

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS ORIENTADAS A LA
ENSEÑANZA DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN DELTAV**

**RAFAEL ARDILA RODRÍGUEZ
GERARDO PINILLA VEGA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2005**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS ORIENTADAS A LA
ENSEÑANZA DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN DELTA V**

**RAFAEL ARDILA RODRÍGUEZ
GERARDO PINILLA VEGA**

TRABAJO DE GRADO

**DIRECTOR
M. En C. OMAR LENGERKE PÉREZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2005**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga 16 de Mayo del 2005

DEDICATORIA

En nuestra vida universitaria siempre existieron personas que nos apoyaron y estuvieron presentes en cada una de nuestras metas propuestas para realizarnos como profesionales, por eso dedicamos este proyecto de grado a nuestros padres quienes nos apoyan de manera incondicional en todo momento para desarrollarnos como grandes personas de bien.

Este proyecto de grado fue realizado para nuestros compañeros de Ingeniería Mecatrónica para enseñar una gran tecnología que se utiliza en la Industria como es el Sistema DeltaV, dedicamos este manual de prácticas del Sistema DeltaV a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga como un gran aporte a la educación en los nuevos sistemas de Automatización Industrial.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por darnos la oportunidad de avanzar en nuestra vida y en cada una de las metas que nos propusimos en este proyecto de grado y en nuestra carrera profesional, deseamos agradecer a nuestros padres y amigos que nos apoyaron incondicionalmente, al Ingeniero Omar Lengerke Pérez por haber dirigido cada uno de los avances de este Proyecto de grado y a toda la Facultad de Ingeniería Mecatrónica por habernos prestado las instalaciones y los equipos con los que aprendimos y desarrollamos este manual de prácticas del Sistema DeltaV.

CONTENIDO

	pág
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
INTRODUCCIÓN	17
ESTADO DEL ARTE	20
1 MARCO TEÓRICO.....	23
1.1 INTRODUCCIÓN.....	23
1.1.1 EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS (ABP)	24
1.1.2 ESTRUCTURACIÓN DIDÁCTICA DEL ABP	25
1.1.2.1 Características de los Problemas en el ABP	26
1.1.2.2 Evolución de un Grupo de Aprendizaje que Utiliza el ABP.....	27
1.1.2.3 Actividades y Responsabilidades del Alumno y del Profesor.....	28
1.1.3 EVALUACIÓN EN EL ABP	30
1.1.4 EL MÉTODO DE PROYECTOS	32
1.1.4.1 Cómo se Organiza el Método de Proyectos	34
1.1.4.2 Actividades y Responsabilidades del Alumno y del Profesor en el Método de Proyectos.....	36
1.1.4.3 Aprendizajes que Fomenta el Uso del Método de Proyectos	37
1.1.4.4 La Evaluación en el Método de Proyectos.....	38
2 REDES INDUSTRIALES.....	40
2.1 INTRODUCCIÓN.....	40

2.1.1	VENTAJAS DE LOS BUSES DE CAMPO	41
2.1.2	BUSES DE CAMPO EXISTENTES	42
2.1.2.1	Buses de Alta Velocidad y Baja Funcionalidad.....	43
2.1.2.2	Buses de Alta Velocidad y Funcionalidad Media	43
2.1.2.3	Buses de Alta Prestación.....	44
2.1.2.4	Buses para Áreas de Seguridad Intrínseca	45
2.1.3	ALGUNOS BUSES ESTANDARIZADOS	45
2.1.3.1	PROFIBUS	45
2.1.3.2	INTERBUS.....	48
2.1.3.3	DEVICENET	49
2.1.3.4	FIP- WORLDIFIP	50
2.1.3.5	LONWORKS.....	50
2.1.3.6	SDS	52
2.1.3.7	CANOPEN.....	52
2.1.3.8	MODBUS.....	52
2.1.3.9	ETHERNET INDUSTRIAL	53
2.1.3.10	ASI.....	54
2.1.3.11	BITBUS.....	55
2.1.3.12	ARCNET.....	55
2.1.3.13	CONTROLNET	56
2.1.3.14	HART.....	56
2.1.3.15	Foundation Fieldbus	56
2.1.4	GRAN VARIEDAD DE BUSES.....	58
2.1.5	INTRODUCCIÓN A FOUNDATION FIELDBUS	59
2.1.5.1	Capas Físicas de Fieldbus Foundation.....	59
2.1.5.2	Ventaja de un Bus Digital.....	63
2.1.5.3	Interoperabilidad de Fieldbus.....	63
2.1.5.4	Interoperabilidad en un Host System.....	67
2.1.5.5	Confiabilidad y Redundancia	68

2.1.5.6	Redundancia del Transmisor	70
2.1.5.7	Redundancia de Válvula	71
2.1.5.8	Opciones de Redundancia de Host	73
2.1.5.9	Otras Opciones	74
2.1.5.10	Seguridad Intrínseca.....	75
2.1.5.11	Curva de Ignición.....	77
2.1.5.12	Diseño de un Segmento Seguro Intrínseco	78
2.1.5.13	Combinando Áreas Seguras y Áreas Peligrosas.....	79
2.1.5.14	Múltiples Barreras	81
2.1.5.15	Otras Consideraciones en Seguridad Intrínseca	83
2.1.6	TOPOLOGÍAS DE RED.....	83
2.1.6.1	Topología de Rama y Árbol	84
3	INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL	90
3.1	INTRODUCCIÓN.....	90
3.2	CLASES DE INSTRUMENTOS	94
3.2.1	EN FUNCIÓN DEL INSTRUMENTO	95
3.2.2	TRANSMISORES	100
3.2.2.1	Transmisores Electrónicos.....	101
3.2.2.2	Detector de Posición de Inductancia	101
3.2.2.3	Transformador Diferencial	102
3.2.2.4	Transmisores Digitales	102
3.2.2.5	Medidas de Presión	105
3.2.2.6	Medidas de Nivel	106
3.2.2.7	Medidor de Nivel de Tipo Desplazamiento	107
3.2.2.8	Medidor de Nivel Conductivo o Resistivo.....	108
3.2.2.9	Medidor de Capacidad.....	109
3.2.2.10	Sistema Ultrasónico de Medición de Nivel.....	111

3.2.2.11	Medida de Temperatura	112
3.2.2.12	Termistores.....	113
3.2.2.13	Termopares	113
3.2.2.14	Termoresistencia	116
4	SISTEMAS DE CONTROL	119
4.1	INTRODUCCIÓN.....	119
4.1.1	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO	119
4.1.2	SISTEMAS DE CONTROL NEUMÁTICOS Y ELÉCTRICOS	124
4.1.2.1	Control Todo o Nada	124
4.1.2.2	Control Flotante	126
4.1.2.3	Control Proporcional	127
4.1.2.4	Control Proporcional + Integral	129
4.1.2.5	Control Proporcional + Derivativo	132
4.1.2.6	Control Proporcional + Integral + Derivativo	132
4.1.3	VÁLVULAS DE CONTROL.....	133
5	SISTEMA DELTAV	135
5.1	INTRODUCCIÓN.....	135
5.1.1	ENTORNO DE SIMULACIÓN DELTAV.....	136
5.1.1.1	Desarrollo de Estrategias de Control.....	137
5.1.1.2	Parámetros	140
5.1.1.3	Bloque de Función.....	140
5.1.1.4	Bloque de Función de Entrada Análoga (AI).....	141
5.1.1.5	Bloque de Función de Salida Análoga (AO)	142
5.1.1.6	Bloque de Función Discreto de Entrada (DI)	143
5.1.1.7	Bloque de Función Discreto de Salida (DO)	144
5.1.1.8	Bloque de Función PID	145
5.1.1.9	Bloque de Función Compuesto.....	146

5.1.2	MÓDULOS.....	148
5.1.2.1	Módulos de Alarmas	150
5.1.2.2	Estado del Bloque de Función	151
5.1.2.3	Descripción del Proceso de Alarma	154
5.1.2.4	Bloque de Función Detección de Alarma.....	156
5.1.3	AUTO-SENSE	157
5.1.4	COMISIÓN.....	157
5.1.5	DECOMISIÓN.....	157
5.1.6	COMISIÓN Y DECOMISIÓN	158
5.1.7	DIAGNOSTICO.....	159
5.1.8	TARJETAS DE I/O.....	159
6	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	161
6.1	INTRODUCCIÓN.....	161
6.1.1	METODOLOGÍA ESCOGIDA PARA EL MANUAL DE PRÁCTICAS... 162	
6.1.1.1	Diseño Mecatrónico	164
6.1.1.2	Prácticas Desarrolladas.....	167
6.1.1.3	Modelo de las Prácticas.....	168
6.1.1.4	Imágenes.....	172
6.1.1.5	Evaluaciones	174
6.1.2	MANUAL DE PRÁCTICAS INTERACTIVO	178
6.1.3	MATERIAL ENTREGADO	183
6.1.4	PRUEBAS REALIZADAS	183
6.1.5	RESULTADOS OBTENIDOS	188
7	CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES	190
	BIBLIOGRAFIA	193
	ANEXOS	195

LISTA DE FIGURAS

	pág
FIGURA 1 Modelo OSI VS Modelo Fieldbus	60
FIGURA 2 Codificación Manchester	60
FIGURA 3 Fieldbus y las Redes de Nivel Básico	62
FIGURA 4 Niveles de Interoperabilidad entre Instrumentos	65
FIGURA 5 Esquema Confiable para Poner una Válvula Redundante	72
FIGURA 6 Curva de Ignición	77
FIGURA 7 Diagrama de Conexión de una Sola Barrera.....	78
FIGURA 8 Combinando Áreas Seguras y Áreas Peligrosas.....	80
FIGURA 9 Diseño en Forma de Múltiples Barreras	81
FIGURA 10 Esquema de Rama.....	84
FIGURA 11 Esquema de Árbol.....	85
FIGURA 12 Borneras de Conexión en Esquema de Árbol	86
FIGURA 13 Conexiones en cajas de Ensambladura	87
FIGURA 14 Montaje Ensambladura Premontada	88
FIGURA 15 Caja de Conexiones Tipo T	89
FIGURA 16 Caja de Mando Adaptada a Fieldbus	89
FIGURA 17 Bucle Abierto de regulación.....	90
FIGURA 18 Bucle Cerrado de Regulación.....	91
FIGURA 19 Instrumentos Ciegos	95
FIGURA 20 Instrumentos Indicadores	96
FIGURA 21 Instrumentos Registradores	97
FIGURA 22 Transmisores Convertidores	98
FIGURA 23 Elementos Finales de Control	99

FIGURA 24 Transmisores Inteligentes	105
FIGURA 25 Medidor de Nivel de Desplazamiento.....	108
FIGURA 26 Medidor de Capacidad	110
FIGURA 27 Transductor Ultrasónico	112
FIGURA 28 Termopar.....	115
FIGURA 29 Tipo de Sondas Resistivas	118
FIGURA 30 Intercambiador de Calor.....	120
FIGURA 31 Diagrama de Bloques.....	121
FIGURA 32 Control Manual.....	122
FIGURA 33 Control Todo o Nada con Banda Diferencial	125
FIGURA 34 Control Proporcional.....	127
FIGURA 35 Controlador Neumático.....	128
FIGURA 36 Control Proporcional + Integral.....	130
FIGURA 37 Fuelle con Restricción	131
FIGURA 38 Controlador PID.....	133
FIGURA 39 Unión de Dos Bloques.....	136
FIGURA 40 Entorno del Hardware del Proceso de Control	137
FIGURA 41 Diagrama de Estrategias de Control	138
FIGURA 42 Bloque de Entrada Análoga.....	142
FIGURA 43 Bloque de Salida Análoga	143
FIGURA 44 Bloque de Entrada Digital.....	144
FIGURA 45 Bloque de Salida Digital	144
FIGURA 46 Bloque de Función PID.....	146
FIGURA 47 Function Block Composites.....	147
FIGURA 48 Entorno de DeltaV Para Asignación de Alarmas	150
FIGURA 49 Asignación de Alarmas.....	151
FIGURA 50 Estatus de Alarmas	153
FIGURA 51 Bloque de Asignación de Alarmas.....	156
FIGURA 52 Esquema de Aprendizaje Aplicado a Problemas.....	163

FIGURA 53 Diseño Mecatrónico.....	166
FIGURA 54 Imagen de un Pantallazo.....	172
FIGURA 55 Imagen de Circuito Electrónico.....	173
FIGURA 56 Esquema de Procesos	173
FIGURA 57 Imagen de Dispositivo	173
FIGURA 58 Archivos que se Deben Copiar.....	179
FIGURA 59 Icono para Abrir el Manual de Prácticas.....	179
FIGURA 60 Open Main Display	180
FIGURA 61 Ventana Replace Main Picture	180
FIGURA 62 Acceso al Manual	181
FIGURA 63 Inicio del Manual de Prácticas.....	182
FIGURA 64 Pregunta 1.....	185
FIGURA 65 Pregunta 2.....	185
FIGURA 66 Pregunta 3.....	186
FIGURA 67 Pregunta 4.....	186
FIGURA 68 Pregunta 5.....	187
FIGURA 69 Pregunta 6.....	187
FIGURA 70 Pregunta 7.....	188

LISTA DE TABLAS

	pág
TABLA 1 Tipos de Sondas.....	118

NOMENCLATURA

Para referencia rápida

m	: Metros
Km	: Kilómetros
Mbps	: Mega Bits por Segundos
Bps	: Bits por Segundos
Kbps	: Kilo Bits por Segundos
mA	: Mili Amper
DD	: Descripción del Dispositivo
CC	: Corriente Continua
CA	: Corriente Alterna
Vrms	: Voltaje Raíz Media Cuadrática
mV	: Mili Voltios
°C	: Grados Centígrados
PP/I	: Presión de Proceso a Corriente
PP/P	: Presión de Proceso a Señal Neumática
I/P	: Corriente a Presión
Psi	: Libras por Pulgada Cuadrada
Psia	: Libras por Pulgada Cuadrada Absolutas
R	: Resistencia
C	: Capacitancia
kHz	: Kilo Hertz
f.e.m	: Fuerza Electro Motriz
Po	: Presión de Salida
Kt	: Factor de Conversión
Ka	: Factor de Amplificación de la Válvula
AI	: Entrada Análoga
AO	: Salida Análoga
DI	: Entrada Discreta
DO	: Salida Discreta

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un manual de prácticas de procesos industriales orientados a la enseñanza del sistema DELTAV.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar y analizar las tecnologías de redes de comunicación industrial utilizadas en el sistema DELTAV.
- Construir un material didáctico usando como bases metodologías de aprendizaje para orientar la enseñanza del sistema DeltaV en la academia e industria.
- Desarrollar prácticas que guíen al estudiante paso a paso en el aprendizaje desde un nivel de menor a uno de mayor complejidad.
- Orientar al estudiante en el manejo de las utilidades de software y hardware, para adquirir habilidades y destrezas en el uso de esta tecnología.

INTRODUCCIÓN

La mejora del hardware y el software en los últimos años ha traído una evolución de los sistemas de control de procesos que va más allá del rendimiento y supone una reforma conceptual de primer orden. La incorporación masiva de microprocesadores en la instrumentación ha llegado al punto de plantearse no sólo la utilización de buses de campo con protocolos de comunicación digital y presentación elaborada de valores de campo (status para diagnósticos, variables secundarias y calibración), sino también la inclusión de las estrategias de control en campo. En la práctica esto reduce hasta eliminar las unidades de control programables que implementaban estas estrategias en los sistemas de control distribuido tradicionales, migrando la evolución hacia sistemas SCADA acoplados directamente a la instrumentación en campo.

En lo que al software se refiere y en el contexto de los protocolos de comunicación en el nivel de aplicación, la orientación a objetos ha dado lugar a bloques funcionales no propietarios capaces de conectarse entre sí para implementar las distintas estrategias. Son precisamente estos bloques y su localización en unos u otros dispositivos los que dan lugar a la necesidad de comunicaciones entre ellos de forma interna.

En este contexto, la propuesta del protocolo Fieldbus Foundation (FF) en el sistema DeltaV aparece como una alternativa prometedora y que recoge esta evolución. Como primera ventaja cabe destacar su carácter de protocolo abierto con una especificación a disposición de cualquier equipo de desarrollo. De hecho, algunos niveles ya aprobados disponen de varias implementaciones alternativas que garantizan la interoperabilidad.

La idea de realizar cambios en los procesos de una empresa, surge generalmente a raíz de factores que mantienen inestable el desempeño de la planta. La obsolescencia de los equipos y el consecuente aumento de las fallas que amenazan con una parada prolongada ante la falta de repuestos y personal conocedor de esa tecnología, implicaría consecuencias en cuanto a productividad y costos para la empresa.

El sistema de supervisión y control de procesos DELTAV es una herramienta que permite la simulación en tiempo real, el desarrollo, validación y entrenamiento de operadores de planta dentro de un entorno virtual de ingeniería. Se pueden configurar operaciones de control continuo, control avanzado, así como el sistema Scada asociado a las estaciones de trabajo. Utilizando las capacidades de simulación de procesos de control, entradas/salidas y redes Fieldbus se pueden predecir objetivos y estrategias para conseguirlos.

La plataforma compatible y amigable de esta nueva tecnología facilita la incorporación de sistemas que trabajan independientemente haciendo todo de manera integrada como un mismo sistema, esta tecnología permite al operador un manejo cómodo de los procesos y exige condiciones mínimas de intervención en cuanto a mantenimiento, disminuyendo los costos de estas operaciones.

La ventaja, que tiene un ingeniero al adquirir la capacidad de manejar un sistema como DELTAV, es su grado de competencia en la industria brindándole una diversidad de herramientas en una empresa para la actualización de la tecnología ha implementar.

Se pretende hacer un tutorial que oriente a los estudiantes, la realización de prácticas que permitan el conocimiento de DELTAV e instrumentos de medición

compatibles con este sistema, además, adquirir bases acerca de las tecnologías de redes de comunicación industrial (Ej.: Redes Fieldbus)

Este tutorial será de gran ayuda para los futuros ingenieros debido a que esta tecnología es novedosa y la información que se encuentra es poca, además un curso sobre el manejo de DELTAV es costoso, este proyecto brinda la posibilidad de adquirir conocimientos de esta tecnología a muchas personas y a las empresas en general.

ESTADO DEL ARTE

En la industria el sistema DeltaV a revolucionado totalmente la automatización de procesos, la simulación de estos procesos por medio de un entorno grafico en tiempo real puede encontrar mejoras en las tareas realizadas, dando la posibilidad de conocer fallas y sus debidos ajustes para garantizar un buen desempeño de la maquinaria y los instrumentos utilizados y así ahorrar dinero en costos de permanentes mantenimientos esto traerá beneficios a una empresa, además DeltaV sirve como una plataforma de diagnostico de variables expuestas en dichos procesos así puede adquirir datos y hacer el debido control de funciones en un sistema sofisticado que incluya sensores, actuadores y diferentes redes de comunicación industrial utilizadas en una empresa.

Hoy en día existen varios proyectos con esta tecnología los cuales fundamentan nuestra investigación y nos brindan el conocimiento del estado en el que se encuentra este sistema en la industria.

Internacionalmente existen proyectos que utilizan el DeltaV orientado a la industria por las ventajas que este ofrece, algunos proyectos de este tipo son:

- Supervisión del proceso de simulación en tiempo real de procesos de control utilizando DeltaV, orientado hacia un proyecto llamado SUPERVISION DE LA SIMULACION DE PROCESOS DE CONTROL MEDIANTE ECUACIONES DE PARIDAD.

“El algoritmo propuesto de supervisión del proceso de simulación está basado en el procesamiento masivamente paralelo de ecuaciones de paridad, en donde se comparan datos actuales reales con la salida dinámica del modelo de proceso. Si los residuos de las ecuaciones de paridad están dentro de límites admisibles entonces la información de inicialización y actualización del modelo de simulación, es admitida y el proceso de simulación es validado.”

La simulación de procesos de control en tiempo real es llevada a cabo con herramientas orientada a objetos y conducida por eventos, que consiste en un entorno gráfico distribuido de programación en tiempo real para utilizar con información adquirida por medio del hardware de control así como por sensores virtuales o datos emulados.

- En la industria se utiliza DeltaV y dispositivos compatibles con este sistema para adquirir datos y hacer un control de ellos, en este proyecto se explica el uso del DeltaV como plataforma de monitoreo y control.

OXIGENACION EN INCUBADORAS. "El control de las incubadoras debe llevarse a cabo con una adecuada medición del flujo en masa de oxígeno inyectando al medio conjuntamente con un monitoreo continuo de la composición del aire ambiente, un transmisor de presión para poder conocer la relación entre oxígeno y presión, una unidad de control que recabe, procese los datos y gobierne a un elemento final para completar el ciclo de control."

- En este proyecto la solución es controlar por medio de transmisores de flujo y temperatura un debido proceso de enfriamiento por medio del sistema DeltaV, ayudando a que la empresa ahorre considerablemente el consumo energético. Esto muestra que las ventajas de esta herramienta en la industria puedan dar un costo-beneficio muy ventajoso para las empresas que adquieren esta tecnología.

OPTIMIZACIÓN DE TORRES DE ENFRIAMIENTO. "Las variables a manipular para lograr el control óptimo de temperaturas, son el flujo de aire y agua; la manipulación de esos flujos pueden llevarse a cabo mediante el uso de variadores, tanto en las bombas de carga, como en los ventiladores de enfriamiento.

DELTA V regula las RPM de los ventiladores de enfriamiento a fin de mantener la operación de la torre de enfriamiento en el punto óptimo.

DELTA V ajusta la operación de los ventiladores evitando que estos trabajen al 100% de su capacidad cuando no se considere necesario.”

- Otro de los proyectos implementados con DeltaV de Fisher Rosemount fue la automatización de la planta TGS de General Daniel Cerri como una solución más eficiente y confiable basada en DeltaV para controlar un sistema de tres calderas principales más una auxiliar que actúa como caldera de recuperación y están destinadas a generar vapor que luego es empleado, entre otros usos, para impulsar las turbinas de los generadores de energía que abastecen al sistema. La configuración de toda la automatización consiste en controladores, módulos de entrada / salida analógicos y digitales y de módulos de termocupla dispuestos en racks con su fuente de alimentación, los cuales responden al software de control DeltaV de FISHER ROSEMOUNT.

El hardware fue provisto por Emerson y un grupo especialista en sistemas SCADA realizó la ingeniería, configuración y programación del sistema de control DeltaV. Se capacitó a los operarios en el manejo y operación del sistema.

En conclusión se puede observar que el sistema DeltaV de Fisher Rosemount es una alternativa con muchas herramientas de automatización como el control de datos de entrada y salida de un sistema dado para dar una mayor eficiencia a un debido proceso industrial, por medio de esta investigación del estado del arte referente a esta tecnología, el conocimiento del manejo del software y los dispositivos aptos para el DeltaV son muy importantes para un ingeniero a la hora de dar nuevas soluciones a la automatización de los procesos.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

Las metodologías de aprendizaje es un soporte para organizar el desarrollo de un material académico de enseñanza orientado a estudiantes de ciertos temas de una asignatura, curso, tutoriales y manuales. Con base a este tipo de metodologías se estructura un material de enseñanza de manera didáctica con el fin, que el estudiante desarrolle habilidades y conocimientos de forma autónoma y participe responsablemente en el desarrollo de las actividades propuestas.

Las características principales de las metodologías de aprendizaje son:

- Estimulan en los alumnos una participación activa en el proceso de construcción del conocimiento. Esto es, se promueve que investiguen por cuenta propia, que analicen información obteniendo, que estudien cómo un conocimiento se relaciona con otro, que sugieran conclusiones, entre otras.
- Promueven un aprendizaje amplio y profundo de los conocimientos. Los procesos que derivan de su puesta en marcha permitirán el establecimiento de una relación más activa y motivadora entre los alumnos y el tema de la materia.
- Promueven en el docente el desempeño de un nuevo rol: el de facilitar el aprendizaje y hacer que el alumno profundice en los conocimientos. Este cambio en el papel del profesor trae como consecuencia una modificación en el papel del alumno, al convertirlo en un sujeto activo que construye su

conocimiento y adquiere mayor responsabilidad en todos los elementos del proceso.

- Permiten la participación del alumno en el proceso de evaluación de su aprendizaje. Esto conduce al desarrollo de su autonomía, de su capacidad de tomar decisiones y de asumir la responsabilidad de las consecuencias de sus actos¹.

1.1.1 EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS (ABP)

Este es uno de los métodos que a tomado mayor acogida en el ámbito de la educación. En el caso del ABP primero se presenta el problema, se identifican las necesidades de aprendizaje, se busca la información necesaria para finalmente regresar al problema del cual se partió.

Esta metodología comenzó su creación debido a los problemas que se estaban reflejando en los estudiantes de épocas pasadas en donde la educación se veía de una forma pasiva y centrada en la memoria. Por esta razón el ABP se basa en que el alumno es quien busca el aprendizaje que considera necesario para resolver problemas que se le planteen el cual tiene implícito en su dinámica de trabajo el desarrollo de habilidades, actitudes y valores benéficos para la mejora personal y profesional del alumno.

El ABP se enfoca a que el alumno muestre una actitud positiva hacia el aprendizaje respetando su autonomía y basándose en aplicaciones que se observan en la práctica.

¹ Extraído de documentos y publicaciones del Tecnológico de Monterrey
<http://www.sistema.itesm.mx/va/dide/documentos/inf-doc/tecnicas-modelo.html>

Las características básicas del ABP son la forma de trabajo activo de la que participan los estudiantes, es un método orientado a la solución de problemas, cada tarea desarrollada estimula el trabajo en diferentes disciplinas y el profesor es un proveedor o tutor de aprendizaje.

Los objetivos que busca este método son promover al alumno la responsabilidad de su propio aprendizaje, desarrollar habilidades para las relaciones interpersonales, involucrar al alumno en un reto (desarrollo de un problema de la vida cotidiana) con iniciativa y entusiasmo, desarrollar el razonamiento eficaz y creativo etc.

Este tipo de metodología de aprendizaje ofrece a los alumnos la posibilidad de desarrollar conocimientos de manera práctica, creando habilidades de autoaprendizaje, interpersonales y trabajo en equipo, lo cual permite que el estudiante sea competitivo a la hora de resolver problemas en el ámbito profesional.

1.1.2 ESTRUCTURACIÓN DIDÁCTICA DEL ABP

El proceso de organización de toda técnica didáctica implica la existencia de condiciones para su operación las cuales serán mencionadas a continuación:

- Cambiar la forma de llevar el método enseñanza al aprendizaje para evitar que los alumnos sean simple receptores pasivos de información.
- Estimular en los alumnos la aplicación de conocimientos adquiridos al desarrollo del problema planteado.

- Desarrollar en los alumnos pensamiento crítico, mentalidad de colaboración, habilidades en la solución de problemas al mismo tiempo que se formulan hipótesis las cuales conducen a la búsqueda de información que se puede lograr por medio de experimentos para llegar de esta forma a la mejor solución del problema que fue planteado.

1.1.2.1 Características de los Problemas en el ABP

- El problema debe despertar el interés en los alumnos de manera que sientan que se están enfrentando a una situación real, a la cual se pueden ver enfrentados en el momento de ejercer su carrera.
- El problema debe ser capaz de llevar al alumno a tomar decisiones respectó a la forma de investigación y por donde se debe empezar para dar solución al problema planteado.
- Los objetivos son el punto de partida para el desarrollo de problemas que lleven al cumplimiento de las metas planteadas.
- Los problemas deben estar planteados de tal forma que motiven al estudiante a una amplia búsqueda de información a través de todos los medios posibles y llevar esta información para que pueda ser discutida y analizada por el grupo de trabajo².

² Extraído de documentos y publicaciones del Tecnológico de Monterrey
<http://www.sistema.itesm.mx/va/dide/documentos/inf-doc/abp.htm>

El plan de trabajo debe contener como parte inicial la recopilación de información, siguiendo con un análisis exhaustivo que conlleve a un planteamiento de resultados y a lo largo del trabajo una constante retroalimentación para analizar la evolución del trabajo.

1.1.2.2 Evolución de un Grupo de Aprendizaje que Utiliza el ABP

Etapa de inicio. Los alumnos tiene cierta desconfianza y dificultad para entender y asumir el trabajo que se esta desarrollando; por lo tanto se puede observar resistencia a la inicialización de este. Se produce cierta dificultad en el momento de distinguir entre objetivos y el problema a desarrollar.

Segunda etapa. Los alumnos presentan cierto nivel de ansiedad, sienten que no avanzan y consideran que la metodología del ABP no tiene una estructura definida.

Tercera etapa. Los alumnos valoran su trabajo, toman conciencia de la posibilidad de hacerse responsables de su propio aprendizaje. Desarrollan la habilidad de discernir información.

Cuarta etapa. Seguridad y autosuficiencia en el grupo, congruencia entre actividades y objetivos. Intercambio fluido de información y efectiva resolución de los conflictos.

Quinta etapa. Etapa más productiva, los alumnos han entendido su forma de trabajo junto con la del tutor, han integrado la forma de trabajo a otras experiencias de trabajo grupal.

Los aportes de información por cada miembro del grupo deben ser validados y verificados por el tutor y por todos los miembros del grupo, de esta forma el alumno se da confianza en lo que investiga y puede proporcionar mejoría en sus resultados.

1.1.2.3 Actividades y Responsabilidades del Alumno y del Profesor

- Alumno

El alumno debe poseer las siguientes características o debe estar dispuesto a desarrollarlas y mejorarlas a lo largo del proceso: disposición para trabajar en grupo, tolerancia para enfrentarse a situaciones ambiguas, habilidades para la interacción personal tanto intelectual como emocional, habilidades de comunicación, ver su campo de estudio desde una perspectiva más amplia y finalmente debe desarrollar habilidades de pensamiento crítico, reflexivo, imaginativo y sensitivo.

La responsabilidad del alumno comienza desde una integración en torno al grupo con una actitud entusiasta en la solución de problemas; el aporte de información que se pueda conseguir por todos los medios de investigación posibles de manera que se tenga un aprovechamiento de todos los recursos. Aportar una visión crítica de la información obtenida, desarrollar la capacidad de compromiso para identificar los mecanismos básicos que puedan explicar cada aspecto importante de las situaciones planteadas; un aspecto importante en este método de aprendizaje y además en la vida cotidiana de todo ser humano es la apertura para aprender de los demás, compromiso para compartir el conocimiento, la experiencia o las habilidades para analizar y sintetizar información.

- Profesor

En el método de aprendizaje que se expone el profesor actúa como un tutor; en este sistema de enseñanza el tutor es el encargado de ayudar a los alumnos a reflexionar, identificar necesidades de información y motivar de esta forma a continuar con el trabajo, es decir, guiar a los alumnos para que puedan alcanzar las metas propuestas.

El tutor es un apoyo del alumno al cual se pueden remitir en caso de dudas; lo cual fomenta el análisis y la síntesis de la información además de la reflexión crítica para cada tema. De ahí que una de las habilidades básicas del tutor consiste en la elaboración de preguntas para facilitar el aprendizaje, resulta fundamental en esta metodología hacer las preguntas apropiadas en el momento adecuado ya que esto ayuda a mantener el interés del grupo y a que los alumnos recopilen información adecuada de manera precisa.

Se considera que el profesor debe tener conocimiento de la temática de la materia y de las distintas características que juegan dentro de la dinámica del ABP, el tutor debe tener en cuenta que el alumno es el principal responsable de su propia educación, brindando así asesorías individuales con los alumnos cuando se requiera, además como parte principal del aprendizaje se debe evaluar en el tiempo oportuno a los alumnos y estar en contacto oportuno con maestros y tutores del área con el fin de desarrollar paralelamente actividades de retroalimentación a lo largo del periodo de trabajo.

Algunas de las principales habilidades requeridas por el docente son: facilidad en el proceso de enseñanza – aprendizaje, desarrollo de preguntas que estimulen y reten a los alumnos en la búsqueda de información, suministrar a los alumnos

información adicional externa en caso de que sea necesario como también sugerir recursos apropiados para el trabajo y finalmente constatar la adquisición del aprendizaje y asegurarse de que el alumno reciba retroalimentación sobre su desarrollo y desempeño.

1.1.3 EVALUACIÓN EN EL ABP

La evaluación en este método de aprendizaje busca que además de evaluar sea un instrumento más del proceso de aprendizaje de los alumnos, por esto la evaluación desarrollada en este método de aprendizaje debe darse según los resultados del aprendizaje de contenidos, de acuerdo al conocimiento que el alumno aporta al proceso de razonamiento grupal y a las iteraciones personales del alumno con los demás miembros del grupo.

Con el método de evaluación propuesto se busca que el alumno logre evaluarse a sí mismo, a sus compañeros y al tutor tanto en el proceso de trabajo en grupo como en los resultados propios. Todo esto que se plantea es con el propósito de promover en el alumno la retroalimentación de sus fortalezas y debilidades, de tal modo que pueda aprovechar las posibilidades y rectificar las deficiencias.

Un punto clave en este proceso de evaluación planteado es la retroalimentación que cabe volver a mencionar puesto que juega un papel fundamental, debe hacerse de manera regular y es una difícil y gran responsabilidad que debe tomar el tutor del curso; esta no debe tener un sentido positivo o negativo, más bien debe tener un propósito descriptivo, identificando y aprovechando todas las áreas de mejora posibles.

Durante el aprendizaje basado en problemas se deben tener en cuenta la evaluación en diferentes momentos del proceso en el alumno, por el tutor y los integrantes del grupo. Inicialmente el alumno se debe preparar para la sesión por lo que debe utilizar material de consulta previa al desarrollo de la actividad, aplicar los conocimientos antes vistos, demostrar iniciativa y curiosidad lo cual le da al docente la evidencia de su preparación para la sesión.

Finalmente una evaluación crítica, define y analiza el problema, en donde el alumno es el encargado de generar y probar hipótesis e identificar los objetivos del aprendizaje.

El ABP utiliza un sin número de formas de evaluación a continuación se describen alguna de ellas:

Examen escrito: estos pueden ser aplicados a libro abierto o cerrado, en donde las preguntas deben ser diseñadas para garantizar la transferencia de habilidades a problemas o temas similares.

Examen práctico: es una forma de garantizar que el estudiante es capaz de aplicar todo lo aprendido a lo largo de la clase.

Evaluación del compañero: se le proporciona al alumno una guía de categorías de evaluación que le ayuda al proceso de evaluación del compañero. Este proceso, también, enfatiza, el ambiente cooperativo del ABP.

Auto evaluación: permite al alumno pensar cuidadosamente acerca de lo que sabe, de lo que necesita saber para cumplir determinadas tareas este es un proceso que el alumno debe estar desarrollando en cada uno de los momentos de este proceso.

Evaluación al tutor: es una retroalimentación al tutor acerca de la manera en que participo con el grupo. Puede ser dada por el grupo o por un observador externo.

Presentación oral: el ABP proporciona a los alumnos una oportunidad para Practicar sus habilidades de comunicación. Las presentaciones orales son el medio por el cual se pueden observar estas habilidades.

Reporte escrito: permite a los alumnos desarrollar todo tipo de destrezas que están involucradas en el desarrollo de un reporte como este.

1.1.4 EL MÉTODO DE PROYECTOS

Los conceptos son entendidos a través de las consecuencias observables y el aprendizaje implica el contacto directo con las cosas, por esto este tipo de metodología tiende a que los alumnos apliquen en proyectos reales, las habilidades y conocimientos adquiridos en el aula de clase.

La metodología de proyectos lleva a los alumnos a desarrollar habilidades mas fuertes y desarrollar algunas nuevas, además de motivar al estudiante a tener sentimientos de responsabilidad y esfuerzo, con el único fin de solucionar problemas hacen y depuran preguntas, debaten ideas, hacen predicciones, diseñan planes o experimentos, recolectan y analizan datos para finalmente establecer conclusiones que a su vez comunican a otros.

El método de proyectos puede ser definido como un conjunto de experiencias que involucran a los estudiantes en el mundo real, el cual requiere el manejo, por parte de los estudiantes, de muchas fuentes de información y disciplinas para tener la capacidad de desarrollar habilidades y aplicar conocimientos en un proceso autónomo e inherente de aprendizaje que en el caso de llevarse a cabo fuera del

aula de clase se interactúa con la comunidad enriqueciéndose todos por dicha relación.

El trabajar con una metodología de aprendizaje como la que estamos estudiando puede cambiar desde las relaciones entre los docentes y los estudiantes hasta reducir la competencia entre alumnos, además al poner una situación problemática real, se favorece un aprendizaje más vinculado con el mundo fuera de la universidad que permite adquirir un conocimiento más cercano.

Existen algunas técnicas que facilitan el manejo del método de proyectos:

- Un planteamiento que se basa en un problema real y que involucra distintas áreas.
- Oportunidades para que los estudiantes realicen investigaciones que les permitan aprender nuevos conceptos, aplicar la información y representar su conocimiento de diversas formas.
- Colaboración entre los estudiantes, maestros y otras personas involucradas con el fin de que el conocimiento sea compartido y distribuido entre los miembros de la “comunidad aprendizaje”.
- El uso de herramientas cognitivas y ambientes de aprendizaje que motiven al estudiante a representar sus ideas. Estas herramientas pueden ser laboratorios computacionales, aplicaciones gráficas y telecomunicaciones³.

El contenido que se maneja en este tipo de proyectos es fundamental puede ser presentado de manera realista, con un todo en vez de fragmentos o investigado a

³Extraído de documentos y publicaciones del Tecnológico de Monterrey
<http://www.sistema.itesm.mx/va/dide/documentos/inf-doc/proyectos.html>

profundidad, lo cual permite a los alumnos formar sus propias representaciones de tópicos y cuestiones complejas, determinar aspectos del contenido que encajan con sus propias habilidades e intereses, trabajar en temas de actualidad que son relevantes y de interés local y delinear el contenido con su experiencia diaria.

1.1.4.1 Cómo se Organiza el Método de Proyectos

La planeación mostrada a continuación no es la única que existe, hay diferentes formas de planear proyectos, pero se considera la utilizada en el "Buck Institute for Education".

Pasos para planear un proyecto:

Antes de la planeación de un proyecto. Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: duración, complejidad, tecnología, alcance, apoyo y el nivel de autonomía que el docente decida darle al alumno en un proyecto determinado.

Metas. Inicialmente en el proyecto se deben definir las metas u objetivos que es el punto de partida para llevar el proceso de aprendizaje de principio a fin, teniendo en cuenta que estas metas pueden ser tan amplias como para abarcar un semestre completo, o tan específicas como para ir desarrollando tema por tema durante el periodo académico.

Resultados esperados en los alumnos. Es necesario identificar los objetivos específicos de aprendizaje de los alumnos, para identificar los conocimientos y habilidades que ellos poseen.

Preguntas guía. Las preguntas guía proporcionan al alumno un camino para llevar su proyecto, dar coherencia a la poca o ninguna estructura de los problemas o actividades a las que se enfrentan. Al desarrollar este tipo de preguntas es

necesario tomar en cuenta que las preguntas deben ser provocativas, desarrollar altos niveles de pensamiento, promover un mayor conocimiento de la materia y deben ser realizables tomando en cuenta las habilidades y conocimientos de los alumnos.

Subpreguntas y actividades potenciales. Después de hacer las preguntas guía se debe hacer una lista con todas las subpreguntas y actividades potenciales derivadas de ellas. Las subpreguntas deben ser respondidas antes que la pregunta guía sea resuelta, las actividades potenciales definen lo que los estudiantes deben hacer en la búsqueda de la respuesta a la pregunta guía.

Actividades de aprendizaje. Son actividades las cuales llevan a los alumnos a profundizar en los contenidos de conocimiento y desarrollar habilidades de frente a las necesidades del proyecto, ya que requieren del alumno la transformación, análisis y evaluación de la información y las ideas para buscar la solución a la situación.

Apoyo institucional. Es una forma de guiar el aprendizaje de los alumnos para facilitar un exitoso desarrollo del proyecto, pueden ser consultas planeadas por parte del alumno y el docente o encuentros imprevistos.

El ambiente de aprendizaje. Crear y mejorar los ambientes de aprendizaje es una estrategia que los profesores pueden utilizar para elevar el interés de los alumnos por el proyecto, llevando este más allá del salón de clases, cambiando el aspecto del aula, asegurando que cada integrante del equipo participe activamente en este proceso y definiendo heterogéneamente los grupos.

Identificación de recursos. Entre los recursos de información se encuentran los libros, la gente y el Internet; las herramientas tecnológicas pueden ser computadoras, cámaras y impresoras que son los suministros necesarios para que

los alumnos logren desarrollar el proyecto. Se debe tomar en cuenta que algunos de los recursos tecnológicos pueden ser un arma de doble filo al distraer a los alumnos de los aspectos centrales del proyecto; por lo que estos recursos deben ser seleccionados con la intención de incrementar la fuerza del proyecto.

1.1.4.2 Actividades y Responsabilidades del Alumno y del Profesor en el Método de Proyectos

- Alumno

El método de proyectos esta centrado en el alumno y su aprendizaje por lo que es necesario que el se sienta motivado, dirija por si mismo las actividades de aprendizaje, se convierta en un descubridor, integrador y presentador de ideas al mismo tiempo que se muestre comunicativo, afectuoso, productivo y responsable que utilice la tecnología para manejar sus presentaciones o ampliar sus capacidades. Al encontrar obstáculos, busque recursos y resuelva problemas para enfrentarse a los retos que se le presentan esto lo lleva a adquirir nuevas habilidades y desarrollar las que ya tiene; generando así resultados intelectualmente complejos que demuestren su aprendizaje.

Finalmente es de vital importancia mencionar que el método de proyectos puede darles a los estudiantes una experiencia de aprendizaje mas enriquecedora y autentica que otros modos de aprendizaje por que esta experiencia ocurre en un contexto social donde la interdependencia y la cooperación son cruciales para hacer las cosas.

- Profesor

La función del profesor en esta metodología de aprendizaje es muy distinta a la que ejercía en la enseñanza tradicional puesto que el alumno es el encargado de su propio aprendizaje; mientras el docente esta monitoreando y observando que funcione y que no para proveer los recursos necesarios para dar solución a los inconvenientes presentados.

El profesor no necesita saber todo acerca del tema antes de empezar a trabajar con el grupo, pues puede influir en el deseo por aprender y tomar riesgos de sus alumnos para poder verse a sí mismo parte de ese grupo de aprendizaje.

Uno de los retos más grandes a los que están enfrentados tanto docentes como estudiantes, es desaprender las metodologías tradicionales del estudiante como receptor y el profesor como proveedor de conocimiento. Saber cuándo meterse y cuándo dejar que los estudiantes trabajen las cosas por sí mismos lleva a tomar una nueva responsabilidad. Lo más relevante del método de proyectos es que cada participante sea visto como un alumno y como un profesor. Este método requiere que el profesor esté muy atento e involucrado. Es responsabilidad del profesor asegurarse de que el programa y las habilidades apropiadas estén contenidos en el proyecto.

1.1.4.3 Aprendizajes que Fomenta el Uso del Método de Proyectos

Con este tipo de metodologías se hace propicio que los estudiantes además de aprender, adquieran y desarrollen un sin número de actitudes como son: solución de problemas, amor por aprender, responsabilidad, debatir ideas, diseñar planes o experimentos, recolectar y analizar datos, establecer conclusiones, manejo de muchas fuentes de información y disciplinas etc. Lo cual ayuda al estudiante a

crearse como un buen profesional en cualquier disciplina o circunstancia que se le pueda presentar.

1.1.4.4 La Evaluación en el Método de Proyectos

Evaluar se refiere al proceso de emitir juicios respecto al logro de las metas y objetivos de un proyecto. El Buck Institute for Education señala que en el método de proyectos son importantes dos tipos de evaluación: la evaluación de resultados de los estudiantes y la evaluación de la efectividad del proyecto en general.

- Evaluación de los aprendizajes de los alumnos

Para este tipo de evaluación se deben tener en cuenta aspectos como el desempeño, los resultados, pruebas y exámenes y el reporte de auto evaluación.

La presentación de avances del proyecto le permite al profesor tener diversos elementos para evaluar el desarrollo del mismo, por esto es recomendable que los proyectos tengan una o mas presentaciones publicas para evaluar los resultados relacionados con el trabajo, lo que permite a los estudiantes demostrar su progreso y recibir retroalimentación de sus demás compañeros.

- Evaluación de los proyectos

Los proyectos tienen una tendencia a tomar su propio rumbo, por eso es importante evaluarlos de acuerdo con la efectividad del proyecto conforme se desarrolla, así como cuando es terminado.

Para dar una evaluación correcta acerca del progreso del proyecto el profesor puede pedir a los lideres de grupo reportes informales del progreso de grupo,

entrevistar a los estudiantes, monitorear tanto el trabajo individual como el de grupo, sentarse a discutir los avances del proyecto con el grupo y dirigir sesiones de información al término de actividades.

El monitoreo de los avances del proyecto puede servir para detectar problemas, cambiar de estrategias y revisar los logros obtenidos por el grupo. Estos pueden ser problemas para entender como realizar las actividades del proyecto, logros en el progreso de los estudiantes, motivación/participación de estudiantes y grupos, logros inesperados, nuevas estrategias establecidas y necesidades de los estudiantes de recursos específicos o apoyo institucional.

2 REDES INDUSTRIALES

2.1 INTRODUCCIÓN

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción. El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional bucle de corriente de 4-20mA. Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y sensores. Cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, que lo convierte en un dispositivo inteligente, manteniendo siempre un costo bajo. Cada uno de estos elementos es capaz de ejecutar funciones simples de diagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus.

El objetivo de reemplazar los sistemas de control centralizados por redes de control distribuido mediante el cual permita mejorar la calidad del producto, reducir los costos y mejorar la eficiencia. Para ello se basa en que la información que envían y/o reciben los dispositivos de campo es digital, lo que resulta mucho más preciso que si se recurre a métodos analógicos. Además, cada dispositivo de campo es un dispositivo inteligente y puede llevar a cabo funciones propias de control, mantenimiento y diagnóstico. De esta forma, cada nodo de la red puede informar en caso de fallo del dispositivo asociado, y en general sobre cualquier anomalía asociada al dispositivo. Esta monitorización permite aumentar la eficiencia del sistema y reducir la cantidad de horas de mantenimiento necesarias.

2.1.1 VENTAJAS DE LOS BUSES DE CAMPO

La principal ventaja que ofrecen los buses de campo, y la que los hace más atractivos a los usuarios finales, es la reducción de costos. El ahorro proviene fundamentalmente de tres fuentes: ahorro en costo de instalación, ahorro en el costo de mantenimiento y ahorros derivados de la mejora del funcionamiento del sistema. Una de las principales características de los buses de campo es su significativa reducción en el cableado necesario para el control de una instalación. Cada componente sólo requiere un cable para la conexión de los diversos nodos. Se estima que puede ofrecer una reducción de 5 a 1 en los costos de cableado. En comparación con otros tipos de redes, dispone de herramientas de administración del bus que permiten la reducción del número de horas necesarias para la instalación y puesta en marcha.

El hecho de que los buses de campo sean más sencillos que otras redes de uso industrial, hace que las necesidades de mantenimiento de la red sean menores, de modo que la fiabilidad del sistema a largo plazo aumenta. Además, los buses de campo permiten a los operadores monitorizar todos los dispositivos que integran el sistema e interpretar fácilmente las interacciones entre ellos. De esta forma, la detección de las fuentes de problemas en la planta y su corrección resulta mucho más sencilla, reduciendo los costos de mantenimiento y el tiempo de parada de la planta.

Los buses de campo ofrecen mayor flexibilidad al usuario en el diseño del sistema. Algunos algoritmos y procedimientos de control que con sistemas de comunicación tradicionales debían incluirse en los propios algoritmos de control, radican ahora en los propios dispositivos de campo, simplificando el sistema de control y sus posibles ampliaciones.

También hay que tener en cuenta que las prestaciones del sistema mejoran con el uso de la tecnología de los buses de campo debido a la simplificación en la forma de obtener información de la planta desde los distintos sensores. Las mediciones de los distintos elementos de la red están disponibles para todos los demás dispositivos. La simplificación en la obtención de datos permitirá el diseño de sistemas de control más eficientes.

Con la tecnología de los buses de campo, se permite la comunicación bidireccional entre los dispositivos de campo y los sistemas de control, pero también entre los propios dispositivos de campo.

Otra ventaja de los buses de campo es que sólo incluyen 3 capas (Física, Enlace y Aplicación), y un conjunto de servicios de administración. El usuario no tiene que preocuparse de las capas de enlace o de aplicación. Sólo necesita saber cual es funcionalidad. Al usuario sólo se le exige tener un conocimiento mínimo de los servicios de administración de la red, ya que parte de la información generada por dichos servicios puede ser necesaria para la reparación de averías en el sistema. De hecho, prácticamente, el usuario sólo debe preocuparse de la capa física y la capa de usuario.

2.1.2 BUSES DE CAMPO EXISTENTES

Debido a la falta de estándares, diferentes compañías han desarrollado diferentes soluciones, cada una de ellas con diferentes prestaciones y campos de aplicación. En una primera clasificación tenemos los siguientes grupos:

2.1.2.1 Buses de Alta Velocidad y Baja Funcionalidad

Están diseñados para integrar dispositivos simples como finales de carrera, fotocélulas, relés y actuadores simples, funcionando en aplicaciones de tiempo real, y agrupados en una pequeña zona de la planta, típicamente una máquina. Básicamente comprenden las capas física y de enlace del modelo OSI, es decir, señales físicas y patrones de bits de las tramas. Algunos ejemplos son:

- CAN: Diseñado originalmente para su aplicación en vehículos.
- SDS: Bus para la integración de sensores y actuadores, basado en CAN
- ASI: Bus serie diseñado por Siemens para la integración de sensores y actuadores.

2.1.2.2 Buses de Alta Velocidad y Funcionalidad Media

Se basan en el diseño de una capa de enlace para el envío eficiente de bloques de datos de tamaño medio. Estos mensajes permiten que el dispositivo tenga mayor funcionalidad de modo que permite incluir aspectos como la configuración, calibración o programación del dispositivo. Son buses capaces de controlar dispositivos de campo complejos, de forma eficiente y a bajo costo. Normalmente incluyen la especificación completa de la capa de aplicación, lo que significa que se dispone de funciones utilizables desde programas basados en PCs para acceder, cambiar y controlar los diversos dispositivos que constituyen el sistema. Algunos incluyen funciones estándar para distintos tipos de dispositivos (perfiles) que facilitan la inter-operabilidad de dispositivos de distintos fabricantes. Algunos ejemplos son:

- DeviceNet: Desarrollado por Allen-Bradley, utiliza como base el bus CAN, e incorpora una capa de aplicación orientada a objetos.
- LONWorks: Red desarrollada por Echelon.
- BitBus: Red desarrollada por INTEL.
- DIN MessBus: Estándar alemán de bus de instrumentación, basado en comunicación RS-232.
- InterBus-S: Bus de campo alemán de uso común en aplicaciones medias.

2.1.2.3 Buses de Alta Prestación

Son capaces de soportar comunicaciones a nivel de todos los niveles de la producción. Aunque se basan en buses de alta velocidad, algunos presentan problemas debido a la sobrecarga necesaria para alcanzar las características funcionales y de seguridad que se les exigen. La capa de aplicación tiene un gran número de servicios a la capa de usuario, habitualmente un subconjunto del estándar MMS (Manufacturing Message Specification). Entre sus características incluyen:

- Redes multi-maestro con redundancia.
- Comunicación maestro-esclavo según el esquema pregunta-respuesta.
- Recuperación de datos desde el esclavo con un límite máximo de tiempo
- Capacidad de direccionamiento unicast, multicast y broadcast,
- Petición de servicios a los esclavos basada en eventos.
- Comunicación de variables y bloques de datos orientada a objetos.
- Descarga y ejecución remota de programas.
- Altos niveles de seguridad de la red, opcionalmente con procedimientos de autenticación.

- Conjunto completo de funciones de administración de la red.

Algunos ejemplos son:

- Profibus
- WorldFIP
- Fieldbus Foundation

2.1.2.4 Buses para Áreas de Seguridad Intrínseca

Incluyen modificaciones en la capa física para cumplir con los requisitos específicos de seguridad intrínseca en ambientes con atmósferas explosivas. La seguridad intrínseca es un tipo de protección por la que el componente en cuestión no tiene posibilidad de provocar una explosión en la atmósfera circundante. Un circuito eléctrico o una parte de un circuito tienen seguridad intrínseca, cuando alguna chispa o efecto térmico en este circuito producidos en las condiciones de prueba establecidas por un estándar (dentro del cual figuran las condiciones de operación normal y de fallo específicas) no puede ocasionar una ignición. Algunos ejemplos son HART, Profibus PA o WorldFIP, Fieldbus Foundation.

2.1.3 ALGUNOS BUSES ESTANDARIZADOS

2.1.3.1 PROFIBUS

Profibus se desarrolló bajo un proyecto financiado por el gobierno alemán. Está normalizado en Alemania por DIN E 19245 y en Europa por EN 50170. El desarrollo y posterior comercialización ha contado con el apoyo de importantes

fabricantes como ABB, AEG, Siemens, Klöckner-Moeller, ... Está controlado por la PNO (Profibus User Organisation) y la PTO (Profibus Trade Organisation).

Existen tres perfiles:

- Profibus DP (Decentralized Periphery). Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLCS) o terminales.
- Profibus PA (Process Automation). Para control de proceso y cumpliendo normas especiales de seguridad para la industria química (IEC 11158-2, seguridad intrínseca).
- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification). Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización. La evolución de Profibus hacia la utilización de protocolos TCP/IP para enlace al nivel de proceso hace que este perfil esté perdiendo importancia.

Utiliza diferentes capas físicas. La más importante, en PROFIBUS DP, está basada en EIA RS-485. Profibus PA utiliza la norma IEC 11158-2 (norma de comunicación síncrona entre sensores de campo que utiliza modulación sobre la propia línea de alimentación de los dispositivos y puede utilizar los antiguos cableados de instrumentación 4-20 mA) y para el nivel de proceso se tiende a la utilización de Ethernet. También se contempla la utilización de enlaces de fibra óptica. Existen puentes para enlace entre diferentes medios, además de gateways que permiten el enlace entre perfiles y con otros protocolos.

Se distingue entre dispositivos tipo maestro y dispositivos esclavo. El acceso al medio entre maestros se arbitra por paso de testigo, el acceso a los esclavos

desde un maestro es un proceso de interrogación cíclico. Se pueden configurar sistemas multimaestro o sistemas más simples maestro-esclavo.

En Profibus DP se distingue entre: maestro clase 1 (estaciones de monitorización y diagnóstico), maestro clase 2 (elementos centralizadores de información como PLCs, PCs, etc.), esclavo (sensores, actuadores).

El transporte en Profibus-DP se realiza por medio de tramas según IEC 870-5-1. La comunicación se realiza por medio de datagramas en modo broadcast o multicast. Se utiliza comunicación serie asíncrona.

Profibus DP prescinde de los niveles ISO 3 a 6 y la capa de aplicación ofrece una amplia gama de servicios de diagnóstico, seguridad, protecciones etc. Es una capa de aplicación relativamente compleja debido a la necesidad de mantener la integridad en el proceso de paso de testigo (un y sólo un testigo)

Profibus FMS es una compleja capa de aplicación que permite la gestión distribuida de procesos al nivel de relación entre células con posibilidad de acceso a objetos, ejecución remota de procesos etc. Los dispositivos se definen como dispositivos de campo virtuales, cada uno incluye un diccionario de objetos que enumera los objetos de comunicación. Los servicios disponibles son un subconjunto de los definidos en MMS (ISO 9506)

Las plataformas hardware utilizadas para soportar Profibus se basan en microprocesadores de 16 bits más procesadores de comunicaciones especializados o circuitos ASIC como el LSPM2 de Siemens. La PNO se encarga de comprobar y certificar el cumplimiento de las especificaciones PROFIBUS.

Entre sus perspectivas de futuro se encuentra la integración sobre la base de redes Ethernet al nivel de planta y la utilización de conceptos de tiempo real y filosofía productor-consumidor en la comunicación entre dispositivos de campo.

Las distancias potenciales de bus van de 100 m a 24 Km (con repetidores y fibra óptica). La velocidad de comunicación puede ir de 9600 bps a 12 Mbps. Utiliza mensajes de hasta 244 bytes de datos.

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

2.1.3.2 INTERBUS

Protocolo propietario, inicialmente, de la empresa Phoenix Contact GmbH, aunque posteriormente ha sido abierta su especificación. Normalizado bajo DIN 19258, norma europea EN 50 254. Fue introducido en el año 1984.

Utiliza una topología en anillo y comunicación mediante un registro de desplazamiento en cada nodo. Se pueden enlazar buses periféricos al principal. Capa física basada en RS-485. Cada dispositivo actúa como repetidor. Así se puede alcanzar una distancia entre nodos de 400 m para 500Kbps y una distancia total de 12 KM. Es posible utilizar también enlaces de fibra óptica.

Capa de transporte basada en una trama única que circula por el anillo (trama de suma)

La información de direccionamiento no se incluye en los mensajes, los datos se hacen circular por la red. Alta eficiencia. Para aplicaciones de pocos nodos y un pequeño conjunto de entradas/salidas por nodo, pocos buses pueden ser tan rápidos y eficientes como INTERBUS.

Físicamente tiene la impresión de seguir una topología en estrella, pero realmente cada nodo tiene un punto de entrada y otro de salida hacia el siguiente nodo.

Es muy sensible a corte completo de comunicación al abrirse el anillo en cualquiera de los nodos. Por otra parte, la estructura en anillo permite una fácil localización de fallos y diagnóstico.

Es muy apropiado para comunicación determinista a alta velocidad, es muy difícil una filosofía de comunicación orientada a eventos.

2.1.3.3 DEVICENET

Bus basado en CAN. Su capa física y capa de enlace se basan en ISO 11898, y en la especificación de Bosch 2.0. DeviceNet define una de las más sofisticadas capas de aplicaciones industriales sobre bus CAN.

DeviceNet fue desarrollado por Allen-Bradley a mediados de los noventa, posteriormente pasó a ser una especificación abierta soportada en la ODVA (Open DeviceNet Vendor Association), Cualquier fabricante puede asociarse a esta organización y obtener especificaciones, homologar productos, etc.

Es posible la conexión de hasta 64 nodos con velocidades de 125 Kbps a 500 Kbps en distancias de 100 a 500 m.

Utiliza una definición basada en orientación a objetos para modelar los servicios de comunicación y el comportamiento externo de los nodos. Define mensajes y conexiones para funcionamiento maestro-esclavo, interrogación cíclica, "strobing" o lanzamiento de interrogación general de dispositivos, mensajes espontáneos de cambio de estado, comunicación uno-uno, modelo productor-consumidor, carga y descarga de bloques de datos y ficheros etc.

DeviceNet ha conseguido una significativa cuota de mercado. Existen más de 300 productos homologados y se indica que el número de nodos instalados superaba los 300.000 en 1998, Está soportado por numerosos fabricantes: Allen-Bradley, ABB, Danfoss, Crouzet, Bosh, Control Techniques, Festo, Omron, .etc.

2.1.3.4 FIP- WORLD FIP

Desarrollado en Francia a finales de los ochenta y normalizado por EN 50170, que también cubre Profibus. Sus capas física y de aplicación son análogas a las de Foundation Fieldbus H1 y Profibus PA. La división Norteamérica de WorldFIP se unió a mediados de los noventa a la Fieldbus Foundation en el esfuerzo por la normalización de un bus industrial común.

Utiliza un modelo productor-consumidor con gestión de variables cíclicas, eventos y mensajes genéricos.

2.1.3.5 LONWORKS

La empresa Echelon, localizada en California, fue fundada en 1988. Comercializa el bus de campo LonWorks basado en el protocolo LonTalk y soportado sobre el NeuronChip. Alrededor de estas marcas ha construido toda una estructura de

productos y servicios, hábilmente comercializados, dirigidos al mercado del control distribuido en domótica, edificios inteligentes, control industrial etc. Asegura que varios miles de empresas trabajan con LonWorks, que cientos de empresas comercializan productos basados en su bus y que se han instalado millones de nodos.

El protocolo LonTalk cubre todas las capas OSI. El protocolo se soporta en hardware y firmware sobre el NeuronChip. Se trata de un microcontrolador que incluye el controlador de comunicaciones y toda una capa de firmware que, además de implementar el protocolo, ofrece una serie de servicios que permiten el desarrollo de aplicaciones en el lenguaje Neuron C, una variante de ANSI C. Motorola y Toshiba fabrican el NeuronChip, además Echelon ofrece la posibilidad de abrir la implementación de LonWorks a otros procesadores.

La red Lonworks ofrece una variada selección de medios físicos y topologías de red: par trenzado en bus, anillo y topología libre, fibra óptica, radio, transmisión sobre red eléctrica etc. El soporte más usual es par trenzado a 38 o 78 Kbps. Se ofrece una amplia gama de servicios de red que permiten la construcción de extensas arquitecturas con multitud de nodos, dominios y grupos, típicas de grandes edificios inteligentes.

El método de comparación de medio es acceso CSMA predictivo e incluye servicios de prioridad de mensajes.

Echelon ofrece herramientas de desarrollo, formación, documentación y soporte técnico. Echelon basa su negocio en la comercialización del bus, medios, herramientas y soporte,

2.1.3.6 SDS

SDS ("Smart Distributed System") es, junto con DeviceNet y CANOpen, uno de los buses de campo basados en CAN más extendidos. Fue desarrollado por el fabricante de sensores industriales Honeywell en 1989.

Se ha utilizado sobre todo en aplicaciones de sistemas de almacenamiento, empaquetado y clasificación automática. Se define una capa física que incluye alimentación de dispositivos en las conexiones. La capa de aplicación define autodiagnóstico de nodos, comunicación por eventos y prioridades de alta velocidad.

2.1.3.7 CANOPEN

Bus de campo basado en CAN. Fue el resultado de un proyecto de investigación financiado por la Comunidad Europea y se está extendiendo de forma importante entre fabricantes de maquinaria e integradores de célula de proceso. Está soportado por la organización CIA (CAN In Automation), organización de fabricantes y usuarios de CAN que también apoya DeviceNet, SDS etc. Al final de este trabajo se describirá con más detalle este bus, como ejemplo de bus de campo normalizado soportado sobre CAN.

2.1.3.8 MODBUS

En su definición inicial Modbus era una especificación de tramas, mensajes y funciones utilizada para la comunicación con los PLCs Modicon. Modbus puede implementarse sobre cualquier línea de comunicación serie y permite la

comunicación por medio de tramas binarias o ASCII con un proceso interrogación-respuesta simple. Debido a que fue incluido en los PLCs de la prestigiosa firma Modicon en 1979, ha resultado un estándar de facto para el enlace serie entre dispositivos industriales.

Modbus Plus define un completo bus de campo basado en técnica de paso de testigo. Se utiliza como soporte físico el par-trenzado o fibra óptica.

En la actualidad Modbus es soportado por el grupo de automatización Schneider (Telemecanique, Modicon,...).

2.1.3.9 ETHERNET INDUSTRIAL

La norma IEEE 802.3 basada en la red Ethernet de Xerox se ha convertido en el método más extendido para interconexión de computadores personales en redes de proceso de datos. En la actualidad se vive una auténtica revolución en cuanto a su desplazamiento hacia las redes industriales. Es indudable esa penetración. Diversos buses de campo establecidos como Profibus, Modbus etc. han adoptado Ethernet como la red apropiada para los niveles superiores. En todo caso se buscan soluciones a los principales inconvenientes de Ethernet como soporte para comunicaciones industriales:

Se han de aplicar normas especiales para conectores, blindajes, rangos de temperatura etc. La tarjeta adaptadora Ethernet empieza a encarecerse cuando se la dota de robustez para un entorno industrial

Parece difícil que Ethernet tenga futuro a nivel de sensor, aunque puede aplicarse en nodos que engloban conexiones múltiples de entrada-salida.

Como conclusión Ethernet está ocupando un área importante entre las opciones para redes industriales, pero parece aventurado afirmar, como se ha llegado a hacer, que pueda llegar a penetrar en los niveles bajos de la pirámide CIM.

2.1.3.10 ASI

AS-I (Actuator Sensor Interface) es un bus de campo desarrollado inicialmente por Siemens, para la interconexión de actuadores y sensores binarios. Actualmente está recogido por el estándar IEC TG 17B.

A nivel físico, la red puede adoptar cualquier tipo de topología: estructura en bus, en árbol, en estrella o en anillo. Permite la interconexión de un máximo de 31 esclavos. La longitud máxima de cada segmento es de 100 metros. Dispone de repetidores que permiten la unión de hasta tres segmentos, y de puentes hacia redes Profibus. Como medio físico de transmisión, emplea un único cable que permite tanto la transmisión de datos como la alimentación de los dispositivos conectados a la red. Su diseño evita errores de polaridad al conectar nuevos dispositivos a la red. La incorporación o eliminación de elementos de la red no requiere la modificación del cable.

El cable consta de dos hilos sin apantallamiento. Para lograr inmunidad al ruido, la transmisión se hace basándose en una codificación Manchester

Cada esclavo dispone de hasta 4 entradas/salidas, lo que hace que la red pueda controlar hasta 124 E/S digitales. La comunicación sigue un esquema maestro - esclavo, en la cual el maestro interroga a las estaciones enviándoles mensajes (llamados telegramas) de 14 bits y el esclavo responde con un mensaje de 7 bits.

La duración de cada ciclo pregunta respuesta es de 150 μ s. En cada ciclo de comunicación se deben consultar todos los esclavos, añadiendo dos ciclos extras para operaciones de administración del bus (detección de fallos). El resultado es un tiempo de ciclo máximo de 5ms.

2.1.3.11 BITBUS

Introducido por Intel a principios de los 80. Es un bus maestro-esclavo soportado sobre RS485 y normalizado en IEEE- 1118. Debido a su sencillez ha sido adoptado en redes de pequeños fabricantes o integradores. En su capa de aplicación se contempla la gestión de tareas distribuidas, es decir es, en cierto modo, un sistema multitarea distribuido. Existe una organización europea de soporte (Bitbus European User's Group).

2.1.3.12 ARCNET

Originalmente desarrollada como red para proceso de datos en los años '70 ARCNet ha encontrado aplicación en el mundo industrial. Su técnica de paso de testigo hace que sea predecible, determinista y robusta. Está normalizada como ANSI/ATA 878. 1. La velocidad de comunicación es de 2,5 Mbps con paquetes del 0 a 512 bytes. Soporta topología en bus y estrella y diversos medios físicos (cable coaxial, par trenzado, fibra óptica).

Es una red muy apropiada para un nivel intermedio en la jerarquía CIM. Algunos fabricantes proponen como jerarquía ideal para control industrial una basada en Ethernet en el nivel superior, ArcNET en el intermedio y CAN al nivel de celda de fabricación.

2.1.3.13 CONTROLNET

Bus de alta velocidad (5 Mbps) y distancia (hasta 5 Km), muy seguro y robusto promovido por Allen-Bradley. Utiliza cable RG6/U (utilizado en televisión por cable) y se basa en un controlador ASIC de Rockwell.

No es soportado por muchos fabricantes y resulta de elevado precio por nodo. Se ha utilizado para interconexión de redes de PLCs y computadores industriales en aplicaciones de alta velocidad y ambientes muy críticos.

2.1.3.14 HART

Es un protocolo para bus de campo soportado por la HART Communication Foundation y la Fieldbus Foundation, Su campo de aplicación básico es la comunicación digital sobre las líneas analógicas clásicas de los sistemas de instrumentación, manteniendo éstas en servicio. Sus prestaciones como bus de campo son reducidas.

Utiliza el bus analógico estándar 4-20 mA sobre el que transmite una señal digital modulada en frecuencia (modulación FSK 1200-2200 Hz). Transmite a 1200 bps manteniendo compatibilidad con la aplicación analógica inicial y sobre distancias de hasta 3 Km.

Normalmente funciona en modo maestro-esclavo.

2.1.3.15 Foundation Fieldbus

Un bus orientado sobre todo a la interconexión de dispositivos en industrias de procesos continuos. Su desarrollo ha sido apoyado por importantes fabricantes de

instrumentación (Fisher-Rosemount, Foxboro,...). En la actualidad existe una asociación de fabricantes que utilizan este bus, que gestiona el esfuerzo normalizador, la Fieldbus Foundation. Normalizado como ISA SP50, IEC-ISO 61158 (ISA es la asociación internacional de fabricantes de dispositivos de instrumentación de proceso).

En su nivel H1 (uno) de la capa física sigue la norma IEC 11158-2 para comunicación a 31,25 Kbps, es por tanto, compatible con Profibus PA, su principal contendiente. Presta especial atención a las versiones que cumplen normas de seguridad intrínseca para industrias de proceso en ambientes combustibles o explosivos. Se soporta sobre par trenzado y es posible la reutilización de los antiguos cableados de instrumentación analógica 4-20 mA. Se utiliza comunicación síncrona con codificación Manchester Bifase-L.

La capa de aplicación utiliza un protocolo sofisticado, orientado a objetos con múltiples formatos de mensaje. Distingue entre dispositivos con capacidad de arbitraje (Link Master) y normales. En cada momento un solo Link master arbitra el bus, puede ser sustituido por otro en caso de fallo. Utiliza diversos mensajes para gestionar comunicación por paso de testigo, comunicación cliente-servidor, modelo productor-consumidor etc. Existen servicios para configuración, gestión de diccionario de objetos en nodos, acceso a variables, eventos, carga descarga de ficheros y aplicaciones, ejecución de aplicaciones, etc. La codificación de mensajes se define según ASN.1

El nivel H2 (dos) está basado en Ethernet de alta velocidad (100 Mbps) y orientado al nivel de control de la red industrial.

2.1.4 GRAN VARIEDAD DE BUSES.

Ante la variedad de opciones existente, parece razonable pensar que fabricantes y usuarios hicieran un esfuerzo en la búsqueda de normativas comunes para la interconexión de sistemas industriales.

Lo que ha venido llamándose "la guerra de los buses" tiene que ver con la permanente confusión reinante en los entornos normalizadores en los que se debate la especificación del supuesto "bus de campo universal". Desde mediados de los años '80 la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC-CEI) y la Sociedad de Instrumentación Americana (ISA) ha sido escenario del supuesto esfuerzo de los fabricantes para lograr el establecimiento de una norma única de bus de campo de uso general.

En 1992 surgieron dos grupos, el ISP (Interoperable Systems Project) y WorldFIP cada uno promoviendo su propia versión del bus de campo. En el primer grupo estaban fabricantes como Siemens, Fisher-Rosemount, Foxboro y Yokogawa. En el segundo Allen-Bradley, HoneyWell, Square D y diversas empresas francesa. En 1994 ambos grupos se unieron en la Fieldbus Foundation. El debate se trasladó luego, y continua en la actualidad, a la conjunción de Fieldbus y el mundo Profibus.

Los años pasan, la norma del supuesto bus universal nunca se acaba de *generar* y en *el camino aparecen nuevas opciones* como CAN, LonWorks, Ethernet. Incluso el debate es confuso y totalmente incomprensible, otras empresas participantes en el debate generaban en paralelo soluciones propias, es el caso de Allen-Bradley con DeviceNet y HoneyWell con SDS.

La realidad es que sólo los usuarios están realmente interesados en la obtención de normas de uso general. Los fabricantes luchan por su cuota de mercado y, en

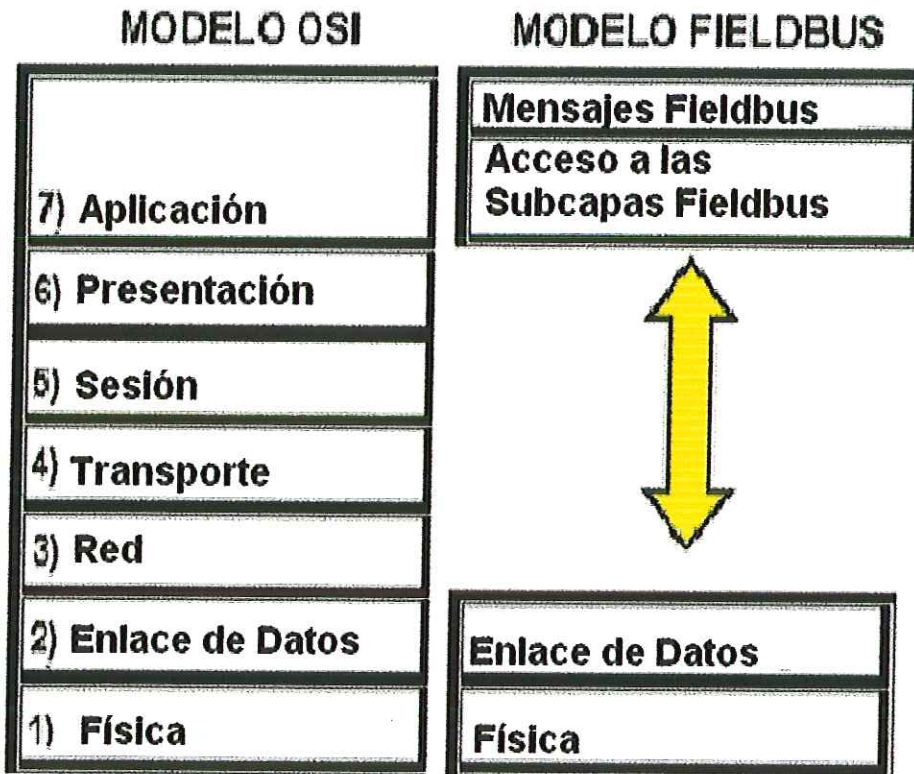
general, sólo están a favor de una norma cuando ésta recoge las características de su propia opción, lo cual es comprensible dadas las fuertes inversiones necesarias para el desarrollo de un bus industrial normalizado. El debate sigue abierto.

2.1.5 INTRODUCCIÓN A FOUNDATION FIELDBUS

2.1.5.1 Capas Físicas de Fieldbus Foundation

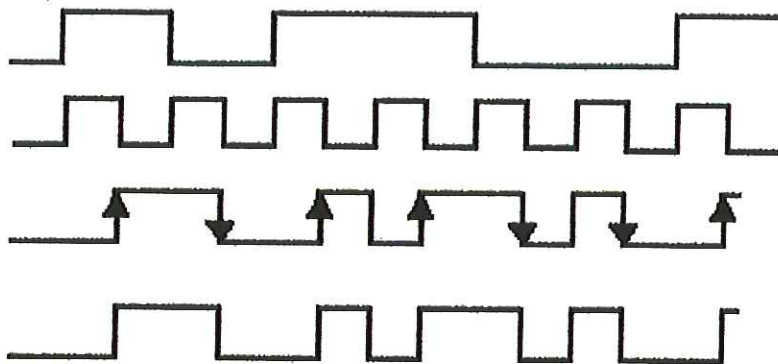
Como todos los protocolos de comunicación digital, FOUNDATION fieldbus es basado en ISO/OSI del modelo de las siete capas, de las cuales no incluye a todas, se ajusta a un modelo de capas superpuestas y que soportan los servicios cada vez más elaborados a medida que se asciende en su jerarquía. FOUNDATION fieldbus presenta un modelo conocido como colapsado, en el que son suprimidas las capas intermedias para conseguir una estructura simplificada.

FIGURA 1 Modelo OSI VS Modelo Fieldbus



Autores

FIGURA 2 Codificación Manchester



Autores

PRIMERA CAPA: más cercana al hardware, se conoce como física, y establece los accesos al medio y las tensiones digitales según el modelo Manchester Bit Level Encoding. Esta capa es fundamental para el proceso y aplicación de control.

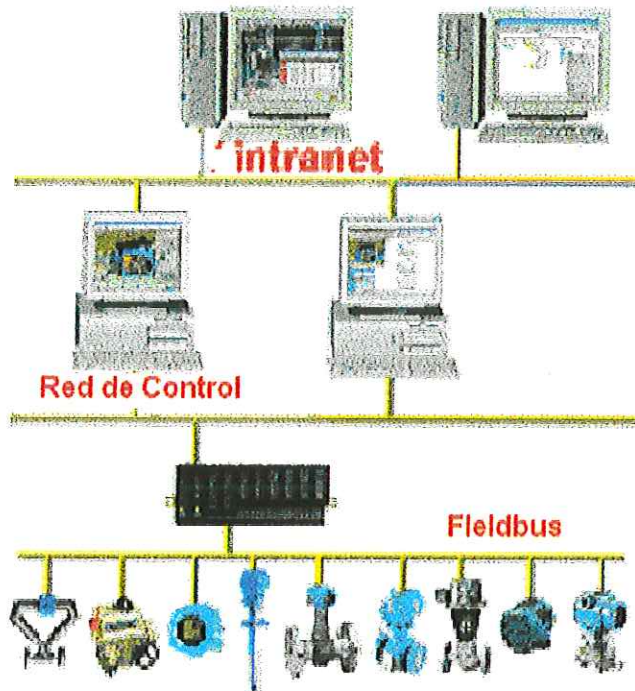
SEGUNDA CAPA: llamada Pila de Comunicación está compuesta por la de enlace de datos (DLL) que dispone de un planificador activo (LAS) que arbitra los accesos de los distintos nodos con distintos tipos de testigos o tokens: Compel Data (CD) para permitir el acceso de los nodos en actividades periódicas de actualización de variables de control, y Pass Token (PT) repartidos entre los nodos en los tiempos libres para permitir accesos no periódicos de consulta y respuesta. En la llamada Fieldbus Access Sublayer (FAS) se utiliza esta planificación para dar soporte a tres tipos de comunicación: Editor/Subscriber para las comunicaciones periódicas de control con nodos relacionados e interesados en los resultados de otros, Cliente/Servidor para servicios de consulta puntual no periódica, y una distribución de informes muy parecida al anterior y específica de tareas de supervisión. A continuación se presenta la capa de especificación de mensajes (FMS), en que aparece el concepto de dispositivo de campo virtual (VFD). Hay dos tipos de VFD: Uno relacionado con bloques funcionales y que da soporte a su configuración y conectividad, y otro relacionado con la gestión de sistema y que permite temporizar y priorizar la ejecución de los bloques y la comunicación entre ellos.

TERCERA CAPA: es lo más alto de esta jerarquía aparece la capa de Aplicación de Usuario que hace uso de estas herramientas (Control Studio y DeltaV Explorer), configurando estrategias de control que pueden involucrar diferentes nodos y dispositivos.

Que es FOUNDATION Fieldbus?

FOUNDATION Fieldbus es todo digital, serial, con sistema de comunicación bidireccional con una red de nivel básico, en una planta de ambiente automatizado.

FIGURA 3 Fieldbus y las Redes de Nivel Básico



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

Es ideal para aplicaciones de control básico y avanzado y también para control discreto que estén asociados con estas funciones.

Se han introducido dos aplicaciones relacionadas con FOUNDATION fieldbus para encontrar diferentes necesidades dentro del ambiente de automatización de proceso. Estas dos aplicaciones usan diferentes medios de comunicación físicos y velocidades de comunicación.

- H1 trabaja a 31.25 Kbit/seg y generalmente se conecta a los dispositivos de campo. Proporcionando una comunicación potente por encima de los estándares de cableado de par trenzado. H1 es actualmente la aplicación más común y es por consiguiente el enfoque de este manual.
- HSE (High-speed Ethernet) trabaja a 100Mbit/Seg y sus conexiones generalmente entradas y salidas de subsistemas host, gateways, y dispositivos de campo usando estándares de cableado de Ethernet. No proporciona mucha potencia debido a los estándares de cableado que utiliza

2.1.5.2 Ventaja de un Bus Digital

Los instrumentos de campo convencionales, análogos y discretos usan un cableado punto a punto, un par de cable por dispositivo.

Estos instrumentos convencionales también se limitan a llevar sólo un pedazo de información.

2.1.5.3 Interoperabilidad de Fieldbus

¿Puedo utilizar instrumentos fieldbus de diversos proveedores? La ventaja de tener un fieldbus interoperable está en utilizar productos del fieldbus de diversos proveedores y desempeñarse con las mismas características con las cuales fueron diseñados.

Que es interoperabilidad?

FOUNDATION FIELDBUS define interoperabilidad como "la capacidad de trabajar los dispositivos múltiples, de diferentes fabricantes, en el mismo sistema, sin la

pérdida de funcionalidad." Los dispositivos múltiples del término refieren a un sistema de productos del fieldbus que pueden incluir una mezcla de los dispositivos de campo tales como válvulas y transmisores, y de los sistemas de control. Existe la libertad para elegir la mejor tecnología para la tarea, sin importar cual fabricante diseña el producto. En los mismos medios del sistema dentro de la mezcla del equipo de control que funciona como una sola solución de la automatización. Hay, por supuesto, pautas para el número y el tipo de dispositivos que se deben combinar juntos dentro de los segmentos individuales de la red del fieldbus, sobre todo para los propósitos eléctricos e intrínsecos de seguridad.

Ser parte de una red interoperable no interfiere con las funciones del dispositivo.

La interoperabilidad es una de las ventajas de PlantWeb, característica dominante de la arquitectura de campo de Emerson Process Management.

La interoperabilidad entre los dispositivos de campo significa básicamente que los dispositivos de diversos fabricantes pueden trabajar juntos, enviando y recibiendo la información relacionada con su función específica en el proceso. FOUNDATION FIELDBUS ha establecido las pautas para la interoperabilidad entre los dispositivos de campo en un segmento del fieldbus.

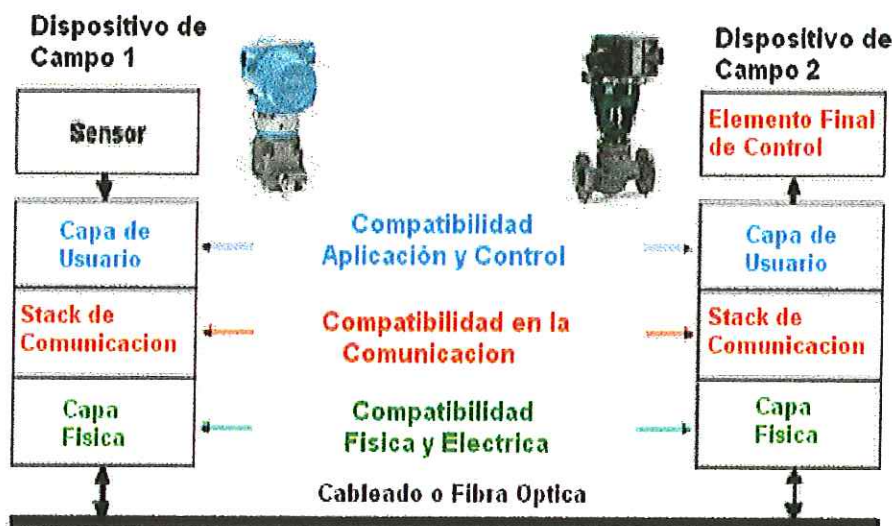
Estas pautas tratan diversos aspectos de la interoperabilidad del dispositivo tales como características físicas, comunicación, y funcionalidad del software.

- Esté físicamente y eléctricamente compatible con el segmento del fieldbus (según lo definido por la especificación de la capa física de ISA 50,02-2).
- Tener correctamente el modelo del proceso en ejecución de trabajo del bloque de la función, definido en la especificación de FOUNDATION FIELDBUS. Esto significa que los bloques de la función de un dispositivo deben interconectar y ser interoperable con los bloques de la función de

otros dispositivos en la red. La figura de abajo ilustra requisitos de la interoperabilidad.

Un sistema de prueba de interoperabilidad comprueba de manera constante y rigurosa de que todos los dispositivos se encuentren trabajando juntos.

FIGURA 4 Niveles de Interoperabilidad entre Instrumentos



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

FOUNDATION FIELDBUS ha establecido dos pruebas para este propósito:

- La prueba de la conformidad del apilado asegura de que las interfaces del dispositivo estén conectadas correctamente en el bus; es decir, las características y el acceso eléctrico del bus son acordes con la especificación del fieldbus.
- La prueba de la interoperabilidad del dispositivo se asegura de que los bloques de la función del dispositivo trabajen recíprocamente con otros

bloques y además proporciona un comportamiento exacto de la información.

Estas pruebas se realizan continuamente basadas en experiencias reales de campo. Esto significa que todos los dispositivos probados reciben la ventaja máxima de las características disponibles en FOUNDATION FIELDBUS. Cuando un dispositivo ha terminado con éxito estas pruebas de la interoperabilidad, se reconoce como dispositivo registrado y puede llevar la insignia del "checkmark" de la interoperabilidad de FOUNDATION FIELDBUS.

ADICIÓN DE BLOQUES. Un dispositivo se coloca en el sistema definido de bloques probados durante la prueba de la interoperabilidad de FOUNDATION FIELDBUS. Si un proveedor agrega bloques adicionales al mismo dispositivo, el dispositivo se puede reexaminar y registrar para los bloques adicionales. Alternativamente, el surtidor puede ofrecer los bloques como funcionalidad sin registrar. En algunos casos, ésta puede ser la única opción, ningún tipo de bloques de la función puede ser colocado a menos que dos surtidores ofrezcan el bloque en sus productos, y ambos productos pasan la interoperabilidad que prueba para ese tipo de bloque.

DIVERSAS CAPACIDADES. Considere que la prueba de la interoperabilidad determina la interoperabilidad, no funcionalidad. La operación interna de los algoritmos de control de un dispositivo es determinada por el fabricante. Los dispositivos registrados pueden trabajar eficientemente con uno en la red, pero exhiben diversos comportamientos debido a las características del algoritmo de control que varían.

2.1.5.4 Interoperabilidad en un Host System

En la mayoría de los casos, un Host system se utiliza para configurar los dispositivos del fieldbus, para instalar la estrategia del control, y para exhibir toda la información disponible de los dispositivos de campo.

El Host system puede también participar con los dispositivos de campo en el abastecimiento de control del proceso. Para hacer todo esto, el Host system debe tener acceso, utilizar, y exhibir datos de FOUNDATION FIELDBUS de todos los dispositivos implicados. La prueba de la interoperabilidad del Host system (HIST), consiste en 18 pruebas separadas. Aunque la prueba de campo-dispositivo es obligatoria, la prueba del Host system es opcional. Un Host no debe experimentar ninguna, algunas, o todas estas pruebas para demostrar su interoperabilidad para funciones específicas. Esto se debe a que el HIST no cubre las capacidades propietarias que los surtidores pueden agregar a sus productos. Sin embargo, es posible que un Host system tenga acceso a esas capacidades si el proveedor del dispositivo proporciona una descripción del dispositivo (DD) y si el Host incluye servicios de la DD para leerla.

En conclusión, el HIST se asegura de que el Host system sea un buen seguidor en el segmento del fieldbus, pero no que tendrá acceso, exhibir, o utilizar la información del dispositivo totalmente o con su mejor ventaja. Los Host system no se certifican realmente. Sin embargo, FOUNDATION Fieldbus enumera en la Web las pruebas que cada Host ha pasado. El sistema de DeltaV que es parte de la arquitectura de PlantWeb esta entre los primeros que se enumeran.

2.1.5.5 Confiabilidad y Redundancia

¿Puedo realmente poner todos esos dispositivos en un par de alambres?

Esta es a menudo la primera pregunta que se realiza acerca del fieldbus. Eso no está sorprendiendo. La primera vez que se utilizó el recurso de un par de alambres para comunicar dispositivos era desconfiable la operabilidad de este sistema pero los alambres son un factor de menor importancia en confiabilidad total. Con buenas prácticas del diseño y de la instalación, FOUNDATION Fieldbus ofrece ventajas significativas en confiabilidad total del sistema.

La preocupación principal con el cableado son los factores externos que afectan el cableado. Pocos alambres significan reparaciones más rápidas. Considere el daño si un acontecimiento físico afecta un paquete entero del alambre, esta catástrofe podría implicar los centenares, quizá muchos alambres separados. En el mundo digital del fieldbus, sin embargo, donde muchos dispositivos se pueden conectar con el mismo sistema de alambres, el mismo número de puntos de I/O en pocos alambres. El servicio sería interrumpido en cualquier caso. Y las reparaciones no serían muy frecuentes, además la comprobación del cableado es más rápida para cada par de alambre y cuanto más rápida es la reparación, más pronto será el avance de la producción.

Excepto por efectos externos, la confiabilidad del alambre es determinada por el alambre físico en sí y el alambre tiene el nivel más bajo de la complejidad del sistema y generalmente del porcentaje de averías. La confiabilidad del alambre se puede realzar por los procedimientos siguientes de la instalación y de mantenimiento que evitan poner en cortocircuito o poner el sistema a tierra accidental. Esas son las causas más comunes de las faltas del cableado. Se puede también realizar confiabilidad seleccionando el alambre, las rutas de cable,

y los conectadores que brindan medios expuestos del contacto físico con discontinuidades eléctricas.

La red total del fieldbus se divide en segmentos, cada uno de ellos se puede tratar como entidad separada, y se puede dirigir por separado. Si una tarjeta de interfaz H1 se conecta con más de un segmento, y podría afectar más de un segmento en el momento de una falla, entonces todos los segmentos unidos a esa tarjeta de interfaz se deben considerar en su totalidad.

La confiabilidad del segmento depende de varios factores por ejemplo

- Energía del segmento y acondicionadores de energía
- Adaptadores del segmento
- Varios conectores
- Los dispositivos de campo conectados al segmento

La amenaza más grande para la confiabilidad total del segmento es pérdida de energía, que afecta al segmento entero. Una forma para contradecir esta amenaza es energía redundante del segmento, viniendo de diversas fuentes.

Otra amenaza para dividir energía en segmentos implica factores eléctricos externos por ejemplo: Relámpagos, Tormentas solares, Ruido eléctrico. Las buenas prácticas de la instalación, la energía de reserva con los surtidores continuos de la energía (UPS's), y los supresores reducen al mínimo la interrupción de estos transeúntes eléctricos. La instalación apropiada puede también reducir las fallas en ocasiones cuando se pone la tierra de manera incorrecta, otra causa importante de los problemas de la confiabilidad.

La confiabilidad de un sistema depende de la confiabilidad de cada una de sus piezas. Entre menos piezas es más alta la confiabilidad potencial del sistema.

Fieldbus permite que el control del "sistema" tenga pocas piezas porque el control se puede realizar en el campo. Es decir, el control no tiene que encenderse con todas las terminaciones del Host system, tarjetas de entrada, reguladores, tarjetas de salida, esto disminuye el número de fallas. Con el control en el Host system, todas estas piezas deben trabajar correctamente para que el lazo de control trabaje. La falta de cualquiera de estos componentes en un sistema no-redundante causará falla del lazo. El número de los lazos afectados puede extenderse a partir de la 8-16 para una falla de la tarjeta de I/O o aún peor, si un regulador o la fuente de energía del regulador falla.

Cuánta redundancia debe tener la planta? ¿y cómo proporcionarla?

DEPENDE DE LA SITUACIÓN. Se basa en cosas como el tiempo entre fallas, disponibilidad de sistema y experiencia. También se basa en cómo los dispositivos, los lazos, y los procesos críticos particulares están permitiendo una operación segura y eficaz para la planta. Las opciones se extienden de medidas redundantes a las corrientes redundantes del proceso y todo el sistema en general. Los cinco asuntos siguientes describen algunas de estas opciones.

2.1.5.6 Redundancia del Transmisor

La redundancia del transmisor en un ambiente de fieldbus se pone en ejecución de la misma manera que en un ambiente tradicional, análogo. La diferencia primaria es que FOUNDATION Fieldbus proporciona la información adicional que mejora la confiabilidad de la medida.

Redundancia análoga del transmisor. Los esquemas redundantes del transmisor análogo requieren a menudo redundancia triple. Cuando dos de los transmisores

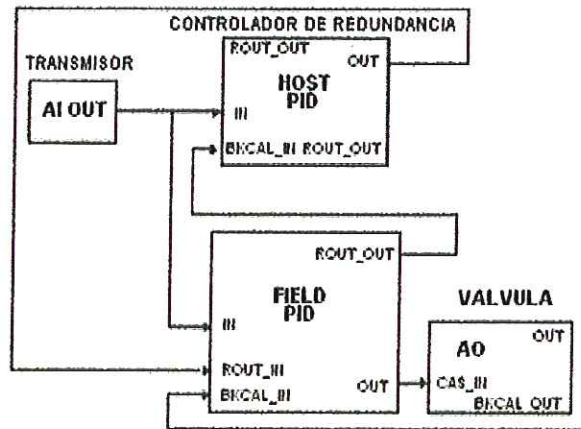
divulgan diversos valores, el valor del tercer transmisor "rompe el lazo." Las tres medidas se envían a un selector de la entrada el cual cambia la entrada que es enviada al PID. Algunas veces el operador recibe los tres valores y elige manualmente el valor que le parezca mas apto. El bloque del selector de la entrada de FOUNDATION Fieldbus disponible en algunos transmisores apoya un amplia gamma de los criterios de selección de la entrada (seleccionar alto, punto bajo, o valor medio) al calcular el promedio de las tres entradas, o eliminar la entrada con la desviación más grande de las otras. FOUNDATION Fieldbus identifica automáticamente si una medida es buena, mala, o incierta. Una lectura mala o incierta se puede eliminar antes de que el operador la tenga en cuenta.

Esta capacidad puede incluso eliminar la necesidad de la redundancia triple, puesto que el tercer dispositivo podría brindar una señal errónea. El H1 de FOUNDATION Fieldbus no apoya medios redundantes. Los transmisores redundantes están en los mismos alambres, o en diversos segmentos.

2.1.5.7 Redundancia de Válvula

La redundancia de la válvula en un ambiente del fieldbus se pone en ejecución de la misma manera que en un ambiente tradicional, análogo. La teoría es igual: dos válvulas son más confiables que una.

FIGURA 5 Esquema Confiable para Poner una Válvula Redundante



Autores

El esquema de redundancia más confiable es poner las válvulas redundantes en una tubería paralela del proceso. Pero las válvulas y tuberías dobles, origina un costo doble de la instalación.

Las válvulas son dispositivos mecánicos para ambientes ásperos y donde existe el común desgaste de las piezas móviles y por esto necesitan mantenimiento para evitar fallas en el proceso. Porque un regulador de válvula análogo no tiene ninguna manera de determinar la vida útil de la válvula, puede fallar sin la advertencia. La redundancia del control es el aspecto más importante de cualquier esquema de redundancia total porque los fallos del sistema de control típico de DCS y del PLC pueden afectar una gran cantidad de lazos. La pérdida del control del sistema, y la falla del equipo o la parada de la planta, pueden traer pérdidas de dinero. El método tradicional de proporcionar la redundancia del control implica en duplicar las artes del Host system, esto significaría mucho equipo adicional y por lo tanto costos adicionales.

Hoy en día, Fieldbus proporciona una alternativa de bajo costo a los esquemas de redundancia tradicional de control. Esto lo hace desplazando el lazo de control redundante desde el Host system a los dispositivos de campo. En este panorama, sigue habiendo el lazo primario de PID en el Host system mientras que el lazo de la reserva PID reside en un dispositivo de campo. El dispositivo de campo pasa simplemente el control del Host realizado a través de su propia salida. Si se pierde el Host, entonces la propia salida del dispositivo de campo asume el control.

Sin embargo, cuando se pierde el Host, el operador observa qué está sucediendo y lo puede controlar por un tiempo manualmente de la consola del sistema. Los datos no estarán disponibles para mostrar alarmas, registros y los historiadores del acontecimiento. También, el bloque de PID en un Host puede ofrecer las opciones de autotuning no disponibles en el bloque de la función de PID del dispositivo. Y aunque el control regulador se mantiene en los dispositivos de campo, se pierde el control avanzado residente del Host hasta que se reestablece la conexión. Se debe por lo tanto utilizar este acercamiento solamente si se tiene las capacidades necesarias para operar el sistema hasta que el Host este disponible otra vez. Hasta entonces, el dispositivo de campo puede mantener seguro y eficaz el control, esto con el fin de prevenir un trastorno del proceso o una parada no programada.

2.1.5.8 Opciones de Redundancia de Host

Según lo explicado, en el campo se proporcionará un control regulador del Host cuando se pierde la conexión de este. Pero no proporcionará visibilidad al operador, como las alarmas, o datos del historiador.

Muchas plantas tienen costumbres para la redundancia. Esto incluye con frecuencia comunicaciones, interfaz para el operador, la energía, reguladores, e I/O redundantes. Las prácticas específicas de la redundancia dependen de los requisitos del proceso. La redundancia FOUNDATION Fieldbus debe conformarse con estas prácticas. Tener las tarjetas de interfaz redundantes del Host H1 es una de las opciones de la redundancia. Aunque la especificación del fieldbus no requiere redundancia de la tarjeta de interfaz H1, una tarjeta de reserva H1 permitirá el acceso visual al operador del proceso si falla la primera tarjeta H1. También proporcionará la información del proceso necesaria para las funciones tales como sistemas de validación o de calidad, más el control avanzado interrumpido. Si la planta o proceso requiere estas cosas, las tarjetas redundantes H1 deben ser utilizadas. Otro criterio común es que I/O redundante está requerido si la modularidad de I/O excede cierto nivel -- por ejemplo, 8 puntos por tarjeta. Si las tarjetas redundantes H1 no están disponibles, la planta puede requerir que el cargamento de un segmento H1 esté reducido a un nivel debajo del mínimo requerido para la redundancia. Finalmente, si no hay dispositivo en el segmento se escoge un punto de acoplamiento, capaz de asumir el control de la función, las tarjetas de interfaz redundantes H1 pueden proporcionar esta capacidad.

2.1.5.9 Otras Opciones

Para la redundancia hemos cubierto los elementos principales del lazo de control transmisores, válvulas, y sistemas de control del Host. Ahora vamos a ver otras áreas de la arquitectura de la automatización que puede ser redundante.

BLOQUE DE ENCARGO DE LA REDUNDANCIA. Esta opción de software es un bloque de encargo de la función, reside en la válvula, diseñada específicamente para la redundancia. El bloque de la función de la válvula pasa una salida (Host)

del PID primario a la salida análoga de la válvula. Si el PID primario falla, la reserva PID (en la válvula) envía su salida al AO de la válvula.

AIRE REDUNDANTE Y ENERGÍA. Desde los actuadores, los transmisores, las válvulas, y los sistemas de control todos dependen del aire o la corriente eléctrica de funcionamiento, haciendo estas fuentes redundantes, o teniendo una reserva confiable, es una manera de mantener la seguridad de la planta. La redundancia de la energía de FOUNDATION Fieldbus incluye acondicionadores de energía redundantes al segmento. Este nivel de la redundancia de energía proporciona energía confiable incluso si ocurre un apagón.

MEDIOS REDUNDANTES (ALAMBRE). Según lo mencionado, el alambre en general es la parte más confiable de la arquitectura de control. La adición de un segmento de reserva de alambre puede tener sentido solamente si es parte de una corriente totalmente redundante con los instrumentos redundantes, las válvulas, la tubería del proceso, y los elementos del Host. Esto se pone a prueba teniendo un sistema de válvulas y de instrumentos en un segmento, y el segundo sistema en un segundo segmento. Cada dispositivo está conectado con solamente un segmento y un sistema de medios físicos. En este caso, debe existir un acoplamiento entre los dos segmentos para asegurar la información que se intercambia continuamente.

2.1.5.10 Seguridad Intrínseca

La seguridad intrínseca es manejada de la misma manera con fieldbus que con los dispositivos análogos

En el mundo análogo, la seguridad intrínseca se basa en prácticas bien conocidas.

- Cada entrada y salida tiene bornes separados.

- Los puntos intrínsecos seguros y los puntos convencionales están en hilos inductores separados.

En el mundo del fieldbus, la seguridad intrínseca trae algunas nuevas prácticas y nuevas ventajas.

- Varios dispositivos pueden estar en una sola barrera, y varias barreras pueden estar en un solo segmento del fieldbus.
- Los puntos intrínsecos seguros y los puntos convencionales pueden estar en el mismo segmento.

Los dispositivos y las barreras para las áreas intrínseco seguras se diseñan de modo que la energía suministrada por una avería eléctrica no perjudique de gran manera el sistema. El encendido es una función de energía, resuelta por voltaje y la corriente. Esto corresponde al máximo de corriente permisible en un segmento intrínseco seguro -- así como voltaje del segmento, la opción de barreras, y los dispositivos en cada barrera -- depende no solamente del tipo de atmósfera peligrosa en donde los dispositivos están situados, también en qué modelo intrínseco de seguridad se utiliza.

Para los fieldbuses, hay dos modelos:

- En uno de los modelos, el alambre se considera una fuente de energía almacenada. Este acercamiento conduce a una corriente de C.C. del máximo de 83 mA permitidos en el alambre y un voltaje máximo de 18,4 V. Este modelo es reconocido por todo el mundo.
- El concepto intrínseco seguro de Fieldbus o el modelo de FISCO considera los parámetros eléctricos del cableado distribuidos a lo largo de su longitud entera. Esto reduce la energía disponible en una avería, dando por resultado una corriente del máximo de 110 mA. Este modelo permite más

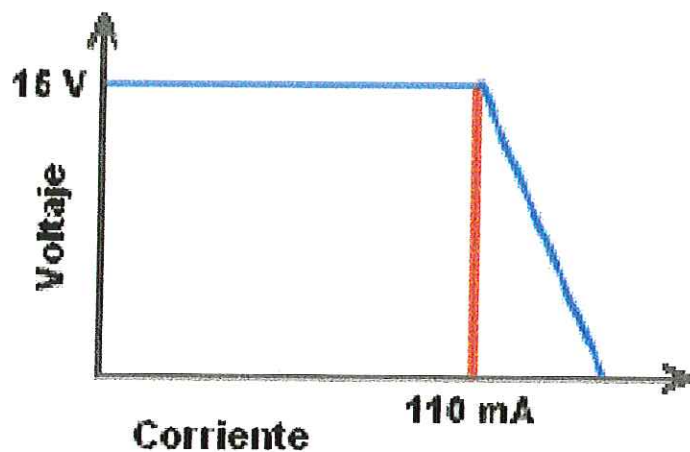
dispositivos en un par del alambre en un área peligrosa. FISCO no es un estándar mundial. Es, sin embargo, una de las especificaciones de FOUNDATION Fieldbus (perfil de la capa física).

Las barreras de seguridad intrínsecas se certifican en base de un modelo o del otro. Los dispositivos de campo se pueden certificar para ambos. A pesar de las diferencias entre los dos modelos, los conceptos básicos para diseñar un segmento intrínseco seguro son similares. Las secciones restantes de este curso describen esos conceptos usando el modelo de FISCO.

2.1.5.11 Curva de Ignición

Cada tipo de atmósfera requiere cierta energía mínima para el encendido. El diagrama de voltaje y de los puntos que proporcionan la energía está llamada la curva de ignición.

FIGURA 6 Curva de Ignición



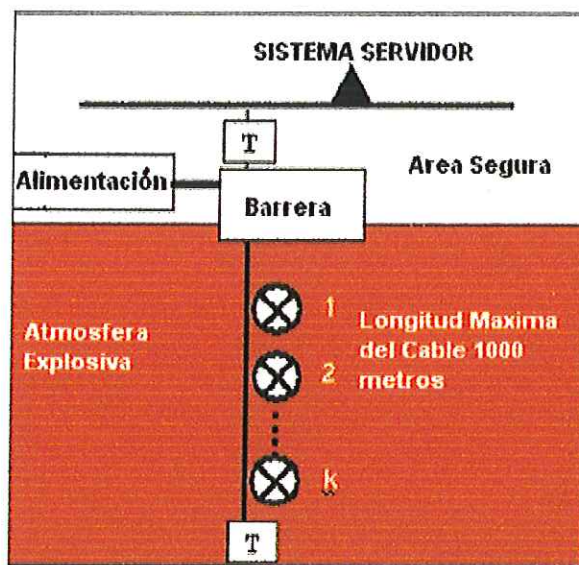
<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

En un segmento usando el modelo de FISCO, la corriente máxima permitida es 110 mA en un ambiente de clase IIC. Esto significa que la corriente actual para todos los dispositivos en esta barrera es de 110 mA.

2.1.5.12 Diseño de un Segmento Seguro Intrínseco

Para calcular cuántos dispositivos puede apoyar una sola barrera, se suma la corriente que necesita cada dispositivo puesto que cada tipo de dispositivo tiene una corriente diferente. Para el modelo de FISCO, la corriente total está por debajo de 110 mA para gases del grupo A y B, y debajo de 235 mA para gases del grupo C y D. Se debe considerar los parámetros eléctricos de cada dispositivo y estar debajo de las cantidades permitidas para la clasificación peligrosa del área.

FIGURA 7 Diagrama de Conexión de una Sola Barrera



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

En el ejemplo anterior del diagrama, una sola barrera se pone en un segmento entre el acondicionador de energía del segmento y los dispositivos de campo. Hay un adaptador en el área segura y en el área peligrosa.

Aquí están algunos cálculos del ejemplo para determinar el número de los dispositivos de campo permisibles en este ejemplo. Los datos siguientes son para propósitos de ilustración solamente y no reflejan el consumo real de dispositivos o de tipos de dispositivos específicos:

SUPERVISIÓN DE TEMPERATURA. Si un transmisor de temperatura utiliza 16 mA de corriente, un máximo de seis ($6 \times 16 = 96$) transmisores se podría poner en un ambiente peligroso en una sola bornera. Para los gases de la clase IIB, la corriente máxima es de 240 mA, permitiendo 15 dispositivos por barrera.

TEMPERATURA Y FLUJO TOTAL COMPENSADO DE PRESIÓN. En este caso, el transmisor de temperatura utiliza 16 mA, un transmisor de presión y uno DP trabaja con 20 mA cada uno, y una válvula de control utiliza 25 mA. Los cuatro de estos dispositivos se podrían poner en la misma barrera en un ambiente peligroso de la clase IIC ($16+20+20+25=81$).

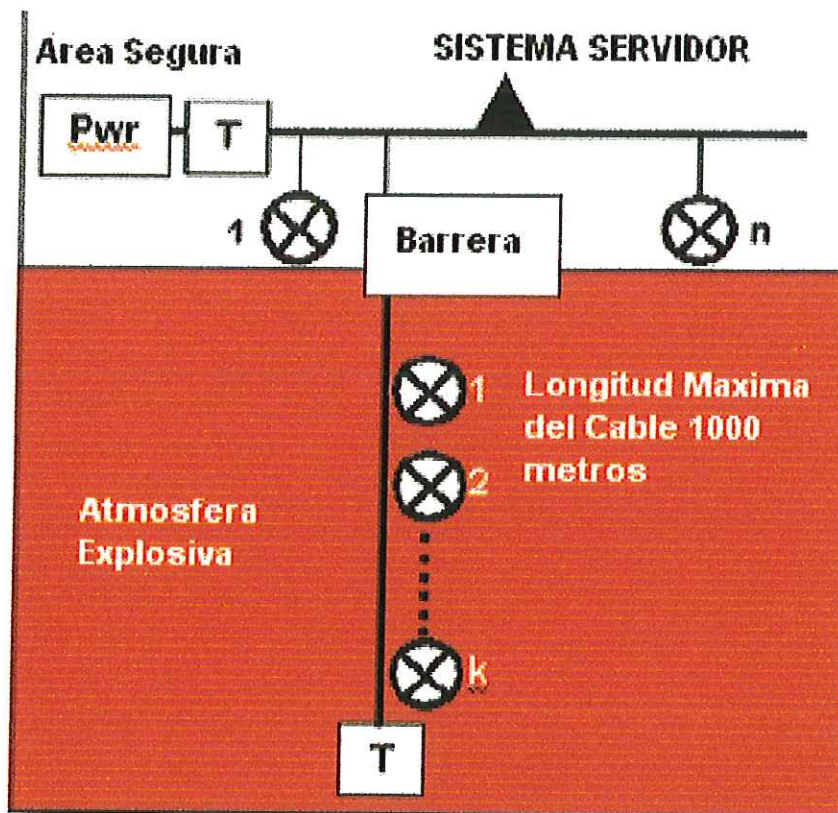
2.1.5.13 Combinando Áreas Seguras y Áreas Peligrosas.

En algunas ocasiones es deseable tener áreas seguras y peligrosas en el mismo segmento del fieldbus. Esto no es un problema mientras se siga las reglas ilustradas por el ejemplo siguiente.

En este ejemplo, hay n dispositivos en el área segura y k dispositivos en el área peligrosa. El número máximo de dispositivos en un segmento es 32. La experiencia demuestra que hasta 16 dispositivos son aceptables.

(k+n) debe ser menor o igual a 32 o 16, dependiendo del tipo de dispositivos que son utilizados. Además, k debe igualar el número total de dispositivos con un consumo de energía combinado de 110 mA o de menos (recuerde la curva de la ignición) con las barreras de seguridad de FISCO.

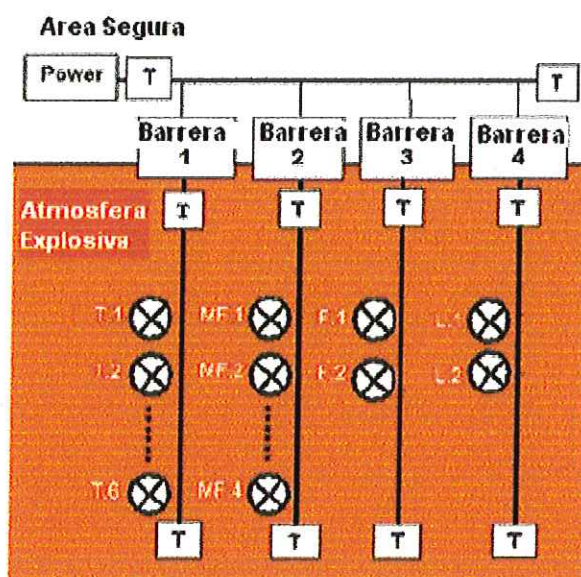
FIGURA 8 Combinando Áreas Seguras y Áreas Peligosas



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

2.1.5.14 Múltiples Barreras

FIGURA 9 Diseño en Forma de Múltiples Barreras



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

Puesto que FOUNDATION Fieldbus es un bus de la multi-drop, puede haber barreras múltiples en un segmento cada uno en un canal por separado. El estándar que aísla barreras tiende a torcer la señal del fieldbus. Si se utilizan más de dos barreras, es recomendable utilizar una barrera del tipo repetidor. La barrera del repetidor corrige la señal de nuevo a su forma original. El diagrama demuestra un ejemplo de una configuración de múltiple-barrera usando repetidores para un segmento del fieldbus. En el ejemplo, el proceso requiere seis medidas de temperatura, un lazo de flujo total, un lazo líquido de flujo, y un lazo de nivel.

Según lo demostrado, una solución posible es poner cada uno de los cuatro procesos en una barrera separada. En el diagrama hay diez adaptadores, dos en

cada barrera en el área peligrosa, y dos en el área segura. Esto es porque con las barreras galvanizadas la parte del segmento en el área segura, y cada drop en el área peligrosa, se considera los segmentos eléctricos separados. Cada segmento eléctrico debe tener un adaptador en cada extremo. Cada barrera acciona los dispositivos unidos a ella.

Nota: Cada uno de las cuatro barreras actúan también como repetidor. Hay actualmente un límite de cuatro barreras del repetidor por segmento.

LA VENTAJA DIGITAL. Una de las ventajas de los dispositivos de FOUNDATION Fieldbus es que, siendo digitales, pueden tener parámetros múltiples.

Como tal, el ejemplo anterior puede ser reajustado poniendo las seis medidas de la temperatura en un solo multiplexor de temperatura, así reduciendo el consumo de energía a partir de 96 mA a 22mA. Después, un metro de los 4 cables se puede sustituir para dos transmisores de presión y un transmisor de la temperatura, así reducción el consumo de energía, esto a partir de 56 mA a 10 mA. Es una buena idea tener todos los componentes asociados a un lazo en una sola barrera.

La corriente máxima para un segmento depende del tipo de capa física de cada dispositivo. FOUNDATION Fieldbus clasifica los dispositivos como uno a dos tipos dependiendo de si son auto-accionados o externamente accionados, y si su consumo es constante o variable:

- Los tipos de dispositivos de Capa física 111 y 112 tienen una corriente constante mientras transmiten y reciben.
- Los tipos de dispositivo de Capa Física 121 y 122 tienen una corriente diferente para recibir (más bajo) y transmitir (más arriba). La lista de FOUNDATION Fieldbus de los dispositivos registrados (disponibles en su website en www.fieldbus.org) demuestra el tipo de capa física para cada dispositivo.

2.1.5.15 Otras Consideraciones en Seguridad Intrínseca

Cualquier equipo en un lugar seguro de un ambiente intrínseco está conforme a reglas y a regulaciones.

UN DISPOSITIVO PUEDE HACER LA DIFERENCIAR. Una regla es que ningún equipo que suministra una sobre potencia de CC, CA o de 250 Vrms se puede conectar a cualquier parte del segmento seguro. Por ejemplo, si una pieza única del equipo en un segmento de la categoría IIC se clasifica como IIB, esto clasificaría a todo el sistema como IIB esto no brindaría seguridad a todo el sistema.

FUENTES DE ALIMENTACIÓN. Diversos tipos de fuentes de alimentación se pueden utilizar para la seguridad intrínseca. Un aislamiento galvánico de las aplicaciones de alimentación del tipo 133 proporciona un nominal de 80 mA al área peligrosa y puede conectarse directamente con los dispositivos en un área peligrosa. Una fuente del tipo 131 proporciona un nominal de 400 mA para el segmento. Una barrera de seguridad intrínseca Se debe utilizar entre una fuente de alimentación del tipo 131 y el área peligrosa.

2.1.6 TOPOLOGÍAS DE RED

¿Cómo conectar las piezas?

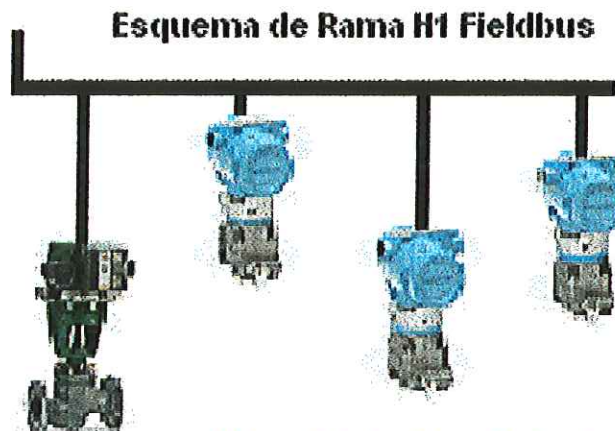
Con FOUNDATION Fieldbus se tiene una amplia gamma de opciones para construir una red que resuelva sus necesidades. Las opciones que se instala dependen de la localización de cada dispositivo, la cantidad de cableado que se desea utilizar en la nueva red, y la ubicación del cableado para el buen desempeño de la planta o proyecto.

2.1.6.1 Topología de Rama y Árbol

Una red de fieldbus se debe diseñar con la localización de los dispositivos del proyecto. Se debe tener en cuenta el cableado, el conducto, las cajas de ensambladura, los dispositivos del campo, y el equipo ya instalado. Algunos dispositivos serán situados solos y otros en grupos. El FOUNDATION Fieldbus acomoda situaciones a través de la red de rama y de árbol (también llamadas "topologías").

RAMA. Como su nombre lo dice, una rama es un solo "miembro" o estímulo del tronco principal de un segmento de fieldbus. Cuando se desístala algún dispositivo, la rama lo detecta ya que es súper sensible para este tipo de situaciones, esto es una forma de seguridad de este tipo de topología.

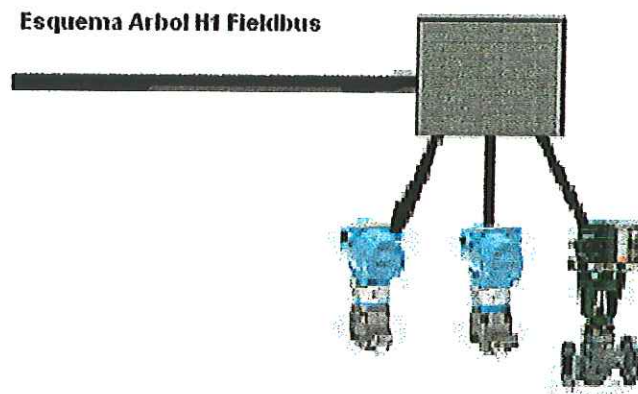
FIGURA 10 Esquema de Rama



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

ÁRBOL. Un árbol tiene un número de ramas, o estímulos, que conectan con el tronco principal en una localización. Esta topología trabaja de manera adecuada cuando varios dispositivos están situados cerca.

FIGURA 11 Esquema de Árbol



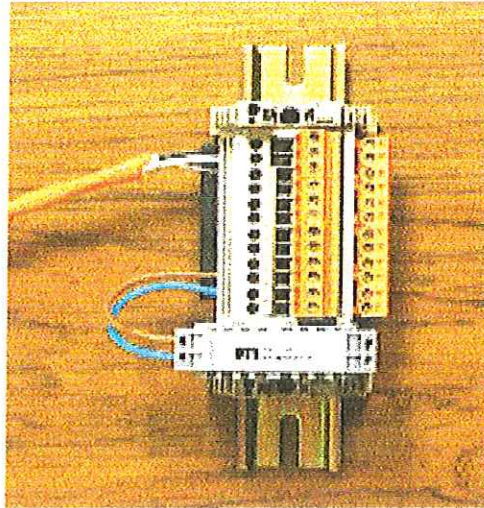
<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

Estas disposiciones de red se pueden utilizar con el alambre en conducto o no, con una combinación de conducto y cable armado, y con el cableado y cajas de ensambladura existentes.

Muchas plantas tienen alambre conducto. Esta disposición se puede utilizar fácilmente en una red de FOUNDATION Fieldbus con topología de árbol o de rama. Una topología de árbol conecta varios estímulos con el tronco principal del fieldbus en un solo punto. Se puede utilizar el estándar blindado, el alambre de conductor doble retorcido para los estímulos que se conectan con los dispositivos. La conexión al cable principal se hace a menudo con un bloque de la caja o del punto de ensambladura. Un bloque toma un segmento y lo pasa hacia fuera hacia otros bloques o a los dispositivos alejados.

Hay también varias opciones para usar el conducto con una topología de rama.

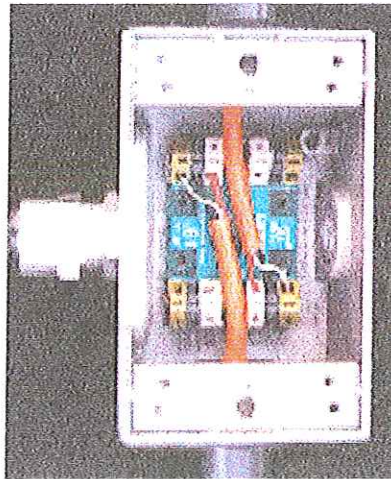
FIGURA 12 Borneras de Conexión en Esquema de Árbol



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

Opciones del conducto de árbol: el indicador práctico de rama establece costumbres tales como "segmento interno superior izquierdo" y "dividido en segmentos hacia fuera-superior derecho" para hacer conexiones en las cajas de ensambladura, los bloques del estímulo, o los bloques de terminales. Tales convenciones pueden ayudar a reducir errores del cableado y a simplificar mantenimiento. Por ejemplo, un técnico de mantenimiento sabrá qué terminales afectan sobre un solo dispositivo, y cuáles afectan el resto del segmento.

FIGURA 13 Conexiones en cajas de Ensambladura

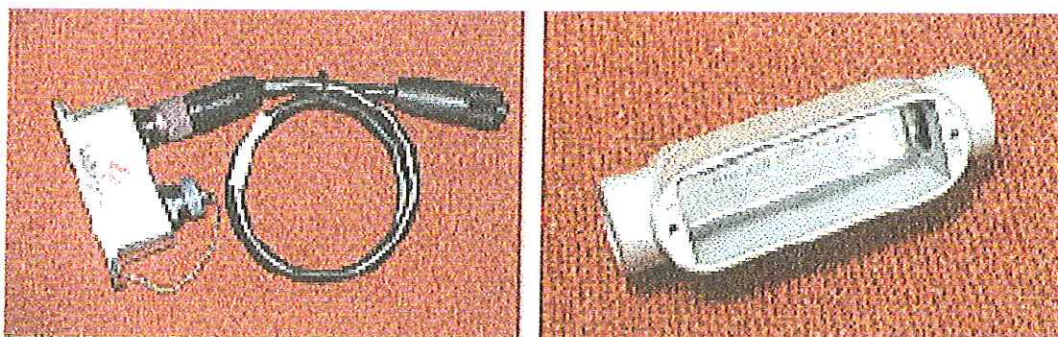


<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

Un conducto se diseña de modo que un segmento venga en la caja a un lado y se extienda a través del lado opuesto, en un determinado caso. La línea de rama se une al dispositivo en el tercer conector. Se puede utilizar una combinación de conducto y del cable armado para su proyecto es demasiado costoso utilizar el conducto en las áreas alejadas, a menos que se tenga ya el conducto y el cable armado instalados en la planta.

El conducto es costoso, especialmente si se necesita muchos de ellos. Instalando millas del conducto, muchas plantas utilizan las bandejas de cable u otras maneras de encaminar los alambres de señal. Se puede todavía utilizar las cajas de ensambladura tradicionales si se toma este acercamiento, pero otras opciones están también disponibles. Una opción para el uso en una topología de árbol es una caja de ensambladura premontada del fieldbus como la que esta en la foto.

FIGURA 14 Montaje Ensambladura Premontada



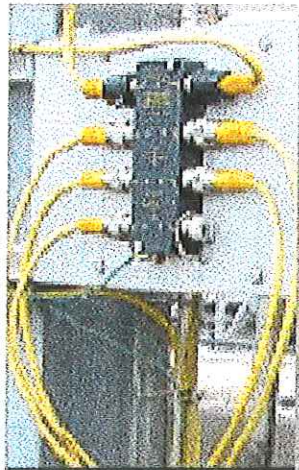
<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

La caja de ensambladura combina un sistema de conectores del cable y de cableado de la interconexión en un potted conveniente para montar en un ambiente de la planta.

Estas cajas de ensambladura vienen con los conectores para cuatro a ocho dispositivos, más los conectores para segmento. Cada conector se etiqueta para ayudar a prevenir un ensamblaje incorrecto. Los casquillos protegen los conectores hacia el ambiente. Este tipo de caja de ensambladura se monta típicamente cerca de los dispositivos que sirven en la planta.

Para las instalaciones del no-conducto con una topología de rama, donde cada dispositivo se une a un drop individual del tronco principal, un conector de "T" ofrece bajo costo e instalación fácil. El conector de "T" tiene un segmento interno y una conexión de segmento externo, más una conexión para una sola rama al dispositivo individual de campo. El conector de "T" se puede montar en un miembro estructural de la planta cerca del tronco del segmento. Y puede soportar ambientes típicos de la planta.

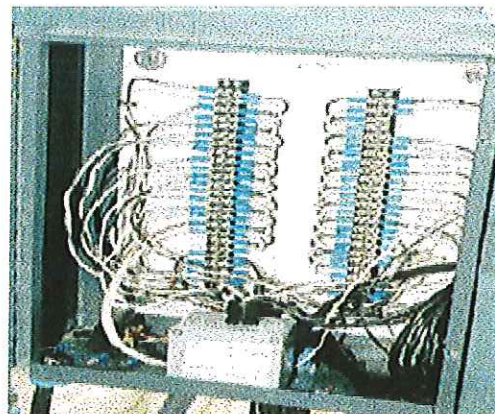
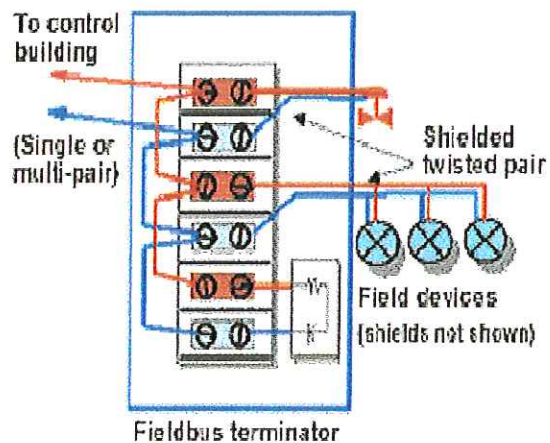
FIGURA 15 Caja de Conexiones Tipo T



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

La figura 15 muestra una caja de ensambladura convencional que se ha convertido en una caja de ensambladura del fieldbus H1 de FOUNDATION Fieldbus.

FIGURA 16 Caja de Mando Adaptada a Fieldbus



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

3 INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

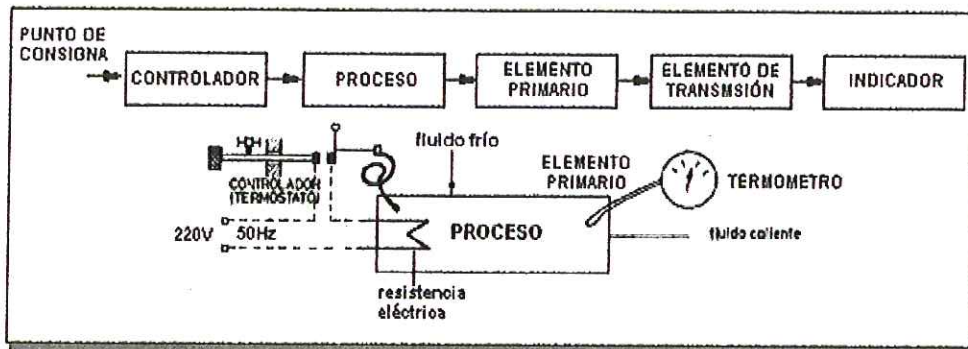
3.1 INTRODUCCIÓN

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como química, petroquímica, alimenticia, metalúrgica, energética, textil, papel, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida y de control y de estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados:

-Indicadores, registradores, controladores, transmisores y válvulas de control.

La terminología empleada se ha unificado con el fin de que los fabricantes, los usuarios y los organismos o entidades que intervienen directa o indirectamente en el campo de la instrumentación industrial empleen el mismo lenguaje. Las definiciones de los términos empleados se relacionan con las sugerencias hechas por la SAMA (Scientific Apparatus Makers Association) en su norma PMC 20-2-1970.

FIGURA 17 Bucle Abierto de regulación



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

Error. Es la diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida. Si el proceso está en condiciones de régimen permanente existe el llamado *error estático*. En condiciones dinámicas el error varía considerablemente debido a que los instrumentos tienen características comunes a los sistemas físicos: absorbe energía de proceso y esta transferencia requiere cierto tiempo para ser transmitida, lo cual da lugar a retardos en la lectura del aparato. Siempre que las condiciones sean dinámicas, existirá en mayor o menor grado el llamado *error dinámico* (diferencia entre el valor instantáneo de la variable y el indicado por el instrumento): su valor depende del tipo de fluido del proceso, de su velocidad del elemento primario (termopar, bulbo y capilar), de los medios de protección, etc. El *error medio* del instrumento es la media aritmética de los errores en cada punto de la medida determinados para todos los valores crecientes y decrecientes de la variable medida.

Incertidumbre de la medida. Los errores que existen necesariamente al realizar la medida de una magnitud, hacen que se tenga una incertidumbre sobre el verdadero valor de la medida. La incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida. En el cálculo de la incertidumbre intervienen la distribución estadística de los resultados de series de mediciones, las características de los equipos, etc.

Exactitud. Es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

Precisión. La precisión es la tolerancia de medida o de transmisión del instrumento (intervalo donde es admisible que se sitúe la magnitud de la medida), y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un periodo de tiempo determinado. Hay varias formas de expresar la precisión:

- a) Tanto por ciento de alcance. Ej: $\pm 0.5\%$ precisión esto indica que para un valor de medida de 150°C comprenderá entre 149°C y 151°C ;
- b) Directamente, en unidades de la variable medida. Ej: Precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$;
- c) Tanto por ciento de la lectura efectuada. Ej: Precisión de $\pm 1\%$ de 150°C , es decir, $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$;
- d) Tanto por ciento del valor máximo del campo de medida. Ej: Precisión de $\pm 0.5\%$ de $300^{\circ}\text{C} = \pm 1.5^{\circ}\text{C}$;
- e) Tanto por ciento de la longitud de la escala. Ej: Si la longitud de la escala del instrumento es de 150mm , la precisión de $\pm 0.5\%$ representara $\pm 0.75\text{mm}$ en la escala.

Hay que señalar que los valores de precisión de un instrumento se consideran en general establecidos para el usuario, es decir, son los proporcionados por los fabricantes de los instrumentos. Sin embargo estos últimos suelen considerar también los valores de calibración en fábrica y de inspección.

Con ello se pretende tener un margen de seguridad para compensar los efectos de las diferencias de apreciación de las personas que efectúan la calibración, las diferentes precisiones de los instrumentos de medida utilizados, las posibles alteraciones debidas al desplazamiento del instrumento de uno a otro, los efectos ambientales y de envejecimiento.

Zona muerta. Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.

Sensibilidad. Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que la ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Viene dada por tanto por ciento del alcance de la medida.

Repetibilidad. La repetibilidad es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal de salida, del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo. Se considera en general su valor máximo (repetibilidad máxima) y se expresa en tanto por ciento del alcance.

Histéresis. La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida, usando la variable que recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente. Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida.

Ruido. Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseada que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados.

Linealidad. La aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada.

Estabilidad. Capacidad de un instrumento para mantener su comportamiento durante su vida útil y de almacenamiento especificadas.

3.2 CLASES DE INSTRUMENTOS

Los instrumentos de medición y de control son relativamente complejos y su función puede comprenderse bien si están incluidos dentro de una clasificación adecuada. Como es lógico, pueden existir varias formas para clasificar los instrumentos, cada una de ellas con sus propias ventajas y limitaciones. Se

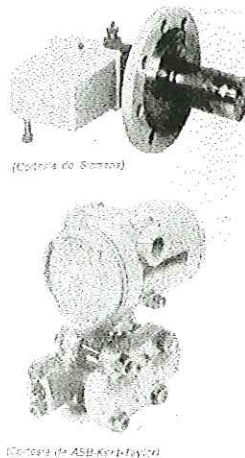
consideraran dos clasificaciones básicas: la primera relacionada con la función del instrumento y la segunda con la variable del proceso.

3.2.1 EN FUNCIÓN DEL INSTRUMENTO

De acuerdo con la función del instrumento, obtenemos las formas siguientes:

Instrumentos ciegos, son aquellos que no tienen indicación visible de la variable. Hay que hacer notar que son ciegos los instrumentos de alarma, tales como preostatos y termostatos (interruptores de presión y temperatura respectivamente) que poseen una escala exterior con un índice de selección de la variable, ya que solo ajustan el punto de disparo del interruptor o conmutador al cruzar la variable el valor seleccionado. Son también instrumentos ciegos, los transmisores de caudal, presión, nivel y temperatura in indicación.

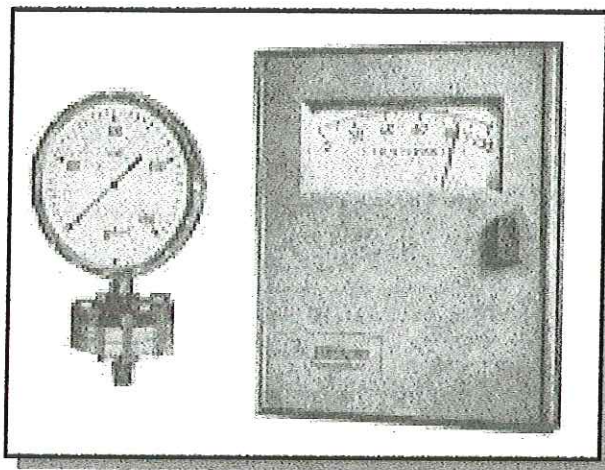
FIGURA 19 Instrumentos Ciegos



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

Los instrumentos indicadores disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable. Según la amplitud de la escala se dividen en indicadores concéntricos u excéntricos. Existen también indicadores digitales que muestran la variable en forma numérica con dígitos.

FIGURA 20 Instrumentos Indicadores

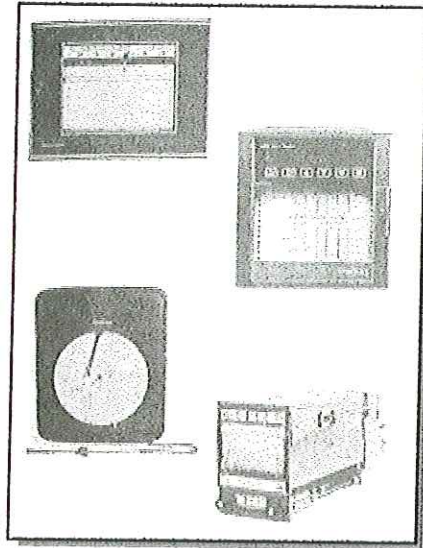


Antonio Creus, Instrumentación Industrial

Los instrumentos registradores, registran con trazo continuo o a puntos la variable, y pueden ser circulares o de grafico rectangular o alargado según sea la forma del grafico.

Los registradores de grafico circular suelen tener el grafico de 1 revolución en 24 horas mientras que en los de grafico rectangular la velocidad norma del grafico es de nos 20mm/h.

FIGURA 21 Instrumentos Registradores



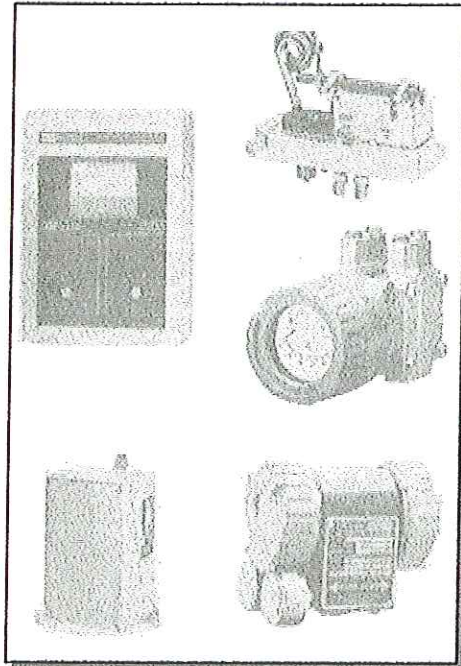
Antonio Creus, Instrumentación Industrial

Los elementos primarios están en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica, etc. Por ejemplo: en los elementos primarios de temperatura de bulbo y capilar, el efecto es la variación de presión del fluido que los llena y en los termopar se presenta una variación de fuerza electromotriz.

Los transmisores captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática de margen 3 a 15psi o electrónica de 4-20mA de corriente continua. La señal neumática de 3 a 15 psi equivale a 0.206-1.033 bar por lo cual, también se emplea la señal en unidades métricas 0.2 a 1 bar(0.2 a 1kg/cm²). Asimismo, se emplean señales electrónicas de 1 a 5mA c.c, de 10 a 50 mA c.c y de 0 a 20 mA c.c, si bien la señal normalizada

es de 4-20mA c.c. La señal utilizada en algunos transmisores inteligentes es apta directamente para ordenador.

FIGURA 22 Transmisores Convertidores



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

El elemento primario puede formar o no parte integral del transmisor; el primer caso lo constituye un transmisor de temperatura de bulbo y capilar, y el segundo un transmisor de caudal con la palca orificio como elemento primario.

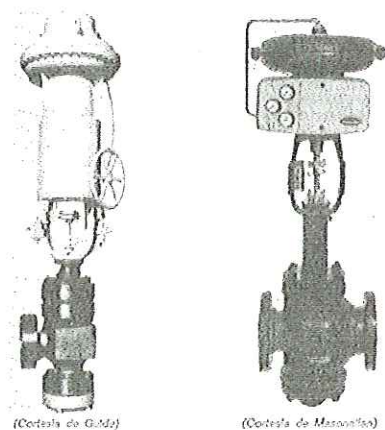
Los transductores reciben una señal de entrada función de una o mas cantidades físicas y las convierten modificada o no a una señal de salida. Son transductores un réle, un elemento primario, un transmisor, un convertidor PP/I (presión de proceso a intensidad), un convertidor PP/P (presión de proceso a señal neumática), etc.

Los convertidores son aparatos que reciben una señal de entrada neumática o electrónica procedente de un instrumento y después de modificarla envía la resultante en forma de señal de salida estándar.

Los controladores comparan la variable controlada con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación. La variable controlada se puede recibir directamente, con controladores locales o bien indirectamente en forma de señal neumática, electrónica o digital procedente de un transmisor.

El elemento final de control recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. En el control neumático, elemento suele ser una válvula neumática o un servomotor neumático que efectúa su carrera completa de 3 a 15psi (0.2-1 bar). En el control electrónico la válvula o el servomotor anteriores son accionados a través de un convertidor de intensidad a presión (I/P) o señal digital a presión que convierte la señal electrónica de 4-20mA o digital neumática 3-15psi. En el control eléctrico el elemento suele ser una válvula motorizada que efectúa su carrera completa accionada por un servomotor eléctrico.

FIGURA 23 Elementos Finales de Control



En el control electrónico y en particular en regulación de temperatura de hornos pueden utilizarse rectificadores de silicio. Estos se comportan esencialmente como bobinas de impedancia variable y varían la corriente de alimentación de las resistencias del horno, en la misma forma en que una válvula de control cambia el caudal de fluido en una tubería.

Las señales neumáticas y electrónicas permiten el intercambio entre instrumentos de la planta. No ocurre así en los instrumentos de señal de salida digital (transmisores, controladores) donde las señales son propias de cada suministrador. No obstante, existe el propósito de normalización, en particular en los sistemas de control distribuido, por parte de firmas de instrumentos de control (Bailey, Foxboro, Honeywell, Rosemount y otros) que estudian la aplicación de un lenguaje o protocolo de comunicaciones.

3.2.2 TRANSMISORES

Los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos.

Existen varios tipos de señales de transmisión: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas. Las mas empleadas en la industria son la tres primera, las señales hidráulicas se utilizan ocasionalmente cuando se necesita una gran potencia y las señales telemétricas se emplean cuando hay una distancia de varios kilómetros entre el transmisor y el receptor.

3.2.2.1 Transmisores Electrónicos

Los transmisores electrónicos son generalmente de equilibrio de fuerzas, consisten en su forma más sencilla en una barra rígida apoyada en un punto sobre la que actúan dos fuerzas en equilibrio:

- La fuerza ejercida por elemento de mecánico de medición
- La fuerza electromagnética de una unidad magnética

El desequilibrio entre estas dos fuerzas da lugar a una variación de posición relativa de la barra, excitando un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia o un transformador diferencial. Un circuito oscilador asociado con cualquiera de estos detectores alimenta una unidad magnética y la fuerza generada reposiciona la barra de equilibrio de fuerzas. Se completa así un circuito de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de la variable del proceso.

3.2.2.2 Detector de Posición de Inductancia

El detector de posición de inductancia está formado por dos piezas de ferrita, una en la barra y la otra fijada rígidamente en el chasis del transmisor y contiene una bobina conectada a un circuito oscilador. Cuando aumenta o disminuye el entrehierro disminuye o aumenta respectivamente la inductancia de la bobina detectora modulando la señal de salida del oscilador.

3.2.2.3 Transformador Diferencial

El transformador diferencial (LVDT- Linear Variable Differential Transformer) consiste en un núcleo magnético con tres o más polos bobinados. El bobinado central está conectado a una línea de alimentación estabilizada y se denomina arrollamiento primario. Los otros dos están bobinados idénticamente con el mismo número de espiras y en la misma disposición. El transformador se cierra magnéticamente con la barra de equilibrio de fuerzas. Al variar la presión cambia la posición de la barra induciendo tensiones distintas en las dos bobinas, mayor en la bobina arrollada en el polo con menor entrehierro y menor en la opuesta. Las bobinas están conectadas en oposición y la señal de tensión diferencial producida es introducida en un amplificador transistorizado que alimenta la unidad magnética de reposición de la barra.

3.2.2.4 Transmisores Digitales

Hacia 1983 la firma HONEYWELL presentó en el mercado el primer transmisor digital denominado <<inteligente>>. Este término indica que el sensor tiene incorporadas funciones adicionales que se añaden a las propias de la medida exclusiva de la variable. Lógicamente dichas funciones son proporcionadas por un microprocesador, pero esto no es esencial para que al instrumento pueda aplicársele la denominación <<inteligente>>.

Hay dos modelos básicos de transmisores inteligentes:

El capacitivo está basado en la variación de capacidad que se produce en un condensador formado por dos placas fijas y un diafragma sensible interno y unido a la misma, cuando se les aplica una presión o presión diferencial a través de dos diafragmas extremos. La transmisión de la presión del proceso se realiza a través

de un fluido que rellena el interior del condensador. El desplazamiento del diafragma sensible es de solo 0.1 mm como máximo. Un circuito formado por un oscilador y un demodulador transforma la variación de capacidad en señal analógica. Esta a su vez es convertida a digital, y pasa después a un microprocesador <<inteligente>> que la transforma a la señal analógica de transmisión de 4-20 mA.

El de semiconductor aprovecha las propiedades eléctricas de los semiconductores al ser sometido a tensiones. El modelo de semiconductor difundido está fabricado a partir de una delgada película de silicio y utiliza técnicas de dopaje para generar una zona sensible a los esfuerzos. Se comporta como un circuito dinámico de puente de Wheatstone aplicable a la medida de presión, presión diferencial y nivel, formado por una pastilla de silicio difundido en el que se hallan embebidas las resistencias R_A , R_B , R_C y R_D de un puente de Wheatstone. El desequilibrio del puente originado por cambios en la variable, da lugar a una señal de salida de 4-20 mA c.c.

Los transmisores inteligentes pueden disponer también de auto calibración. Un ejemplo de las técnicas de auto calibración las constituyen los transmisores de nivel por ultrasonidos. Disponen de un reflector de las sondas sónicas que esta situado en el tanque sobre la superficie del líquido, y hacia donde el emisor dirige periódicamente los ultrasonidos, ajustando entonces los parámetros de calibración. De este modo compensa las variaciones de velocidad del sonido provocadas por cambios en la temperatura del ambiente del tanque. En otros casos, la auto calibración es más difícil de conseguir. Tal ocurre, en los medidores magnéticos de caudal en los que durante los intervalos de calibración sería necesario pasar por el elemento un caudal conocido de un fluido determinado.

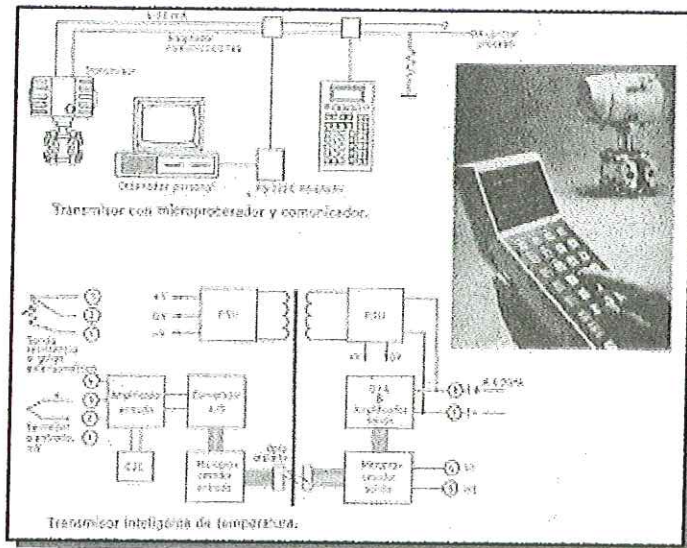
Los transmisores inteligentes se presentan también al autodiagnóstico de sus partes electrónicas interna, función que proporciona al Departamento de Mantenimiento: primero el conocimiento de la existencia de un problema en el circuito, segundo el diagnóstico y la naturaleza del problema, señalando que instrumento ha fallado y tercero, las líneas a seguir para la reparación o sustitución del instrumento averiado.

El transmisor o varios transmisores pueden conectarse, a través de una conexión RS-232 a un ordenador personal, que con el software adecuado, es capaz de configurar transmisores inteligentes.

La inteligencia del transmisor también se aplica a otras variables, tal como la temperatura, donde el transmisor puede trabajar con distintas sondas de resistencia y termopares y diversos campos de medida, gracias a la linealización de las escalas y a la compensación de la unión fría que aporta el microprocesador. En resumen las ventajas de transmisor inteligente con relación a los instrumentos electrónicos analógicos convencionales son:

- Mejora de la precisión
- Mejora de la estabilidad en condiciones de trabajo diversas
- Campos de medida mas amplios Mayor fiabilidad
- Bajos costos de mantenimiento

FIGURA 24 Transmisores Inteligentes



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

3.2.2.5 Medidas de Presión

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada).

La presión se puede medir en valores absolutos o diferenciales.

La presión absoluta se mide con relación al cero absoluto de presión.

La presión atmosférica es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar esta presión es próxima a 760mm de mercurio absolutos o 14.7 psia (libras por pulgada cuadrada absolutas), y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.

La presión relativa es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición.

La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones.

El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica.

3.2.2.6 Medidas de Nivel

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance de materias primas o de productos finales.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesadores en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir <<inteligente>> en la medida del nivel, y obtener precisiones de lectura altas, del orden de $\pm 0.2\%$, en el inventario de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso. El transmisor de nivel <<inteligente>> hace posible la interpretación del nivel real, la eliminación de las falsas alarmas y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de las líneas de transmisión.

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y de sólidos que son dos mediciones claramente diferenciadas y que se estudiarán separadamente por sus distintas peculiaridades y las aplicaciones particulares de las que son objeto.

3.2.2.7 Medidor de Nivel de Tipo Desplazamiento

Consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al tanque. Dentro del tubo y unido a su extremo libre se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior al tanque.

El tubo de torsión se caracteriza fundamentalmente porque el ángulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada, es decir, al momento ejercido por el flotador. El movimiento angular del extremo libre del tubo de torsión es muy pequeño, del orden 9° . El tubo proporciona además un cierre estanco entre el flotador y el exterior del tanque.

El cuerpo del medidor puede estar flotando directamente en el tanque o en un tubo vertical al lado del tanque.

El instrumento puede utilizarse en tanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, tiene una buena sensibilidad pero presenta el inconveniente del riesgo de depósito de sólidos o de crecimiento de cristales en el flotador que afectan a la precisión de la medida y es apto sólo para la medida de pequeñas diferencias de nivel.

cualquier perturbación momentánea o viene en su lugar se disponen dos electrodos poco separados enclavados eléctricamente en el circuito. El instrumento se emplea como alarma o control de nivel bajo y alto, utiliza réles eléctricos para líquidos con buena conductividad y réles electrónicos para líquidos con baja conductividad. Montado en grupos verticales de 24 o mas electrodos, puede complementar los típicos niveles de vidrio de las calderas y se presta a la transmisión del nivel a la sala de control y a la adición de las alarmas correspondientes.

El instrumento es versátil, sin partes móviles, su campo de medida es grande con la limitación física de la longitud de los electrodos. El liquido contenido en el tanque debe tener un mínimo de conductividad y si su naturaleza lo exige, la corriente debe ser baja para evitar la deteriorización del producto. Por otro lado, conviene que la sensibilidad del aparato sea ajustable para detectar la presencia de espuma en caos necesario.

3.2.2.9 Medidor de Capacidad

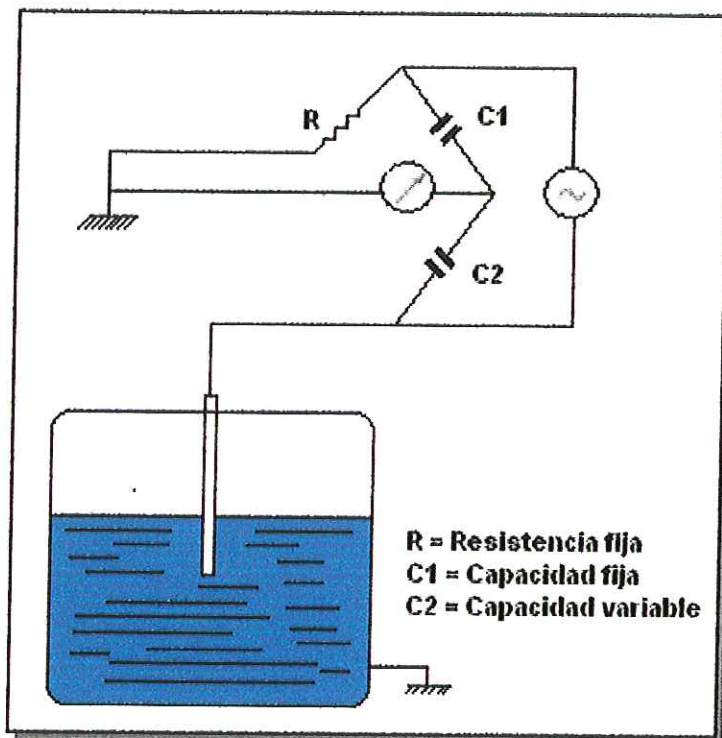
Mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores.

En fluidos conductores con una conductividad mínima de 100microohmios/c.c el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas.

El sistema es sencillo y apto para muchas clases de líquidos. Sin embargo, hay que señalar que en los fluidos conductores, o sólidos o líquidos conductores que se encuentran en suspensión o emulsión y las burbujas de aire o de vapor existentes, aumentan y disminuyen respectivamente la constante dieléctrica del fluido dando lugar a un error máximo de 3% por cada tanto por ciento de desplazamiento volumétrico. Por otro lado al bajar el nivel, la porción aislante del electrodo puede quedar recubierta por el líquido y la capacidad adicional que ello representa da lugar a un error considerable.

FIGURA 26 Medidor de Capacidad



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

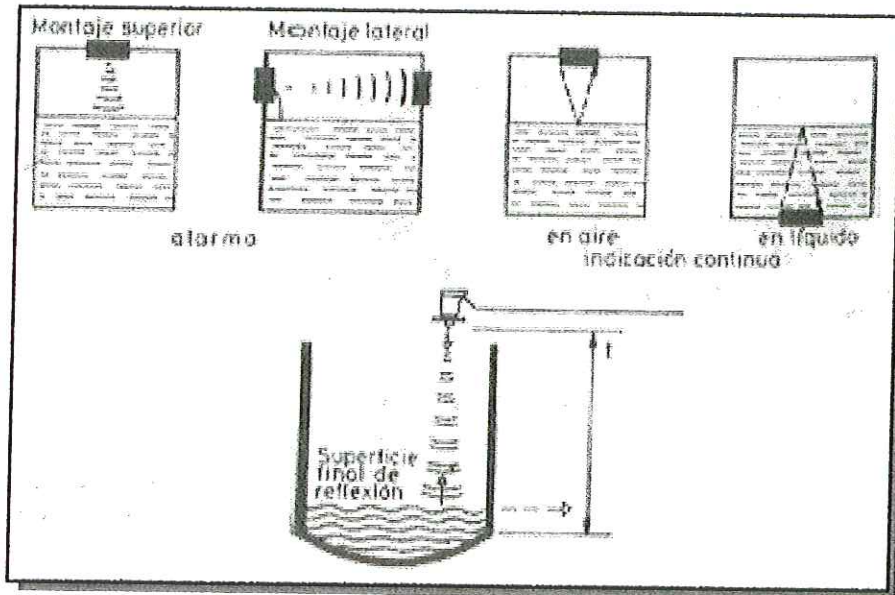
3.2.2.10 Sistema Ultrasónico de Medición de Nivel

Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20kHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido. En las aplicaciones de alarma de nivel, los sensores vibran a una frecuencia de resonancia determinada, que se amortigua cuando el líquido los moja.

La precisión de estos instrumentos es de ± 1 a 3%. Son adecuados para todos los tipos de tanques y de líquidos pudiéndose construirse a pruebas de explosión. Presentan inconvenientes de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida como es el caso de un líquido que forma espuma, ya que se producen falsos ecos de los ultrasonidos. La utilización de un computador, permite a través de un programa almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares de la superficie del líquido, tal como la espuma, con lo cual se mejora la precisión de la medida. Por otro lado, el ordenador facilita la conversión del nivel a volumen del tanque para usos de inventario y además proporciona características de autocomprobación del instrumento.

FIGURA 27 Transductor Ultrasónico



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

3.2.2.11 Medida de Temperatura

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios, es importante señalar que es esencial una comprensión clara de distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema más adecuado.

3.2.2.12 Termistores

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños en la temperatura. Los termistores se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio, y otros metales y están encapsulados.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los cambios de temperatura del proceso. Los termistores encuentran su principal aplicación en la medición, la compensación y el control de temperatura y como medidores de temperatura diferencial.

3.2.2.13 Termopares

El termopar se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a diferentes temperaturas. Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogénea en el que existe un gradiente de temperaturas.

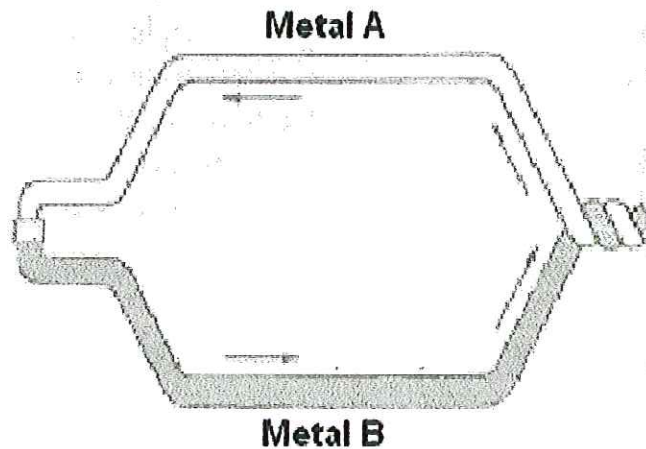
La combinación de los dos efectos, de Peltier y de Thomson, es la causa de la circulación de corriente al cerrar el circuito en el termopar. Esta corriente puede calentar el termopar y afectar la precisión en la medida de la temperatura, por lo que durante la medición debe hacerse mínimo su valor.

Se hace evidente que en el circuito se desarrolla una pequeña tensión continua proporcional a la temperatura de la unión de medida, siempre que haya una diferencia de temperaturas con la unión de referencia. Los valores de esta f.e.m están tabulados en tablas de conversión con la unión de referencia a 0°C.

La selección de los alambres para termopares se hace de forma que tengan una resistencia adecuada a la corrosión, a la oxidación, a la reducción y a la cristalización, que desarrollen una f.e.m relativamente alta, que sean estables, de bajo coste y de baja resistencia eléctrica y que la relación entre la temperatura y la f.e.m sea tal que el aumento de esta sea paralelo al aumento de la temperatura.

En la medición de las temperaturas elevadas que se encuentran en la fabricación de acero en fusión se emplean cartuchos con termopares R o S que se enchufan en una lanza. El operario sumerge ésta en acero y aunque el cartucho se funde en unos segundos, da tiempo a que en un circuito especial fije la máxima temperatura alcanzada.

FIGURA 28 Termopar



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

Señalemos que el termopar tipo E, de cromel-constantan puede usarse en vacío o en atmósfera inerte o medianamente oxidante o reductora. Este termopar posee la f.e.m más alta por variación de temperatura y puede usarse para las temperaturas entre -200 a $+ 900^{\circ}\text{C}$.

El termopar tipo T, de cobre-constantan, tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras. Se prefiere generalmente para las medidas de temperatura entre -200 a $+ 260^{\circ}\text{C}$.

El termopar tipo J, de hierro-constantan, es adecuado en atmósfera con escaso oxígeno libre. La oxidación del hilo de hierro aumenta rápidamente por encima de 550°C , siendo necesario un mayor diámetro del hilo hasta a una temperatura límite de 750°C .

El termopar tipo K, de cromel-alumel, se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y 1250°C. No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que este protegido con un tubo de protección.

Las conexiones entre el cable de compensación, el termopar y el instrumento debe ser perfectas, sin empalmes en el cable de compensación, utilizando el hilo correcto y el conjunto de la instalación debe evitar el paso próximo por fuentes de calor. Si estas recomendaciones no se cumplen aparecen tensiones térmicas de corriente continua que dan lugar a un desplazamiento en la calibración del instrumento.

El termopar es susceptible al ruido eléctrico industrial debido a que durante su funcionamiento puede generar tensiones de 2 a 50mV y se encuentra en un entorno donde las grandes maquinas eléctricas pueden crear cientos de milivoltios en el cable de conexión. Por otro lado, el termopar trabajando como una antena, puede recoger radiación electromagnética de radio, TV y microondas. De aquí que se requiera que los cables de conexión estén torcidos y dentro de una funda metálica que se pone a tierra, que la unión de medida este puesta a tierra y que el amplificador tenga una buena relación señal / ruido.

3.2.2.14 Termoresistencia

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica. El material que forma el conductor se caracteriza por el

llamado <<coeficiente de temperatura>> que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

Los materiales que forman el conductor de la resistencia deben poseer las siguientes características:

- Alto coeficiente de temperatura de la resistencia, ya que de este modo el instrumento de medida será muy sensible.
- Alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada tanto mayor será la variación por grado.
- Relación lineal resistencia-temperatura.
- Rigidez y ductilidad, lo que permite realizar los procesos de fabricación de estirado y arrollamiento del conductor en las bobinas de la sonda, a fin de obtener tamaños pequeños.
- Estabilidad de las características durante la vida útil del material.

Los materiales que se usan normalmente en las sondas de resistencia son el platino y el níquel.

El platino es el material mas adecuado desde el punto de vista de precisión y de estabilidad pero presenta el inconveniente de su coste. En general la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tiene una resistencia de 100ohmios a 0°C.

El níquel es más barato que el platino y posee una resistencia mas elevada con una mayor variación por grado, sin embargo, tiene como desventaja la falta de linealidad en su relación resistencia-temperatura y las variaciones que experimenta su coeficiente de resistencia según los lotes fabricados.

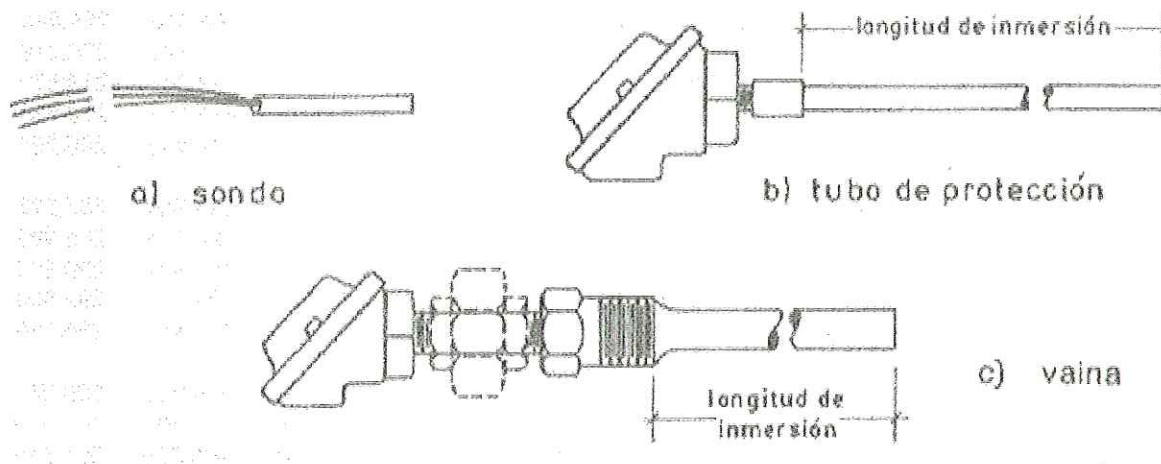
TABLA 1 Tipos de Sondas

Metal	Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$	Coefficiente temp $\Omega/\Omega, ^\circ\text{C}$	Intervalo útil de temp $^\circ\text{C}$	Θ min	Resis. Sonda a 0°C , ohmios	Precisión $^\circ\text{C}$
Platino	9.83	0.00385	-200 a 950	0.05	25,100,130	0.01
Níquel	6.38	0.0063 a 0.0066	-150 a 300	>	100	0.50
Cobre	1.56	0.00425	-200 a 120	>	10	0.10

Antonio Creus, Instrumentación Industrial

La variación de resistencia de las sondas es medida con un puente de Wheatstone dispuesto en montajes denominados de dos hilos, de tres hilos o de cuatro hilos según sean los hilos de conexión de la sonda de resistencia al puente. La adición de un microprocesador a la sonda de resistencia permite obtener un transmisor <<inteligente>> con la posibilidad del cambio automático del sensor o del campo de medida, la obtención por hardware o software de puentes de Wheatstone o de capacidades de distintas características, etc.

FIGURA 29 Tipo de Sondas Resistivas



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

4 SISTEMAS DE CONTROL

4.1 INTRODUCCIÓN

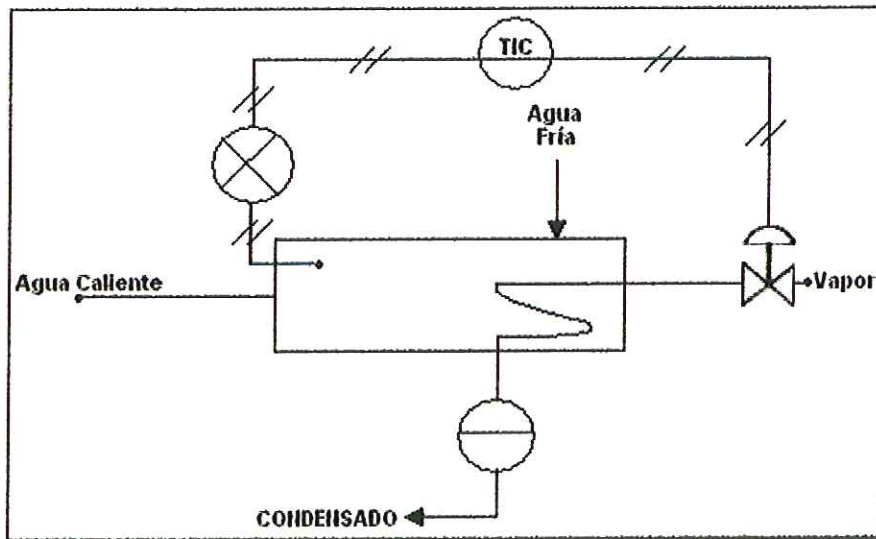
En los inicios de la era industrial, el control de los procesos se llevo a cabo mediante tanteos basados en la intuición y en la experiencia acumulada. Un caso típico fue el control de acabado de un producto en el horno. El operario era realmente el instrumento de control, que juzgaba la marcha del proceso por el conducto y decía así el momento de retirar la pieza; en esta decisión influían muchas condiciones de fabricación. Mas tarde, el mercado exigió mayor calidad en las piezas fabricadas lo que condujo al desarrollo de teorías para explicar el funcionamiento del proceso, de las que derivaron estudios analíticos que a su vez permitieron realizar control de la mayor parte de las variables de interés en los procesos.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

El bucle de control típico esta formado por el proceso, el transmisor, el controlador y la válvula de control.

El proceso consiste en un sistema que ha sido desarrollado para llevar a cabo un objetivo determinado: tratamiento de material mediante una serie de operaciones específica destinada a llevar a cabo su transformación. Los procesos revisten las formas más diversas, desde las más simples hasta las más complejas. Una aplicación típica que consideraremos es un intercambiador de calor (Fig. 35).

FIGURA 30 Intercambiador de Calor



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

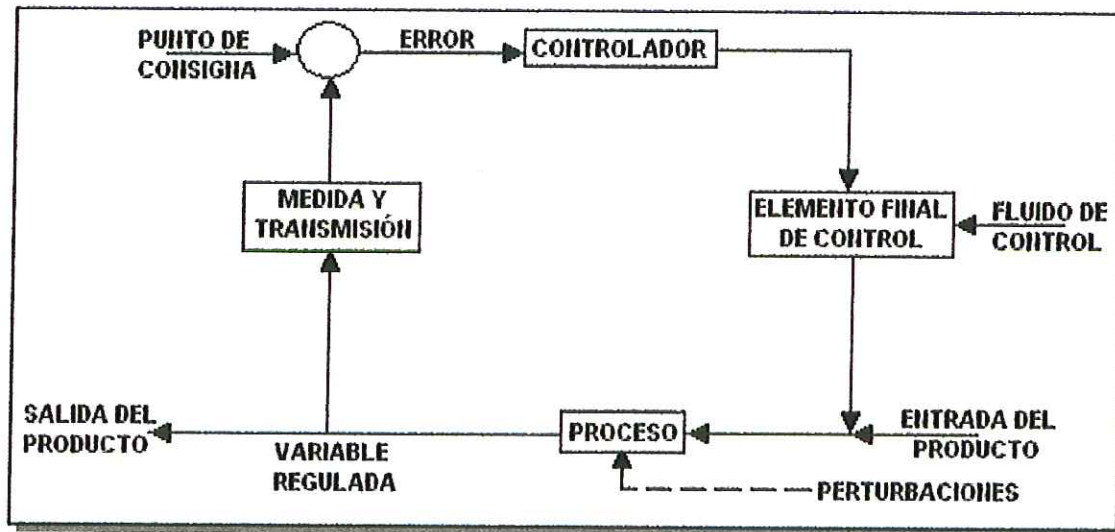
El controlador permite al proceso cumplir su objetivo de transformación del material y realiza dos funciones esenciales:

- Compara las variable medidas con la de referencia o deseada (punto de consigna) para determinar el error
- Estabilizar el funcionamiento dinámico del bucle de control mediante circuitos especiales para reducir o eliminar el error.

En la figura 36 puede verse el diagrama de bloques del buque de control.

Un circuito abierto de regulación carece de detector de señal de error y de controlador. Un ejemplo puede consistir en el calentamiento de agua en un tanque por medio de un intercambiador o resistencia eléctrica sumergida. Dada un tensión de alimentación, una temperatura de entrada del agua, unas condiciones externas y una demanda de agua constante, la temperatura de salida del agua permanecerá constante. Si cambia cualquiera de estas condiciones, la temperatura de salida debe variar.

FIGURA 31 Diagrama de Bloques

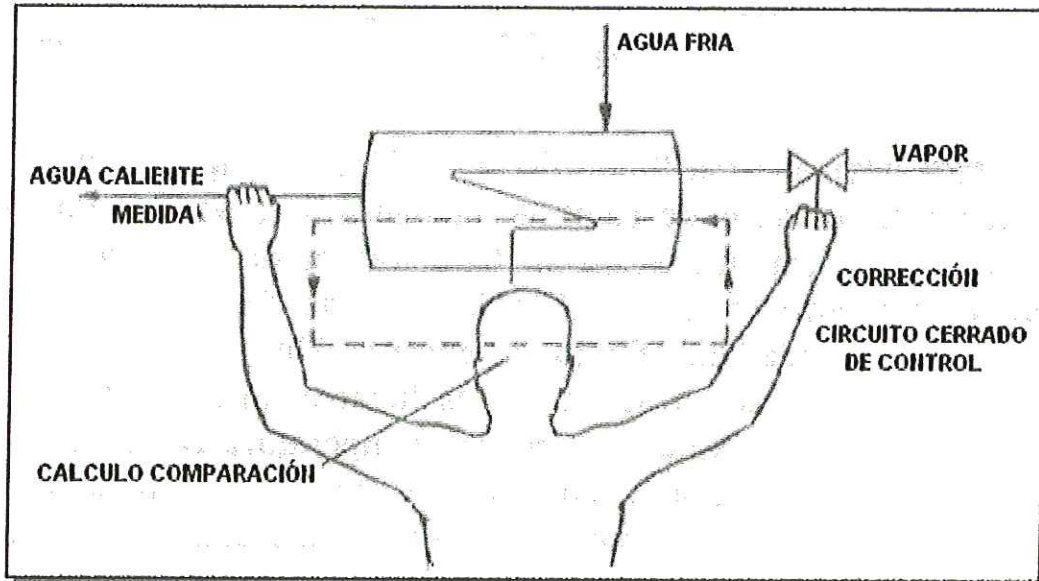


Verhappen Ian, Foundation Fieldbus

Consideraremos ahora el control manual del proceso que servirá de base para estudiar las características del proceso

La figura 37 representa el control manual del intercambiador. El operario nota la temperatura de salida del agua con la mano y acciona la válvula de vapor para mantener el agua a la temperatura deseada. Supongamos que estas condiciones, existiendo una temperatura constante en la salida, hay un aumento en el caudal de agua de entrada. Como la válvula de vapor sigue estando en la misma posición, el intercambiador no llegará a calentar el mayor caudal de agua fría de entrada, por lo cual, la temperatura de salida deberá disminuir. Ahora bien, debido a la inercia del proceso, pasará cierto tiempo hasta que el agua más fría alcance la mano izquierda del operador. Cuando éste nota la disminución de la temperatura, debe compararla con la temperatura deseada y debe calcular mentalmente cuántas vueltas debe dar la válvula de vapor y en que sentido, y a continuación realizar esta corrección manual en la misma. Se necesita cierto tiempo para llevar a cabo estas decisiones y corregir la posición de la válvula.

FIGURA 32 Control Manual



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

También es cierto que pasa cierto tiempo hasta que los efectos de corrección de la válvula se notan en la temperatura de salida y puedan ser captados por el operador. Solo entonces éste es capaz de saber si su primera corrección ha sido escasa o excesiva. En este punto, efectuara una segunda corrección, que al cabo de un tiempo dará lugar a otro cambio de temperatura. El operador observara los resultados de esta segunda corrección y realizara una tercera, y así sucesivamente.

Esta serie de operaciones de medida, comparación, cálculo y corrección, constituyen una cadena cerrada de acciones y se realiza una y otra vez por el operador, hasta que transcurre un cierto tiempo y la temperatura del agua se equilibra finamente al valor deseado por el operador siempre que naturalmente no haya cambiado las condiciones del proceso. El conjunto de elementos en circuito cerrado que hacen posible este control reciben el nombre de "bucle, lazo o anillo de control" (loop control)

Los procesos presentan dos características principales que deben considerarse al automatizarlos:

- Los cambios en la variable controlada debido a alteraciones en las condiciones del proceso y llamados generalmente cambios de carga.
- Tiempos necesarios para que la variable del proceso alcance un nuevo valor al ocurrir un cambio de carga. Este retardo se debe a una o a varias propiedades del proceso: capacitancia, resistencia y tiempo de transporte.

Cambios de carga: la carga del proceso es la cantidad total del fluido o agente de control que el proceso requiere en cualquier momento para mantener unas condiciones de trabajo equilibradas. En el ejemplo anterior, cuando el agua fría circula con un determinado caudal y la salida del agua caliente debe estar a una temperatura dada, es necesaria una determinada cantidad de vapor. En estas condiciones, un aumento en el caudal de agua da lugar al consumo de más cantidad de vapor y constituye por lo tanto un cambio en la carga del proceso. Por otro lado, un aumento en la temperatura de entrada del agua fría, precisa una menor cantidad de vapor y es también un cambio de carga.

En general, los cambios de carga del proceso son debido a las siguientes causas:

- Mayor o menor demanda del fluido de control por el medio controlado. En el ejemplo del intercambiador de calor de la figura 35, un aumento en el caudal de agua o una disminución en su temperatura da lugar a un cambio de carga porque requiere el consumo de más cantidad de vapor.

4.1.2 SISTEMAS DE CONTROL NEUMÁTICOS Y ELÉCTRICOS

En el control manual, descrito en la figura 37, el operador puede hacer las correcciones en la válvula de vapor de varias formas:

- Puede abrir o cerrar instantáneamente la válvula.
- Puede abrir o cerrar la válvula lentamente, a una velocidad constante, mientras se mantenga la desviación.
- Puede abrir la válvula en mayor grado cuando la desviación es más rápida.
- Puede abrir la válvula un número de vueltas constante, por cada unidad de desviación.

Así mismo el operador puede emplear otros métodos o combinaciones en la manipulación de la válvula.

En los sistemas industriales se emplea uno o una combinación de los siguientes sistemas de control:

- De dos posiciones todo o nada.
- Proporcional de tiempo variable.
- Flotante.
- Proporcional.
- Proporcional + Integral.
- Proporcional + derivada.
- Proporcional + integral + derivada.

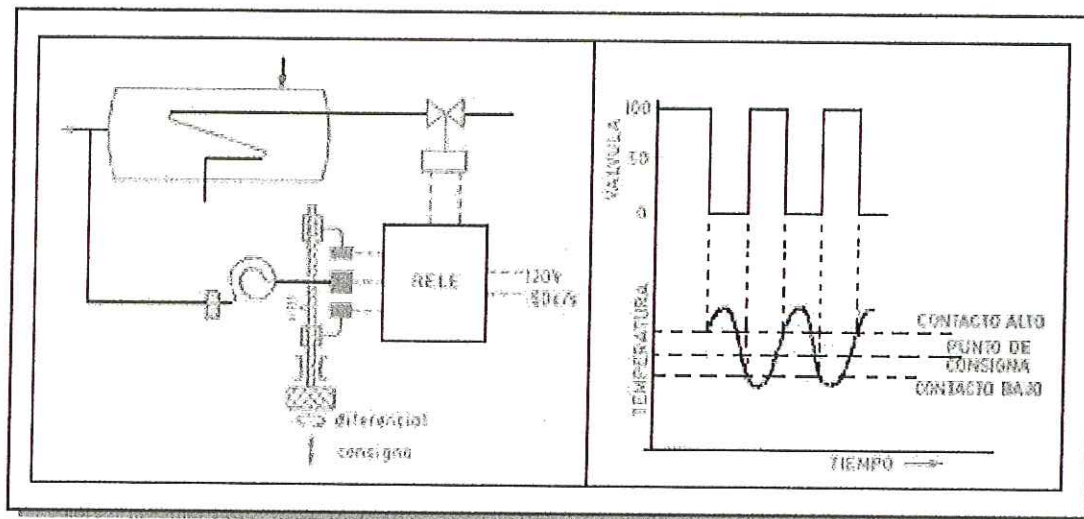
4.1.2.1 Control Todo o Nada

En la regulación de todo o nada el elemento final de control se mueva rápidamente entre una de dos posiciones fijas a la otra, para un valor único de la variable

controlada. En la figura 50 se representa un control de este tipo, que se caracteriza por un ciclo continuo de variación de la variable controlada.

Este tipo de control se emplea usualmente con una banda diferencial o zona neutra en la que el elemento final de control permanece en su última posición para valores de la variable comprendida dentro de la banda diferencial. Los ajustes de control se basan en variar el punto de consigna y la gama diferencial.

FIGURA 33 Control Todo o Nada con Banda Diferencial



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

El control todo o nada funciona satisfactoriamente si el proceso tiene una velocidad de reacción lenta y posee un tiempo de retardo mínimo. Se caracteriza porque las dos posiciones extremas de la válvula permiten la entrada y salida de energía al proceso ligeramente superior e inferior respectivamente a las necesidades de la operación normal

Es evidente que la variable controlada oscila continuamente y que estas oscilaciones varían en frecuencia y magnitud si se presentan cambios de carga en el proceso.

4.1.2.2 Control Flotante

El control flotante, denominado realmente control flotante de velocidad constante, mueve el elemento final de control a una velocidad única independiente de la desviación. Por ejemplo una regulación todo o nada puede convertirse en una regulación flotante si se utiliza una válvula motorizada reversible de baja velocidad.

El control flotante de velocidad constante con una zona neutra se obtiene al acoplar a un control todo-nada con una zona neutra una válvula motorizada reversible de baja velocidad. La válvula permanece inmóvil si la variable queda dentro de la zona neutra y cuando rebasa, la válvula se mueve en la dirección adecuada hasta que la variable retorna al interior de la zona neutra, pudiendo incluso la válvula llegar a alcanzar sus posiciones extremas de apertura o de cierre.

El control flotante, análogamente al control todo o nada tiende a producir oscilaciones en la variable controlada, pero estas oscilaciones pueden hacerse mínimas eligiendo adecuadamente la velocidad del elemento final para que compense las características del proceso. En general, la válvula debe moverse a una velocidad lo suficientemente rápida para mantener la variable ante lo más rápidos cambios de carga que pueda producirse en el proceso.

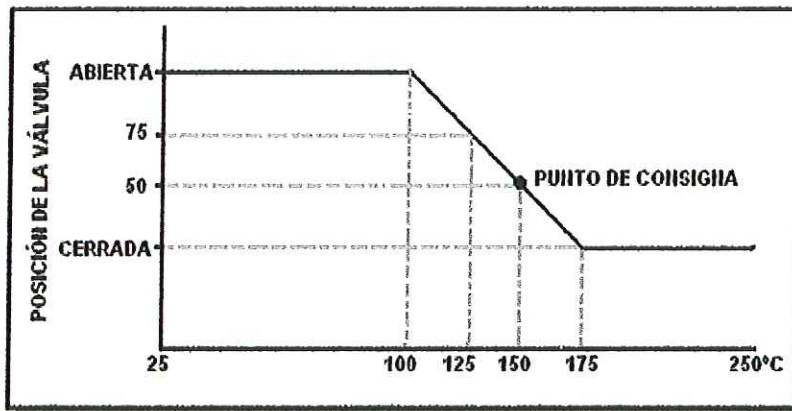
La ventaja principal del control flotante es que puede compensar los cambios de carga lentos del proceso desplazando gradualmente la posición de la válvula. Sin embargo, no es adecuado si hay un retardo importante o si los cambios de carga, aunque sean pequeños, son muy rápidos.

4.1.2.3 Control Proporcional

En el sistema de control proporcional, existe una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición de elemento final de control. Es decir, la válvula se mueve el mismo valor por cada unida de desviación.

En la figura 51 puede verse la forma en que actúa el controlador proporcional cuyo caso el punto de consigna es 150° C y cuyo intervalo de actuación es de 100-200° C. Cuando la variable controlada está en 100° C o menos la válvula esta totalmente abierta; a 200° C o mas la válvula esta totalmente cerrada y entre 100°C y 200°C la válvula es proporcional al valor de la variable controlada. Por ejemplo, a 125°C esta abierta en un 75%; a 150° C en un 50%.

FIGURA 34 Control Proporcional



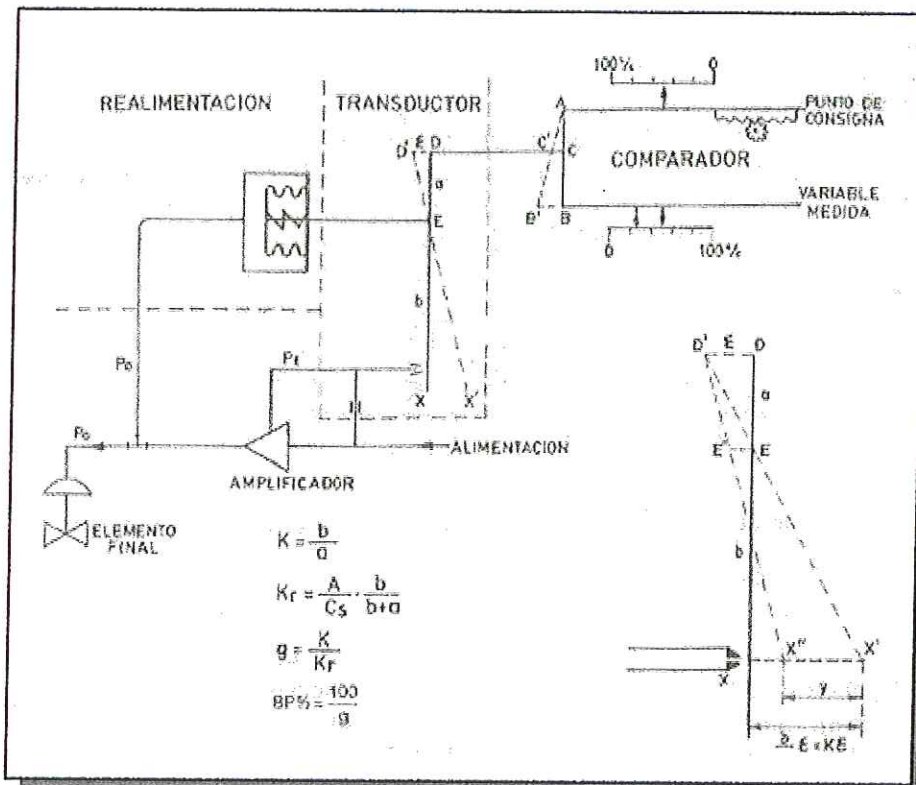
Antonio Creus, Instrumentación Industrial

En la figura 52 puede verse un controlador proporcional neumático típico compuesto de un comparador, un transductor y una realimentación.

El comparador establece la diferencia o señal de error entre la variable controlada y el valor deseado de la variable o punto de consigna (desplazamiento del punto C a C' o D a D' en la figura).

El transductor, ante esta señal de error, como el punto E está inicialmente fijo en el espacio, hace que el obturador se separe de la tobera pasando ésta al punto X'. Esta nueva separación disminuye la presión posterior P1 y a través del amplificador neumático hace bajar P0.

FIGURA 35 Controlador Neumático



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

En el circuito de realimentación, el nuevo valor de la presión de salida P0 expande el fuelle, desplazando el punto E a E' con el cual el obturador toma otra posición de equilibrio a nivel de la tobera definida por el punto X''. El resultado de esta serie de acciones es que cada valor del error, la señal de salida Po toma otro valor predeterminado.

Sea ϵ la diferencia entre el punto de consigna y la variable. El transductor (conjunto-tobera-obturador) mantiene cualquier momento una separación X entre la tobera y el obturador que resulta siendo la suma de la señal de error $\frac{b}{a}\epsilon = K * \epsilon$. Y de la realimentación, consideradas ambas a nivel de la tobera.

Luego $X = K\epsilon - Y$ siendo K el factor de amplificación del error a nivel de la tobera $K = \frac{b}{a}$.

Ante esta señal de error, la presión posterior $P1$ varía en

$\Delta P1 = Kt * (K\epsilon - y)$ Siendo Kt el factor de conversión del conjunto tobera-obturador. La variación en la señal de salida es $\Delta P_o = \Delta P1 * Ka = Kt * Ka * (K\epsilon - y)$ siendo Ka el factor de amplificación de la válvula

piloto amplificador y como $Y = \Delta P_o * \frac{A}{Cs} * \frac{b}{b+a} = \Delta P_o * Kr$

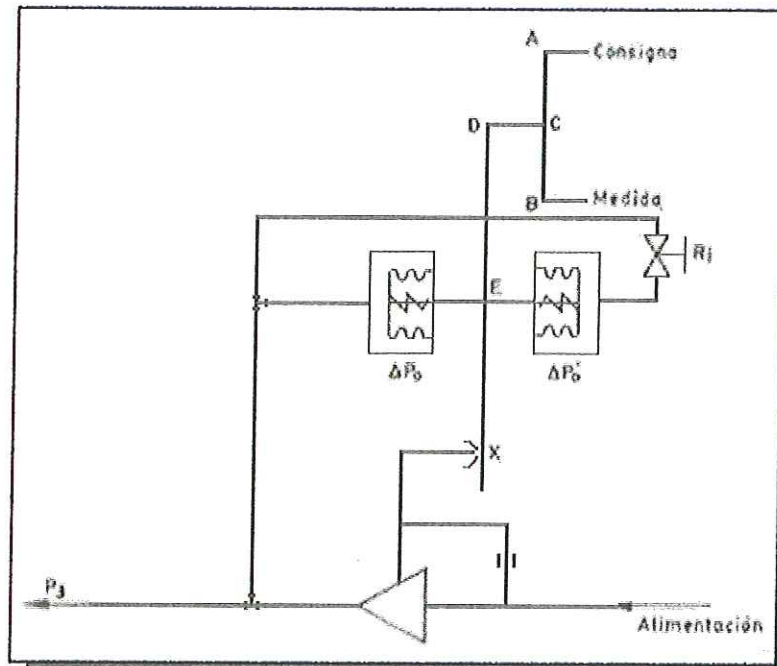
La ganancia del controlador proporcional es, pues, la relación entre la variación de la señal de salida y el error que la produce (diferencia entre la variable y el punto de consigna). El término ganancia se utiliza en control digital.

4.1.2.4 Control Proporcional + Integral

En el control integral, el elemento final se mueve de acuerdo con la función integral en el tiempo de la variable controlada.

En la figura 53 puede verse un controlador neumático típico proporcional más integral. Se observará que se diferencia con relación al controlador proporcional de la figura 52 en la adición de un segundo fuelle dotado de una restricción variable que realimenta positivamente la señal de salida.

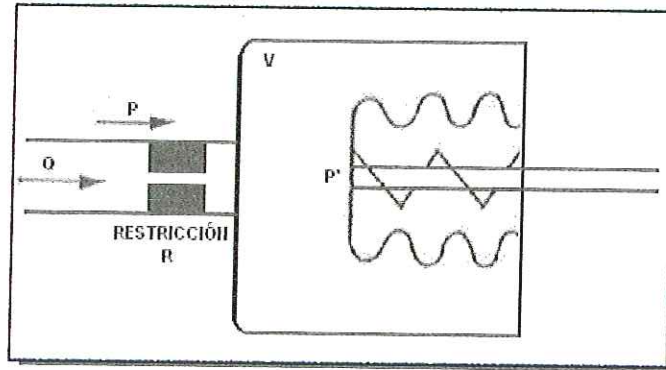
FIGURA 36 Control Proporcional + Integral



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

La combinación de la restricción R1 con la capacitancia del fuelle da lugar a una función de retardo con una constante de tiempo τ . Cuando existe una pequeña diferencia de presiones ($P-P'$) entre la entrada y el interior del fuelle, el caudal Q que pasa a través de la restricción capilar R corresponde a un régimen laminar, por lo cual existe la relación $(P-P')=R*Q$ siendo R la resistencia de la restricción

FIGURA 37 Fuelle con Restricción



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

Este caudal introduce en el fuelle una cantidad de aire Qdt por unidad de tiempo dt , dando lugar a una variación de presión dP' . El sistema se comporta Q ante una diferencia de tensiones dP' . Luego:

$$C = \frac{Qdt}{dP'}$$

que sustituida en 1 da:

$$P - P' = RC \frac{dP'}{dt}$$

es decir

$$P = P' + RC \frac{dP'}{dt}$$

y como en electrónica la combinación de una resistencia R y capacitancia C introduce una constante de tiempo τ resulta:

$$P = P' + \tau \frac{dP'}{dt}$$

es decir

$$\Delta P = \Delta P' + \tau \frac{d(\Delta P)}{dt}$$

4.1.2.5 Control Proporcional + Derivativo

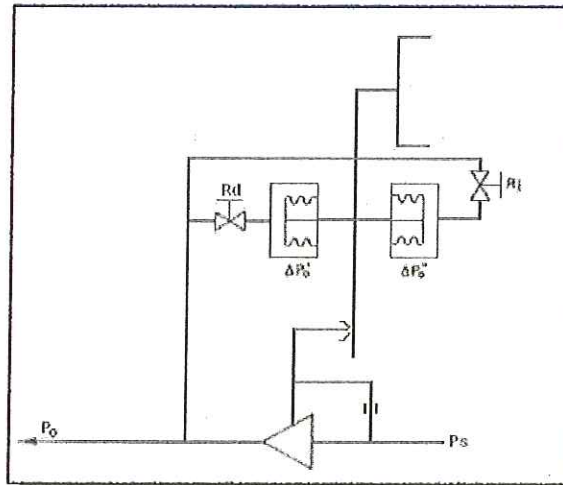
En la regulación derivada existe una relación lineal continua entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control. Es decir, el movimiento de la válvula es proporcional a la velocidad de cambio de la variable, por ejemplo, la temperatura, cuanto mas rápidamente varié ésta, tanto mas se moverá la válvula.

El factor a señalar en la acción derivada es que al operarse ésta a todas las variaciones, posee un gran efecto de estabilización, si bien elimina el offset característico del sistema de posición proporcional, por este motivo la regulación derivada, suele emplearse conjuntamente con la integral.

4.1.2.6 Control Proporcional + Integral + Derivativo

Un controlador PID neumático dispone de dos fuelles (proporcional de realimentación negativa e integral con realimentación positiva) y dos restricciones (integral y derivada). En el controlador PID de la figura 55 denominado simétrico, llamemos d e i los desplazamientos a nivel de los fuelles.

FIGURA 38 Controlador PID



Antonio Creus, Instrumentación Industrial

Como expresiones de la ganancia, tiempo de acción integral y tiempo de acción derivada de un controlador ideal equivalente. Se ve claramente que en el controlador PID simétrico existe interacción entre los ajustes de las acciones PID, es relativamente laborioso conseguir un ajuste óptimo para que el controlador ante una perturbación lleve rápidamente y con el mínimo de oscilaciones la variable controlada a su punto de consigna. *En electrónica si es posible construir un instrumento PID sin interacción entre las bandas.*

Como es lógico, los instrumentos PID estudiados incorporan usualmente una banda derivada modificada para evitar saltos en la señal de salida ante un cambio brusco en el error.

4.1.3 VÁLVULAS DE CONTROL

En el control automático de los procesos industriales la válvula de control juega un papel muy importante en bucle de regulación. Realiza la función de regular el

caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador. Se compone básicamente del cuerpo y el servomotor.

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y esta provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionada a través del servomotor.

5 SISTEMA DELTAV

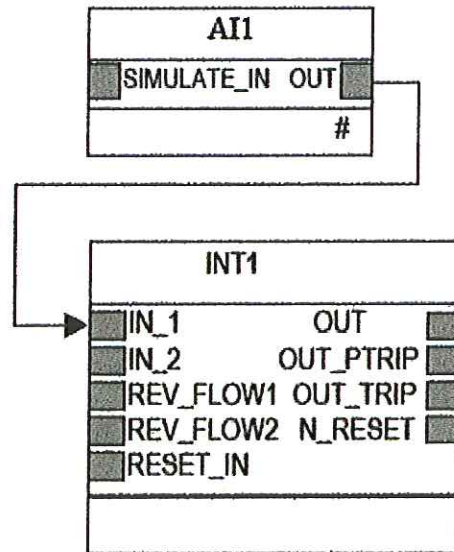
5.1 INTRODUCCIÓN

La simulación de procesos de control en tiempo real es llevada a cabo con herramientas orientada a objetos y conducida por eventos, que consiste en un entorno gráfico distribuido de programación en tiempo real para utilizar con información adquirida por medio del hardware de control así como por sensores virtuales o datos monitoreados.

Los programas de simulación son creados añadiendo objetos gráficos al área de trabajo y vinculando tales objetos mediante líneas de unión. Tal vista gráfica consiste en el programa del usuario. No son necesarias las tareas de compilado. El término "objetos" se refiere a bloques función utilizados para construir el programa de usuario.

La simulación con bloques función realiza una gran variedad de tareas, desde la adición de cantidades hasta realizar decisiones lógicas, leer archivos o controlar instrumentos entre otras. La figura muestra dos bloques función (una entrada analógica y un bloque integrador) unidos por una línea de flujo.

FIGURA 39 Unión de Dos Bloques



Autores

5.1.1 ENTORNO DE SIMULACIÓN DELTAV

DeltaV es una herramienta de simulación en tiempo real que soporta el desarrollo de la tarea de configuración de DeltaV, validación y entrenamiento de operadores de planta dentro de un entorno virtual de ingeniería.

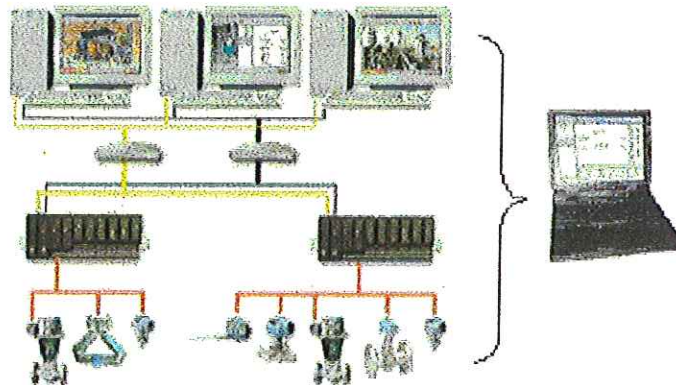
Permite la configuración de opciones sobre control continuo, control batch, control avanzado, así como el scada asociado a las estaciones de trabajo.

DeltaV es un software de fácil utilización, escalable y potente para diseñar y operar aplicaciones de control de procesos. Con esta herramienta se puede simular la ejecución de la interface del usuario y seleccionar módulos de control definidos para la planta. Utilizando las capacidades de simulación de procesos de

control y entrada/salida de DeltaV y fieldbus, se puede predecir objetivos y estrategias para conseguirlos.

La figura 41 muestra el entorno ingeniería hardware de un sistema de control de una planta de proceso, en donde la simulación es un ingrediente cotidiano, y consiguientemente, la supervisión del proceso de simulación, con objeto de asegurar sus resultados.

FIGURA 40 Entorno del Hardware del Proceso de Control



<http://plantweb.emersonprocess.com/University/schools.asp?school=eng>

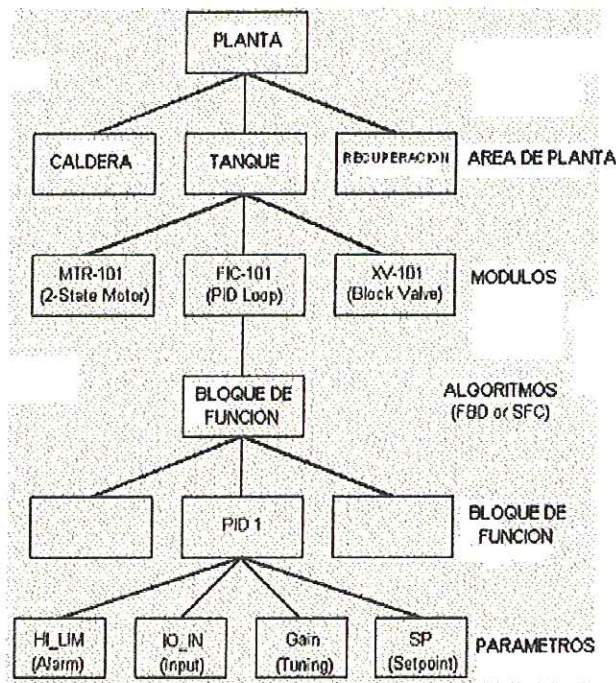
5.1.1.1 Desarrollo de Estrategias de Control

El ingeniero utiliza un acercamiento de arriba hacia abajo de la ingeniería para desarrollar la estrategia de control para un sistema DeltaV.

El sistema de DeltaV se divide en niveles de modo que los usuarios puedan elegir el nivel del detalle en el cual desean o necesitan trabajar.

La figura siguiente demuestra los niveles en los cuales se divide el sistema de DeltaV:

FIGURA 41 Diagrama de Estrategias de Control



Autores

Típicamente, el ingeniero que realiza la configuración sigue esta secuencia:

1. Toma las decisiones de alto nivel que se aplican al sistema total y a la planta y utiliza el explorador de DeltaV para definir las características del sistema.
2. Decide cómo dividir lógicamente el sistema en áreas. Las áreas son divisiones lógicas de un sistema de control de proceso. Pueden ser localizaciones de planta físicas o funciones de proceso principales.

3. Identifica los módulos que controlan los dispositivos de campo dentro de esas áreas. El ingeniero que configura puede utilizar los módulos existentes en la biblioteca del software como puntos de partida para los módulos requeridos por la estrategia de control.

Todos los pasos anteriores se pueden hacer en el explorador de DeltaV. Usando la biblioteca proporcionada, más que la estrategia de control puede ser desarrollada copiando los módulos existentes de la biblioteca en el explorador de DeltaV, entonces, la estrategia de control para los módulos únicos se define usando el Control Estudio. En Control estudio, los ingenieros pueden definir y modificar las estrategias de control, y después se completan los detalles. Los ingenieros pueden también decidir cuando trasladarse al nivel siguiente de detalle. En cada nivel, la mayoría de la estructura y las características para las estrategias típicas de control se configuran ya por el ingeniero, a excepción de los detalles de menor importancia. Por ejemplo, las plantillas del módulo se utilizan como un punto de partida para los módulos.

Las plantillas pueden definir todo sobre el tipo de control, a excepción de algunos parámetros de funcionamiento. Usando este tipo de acercamiento general, los ingenieros pueden presentar las estrategias del control en cada nivel, cortar y pegar las funciones predeterminadas, completan los detalles, y después pasan al nivel siguiente.

Software support de DeltaV posee tres tipos de lenguaje de control comunes para la configuración:

- Bloques de función
- Estructuras secuenciales
- Texto estructurado

Dentro de un solo módulo de control, se puede mezclar este tipo de lenguajes de control. No hay traducción a partir de un lenguaje a otro en la ejecución.

5.1.1.2 Parámetros

El sistema de DeltaV utiliza parámetros en bloques de función, módulos, configuración de I/O y funciones de diagnóstico. Los parámetros proveen al usuario las variables que se dan individualmente, los valores constantes para los usos específicos y pueden describirse el uso que tiene debido parámetro.

Esto permite que el usuario configure la lógica en un bloque o un módulo, lea o escriba a un canal de I/O o a un tipo específico de la tarjeta, o diagnostica un problema del sistema.

5.1.1.3 Bloque de Función

Un bloque de función es un tipo de bloque para crear los algoritmos que realizan el control real o la supervisión para su proceso.

Cada bloque de función contiene un algoritmo y los parámetros que modifican el algoritmo para requisitos particulares. Los algoritmos del bloque de función se extienden de conversiones simples de la entrada a las estrategias complejas del control.

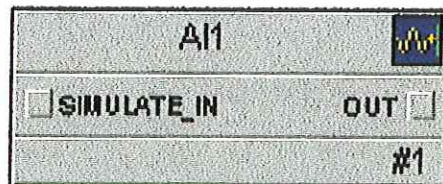
El bloque de función utiliza los datos de los parámetros provistos por el usuario, por el bloque de función, o por otros bloques para realizar sus cálculos y funciones de la lógica y para proveer un valor de la salida a otros bloques o a los dispositivos de campo.

Algunos bloques de función también detectan condiciones de alarma. Se puede conectar bloques juntos para poder transmitir datos entre los bloques. Estos datos se pueden utilizar en el algoritmo del control, el cálculo matemático o lógico, o la determinación del estado de bloque. Esta capacidad le ayuda a poner una variedad de bloques en ejecución de las estrategias de control del proceso, incluyendo control avanzado, de secuencias de la parada del sistema por precaución, y de reacciones de proceso a la información del control de calidad.

5.1.1.4 Bloque de Función de Entrada Análoga (AI)

Tiene acceso a un solo valor y estado análogo de la medida de un canal de I/O. Se puede configurar el tipo de canal para que cada canal de I/O sea el transmisor 4 - 20 mA o a la variable primaria o no-primaria digital comunicada de un transmisor del HART. Las ayudas del bloque de función del AI bloquean alarmarse, el escalamiento de la señal, la filtración de la señal, el cálculo del estado de la señal, el control del modo, y la simulación. En modo automático, el parámetro de salida del bloque (HACIA FUERA) refleja el valor (PV) y el estado variable de proceso. En modo manual, HACIA FUERA puede ser fijado manualmente. Para apoyar la prueba, se puede permitir la simulación. Esto permite el valor y el estado de la medida que se proveerán manualmente o de otro bloque a través de la entrada de SIMULATE_IN.

FIGURA 42 Bloque de Entrada Análoga

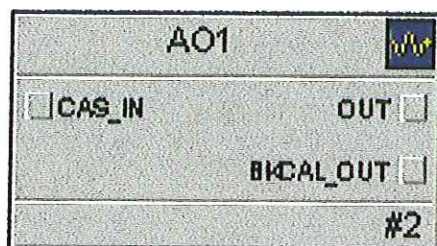


Autores

5.1.1.5 Bloque de Función de Salida Análoga (AO)

Asigna un valor de salida a un dispositivo de campo a través de un canal de I/O especificado. El bloque apoya el modo de control, el cálculo del estado de la señal, y la simulación. En modo manual, el valor del parámetro de salida (OUT) se fija manualmente. En modo automático, OUT se fija basado automáticamente en el valor especificado por el setpoint (SP) en las unidades y el parámetro de las opciones de I/O (IO_OPTS) de la ingeniería. Además, se puede limitar el valor del SP y la tarifa en a los cuales un cambio en el SP se pasa OUT. En modo cascada, la conexión de la entrada de cascada (CAS_IN) se utiliza para poner al día el SP. La salida trasera del cálculo (BKCAL_OUT) se une con una conexión a la entrada posterior del cálculo (BKCAL_IN) del bloque por ping que proporciona CAS_IN. El parámetro de la SALIDA o un valor análogo de repaso, tal como posición de la válvula, es demostrado por el parámetro de proceso del valor (PV) en unidades de ingeniería. Para apoyar la prueba, se puede permitir la simulación. Esto permite que la regeneración del canal sea fijada manualmente. No hay alarmas estándares en el bloque de función de salida análoga.

FIGURA 43 Bloque de Salida Análoga

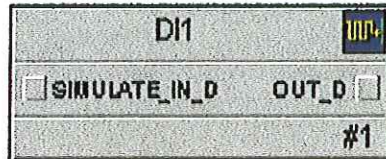


Autores

5.1.1.6 Bloque de Función Discreto de Entrada (DI)

Tiene acceso a una sola entrada discreta de un dispositivo de campo de dos estados y pone la entrada física procesada a disposición de otros bloques de la función. Se puede configurar la detección y la alarma en el valor de la entrada. Las ayudas discretas del bloque de función de entrada bloquean alarmas, modo de control, la propagación del estado de la señal, y la simulación. Normalmente, el bloque se utiliza en modo (auto) automático para copiar la variable de proceso (PV_D) a la salida (OUT_D). Se puede cambiar de modo manual (hombre) para desconectar la señal de campo y para sustituir un valor manualmente incorporado para OUT_D. En este caso, PV_D continúa demostrando el valor que se convertirá en OUT_D cuando el modo se cambia auto. Para apoyar la prueba, se puede permitir la simulación. Esto permite que el valor de la medida sea provisto manualmente a otro bloque a través de la entrada de SIMULATE_IN_D.

FIGURA 44 Bloque de Entrada Digital

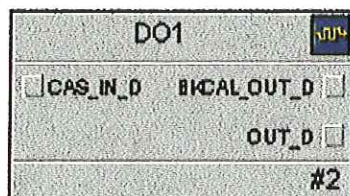


Autores

5.1.1.7 Bloque de Función Discreto de Salida (DO)

La toma discreta del bloque de función de la salida es un setpoint binario y lo escribe a un canal de I/O especificado para producir una señal de salida. Se puede confirmar la operación de salida física configurando una entrada discreta del hardware, que produce un valor que deba emparejar el setpoint. No hay alarmas estándares en este bloque. Se apoyan las alarmas de encargo. Normalmente, el bloque se utiliza en modo cascada (Cas). Se cambia al modo (auto) automático para desconectar el otro bloque y para fijar el setpoint localmente. El otro bloque prueba el estado del bloque discreto de la función de salida a través de la salida de BKCAL_OUT_D. Para apoyar el bloque utiliza un interruptor de simulación para indicar un buen estado del bloque incluso cuando no hay hardware conectado.

FIGURA 45 Bloque de Salida Digital



Autores

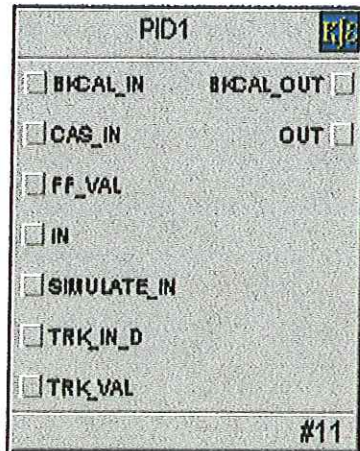
5.1.1.8 Bloque de Función PID

Combina toda la lógica necesaria para realizar el proceso en el canal de la entrada análoga, control proporcional-integral-derivativo (PID) con la opción del control no lineal (aumento error-ajustado y muestra), y, el proceso en el canal de la salida análoga.

El bloque de la función de PID realiza modo de control, escalamiento y limitación de la señal, control del feedforward, detección de alarmas, y propagación del estado de la señal. Para apoyar la prueba, se puede permitir la simulación. Esto permite el valor y el estado de la medida que se proveerán manualmente o de otro bloque a través de la entrada de SIMULATE_IN.

En modo cascada (Cas), el setpoint (SP) es ajustado por un controlador principal. En modo (auto) automático, el SP se puede ajustar por el operador. En el Cas y los modos auto, la salida se calcula con una ecuación estándar o de la serie PID. En modo manual (del hombre), la salida del bloque es fijada por el operador. El bloque de función de PID también tiene dos modos, RCas y Rout. Estos modos son similares a los modos de Cas y del hombre excepto que SP y OUT son provistos por un programa de supervisión. El bloque de función de PID se puede conectar directamente con el proceso I/O (en el deltaV, pero no en los dispositivos de Fieldbus). Puede también ser conectado con otros bloques de la función con su IN y OUT de los parámetros para cascada y otras estrategias más complejas del control. Se conecta BKCAL_OUT con BKCAL_IN de un bloque por PING para prevenir la conclusión del reajuste y para proporcionar transferencia al control del lazo cerrado. Se puede conectar la entrada que sigue (TRK_VAL) para seguir externamente controlada la salida.

FIGURA 46 Bloque de Función PID



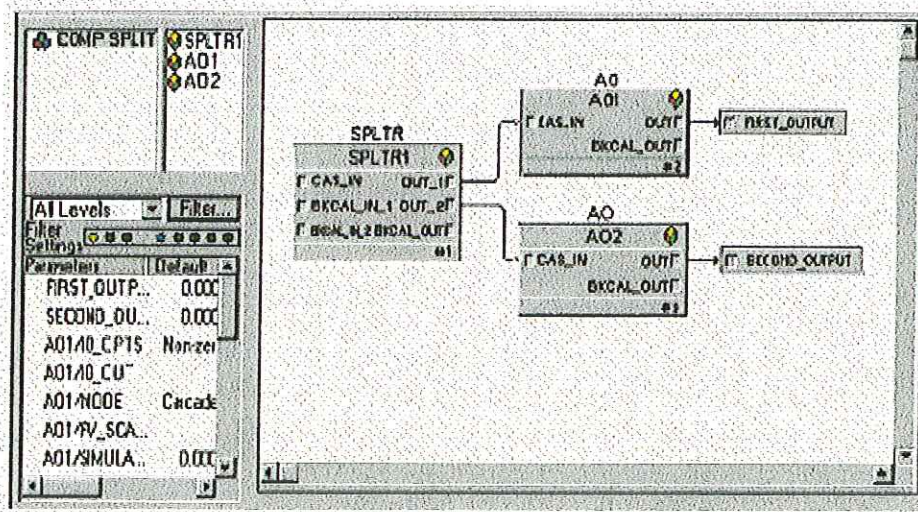
Autores

5.1.1.9 Bloque de Función Compuesto

Un Function Block Composites es un grupo de bloques de función que trabajan juntos. Este lleva a cabo un algoritmo, o una porción de un algoritmo, que se desea utilizar otra vez. Los Function Block Composites son similares a un subprograma en un programa de software que se llama y utiliza en localizaciones múltiples. Se construye el compuesto del bloque de la función una vez, lo almacena en su biblioteca del bloque de función, y lo reutiliza como sea necesario para los diversos lazos y usos a través de su proceso o para otros procesos.

Por ejemplo, suponga que se desea definir un algoritmo para un lazo simple usando bloques de función. Se podría utilizar un bloque de función del divisor para generar dos salidas y para enviarlas a dos diversos bloques de la función de salida analógica que convierten los valores y envían la señal a los dispositivos de campo con parámetros de salida.

FIGURA 47 Function Block Composites



Autores

La información de bloque de función de Fieldbus se basa en los estándares dispuestos en la Foundation Fieldbus.

Especificaciones Fieldbus. Muchos bloques de función de DeltaV son versiones extendidas de los bloques de función definidos en las especificaciones de Fieldbus o tienen capacidades adicionales que se puede utilizar para realizar control avanzado a las funciones complejas.

Se puede también insertar el Block Composite en un módulo. Los bloques compuestos son los bloques definidos por el usuario que representan un grupo de bloques de función o de pasos secuenciales. Un bloque compuesto se ejecuta sincrónico con otros bloques de función en el módulo. Los bloques compuestos pueden ser ligados o ser encajados. Las diferencias principales entre ligar y encajar bloques consisten en almacenar los datos del algoritmo y la puesta al día de los datos después de que se cree el bloque. Cuando se liga a un bloque compuesto, sigue ligado a la plantilla compuesta de la biblioteca que fue creado. El bloque ligado se coloca al día automáticamente cuando se modifica la

estructura de la plantilla original. Los datos ligados se almacenan en el bloque fuente; el bloque ligado almacena la localización del bloque fuente y exhibe una representación de su plantilla. Los parámetros en un bloque ligado pueden ser únicos para ese bloque.

Cuando se encaja un bloque, el bloque no cambia si se modifica el bloque de fuente. Los bloques encajados se convierten en bloques separados, independientes. Se puede corregir la estructura de un bloque encajado, y sigue habiendo el bloque compuesto original sin cambiar.

5.1.2 MÓDULOS

Los módulos permiten que se organice y que aísle la estrategia de control. Un módulo es el pedazo más pequeño de la estrategia de control que se puede descargar, eliminar errores o trabajar. Se desea definir sus módulos de modo que realicen una sola parte de su estrategia de control. Se divide su estrategia de control de modo que se pueda aprovecharse de la modularidad del sistema. Las ayudas de la modularidad aísla problemas al localizar averías o realizando cambios.

A veces poner una estrategia de control en ejecución en un bloque compuesto trabaja tan bien como en un módulo. Algunos de los factores que determinan si se debe utilizar un módulo o un bloque compuesto incluyen:

Scan Rate. Es una característica de un módulo, y un bloque compuesto puede tener un multiplicador de Scan Rate que lo ejecute solamente en ciertas exploraciones, pero no tiene su propia Scan Rate.

Eficiencia. El módulo utiliza más memoria que un bloque compuesto. Si se tiene una opción que no se parezca ilógica en su filosofía del control, utilice un bloque

compuesto (una opción ilógica puede ser si se está controlando todos sus motores con un módulo, y se selecciona un control particular del motor y lo coloca en un bloque compuesto).

Función. Un bloque compuesto trabaja como un subprograma que sea llamado por el módulo que contiene. Se puede llamar el compuesto de diversos módulos y pasarle diversos parámetros, pero no puede funcionar por sí mismo. Un módulo es más como un programa independiente que se pueda invocar dentro de otro módulo.

Lenguaje de control. Si se necesita entremezclar diversos lenguajes de control dentro de un solo módulo, utilice un bloque compuesto para cada lenguaje.

Lógica. Se divide lógicamente su sistema para los propósitos de la localización de averías y de mantenimiento, de modo que se pueda aislar problemas y limitar el módulo al equipo específico.

Alarmas. Si se desea poner el objeto que se está definiendo en la biblioteca para reutilizar, y se desea ahorrar las alarmas que se ha definido con el objeto, se debe utilizar un módulo porque las alarmas no se almacenan con el composite (compuesto) en la base de datos.

Al nombrar un módulo, se debe seguir estas reglas:

Los nombres son alfanuméricos.

Los nombres no pueden exceder 16 caracteres.

Los nombres deben contener por lo menos un carácter alfa.

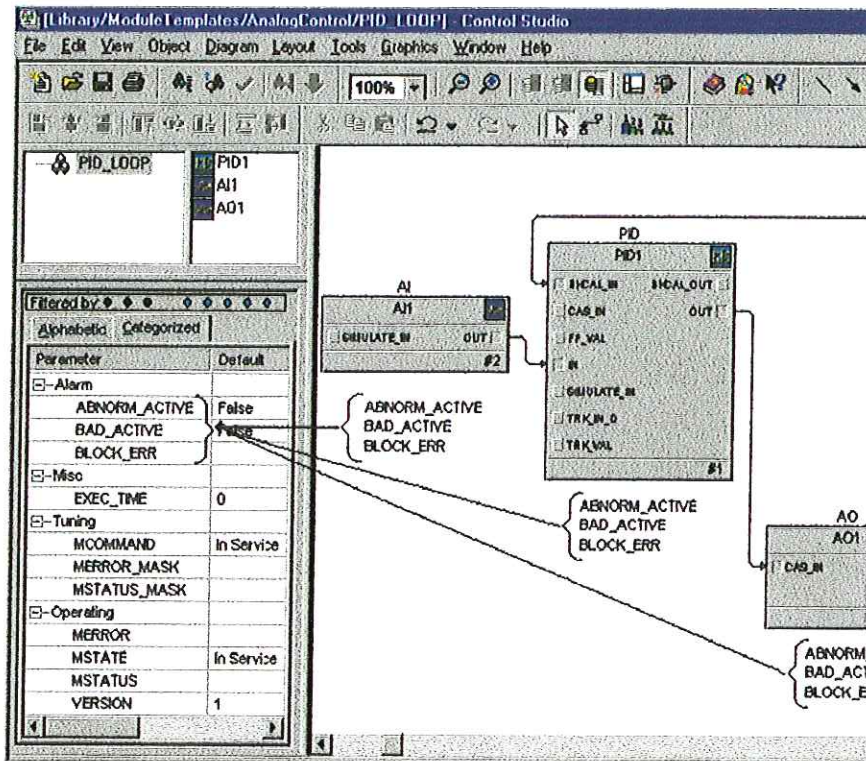
Los nombres pueden contener \$, -, o _.

Nota: Continuous Historian no puede recoger datos sobre los parámetros para los nodos o los módulos que comienzan con una rociada (-), la muestra del dólar (\$),

o una raya seguida por una opinión de proceso de la historia de la muestra (_\$). El dólar divulga que los datos son inasequibles para los parámetros de los nodos o de los módulos que comienzan con estos caracteres.

5.1.2.1 Módulos de Alarmas

FIGURA 48 Entorno de DeltaV Para Asignación de Alarmas



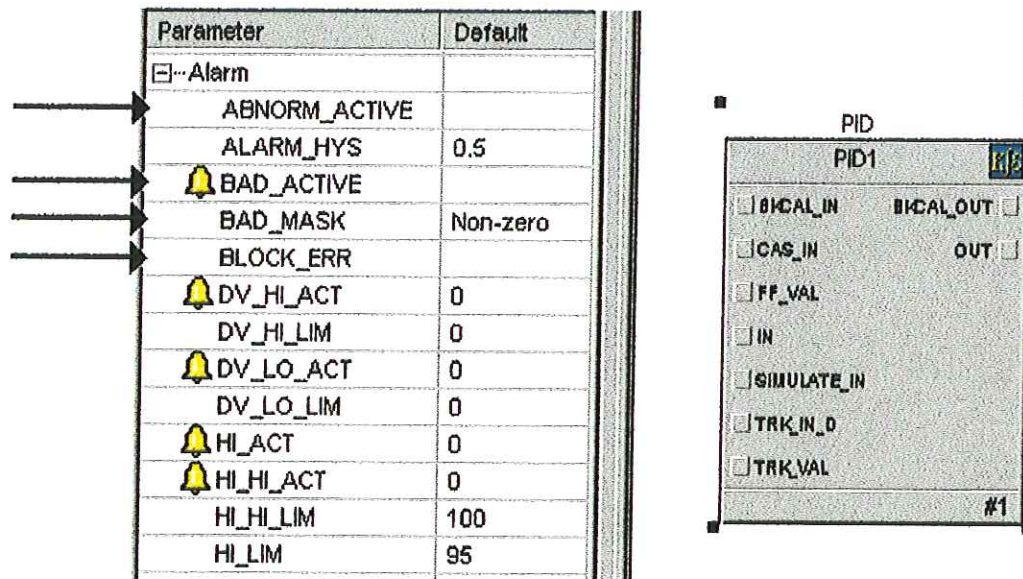
Autores

5.1.2.2 Estado del Bloque de Función

Para entender cómo propagar las condiciones de estado del bloque de función al nivel del módulo, se debe primero entender cómo estos estados se fijan en el bloque de función.

La información del error del bloque de función se almacena en el parámetro BLOCK_ERR del bloque de función. Varias condiciones de error pueden ser activas en el mismo tiempo. BLOCK_ERR fija el parámetro BAD_ACTIVE del bloque de función o el parámetro ABNORM_ACTIVE del bloque de la función diferente de cero, dependiendo de la configuración del parámetro BAD_MASK del bloque de función.

FIGURA 49 Asignación de Alarmas



Autores

Cuando se selecciona una condición de error en BAD_MASK y la condición de error llega a ser verdadera, se fija BAD_ACTIVE. El resto de las condiciones de error (no seleccionadas) fijan el ABNORM_ACTIVE cuando la condición de error está presente.

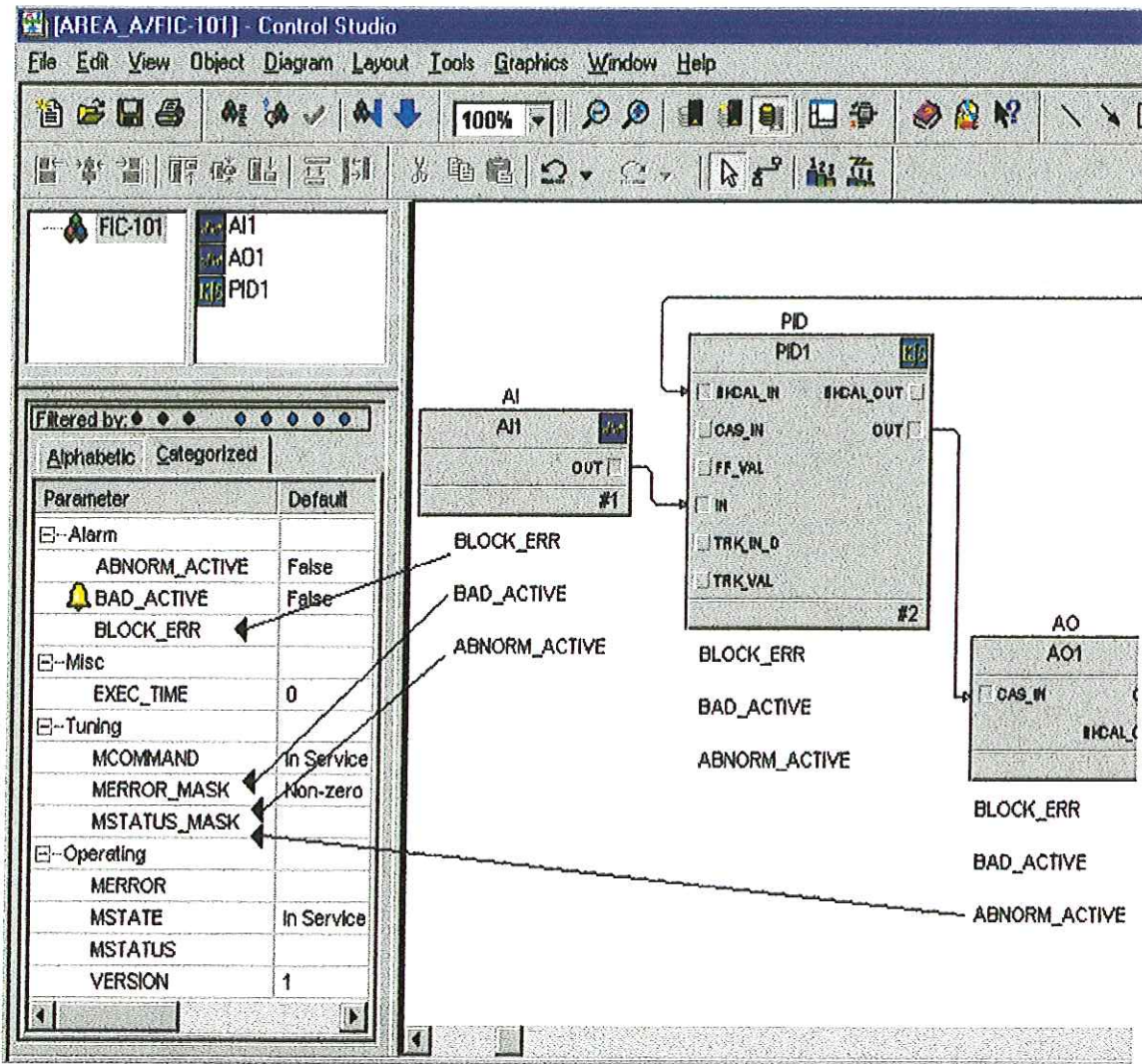
Nota: Si un bloque de función tiene errores múltiples, los parámetros del bloque de su función de BAD_ACTIVE y de ABNORM_ACTIVE pueden ser activos en el mismo tiempo. Cuando están fijados, las partes en BAD_ACTIVE y ABNORM_ACTIVE (en el nivel del bloque de función) corresponden a las partes en BLOCK_ERR (en el nivel del bloque de la función).

Por lo tanto, cuando se selecciona una condición en el parámetro BAD_MASK (por ejemplo, falta del bloque de función de I/O) y esa condición llega a ser verdadera en el bloque (según lo almacenado por BLOCK_ERR), el parámetro BAD_ACTIVE del bloque de la función se fija a la misma condición (falta de I/O, en este caso). Sino, BAD_ACTIVE no tiene nada fijó, significa que no existe ninguna condición de error seleccionada. Inversamente, cuando una condición que no se selecciona en BAD_MASK llega a ser verdadera (según lo almacenado por BLOCK_ERR), el parámetro ABNORM_ACTIVE del bloque de la función se fija a la misma condición. Sino, ABNORMAL_ACTIVE no se fija, que significa que no existe ninguna condición de error no seleccionada.

Mientras que algunas condiciones de error para un bloque de función pueden ser importantes para alarmas de encendido, otras condiciones de error son menos importantes. Identificando las condiciones de error importantes usando BAD_MASK, se puede crear un alarma del módulo basado en el valor del parámetro BAD_ACTIVE del bloque de función en vez de comprobar las condiciones de error individuales en el parámetro BLOCK_ERR del bloque de función. La misma lista de las condiciones de error se incluye con cada bloque de función. Para determinarse cuál de las condiciones de error es válido para un bloque específico de función, refiera a su definición de BLOCK_ERR. Por ejemplo,

los errores del bloque para el bloque de función del PID se simulan la invalidación activa, local, variable de la entrada failure/process, el estado, falta de salida, y el fuera de servicio.

FIGURA 50 Estatus de Alarmas



Autores

5.1.2.3 Descripción del Proceso de Alarma

El sistema DeltaV apoya las alarmas siguientes:

Alarmas predefinidas (del estándar), las alarmas estándares consisten en Alto-alto, ALTO, Bajo-bajo, PUNTO BAJO, y las alarmas LOW. Las alarmas estándares están solamente disponibles en bloques de función con el cómputo incorporado del estado de la alarma. Las alarmas de encargo se apoyan en el nivel del módulo (excepto los módulos de la unidad y los módulos de la lógica de la fase). Una alarma de encargo se puede utilizar como alarma para el operador o un acontecimiento que se registrará. Se modifica la alarma para requisitos particulares seleccionando de un sistema de opciones. Las alarmas del proceso de DeltaV requieren el cálculo de la alarma y la detección de la misma.

Cálculo. Muchos bloques de función de DeltaV incluyen cálculos del estado de la alarma. Cualquier parámetro booleano puede proporcionar el componente del cálculo de la alarma para un módulo. Este componente es la entrada para alarmar la detección. Se puede también crear sus propios cálculos del estado de la alarma usando los bloques de la función que apoyan expresiones (por ejemplo, los bloques de función de Calc/Logic y de la condición).

Detección. En la orden para que un módulo detecte el resultado de un cálculo del estado de la alarma, se debe asociar el resultado de ese cálculo a un parámetro específico de la alarma. Para las alarmas estándares, seleccione simplemente el bloque de función en el diagrama, clic en el botón de ratón derecho, y después clic en asignar alarma. El software determina los parámetros de la detección. Para las alarmas de encargo, en la opción de alarma (ventana abajo-derecha en el control estudio), clic el botón del ratón derecho, y después clic agregar.

Las áreas de la planta de cada módulo se asocian a una sola área. Incluso si el módulo aparece en el explorador de DeltaV debajo de un módulo de la unidad y se encuentra bajo célula de proceso, son todos bajo el área de la planta y, por lo tanto, se asocian a esa área. Las alarmas del dispositivo de Fieldbus son asociados por defecto al área AREA_A.

Dos cosas pueden afectar esta asignación de defecto:

Asociación user-specified hecha a través de las características del regulador y una asociación determinada por la estrategia de control.

Es posible especificar la asignación del área para un dispositivo del fieldbus a través de las características del dispositivo de su regulador asociado. Sin embargo, la mayoría de la asignación del área es determinada por la estrategia de control. Cuando se asigna un bloque de la función del módulo al bloque primario de la función en un dispositivo del fieldbus, el dispositivo entonces se asocia al área de la planta (y a la unidad) que contiene el módulo que se refiere. El bloque primario de la función de un dispositivo es el bloque de la función con el número de índice más bajo del bloque.

Este bloque aparece normalmente como el primer bloque bajo dispositivo en el explorador de DeltaV. Mientras que los sitios de trabajo pueden leer y escribir parámetros dondequiera dentro del sistema, supervisan solamente acontecimientos y mantienen una lista de alarmas activas en las áreas de la planta que se han asignado al subsistema de las alarmas y de los acontecimientos del sitio de trabajo.

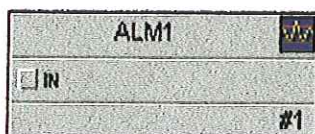
Un sitio de trabajo supervisa (los registros del acontecimiento) todos los acontecimientos en el sistema que se asocian a las áreas de la planta asignadas. se puede agregar 99 áreas de la planta y asignar las áreas de la planta a los sitios

de trabajo específicos. Realice estos cambios a través del explorador de DeltaV. Para asignar un área al subsistema de las alarmas y de los acontecimientos para un sitio de trabajo, seleccione el área y arrástrela y caiga al subsistema de las alarmas y de los acontecimientos del sitio de trabajo. Para ver las áreas asignadas a un sitio de trabajo, clic en las alarmas y los acontecimientos (bajo nombre del sitio de trabajo). Esta es hecha asignando (arrastrando y cayendo) el módulo al subsistema asignado de los módulos bajo el nodo deseado de la ejecución. Si no quisiera que un operador tuviera la autoridad para controlar un área (es decir, tenga escribir parámetros en módulos asociados), se puede configurar su sistema de modo que el operador no tenga ningún privilegio de la escritura del parámetro (la seguridad escribe llaves) en esa área. Posteriormente, cuando entran a ese operador, las alarmas de esa área no se exhiben en la bandera de las alarmas o los cuadros de la lista. De esta manera, se puede controlar qué alarmas son consideradas por un operador particular.

5.1.2.4 Bloque de Función Detección de Alarma

Proporciona la capacidad de especificar fácilmente alarmas en los parámetros que se obtienen de I/O o de los resultados de otros cálculos del bloque de la función. Los parámetros generados por el bloque de función de detección de alarmas se pueden entonces utilizar para generar unas alarmas en el interfaz del operador.

FIGURA 51 Bloque de Asignación de Alarmas



Autores

5.1.3 AUTO-SENSE

La característica cuando se conecta controladores y las tarjetas de I/O a un DeltaV operacional controlan la red, el sistema detecta automáticamente el controlador y las tarjetas, así como los tipos de la tarjeta. Si no tiene que mecanografiar dentro todos los tipos de la tarjeta de I/O conectados con un controlador porque el sistema de DeltaV lo hace para el usuario.

5.1.4 COMISIÓN

Un controlador automáticamente detectado se debe comisionar para ser completamente funcional en el sistema. Cuando el sistema primero detecta un controlador en la red, este se exhibe en la sección desarmada de los controladores del explorador.

Un controlador desarmado no tiene una identificación, una dirección, o un nombre. No está limitado a ninguna definición del controlador en la base de datos. La Comisión es el proceso de arrastrar el icono del controlador de la sección desarmada de los controladores a la sección de la red del control dentro del explorador. La Comisión de un controlador asigna una dirección y una identificación al regulador, y le incita proveer un nombre y una descripción.

5.1.5 DECOMISIÓN

Cuando se decomisiona un controlador, toda la información en el regulador se borra. Si no debe unassign los módulos cuando se decomisiona un controlador porque estas asignaciones se pueden restaurar con una transferencia directa después de que comisiona el controlador.

Cuando se decomisiona un controlador, el icono del controlador y todo el resto de la información de la base de datos queda visible en el explorador. La información de la base de datos incluye todas las tarjetas configuradas, tarjeta mecanografía, los tipos de canal, y todos los módulos asignados al controlador. Se puede restaurar toda esta información comisionando el controlador y seleccionando el nodo del controlador de la transferencia directa.

El sistema DeltaV apoya controladores redundantes. Un regulador redundante consiste en un par de controladores estándares (versión M3, M5 o más alto) en los portadores separados de 2-wide power/controller conectados juntos. Cada controlador requiere una fuente de alimentación separada montada en su portador. Uno de los controladores en el par es el regulador activo. El otro controlador es el que esta espera. El controlador de espera contiene la misma configuración que el activo y refleja los datos del controlador activo. Cuando un controlador activo falla, el controlador de espera asume el control el abastecimiento de la operación de control interrumpida sin la inicialización o la intervención del usuario. Aunque cada regulador en un par redundante tiene su propia dirección del MAC ADDRESS y del nodo, un controlador redundante cuenta como un solo nodo en la red del control de DeltaV en términos de la capacidad de la red. Un controlador redundante requiere una licencia redundante.

5.1.6 COMISIÓN Y DECOMISIÓN

La función en el explorador de DeltaV afecta ambos controladores en el par. Se puede quitar un controlador en un par redundante sin la decomisión del mismo. Por ejemplo, si se quita el controlador de espera y lo reinstala, se restablece la dirección, el recurso seguro recibe una transferencia directa actual y esta listo para aceptar un intercambio. Si se quita el controlador activo sin el desarme, el recurso

seguro asume el control. Cuando se reinstala el controlador, se restablece la dirección y el controlador reinstalado hace la espera. Siempre que un controlador se quita de un par, el explorador de DeltaV continúa identificando el controlador como redundante. Si se desea cambiar un controlador redundante al simplex, se debe cambiar las características del controlador en el explorador de DeltaV y descargar los datos de la disposición del controlador. No desconecte un portador y a su controlador mientras que se acciona el funcionamiento. Si un controlador y un portador (rack) deben ser quitados, apague el sistema antes.

5.1.7 DIAGNOSTICO

El diagnóstico de DeltaV le permite visión diagnóstica, direcciones del MAC, y las direcciones del nodo (IP) para ambos controladores en un par. El diagnóstico también le permite destellar las luces en cualquier controlador en el par que usa independientemente la selección del menú del controlador del identificador. Toda la información del diagnóstico y de la dirección para el controlador espera estar alcanzada a través del controlador activo en el nivel de espera (debajo del subsistema de la redundancia). El diagnóstico requiere que el controlador que se encuentra comisionado puede destellar los leds. Sin embargo, se puede realizar un ping de TCP/IP directamente a las direcciones del nodo de la conexión de red primaria o secundaria en el recurso seguro.

5.1.8 TARJETAS DE I/O

El subsistema de DeltaV I/O apoyan tipos múltiples de tarjetas de I/O, incluyendo tarjetas análogas y discretas de la entrada y de la salida, las tarjetas de la salida del Hart y de la entrada, las tarjetas seriales, la tarjeta de H1 Fieldbus, tarjeta del

Como-Interfaz, tarjeta del DP de Profibus, RTD (ohmios), termopar(mV), de múltiples funciones, y la tarjeta de SOE (secuencia de evento). El subsistema de I/O consiste en un bloque de terminales que se encaja a presión sobre el rack para proporcionar la terminación del tornillo para el cableado de campo y la tarjeta real de I/O que se encaja a presión sobre él.

6 DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 INTRODUCCIÓN

A través de este capítulo se expone los pasos que se llevaron a cabo para el desarrollo del prototipo, que consiste en el manual de prácticas para el aprendizaje del sistema DeltaV, el cual se diseñó de manera didáctica a partir de una metodología de aprendizaje para orientar al estudiante y evaluar los conceptos adquiridos en el desarrollo de las Prácticas y se pueda valorar la calidad de la información que contiene el manual como lo son imágenes, texto, información interactiva, ejercicios complementarios y actividades previas.

Las prácticas fueron organizadas con un nivel de dificultad desde lo más básico hasta llegar a un nivel de complejidad alto. De esta forma el estudiante se motiva en el desarrollo de las actividades que se proponen en el manual, además el estudiante adquiere un espíritu investigativo, autónomo y de responsabilidad.

En la investigación que se efectuó de antemano para la realización del proyecto permitió conocer, analizar y escoger la metodología más acorde al tipo de material didáctico que se iba a trabajar en las prácticas. Esta es la base para diseñar las prácticas y la organización de la información para la explicación de los temas que se encuentran en cada una de ellas. En el marco teórico este libro se explica las metodologías utilizadas para la realización de manuales, tutoriales y libros de aprendizaje, de esta información se escogió la metodología orientada a problemas (ABP) en la cual se traza unos objetivos claramente definidos según la necesidad de enseñanza, al haber el estudiante alcanzado los objetivos planteados, el estudiante se enfrentará a otro tipo de metodología en la que se propondrá

situaciones reales para que el de una solución y de esta forma se desarrolla una metodología enfocada a proyectos.

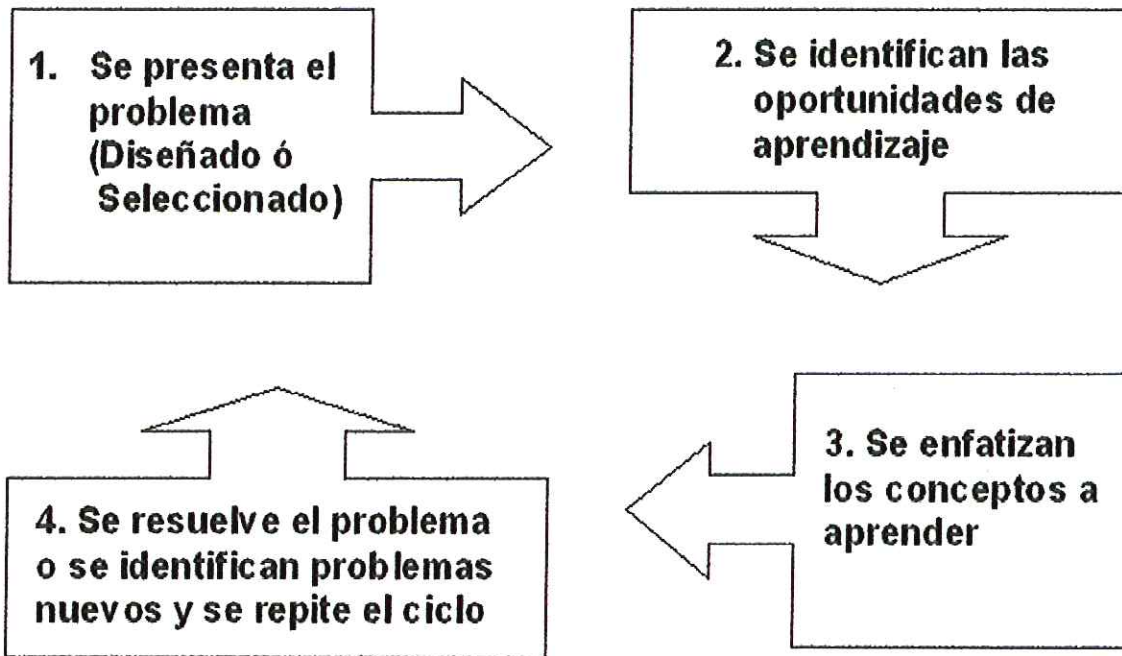
6.1.1 METODOLOGÍA ESCOGIDA PARA EL MANUAL DE PRÁCTICAS

Durante las últimas décadas, donde la automatización y las nuevas tecnologías han tenido un gran auge, se han publicado muchos libros sobre la teoría de la implementación de procesos de control, supervisión y monitoreo de plantas. Al realizar este proyecto de grado la pregunta obligada es ¿por qué hacer el proyecto de grado sobre el mismo tema?

La razón para realizar este proyecto de grado es abordar el tema de una manera pedagógica y práctica; no es que los otros libros no sean pedagógicos sino que se trata de un tema muy especializado y frecuentemente tan abstracto y costoso, que para los estudiantes de ingeniería o personas interesadas que quieran hacer el estudio de este tema puede volverse un poco frustrante, vale la pena intentar métodos, particularmente con un lenguaje directo y sencillo, que sin quitarle rigor al tema y sea comprensible a la mayoría de estudiantes de ingeniería.

Este libro tiene un objetivo claramente teórico-práctico, basado en el aprendizaje aplicado a problemas donde primero se presenta el problema, se identifican las necesidades de aprendizaje, se busca la información necesaria y finalmente se regresa al problema. En el recorrido que se vive desde el planteamiento original del problema hasta su solución, se debe trabajar de manera colaborativa en pequeños grupos, compartiendo en esa experiencia de aprendizaje la posibilidad de Practicar y desarrollar habilidades, de observar y reflexionar sobre actitudes y valores.

FIGURA 52 Esquema de Aprendizaje Aplicado a Problemas



Autores

Esta es una estrategia de enseñanza-aprendizaje en la que tanto la adquisición de conocimientos como el desarrollo de habilidades y actitudes resulta importante, con la facilitación de temas, y un tutor que es quien finalmente los canalizara, en el análisis y la solución de un problema seleccionado o diseñado especialmente para el logro de ciertos objetivos de aprendizaje. Durante el proceso de interacción de los alumnos para entender y resolver el problema, se logra el aprendizaje del tema y puedan elaborar un diagnóstico de sus propias necesidades de aprendizaje, que comprendan la importancia de trabajar colaborativamente, desarrollen habilidades de análisis y síntesis de información, además de comprometerse con su proceso de aprendizaje.

Involucran a los estudiantes en proyectos complejos o no, del mundo real, a través de los cuales desarrollan y aplican habilidades y conocimientos adquiridos en las etapas previas que se deben cumplir con las siguientes etapas de un proyecto.

Después que el alumno haya logrado superar los problemas planteados en las prácticas previamente trazadas con unos objetivos, abarcaremos un aprendizaje enfocado a proyectos donde se planteara el desarrollo de situaciones reales en un ambiente académico por medio de la realización de un proyecto de trabajo.

6.1.1.1 Diseño Mecatrónico

En este proyecto de grado se tiene como objetivo principal incluir los temas relacionados con el perfil de un ingeniero Mecatrónico, que cuenta con las áreas de conocimiento de la mecánica, electrónica y control.

El manual de prácticas para el aprendizaje del sistema DeltaV esta relacionado con estas áreas de interés y cumplen con el requerimiento de un Diseño Mecatrónico ya que esta tecnología fue desarrollada con el principal objetivo de realizar control distribuido en cualquier proceso industrial que incluye áreas importantes en la industria como es la mecánica de fluidos, control de temperatura, control PID a una variable ya sea temperatura, presión, velocidad, etc.

En el manual de prácticas se enseñó a utilizar dispositivos como las válvulas de control las cuales son un actuador que tiene un diseño Mecatrónico muy utilizado en diferentes procesos industriales como una planta de gas, calderas, control de flujo y otros, las válvulas de control contienen dispositivos electrónicos, un controlador y un mecanismo actuador que compone la parte mecánica del sistema, es por esto que en los temas relacionados para las prácticas se tuvo en

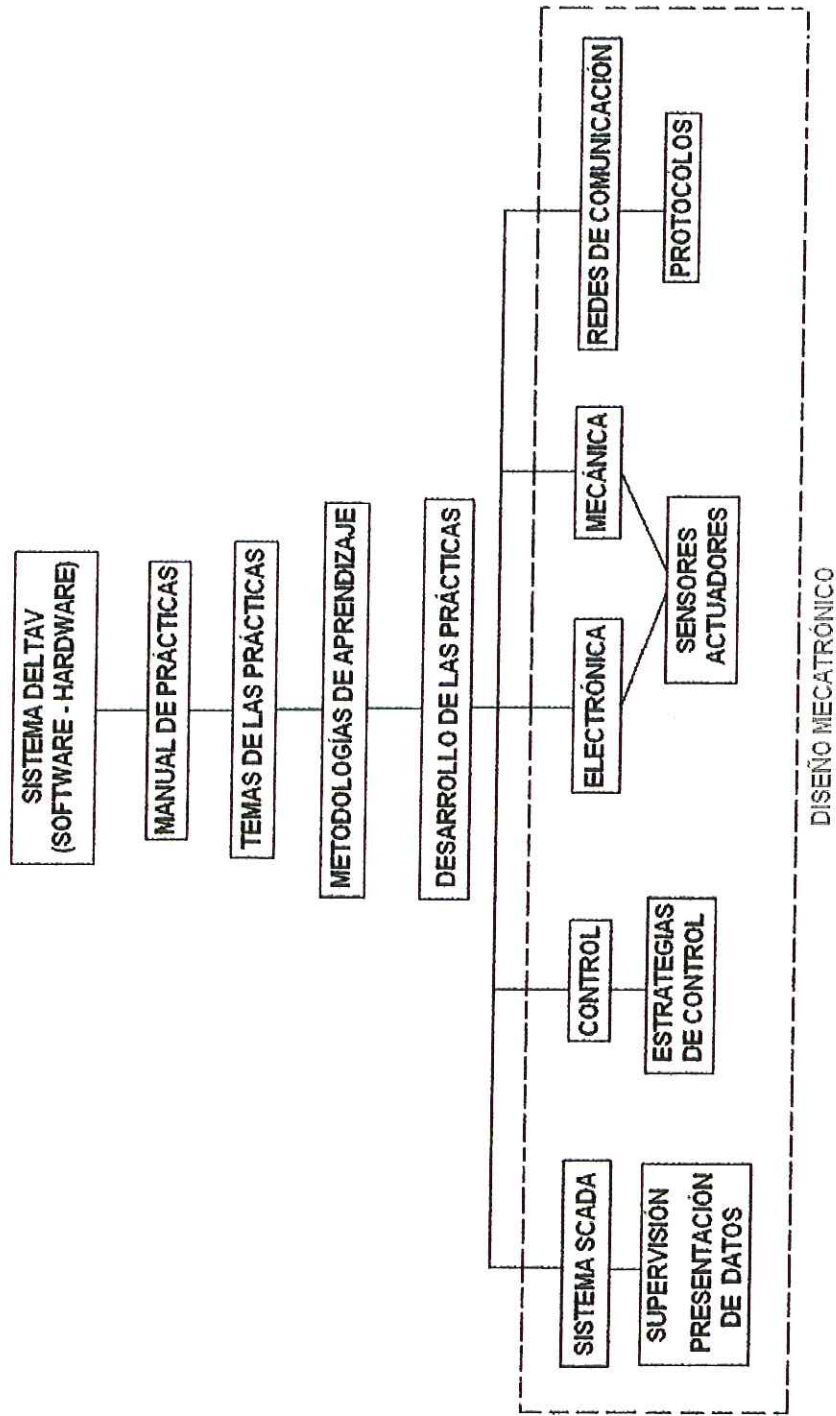
cuenta conocer el diseño y el manejo de este tipo de instrumentos ya que le brindan al estudiante enfocar los diferentes conocimientos adquiridos en su carrera profesional.

Las redes de comunicación es un tema fundamental para la utilización del sistema DeltaV esto forma parte de la automatización industrial y permite realizar un transporte de datos a distancia que nos da grandes alternativas a la hora de realizar cualquier proyecto referente a un sistema automático confiable.

Para el desarrollo del diseño Mecatrónico se llevo a cabo un conjunto de pasos con el fin de orientar la investigación y el desarrollo del manual, iniciando con el estudio del sistema DeltaV y los temas relacionados para realizar un curso básico de los conceptos y los proyectos que se pueden desarrollar en la plataforma del software, en la **figura 53** se observa un diagrama de bloques donde se exponen los diferentes temas y el diseño Mecatrónico de este proyecto de grado.

Este proyecto de grado esta orientado a la enseñanza del montaje de sistemas automatizados que se componen de dispositivos electrónicos y mecánicos sofisticados a los cuales se les puede realizar un control eficiente para acondicionar variables en un proceso industrial, las prácticas del manual requieren un conocimiento previo de los temas relacionados con el perfil de un ingeniero Mecatrónico y por lo tanto el conocimiento de estas áreas de trabajo pueden formar parte del manejo del sistema DeltaV el cual nos da las utilidades necesarias para poder implementar diseños mecatrónicos en la industria, incluyendo otros temas importantes como la robótica, instrumentación y sistemas Scada.

FIGURA 53 Diseño Mecatrónico



Autores

6.1.1.2 Prácticas Desarrolladas

Se desarrollo un conjunto de 16 prácticas donde expone una parte teórica y otra con problemas orientados a circunstancias reales que se dan en la industria donde se puede implementar el sistema DeltaV, cada práctica tiene una duración de dos horas y se pueden llevar a cabo en periodos de tiempo según la disponibilidad de tiempo.

Las prácticas desarrolladas son las siguientes:

Práctica 0 Conexiones

Práctica 1 Manual de instalación de DeltaV

Práctica 2 Configuración del Controlador

Práctica 3 Instrumentación

Práctica 4 Instrumentación

Práctica 5 Configuración de los dispositivos

Práctica 6 Utilidades DeltaV

Práctica 7 Compuertas lógicas

Práctica 8 Compuertas X-OR y X-NOR

Práctica 9 Simulación y conversión de medidas de presión.

Práctica 10 Simulación y conversión de medidas de temperatura

Práctica 11 Sensor virtual de nivel

Práctica 12 Sensor virtual de flujo masico

Práctica 13 Control PID

Práctica 14 Control PID avanzado

Práctica 15 Interface de operador

Los temas expuestos en las prácticas están enfocadas a la parte industrial como son las conexiones del controlador y las tarjetas que tiene el sistema, la

instrumentación utilizada como son los transmisores, sensores y válvulas de control, las estrategias de control que se pueden desarrollar dentro del sistema DeltaV, los sensores virtuales que son utilizados en la industria y que es bueno que el estudiante tenga conocimientos de estos ya que son usados en diferentes procesos, la plataforma Scada que emplea un formato HMI es un tema de vital importancia e igualmente es muy motivante para los estudiantes ya que se puede acceder y visualizar las variables de los dispositivos de campo, en este entorno HMI se desarrollan presentaciones agradables de los procesos que se están operando en tiempo real.

6.1.1.3 Modelo de las Prácticas

El diseño de las prácticas se lleva a cabo según un formato donde se exponen las pautas que se tendrán en cuenta para el desarrollo de la práctica.

1. **Área del manual de prácticas.** El manual de prácticas está organizado en áreas de trabajo como: Configuración de DeltaV, Análogas, Digitales, Sensores Virtuales, Control PID y la Interface de operador. Cada una de estas áreas permite identificar el tipo de práctica que se va a llevar a cabo.
2. **Título de la Práctica.** Es el nombre con el cual se identifica el tema de la práctica.
3. **Objetivos.** Incluye el alcance que se espera tener en el desarrollo de la práctica.
4. **Requerimientos.** Estas son los conocimientos básicos que se deben tener para comenzar a realizar la práctica, es muy importante que el estudiante conozca sus capacidades a la hora de comenzar su trabajo a través de la actividad previa, el objetivo y la identificación de la práctica.

5. **Actividades previas.** En esta actividad se debe realizar una investigación la cual será de gran utilidad para irse introduciendo en el desarrollo de la práctica antes de abordar el tema.
6. **Materiales.** Son los diferentes componentes necesarios para la realización de la práctica.
7. **Conceptos fundamentales.** Esta parte del formato brinda al estudiante una ayuda investigativa con el fin que tenga al alcance formulas, conceptos e información importante referente a la práctica.
8. **Numero de práctica y título de la práctica.** Este pie de página que tiene el formato permite identificar el número de la práctica del manual y el nombre de la misma con el fin de mantener una presentación del tema y el orden de las prácticas en todo el manual.
9. **Problema propuesto.** Se plantea un reto acorde a las actividad que se este desarrollando y el nivel de complejidad. Esto cumple el requisito de la metodología orientada a problemas.
10. **Desarrollo del problema.** En esta parte se le da una solución detallada del problema propuesto para que el estudiante se guíe y conozca las diferentes maneras de manejar el sistema DeltaV, se incluyen imágenes de los pantanazos y de los resultados que se tienen en el software.
11. **Ejercicio complementario.** Se propone al estudiante un ejercicio para resolver y colocar a pruebas sus capacidades y lo aprendido en la práctica de esta manera se evalúa y se orienta al estudiante a desarrollar proyectos reales de la industria.

(AREA DEL MANUAL DE PRACTICAS) [1]



(TITULO DE LA PRACTICA) [2]

OBJETIVOS [3]

-
-

REQUERIMIENTOS [4]

-
-

ACTIVIDADES PREVIAS [5]

MATERIALES [6]

-
-
-

CONCEPTOS FUNDAMENTALES [7]

HUMERO DE PRACTICA. TITULO DE LA PRACTICA [8]

1



PROBLEMA PROPUESTO 9

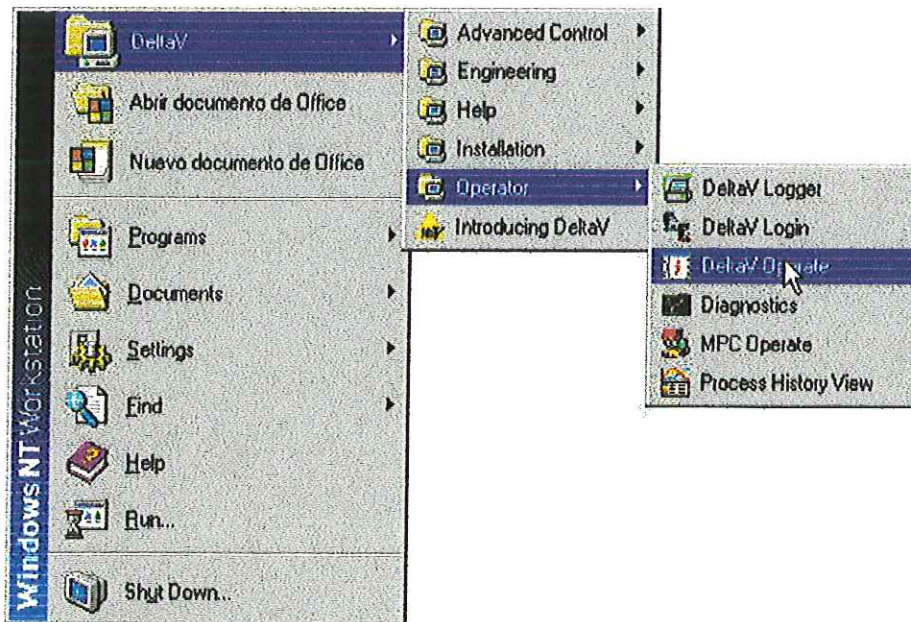
DESARROLLO DEL PROBLEMA 10

EJERCICIO COMPLEMENTARIO 11

6.1.1.4 Imágenes

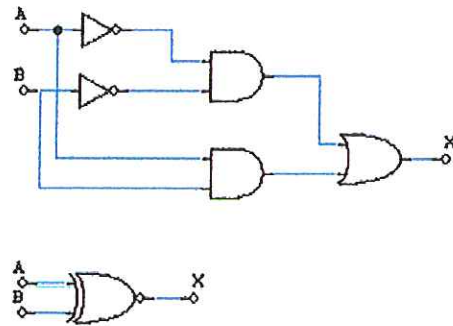
Las imágenes utilizadas en el manual de prácticas son de gran ayuda para que el estudiante pueda seguir la realización del problema propuesto paralelamente con en el sistema DeltaV, en el conjunto de imágenes que tiene cada práctica se encuentran pantallas de los pasos que debe realizar el estudiante para que tenga éxito en el desarrollo de la práctica. Otras imágenes son de circuitos electrónicos, dispositivos utilizados y esquemas de procesos con el fin de orientar y hacer de manera didáctica la explicación y el desarrollo de cada actividad.

FIGURA 54 Imagen de un Pantallazo



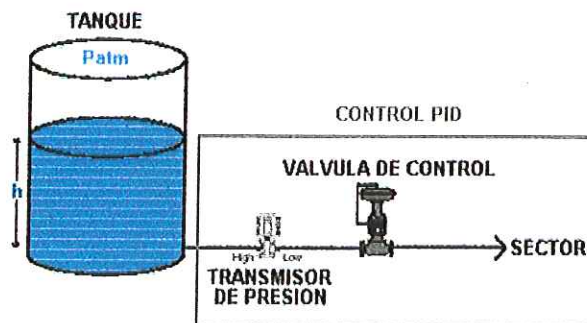
Autores

FIGURA 55 Imagen de Circuito Electrónico



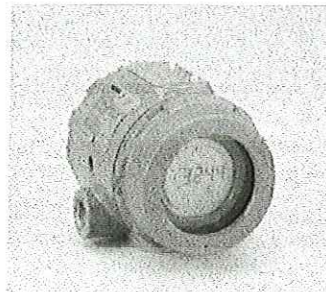
Autores

FIGURA 56 Esquema de Procesos



Autores

FIGURA 57 Imagen de Dispositivo



Autores

6.1.1.5 Evaluaciones

Para evaluar al estudiante y desarrollar un carácter investigativo se realizaron dos tipos de actividades que son: Actividades previas y ejercicios complementarios.

- Las actividades previas son un conjunto de preguntas investigativas que se deben desarrollar antes de comenzar la práctica con el fin de que se tengan algunos conceptos previos de la actividad que se realizará en el sistema DeltaV, es muy importante que el estudiante realice esta investigación conscientemente y la documente para que la tenga a la mano antes de dar inicio a la práctica, este requisito es una forma de evaluar al estudiante y crear un carácter investigativo en su aprendizaje ya que la información referente al sistema DeltaV es muy escasa y el estudiante debe documentarse muy bien antes de realizar conexiones y configuraciones de los dispositivos en el software, para evitar fallas y daños en la operación de los equipos utilizados.

Las actividades previas se deben documentar en un formato que será diligenciado al tutor o el profesor que evaluará la investigación, con el fin de que la información sea correcta y de ayuda para el desarrollo de la práctica.

- Las actividades complementarias están diseñadas de tal forma que el estudiante resuelva un problema acorde a la práctica realizada y de esta manera pueda repasar los pasos con los que se realizó la práctica y así evaluar los conceptos adquiridos. La ventaja de estos ejercicios complementarios es que el estudiante los puede realizar como quiera pero que consiga el objetivo que se le propone. Esta actividad complementaria se debe documentar en un formato para ser entregado al tutor o profesor que lo dirige, el formato contiene los siguientes puntos: Información

3. DESARROLLO DEL PROBLEMA:

Desarrollo del problema, estrategia que se toma para dar la solución al ejercicio propuesto.

4. DIBUJO DESCRIPTIVO:

Anexo de gráficos de la programación de objetos utilizada para la solución del problema.

5. CONCLUSIONES:

Analizar los resultados y las estrategias utilizadas para el desarrollo del problema propuesto, deben ser acordes a los objetivos planteados inicialmente en la práctica.

6.1.2 MANUAL DE PRÁCTICAS INTERACTIVO

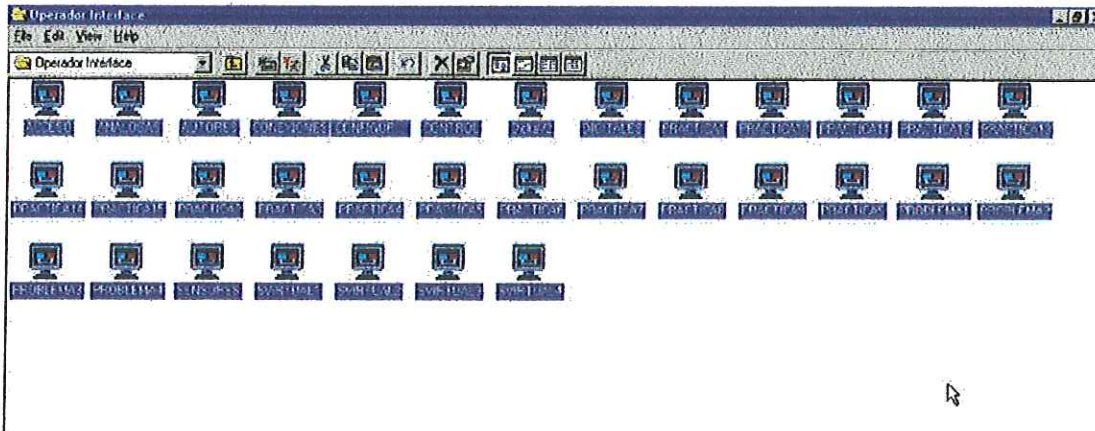
Se realizó un manual interactivo en la plataforma Scada del sistema DeltaV, con el fin de mostrar las herramientas de la Interface de Operador que tiene DeltaV para la presentación de ventanas animadas, textos, imágenes y monitoreo de variables. El manual interactivo permite al estudiante tener esta herramienta directamente en el sistema DeltaV y así seguir paralelamente los pasos de las prácticas, esto se diseñó para que se pudiera instalar en cualquier equipo que tuviera DeltaV y de esta forma evitar el uso de fotocopias o impresiones de las prácticas ahorrando el uso del papel.

El manual interactivo se realizó en un formato llamado HMI (Human Machine Interface) que es utilizado en las plataformas Scada de varios tipos de programas en la industria como el P-CIM, y Opto22. Este formato permite guardar presentaciones animadas y se pueden introducir imágenes externas con formatos JPEG y bitmap, de esta forma se introdujeron las prácticas guardadas en formato de imagen JPEG. El manual está como un menú adicional a la presentación original de la Interface de Operador de DeltaV, para que se pueda colocar el manual en cualquier computador con DeltaV se debe seguir los siguientes pasos:

Para tener acceso al manual de prácticas del Sistema DeltaV, se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Copiar todos los archivos que se encuentran dentro de la carpeta **operator Interface** del manual de prácticas. La dirección donde se deben copiar los archivos de la carpeta Operator Interface es:
D: / DeltaV / DVDData / Graphics i-Fix / Pic.

FIGURA 58 Archivos que se Deben Copiar



Autores

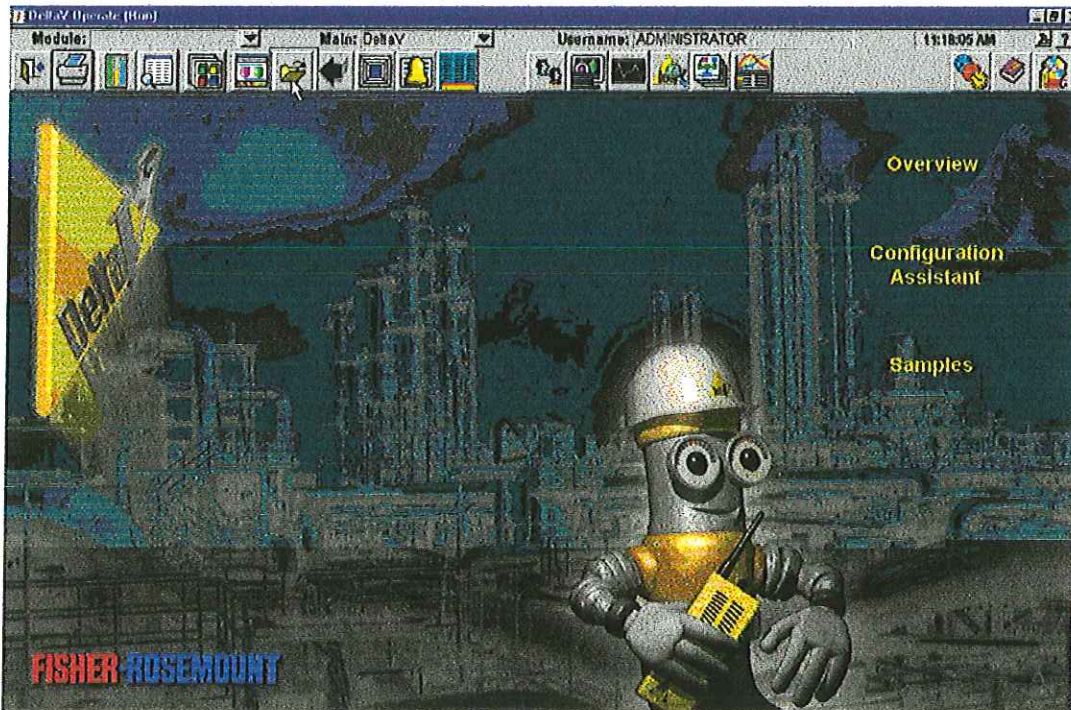
2. Ingresar al Operator Interface del Sistema DeltaV:
Start/ DeltaV / Operator / DeltaV Operate
3. Abrir del menú del Operator Interface el archivo DeltaV2 dentro Operator Interface

FIGURA 59 Icono para Abrir el Manual de Prácticas



Autores

FIGURA 60 Open Main Display



Autores

Dirigir el Cursor al icono *Open Main Display*

FIGURA 61 Ventana Replace Main Picture

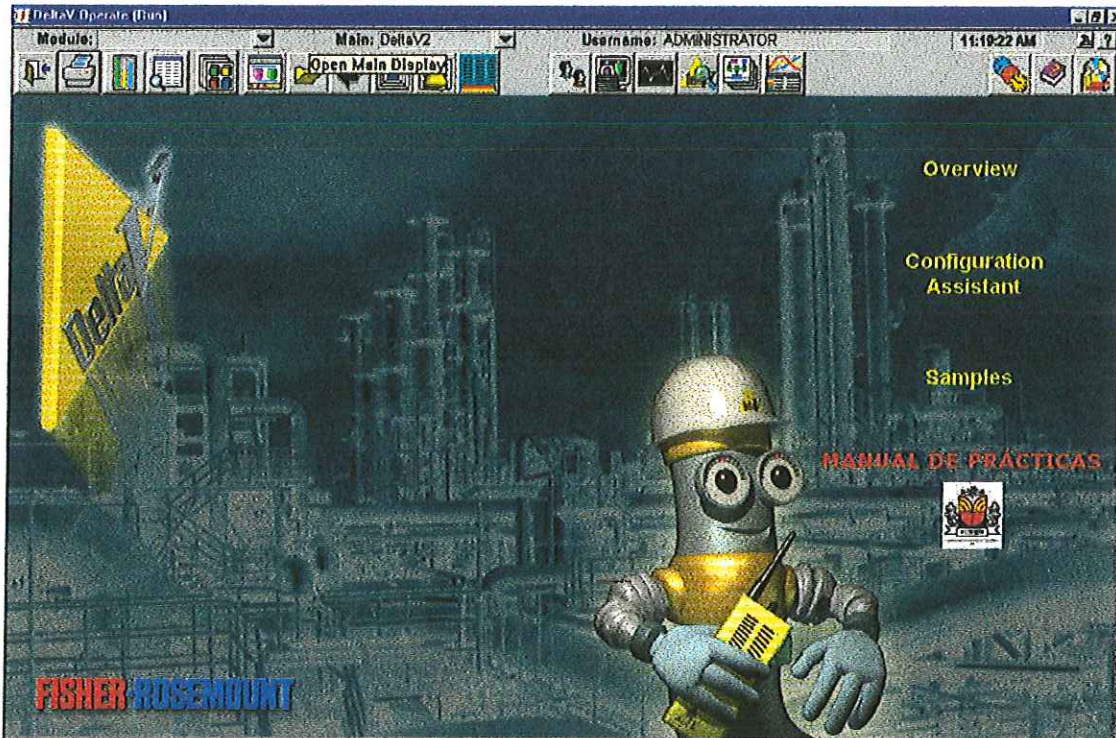


Autores

Escoger el archivo *DeltaV2*

4. Escoja la opción Manual de Prácticas que se encuentra al lado inferior derecho de la pantalla.

FIGURA 62 Acceso al Manual



Autores

5. Escoja la opción Inicio para tener acceso a las prácticas.

FIGURA 63 Inicio del Manual de Prácticas



Autores

El acceso al manual es muy didáctico, tiene iconos que permiten cerrar las ventanas y acceder al menú principal, las prácticas se organizaron en 6 áreas para orientar al alumno en los temas y en la complejidad de cada actividad, para cada práctica existe un modelo desarrollado en la Interface de operador para realizar pruebas y observar de manera esquemática las variables y los resultados que debe tener el problema, en sí, este manual interactivo será de gran ayuda para las solución de los problemas propuestos y una guía didáctica para que el estudiante interactúe con el sistema DeltaV y conozca las herramientas que tiene a su alcance para trabajar.

6.1.3 MATERIAL ENTREGADO

El material que será entregado es un CD con las carpetas que contiene toda la información del desarrollo del proyecto, estas Carpetas son:

Interface de Operador: Esta carpeta contiene todos los archivos HMI del manual interactivo que se instala en la plataforma Interface de Operador del sistema DeltaV. Hay un documento en el CD, en formato PDF llamado "Acceso Al Manual", en este documento se explica cada paso que debe realizar el usuario para que el manual interactivo se pueda instalar en cualquier computador que tenga el sistema DeltaV.

Prácticas PDF: Esta carpeta contiene todas las prácticas en formato PDF para que cualquier persona tenga acceso a las prácticas en el programa Acrobat Reader.

Prácticas. Doc: Esta carpeta contiene todas las prácticas en formato .doc con el fin de ser vista en cualquier programa editor de texto y poder realizar modificaciones.

Proyecto de Grado: Esta carpeta contiene toda la información de las memorias del proyecto de grado que fue realizado, aquí se incluye este documento donde esta toda la información referente al proyecto.

Formatos: Esta carpeta contiene los formatos de evaluación de las actividades previas y los ejercicios complementarios para las prácticas del manual.

6.1.4 PRUEBAS REALIZADAS

Viendo la necesidad de validar nuestro proyecto de grado se realizo un seminario taller a un grupo de ocho personas las cuales tenían que tener el prerrequisito de

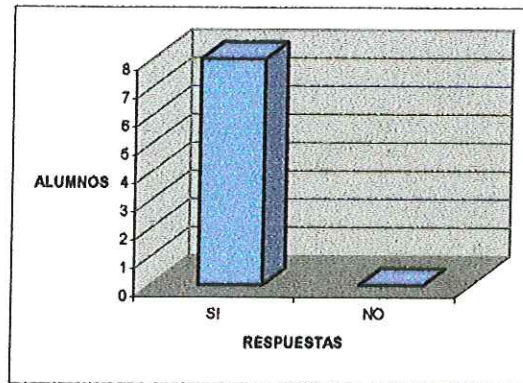
haber cursado la materia de redes industriales. Se dictó el día 1 de Abril de 2005 con una intensidad de 6 horas las cuales se dividieron en dos sesiones, que se desarrollaron de diez de la mañana a doce del medio día en esta sesión se llevo a cabo la teoría referente a las redes utilizadas en la industria haciendo énfasis en la red Foundation Fieldbus, y otra sesión de dos a seis de la tarde en la que se explico el entorno de sistema DeltaV, como desarrollar estrategias de control, e implementarlas a partir del manual de prácticas que se desarrollo; generando buenos resultados, para la comprobación de esto se decidió realizar una encuesta; con el fin de evaluar que tanto se aprendió por medio de esta metodología.

La encuesta se realizo a los participantes del seminario taller sobre el sistema DeltaV, las preguntas que se realizaron fueron en base a estos aspectos: conceptos básicos, metodología utilizada, material de ayuda (textos e imágenes), evaluaciones, aplicabilidad en la industria y la organización de las prácticas dentro del manual. De esta manera en el encuestado podía aportar una crítica constructiva acerca del manual desde su presentación hasta sus características principales para el aprendizaje y explicación del tema, las preguntas que se realizaron y los resultados obtenidos son:

1. ¿El manual de Prácticas explica claramente los conceptos básicos del sistema DeltaV?

FIGURA 64 Pregunta 1

SI NO

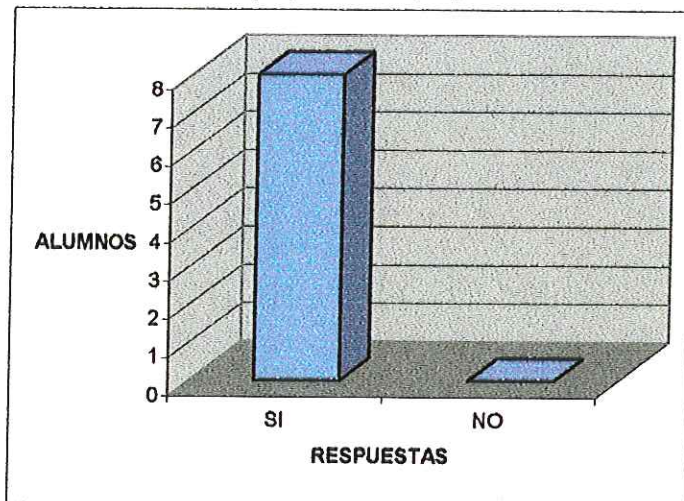


Autores

2. ¿El orden de las prácticas permite desarrollar de manera didáctica los conocimientos del sistema DeltaV?

FIGURA 65 Pregunta 2

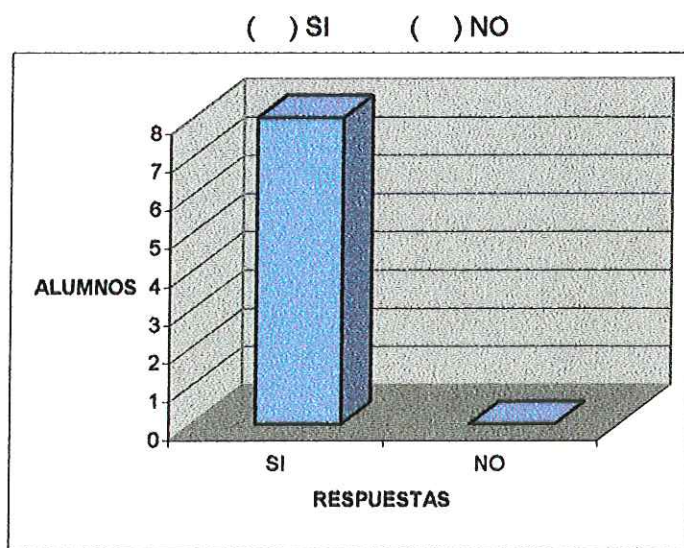
SI NO



Autores

3. ¿Cree que con estas prácticas puede aprender a realizar aplicaciones con el sistema DeltaV?

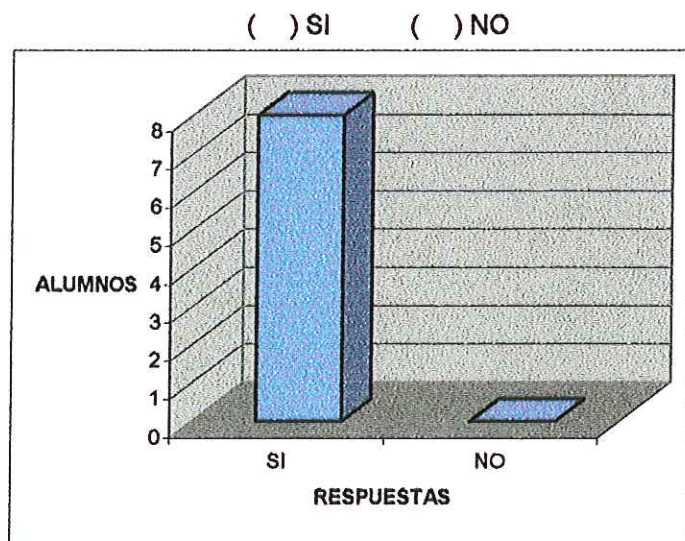
FIGURA 66 Pregunta 3



Autores

4. ¿La metodología utilizada para el desarrollo de las prácticas es la correcta para entender y aprender a manejar el sistema DeltaV?

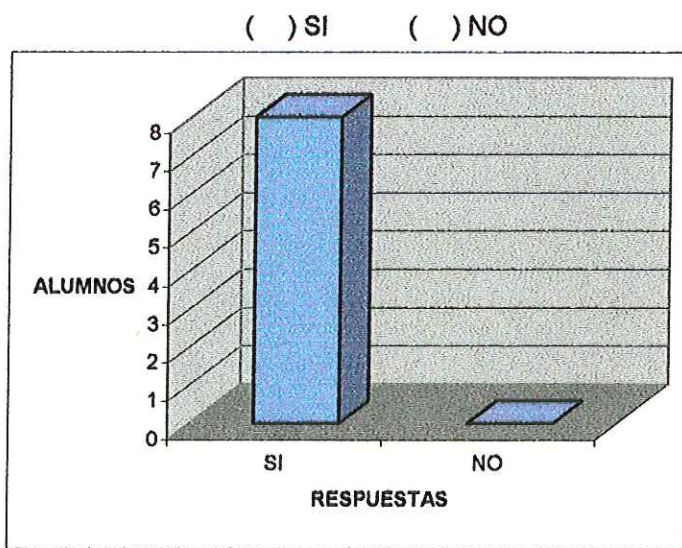
FIGURA 67 Pregunta 4



Autores

5. ¿El material de ayuda como los textos e imágenes son claros y ayudan al seguimiento de la práctica?

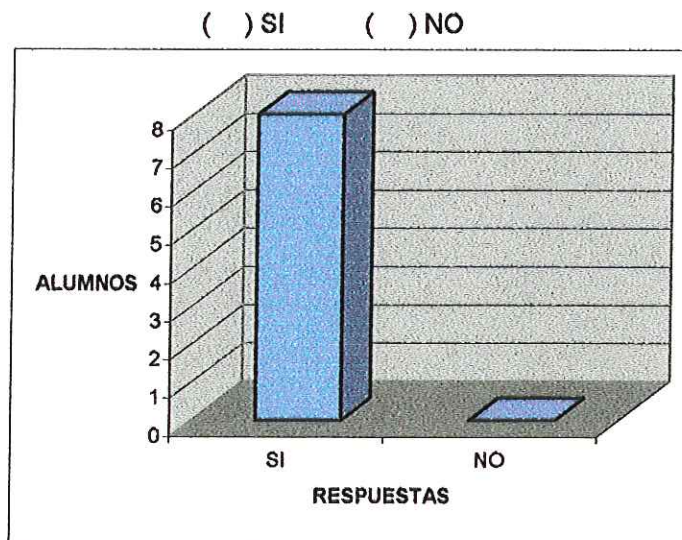
FIGURA 68 Pregunta 5



Autores

6. ¿Los ejercicios complementarios y las actividades previas son acordes con los temas de cada práctica y ayudan al desarrollo del aprendizaje del sistema DeltaV?

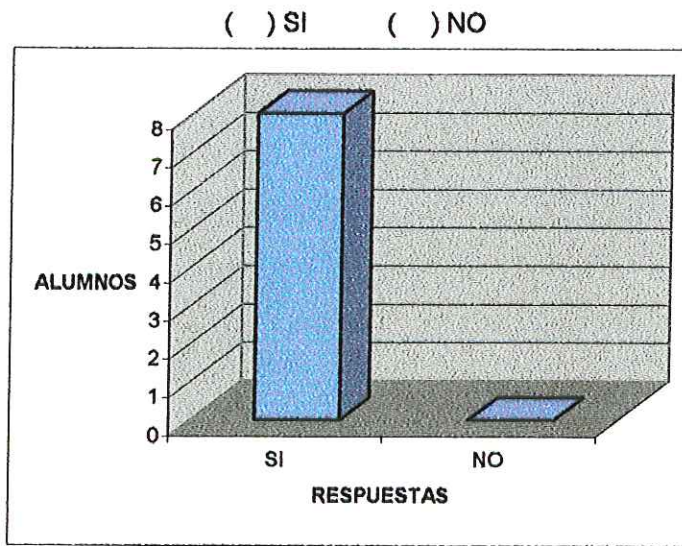
FIGURA 69 Pregunta 6



Autores

7. ¿Los requerimientos para el desarrollo de las prácticas son los mas apropiados para entender, analizar y realizar cada práctica?

FIGURA 70 Pregunta 7



Autores

El formato de encuesta es anónimo con el fin que el participante aporte su critica de manera abierta y junto con sus respuestas dar sugerencia y observaciones para realizar cambios en las falencias que el estudiante encontró.

6.1.5 RESULTADOS OBTENIDOS

En la encuesta realizada se obtuvo muy buenos resultados acerca del proyecto, los estudiantes estuvieron interesados en el tema y por tal aspecto se les vio motivación en cada una de las actividades que se realizaron. Cada uno de los participantes quedó satisfecho con los temas que se desarrollan en el manual y la buena presentación de las prácticas, entre las observaciones y sugerencias que los asistentes realizaron fueron muy gratificantes. A continuación nombramos alguna de ellas:

“Es un sistema muy bueno y moderno; y con este manual podemos aprender y aplicar en un futuro”

“Excelente presentación y buen manejo de conceptos”

“Excelente tutorial, muy completo, es bastante didáctico para un sistema tan complejo”

“Me pareció muy bueno el seminario pues dan un enfoque real de lo que se tiene en la industria”

Todos los aspectos fueron positivos y se sugirió por tal motivo dar cursos o seminarios con mayor intensidad horaria en el futuro para que muchas personas conozcan el sistema DeltaV y lo apliquen en sus proyectos laborales.

7 CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

- Por medio de este manual el estudiante adquiere información acerca de una tecnología usada nacional e internacionalmente en la industria, esto lo convierte en un profesional competitivo y de grandes oportunidades en el campo laboral.
- Se realizó dos seminarios acerca del Sistema DeltaV se dió a conocer a los estudiantes de Noveno Semestre de la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga el Manual de prácticas para el Manejo del Sistema DeltaV, se obtuvieron resultados aceptables, una gran participación en el desarrollo de las Actividades realizadas y por lo tanto, se concluyó que el manual cumplió los objetivos propuestos para este proyecto de Grado.
- El Manual de prácticas permite el autoaprendizaje por lo tanto el estudiante tiene la capacidad de apropiarse de otras tecnologías de forma autónoma y con grandes resultados para su área profesional.
- A través de este manual se da un aporte en el desarrollo de la automatización Industrial en la región.
- Por medio de este manual de prácticas se brindó a los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga la oportunidad de conocer y aprender a manejar el Sistema DeltaV de manera didáctica y efectiva.

- El uso de Metodologías de Aprendizaje basado en problemas ABP fue de gran ayuda para la realización de este manual ya que se estudió y se implementó estos procesos de aprendizaje, para que el estudiante adquiriera los conocimientos de los temas del manual de manera práctica y con grandes resultados en su capacitación en el manejo del Sistema DeltaV.
- Se realizó dos seminarios acerca del Sistema DeltaV se dio a conocer a los estudiantes de Noveno Semestre de la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga el Manual de prácticas para el Manejo del Sistema DeltaV, se obtuvieron resultados aceptables, una gran participación en el desarrollo de las Actividades realizadas y por lo tanto, se concluyó que el manual cumplió los objetivos propuestos para este proyecto de Grado.
- Se realizó una encuesta por medio de la cual se obtuvo buenos resultados.
- El manejo del sistema DeltaV permite realizar aplicaciones de supervisión y control integrando las áreas de la electrónica y mecánica en un ambiente ingenieril.
- Este proyecto de grado brinda conocimientos básicos para que se de inicio a nuevas propuestas de proyectos de grado para otros estudiantes, ya que con los temas tratados en el manual de prácticas para el aprendizaje del sistema DeltaV el estudiante conoce las utilidades del software y hardware que componen el sistema DeltaV y lo utilice en aplicaciones reales que contengan un grado de ingeniería bastante compleja, por lo tanto se espera que el aporte brindado por los autores de este proyecto sea una apertura al desarrollo de ideas, proyectos y diseños mecatrónicos que den soluciones

en diferentes áreas industriales con ayuda de las nuevas tecnologías existentes en el mercado.

- Para un adecuado uso del manual se recomienda realizar las actividades previas propuestas para que el estudiante tenga un estudio de dispositivos, temas y conceptos antes de comenzar a desarrollar la práctica. Este tipo de actividades le permiten al docente o tutor evaluar el desarrollo de las prácticas, además aclarar dudas a los estudiantes en los diferentes temas a tratar.
- Es necesario que los usuarios tengan a su alcance los materiales que se deben utilizar en las prácticas para que se alcance los objetivos propuestos.
- El estudiante debe conocer y realizar las mediciones de voltaje y corriente en los dispositivos electrónicos utilizados, con el fin de evitar fallas, cortocircuitos y accidentes en el desarrollo de las prácticas.
- Se recomienda que los estudiantes tengan en cuenta las ayudas, manuales, catálogos, bibliografía y los diferentes recursos que se encuentran disponibles para realizar investigaciones y aclarar conceptos y dudas que se tengan sobre cualquier tema, esto garantiza un éxito en el desarrollo de las diferentes actividades de las prácticas.
- Realizar los ejercicios complementarios que se proponen al final de cada práctica con el fin de poner a prueba los conocimientos adquiridos.

BIBLIOGRAFIA

Verhappen Ian, Foundation Fieldbus: A Pocket Guide, ISA- The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, NC, 2002.

Berge Jonas, Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance, ISA- The Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, NC, 2002.

Antonio Creus, Instrumentación Industrial, Alfaomega grupo editor S.A, Sexta edición, 1997

Antonio Creus, simulación y control de procesos por ordenador, Alfaomega grupo editor S.A, 1987.

GBV-18:Pneumatic Valve Positioner HP, especificación Honeywell

MAJUMDAR, S. R. Sistemas Neumáticos Principios de Mantenimiento. McGrawHill. 1998. Primera Edición. 299 p.

CHAPMAN, Stephen J. Máquinas Eléctricas. McGrawHill. 2000. Tercera Edición. 786 p.

PIEDRAFITA MORENO, Ramón. Ingeniería de la Automatización Industrial. Alfaomega. 2001. Primera Edición. 570 p.

VALVERDE, Luis. Sensores y Acondicionadores de señal. 25 p.

GARCIA MORENO, Emilio. Automatización de procesos industriales. Alfaomega. 2001. Primera Edición. 377 p.

Las Estrategias y Técnicas Didácticas en el Rediseño

Dirección de Investigación y Desarrollo Educativo

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

TECNOLÓGICO DE MONTERREY, Documentos y publicaciones. Página de Internet:

www.sistema.itesm.mx/va/dide/docuemntos/docuemntos.htm

EMERSON PROCESS MANAGEMENT, Curso Online de redes de comunicación,

Escuela de Ingeniería. Pagina de Intrnet:

<http://plantweb.emersonprocess.com/University/default.asp>

ANEXOS

ANEXO 1

ASISTENCIA



I

MANUAL DE PRÁCTICAS DEL 818 TEMA DEL TAV
ASISTENCIA

FECHA: _____ LUGAR: _____

Nº	NOMBRE	FRMA
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

¡Gracias por su colaboración!

ANEXO 2

ENCUESTA



MANUAL DE PRÁCTICAS DEL SISTEMA DEL TAV ENCUESTA DE VALORACION N° ____

FECHA: _____ LUGAR: _____

Marque con una (X) su respuesta a cada pregunta.

1. ¿El manual de Prácticas explica claramente los conceptos básicos del sistema Del lav?
() SI () NO
2. ¿El orden de las prácticas permite desarrollar de manera didáctica los conocimientos del sistema Del lav?
() SI () NO
3. ¿Cree usted que con estas prácticas puede aprender a realizar aplicaciones con el sistema Del lav?
() SI () NO
4. ¿La metodología utilizada para el desarrollo de las prácticas es la correcta para entender y aprender a manejar el sistema Del lav?
() SI () NO
5. ¿El material de ayuda como los textos e imágenes son claros y ayudan al seguimiento de la práctica?
() SI () NO
6. ¿Los ejercicios complementarios y las actividades previas son acordes con los temas de cada práctica y ayudan al desarrollo del aprendizaje del sistema Del lav?
() SI () NO
7. ¿Los requerimientos para el desarrollo de las prácticas son los más apropiados para entender, analizar y realizar cada práctica?
() SI () NO

B. OBSERVACIONES Y SUGERENCIAS:

¡Gracias por su colaboración!

ANEXO 3

MANUAL DE PRÁCTICAS DEL SISTEMA DELTAV



NOTA: _____

PRÁCTICAS DEL SISTEMA DELTAV ACTIVIDAD PREVIA

Fecha: _____

Alumno: _____ Semestre: _____

Nombre de la Práctica: _____

Práctica Número: _____

Se incluye la investigación realizada de la Actividad Previa correspondiente a la Práctica. Agregar imágenes, esquemas y dibujos si es necesario.

ANEXO 4

MANUAL DE PRÁCTICAS DEL SISTEMA DELTAV



NOTA: _____

PRÁCTICAS DEL SISTEMA DELTAV EJERCICIO COMPLEMENTARIO

Fecha: _____

Alumno: _____ Semestre: _____

Nombre de la Práctica: _____

Práctica Número: _____

1. MATERIALES UTILIZADOS:

- _____
- _____
- _____

En este campo se deben nombrar los materiales que se utilizaron en la práctica desarrollada. (Incluir referencia, modelo y nombre).

2. PROBLEMA PROPUESTO:

Es el planteamiento del problema que se va a desarrollar.



3. DESARROLLO DEL PROBLEMA:

Desarrollo del problema, estrategia que se toma para dar la solución al ejercicio propuesto.

4. DIBUJO DESCRIPTIVO:

Anexo de gráficos de la programación de objetos utilizados para la solución del problema.

6. CONCLUSIONES:

Analizar los resultados y las estrategias utilizadas para el desarrollo del problema propuesto, deben ser acordes a los objetivos planteados inicialmente en la práctica.