de referencia de Modicon Quantum, sino como una opción de red [27]. En la tabla XXIII, se muestran los diferentes módulos Quantum Modbus.

Tabla XXIII: Módulos de opción de red Modbus Plus

<b>Módulo</b>	<b>Modbus Plus</b>		
Número de parte	140NOM21100	140NOM21200	140NOM25200
Cantidad de puertos Modbus (MB)	1 MB (RS-232)	1 MB (RS-232)	1 MB (RJ45)
Y Modbus Plus (MB +)	1 MB + (RS-485)	2 MB + (RS-485)	1 MB + (fibra)

**4.3.1.6 Puertos Modbus del CPU del PLC Quantum:** Todos los modelos de CPU de los controladores Quantum poseen como mínimo un puerto Modbus y otro Modbus Plus. (Ver características en la tabla XIV).

Tabla XXIV: Puertos Modbus del CPU Quantum

<b>Puerto</b>	<b>Modbus</b>	<b>Modbus Plus</b>
Tasa de transmisión	Típicamente 19.2 kbit/s	1 Mbit/s
Interfaz de datos	RS-232	RS-485
Distancia máxima sin repetidor.	15 m	457 m
Máxima cantidad de nodos	247	64

El modelo del CPU Quantum de la planta Catia La Mar es 140CPU43412A. Este CPU posee dos puertos Modbus y uno Modbus Plus (ver anexo 1). La selección de la versión del protocolo Modbus serial (ASCII / RTU), se realiza por medio de un interruptor colocado en el panel frontal de CPU. La tasa de transmisión en modo ASCII es de 2400 bit/s y en modo RTU es de 9600 bit/s; en ambos casos la paridad es par.

La conexión de redes Modbus (ASCII / RTU) en los puertos Modbus Plus, se realiza por medio de un dispositivo puente/multiplexor llamado BM85. En la figura 4.3, se presenta un ejemplo de interconexión utilizando el equipo BM85 de Modicon. El BM85 (ver anexo 2) opera como un nodo Modbus Plus y provee de cuatro puertos Modbus seriales.

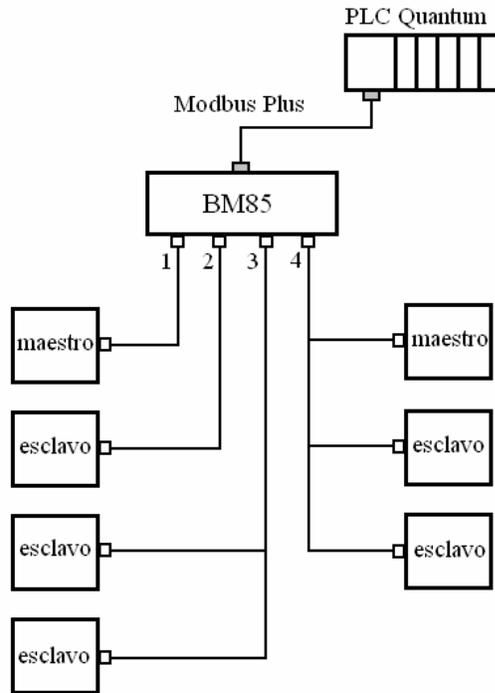


Figura 4.3: Puente / Multiplexor BM85.

En la figura 4.3 se observan las diferentes opciones de configuración de los puertos Modbus del BM85: maestro simple (puerto 1), esclavo simple (puerto 2), múltiples esclavos (puerto 3) y una red mono-maestro con múltiples esclavos (puerto 4).

El equipo BM85 se usa, en la planta Catia La Mar, para la programación, verificación y configuración del CPU Quantum con una computadora portátil (por medio del software ProWORX). Esta portátil se conecta a uno de los puertos Modbus seriales y el puente/multiplexor BM85 realiza la comunicación vía Modbus Plus con el PLC.

**4.3.2 Integración a través de otro controlador conectado a la red Ethernet:** Existen innumerables controladores con conexión a Ethernet, este protocolo se ha convertido en un estándar en los sistemas de automatización de la actualidad. Una opción para integrar un bus de campo al Sistema de Control de Planta es conectar otro controlador (diferente al PLC Quantum) a la red Ethernet. Este controlador debe tener dos características, la primera es poseer opción de conectividad con bus de campo (un módulo o puerto de comunicación) y la segunda es ser compatible con el SCADA PlantScape™ de Honeywell.

En la figura 4.4 se muestra la configuración de integración a través de otro controlador conectado a la red Ethernet.

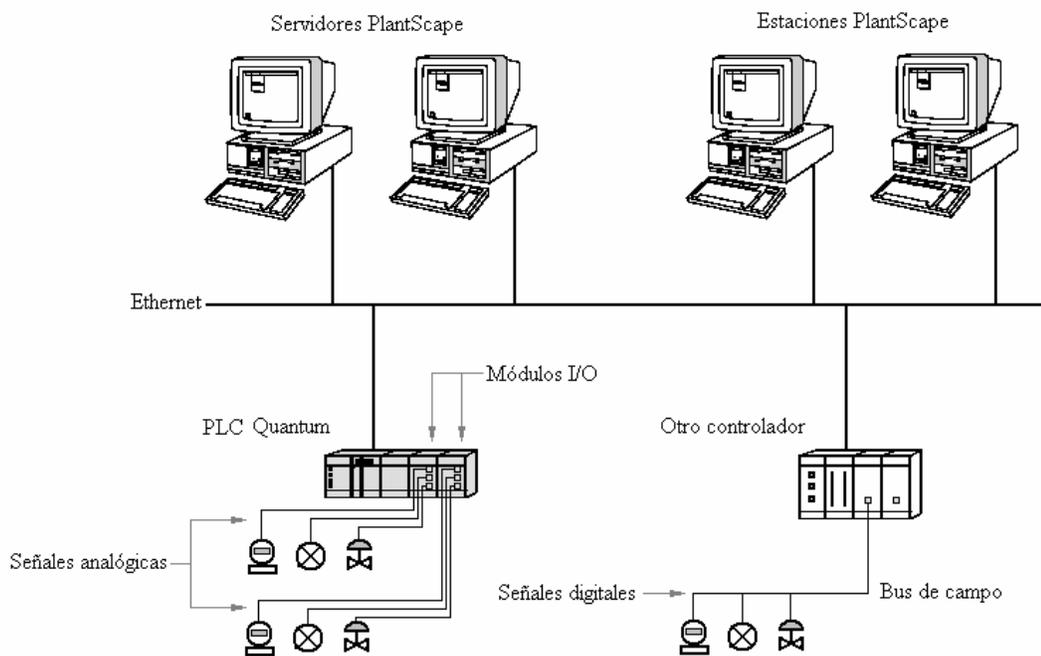


Figura 4.4: Integración a través de otro controlador.

A continuación se presentan algunos ejemplos de controladores con esas características. Probablemente existan muchos otros, pero el objetivo es demostrar que existe esta opción de integración sin determinar el mejor controlador del mercado con conexión Ethernet y bus de campo.

**4.3.2.1 Honeywell HC900 Hybrid Controller:** Este controlador de diseño modular para un amplio rango de aplicaciones ofrece conectividad con Ethernet a través del protocolo Modbus/TCP, además de otras características como: arquitectura redundante (opcional), PID con auto-ajuste (*auto-tuning*) y hasta 960 puntos remotos de entrada/salida [31].

Utilizando un módulo para el controlador HC900, llamado FIM (*Fieldbus Interface Module*), se puede integrar una red Foundation Fieldbus con el SCADA PlantScape™. Los dispositivos Foundation Fieldbus, se configuran con una herramienta gráfica orientada a objetos llamada Control Builder.

Control Builder provee del LAS (Link Active Scheduler), la configuración de los bloques de función y el acceso a ventanas de visualización, donde se puede detallar la información de configuración del bus de campo. Todo esto completamente integrado a PlantScape™ por compartir la misma base de datos de las estrategias de control [32].

**4.3.2.2 Siemens S5/S7:** Existen diferentes opciones de interfaz con Profibus para los PLC SIMATIC S5/S7 de Siemens, entre ellos tenemos [33]:

Conexión a S5:

1. Módulo CP5431: Comunicación Profibus DP y FMS, RS485, Opción de fibra óptica.

Conexión a S7:

2. Módulo CP342-5: Maestro/esclavo Profibus DP, RS485.
3. Módulo CP342-5 FO: Maestro/esclavo Profibus DP, Fibra óptica.
4. Módulo CP443-5 Basic: Comunicación Profibus DP y FMS, RS485.

**4.3.2.3 Allen-Bradley Logix5555:** Este controlador perteneciente a la plataforma ControlLogix ofrece conectividad con DeviceNet, ControlNet, Profibus DP y Foundation Fieldbus.

**4.3.3 Integración a través de un controlador conectado en los servidores del SCADA:** Otra de las opciones de integración es conectar un controlador con los computadores del SCADA PlantScape™, generalmente a través de un puerto serial. Los requerimientos de este controlador son las mismas del punto 4.3.2: conectividad con bus de campo y compatibilidad con el SCADA. Uno de los PLC con estas prestaciones es el Allen Bradley Logix5555. En la figura 4.5 se muestra un ejemplo de integración de un controlador conectado a los servidores del SCADA.

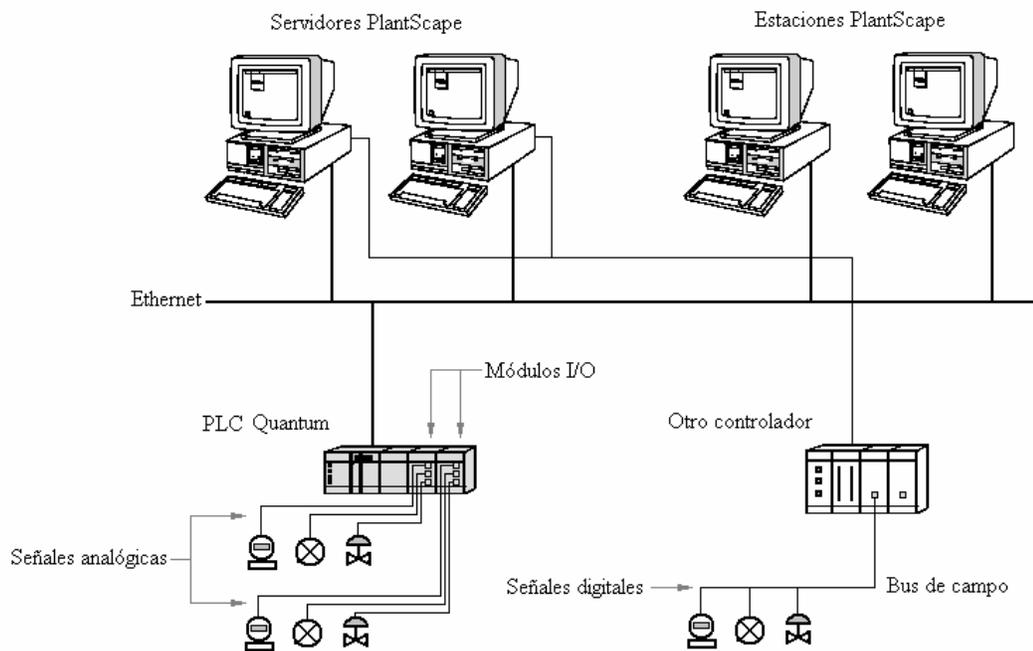


Figura 4.5: Controlador conectado en los servidores del SCADA.

#### 4.4 Integración del Sistema de Control de Llenadero (SCL) con un bus de campo

Los computadores de flujo (*acculoads*) son los únicos dispositivos de campo asociados al SCL, para estos dispositivos existe una opción de comunicación Modbus (RS232 o RS485). Los demás elementos del Sistema de Control de Llenadero (estaciones, consola, interfaz), están conectados a la red Ethernet y no se tiene planificado migrar a otro enlace de comunicación.

## **4.5 Integración/Migración de los Sistemas Conexos a un bus de campo**

**4.5.1 Sistema de Parada de Emergencia (SPE):** Existen opciones de bus de campo para Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS) y Sistemas de Parada de Emergencia (*Emergency Shutdown Systems*), entre ellos tenemos el perfil ProfiSafe de Profibus y otras tecnologías como HART. La forma de utilizar la tecnología de bus de campo en el SPE es migrar la instrumentación y colocar un sistema de *logic solver* que ejecute las acciones correspondientes ante una situación de riesgo, de acuerdo a la normativa PDVSA (norma K-366, *Safety Instrumented Systems*). El bus de campo para SIS es aún es una tecnología joven que irá madurando en la medida que sea utilizada en diferentes industrias.

Existe también otra tecnología en desarrollo de la Fieldbus Foundation, llamada FF-SIS (*Fieldbus Foundation's Safety Instrumented Systems*), que aprobó un borrador de la especificación que fue presentado en la exposición de ISA EXPO 2004 en Houston, Texas, Estados Unidos (Octubre de 2004) con la participación de varias compañías como ABB, Emerson Process Management, Honeywell, Rockwell Automation, Rotork Control Systems, TÜV y Yokogawa entre otras.

**4.5.2 Sistema de Medición de Tanques (SMT):** Los componentes del Sistema de Medición de Tanques (SMT) de la planta de distribución Catia La Mar (transmisores y TGI) son de la compañía Varec. La precisión de las mediciones de nivel es mayor a 3 mm., lo cual no cumple con los requisitos para certificar inventarios, ya que debería ser de 1 mm. Además de algunos otros problemas por la obsolescencia de este Sistema de Medición de Tanques.

Existe un proyecto para implementar un SMT de tecnología radar (SAAB Tank Radar) en la planta de distribución Catia La Mar, de esa forma se espera solventar las fallas del Sistema Varec instalado. SAAB Tank Radar básicamente consiste de un equipo de medición que transmite una señal de microondas a través del líquido. Esa señal varía su frecuencia continuamente alrededor de 10 GHz, cuando atraviesa el líquido y regresa a la antena, ha cambiado su frecuencia, de forma que si

se restan las frecuencias de ambas señales (la transmitida originalmente y la recibida) se obtiene una señal cuya frecuencia es proporcional a la distancia de la superficie del líquido. Este método es conocido como *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW).

El transmisor SAAB trabaja bajo un protocolo propietario llamado TRL/2 (FSK, half duplex, 2 wires, 4800 bit/s, basado en Modbus), aunque existe la posibilidad de Profibus DP y Foundation Fieldbus [34] u otros protocolos de comunicación como Enraf, Varec, L&J, etc.

Las señales TRL/2 de todos los transmisores llegan a un concentrador denominado FCU (*Field Communication Unit*) que ofrece varias alternativas de conexión con PLCs y PCs, como Modbus.

**4.5.3 Sistema de Detección de Interfaz y Fugas (SDIF):** No está en los planes a corto plazo el reemplazo del sistema Controlotron (ver página 46), para la detección de interfaz y fugas en el poliducto del Sistema Tacagua.

La integración del sistema actual a un bus de campo no ofrecería las ventajas propias de esta tecnología, ya que no reduciría cableado, además de que las características de un sistema de bus de campo (autodiagnóstico, configuración remota, etc.) no podrían ser aprovechadas por ser un sistema con características ya definidas.

#### **4.6 Soluciones de actuadores de válvulas con tecnología de bus de campo**

Los actuadores son los dispositivos de campo que se encuentran presentes en mayor cantidad en las plantas del área metropolitana (en Catia La Mar hay 114 actuadores). Este elemento es de vital importancia para el control de los procesos de almacenamiento y distribución de combustibles, por ese motivo, resulta importante revisar las soluciones de bus de campo del fabricante Rotork (proveedor de actuadores y válvulas de las plantas de distribución).

**4.6.1 Actuadores Rotork:** Rotork provee las soluciones relacionadas con actuadores y válvulas para las plantas de distribución de combustible del área metropolitana. Las opciones de comunicación serial, a través de buses de campo, para los actuadores del fabricante Rotork son: Profibus DP, Foundation Fieldbus, DeviceNet y Modbus. A continuación se presenta un resumen de las características de cada uno de estos módulos.

**4.6.1.1 Profibus DP:** La red Profibus DP provee de mecanismos para el control de los actuadores y el intercambio de información con el nivel de campo. La tarjeta de comunicación Profibus DP soporta DP-V0 (intercambio de datos cíclicos) y DP-V1 (intercambio de datos acíclicos), para diagnóstico, históricos y configuración. Permite 31 dispositivos (actuadores y otros) por segmento de bus [35].

**4.6.1.2 Foundation Fieldbus:** La tarjeta Foundation Fieldbus de los actuadores Rotork, trabaja con el protocolo IEC 61158-2 (H1 a 31.25 kbit/s). Esta tarjeta permite que el actuador se convierta en el LAS (Link Active Scheduler) de la red Foundation Fieldbus. Se pueden conectar hasta 32 dispositivos (actuadores y otros) en un segmento de bus, con repetidores hasta 152 actuadores [36].

Los bloques de función que posee son los siguientes:

- ❑ 2 AI (Analog Input)
- ❑ 1 AO (Analog Output)
- ❑ 2 DI (Digital Input)
- ❑ 8 DO (Digital Output)
- ❑ 1 bloque transductor
- ❑ 1 bloque de recursos
- ❑ 1 bloque *display*

**4.6.1.3 DeviceNet:** La tarjeta DeviceNet está disponible para toda la variedad de actuadores Rotork. Una vez instalada, la información que maneja el actuador Rotork está disponible en el bus de datos DeviceNet. Algunas de las características de

esta opción de comunicaciones son: transferencia de datos a 125, 250 o 500 kbit/s; 64 dispositivos por segmento de bus; requiere dos hilos para los datos y dos para la alimentación; facilidad de expansión y, es un producto certificado por ODVA (*Open DeviceNet Vendor Association*) [37].

**4.6.1.4 Modbus:** Esta opción de comunicaciones seriales trabaja con el estándar RS485 bajo el protocolo Modbus RTU y es compatible con todos los actuadores Rotork (ver anexo 3). La dirección Modbus, que se le puede asignar al actuador, está entre 1 y 247 (dispositivo esclavo), la velocidad de transmisión puede configurarse entre 300 bit/s y 115 kbit/s y, permite la mayoría de los códigos de función Modbus [38].

## **CAPÍTULO V**

### **CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN BUS DE CAMPO PARA LAS PLANTAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE.**

#### **5.1 Tipos de criterios para seleccionar un bus de campo**

La selección de un bus para la comunicación de los dispositivos de campo con los sistemas de supervisión y control en una planta de distribución de combustible se realizará de acuerdo a criterios clasificados en cinco tipos:

- ❑ Criterios asociados a los requerimientos de las plantas de distribución.
- ❑ Criterios asociados a los lineamientos de la arquitectura de Automatización Industrial y normas PDVSA.
- ❑ Criterios asociados a disponibilidad de equipos y repuestos.
- ❑ Criterios asociados a posicionamiento de la tecnología en el mercado.

Estos criterios se evaluarán para los diferentes buses de campo, refiriéndose en general al Sistema de Control de Planta (SCP), debido a que la instrumentación forma parte de este sistema. El SCP es el sistema con mayores posibilidades de integración a la tecnología de bus de campo.

#### **5.2 Criterios asociados a los requerimientos de las plantas de distribución**

Son los criterios que asegurarán el buen funcionamiento de los sistemas de supervisión y control existentes, además de aprovechar los beneficios de un bus de campo, al incorporar esta tecnología en la plantas de almacenamiento y distribución de combustible.

Los criterios asociados a los requerimientos de las plantas de distribución de combustible son los siguientes:

**5.2.1 Instrumentación:** La red a seleccionar debe permitir la conexión de la instrumentación de la planta (básicamente actuadores y transmisores), lo que se desea es incrementar las capacidades de los dispositivos de campo.

**5.2.2 Instalación y puesta en servicio:** La instalación del bus de campo y su puesta en servicio no debe impactar negativamente en las operaciones de los sistemas de supervisión y control de la planta de distribución de combustible. Es importante destacar que la planta elegida para este estudio, Catia La Mar, está despachando combustible y bombeando hacia la planta SCAM, por lo que no se desea detener parcial o totalmente las operaciones normales. En todo caso, la instalación y puesta en servicio debe afectar lo menos posible los sistemas existentes.

La evaluación de este criterio se realizará de acuerdo a tres maneras de integrar un bus de campo al SCP:

1. A través de un módulo del PLC Quantum.
2. A través de otro controlador conectado a la red Ethernet.
3. A través de un controlador conectado en los servidores del SCADA.

**5.2.3 Flexibilidad:** El bus de campo debe permitir incorporar nuevos instrumentos en los segmentos de bus sin el tendido de nuevas líneas de cables hacia la sala de control. El diseño original debe ser escalable, es decir, añadir o suprimir estaciones sin rediseñar la red.

**5.2.4 Mayor información proveniente del nivel de campo:** Los dispositivos de campo deben proveer de mayor información, que no se tiene acceso con la instrumentación convencional analógica, como alarmas, información para mantenimiento, valores de tendencia, etc.

### **5.3 Criterios asociados a los lineamientos de la arquitectura de Automatización Industrial y normas PDVSA**

Son los criterios asociados con las normativas de la empresa PDVSA y los lineamientos y políticas de la gerencia de Automatización Industrial al incorporar nuevas tecnologías en su arquitectura. Estos criterios se presentan a continuación:

**5.3.1 Redundancia:** La red de campo debe tener redundancia para evitar que una falla en el sistema inhabilite el control de los lazos conectados a los segmentos de bus.

**5.3.2 Protocolos abiertos:** Se desea evitar protocolos propietarios, que no permiten interconectar ni intercambiar dispositivos de diferentes fabricantes. De esta forma se aseguran diferentes opciones de equipos y repuestos que no dependen de una única compañía proveedora.

Se busca lograr flexibilidad e independencia tecnológica para facilitar la migración de sistemas, mayor transparencia en la integración y mayores facilidades para alcanzar una arquitectura robusta.

**5.3.3 Inteligencia de equipos:** Es necesario contar con equipos para que el personal de la planta pueda predecir, detectar y reparar eventuales fallas en dispositivos y equipos de procesos. Los equipos denominados inteligentes, están dotados de sistemas electrónicos que realizan funciones de control, auto-prueba, diagnóstico de fallas, calibración, ajustes y configuración tanto “in situ” como de manera remota. La forma en que estos equipos inteligentes transmiten toda esa información es a través de un enlace digital. Las comunicaciones digitales son una de las características de un bus de campo que deben poder aprovecharse al instalar uno o más segmentos de bus de campo en las plantas de distribución de combustible.

**5.3.4 Protección ante interferencias en la comunicación:** Se deben usar cables que disminuyan al máximo la influencia del ruido sobre las señales que transportan.

Para las señales digitales se debe imponer el uso de fibra óptica. En el caso de no ser factible, se debe usar sistemas de transmisión balanceados o diferenciales como los estándares RS-485 o RS-422.

**5.3.5 Distancia:** Los segmentos de bus deben asegurar la cobertura geográfica donde se mantengan los procesos a controlar. La red debe permitir el uso de repetidores.

**5.3.6 Ambiente industrial:** el diseño de redes debe contemplar variables propias del ambiente como: altas temperaturas, gases corrosivos, ambiente clasificado clase I división II (ver sección 3.3.5) e interferencias electromagnéticas.

**5.3.7 Estandarización:** La red de campo debe obedecer a una estandarización reconocida.

#### **5.4 Criterios asociados a disponibilidad de equipos y repuestos**

Estos criterios se refieren a la capacidad de las empresas proveedoras de soluciones de automatización de suministrar los equipos, aplicaciones de software, manuales y herramientas para instalar y mantener un bus de campo en las plantas de distribución de combustible del área metropolitana. A continuación se presentan estos criterios.

**5.4.1 Disponibilidad de equipos:** Los fabricantes de productos de automatización, deben poder proveer de los equipos y repuestos para instalar y mantener la red de campo por un tiempo no menor de 10 años. Se debe verificar que el proveedor de actuadores de las plantas de distribución (Rotork) posea una opción de comunicación para el bus seleccionado.

**5.4.2 Disponibilidad del medio de transmisión:** El medio de transmisión a utilizar, es decir, el tipo de cable a instalar para el bus, debe ser de fácil adquisición y manejo por el personal de la empresa.

**5.4.3 Disponibilidad de la documentación:** La empresa proveedora debe facilitar toda la documentación para el manejo de la red de campo a instalar.

**5.4.4 Entrenamiento al personal:** En caso de requerirse adiestramiento para el soporte del uso del bus de campo, debe existir una empresa con la capacidad de ofrecer el entrenamiento correspondiente.

## **5.5 Criterios asociados a posicionamiento de la tecnología en el mercado**

Estos criterios permiten asegurar que el bus a seleccionar para las plantas de distribución de combustible, no desaparecerá del mercado a corto o mediano plazo, adoptando una tecnología de amplio uso, que evolucionará en la medida que sea probada en más aplicaciones dentro de la industria.

Muchas veces una tecnología se convierte en un estándar cuando es ampliamente utilizada, de esta forma se fortalecería el aprovechamiento de las capacidades debido a experiencias conocidas y probadas. De igual forma, si un sistema está siendo utilizado en otras plantas de manera satisfactoria, aumenta la confianza en él.

**5.5.1 Posicionamiento en el mercado mundial:** Se refiere a la utilización de la tecnología en los sistemas de automatización a nivel mundial. El porcentaje de utilización de cada red que se utilizará para este criterio de selección, es tomado del estudio: *“Global Markets and User Needs for Industrial Distributed/Remote I/O, Third Edition”*, realizado por la empresa VDC (*Venture Development Corporation*). VDC es una empresa independiente fundada en 1971, dedicada a estudios de mercado en las áreas de automatización, telecomunicaciones, semiconductores, potencia y telefonía móvil. VDC ha realizado estudios de mercado a empresas como 3M, Allen-

Bradley, Compaq, Endress+Hauser, General Electric, Hewlett-Packard, Honeywell, Intel, Kodak, Lucent, Microsoft, Motorola, National Instruments Xerox, Yokogawa, Siemens, Texas Instruments y Rockwell.

En la figura 5.1 se muestra el porcentaje de utilización a nivel mundial de diferentes redes industriales.

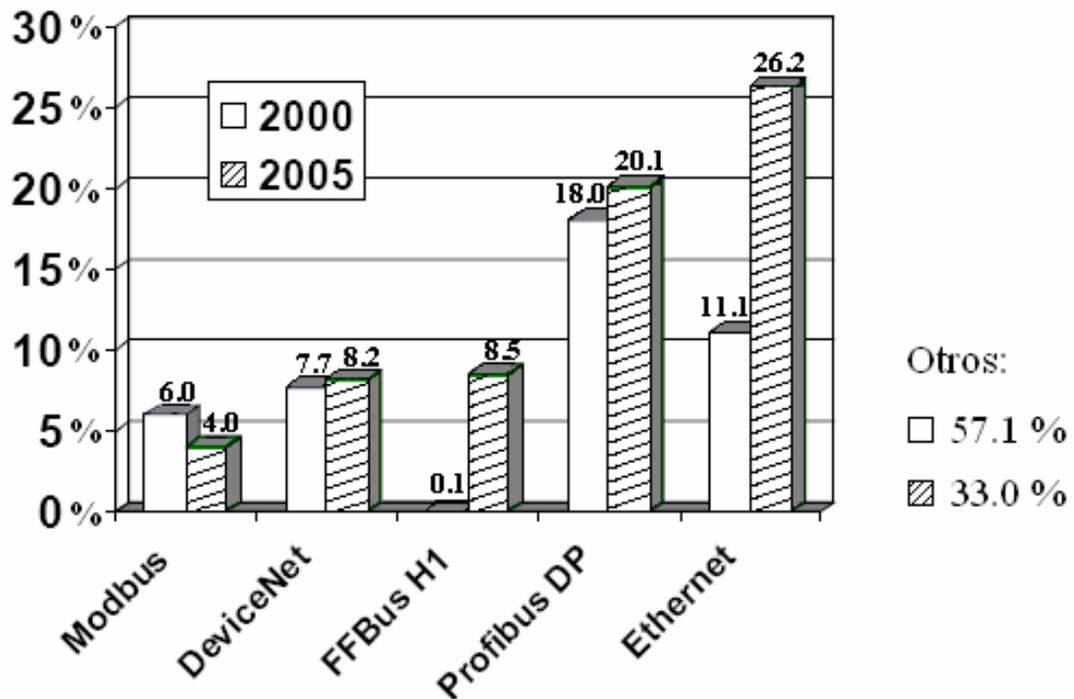


Figura 5.1: Estudio de mercado de las redes industriales.

**5.5.2 Utilización en Petróleos de Venezuela S.A.:** Este criterio revisa antecedentes de PDVSA en el uso de bus de campo. El uso de un bus de campo dentro de la empresa, permite determinar ventajas y desventajas de las redes ya instaladas.

**5.5.3 Utilización en otras empresas petroleras mundiales:** Algunas compañías que han adoptado al bus de campo para la comunicación de la instrumentación y los sistemas de supervisión y control.

## 5.6 Evaluación de los criterios para las diferentes tecnologías de buses de campo

A continuación se evalúan los diferentes buses de acuerdo a los criterios de selección definidos.

**5.6.1 Evaluación de los criterios para AS-i:** En la tabla XXV se presentan los criterios de selección evaluados para AS-i.

Tabla XXV: Evaluación de los criterios para AS-i

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	NO	Aunque permite actuadores on/off, su funcionamiento es limitado para variables continuas (presión, temperatura, etc.)
Instalación y puesta en servicio.	SI	El PLC Quantum tiene un módulo AS-i, que facilita la integración con el SCP.
Flexibilidad.	SI	Se permiten hasta 31 esclavos en el mismo segmento de bus.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	Los equipos advierten sobre corto-circuitos en el cable, errores de comunicación, etc.
Redundancia.	NO	No especifica una forma de tener redundancia en el medio ni la alimentación.
Protocolo abierto.	SI	Alrededor de 100 fabricantes a nivel mundial son miembros de la AS-International.
Inteligencia de equipos.	SI	Los dispositivos poseen capacidades de diagnóstico, además de que responden a comandos remotos.
Protección ante interferencias en la comunicación.	NO	No posee protección ante interferencias, pero existe un cable apantallado para uso en ambientes ruidosos.
Distancia.	NO	Hasta 300 metros con repetidores (cubre una distancia limitada).
Ambiente industrial.	NO	Clase I, div. 1 con <i>Explosion Proof</i> .
Estandarización.	SI	IEC 62026. EN 50295.
Disponibilidad de equipos.	NO	No existen actuadores Rotork con esta opción de comunicación.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Siemens – Venezuela.
Disponibilidad de la documentación.	SI	Siemens – Venezuela.
Entrenamiento al personal.	SI	Siemens – Venezuela.
Posicionamiento en el mercado mundial.	N.I.	-
Utilización en PDVSA.	NO	No existen antecedentes conocidos.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	SI	Shell en Hamburgo, Alemania.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.2 Evaluación de los criterios para BITBUS:** En la tabla XXVI se presentan los criterios de selección evaluados para BITBUS.

Tabla XXVI: Evaluación de los criterios para BITBUS

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	NO	Conecta PCs, controladores, computadores industriales y módulos de entrada/salida. Esos equipos toman las variables de instrumentos convencionales analógicos.
Instalación y puesta en servicio.	NO	No existe una forma de integración compatible con el SCADA y el PLC.
Flexibilidad.	SI	Hasta 28 esclavos en un segmento de bus.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	NO	Los dispositivos del nivel de campo se comunican de forma analógica con equipos de entrada/salida conectados al bus (solo se transmite la variable).
Redundancia.	N.I.	-
Protocolo abierto.	NO	Propietario de INTEL para aplicaciones industriales.
Inteligencia de equipos.	NO	Los dispositivos de campo no incorporan capacidades adicionales.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Cables de par trenzado apantallado.
Distancia.	SI	Hasta 1200 metros a 375 kbit/s.
Ambiente industrial.	NO	Aplicaciones en supermercados, medianas industrias, plantas de potencia, etc.
Estandarización.	SI	IEEE 1118.
Disponibilidad de equipos.	NO	Ningún proveedor conocido.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Utiliza el conocido cable de par trenzado para transmisiones seriales (RS485).
Disponibilidad de la documentación.	NO	Ningún proveedor conocido.
Entrenamiento al personal.	NO	Ningún proveedor conocido.
Posicionamiento en el mercado mundial.	N.I.	-
Utilización en PDVSA.	NO	Ningún antecedente conocido.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	NO	Ningún antecedente conocido.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.3 Evaluación de los criterios para INTERBUS:** En la tabla XXVII se presentan los criterios de selección evaluados para INTERBUS.

Tabla XXVII: Evaluación de los criterios para INTERBUS

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	NO	Conecta PCs, controladores, computadores industriales y módulos de entrada/salida. Esos equipos toman las variables de instrumentos convencionales analógicos.
Instalación y puesta en servicio.	SI	El PLC Quantum tiene un módulo INTERBUS que facilita la integración con el SCP.
Flexibilidad.	SI	Se permiten hasta 512 dispositivos.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	NO	Los dispositivos del nivel de campo se comunican de forma analógica con equipos de entrada/salida conectados al bus (solo se transmite la variable).
Redundancia.	N.I.	-
Protocolo abierto.	NO	Propiedad de la compañía Phoenix Contact.
Inteligencia de equipos.	NO	Los dispositivos de campo no incorporan capacidades adicionales.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Opción de cable de par trenzado apantallado y fibra óptica.
Distancia.	SI	Hasta 12.8 Km.
Ambiente industrial.	NO	Diseñado para aplicaciones industriales, pero no tiene opciones de seguridad en ambientes explosivos.
Estandarización.	SI	EN 50254.
Disponibilidad de equipos.	NO	Ningún proveedor conocido.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Utiliza cable de par trenzado para transmisiones seriales, además de medio de fibra óptica.
Disponibilidad de la documentación.	NO	Ningún proveedor conocido.
Entrenamiento al personal.	NO	Ningún proveedor conocido.
Posicionamiento en el mercado mundial.	N.I.	-
Utilización en PDVSA.	NO	Ningún antecedente conocido.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	NO	Ningún antecedente conocido.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.4 Evaluación de los criterios para CAN:** En la tabla XXVIII se presentan los criterios de selección evaluados para CAN.

Tabla XXVIII: Evaluación de los criterios para CAN

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	SI	Utilizado originalmente para automóviles, se ha expandido su uso en dispositivos de campo.
Instalación y puesta en servicio.	NO	No existe una forma de integración compatible con el SCADA y el PLC.
Flexibilidad.	SI	Hasta 64 nodos.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	Este protocolo es utilizado en automóviles, cuyos elementos intercambian diversos mensajes entre sí.
Redundancia.	NO	No especifica una forma de tener redundancia en el medio ni la alimentación.
Protocolo abierto.	SI	Especificación abierta y usada por muchas compañías para aplicaciones industriales.
Inteligencia de equipos.	SI	Los dispositivos poseen capacidades de auto-diagnóstico.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Uso de cable trenzado.
Distancia.	SI	6 Km. a 10 kbit/s.
Ambiente industrial.	SI	Utilizado en diferentes aplicaciones industriales.
Estandarización.	SI	ISO 11898.
Disponibilidad de equipos.	NO	No existen actuadores Rotork con esta opción de comunicación.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Cable de par trenzado.
Disponibilidad de la documentación.	NO	Ningún proveedor conocido.
Entrenamiento al personal.	NO	Ningún proveedor conocido.
Posicionamiento en el mercado mundial.	N.I.	-
Utilización en PDVSA.	NO	Ningún antecedente conocido.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	NO	Ningún antecedente conocido.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.5 Evaluación de los criterios para DeviceNet:** En la tabla XXIX se presentan los criterios de selección evaluados para DeviceNet.

Tabla XXIX: Evaluación de los criterios para DeviceNet

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	NO	Permite conexión de actuadores pero no de transmisores (temperatura, presión, etc.)
Instalación y puesta en servicio.	SI	Existen controladores compatibles con el SCADA que poseen módulos DeviceNet.
Flexibilidad.	SI	Hasta 64 nodos.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	Se maneja información adicional a las variables del proceso.
Redundancia.	NO	No especifica una forma de tener redundancia en el sistema.
Protocolo abierto.	SI	Basado en el protocolo abierto CAN, aunque se usa en general, en aplicaciones de Allen-Bradley (compañía que lo desarrolló).
Inteligencia de equipos.	SI	Los equipos poseen capacidades de diagnóstico, entre otras.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Cable de par trenzado.
Distancia.	SI	500 metros a 125 kbit/s.
Ambiente industrial.	SI	Existe la opción de seguridad en ambientes clasificados. Seguridad intrínseca Clase I división 2.
Estandarización.	SI	IEC 62026-3. EN 50325-2.
Disponibilidad de equipos.	SI	Rockwell Automation – Venezuela. Además, existen actuadores Rotork con la esta opción de comunicación.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Cable de instrumentación.
Disponibilidad de la documentación.	SI	Rockwell Automation – Venezuela.
Entrenamiento al personal.	SI	Rockwell Automation – Venezuela.
Posicionamiento en el mercado mundial.	4°	Ranking VDC.
Utilización en PDVSA.	NO	Ningún antecedente conocido.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	SI	Shell Oil en Houston, Texas, EEUU.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.6 Evaluación de los criterios para SDS:** En la tabla XXX se presentan los criterios de selección evaluados para SDS.

Tabla XXX: Evaluación de los criterios para SDS

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	NO	Está diseñado para sensores y actuadores binarios.
Instalación y puesta en servicio.	NO	No existe una forma conocida de integración compatible con el PLC.
Flexibilidad.	SI	Hasta 64 nodos.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	Se maneja información adicional a las variables del proceso: diagnóstico, monitoreo del bus.
Redundancia.	NO	No especifica una forma de tener redundancia en el sistema.
Protocolo abierto.	NO	Protocolo propiedad de Honeywell.
Inteligencia de equipos.	SI	Los equipos poseen capacidades de diagnóstico, entre otras.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Cable de par trenzado.
Distancia.	SI	500 metros a 125 kbit/s.
Ambiente industrial.	SI	Utilizado en diferentes aplicaciones industriales.
Estandarización.	SI	IEC 62026-5.
Disponibilidad de equipos.	SI	Honeywell – Venezuela.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Cable de instrumentación.
Disponibilidad de la documentación.	SI	Honeywell – Venezuela.
Entrenamiento al personal.	SI	Honeywell – Venezuela.
Posicionamiento en el mercado mundial.	N.I.	-
Utilización en PDVSA.	NO	Ningún antecedente conocido.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	N.I.	-

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.7 Evaluación de los criterios para ControlNet:** En la tabla XXXI se presentan los criterios de selección evaluados para ControlNet.

Tabla XXXI: Evaluación de los criterios para ControlNet

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	NO	Es una red de control para el intercambio de PLCs, PCs, controladores, etc.
Instalación y puesta en servicio.	SI	Existen controladores compatibles con el SCADA que poseen módulos ControlNet.
Flexibilidad.	SI	Hasta 48 nodos en el mismo segmento de bus sin repetidores.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	Se maneja información adicional a las variables del proceso.
Redundancia.	SI	Permite medio redundante.
Protocolo abierto.	SI	Basado en el protocolo abierto CAN, aunque se usa en general, en aplicaciones de Allen-Bradley (compañía que lo desarrolló).
Inteligencia de equipos.	SI	Los equipos poseen capacidades de diagnóstico, entre otras.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Cable coaxial, medio de fibra óptica.
Distancia.	SI	1000 metros (coaxial), 3000 metros (fibra óptica).
Ambiente industrial.	SI	Opción de seguridad intrínseca.
Estandarización.	SI	ISO 11898 para las capas física y de enlace.
Disponibilidad de equipos.	SI	Rockwell Automation – Venezuela.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Cable de instrumentación.
Disponibilidad de la documentación.	SI	Rockwell Automation – Venezuela.
Entrenamiento al personal.		Rockwell Automation – Venezuela.
Posicionamiento en el mercado mundial.	N.I.	-
Utilización en PDVSA.	SI	Plantas de producción en Oriente.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	SI	Shell Oil en Houston, Texas, EEUU.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.8 Evaluación de los criterios para LonWorks:** En la tabla XXXII se presentan los criterios de selección evaluados para LonWorks.

Tabla XXXII: Evaluación de los criterios para LonWorks

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	NO	Utilizada para dispositivos de edificaciones: interruptores, cámaras de seguridad, válvulas, etc.
Instalación y puesta en servicio.	SI	El PLC Quantum tiene un módulo LonWorks que facilita la integración con el SCP.
Flexibilidad.	SI	Permite conectar hasta 64 dispositivos en el bus.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	Se maneja información adicional a las variables del proceso.
Redundancia.	NO	No especifica una forma de tener redundancia en el sistema.
Protocolo abierto.	NO	Protocolo propietario de Echelon.
Inteligencia de equipos.	SI	Los equipos poseen capacidades de diagnóstico, entre otras.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Utiliza cable de par trenzado.
Distancia.	SI	500 metros a 78 kbit/s
Ambiente industrial.	NO	Este bus es utilizado para aplicaciones domésticas, edificios inteligentes, redes públicas, etc.
Estandarización.	SI	ANSI/EIA 709.1
Disponibilidad de equipos.	NO	Ningún proveedor conocido.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Utiliza cable de par trenzado para transmisiones seriales.
Disponibilidad de la documentación.	NO	Ningún proveedor conocido.
Entrenamiento al personal.	NO	Ningún proveedor conocido.
Posicionamiento en el mercado mundial.	N.I.	-
Utilización en PDVSA.	NO	Ningún antecedente conocido.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	NO	Ningún antecedente conocido.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.9 Evaluación de los criterios para Modbus:** En la tabla XXXIII se presentan los criterios de selección evaluados para Modbus.

Tabla XXXIII: Evaluación de los criterios para Modbus

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	SI	Originalmente se utilizó para los controladores Modicon, se ha convertido en un estándar abierto adoptado por numerosos fabricantes de instrumentación y control.
Instalación y puesta en servicio.	SI	Por ser un producto de Modicon, el PLC Quantum posee varias alternativas de comunicación vía Modbus.
Flexibilidad.	SI	Permite conectar hasta 32 dispositivos en el bus.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	Se maneja información adicional a las variables del proceso.
Redundancia.	SI	Depende de la aplicación.
Protocolo abierto.	SI	Especificación completamente abierta.
Inteligencia de equipos.	SI	Los equipos poseen capacidades de diagnóstico, entre otras.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Utiliza cable de par trenzado.
Distancia.	SI	Modbus Plus: 1500 m Modbus ASCII/RTU: 350 m
Ambiente industrial.	SI	Utilizado en diferentes aplicaciones industriales.
Estandarización.	N.I.	Es considerado un estándar abierto.
Disponibilidad de equipos.	SI	Diferentes proveedores de equipos y sistemas con comunicación Modbus.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Utiliza cable de par trenzado para transmisiones seriales.
Disponibilidad de la documentación.	SI	Las especificaciones se encuentran de fácilmente.
Entrenamiento al personal.	SI	Diferentes proveedores de equipos y sistemas con comunicación Modbus.
Posicionamiento en el mercado mundial.	5°	Ranking VDC.
Utilización en PDVSA.	SI	En las plantas de almacenamiento y distribución de combustible se utiliza Modbus ASCII/RTU y Modbus Plus.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	N.I.	Ningún antecedente conocido, pero por ser un estándar abierto, con seguridad se usa en alguna aplicación de este tipo.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.10 Evaluación de los criterios para HART:** En la tabla XXXIV se presentan los criterios de selección evaluados para HART.

Tabla XXXIV: Evaluación de los criterios para HART

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	SI	Utilizado en transmisores y actuadores.
Instalación y puesta en servicio.	SI	Por ser un protocolo de amplio uso existen muchos controladores con módulos HART. Adicionalmente se podría utilizar el cableado existente.
Flexibilidad.	NO	Son limitadas las opciones de conectar varios dispositivos en el mismo segmento.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	El enlace digital permite incorporar información adicional a las variables del proceso.
Redundancia.	NO	No especifica una forma de tener redundancia en el sistema.
Protocolo abierto.	SI	Numerosas empresas poseen productos con tecnología HART.
Inteligencia de equipos.	SI	Los equipos poseen capacidades de diagnóstico, entre otras.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Satisface los requerimientos generales de resistencia al ruido.
Distancia.	SI	Hasta 3000 metros.
Ambiente industrial.	SI	Ideal para aplicaciones industriales.
Estandarización.	N.I.	-
Disponibilidad de equipos.	SI	Diferentes proveedores, Ejem.: Rosemount.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Utiliza cable de par trenzado.
Disponibilidad de la documentación.	SI	Diferentes proveedores, Ejem.: Rosemount.
Entrenamiento al personal.	SI	Emerson Process Management – Venezuela.
Posicionamiento en el mercado mundial.	N.I.	-
Utilización en PDVSA.	SI	Utilizado en plantas de producción
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	SI	Varias empresas.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.11 Evaluación de los criterios para PROFIBUS:** En la tabla XXXV se presentan los criterios de selección evaluados para PROFIBUS.

Tabla XXXV: Evaluación de los criterios para PROFIBUS

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	SI	Utilizado en transmisores y actuadores, además de muchos otros dispositivos de campo.
Instalación y puesta en servicio.	SI	El PLC Quantum tiene un módulo PROFIBUS que facilita la integración con el SCP. Los actuadores de la empresa Rotork tienen la opción de comunicación PROFIBUS DP.
Flexibilidad.	SI	Permite la conexión de 32 dispositivos por segmento sin repetidor.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	Se maneja información adicional a las variables del proceso.
Redundancia.	SI	Depende del fabricante.
Protocolo abierto.	SI	Muchos fabricantes a nivel mundial desarrollan productos con esta tecnología. PROFIBUS International posee más de 1000 miembros.
Inteligencia de equipos.	SI	Los equipos poseen capacidades de diagnóstico, entre otras.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Cable de par trenzado apantallado y opción de fibra óptica.
Distancia.	SI	1200 metros a 93.75 kbit/s. Permite hasta 9 repetidores (depende del fabricante).
Ambiente industrial.	SI	Opción de seguridad intrínseca.
Estandarización.	SI	IEC 61158.
Disponibilidad de equipos.	SI	Existen diferentes proveedores.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Utiliza cable de par trenzado para transmisiones seriales, además de medio de fibra óptica.
Disponibilidad de la documentación.	SI	Existen diferentes proveedores.
Entrenamiento al personal.	SI	Existen diferentes proveedores.
Posicionamiento en el mercado mundial.	2°	Ranking VDC.
Utilización en PDVSA.	SI	Proyecto de actuadores Profibus en Punta de Mata.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	SI	Shell en Alemania (1998).

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.12 Evaluación de los criterios para Foundation Fieldbus:** En la tabla XXXVI se presentan los criterios de selección evaluados para Foundation Fieldbus.

Tabla XXXVI: Evaluación de los criterios para Foundation Fieldbus

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	SI	Utilizado en transmisores y actuadores, además de muchos otros dispositivos de campo.
Instalación y puesta en servicio.	SI	El SCADA PlantScape de Honeywell es compatible con este bus de campo. Además existen numerosos controladores y equipos con conectividad a Foundation Fieldbus. Los actuadores de la empresa Rotork tienen esta opción de comunicación.
Flexibilidad.	SI	Permite la conexión de 32 dispositivos por segmento sin repetidor.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	SI	Maneja información adicional a las variables del proceso.
Redundancia.	SI	Depende del fabricante.
Protocolo abierto.	SI	Muchos fabricantes a nivel mundial desarrollan productos con esta tecnología.
Inteligencia de equipos.	SI	Los equipos poseen capacidades de diagnóstico, entre otras.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Cable de par trenzado apantallado.
Distancia.	SI	Cubre una longitud de red hasta de 1900 metros. Permite cuatro repetidores (hasta 5000 metros).
Ambiente industrial.	SI	Opción de seguridad intrínseca.
Estandarización.	SI	IEC 61158.
Disponibilidad de equipos.	SI	Existen diferentes proveedores.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Utiliza cable de par trenzado para transmisiones seriales.
Disponibilidad de la documentación.	SI	Existen diferentes proveedores.
Entrenamiento al personal.	SI	Existen diferentes proveedores.
Posicionamiento en el mercado mundial.	3°	Ranking VDC.
Utilización en PDVSA.	SI	Jusepín.
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	SI	PETROBRAS en Brasil (2001).

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**5.6.13 Evaluación de los criterios para Ethernet:** En la tabla XXXVII se presentan los criterios de selección evaluados para Ethernet.

Tabla XXXVII: Evaluación de los criterios para Ethernet

<b>Criterio</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Comentarios</b>
Instrumentación	NO	Utilizado en aplicaciones industriales pero para redes de supervisión y control. Se espera que en un futuro se utilice Ethernet para dispositivos de campo.
Instalación y puesta en servicio.	N.A.	Esta red ya es utilizada en las plantas para la comunicación de diferentes sistemas.
Flexibilidad.	SI	Es una red de gran flexibilidad de instalación y expansión.
Mayor información proveniente del nivel de campo.	N.A.	Aún no se conocen desarrollos para dispositivos de campo.
Redundancia.	SI	Depende de la aplicación. Por ejemplo, la conexión del PLC Quantum tiene redundancia en la red Ethernet.
Protocolo abierto.	SI	Muchos fabricantes a nivel mundial desarrollan productos con esta tecnología.
Inteligencia de equipos.	SI	Los dispositivos que se comunican a través de una red Ethernet, generalmente son computadoras, controladores u otros equipos con grandes capacidades de procesamiento.
Protección ante interferencias en la comunicación.	SI	Cable de par trenzado apantallado.
Distancia.	SI	Cubre grandes distancias.
Ambiente industrial.	SI	Existen equipos industriales de diferentes fabricantes como <i>switchs</i> , módulos de PLCs, etc., algunos con opción de seguridad clase 1, división 2.
Estandarización.	SI	IEEE 802.3.
Disponibilidad de equipos.	SI	Existen diferentes proveedores.
Disponibilidad del medio de transmisión.	SI	Utiliza cable de par trenzado para transmisiones seriales. Además de otros medios inalámbricos, de fibra óptica, etc.
Disponibilidad de la documentación.	SI	Existen diferentes proveedores.
Entrenamiento al personal.	SI	Existen diferentes proveedores.
Posicionamiento en el mercado mundial.	1°	Ranking VDC.
Utilización en PDVSA.	SI	Se utiliza en las plantas de almacenamiento y distribución de combustible y casi a cualquier nivel de la industria petrolera (excepto a nivel de campo).
Utilización en otras empresas petroleras mundiales.	SI	Muchas empresas mundiales.

**N.I. = No se tiene información sobre este criterio**

**N.A. = No aplica el criterio en esta red.**

## **5.7 Resultados de la aplicación de los criterios en los buses de campo**

Se han evaluado diferentes redes de campo, cada una con diferentes prestaciones y aplicaciones, a continuación se resumirán los resultados obtenidos.

**5.7.1 AS-i:** No califica para aplicarse en las plantas de distribución de combustible, no cumple siete de los criterios de selección. Es una red para sensores y actuadores binarios, su aplicación en señales analógicas es limitada, por lo que no se utiliza para transmisores (presión, temperatura, etc.). Tiene la ventaja de que el PLC posee un módulo con conectividad AS-i, pero no es una red para aplicaciones relacionadas con manejo de combustibles.

**5.7.2 BITBUS:** No cumple la mayoría de los criterios. Es una buena opción para aplicaciones en supermercados, sistemas de seguridad (antirrobo), y control por medio de PCs. No califica para implementarse en las plantas de distribución.

**5.7.3 INTERBUS:** Uno de las cuatro redes con módulo del PLC Quantum, no permite instrumentación inteligente y el fabricante de actuadores (Rotork) no lo ofrece como opción de comunicación. No califica para las plantas de distribución de combustible.

**5.7.4 CAN:** No califica para las plantas de distribución del área metropolitana. No existen instrumentos (transmisores y actuadores) conocidos con comunicación CAN, pero si con otros protocolos basados en CAN como DeviceNet. Tampoco existe una forma de integración con el PLC o el SCADA de las plantas de distribución.

**5.7.5 DeviceNet:** Rotork ofrece opción de comunicación DeviceNet para sus actuadores de válvulas. Es un protocolo de amplio uso en Norteamérica, algo así como la contraparte de PROFIBUS DP para Europa. Sus puntos débiles: no permite transmisión de variables continuas (para transmisores de presión, temperatura, etc.) y

no existe un módulo del PLC con esta opción, pero es una excelente alternativa para actuadores de válvulas. No califica para ser utilizado en las plantas de distribución.

**5.7.6 SDS:** Es similar a AS-i, es decir para sensores y actuadores binarios, pero desarrollado por Honeywell. Es un bus poco publicitado y con escasa información en Internet y otros medios. No califica como una opción de comunicación para los actuadores y transmisores de las plantas de distribución.

**5.7.7 ControlNet:** No es propiamente un bus de campo, se clasifica como bus de control, o sea, para comunicación entre PLCs, PCs u otros tipos de controladores. Puede coexistir junto a DeviceNet y Foundation Fieldbus en redes más complejas. Es una red muy utilizada en controladores Allen-Bradley. Actualmente existe un proyecto de implementación de un controlador ControlLogix de Allen-Bradley en PDVSA – Punta de Mata. Se espera que se aprovechen las ventajas de ControlNet y DeviceNet. No califica para la instrumentación de las plantas de distribución.

**5.7.8 LonWorks:** Junto a AS-i, INTERBUS y PROFIBUS es una red con módulo de conexión al PLC Quantum. Su uso es básicamente para edificios inteligentes (sensores de movimiento, dimmers, interruptores, cámaras de seguridad, etc.), no califica para implementarse en las plantas de distribución.

**5.7.9 Modbus:** Se usa actualmente en las plantas de distribución, para las comunicaciones del PLC Quantum. Es un protocolo que se usará por muchos años en aplicaciones industriales. Califica para ser utilizado en las plantas de distribución. Modbus no fue originalmente concebido para aplicación de instrumentación (actuadores, transmisores de nivel, temperatura, flujo, etc.), pero su uso se ha extendido a estos dispositivos.

**5.7.10 HART:** Es la primera red de campo conocida, aún se fabrican muchos instrumentos con comunicación HART. Su desventaja es que ya se considera un

protocolo obsoleto en comparación con los nuevos desarrollos de bus de campo. No existe un módulo del PLC ni tampoco actuadores Rotork con opción de comunicación HART, por lo tanto, no califica para las plantas de distribución.

**5.7.11 PROFIBUS:** Cumple todos los criterios de selección, por lo tanto, se puede implementar en las plantas de distribución de combustibles. Su integración al SCP es relativamente sencilla porque existen módulos PROFIBUS para el PLC Quantum, de igual forma, existen actuadores Rotork con este protocolo de comunicación.

**5.7.12 Foundation Fieldbus:** Junto a PROFIBUS y Modbus, califica para implementarse en las plantas de distribución. Para la integración con el SCP actual se necesitaría la conexión de un nuevo PLC, lo que equivale a una inversión mayor, además de que se tendría que evaluar como adaptar el SCADA PlantScape para una completa integración y aprovechamiento de sus ventajas.

La característica principal de Foundation Fieldbus es que permite ejecutar acciones básicas de control, como PID, a nivel de campo. Esta ventaja tendría poca oportunidad de explotarse en las plantas de distribución debido a que las operaciones principales se hacen mediante la apertura y cierre de válvulas.

Foundation Fieldbus H1 es el equivalente norteamericano de PROFIBUS PA (utilizado ampliamente en Europa).

**5.7.12 Ethernet:** No se usa aún en aplicaciones a nivel de campo, pero es muy posible que ya existan desarrollos en esa dirección. Ethernet se ha posicionado de buena forma en las aplicaciones industriales y se usará en las plantas de distribución durante muchos años.

## 5.8 Buses que califican según los criterios de selección

- ❑ Modbus.
- ❑ PROFIBUS.
- ❑ Foundation Fieldbus.

## 5.9 Bus de campo que mejor se adapta a las plantas de distribución de combustible

La forma de integración de un bus de campo al SCP más factible es a través de un módulo del PLC Quantum, debido a que afecta muy poco los demás elementos de la arquitectura. El PLC Quantum tiene alternativas de conexión con PROFIBUS y Modbus, por lo tanto, estos buses se adaptan a la planta Catia La Mar.

Modbus es un bus ampliamente conocido y un estándar abierto, ya utilizado en las plantas de distribución. Existen transmisores Rosemount con conexión Modbus (gran cantidad de transmisores de las plantas son de este fabricante), ver anexo 4, el PLC ya tiene puertos Modbus y Modbus Plus (anexo 1), además que se utiliza el equipo BM85 en las plantas. De igual forma, existen actuadores Rotork y computadores de flujo (acculoads) con esa opción de comunicación; por lo tanto, el bus que mejor se adapta a los sistemas de las plantas de distribución, y por lo tanto se recomienda como un estándar es: **Modbus**.

## 5.10 Consideraciones finales

Existe la posibilidad de implementar dos (o más) redes de campo en las plantas de distribución, por ejemplo Modbus y PROFIBUS, o Modbus y Foundation Fieldbus. Pueden coexistir diferentes buses en sistemas de supervisión y control, ejemplo de esto son las opciones del PLC para diferentes redes (Ethernet, Modbus, PROFIBUS DP, LonWorks e Interbus) que pueden funcionar sin problema en un mismo sistema.

Es necesario realizar un levantamiento de la instrumentación de campo de las plantas de distribución, verificando la obsolescencia de los equipos instalados, todo

esto, para determinar el tiempo de vida útil de los transmisores y actuadores y la factibilidad de reemplazarlos a corto o mediano plazo.

El PLC quantum es del fabricante Modicon, empresa que desarrolló Modbus, eso facilita la utilización de este bus en las plantas de distribución de combustibles. Sería importante que, al momento de reemplazar este PLC (cuando cumpla su vida útil), se analice implementar controladores con opción de comunicación de bus de campo, como PROFIBUS, Foundation Fieldbus, DeviceNet, etc.

Existen otras alternativas para la transmisión de señales en campo, por ejemplo, instrumentos inalámbricos. Esta tecnología ofrece la ventaja de eliminar el cableado. Esta opción se debe considerar al momento de reemplazar los dispositivos de campo, básicamente los transmisores, que podrían trabajar con baterías y celdas solares. La limitación fundamental se presenta en las válvulas motorizadas, que requieren de alimentación con tensiones superiores (480VAC, por ejemplo), y no podrían alimentarse con baterías.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El bus de campo que se recomienda como un estándar, para nuevos equipos y sistemas que se vayan a implementar en las plantas de distribución de combustibles, es Modbus. Eso implica, en caso de que se tome la recomendación, que se deberá verificar que los nuevos elementos a instalar tengan la opción de comunicación Modbus.

Para sustentar la decisión de estandarizar el protocolo Modbus, se establecieron dieciocho (18) criterios de selección de un bus de campo: Instrumentación, Instalación y puesta en servicio, Flexibilidad, mayor información proveniente del nivel de campo, Redundancia, Protocolo abierto, Inteligencia de equipos, Protección ante interferencias en la comunicación, Distancia, Ambiente industrial, Estandarización, Disponibilidad de equipos, Disponibilidad del medio de transmisión, Disponibilidad de la documentación, Entrenamiento al personal, Posicionamiento en el mercado mundial y Utilización en otras empresas petroleras mundiales.

El análisis de estos criterios en las diferentes redes de campo, arrojó una preselección donde calificaron tres buses: PROFIBUS, Foundation Fieldbus y Modbus. La facilidad de la integración con los sistemas existentes, la disponibilidad de actuadores, computadores de flujo y transmisores, y por ser un estándar abierto, se seleccionó a Modbus.

Realizar un inventario completo de la instrumentación, que incluya realización de planos, es un requisito indispensable para implementar un sistema de comunicación para el nivel de campo. Esto permitiría determinar la vida útil de los equipos y la factibilidad de reemplazarlos a corto o mediano plazo.

Al momento de reemplazar el controlador lógico programable y/o la instrumentación, se recomienda estudiar otras tecnologías de transmisión, como Foundation Fieldbus, PROFIBUS, DeviceNet y transmisores inalámbricos. Estandarizar el uso de Modbus, no significa que no se puedan implementar otras alternativas, eso dependerá de las necesidades específicas de cada aplicación.

## REFERENCIAS

- [1] PDVSA. “Requerimientos de instrumentación eléctrica”. PDVSA K – 334. Junio de 2004.
- [2] Tolfo, Flavio. “El bus de campo alcanza la mayoría de edad”. Revista ABB. Pág. 31. Abril de 2004.
- [3] Jiménez, Manuel. “Redes de Comunicación de Datos y Normas de Sistemas Abiertos”. Universidad Politécnica de Cartagena. 2002. Pág. 6. En línea, Octubre de 2004.  
*[http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6\\_Comunic\\_Ind/pdfs/Tema%201.pdf](http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Comunic_Ind/pdfs/Tema%201.pdf)*
- [4] Blanco, Carlos. “Proyecto de Control Distribuido de una Planta”. Universidad Rovira I Virgili. España. 2001. Págs. 19 – 20. En línea, Octubre de 2004.  
*<http://sauron.etse.urv.es/public/PROPOSTES/pub/pdf/117pub.pdf>*
- [5] PROFIBUS International. “PROFIBUS Technology and Application”. 2002. Págs. 2 – 40. En línea, Noviembre de 2004.  
*[http://www.profibus.com/imperia/md/content/pisc/technicaldescription/4002\\_vOctober2002-English.pdf](http://www.profibus.com/imperia/md/content/pisc/technicaldescription/4002_vOctober2002-English.pdf)*
- [6] Kaschel, Héctor. “Análisis del Estado del Arte de los Buses de Campo Aplicados al Control de Procesos Industriales”. 2002. En línea, Octubre de 2004.  
*<http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc>*
- [7] AS-Interface. En línea, Diciembre de 2004.  
*<http://www.as-interface.com/products.asp>*
- [8] BITBUS EUROPEAN USERS GROUP ©2003. En línea, Diciembre de 2004.  
*<http://www.bitbus.org/>*
- [9] INTERBUS Club ©1999. En línea, Diciembre de 2004.  
*<http://www.ibsclub.com/vendors/prodguide/catalogframes.asp>*
- [10] Kaschel, Héctor. “Análisis de la capa física del bus CAN”. Universidad de Santiago de Chile. 2002.

- [11] ODVA™. En línea, Diciembre de 2004.  
*<http://www.odva.org>*
- [12] ControlNet International © 1997 – 2005. En línea, Diciembre de 2004.  
*[http://www.controlnet.org/01\\_abcn/01\\_cn\\_tch-spec.htm](http://www.controlnet.org/01_abcn/01_cn_tch-spec.htm)*
- [13] SIXNET. En línea, Diciembre de 2004.  
*<http://www.sixnetio.com/htmlhelps/sixnetkb/5a641d3.htm>*
- [14] Schneider Electric. En línea, Diciembre de 2004.  
*<http://www.modicon.com/TECHPUBS/intr7.html>*
- [15] HMS Industrial Networks © 2004. En línea, Diciembre de 2004.  
*<http://www.anybus.com/eng/technologies/modbusplus.asp>*
- [16] TOPWORX. En línea, Diciembre de 2004.  
*[http://www.topworx.com/fn\\_mb.html](http://www.topworx.com/fn_mb.html)*
- [17] Modbus – IDA.Org. En línea, Diciembre de 2004.  
*[http://www.modbus.org/Device.hsf/aa\\_rewsimsearch?OpenAgent&show=all](http://www.modbus.org/Device.hsf/aa_rewsimsearch?OpenAgent&show=all)*
- [18] ABB in Poland © 2005. En línea, Diciembre de 2004.  
*[http://www.abb.pl/global/plabb/plabb043.nsf/99ad595c32e0c2d9c12566e1000a4540/82709be2e41faa11c1256ce7003787e1/\\$FILE/HART\\_%20Protocol\\_brochure\\_EN.pdf](http://www.abb.pl/global/plabb/plabb043.nsf/99ad595c32e0c2d9c12566e1000a4540/82709be2e41faa11c1256ce7003787e1/$FILE/HART_%20Protocol_brochure_EN.pdf)*
- [19] HART Communication Foundation. En línea, Diciembre de 2004.  
*<http://208.42.89.109/products/catalog.cfm?>*
- [20] Fieldbus Foundation. “Technical Overview”. 2003. Pág. 6. En línea, Noviembre de 2004.  
*<http://www.smart.com/iindustries/oilgas/Article/technicaloverview.pdf>*
- [21] Donayre, Javier. En línea, Diciembre de 2004.  
*<http://www.industriaaldia.com/articulos/26-5.htm>*
- [22] SIEMON Network Cabling Solutions Latin America. En línea, Diciembre de 2004.  
*[http://www.simon.com/la/white\\_papers/03-10-13-ethernet-ip.asp](http://www.simon.com/la/white_papers/03-10-13-ethernet-ip.asp)*
- [23] PDVSA. “Procedimiento recibo de productos por tanqueros”. PDVSA PO CLM-02. 2002.

- [24] PDVSA. “Procedimiento de despacho de productos por poliducto”. PDVSA PO CLM-05. 2002.
- [25] PDVSA. “Procedimiento bombeo por turboducto”. PDVSA PO CLM-07. 2002.
- [26] PDVSA. “Procedimiento Auto despacho de productos por llenadero”. PDVSA PO CLM-06. 2002.
- [27] Telemecanique. “Modicon Quantum Automation Series Hardware Reference Guide 11.0”. 2004. Págs. 4 – 265. En línea, Marzo de 2004.  
*[http://www.schneider-electric.com.mx/webapp/PortalSchneider/tsx\\_quantum.jsp](http://www.schneider-electric.com.mx/webapp/PortalSchneider/tsx_quantum.jsp)*
- [28] PDVSA. “Plan de Estabilización, Normalización y optimización de los Sistemas y Aplicaciones de Automatización Industrial en Plantas de Distribución de Combustibles a nivel nacional”. 2003. Pág. 8
- [29] PDVSA. En línea, Enero de 2005.  
*[http://www.pdvs.com/proc\\_tecnologia.html](http://www.pdvs.com/proc_tecnologia.html)*
- [30] PDVSA. “Políticas, Lineamientos y Estándares de la Arquitectura de Automatización Industrial”. 2004. Pág. 2.
- [31] Honeywell. “HC900 Hybrid Controller Specification”. 2005. Págs. 1-16. En línea, Abril de 2005.  
*<http://www.honeywell.com/imc/>*
- [32] Honeywell. “PlantScape Release 400 – Integrated Solutions to Optimize your Process ”. 2001. Pág. 2. En línea, Abril de 2005.  
*<http://www.iac.honeywell.com>*
- [33] SIEMENS. “Industrial Communication” (Catálogo). 2004. Págs. 4/76 – 4/94.
- [34] Emerson Process Management. “SAAB TankRadar with Foundation Fieldbus”. 2004. Págs. 5/1 – 5/5. En línea, Abril de 2005.  
*[http://www.saab.tankradar.com/tankgauging\\_choosecomponent.aspx?ProductID=28](http://www.saab.tankradar.com/tankgauging_choosecomponent.aspx?ProductID=28)*
- [35] Rotork. “Profibus Actuator Control”. 2004. Págs. 1 – 8. En línea, Abril de 2005.  
*<http://www.rotork.com/products/serial/profi.cfm>*

[36] Rotork. “Foundation Fieldbus Actuators”. 2001. Págs. 1 – 12. En línea, Abril de 2005.

*<http://www.rotork.com/products/serial/foundation.cfm>*

[37] Rotork. “DeviceNet Actuator Control”. 2004. Págs. 1 – 8. En línea, Abril de 2005.

*<http://www.rotork.com/products/serial/device.cfm>*

[38] Rotork. “Modbus Actuator Control”. 2004. Págs. 1 – 8. En línea, Abril de 2005.

*<http://www.rotork.com/products/serial/modbus.cfm>*