

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**INSTRUMENTACIÓN PARA EL CONTROL DE PROCESOS
INDUSTRIALES Y LA TECNOLOGÍA DE FIELDBUS EN LA
COMUNICACIÓN INTELIGENTE**

TESIS

PRESENTADA POR:

BERTHA HUILLCA TTITO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**INSTRUMENTACIÓN PARA EL CONTROL DE PROCESOS
INDUSTRIALES Y LA TECNOLOGÍA DE FIELDBUS EN LA
COMUNICACIÓN INTELIGENTE**

TESIS PRESENTADA POR:

BERTHA HUILLCA TTITO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

Dr. EUDES RIGOBERTO APAZA ESTAÑO

PRIMER MIEMBRO:

M. Sc. GAVINO JOSÉ FLORES CHIPANA

SEGUNDO MIEMBRO:

M. Sc. EDWIN WILBER CHAMBI MAMANI

DIRECTOR / ASESOR:

M. Sc. GUIDO HUMBERTO CAYO CABRERA

Área : Automatización e Instrumentación

Tema : Aplicaciones Energética

FECHA DE SUSTENTACIÓN 7 DE MARZO DEL 2019

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis queridos padres, por su amor, comprensión y apoyo incondicional, el motivo y la mayor fuerza que condujo mis pasos para llegar hasta este momento, a mis hermanas y hermanos, que son parte de mi formación personal, he inculcaron en mi el espíritu de lucha y perseverancia para lograr mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y hermanos por el incondicional amor y apoyo que siempre me brindaron.

A mis maestros de universidad por las horas dedicadas e inculcar en mí la investigación y la mejora académica.

A los jurados y asesor de tesis por su constante apoyo para llevar a cabo la elaboración de la tesis.

A mis jefes de trabajo por sus enseñanzas y compartir sus experiencias laborales contribuyendo así en la formación de mi perfil profesional.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
INDICE GENERAL	5
INDICE DE ACRONIMOS.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	16
INTRODUCCION.....	16
1.1 Descripción del problema	17
1.2 Formulación del problema	18
1.2.1 Problema general	19
1.2.2 Problemas específicos.....	19
1.3 Justificación del problema.....	19
1.3.1 Justificación social.....	19
1.3.2 Justificación económica.....	20
1.3.3 Justificación ambiental	20
1.4 Objetivos de la investigación	21
1.4.1 Objetivo general.....	21
1.4.2 Objetivo específico	21
CAPÍTULO II.....	22
REVISIÓN DE LITERATURA	22
2.1. Antecedentes de investigación	22
2.2. Sustento teórico.....	25
2.2.1. Comercio e industria.....	25
2.2.2. Industrialización en el Perú.....	28

2.2.3.	Crecimiento económico en el Perú	29
2.2.4.	Evolución de las comunicaciones industriales.....	29
2.2.5.	Instrumentación industrial inteligente	30
2.2.5.1.	Capacidad de comunicación.....	31
2.2.5.2.	Diagnostico	32
2.2.5.3.	Clases de instrumentos.....	32
2.2.5.4.	Lazos de control en la instrumentación.....	33
2.2.5.5.	Identificación del instrumento.....	34
2.2.5.6.	Casos de identificación	36
2.2.5.7.	Calibración y configuración de instrumentos inteligentes	40
2.2.6.	Buses de campo en las redes de comunicación industriales	40
2.2.6.1.	Arquitectura de un bus de campo.....	42
2.2.6.2.	Características de los buses de campo	43
2.2.6.3.	Resumen comparativo entre algunos buses de campo	46
2.2.7.	Bus de campo de la Fieldbus Foundation	46
2.2.8.	Ventajas de la Fieldbus Foundation.....	49
2.2.9.	Control estratégico.....	49
2.2.10.	Archivos DD y CFF.....	50
2.2.11.	Ejemplo de un lazo de control	51
2.2.12.	Estructura de bloques de Fieldbus Foundation	52
2.2.13.	Estándares definidos por Fieldbus Foundation.....	56
2.2.13.1.	Estándar Fieldbus Foundation H1	57
2.2.13.2.	Instalación típica Fieldbus Foundation H1	58
2.2.13.3.	H1 y el modelo OSI.....	59
2.2.13.4.	Las (Last Active Scheduler/ Progrador Activo de Enlace)	62
2.2.14.	HSE (High Speed Ethernet).....	63
2.2.14.1.	HSE y el modelo OSI.....	64

2.2.14.2.	Tipos de dispositivos HSE	65
2.3.	Instalaciones Fieldbus Foundation en una Planta Industrial	65
2.3.1.	Máxima longitud de segmento y elementos por segmento	66
2.3.2.	Conceptos básicos de diagnósticos en campo de las instalaciones Fieldbus Foundation	68
2.3.2.1.	Detección de reflejos	68
2.3.2.2.	Cableado.....	68
2.3.2.3.	Anomalías	69
2.3.2.4.	Verificación de la instalación.....	70
2.3.2.5.	Estado de parámetro	70
2.3.3.	Conexión a tierra shield y blindaje de los instrumentos Fieldbus Foundation	71
2.3.4.	Longitud total del cable y reglas de distribución e instalación.....	72
2.3.5.	Equipos y componentes de una red Fieldbus Foundation instalados en planta	73
2.3.5.1.	Terminadores de red H1	74
2.3.5.2.	Fuente de alimentación	76
2.3.5.3.	Impedancia activa.....	77
2.3.5.4.	Repetidores H1	77
2.3.5.5.	Barrera de seguridad intrínseca	77
2.3.5.6.	Caja de conexiones.....	78
2.3.6.	Herramientas de monitoreo y diagnostico	78
2.3.6.1.	Monitor de redes Fieldbus FBT – 3	78
2.3.6.2.	Osciloscopio Fluke 123	80
2.3.6.3.	Comunicador de campo Fieldbus 375.....	80
2.4.	Glosario de términos básicos	82
2.5.	Hipótesis de la investigación.....	85
2.5.1.	Hipótesis general.....	85

2.5.2. Hipótesis específicas	85
2.6. Operacionalización de variables	86
CAPÍTULO III.....	87
MATERIALES Y MÉTODOS	87
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	87
3.1.1. Tipo de investigación.....	87
3.1.2. Diseño de investigación	87
3.2. Población y muestra de investigación	88
3.2.1. Población de la investigación	88
3.2.2. Muestra de la investigación	88
3.3. Ubicación y descripción de la población	88
3.3.1. Ubicación de la población.....	88
3.3.2. Descripción de la población.....	88
3.4. Material experimental	89
3.5. Técnicas e instrumentos para recolectar información	89
3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	90
3.7. Procedimiento del desarrollo del estudio	90
CAPÍTULO IV	91
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	91
4.1. Análisis, e interpretación de resultados.....	91
4.2. Prueba de hipótesis.....	91
4.2.1. Prueba de hipótesis general.....	91
4.2.2. Prueba de hipótesis específicas.....	93
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFIA	98
ANEXOS	102

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	102
Anexo 2. Preguntas realizadas en entrevista a personal de mantenimiento.....	104
Anexo 3. Datasheet	105
Anexo 4. Planos de conexionado PLC.....	117

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2. 1: Código de identificación de instrumentos	35
Tabla 2. 2: Resumen comparativo con buses de campo	46
Tabla 2. 3: Bloques de Programación.....	56
Tabla 2. 4: Comparación entre estándares Fieldbus Foundation	57
Tabla 2. 5: Limites de largo de segmento	66
Tabla 2. 6: Longitud máxima recomendada por ramal.....	67
Tabla 2. 7: Tipos de cable recomendados.....	69
Tabla 2. 8: Distancia mínimas entre cables	73
Tabla 2. 9: Mediciones entregadas por FBT – 3.....	79
Tabla 2. 10: Operacionalización de variables	86
Tabla 4. 1: Ejemplo de confiabilidad de datos	92

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2. 1: Lazo de control abierto	34
Figura 2. 2: Lazo de control cerrado	34
Figura 2. 3: Letras y números utilizados para Números de Etiquetas	35
Figura 2. 4: Arquitectura básica de un bus de campo.....	43
Figura 2. 5: Ejemplo de topología Bus	44
Figura 2. 6: Ejemplo de topología Estrella	45
Figura 2. 7: Ejemplo de topología Mixta.....	45
Figura 2. 8: Instrumentación con funciones de control	47
Figura 2. 9: Extensión de una planta convencional con componentes Foundation fieldbus a través de un Gateway.	48
Figura 2. 10: Control estratégico	50
Figura 2. 11: En la figura se muestra en que parte del sistema se instalan los datos DD y CFF	51
Figura 2. 12: Lazo de control Fieldbus Foundation	52
Figura 2. 13: Bloque de recursos	53
Figura 2. 14: Bloque Transductor.....	54
Figura 2. 15: Bloques de Funciones	55
Figura 2. 16: Seguridad Intrínseca.....	58
Figura 2. 17: Installation typical Fieldbus Foundation H1	59
Figura 2. 18: Transmisión Programada	60
Figura 2. 19: Transmisión no Programada	61
Figura 2. 20: Fieldbus Foundation y el modelo OSI	62
Figura 2. 21: Standard HSE Fieldbus Foundation.....	63

Figura 2. 22: Estándar HSE y el modelo OSI.....	64
Figura 2. 23: Ejemplo de suma de todos los cables.....	67
Figura 2. 24: Ejemplo de conexión a Tierra Shield del Fieldbus Foundation y Blindaje de los instrumentos	72
Figura 2. 25: Componentes básicos de una red de control Fieldbus Foundation	74
Figura 2. 26: Ubicación del terminador en topología árbol.....	75
Figura 2. 27 Ubicación del terminador en topología bus.....	75
Figura 2. 28: Ubicación del terminador en topología bus	75
Figura 2. 29: Fuente de alimentación	76
Figura 2. 30: Monitor de redes FBT- 3.....	79
Figura 2. 31: Osciloscopio Fluke 123.....	80
Figura 2. 32: Comunicador Fieldbus 375	81
Figura 2. 33: Panel de principal de menú del comunicador Fieldbus 375.....	82
Figura 3. 1: Proceso de Investigación.....	90

INDICE DE ACRONIMOS

AI	: Analog Impud.
AO	: Analog Ouput.
DD	: Device Descriptor.
DLL	: Capa de Enlace de Datos y Aplicación.
HSE	: High Speed Ethernet.
ISA	: Industry Standard Architecture.
JB	: Cajas de Conexionado.
LAS	: Programador Activo de Enlace
PLC	: Controlador Logico Programat
PID	: Controlador Proporcional, Integral y Derivativo.
RCI	: Redes de comunicación Industriales.

RESUMEN

Las comunicaciones con buses de campo hoy en día están presentes en la mayoría de plantas industriales modernas acompañados de un sistema de control distribuido comúnmente llamado DCS. Dentro de los buses de campo nos encontramos con la tecnología FieldComm Group antes Fieldbus Foundation, la cual nació con la unión de diversas empresas fabricantes de instrumentación con la intención de estandarizar los buses de campo en un solo bus universal. El proyecto a desarrollar describirá todos los aspectos técnicos necesarios para la comprensión de la tecnología Fieldbus Foundation e instrumentación para el control de procesos industriales en la comunicación inteligente. El estudiante del área de Ingeniería Electrónica que se esté preparando para laborar en el entorno industrial, debe contar con herramientas funcionales que estén acorde con las nuevas tecnologías para el control e instrumentación, las cuales van de la mano con el avance de las comunicaciones industriales; tal es el caso de protocolo de comunicación Fieldbus. Las actualizaciones en el campo de la automatización con instrumentos de protocolo de comunicación Fieldbus respecto al estándar 4 a 20 mA, ofrecen muchas ventajas, las principales de ellas son: la economía en la instalación, en mantenimiento y el mejoramiento de su desempeño.

Palabras clave: Tecnología Fieldbus Foundation, Comunicación inteligente, Bus de Campo.

ABSTRACT

Communication with field buses nowadays are present in the majority of modern industrial plants accompanied by a distributed control system commonly called DCS. Within the field buses we find the Fieldbus Foundation technology, which was born with the union of various instrumentation manufacturers with the intention of standardizing field buses in a single universal bus. Project to be developed will describe all the technical aspects necessary for the understanding of the Fieldbus Foundation technology and instrumentation for the control of industrial processes in intelligent communication. The student in the area of Electronic Engineering who is preparing to work in the industrial environment, must have functional tools that are in accordance with new technologies for control and instrumentation, which go hand in hand with the advancement of industrial communications; such is the case of Fieldbus communication protocol. The updates in the field of automation with Fieldbus communication protocol instruments with respect to the standard 4 to 20 mA, offer many advantages, the main ones are: the economy in the installation, in maintenance and the improvement of its performance.

Keywords: Fieldbus Foundation technology, Intelligent communication, Field Bus.

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

En esta tesis estudiaremos, el avance de las tecnologías relacionadas a los buses de campo, que son aplicadas al control de procesos industriales, ya que es preciso conocer sobre las nuevas tecnologías, tener una guía para facilitar el trabajo en planta y puesta en marcha de esta tecnología.

Hoy en día el Perú, es un país donde las plantas industriales, están siendo implementadas a nivel nacional con la tecnología FIELDBUS FOUNDATION. Las empresas mineras son las que más apuestan, por las nuevas tecnologías tales como Antapaccay, Las Bambas, Antamina, etc. Por esta misma razón es necesario conocer las nuevas tecnologías, ya que estas empresas solicitaran personal que conozca de ellas.

Las empresas que implementaron esta tecnología en planta, buscan reducir costos en instalación y mantenimiento, ya que FIELDBUS FOUNDATION, es un sistema de comunicación digital muy simple de instalar en campo, y debido a esto el mantenimiento también resulta ser más sencillo.

La instrumentación inteligente también tiene, un papel importante en la tecnología, ya que gracias a esto se hace la instalación más sencilla en campo, siendo solo necesario, una caja de conexiones para ser instalados, en la línea troncal de la red, permitiéndonos también conocer el estado del instrumento, ya que estos realizan autodiagnósticos en campo, de esta manera nos da más facilidad para realizar programas de mantenimiento dentro de planta.

La instrumentación inteligente, es capaz de asumir el control del proceso, simplificando, así el control de los procesos y la automatización en una planta industrial.

En el CAPITULO I, de la tesis se expondrá el planteamiento del problema de investigación, la justificación del problema y los objetivos del estudio. En el CAPITULO II, se desarrollará el Marco Teórico, Antecedentes de la investigación, Hipótesis de la investigación, y la Operacionalización de las variables de estudio. En el CAPITULO III, se abordará la Metodología de la investigación, que se tomó en consideración para la elaboración del trabajo de investigación. En el CAPITULO IV, analizaremos e interpretaremos los Resultados a los que se llega, al concluir la investigación.

1.1 Descripción del problema

Hoy en día en el Perú, existen muchas empresas, las que tienen miras a automatizarse, una de las razones por las que aún no lo hacen, es por el costo que requiere hacerlo, ya que una tecnología que optimice las etapas de la automatización como son: planeación, instalación, operación y mantenimiento, tendría un costo elevado, pues también se tiene que realizar el mantenimiento preventivo y correctivo, después de la instalación.

En muchas plantas industriales, consideran un mal necesario el mantenimiento industrial, que se debe llevar a cabo en toda planta, es debido que, gracias a este tipo de trabajos, las tecnologías tratan de disminuir el tiempo y la dificultad en el mantenimiento y también mejorar la efectividad de trabajo de instrumentación en campo.

Los mantenimientos de plantas industriales convencionales, generan pérdidas económicas, en las paradas de planta programadas para el mantenimiento de los

instrumentos y de las maquinas. Se tienen costos por tiempo perdido, son costos por las paradas de los equipos, por perdida de horas de trabajo de la máquina que pueden ocasionar paros en la producción, desperdicios de materia prima, fallas en calidad de producto, etc.

Las paradas de planta, para realizar el mantenimiento pueden durar varios días, tal es el caso de las empresas mineras, que realizan paradas de plantas por etapas, donde cada etapa puede durar hasta cinco días o más.

(NEWBROUGH, 1990) afirma que: “Los presupuestos de mantenimiento son recortados generalmente por desgracia”.

Este recorte de presupuesto genera un reajuste en el programa de mantenimiento, priorizando y no llevando a cabo el mantenimiento en su totalidad, por falta de presupuesto, si se tuviera una tecnología que no implicara mucho costo al momento de realizar el mantenimiento, el impacto del recorte presupuestal seria mínimo.

(SCHOMBERGER, 1984) dice que: “Los tres pilares de la empresa moderna son el control de la calidad (QTC), el justo a tiempo (JFT) y el mantenimiento productivo total (TPM)”.

1.2 Formulación del problema

En la actualidad existen muchas empresas que aún tienen el sistema convencional instalado en sus plantas industriales, desconociendo los beneficios de la tecnología digital. En muchos casos aún no se modernizan porque creen que tiene un costo elevado, creen que, por ser una tecnología nueva, es difícil de manipular y entender, que el mantenimiento les generara más gastos del que actualmente hacen, o que estas nuevas tecnologías no sean accesibles.

1.2.1 Problema general

- ¿Qué beneficios tiene la tecnología Fieldbus Foundation al ser instaladas o reemplazadas en plantas industriales en la optimización de los procesos industriales para incrementar la productividad de la planta industrial, y que consideraciones nos pueden llevar a una incorrecta interpretación de las ventajas que brinda esta tecnología?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Por qué de la expansión del uso de esta tecnología en los sistemas de control industrial?
- ¿Por qué se crean preconceptos que se generan al tratar de imponer algo diferente a lo convencional, viendo las ventajas que tienen hoy en día los sistemas digitales?

1.3 Justificación del problema

La tecnología Fieldbus Foundation, nos brinda una comunicación digital, ofreciéndonos más información, el cual nos facilita al momento de realizar los diagnósticos, para mantenimiento los mismos que podemos hacer de manera remota.

1.3.1 Justificación social

El gran desarrollo tecnológico actual, en donde un gran número de productos nuevos impactan continuamente a la gente, en los diferentes ámbitos sociales y esto en gran manera se debe a que la mayoría de los procesos que involucran a estos procesos debe tener un excelente control en el proceso mismo.

Todos los procesos industriales, son diseñados bajo parámetros específicos los cuales permiten el buen funcionamiento de la planta para la producción de elementos de alta calidad, muchos de estos parámetros como presión, temperatura, concentración, etc. Juegan un papel importante en cada una de las operaciones unitarias, establecidas en las unidades del proceso, si alguno de ellos se ve afectado por algún motivo genera cambios en las propiedades esperadas de ese producto.

1.3.2 Justificación económica

Una de las principales características de implementaciones con tecnología FIELDBUS, es el empleo reducido de número de cables. Cada instrumento digital del proceso requiere apenas de un cable para ser unido al cable (bus) principal, exigiéndose menos trabajos y costo de instalación, que el sistema de cableado convencional realizada con instrumentos análogos: “Se disminuye la documentación resultando una implementación más simple, menos compleja y más rápida” (Creus, 2009).

1.3.3 Justificación ambiental

A medida que crecen las necesidades energéticas, también aumenta la dependencia de los Combustibles Diésel (Energía no renovable), originando incrementos de contaminantes y deterioro de la sustentabilidad del ecosistema y sostenibilidad ambiental. La tecnología Fieldbus Foundation, permite alcanzar una óptima relación entre la cantidad de energía consumida y los índices de producción, logrando obtener una mejora en los niveles de productividad y reducción de los costos de operación.

Con la tecnología FIELDBUS, en el empleo de número de cables es reducido, cada instrumento digital del proceso requiere apenas de un cable para ser unido, al cable (bus) principal, ocasionando menos desechos de cableado.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

- Mostrar los beneficios al utilizar la tecnología Fieldbus Foundation en la optimización de los procesos industriales para incrementar la productividad de la planta industrial, y que consideraciones nos pueden llevar a una incorrecta interpretación de las ventajas que brinda esta tecnología.

1.4.2 Objetivo específico

- Exponer el porqué de la expansión del uso de esta tecnología en los sistemas de control industrial.
- Vencer los preconceptos que se generan al tratar de imponer algo diferente a lo convencional, viendo las ventajas que tienen hoy en día los sistemas digitales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de investigación

En diciembre del 2011, en la Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería se presenta un Artículo “Buses de campo y protocolos en redes industriales, (Fieldbus and Protocols in Industrial Networks)”. Presentado por Cesar Augusto Salazar Serna y Luis Carlos Correa Ortiz. En el Artículo, nos habla sobre los beneficios de los buses de campo, el funcionamiento de las redes industriales, sus componentes y diferentes protocolos. La finalidad de este artículo es exponer la temática de las redes industriales como un espacio propicio para la investigación.

En 2010, en la Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil Electrónica, se presentó la tesis “Elaboración guía de soluciones para problemas de comunicación en segmentos Fieldbus en área Electro Control Licor Celulosa Arauco y constitución S.A.” por German Daniel Hernández Miller. En esta tesis nos habla sobre la tecnología Fieldbus Foundation, en la planta Arauco y constitución S.A. Planta Valdivia, en el área de Electro Control Licor, proponiendo una guía para solucionar problemas de comunicación: “En la guía de soluciones se encuentran los procedimientos, para resolver problemas de comunicación en segmentos Fieldbus en situaciones distintas, las cuales pueden ser en fase de operación y fuera de servicio, permitiendo minimizar la pérdida de tiempo de producción de la planta, debido a problemas de comunicación en segmentos Fieldbus, en el área de Electrocontrol Licor” (Hernandez, 2010).

También aborda temas de corrosión, en la puesta a tierra de las armaduras, de los cables Fieldbus, analizando los motivos por las cuales, se genera la corrosión en las armaduras de los cables Fieldbus y las consecuencias en las comunicaciones del segmento, proponiendo soluciones.

En 2009, en la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, en la especialidad de Control e Instrumentación Industrial, se presenta la tesis de pregrado “Estudio del protocolo Fieldbus y aplicación práctica con el controlador SMAR DF51 para el manejo de instrumentos industriales”. Presentado por Mauricio Santis Chavez y Emerso Paolo Villa Plazas. En esta tesis reúne un compendio, donde reúne aspectos técnicos necesarios para la: “Comprensión del funcionamiento del controlador SMAR DF51, con la consecuente guía de manejo y configuración para la comunicación, con instrumentos industriales a través del bus de campo Fieldbus, así como la propuesta de construcción de un banco didáctico acorde con la guía teórica practicas definidas para el trabajo con el modulo estudiado” (Santis & Villa, 2009).

También nos habla sobre las actualizaciones en el campo de la automatización, con instrumentos de protocolo de comunicación Fieldbus, respecto al estándar 4 – 20 mA, sobre las ventajas y la necesidad de plantear el desarrollo, de una guía para el aprendizaje y puesta en marcha del controlador SMAR DF51, para que el estudiante se actualice en el área de las comunicaciones industriales y cuente con elementos para su desempeño profesional.

En abril del 2007, en la Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Eléctrica y Electrónica, Cartagena de Indias D. T. Y C. Se presentó una monografía para optar el título profesional de Ingeniero Macatrónico, “Interoperatividad entre Fieldbus y Ethernet” presentado por José Alberto Alarcón Ahumada y Betty Gina Bautista Ruiz. En

esta monografía nos habla sobre las redes de información, en las plantas industriales, la importancia que tienen para determinar fallas en planta. También sobre el primer nivel, de planta o procesos, que lo integran las señales de sensores y actuadores montados, en las líneas de producción. En segundo nivel, las pistas de campo constituyen el sistema digital que conduce las señales entre los diferentes dispositivos del sistema de control de procesos. Finalmente, en el nivel superior o corporativo se integra la información generada en las etapas anteriores y es aquí donde se encuentran los sistemas de gestión y toma de decisiones de la planta.

En la monografía también se estudia, los buses de campo desde los años 40, como se desarrolló al paso del tiempo, y los grandes beneficios que nos trae al simplificar, en gran medida la instalación y operación de máquinas y equipos industriales, empleados en los procesos de producción. Los avances de Ethernet en el manejo de aplicaciones críticas de control.

En julio del 2004, en el Institute of Science and Technology del departamento de Information Systems de Nara, se presenta la tesis Doctoral, “Design and analysis of Fieldbus control system”. Presentado por Yan-bin Pang. En esta tesis Doctoral nos habla sobre los sistemas de control de bus de campo, en un sistema distribuido compuesto por dispositivos de control de campo, equipos de control y monitoreo, que están integrados en el entorno físico de una fábrica o planta. De cómo se usa cada vez más en campo la automatización debido a las ventajas del bus de campo. Sin embargo, los trabajos de investigación para el sistema de control de bus de campo, van muy por detrás de su práctica actual. Esta tesis investiga varios temas importantes del sistema de control de bus de campo. Se resumen las diferencias entre los sistemas de control de bus de campo y un sistema de control convencional, y se revisan las investigaciones relacionadas con un enfoque en el análisis de tiempo, algoritmos de control de evaluación, modelado y

simulación, desarrollo y aplicaciones, presenta modelos de diferentes protocolos de bus de campo, desde básicos hasta completos, para sentar los fundamentos de este estudio. Los principales buses de campo se presentan brevemente y se discuten sus características.

También se discute el mecanismo de control de acceso, al medio de bus de campo. Como resultado, se proponen varios métodos de clasificación de buses de campo, propone un enfoque de modelado híbrido, orientado a objetos, para el desarrollo de sistemas de control de bus de campo. Sobre la base de este enfoque, se desarrolla una plataforma de simulación para los sistemas de control de bus de campo, que incluye dispositivos de bus de campo, segmentos de bus de campo y la planta utilizando el entorno de Matlab. En esta simulación, tanto los tiempos de cálculo del Software de aplicación como los retrasos de comunicación se consideran al mismo tiempo. También se evalúan las actuaciones de control y comunicación a través de la simulación.

2.2. Sustento teórico

2.2.1. Comercio e industria

El comercio y la industria; incluidas las empresas transnacionales, desempeñan una función crucial en el desarrollo social y económico de un país. Un régimen de políticas estables estimula al comercio y a la industria, a funcionar en forma responsable y eficiente aplicando políticas de largo plazo. La prosperidad constante, un objetivo fundamental del proceso de desarrollo, es principalmente el resultado de las actividades del comercio y la industria: “Las empresas comerciales, grandes y pequeñas, de los sectores estructurados y no estructurados, proporcionan oportunidades de intercambio, empleo y subsistencia. El comercio y la industria, incluidas las empresas transnacionales, y sus organizaciones representantes, deben participar plenamente en la ejecución y evaluación de las actividades relacionadas con la agenda” (S.A.R, 2002).

Las políticas y operaciones del comercio y la industria, incluidas las empresas transnacionales, mediante una mayor eficacia de los procesos de producción, estrategias preventivas, tecnologías y procedimientos limpios de producción a lo largo del ciclo de vida del producto, se lograría reducir al mínimo o se evitarían los desechos, se puede desempeñar una función importante en reducir las consecuencias negativas, en la utilización de los recursos y el medio ambiente: “Las innovaciones tecnológicas, el desarrollo, las aplicaciones, la transferencia de tecnologías y los aspectos más generales de la asociación y la cooperación son cuestiones, que en gran medida incumben al comercio y a la industria” (S.A.R, 2002).

La competitividad del sector industrial, que enfrenta una demanda más dinámica, que ha del resto de los sectores productivos, contribuye positivamente al crecimiento. La experiencia muestra que el comercio internacional y manufacturas se expande a un ritmo más elevado, que el comercio mundial y esta diferencia se incrementa para aquellos rubros con mayor contenido de innovación tecnológica, los que en las últimas cuatro décadas han estado localizados en la industria metalmecánica y en la química.

A niveles más desagregados, los rubros líderes al nivel del comercio internacional y de progreso técnico, se van modificando y, por consiguiente, la capacidad de los países para insertarse sólidamente en los mercados internacionales, está fuertemente condicionada por su capacidad y posibilidad de acompañar las tendencias tecnológicas internacionales.

En la medida en que se desarrolla esta aptitud, el efecto de retroalimentación sobre el crecimiento, vía modificación de los precios relativos, elevación de la productividad y ampliación del mercado interno, se acentúa. Cuando se afirma que la competitividad refuerza el crecimiento, es preciso agregar al hecho fundamental de que esta relación

adquiere mayor vigencia, cuando la productividad se manifiesta en rubros con mayor contenido tecnológico y cuando las empresas y la infraestructura tecnológica de apoyo forman parte del acervo el país en cuestión: “Esta es una diferencia entre América Latina y los GEIC’s (Growth With Equity Industrializing Countries, Países en vías de Industrialización con crecimiento y equidad). El menor ritmo de cambio estructural en la producción industrial y en las exportaciones” (S.A.R, 2002).

Lo anterior no excluye la contribución potencial, ni de los rubros de escaso contenido técnico, pero enfatiza la relevancia, en relación entre sectores productivos, empresas y tipos de mercados, en la que resulta fundamental profundizar para avanzar en la comprensión del proceso de innovación tecnológica. El hecho de que la macroeconomía convencional haga abstracción de esta vinculación (sectores, empresas, mercados). Porque no es relevante para el objetivo de su análisis inhibe su capacidad de “Capturar” el núcleo central de la dinámica el progreso técnico.

Resulta importante destacar el hecho de esfuerzo de innovación y desarrollo tecnológico, no se distribuye homogéneamente en el conjunto de la actividad productiva. Se verifica que este esfuerzo, se concentra principalmente en el sector manufacturero que, no obstante representa entre un cuarto y un tercio del producto bruto interno, en casi todos los países industrializados absorbe una proporción que en la mayor parte de los casos supera el 90% de los recursos destinados al propósito de investigación y desarrollo: “Es decir, el sector manufacturero presenta una densidad de esfuerzo y contenido tecnológico, que equivale a tres o cuatro veces la densidad promedio de la actividad económica” (S.A.R, 2002).

El crecimiento permite incorporar nuevas generaciones de equipos y productos, contribuye por esa vía a elevar la productividad y, por consiguiente, a reforzar la

competitividad internacional. La ampliación inicial del mercado interno, por la vía de la masificación del consumo de bienes simples, que se sofistican a medida que aumenta la productividad, constituye la base insustituible del aprendizaje industrial-tecnológico, condición necesaria para la creciente inserción internacional: “Este «círculo virtuoso» entre crecimiento y competitividad, en el cual con frecuencia suelen omitirse los requisitos de equidad, austeridad y aprendizaje tecnológico, constituye uno de los ejes centrales de las experiencias exitosas de industrialización” (S.A.R, 2002).

2.2.2. Industrialización en el Perú

La actividad industrial en el Perú, es todavía insuficiente y poco agresiva para fomentar el desarrollo de nuestro país: “Durante los últimos años conforme la actividad manufacturera fue avanzando, por el empuje de quienes se dedican a esta actividad en pequeña escala (Las Micro y Pequeñas Empresas), se han producido cambios de diversificación de productos, pero con el preocupante sesgo hacia la copia o productos poco relevantes para un desarrollo sostenible de un país como el Perú” (S.A.R, 2002).

Pero si se hace un análisis autocrítico, de la situación actual y la historia de la actividad manufacturera en nuestro país, no se debe olvidar que casi nada está hecho, es decir esta todo por hacer, pues no se tiene una política de investigación y desarrollo industrial coherente y secuencial evolutiva de las tecnologías industriales, pues quienes hacen esta actividad, se encuentran sin un plan maestro general por lo que su avance en la investigación es desordenada e ínfima.

El papel de las industrias en el Perú, al igual que en cada país en vías de desarrollo, es la de impulsar y fomentar el desarrollo sostenible, para que mediante la planificación a mediano y largo plazo un país deje de ser un país de copia, pero esto depende de muchos factores como una adecuada política de Investigación y Desarrollo Tecnológico: “La actividad

empresarial desarrollada en la industria, el alto nivel tecnológico alcanzado y la capacidad de respuesta de técnicos, trabajadores y empresarios a los requerimientos de la industria nacional, aseguran la contribución firme y eficaz de la industria, al desarrollo económico del país” (S.A.R, 2002).

2.2.3. Crecimiento económico en el Perú

El Perú es uno de los siete países con mayores recursos mineros, siendo los principales minerales el Cobre, Oro, Plata, Zinc, Hierro, y Estaño, que juntos suman aproximadamente el 95% del valor de la producción minera y generan el 46% de las divisas por exportación.

Perú también tiene un gran potencial en minerales no metálicos, también conocidos como Minerales Industriales, tales como el Mármol travertino, Diatomita (primer productor de América del Sur), Bentonita y Boratos: “En efecto, el Perú está entre los pocos países en el mundo en los que se pueden encontrar depósitos de estos minerales” (E., 2014).

2.2.4. Evolución de las comunicaciones industriales

La evolución en las comunicaciones Industriales ha dado grandes saltos en los últimos años. En los años 50, todas las comunicaciones dentro de las Industrias eran realizadas con señales neumáticas de 3 a 15 Psi. Posteriormente en los años 70, se comenzó a utilizar el estándar analógico de corriente 4-20 mA, el cual resulto una mejora considerable y hasta la fecha de hoy se sigue utilizando en plantas Industriales, hasta que finalmente en los años 80, las comunicaciones Industriales dieron un gran pasó y pasaron de ser analógicas a ser digitales.

El origen de las Redes de Comunicación Industriales (RCI), se debe a los estudios que realizo la Foundation Fieldbus, con el objeto de desarrollar esquemas de comunicaciones universales y de arquitectura abierta. Las redes de comunicaciones Industriales nos permiten intercambiar información (Control) distribuida entre dispositivos remotos en un entorno industrial.

Existen 4 formas, de realizar el proceso de intercambio de información, los cuales son:

- Comunicación punto a punto análoga.
- Comunicación punto a punto digital.
- Comunicación punto a punto hibrida.
- Comunicaron digital con bus de campo.

De las tecnologías anteriores, las que son punto a punto poseen la desventaja de utilizar gran cantidad de cableado, además con la invención de los procesadores, fue necesario realizar un cambio en las comunicaciones Industriales de análoga a digital, es por eso que hoy en día una de las comunicaciones más eficientes resulta la comunicación digital con bus de campo.

2.2.5. Instrumentación industrial inteligente

La instrumentación industrial inteligente son capaces de procesar algoritmos PID, porque están contruidos con: “Microprocesadores, este instrumento gracias al protocolo son capaces de asumir el control del proceso simplificando, así el control de los procesos y la automatización en una planta industrial” (Coutinho, Martin, Samata, Tapley, & Wilkin, 1995).

La instrumentación industrial inteligente, son instrumentos interoperables, pero no intercambiables, esto quiere decir que los instrumentos de diferentes marcas pueden trabajar juntos, ya que Fieldbus Foundation, realiza pruebas de interoperabilidad, con los instrumentos haciendo cumplir varios requisitos de interoperabilidad. Una vez que el dispositivo pase las pruebas se le pone un logo de Fieldbus Foundation. Pero esto no quiere decir que un dispositivo reemplace a la otra.

Por ejemplo, si se tiene dos transmisores de temperatura de diferentes fabricantes, con diferentes características, una mejor que la otra, al momento de reemplazar la de mayores características por la de menor características, no se debe esperar el mismo desempeño o que el sistema siga como lo estaba anteriormente.

Los dispositivos Fieldbus Foundation, proporcionan información de estado con la variable del proceso, para una operación más segura de planta.

2.2.5.1. Capacidad de comunicación

Una parte importante de los instrumentos inteligentes, es la capacidad de comunicación. Hoy en día los llamados instrumentos inteligentes incorporan capacidad de comunicación bajo protocolos estandarizados, que sirven para enlazar los sensores distribuidos de una forma coherente. Dependiendo de los distintos buses de comunicación y de los protocolos usados las capacidades de los instrumentos varían enormemente: “En algunos casos como en Fieldbus Foundation, además de dotar de capacidad de comunicación al instrumento son los propios instrumentos de campo, los que pueden realizar la tarea de control incluyendo los lazos de regulación y control, todo ello distribuido en el propio campo, formando así un verdadero sistema de control multi-agente con inteligencia distribuida” (Pazos).

2.2.5.2. Diagnóstico

Las capacidades de autodiagnóstico y comunicación de los dispositivos de bus de campo basados en microprocesador, ayudan a reducir el tiempo de inactividad y a mejorar la seguridad de la planta.

El personal de operación y mantenimiento de la planta, puede realizar acciones notificadas y correctivas tomadas de forma rápida y segura.

2.2.5.3. Clases de instrumentos

Según las funciones que realizan los instrumentos se pueden clasificar en:

Instrumentos ciegos. - Aquellos que no tienen indicación visible de la variable medida.

Instrumentos indicadores. - Son aquellos que tienen un indicador visual, que puede ser analógico y/o digital.

Instrumentos registradores. - Pueden existir del tipo mecánico como por ejemplo el registro circular (1 vuelta en 24 horas), registrador rectangular o alargado (20 mm/hora), también de tipo electrónico, como los registradores digitales que por medio del puerto serial, se conectan a una computadora donde aparece gráficamente en pantalla las estadísticas de medición.

Elementos primarios de medida. - Son aquellos que están encargados de medir directamente la variable a controlar.

Transmisores. - Son todos aquellos que transmiten la variable a distancia en forma de señal eléctrica, neumática, hidráulica, o electromagnética.

Transductores. - Son aquellos que modifican, convierten o acondicionan la señal de entrada. Por ejemplo, tenemos los relés, los convertidores de señal neumática a eléctrica.

Receptores. - Son aquellos instrumentos que reciben la señal enviada por los transmisores.

Controladores. - Son los encargados de encontrar el error entre la variable medida y la referencia, y efectúan una acción para corregir dicho error.

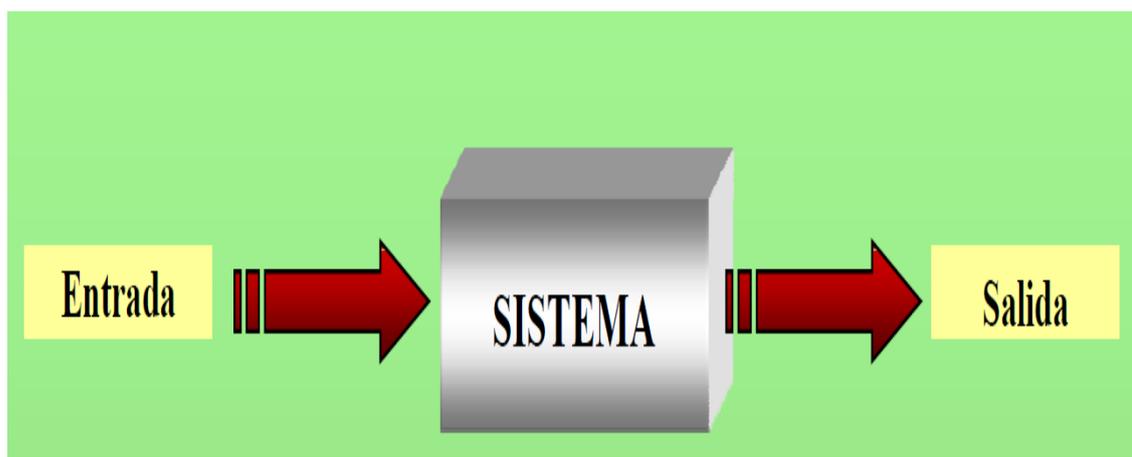
Elemento final de control. - Son los instrumentos que reciben la señal e corrección del controlador y actúan sobre el proceso para corregir el error.

2.2.5.4.Lazos de control en la instrumentación

Cada uno de los lazos de control, está diseñada para mantener alguna variable de proceso importante tal como: “Presión, Flujo, Nivel, Temperatura, dentro de un rango de operación requerido para asegurar la calidad de un producto final” (IPN-ESIME, 2011).

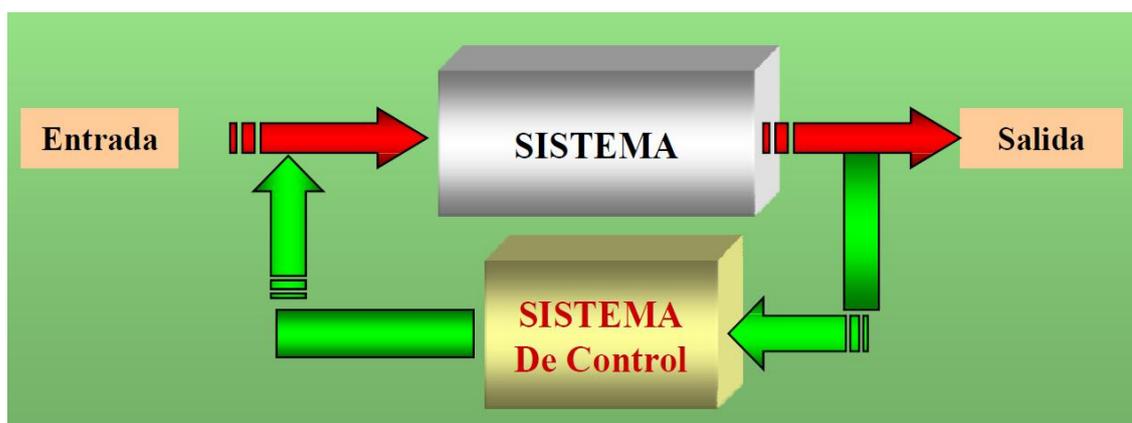
Se dividen en dos tipos:

- Lazos de control abierto

Figura 2. 1: Lazo de control abierto

Fuente: Instrumentación Industrial, Miguel G. Ramírez F.

- Lazo de control cerrado

Figura 2. 2: Lazo de control cerrado

Fuente: Instrumentación Industrial, Miguel G. Ramírez F.

2.2.5.5. Identificación del instrumento

Los instrumentos son generalmente identificados por números en una etiqueta. El número de la etiqueta identifica la función en el proceso y el lazo de control en el cual está localizado.

Figura 2. 3: Letras y números utilizados para Números de Etiquetas



Elaboración propia

El LSH, identifica un Limit Switch (Switch detección contrapeso bajo). Las letras del alfabeto son utilizadas para formar la combinación de estos nombres. En la siguiente tabla se muestra las correspondientes a cada término que, si bien no es de uso obligatorio, si constituye una representación a seguir dado que se ha convertido en un estándar internacional.

Tabla 2. 1: Código de identificación de instrumentos

Primera letra			Letras sucesivas		
	Variable medida	Modificad.	Función de lectura pasiva	Funciones de salida	Letra de modificac.
A	Análisis (Composición)		Alarma		
B	Combustión (Quemador)				
C	Conductividad Concentración		Regulación(ON – OFF)	Control	
D	Densidad peso específico	Diferencial			
E	Voltaje		Sensor		
F	Flujo, caudal	Fracción			
G	Calibre		Dispositivo de visión		
H	Mano (acción manual)				Alarma de alta
I	Corriente eléctrica		Indicación (indicador)		
J	Potencia	Exploración			
K	Tiempo	Razón del cambio de tiempo		Estación de control	
L	Nivel		Luz		Alarma de baja

M	Humedad				Intermedio o medio
N	Libre	Libre a elección	Libre a elección		
O	Libre		Orificio, restricción		
P	Presión		Punto de prueba o conexión		
Q	Cantidad	Integrado, totalizado			
R	Radiación		Registro		
S	Velocidad, frecuencia	Seguridad		Interruptor	
T	Temperatura		Transmisor		
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Vibración o análisis mecánico			Válvula	
W	Peso (Fuerza)		Pozo		
X	Libre a elección	Eje X	Libre	Libre	Libre
Y	Evento, estado, presencia	Eje Y		Relé, computadora	
Z	Posición, dimensionamiento	Eje Z		Actuador, manejador	

Fuente: Norma ISA S5.1 -84 (R-1992)

Los números para la identificación del lazo de control, tienen una base diferente y sirve para un propósito diferente, por ejemplo, es también el número del lazo del instrumento en este caso 3050 es un proceso. Este número puede ser modificado posteriormente para indicar la localización del instrumento. Por ejemplo, en la Figura 2.3 podría haber sido numerada también LSH 25 – 102 o 25 LSH 102. Ambos códigos se leen de la siguiente manera: Switch detección contrapeso bajo N° 3050 construcción 25. Normalmente cuando se tiene varios instrumentos del mismo tipo se agrega una letra después del número. (Diagramas PID).

2.2.5.6. Casos de identificación

a. Cuando se emplean solo dos letras

La primera letra siempre designa a la variable, a la que está dedicada el instrumento. La segunda es la función principal del instrumento (Rivera).

- TT: Transmisor de temperatura.
- LC: Control de nivel.

b. Cuando se emplean tres letras

Existen las siguientes posibilidades:

Primer caso:

- 1° letra: Variable.
- 2° letra: Función secundaria.
- 3° letra: Función principal.

Ejm. LIC: Controlador e indicador de nivel.

Segundo caso:

- 1° letra: Variable.
- 2° letra: Modifica variable.
- 3° letra: Función principal.

Ejm. TDI: Indicador diferencial de temperatura.

Tercer caso:

- 1° letra: Variable.
- 2° letra: Función principal.
- 3° letra: Modifica la función principal.

Ejm. JSH: Switch valor de potencia.

c. Cuando se emplean cuatro letras

Existen las siguientes posibilidades:

Primer caso:

- 1° letra: Variable.
- 2° letra: Función secundaria.
- 3° letra: Función principal.
- 4° letra: Modifica la función principal.

Ejm. PDIC: Controlador, e indicador de presión diferencial.

Segundo caso

- 1° letra: Variable.
- 2° letra: Modifica variable.
- 3° letra: Función principal.
- 4° letra: Modifica la función principal.

Ejm. TDET: Transmisor con elemento primario de diferencial de temperatura

Tercer caso:

- 1° letra: Variable.
- 2° letra: Modifica variable.

- 3° letra: Función secundaria.
- 4° letra: Función principal.

Ejm. JISH: Switch por nivel alto e indicador de potencia.

Cuarto caso:

- 1° letra: Variable.
- 2° letra: Modifica variable.
- 3° letra: Función principal.
- 4° letra: Modifica la función principal.

Ejm. PDAL: Alarma de nivel bajo de presión diferencial.

d. Cuando se emplean cinco letras

Existe solo la siguiente posibilidad.

- 1° letra: Variable.
- 2° letra: Modifica variable.
- 3° letra: Función secundaria.
- 4° letra: Función principal.
- 5° letra: Modifica la función principal.

Ej. PDIAM: Alarma de nivel medio e indicador de presión diferencial.

2.2.5.7. Calibración y configuración de instrumentos inteligentes

Los instrumentos hoy en día son más accesibles, en el mercado y son más usados en plantas industriales, para su funcionamiento es necesario calibrarlos y configurarlos.

Calibración de un instrumento inteligente. - Para Calibrar un instrumento inteligente es necesario medir la entrada del instrumento, como lo haríamos al momento de calibrar un transmisor análogo, luego tenemos que interpretar la salida digital de este.

Existen muchas razones, por los cuales se debe realizar la calibración de instrumentos inteligentes, antes de ser instalados en campo. Las razones principales son las siguientes:

- Con el tiempo y en condiciones muy exigentes, estos instrumentos llegan a presentar desviaciones.
- Es un requisito fundamental establecido en los protocolos de calidad de algunas empresas.
- Para lograr una alta calidad en el desempeño del equipo y mejorar los procesos.

Configuración. - La configuración de un instrumento inteligente, es la definición de sus parámetros. Esta configuración se lleva a cabo mediante el protocolo de comunicación, para realizar esta configuración es necesario usar un comunicador compatible con Fieldbus Foundation.

2.2.6. Buses de campo en las redes de comunicación industriales

Los buses de campo se caracterizan por minimizar y simplificar la instalación, reducir los costos de operación y mantenimiento de los equipos industriales, los cuales

son usados para conectar equipos de campo, como (Sensores y Actuadores), en un área con el fin de comunicarse con una unidad de control. Si varios miembros de la comunicación envían sus mensajes por una línea, entonces es necesario establecer la identificación, el valor medido y cuándo (Iniciativa) se dijo algo. Hay protocolos estandarizados para esto.

Un bus de campo transfiere información secuencial y serial, por un número limitado de líneas y cables. Hay muchos tipos diferentes de buses en uso y muchos son altamente dependientes de las aplicaciones, estos buses de campo simplifican 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 a 20 mA : “Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y sensores” (Kaschel & Pinto).

Un protocolo industrial, es aquel que se le adjudica a un equipo electrónico, que se encarga de realizar la comunicación con otros dispositivos, haciendo que se entiendan entre si comunicando datos de procesos, para que estas sean manejadas de una manera óptima. Para esto se necesita que la transmisión de la información a través del bus, sea a una velocidad alta, lo que implica que el protocolo maneje tiempos de procesos cortos.

Existen dos tipos de protocolos, los propietarios y los abiertos. Los primeros se refieren a que son de uso privativo de un fabricante, es decir que solo sus equipos de la misma marca podrán realizar la comunicación, haciendo difícil la conexión con otra, lo que obliga a una empresa a usar los equipos de un solo proveedor. La tendencia de estos

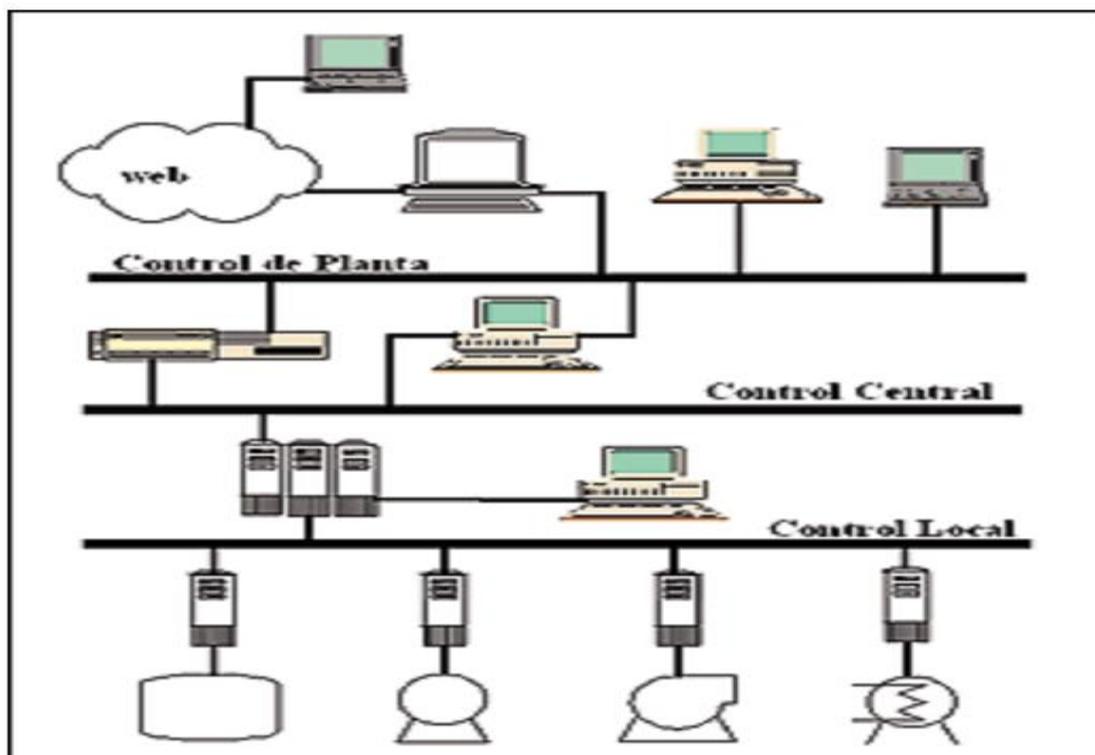
protocolos por su robustez y funcionalidad, con el tiempo se toman de uso generalizado en un sector, lo que amplía su cobertura y aceptación en el mercado.

Los protocolos abiertos se caracterizan por ser interconectables, porque pueden ser conectados entre sí al mismo bus dispositivos de diferentes fabricantes, con total interoperabilidad, en cuanto a la comunicación y completa funcionalidad, dándonos la opción de reemplazar dispositivos de una empresa X, con una de otra empresa Y, logrando su funcionamiento sin ningún problema.

2.2.6.1. Arquitectura de un bus de campo

La arquitectura básica de un bus de campo se muestra en la Figura 2. 4, se distinguen 3 niveles: Nivel local, Nivel central y Nivel de planta. Las interconexiones entre los diferentes niveles las realizan equipos con las capacidades apropiadas, como PLCs o servidores. Según el esquema, una señal de nivel local puede ser monitoreada o ajustada en forma remota, desde un equipo de cualquier nivel incluyendo la Web, contando con los permisos y atribuciones para ello.

Figura 2. 4: Arquitectura básica de un bus de campo



Fuente: Luis Camilla, Revista Electro Industria, Buses de campo, Editorial EBM, mayo 2006.

2.2.6.2. Características de los buses de campo

Los buses de campo, tienen diversas características que lo identifican y además definen los modos en los que se puede configurar y operar una red con bus de campo. A continuación, se describirán las principales características de los buses de campo:

Muchos fabricantes de componentes. - Al momento de realizar la instalación con buses de campo, existen varios fabricantes de componentes, ya sean dispositivos de campo, o elementos de la red en sí, lo que garantiza una gran cantidad de elementos a considerar en la elección de los componentes a utilizar.

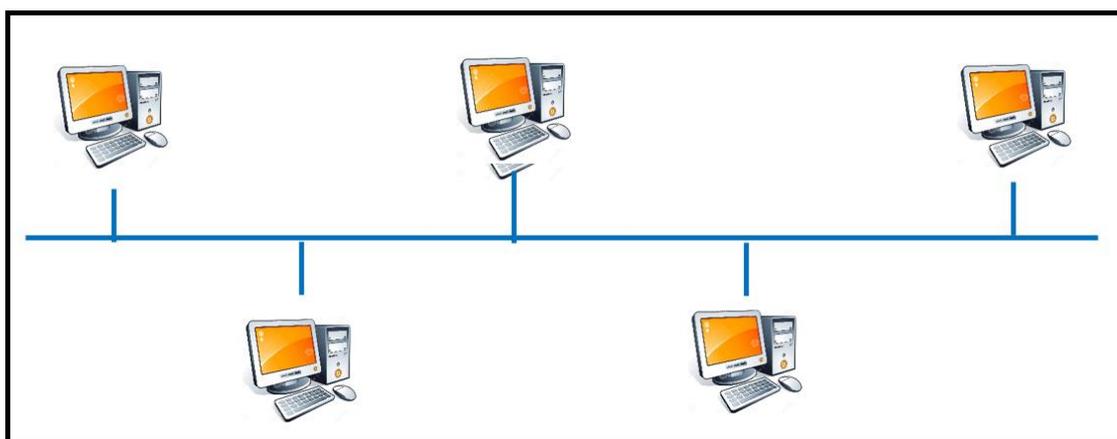
Integración con otras redes. - Una red de bus de campo puede integrarse con otra red de bus de campo de manera sencilla, esta integración entre redes que existe permite crear una gran red con varias sub redes de buses de campo.

Herramientas de diagnóstico entiempos real. - Estas herramientas nos indican en cualquier instante de tiempo las condiciones, en las que se encuentran los dispositivos de la red, como el proceso productivo de la Planta Industrial.

Topología. - Analizando las distintas topologías de red existentes, la instalación de un sistema con bus de campo, puede utilizar topologías de bus, estrella, anillo o combinaciones de ellas, las más utilizadas en buses de campo son las siguientes:

- **Topología Bus.** - Este tipo de topología se caracteriza por presentar un único segmento de cable, al cual se conectan todos los equipos.

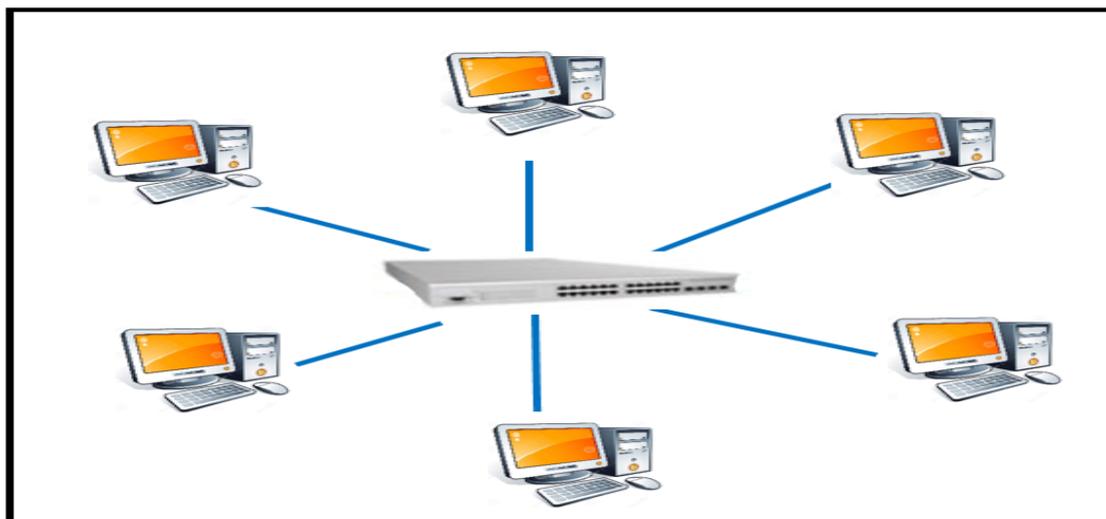
Figura 2. 5: Ejemplo de topología Bus



Elaboración propia

- **Topología Estrella.** - Esta configuración hace más fácil una posible ampliación futura de la red.

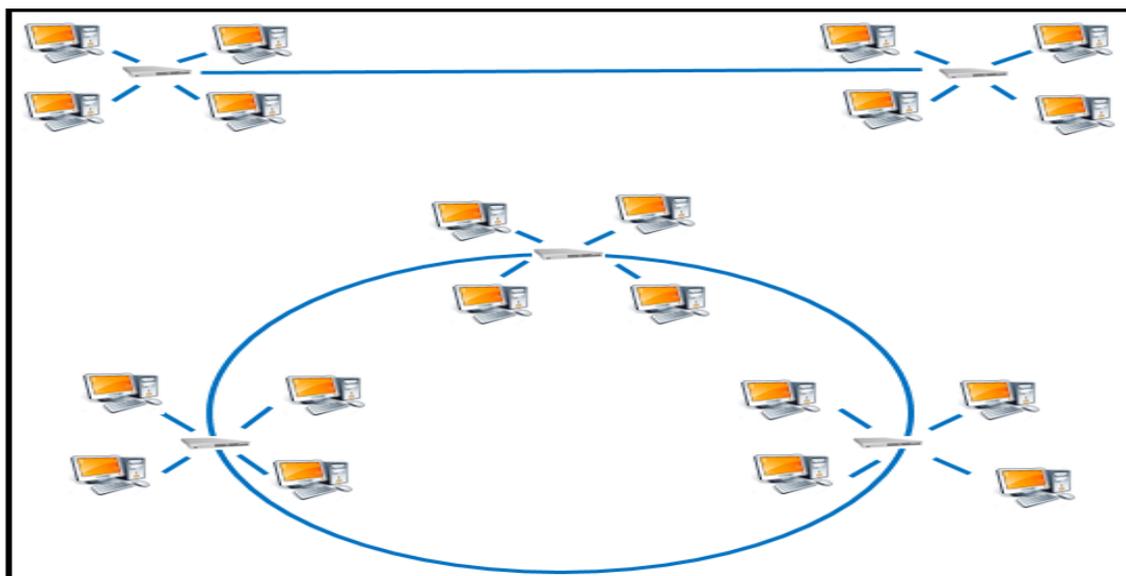
Figura 2. 6: Ejemplo de topología Estrella



Elaboración propia

- **Topología Mixta.** - Este tipo de topología puede combinar los distintos tipos de las topologías mencionadas anteriormente. En la figura N° 10 se ve el ejemplo de dos redes mixtas una de ellas Estrella – Bus, y la otra es Estrella – Anillo.

Figura 2. 7: Ejemplo de topología Mixta



Elaboración propia

2.2.6.3. Resumen comparativo entre algunos buses de campo

En la siguiente tabla comparativa, se indican algunas características tales como Topología, Soporte, Velocidad, etc. De los principales buses de campo utilizados en las comunicaciones Industriales.

Tabla 2. 2: Resumen comparativo con buses de campo

Nombre	Topología	Soporte	Velocidad Trans.	Distancia Max. (km)
Fieldbus H1	Estrella, Bus	Par trenzado Fibra Óptica	31.25 Kbps	1.9 c/Cable
Fieldbus HSE	Estrella	Par trenzado Fibra Óptica	100 Mbps	0.1 c/Cable 24 c/Fibra
Profibus DP	Línea, Anillo y Estrella	Par trenzado Fibra Óptica	1.5 Mbps 12 Mbps	24 c/Fibra
Profibus PA	Línea, Anillo y Estrella	Par trenzado Fibra Óptica	31.5 Kbps	24 c/Fibra
Profibus - FMS	Estrella	Par trenzado Fibra Óptica	500 Kbps	
DeviceNet	Troncal / puntual con bifurcación	Par trenzado Fibra Óptica	500 Kbps	0.5 6 c/Repetidor
LonWorks	Bus, Anillo, Estrella, Lazo	Par trenzado Fibra Óptica coaxial radio	500 Kbps	2
Interbus	Segmentado	Par trenzado Fibra Óptica	500 Kbps	400/sem. 12.8 total
ASI	Bus, estrella, Anillo estrella	Par trenzado Fibra Óptica	167 Kbps	0.1, 0.3 c/rep. 24 Fibra
Modbus	Línea, Estrella, Árbol, red con segmentos	Par trenzado Coaxial, radio	1.2 a 115.2 Kbps	0.35
Ethernet industrial	Bus, estrella, malla, cadena	Coaxial, par trenzado, Fibra Óptica	10,100 Mbps	0.1 100 mono c/switch
Hart		Par trenzado	1.2 Kbps	0.1 segm 24 fibra

Fuente: El ABC de la automatización, Buses de campo. Ignacio Andrada

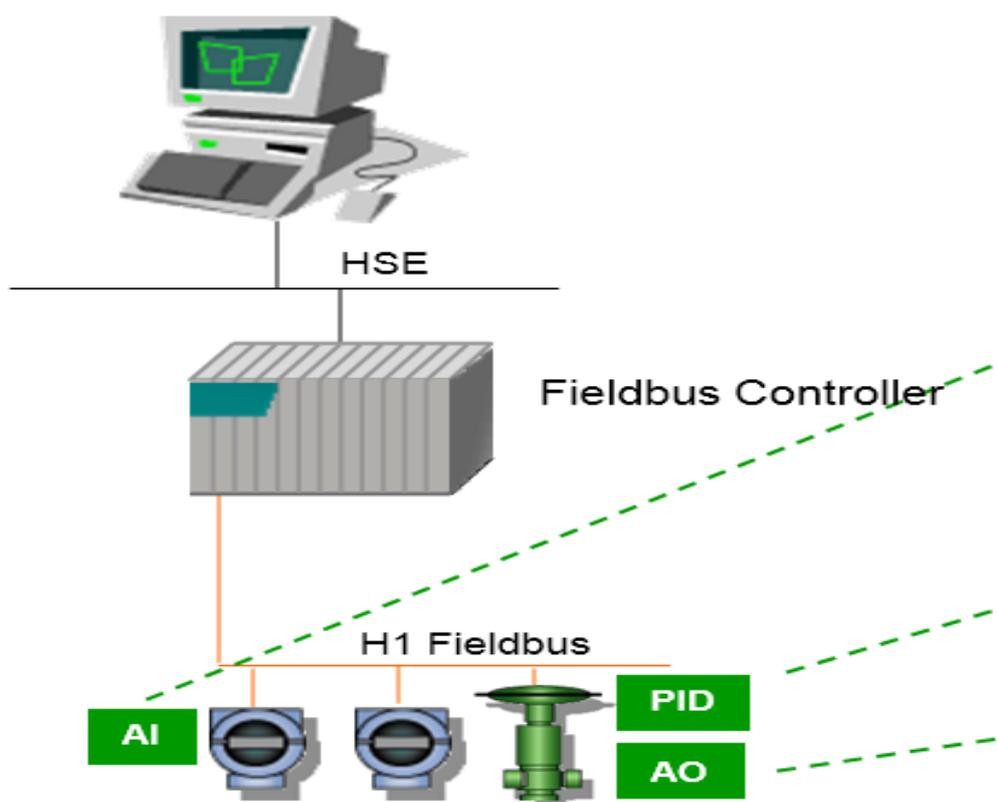
2.2.7. Bus de campo de la Fieldbus Foundation

La Foundation Fieldbus, es un protocolo de comunicación de datos digitales, o sistema de comunicación digital, quiere decir que reemplazara a la comunicación analógica de 4 – 20 mA.

Ayuda a mejorar el proceso y el rendimiento de planta, ideal para usar en control regulatorio básico y avanzado.

Las capacidades de autodiagnóstico y comunicación de los dispositivos de bus de campo basados en microprocesador ayudan a reducir el tiempo de inactividad y a mejorar la seguridad de la planta. El personal de operación y mantenimiento de la planta pueden realizar acciones notificadas y correctivas tomadas de forma rápida y segura.

Figura 2. 8: Instrumentación con funciones de control

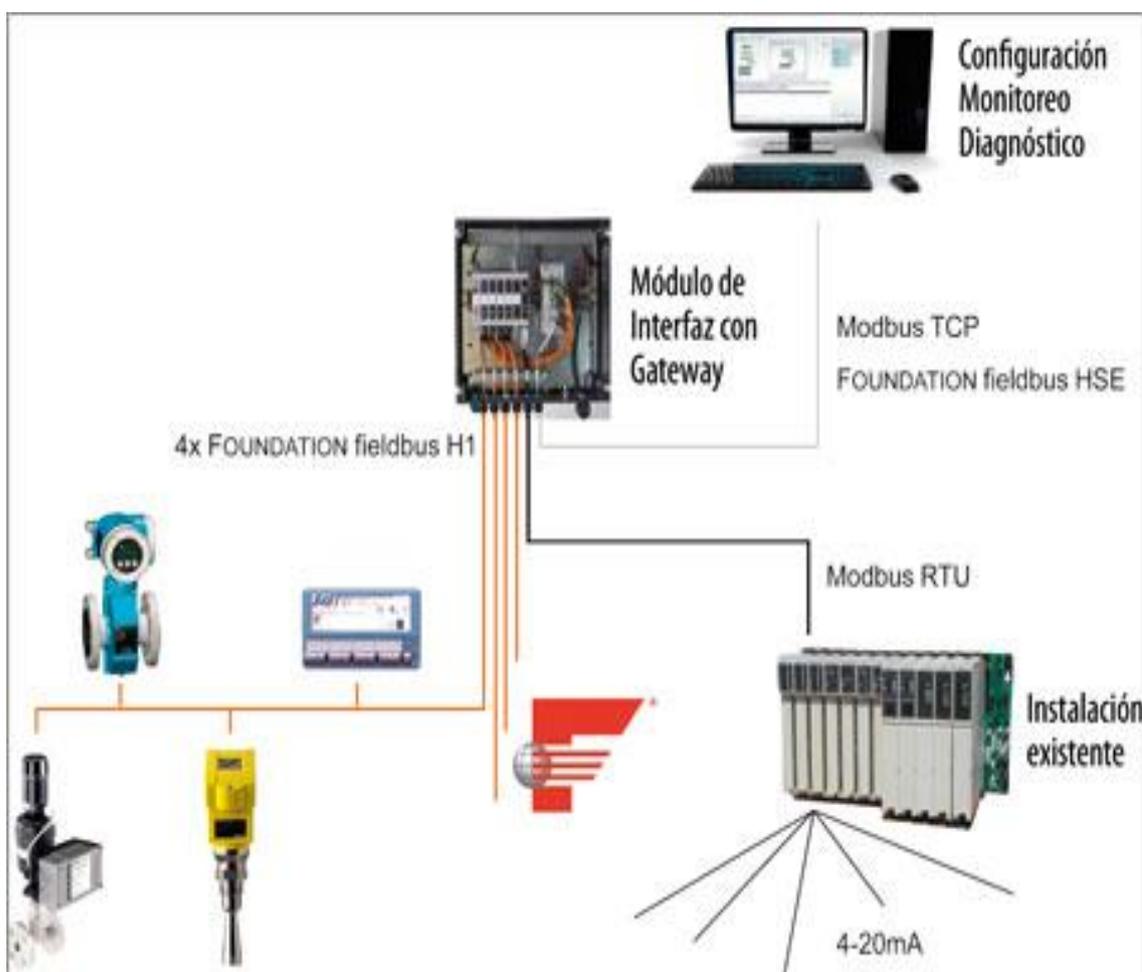


Fuente: Fieldbus Foundation

Los bloques de funciones estándar, se esgrimen para implementar la estrategia de control. El dispositivo de campo puede realizar muchas funciones del sistema de control, como AI, PID y AO, mediante el uso de estos bloques de funciones estándar. La distribución del control en los dispositivos de campo puede reducir la cantidad de Hardware y gabinete de huella necesarios.

La Fieldbus Foundation, es fácil de integrar en una planta ya implementada, para esto se usa un Gateways, que trabaja con el protocolo Modbus, este permite el intercambio de datos entre los componentes Fieldbus Foundation y los ya existentes. Esto es gracias a que tiene una herramienta para tratar los registros de un protocolo en forma individual del otro.

Figura 2. 9: Extensión de una planta convencional con componentes Foundation fieldbus a través de un Gateway.



Fuente: Fieldbus Foundation.

2.2.8. Ventajas de la Fieldbus Foundation

Las ventajas que presenta la Fieldbus Foundation, son las siguientes:

En instalación y costos. - La instrumentación solo necesita de un cable, para conectarse al bus de campo, el cual es usado tanto para la alimentación y para la transición de la señal digital de control, haciendo más fácil la instalación, y reduciendo costos al momento de instalarlos en campo. Es decir, si se tuviera 1000 dispositivos que tienen que ser montados en campo, se necesitaría 1000 pares de hilos para instalarlos con la tecnología análoga tradicional, pero con Foundation Fieldbus, solo se necesitaría de 60 a 250 pares de hilos para la instalación, lo que significa que se ahorra en material y tiempo.

Mantenimiento. - Debido a lo simple que es la instalación, el mantenimiento también es sencillo, es mucho más fácil y rápido detectar fallas en los instrumentos, ya que también se pueden realizar diagnóstico on-line.

Mejoramiento del desempeño.- Principalmente para procesos grandes, el tiempo de respuesta del sistema es menor que el de una implementación análoga, permitiendo incrementar más su tamaño, sin comprometer la velocidad de respuesta en tiempo real del sistema: “Con este tipo de tecnología se obtiene gran desempeño, flexibilidad de crecimiento, y la capacidad de procesar gran cantidad de información” (Tejada, 1998).

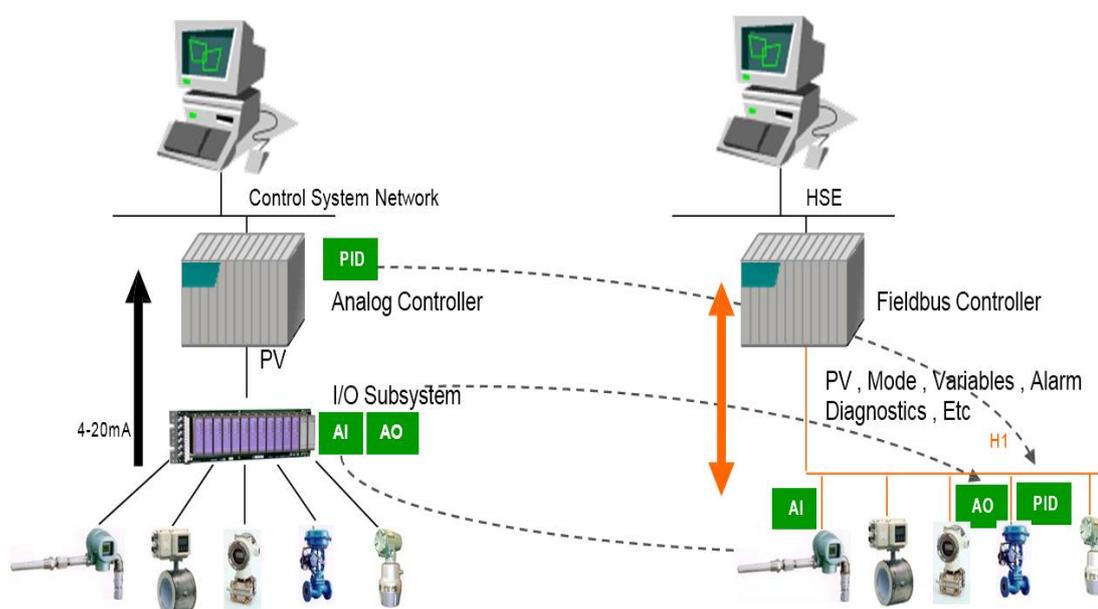
2.2.9. Control estratégico

Los bloques de funciones estándar se utilizan para implementar la estrategia de control.

El dispositivo de campo puede realizar muchas funciones, del sistema de control, como AI, PID y AO, mediante el uso de estos bloques de funciones estándar.

La distribución del control en los dispositivos de campo, puede reducir la cantidad de Hardware y gabinete de huella necesarios.

Figura 2. 10: Control estratégico

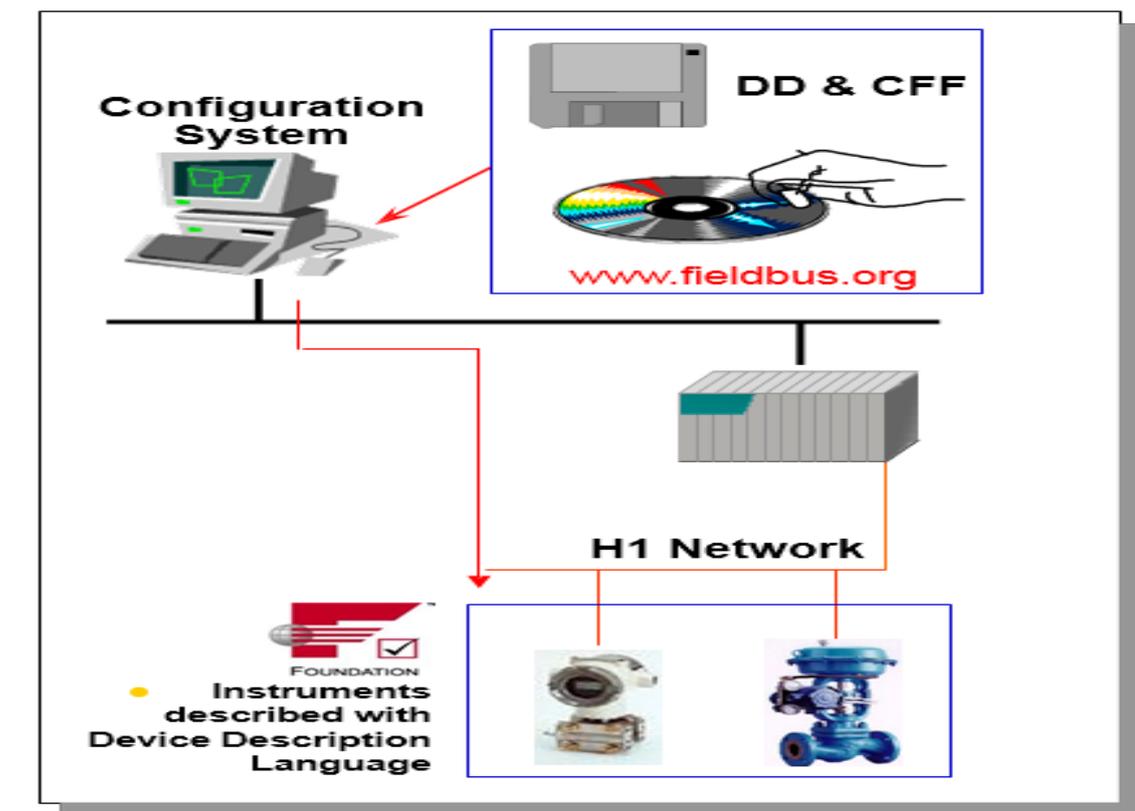


Fuente: Fieldbus Foundation

2.2.10. Archivos DD y CFF

El archivo Device Descriptor (DD), permite el funcionamiento de dispositivos de diferentes proveedores, en el mismo bus de campo con un solo Sistema Host. El formato de archivo común (CFF), es un archivo que describe las funciones y capacidades de un dispositivo de campo. El archivo CFF, se usa junto con el archivo descriptor del dispositivo para permitir que un Sistema Host, configure el sistema fuera de línea. Los archivos CFF son archivos de texto ASCII estándar (Lim).

Figura 2. 11: En la figura se muestra en que parte del sistema se instalan los datos DD y CFF



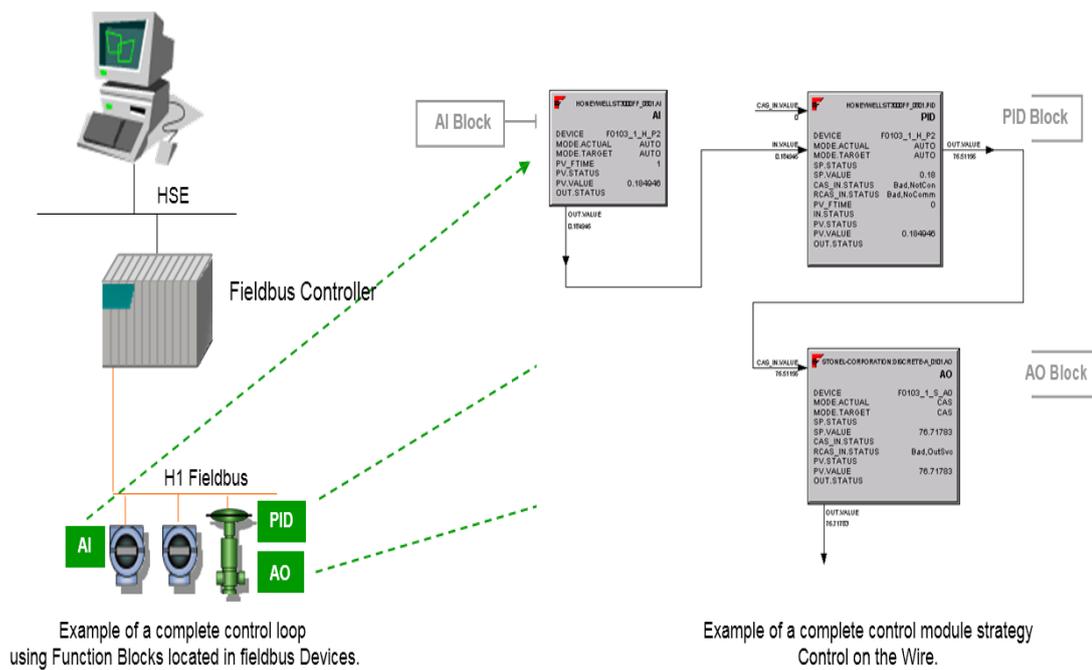
Fuente: Fieldbus Foundation

2.2.11. Ejemplo de un lazo de control

La estrategia de control, se puede construir utilizando bloques de funciones integrados en cada dispositivo.

Un transmisor de temperatura simple, puede contener un bloque de función AI. Una válvula de control puede contener un bloque de función PID, y el bloque AO esperado. Por lo tanto, se puede construir, un circuito de control completo usando un transmisor simple y una válvula de control.

Figura 2. 12: Lazo de control Fieldbus Foundation



Fuente: Fieldbus Foundation

Las ventajas de un protocolo abierto o un sistema abierto e interoperable son:

- Los dispositivos de diferentes proveedores, pueden trabajar juntos en un sistema eliminando los protocolos propietarios y las interfaces especiales o a la medida del cliente (Customizadas).
- Se puede sustituir un dispositivo de campo, por uno similar de otro proveedor sin limitar la funcionalidad o la integración del sistema.
- Se tiene la infraestructura, para soportar actualización de los dispositivos del Fieldbus.
- El protocolo y los equipos no son controlados por un solo proveedor.

2.2.12. Estructura de bloques de Fieldbus Foundation

Los bloques de función, son bloques estándares de Fieldbus Foundation, el bloque de recurso es un bloque mejorado y los bloques de transductor son específicos del

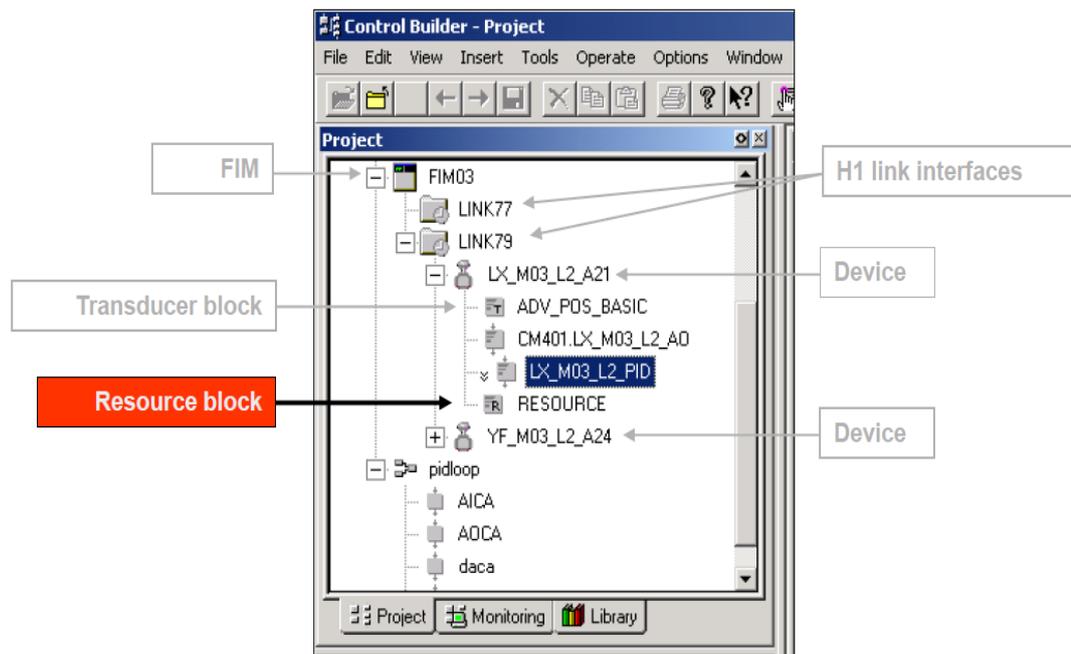
fabricante, los bloques de funciones se ejecutan en los dos estándares definidos por Fieldbus Foundation: H1 y HSE.

El módulo USMII de Fieldbus Foundation, proporciona los siguientes bloques:

a. Bloque de recursos (RB)

Está formado por un bloque de recurso (RB). El bloque de recursos describe las características del dispositivo de bus de campo, como el nombre del dispositivo, el fabricante y el número de serie, etc. Solo hay un bloque de recursos en un dispositivo.

Figura 2. 13: Bloque de recursos



Fuente: Fieldbus Foundation

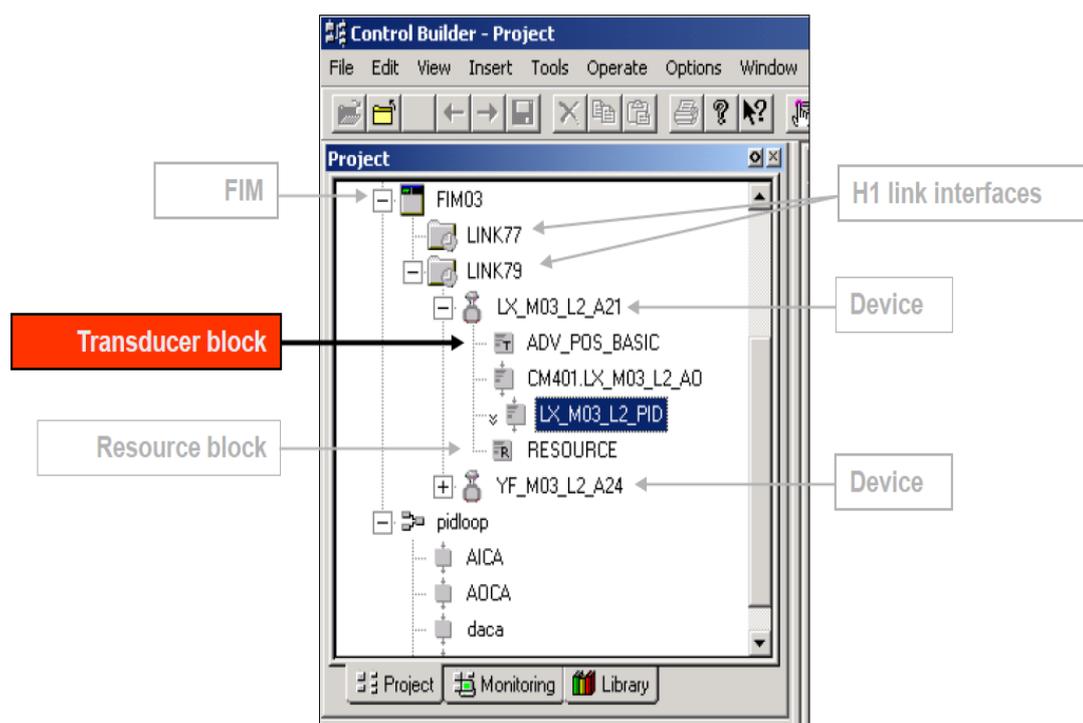
b. Bloque de transductor (TB)

Los bloques transductores, se utilizan para configurar dispositivos. Se requieren bloques transductores, para leer el valor de los sensores y el valor de salida del comando.

Está formado por 7 Bloques de Transductor (TB) que incluyen:

- 1 TB de flujo (TB1).
- 1 TB totalizador 1 (TB2).
- 1 TB totalizador 2 (TB3).
- 1 TB de lote (TB4).
- 1 TB de diagnóstico (TB5).
- 1 TB de entrada/salida (TB6).
- 1 TB de visualización local (TB7).

Figura 2. 14: Bloque Transductor



Fuente: Fieldbus Foundation

c. Bloques de funciones (FB)

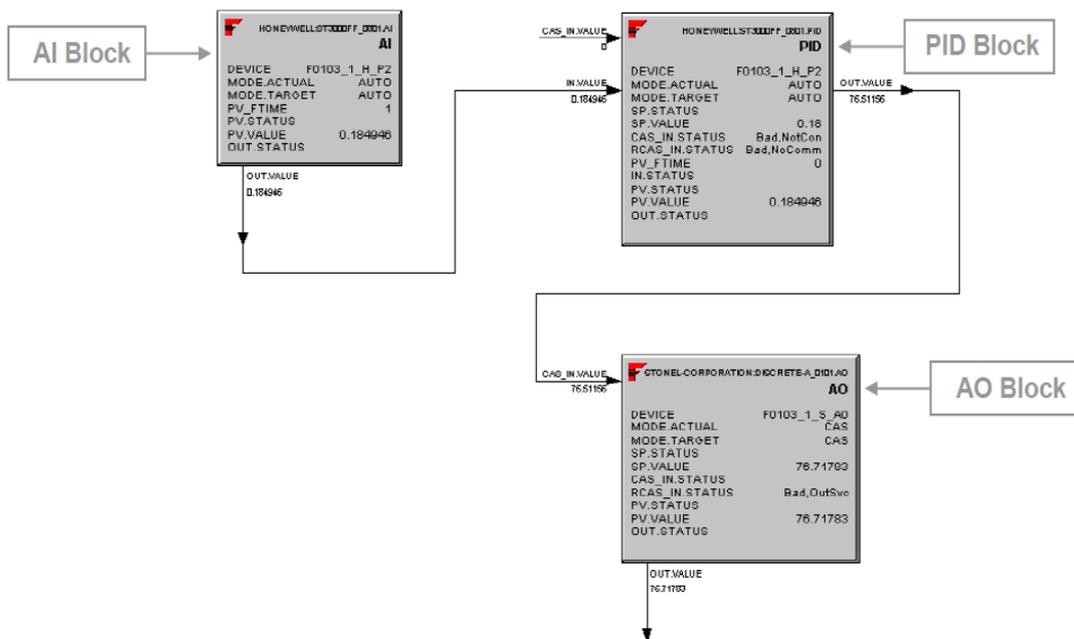
La estrategia del sistema de control, se crea utilizando bloques de funciones. Los parámetros de entrada y salida de los bloques de funciones, se pueden vincular a través del bus de campo.

La ejecución de cada Bloque de funciones, está programada con precisión y puede haber muchos bloques de funciones en una sola aplicación de usuario.

Está formado por 20 Bloques de Función (FB) que incluyen:

- 9 FBs de entrada analógica.
- 2 FBs integradores.
- 4 FBs de salida discreta.
- 1 FB PID.
- 1 FB aritmético.
- 1FB de entrada analógica múltiple FB.
- 1 FB caracterizador de señal.
- 1 FB selector de entrada.

Figura 2. 15: Bloques de Funciones



Fuente: Fieldbus Foundation

En la siguiente tabla se muestra algunos bloques de programación.

Tabla 2. 3: Bloques de Programación

Bloques Básicos Continuos		
Analog Input	AI	Lee entrada analógica
Analog Output	AO	Envía salida analógica
Bias Gain	B	Escalamiento
Control selector	CS	Selector de control (Override Control
Manual Loader	ML	Control manual
PID Control	PID	Control PID
PD Control	PD	Control PD solamente
Ratio Control	RC	Control de relación
Bloques Básicos Discretos		
Discrete Input	DI	Lee entrada discreta
Discrete Output	DO	Lee salida discreta
Bloques Avanzados Continuos		
Complex AO		Proporciona interlocks
Splitter		1 entrada y 3 salidas + lógica – para rango dividido
Selector		4 entradas 1 salida (min., max., med, prom.)
Setpoint Generator		Generador de SP para aplicaciones batch.
Characterizer		Tiene interpolación y seguimiento
Integrator		Integrador de caudal o pulso + reset
Calc_A		1131-C inst. -50 pasos - analógicos
Lead/Lag		Compensación dinámica
Dead Time		Retardo para control pre alimentado analógico
Analog Alarm		Proporciona respuesta de alarma
Bloques Discretos Avanzados		
Digital HMI		Entrada de operador – referencia por tag.
Pulse Input		Pulsos para integrador
Timer		Cuenta ascendente/descendente, debounce
Digital Alarm		Proporciona respuesta de alarma
Step Control		Control de SP usando actuadores discretos
Calc_D		1131-C inst. -50 pasos – discretos
Complex DO		Proporciona Interlocks
Device		Dispositivos simples de 2 o 3 estados (bombas)
Dead Time		Retardo para control realimentado analógico
Analog Alarm		Proporciona respuesta de alarma

Fuente: Fieldbus Foundation

2.2.13. Estándares definidos por Fieldbus Foundation

En el protocolo de comunicación existen dos estándares, los cuales se diferencian por la velocidad, en la transición de datos y otras características que veremos a continuación.

Tabla 2. 4: Comparación entre estándares Fieldbus Foundation

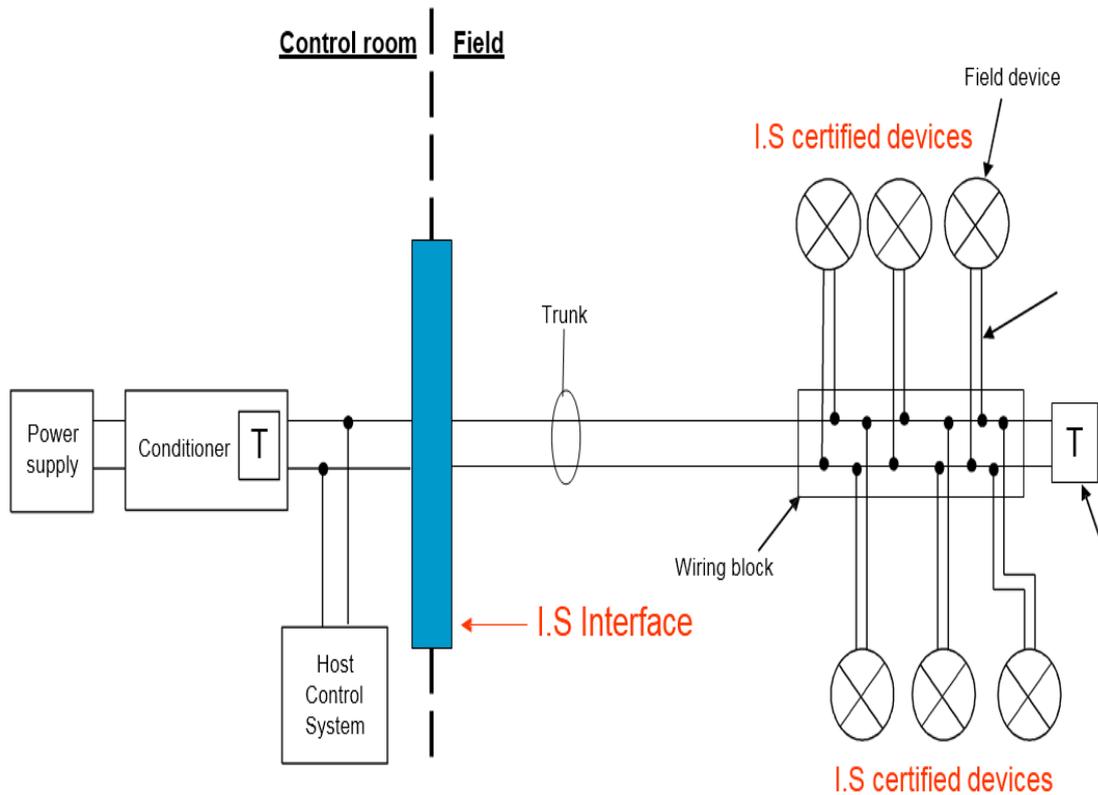
H1	HSE
<ul style="list-style-type: none"> - Funciona a 31,25 Kbps. - Permite conectar transmisores, válvulas, dispositivos de campo. - Proporciona comunicación y alimentación sobre cableado estándar. - Es la implementación más común. 	<ul style="list-style-type: none"> - Funciona a 100Mbps. - Permite conectar PLCs. Y varios sub sistemas H1. - Actualmente no proporciona alimentación sobre el cable. - A diferencia de H1, tiene una capa de transporte y una capa de red.

Elaboración propia

2.2.13.1. Estándar Fieldbus Foundation H1

Foundation Fieldbus H1, es un enlace de comunicación digital, bidireccional y multicarida, entre dispositivos inteligentes de medición y control, y sistemas de automatización y visualización. La interfaz de Fieldbus Foundation, se denomina tarjeta H1. Esta es la implementación más común, por el cual este estudio será abocado a este estándar.

- La longitud máxima en Fieldbus Foundation H1, de toda una línea troncal es de 1,900 m. Por sección, en caso de requerir más distancia se pueden usar repetidores.
- La cantidad máxima de repetidores a usarse en una red es de cuatro, cada uno aumenta una longitud de 1,900 m. más de cable, haciendo una distancia de 9,500 m.
- Usa un solo cable, tanto para la alimentación como para la señal.
- Soporte de seguridad intrínseca. Para dispositivos alimentados por bus al colocar barreras, entre la fuente de alimentación en áreas seguras y el dispositivo en áreas peligrosas.

Figura 2. 16: Seguridad Intrínseca

Fuente: Fieldbus Foundation

- Bloques de funciones integradas en los instrumentos de campo.

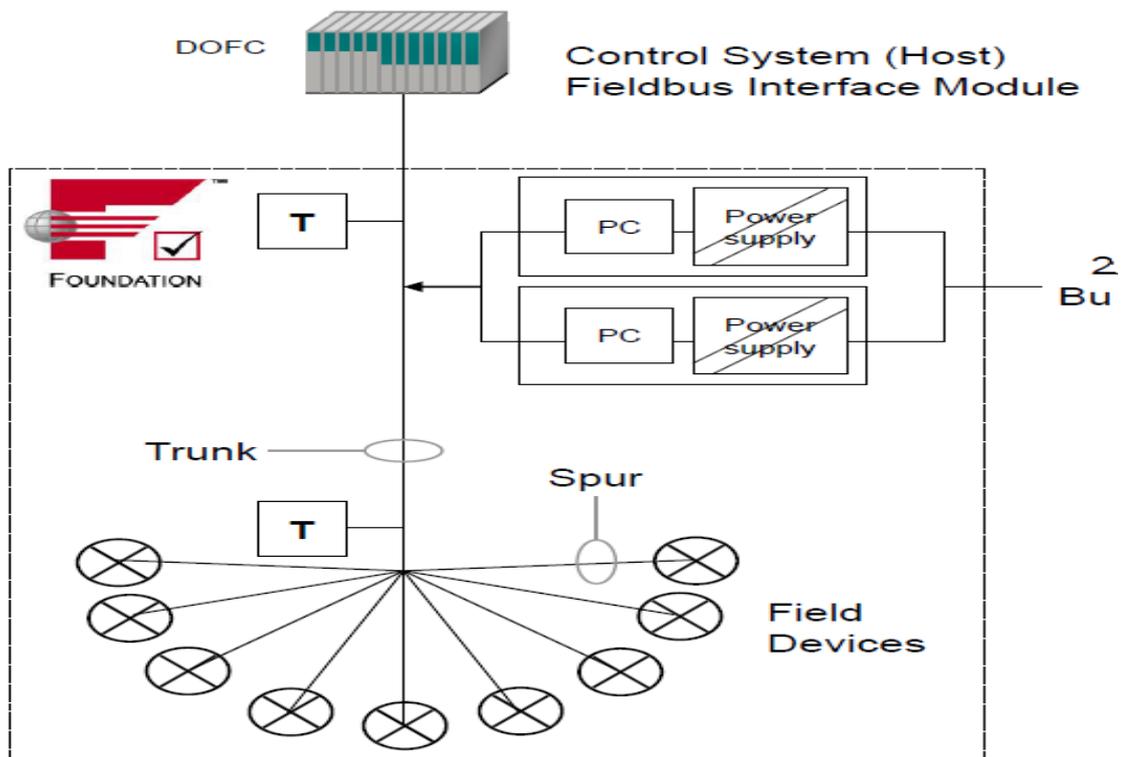
2.2.13.2. Instalación típica Fieldbus Foundation H1

Un ejemplo de instalación es la topología árbol.

El acondicionamiento de potencia redundante y aislado está definido, típicamente 10-12 dispositivos de bus de campo, alimentados por bus por segmento.

Existen 120 m de distancia, entre la caja de conexiones (FF JB) a un dispositivo Fieldbus Foundation.

Estimula la protección contra cortocircuitos, hasta 1900 metros y máximo de 9500 metros a través de repetidores.

Figura 2. 17: Installation typical Fieldbus Foundation H1

Fuente: Fieldbus Foundation

2.2.13.3. H1 y el modelo OSI

H1 especifica las Capas 1,2 y 7 del Modelo OSI. El Stacks H1, cubre la funcionalidad de la Capa 2-7, mientras que la Capa física cubre la Capa 1. La funcionalidad capa de usuario Foundation Fieldbus, no está definida por el Modelo OSI, sino que reside como una capa adicional.

d. Capa física

Tiene que ver con la traducción del mensaje, en señales físicas sobre el hilo y viceversa. La capa física Fieldbus Foundation H1, es un estándar IEC e ISA aprobado (IEC 1158-2, parte 2 e ISA-S50.02, parte 2). Las normas incluyen disposiciones para el cable de par trenzado, proporcionando un medio de comunicación de 31,25 kbit / s. El bus puede ser alimentado o no, y puede usarse en aplicaciones intrínsecamente seguras.

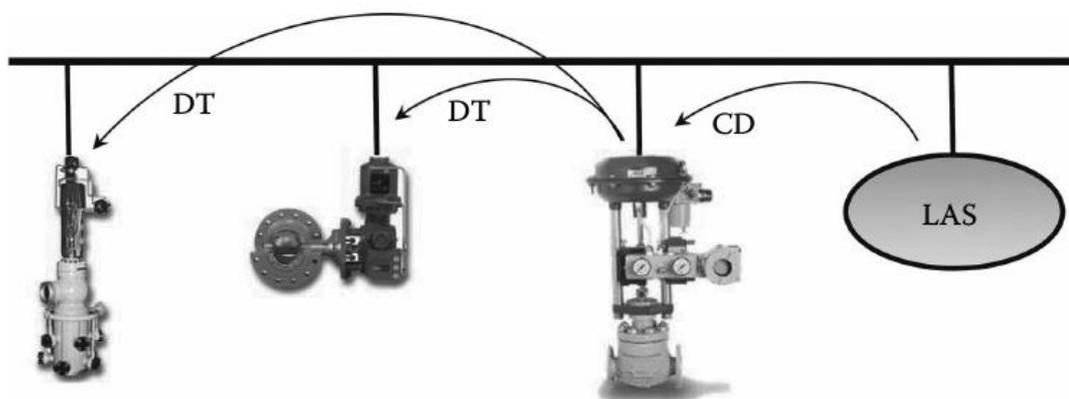
El par trenzado se puede ejecutar hasta 1900 metros sin un repetidor, o con hasta 4 repetidores por segmento, para extender el rango de cableado. Una opción para el cable de par trenzado, es el uso del cable de fibra óptica que también funciona a 31,25 kbit / s.

e. **Capa de enlace de datos y aplicación (DLL)**

Combina varias tecnologías, que controlan la transmisión de datos. Proporciona una manera de empaquetar datos. Estas capas pertenecen al control del proceso, mientras proporcionan estandarización e interoperabilidad.

Transmisión programada. - Las transmisiones programadas, se usan para la transferencia cíclica regular de datos de lazo de control entre dispositivos. El Programador Activo de enlace (LAS), controla todos los búferes de datos en todos los dispositivos para ser transmitidos cíclicamente, LAS envía un mensaje de datos obligatorios (CD), al dispositivo que debe transmitir datos, al recibir los datos (CD), publica el elemento de datos (DT), en su búfer a todos los dispositivos en el bus de campo. Cualquier dispositivo programado para recibir el DT, se llama suscriptor.

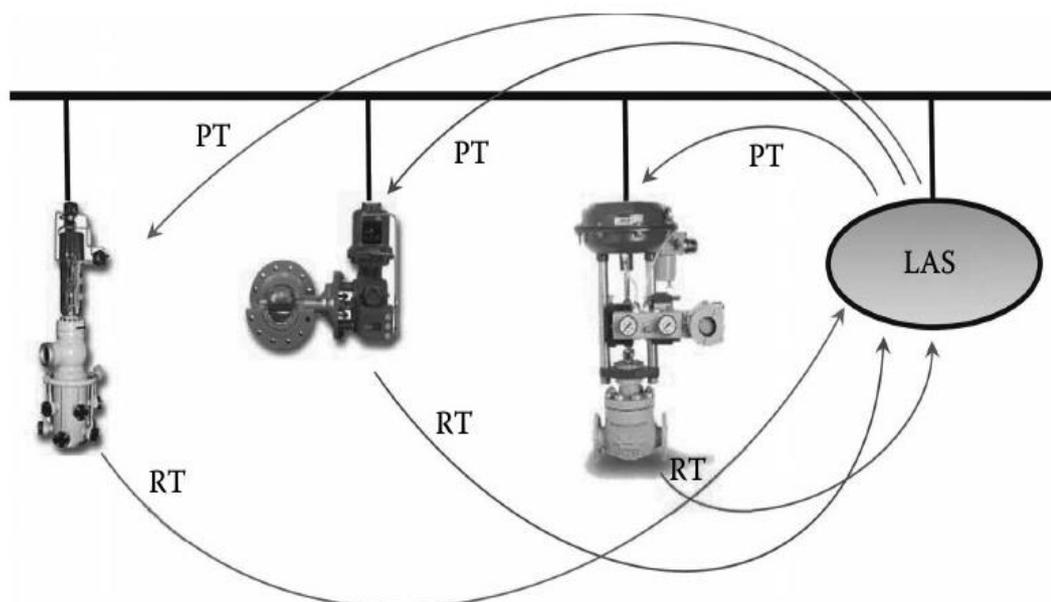
Figura 2. 18: Transmisión Programada



Fuente: Wireless networking and cyber physical systems, Salvatore Cavalieri; Chuan Li.

Transmisión no programada. - En el ancho de banda no utilizado, LAS envía un Token de pase (PT) a su “Lista en vivo”, Token tiene un intervalo de utilización máximo. Después de que el intervalo máximo de utilización expire, el Token se devuelve a LAS, utilizando un marco de Token de retorno (RT). Un tiempo de rotación de Token objetivo (TTRT), define el tiempo de intervalo para cada rotación.

Figura 2. 19: Transmisión no Programada



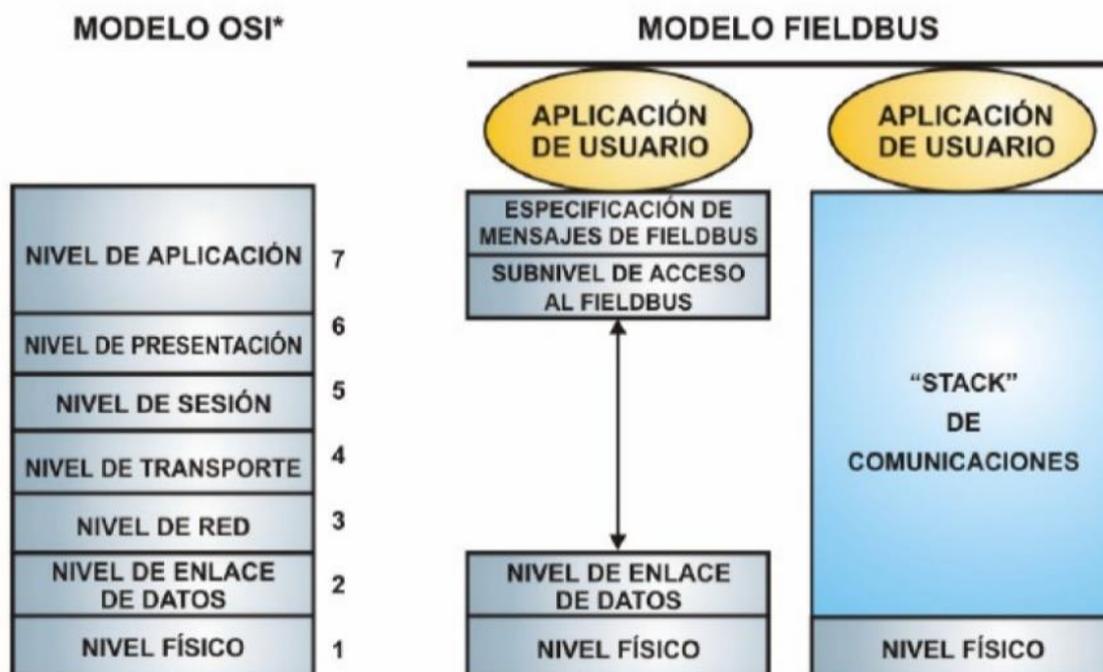
Fuente: Wireless networking and cyber physical systems, Salvatore Cavalieri; Chuan Li.

f. Capa de usuario

La capa de usuario, contiene los bloques de usuario, bloques de función y bloques transductores, los cuales ya se mencionaron anteriormente.

En la siguiente figura, se muestra una comparación entre el modelo OSI y la Fieldbus Foundation H1.

Figura 2. 20: Fieldbus Foundation y el modelo OSI



Fuente: Fundamentos de la red Industrial Fieldbus H1. Edwin Estofanero, Octubre – 2016

Para la interacción con el usuario, la tecnología Fieldbus Foundation, aplica una estructura de bloques, que constan de bloque de recursos, bloque de transductor y bloque de funciones.

2.2.13.4. Las (Last Active Scheduler/ Programador Activo de Enlace)

Las comunicaciones H1, programadas, son administradas por el Programador activo de enlace (LAS), que puede residir en un dispositivo de campo, sistema Host o ambas ubicaciones. El LAS, mantiene la sincronización de tiempo, maneja la lista en vivo de dispositivos de comunicación y administra el paso de Tokens.

El LAS, se encarga de repetir los mensajes a los dispositivos, si estos no envían respuesta. Por ejemplo, si un transmisor sufre una transigente eléctrica, que evita que

reciba el mensaje, el LAS volverá a enviar el mensaje, hasta que el dispositivo publique su estado.

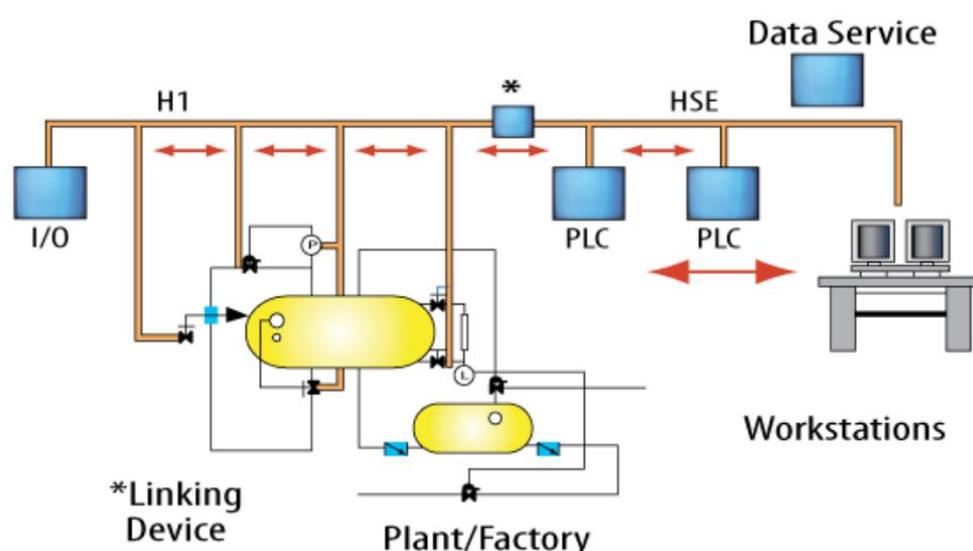
La función LAS, se encuentra en un dispositivo del sistema Host, como en una tarjeta interfaz H1. En Foundation Fieldbus, existen más de una función LAS, por si llega a fallar en LAS, del segmento, entonces asume el control la función LAS, de respaldo.

2.2.14. HSE (High Speed Ethernet)

La comunicación Ethernet de alta velocidad (HSE), que funciona a 100 Mbit / s, mejora las aplicaciones. H1 proporcionando una red troncal de alta velocidad, mayor ancho de banda redundancia y capacidades de puente para múltiples protocolos.

HSE proporciona los mismos beneficios que H1, pero en el nivel de integración del subsistema, en lugar del nivel de dispositivo de campo. Admite la interoperabilidad entre controladores dispares y puertas de enlace de la misma manera que H1, admite la interoperabilidad entre transmisores y actuadores de diferentes proveedores.

Figura 2. 21: Standard HSE Fieldbus Foundation

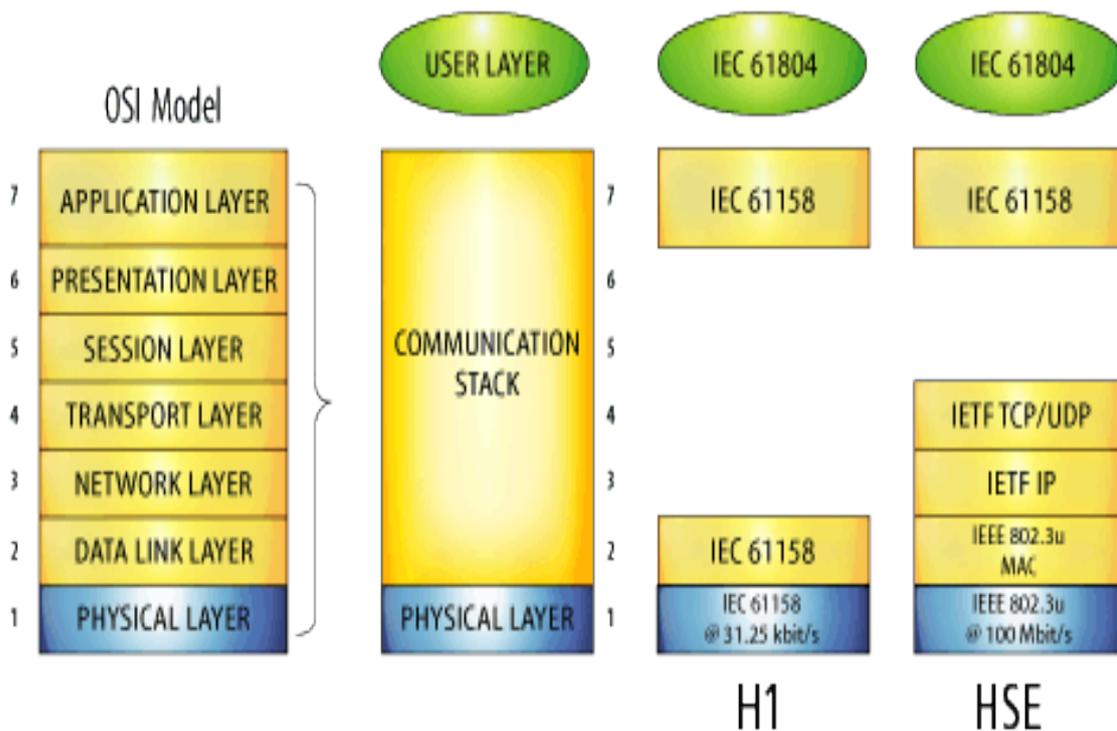


Fuente: Fieldbus Foundation

2.2.14.1. HSE y el modelo OSI

La capa física y de enlace empleadas por HSE, son las correspondientes a Ethernet. Las capas de red y transporte, son manejadas por UDP, TCP e IP. Las capas de sesión y transporte no se utilizan, y en la capa de aplicación aparecen un gran número de protocolos, así como ciertas especificaciones propias de HSE: “Puede observarse que efectivamente basaron el trabajo, en los estándares previos internacionales, ya que gran parte del sistema está descrito por protocolos bien conocidos” (Fernandez de Dios, 2004).

Figura 2. 22: Estándar HSE y el modelo OSI



Fuente: Fieldbus Foundation- Map, Directions, and Company Information - Privacy Policy -

©2006 Fieldbus Foundation | All Rights Reserved. Design by Terramorph Productions &

Enhance Design | Powered by Joomla

2.2.14.2. Tipos de dispositivos HSE

Dentro de una red HSE, se encuentran cuatro tipos de dispositivos, los cuales son:

- **Linking Devace (LD).** - También llamados Bridge, es un dispositivo que puede estar energizado o no y realiza la función de puente entre redes, los niveles H1 y HSE.
- **Gateway Devace (GD).** - El Gateway es un equipo diseñado para conectar un segmento Fieldbus, con otros segmentos que utilizan otros protocolos de comunicación como Modbus, Profibus.
- **Ethernet Device.** - Equivale a un dispositivo de campo H1, pero posee conexión directa a red HSE.
- **Host Device (HD).** - No es dispositivo HSE, pero puede comunicar a dispositivos HSE, tales como una estación de trabajo o mantenimiento. Un dispositivo Host, puede ser un sistema digital de control distribuido, sistema SCADA o Delta V.

2.3.Instalaciones Fieldbus Foundation en una Planta Industrial

En las plantas industriales mineras del Perú, como Antamina, Las Bambas y Antapaccay, ya tienen instaladas la tecnología Fieldbus Foundation, por esta razón es necesario conocer, de qué manera están instaladas en campo, como realizar un diagnóstico en campo, que equipos son necesarios para este diagnóstico y como poner en marcha esta tecnología.

Es necesario seguir las recomendaciones y las indicaciones que vienen en los manuales de instalación de los diferentes dispositivos Fieldbus Foundation, también es

necesario seguir las normas dentro de cada empresa, que tienen al momento de realizar las instalaciones, protocolos como calidad que son establecidos en cada empresa.

2.3.1. Máxima longitud de segmento y elementos por segmento

La máxima longitud de segmento depende de tres factores:

- Tipo de cable/característica/grosor.
- Topología.
- Número y tipo de dispositivos.

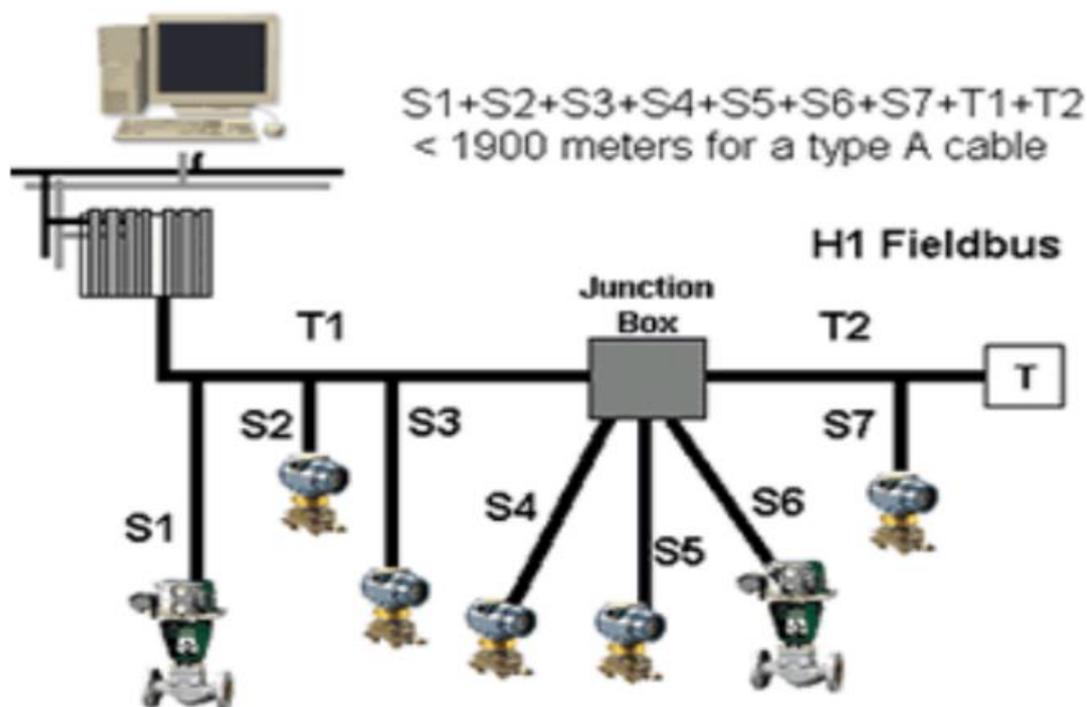
La tabla N° 6, da el número recomendado de dispositivos por longitud de ramal. La máxima longitud de ramal. La máxima longitud de ramal es la misma para los tipos A, B, C y D de cables. Cuando un ramal con acoplador pasivo de troncal tiene dos o más elementos comunicacionales, la longitud se debe reducir en 30 m por elemento comunicacional.

Tabla 2. 5: Limites de largo de segmento

Tipo	Descripción	Tamaño	Longitud máxima
A	Par trenzado, blindado individual	#18 AWG (0,8mm ²)	1900 m (6232 ft)
B	Par trenzado múltiple con escudo general	#22 AWG (0,32mm ²)	1200 m (3936 ft)
C	Par trenzado múltiple sin escudo	#126 AWG (0,13mm ²)	400 m (1312 ft)
D	Par de cables sin blindaje y sin trenzar	#16 AWG (1,25mm ²)	200 m (656 ft)

Fuente: www.fieldbus.org

Figura 2. 23: Ejemplo de suma de todos los cables



Fuente: www.fieldbus.org

En la figura 2. 23, se muestra un ejemplo del límite de longitud de cable donde se debe incluir, la suma de todos los cables y no debe superar los límites de la tabla anterior.

Tabla 2. 6: Longitud máxima recomendada por ramal.

Dispositivos totales	1 Dispositivos por Ramal	2 Dispositivos por Ramal	3 Dispositivos por Ramal	4 Dispositivos por Ramal
25 – 32	1 m	1 m	1 m	1 m
19 – 24	30 m	1 m	1 m	1 m
15 – 18	60 m	30 m	1 m	1 m
13 – 14	90 m	60 m	30 m	1 m
1 - 12	120 m	90 m	60 m	30 m

Fuente: ANSI/ISA – S50.02 – 1992

La tabla no es absoluta, simplemente trata de establecer una densidad por ramal de dispositivos. Por ejemplo, si tuviéramos 25 dispositivos, los ramales entre ellos no serían de 1 m, pero tampoco de 30 m, usaríamos un número intermedio, una extrapolación

de la tabla, otro ejemplo sería que se tenga varios dispositivos a corta distancia y un dispositivo a una distancia larga, el lejano se consideraría como parte del troncal.

Se recomienda poner un dispositivo por ramal, de manera que, si se daña un dispositivo o cortocircuito, un segmento se perdería la comunicación con todos los dispositivos que se encuentran en el ramal.

2.3.2. Conceptos básicos de diagnósticos en campo de las instalaciones Fieldbus Foundation

En esta sección, se abordarán conceptos básicos de diagnóstico y resolución de problemas en una red Fieldbus Foundation.

2.3.2.1. Detección de reflejos

Los reflejos son causados por conexiones defectuosas o cortocircuitos. Como sabemos una red Fieldbus Foundation H1, funciona a una velocidad de 31.25 kb/s que equivale a 32 μ s de un ciclo de reloj. Por lo tanto, si existen reflejos en el cable, se debe esperar un retardo de 19 μ s, esto depende de la distancia donde se encuentra la anomalía.

- Es importante que las conexiones estén de manera correcta, y que los terminadores en una sección troncal sean los mismos, para así evitar reflejos en la red.

2.3.2.2. Cableado

Es recomendable usar cable tipo A o B, estos tienen blindaje y garantizan protección contra las interferencias electromagnéticas.

En cada extremo del cable se debe instalar un terminador. Si existen varias cajas de conexión, los terminadores de un bus se activan por medio de un interruptor.

Si en la red se cuenta con repetidores, estos también tienen que llevar repetidores en ambos extremos. Se debe conectar el blindaje del cable con la tierra más próxima.

Tabla 2. 7: Tipos de cable recomendados

	Tipo A	Tipo B
Estructura del cable	Par trenzado blindaje individual	Pares trenzados múltiples
Tamaño del cable	0,8 mm ² (AWG 18)	0,32 mm ² (AWG 22)
Resistencia de bucle (DC)	44 Ω/Km	112 Ω/Km
Impedancia a 31,25 KHz	100 Ω ± 20 %	100 Ω ± 30 %
Atenuación a 39 KHz	3 dB/Km	5 Db/Km
Asimetría capacitiva	2 nF/Km	2 nF/Km
Distorsión de retardo de envoltante (7,9 a 39 KHz)	1,7 μs/Km	*
Cobertura del blindaje	90%	*
Longitud de cable máximo (inc. Derivaciones > 1m)	1900 m (6233 ft.)	1200 m (3937 ft.)

Fuente: Fieldbus Foundation

Una consideración importante en la instalación de los cables en bandejas metálicas, estas pueden ser acomodadas una al lado de la otra: “En el caso que solo haya una sola bandeja metálica, se deben respetar las distancias recomendadas, en caso de no ser posible tomar las distancias de separación, deben utilizarse separadores metálicos entre las diferentes categorías de cable existentes en la bandeja; toda la estructura debe estar aterrizada” (Castillo, 2014).

2.3.2.3. Anomalías

Estas son causadas al momento de instalar, en la red un dispositivo de menor impedancia, la impedancia de cualquier caja de conexiones será menor. Cuando en el bus se tiene una menor impedancia, esto significa menor amplitud en las señales del bus, manifestándose como una discontinuidad en la línea de transmisión, creando así reflejos

de los impulsos originales, los cuales causan una distorsión, en la forma de onda del impulso provocando una detección incorrecta de la señal.

2.3.2.4.Verificación de la instalación

Se debe verificar que el procedimiento, al momento de la instalación sean las que se indican en la “Guía de aplicación del cableado e instalación”, proporcionada por Fieldbus Foundation.

Se debe cumplir con los requisitos, para realizar el cableado a los dispositivos de campo, y verificar que los conectores estén debidamente apretados.

2.3.2.5.Estado de parámetro

Las características que ayudan a que la información de Fieldbus Foundation, sea fiable es el reloj de aplicación y un estado asociado a cada parámetro.

Los dispositivos Fieldbus Foundtion, pueden etiquetar los datos para revisar si hay problemas, de esta manera se puede saber, si la calidad de los datos es buena, mala o incierta.

Por ejemplo, una etiqueta mala en un transmisor podría indicar una falla, en el sensor o en el transmisor, una etiqueta incierta podría significar, la lectura de un transmisor de presión que sea 110%, y el límite superior del dispositivo puede ser exacto o puede ser inexacto por que el dispositivo quedo saturado, a alto y la presión real es aún más alta.

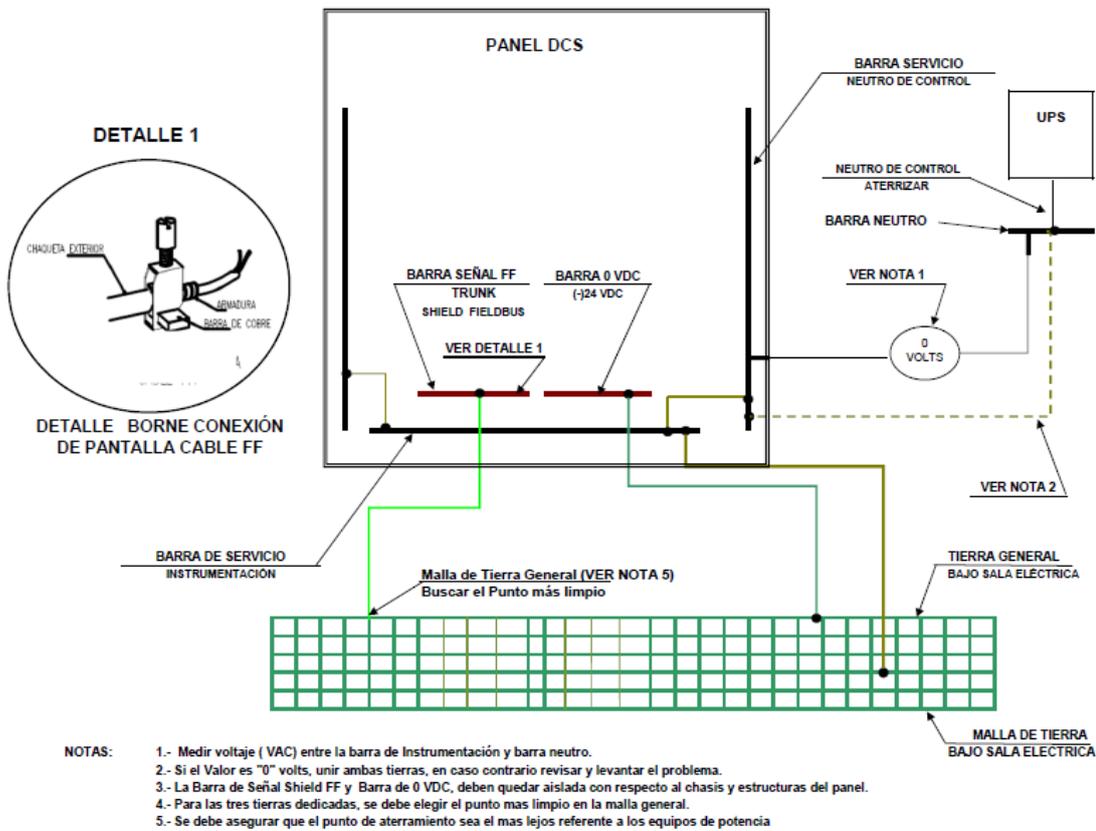
2.3.3. Conexión a tierra shield y blindaje de los instrumentos Fieldbus Foundation

Se debe tomar en cuenta la compatibilidad electromagnética, y la protección de las personas al momento de realizar la conexión puesta a tierra y el blindaje del bus de campo.

Según la IEC 61158-2, la conexión a tierra significa estar permanentemente conectado a tierra a través de impedancia suficientemente baja y con suficiente capacidad de conducción para evitar que cualquier voltaje cause daños a equipos o personas. El propósito de poner a tierra el escudo es evitar ruidos de alta frecuencia. Preferiblemente el blindaje debe estar conectado a tierra en dos puntos al principio y al final del bus de campo como siempre que no haya diferencia potencial entre estos puntos, permitiendo la existencia de corriente de bucle y acceder a ella. En la práctica cuando existe esta diferencia, el escudo debe estar conectado a tierra en un solo punto, en otras palabras, en la fuente de alimentación o en la barrera de seguridad intrínseca. El blindaje debe mantenerse en más del 90 % de la longitud total del cable. El blindaje debe cubrir los circuitos eléctricos completamente a través de los conectores, acopladores, empalmes, distribución y caja de conexiones. El escudo nunca debe utilizarse como controlador de señal, la continuidad del escudo debe ser verificada hasta el último dispositivo del bus de campo en el segmento, la conexión y el acabado también deben ser inspeccionados, porque el escudo no debe estar conectado a tierra a la carcasa del equipo.

Otra forma complementaria, sería poner a tierra las cajas de conexiones y las carcasas de los equipos, en una línea de tierra equipotencial, en el lado no de seguridad. Para más detalles, siempre consulte las normas de seguridad locales.

Figura 2. 24: Ejemplo de conexión a Tierra Shield del Fieldbus Foundation y Blindaje de los instrumentos



Fuente: (Castillo, 2014)

2.3.4. Longitud total del cable y reglas de distribución e instalación

La longitud total del cable H1, debe considerarse desde la salida del punto de PSI (Fuente de alimentación) hasta el punto más distante del segmento. Teniendo en cuenta las derivaciones. Se debe recordar que los espolones menores a 1 m. No entran en este total. La longitud total del cableado es la suma del tamaño del troncal, del bus principal más todos los espolones (mayores a 1 m.), considerar que los espolones no deben superar los 30 m. Se debe evitar los empalmes en cualquier parte de la red: “En redes con longitud total superior a 400 m, la suma de las longitudes de todos los empalmes no debe superar el 2% de la longitud total y también, en longitudes menores a 400 m, no debe exceder los 8 m” (SMAR, 2010).

Hay algunas reglas a seguir en términos de cableado y separación de otros cables, ya sea para señales o potencia. Utilice preferiblemente bandejas o conductos metálicos, observando las distancias de acuerdo con la siguiente tabla. Nunca pase el cable Fieldbus Foundation H1, al lado de líneas de alto voltaje porque la inducción es una fuente de ruido y puede afectar a la señal de comunicación. Además, la señal de bus de campo debe estar aislada de Fuentes de ruido, como cables de potencia, motores y frecuencia. Se recomienda poner por separado. Canales y conductos. Lo ideal es utilizar conductos de aluminio, con electromagnéticos internos y externos. Recuerda que el cruce de cables debe ser a un ángulo de 90°.

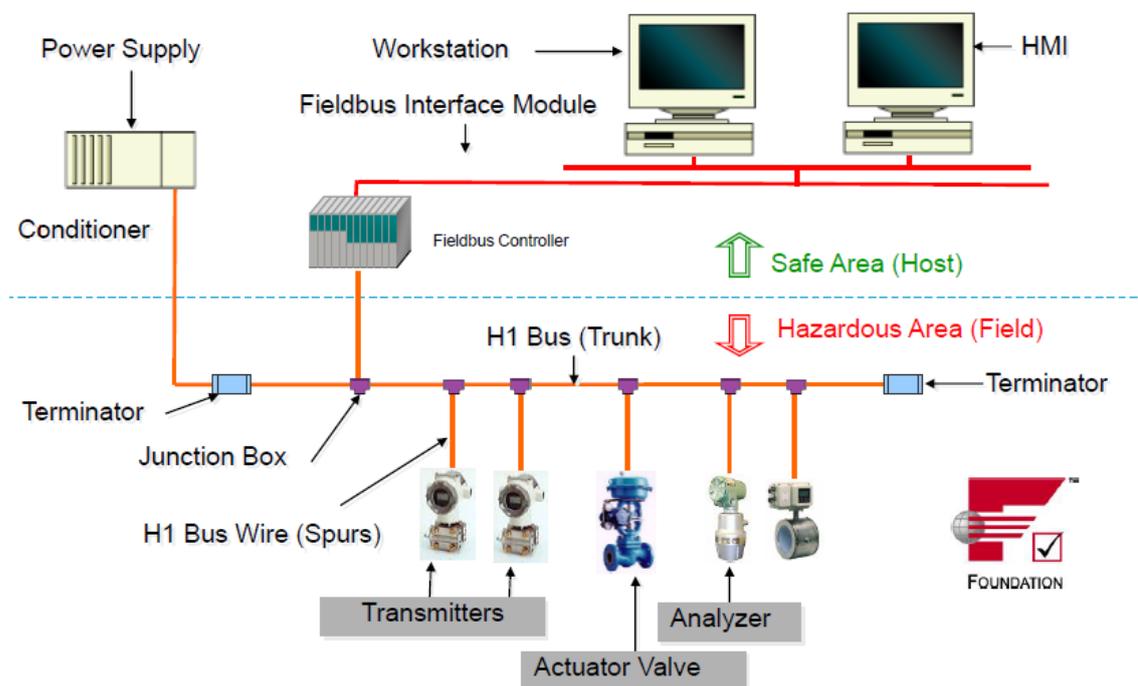
Tabla 2. 8: Distancia mínimas entre cables

	Cables de comunicación Fieldbus	Cables con y sin Shield: 60 Vcc. o 25 Vac. Y < 400 Vac.	Cables con sin Shield: > 400 Vac.	Cables expuestos a rayos
Cables de comunicación Fieldbus		10 cm.	20 cm.	50 cm.
Cables con o sin Shield: 60 Vdc. O 25 Vac. Y < 400 Vac.	10 cm.		10 cm.	50 cm.
Cables con sin Shield: > 400 Vac.	20 cm.	10 cm.		50 cm.
Cualquier cable sujeto a exposición de rayos	50 cm.	50 cm	50 cm.	

Fuente: (SMAR, 2010)

2.3.5. Equipos y componentes de una red Fieldbus Foundation instalados en planta

Realizaremos una breve descripción de los dispositivos, que componen una red Fieldbus Foundation, instalados en planta.

Figura 2. 25: Componentes básicos de una red de control Fieldbus Foundation

Fuente: Fieldbus Foundation

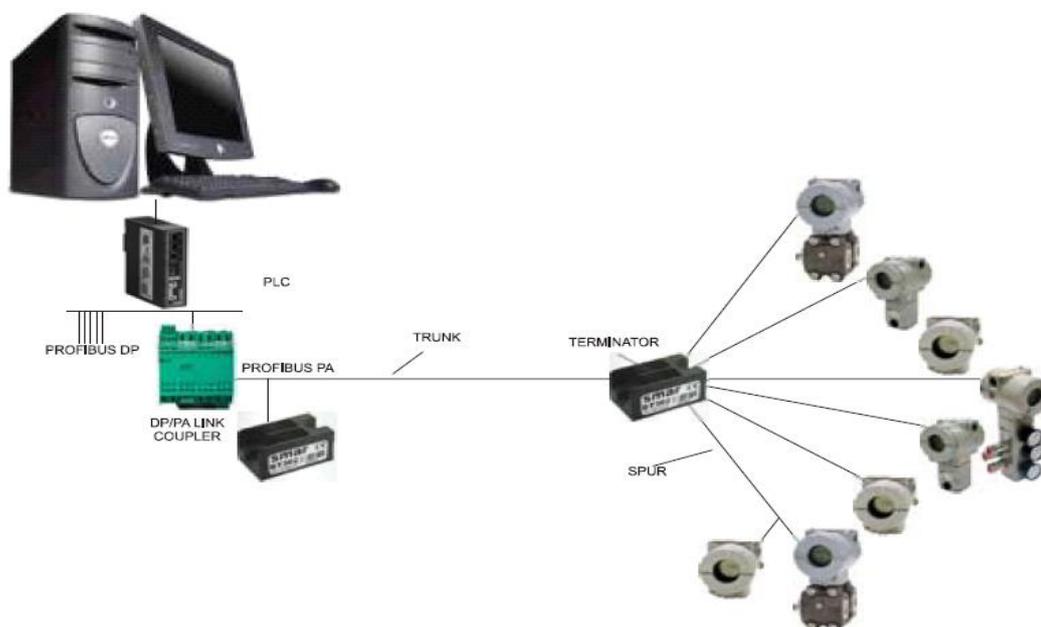
2.3.5.1. Terminadores de red H1

Se deben conectar dos terminadores de bus a la red H1, uno de ellos en la salida PSI y el otro en el último dispositivo (Generalmente el más alejado del PSI), dependiendo de la topología adoptada: “Si en la distribución de cableado hay una caja de conexiones en el extremo del tronco principal con varios espolones, el terminador de campo debe colocarse en este punto, para facilitar el mantenimiento al retirar los dispositivos” (SMAR, 2010).

La falta de un terminador o su conexión en el punto incorrecto también degradan la señal, su carencia puede aumentar la señal en más del 70% y un terminador adicional puede aumentar la inscripción hasta un 30%. La atenuación y la intermitencia pueden generar fallas de comunicación.

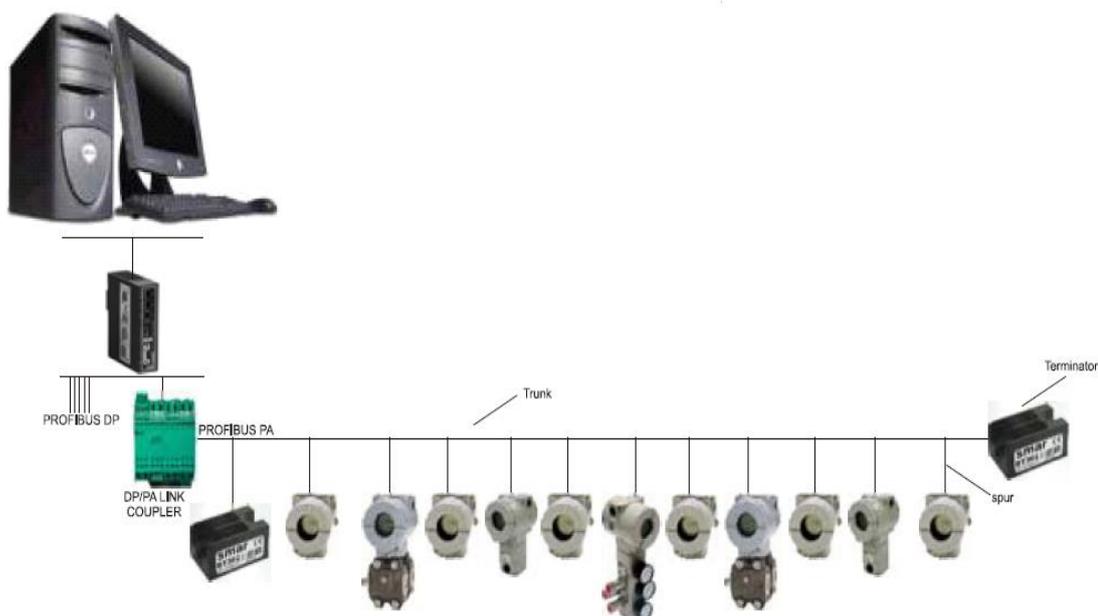
El terminador de red H1, está formado por una resistencia de $100 \pm 2\%$ y un condensador de $1 \mu\text{F} \pm 20\%$ en serie.

Figura 2. 26: Ubicación del terminador en topología árbol



Fuente: (SMAR, 2010)

Figura 2. 27 Ubicación del terminador en topología bus



Fuente: (SMAR, 2010)

2.3.5.2. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación generalmente tiene una salida de 24 Vcc. Con una capacidad de unos pocos amperios. Debe tener una protección contra sobretensiones, transitorios y cortocircuitos. La fuente de alimentación esta acondicionada para proveer de energía al bus de campo y separar los datos mediante filtrado, esta usualmente está separada de la tarjeta de interfaz H1.

En términos de la señal de alimentación, se debe considerar como valores aceptables en la práctica de 12 a 32 Vcc en la salida PSI (Impedancia activa), en términos de señal de comunicación considerar como valores aceptables de 750 a 1000 mVpp.

Figura 2. 29: Fuente de alimentación



Elaboración propia

2.3.5.3. Impedancia activa

La impedancia activa, evita que la baja impedancia de la fuente de alimentación disminuya la comunicación Fieldbus, permitiendo que la alimentación sea suministrada en el mismo par de cables. Funciona como baja impedancia para CC y alta impedancia para la señal de comunicación de CA. La impedancia activa es fundamental para el correcto funcionamiento de la red. La impedancia de Fieldbus Foundation, se encuentra en un dispositivo de control de impedancia activo no aislado, cumpliendo con la norma IEC61158-2. Este dispositivo tiene una impedancia de salida que funciona en paralelo a los dos terminadores de bus (Una resistencia de 100 en serie con un condensador de 1 μ F) y resulta en una impedancia de línea puramente resistiva para un amplio rango de frecuencia.

2.3.5.4. Repetidores H1

El repetidor aumenta el rango del segmento H1, de 1900 m. Amplificando su señal. Como el repetidor aísla la señal de comunicación es posible conectar dispositivos que drenan, más corriente del bus o incluso para crear nuevos segmentos a partir del mismo.

2.3.5.5. Barrera de seguridad intrínseca

La barrera de seguridad intrínseca, tiene la función principal de limitar la energía disponible en el bus que circula por las áreas clasificadas. Un área clasificada es aquella cuya atmosfera es potencialmente explosiva. La barrera suele aislar y repite la señal Fieldbus Foundation, permitiendo que varios segmentos del lado peligroso se conecten.

2.3.5.6.Caja de conexiones

La caja de conexiones permite la conexión y desconexión de dispositivos, sin interrumpir la continuidad del bus, incrementando la disponibilidad de la planta y simplificando el mantenimiento. Reduce el tiempo de puesta en marcha, el tiempo de parada y gastos de cableado.

2.3.6. Herramientas de monitoreo y diagnostico

Existen diversas herramientas para el monitoreo de segmentos y dispositivos de comunicación Fieldbus, alguna de estas nos permiten visualizar las formas de onda y otros parametros electricos, mientras que otras permiten realizar diagnosticos mas avanzados.

2.3.6.1.Monitor de redes Fieldbus FBT – 3

Cuando se conecta por primera vez a un bus de campo, se muestra un número de versión durante 1 segundo.

El monitor se debe conectar en paralelo con los terminales energizados de la FDU o Instrumento y verificando la correcta polarización, luego de esto con el botón MODE se selecciona el parámetro a monitorear. Las mediciones que nos entrega este monitor son eléctricas y algunas otras relacionadas al estado de los dispositivos de la red. El botón de modo se utiliza para seleccionar entre varios parámetros de red que pueden examinarse con el monitor. Al momento de seleccionar una función, la pantalla LCD lee hasta que el monitor ha recopilado y procesado los datos, después de eso, se muestra el valor medido, la indicación “ok” se muestra si el valor medido se encuentra dentro del rango aceptable

(Según lo definido por la especificación del bus de campo) el símbolo de rotación en la esquina inferior derecha de la pantalla indica que hay actividad en la red.

Tabla 2. 9: Mediciones entregadas por FBT – 3

Modo	Medicion a realizar
Power	Muestra el Vcc de la red, si es mayor que 9 Vcc indica ok
LAS	En caso de que haya actividad en la red, el LAS debería estar enviando tramas de prueba, el monitor muestra el Vpp de la señal de prueba.
Devise	Cuenta los dispositivos Fieldbus activos en la red incluyendo el monitor y el LAS
LOW	Muestra el nivel de la señal del dispositivo con la señal ms débil, la dirección del equipo en hexadecimal se muestra junto con la palabra LOW. Las mediciones por sobre 150 mV están normal.
Noise AV	El ruido se mide en el silencio entre tramas, se toman diez muestras y se calcula el promedio, los promedios menores a 75 mV son normales.
Noise PK	Muestra el ruido peak grabado desde el inicio de la función. Mediciones por debajo de 75 mV se consideran normales.
New	Si un nuevo dispositivo se agrega, este deberá responder a la tramade prueba enviada por el LAS. El monitor mide el nivel de las señalesde respuesta del dispositivo. Las mediciones mayores a 150 mV. se consideran normales y además se muestra en el display la dirección del dispositivo en hexadecimal.

Fuente: Product Specification Foundation Fieldbus FBT – 3

Figura 2. 30: Monitor de redes FBT- 3

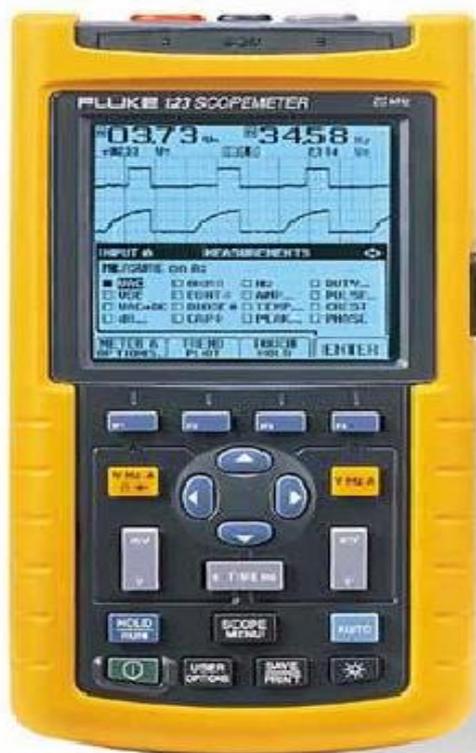


Fuente: Product Specification Foundation Fieldbus FBT - 3

2.3.6.2. Osciloscopio Fluke 123

El osciloscopio, es el mejor instrumento para la visualización gráfica de formas de ondas de señales eléctricas, en este caso el modelo Fluke 123 registra mediciones hasta una frecuencia de 20 MHz. Y además permite almacenar datos o eventos registrados. Otra ventaja de este modelo de osciloscopio, es el reducido tamaño y facilidad para ser transportado. Al igual que el monitor FBT – 3, el osciloscopio se conecta en paralelo a la FDU.

Figura 2. 31: Osciloscopio Fluke 123



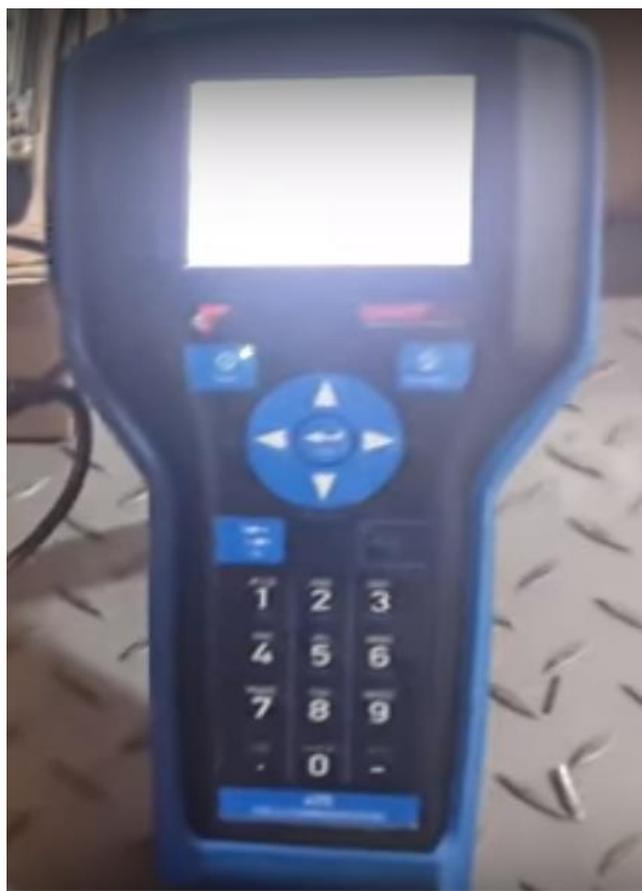
Fuente: [www.biltron.es>media>pdf>Fluke_123](http://www.biltron.es/media/pdf/Fluke_123)

2.3.6.3. Comunicador de campo Fieldbus 375

El comunicador Fieldbus 375, es un equipo portátil que permite configurar. Dispositivos de campo o realizar diagnósticos en redes con dispositivos HART o Fieldbus

Foundation. Este comunicador realiza la función de dispositivo Host y puede configurar un segmento Fieldbus de calidad y detectar fallas ya sea en la Fuente de Alimentación, terminadores, conductores, dispositivos. El comunicador Fieldbus 375, tiene terminales para dos protocolos de comunicación, el HART y Fieldbus Foundation. En la parte superior del comunicador de campo 375, hay tres terminales. Cada terminal rojo es una conexión positiva para su protocolo, mientras que el terminal negro es común a ambos protocolos y es compartido por los dos. Una cubierta de acceso garantiza que, en un momento dado, sólo un par de terminales quede expuesto. Varias señales indican a qué protocolo pertenece un par de terminales dado.

Figura 2. 32: Comunicador Fieldbus 375



Elaboración propia

Figura 2. 33: Panel de principal de menú del comunicador Fieldbus

Elaboración propia

Entre las ventajas que este comunicador posee destacan:

- Soporta seguridad intrínseca.
- Posibilidad de conexión a internet para actualización de Software.
- Utiliza la misma interfaz que el modelo anterior 275.
- Capacidad de configurar dispositivos antes de incluirlos en el segmento.

2.4. Glosario de términos básicos

Seguridad intrínseca. - Técnica de diseño que se utiliza en equipos y cableados eléctricos para ubicaciones peligrosas. Esta técnica se basa en limitar la energía, tanto eléctrica como térmica, para que no supere el límite de ignición de una mezcla atmosférica peligrosa. El cableado y los equipos intrínsecamente seguros son aptos para zonas restringidas. Las entidades encargadas de certificar si un equipo es intrínsecamente seguro, son entidades independientes ajenas a las empresas que fabrican instrumentación.

Lazo de control. - Arreglo de elementos orientados al mantenimiento de condiciones específicas en un proceso, maquinaria o sistema.

Bus de campo. - Es un sistema de transmisión de datos que interconecta dispositivos industriales y elementos de control reemplazando al bucle de corriente de 4-20 mA. A diferencia de los sistemas analógicos los buses de campo son normalmente redes digitales bidireccionales, que permiten transportar información de forma rápida, simplifica y facilita enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.

Mantenimiento predictivo: Es una técnica para pronosticar el punto futuro de fallas de un componente, relaciona una variable física con el desgaste o el estado de un dispositivo o máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así el tiempo muerto del equipo se minimiza. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar.

Control en campo. - El control en campo nos permite mantener, mediante un sistema automático, las principales variables de un proceso en valores próximos a los deseados a pesar de las posibles perturbaciones.

Desbalance de carga de DC.- Resultado de una conexión capacitiva o resistiva entre cables de señal Fieldbus y tierra. La causa más común responde a instalaciones incorrectas.

Segmento Fieldbus. - Los dispositivos de campo se conectan al segmento o tronco Fieldbus, mediante espuelas, es cada tramo donde están instalados los 32 instrumentos de campo, siempre con sus debidos estudios como consumo de corriente, puesta a tierra y respetando los limites según el tipo de cable a usarse.

Comunicaciones digitales. - La diferencia fundamental entre las comunicaciones digitales y las analógicas, es que en las segundas el número de posibles formas de onda por transmitir es infinito mientras que en una comunicación digital el emisor solo tiene a su disposición un conjunto finito y discreto de formas de onda que debe hacer corresponder con los bits por transmitir. Es importante resaltar que en el contexto de las comunicaciones digitales el proceso de la comunicación se efectúa independientemente, del tipo de información que se envía. La comunicación digital es el intercambio de información y conocimiento haciendo uso de las herramientas digitales disponibles, puestas a nuestra disposición por la investigación y desarrollo tecnológico. En principio, los soportes de información se digitalizan, para luego difundirse en un entorno que facilite este proceso. Todo esto conlleva a una cadena de estrategias que respondan a alcanzar los objetivos de un plan de acción.

Sistema de control distribuido. - Se denomina control distribuido a la asignación de tareas a varios controladores más pequeños instalados en ubicaciones estratégicas en la planta. En vez de instalar un controlador central de gran capacidad, los pequeños controladores son interconectados vía un sistema de bus de campo, presentando varias ventajas como son: La programación más sencilla, facilidad para ampliar el sistema o modificarla, mayor disponibilidad de información en el sistema.

Dispositivos de campo. - Los dispositivos de campo ofrecen capacidades de comunicación ininterrumpida con la plataforma de control general. Un dispositivo de campo pueden ser los sensores, las válvulas y los actuadores, estos dispositivos de campo proporcionan, la interacción del sistema de control.

Status. - El Status viene a ser en Fieldbus Foundation, un adicional a la variable de proceso. Provee acción de falla automática, en los dispositivos de salida, cuando ocurre una falla de sensor o de comunicación.

- GOOD Normal.
- BAD Ej. Falla de sensor.
- UNCERTAIN Ej. Fuera del rango calibrado.

2.5. Hipótesis de la investigación

2.5.1. Hipótesis general

El estudio de la instrumentación para el control de procesos industriales y la tecnología Fieldbus optimizaran la automatización facilitando la parametrización, adquisición de datos que integran el proceso, incrementando la producción y disminuyendo los costos de instalación y mantenimiento.

2.5.2. Hipótesis específicas

- El análisis de los recursos innovadores, garantizaran la optimización de los sistemas en el control de procesos industriales, de acuerdo a los estándares de la ISO-14001
- La aplicación de la tecnología Fieldbus garantizara la eficiencia de los procesos intervinientes en la optimización del mantenimiento en planta.

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 2. 10: Operacionalización de variables

VARIABLES	CONCEPTO DE VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>Variable Independiente</p> <p>Optimización de los sistemas de control</p>	<p>El progreso permanente de la industria busca la manera en la que se puedan controlar y gestionar los sistemas de control de forma eficiente, facilitando de esta manera el cumplimiento de los estándares de calidad y competitividad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio de la tecnología Fieldbus Foundation - Estudio de la instrumentación inteligente 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema intrínseco de seguridad - Rápido establecimiento después de una parada de planta - Diagnostico on-lay - Velocidad de respuesta en tiempo real - Mejoramiento del desempeño - Almacena gran cantidad de información - Proceso de algoritmos PID - Mayor información brindada - Facilidad en la instalación - Acción de control pre-programada - Interoperables
<p>Variable Dependiente</p> <p>Reducción de costos en instalación y mantenimiento</p>	<p>En la mayoría de plantas industriales, uno de los objetivos es reducir los costos en instalación y especialmente en mantenimiento de planta. Una reducción en estos implica una disminución del presupuesto asignado, esto se debe a que siempre se busca mejorar la rentabilidad de la empresa y en consecuencia la productividad</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción del hardware y cableado - Arquitectura simple - Mantener de manera constante algunas variables en planta - Mantenimiento predictivo - Disminuir el tiempo entre paradas ordinarias

Elaboración propia

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

De acuerdo al fin que se persigue, según el Ingeniero Manuel Borja Suárez (Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros, Chiclayo 2012), la investigación es de tipo tecnológica, porque tiene como objetivo la solución práctica, ya que este tipo de investigación no resuelve problemas prácticos aislados, sino que tiene un efecto multiplicador, como es el caso de nuestra investigación ya que se quiere reducir el problema de mantenimiento implementando nuevas tecnologías en plantas industriales. Este tipo de investigación también genera una importante cantidad de conocimientos y contribuye en forma decisiva a la interpretación de la realidad. Y de acuerdo al tipo de datos analizados es de tipo cualitativo.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación aplicado para la realización de esta tesis de acuerdo al libro del Ingeniero Manuel Borja Suárez (Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros, Chiclayo 2012), es de diseño no experimental descriptivo, basándome en la obtención de información sin manipular los valores de la variable, buscando describir determinadas características del objeto de estudio.

3.2. Población y muestra de investigación

3.2.1. Población de la investigación

La población de la investigación, son dos plantas mineras Antapaccay y Las Bambas que cuentan en sus instalaciones con la tecnología Fieldbus Foundation.

3.2.2. Muestra de la investigación

Se toma como muestra de investigación, igual a la de la población de investigación, por ser esta de tamaño reducido.

3.3. Ubicación y descripción de la población

3.3.1. Ubicación de la población

La planta minera Antapaccay, está ubicada en la provincia de Espinar – Cusco a 4,100 m.s.n.m. Es una operación de cobre proyectada a operar dieciocho años a más. Entro en producción en noviembre del 2012, con una inversión presupuestada de USD 1,500 millones, y la planta minera las Bambas ubicada a más de 4,000 m.s.n.m. entre las provincias de Cotabambas y Grau en la Region Apurimac a 72 km, al sur oeste de la ciudad del Cusco.

3.3.2. Descripción de la población

Antapaccay, permite ampliar las operaciones en la zona más allá del año 2030, en noviembre del 2012, se da inicio a la producción comercial de cobre en concentrados y se lleva a cabo el primer despacho través del puerto de Matarani (Arequipa) para su envío a clientes de todo el mundo. Las actividades relacionadas con la puesta en marcha de Antapaccay, continúan mientras se sigue aumentando la capacidad de procesamiento de

minerales. Se estimó llegar a procesar 70.000, Toneladas por día para la primera mitad del 2013. La mina produce aproximadamente un promedio de 133,000, Toneladas de cobre en concentrados por año, además de Oro y otros subproductos de Plata.

La planta minera, Las Bambas es una mina de Cobre, produciendo concentrado de Cobre con subproductos de Oro, Plata y Molibdeno. En 2016 se inicia la producción comercial, luego de una década de exploración, construcción y desarrollo. Es una de las minas de Cobre más grandes a nivel global, haciendo que el Perú se consolide, como el segundo mayor productor de cuprífero del mundo. En diciembre del 2015, se inicia la producción de concentrado de Cobre, siendo despachado el primer envío desde el puerto de Matarani (Arequipa) el 15 de enero del 2016.

3.4. Material experimental

- Tecnología Fieldbus Foundation.
- Instrumentación Industrial Inteligente.
- Revistas de la Fieldbus Foundation.
- Data Sheet de la instrumentación.
- Software de la Fieldbus Foundation.
- Comunicador de campo.

3.5. Técnicas e instrumentos para recolectar información

En este ítem, se describirá la técnica utilizada para recopilar toda la información de campo para desarrollar esta tesis, la técnica utilizada es el de la entrevista, entendida como la conversación que sostienen dos personas (Entrevistador y entrevistado), celebrada por iniciativa del entrevistador con la finalidad de obtener alguna información importante para la investigación (Adonay Moreno, Serie: Aprender a Investigar).

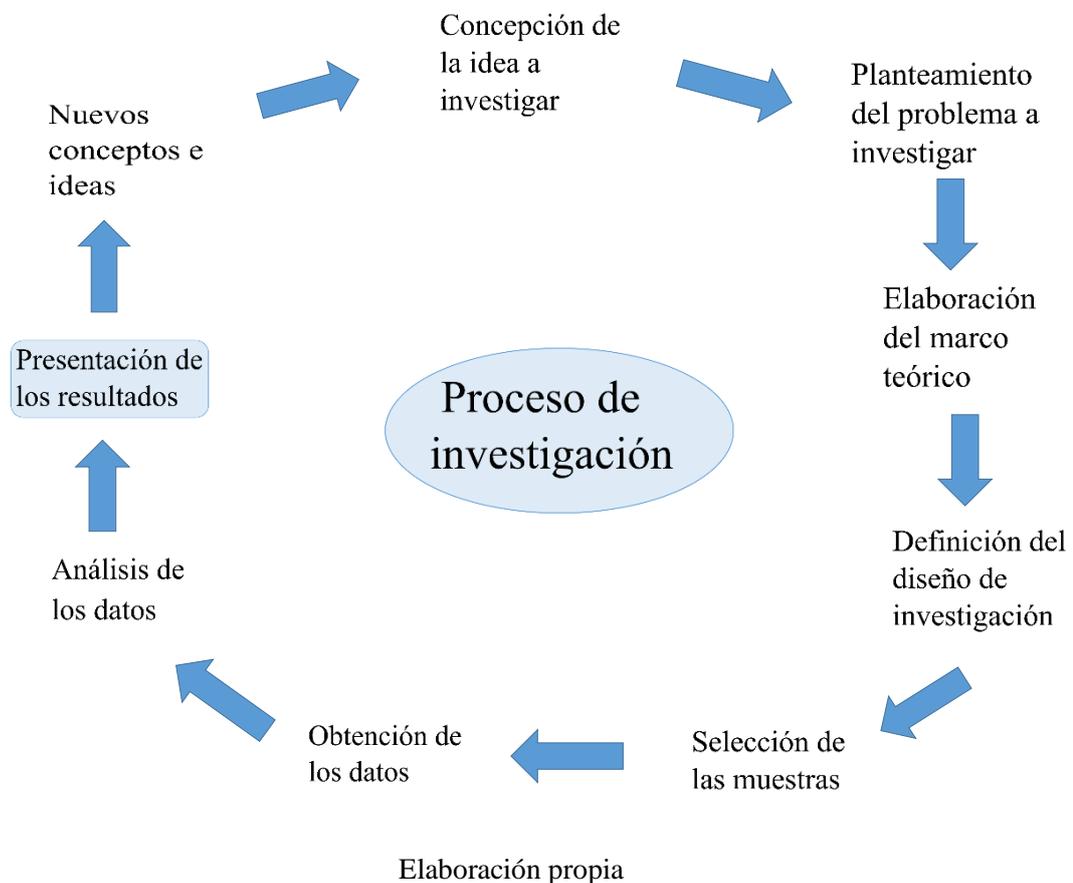
3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de datos se planifico, se realizó la selección secuenciación de contenidos desarrollando un análisis de contenido y el Análisis Léxico. Este tipo de análisis contribuye a la interpretación de las cuestiones abiertas o textos, a partir de la descripción objetiva, sistemática y cuantitativa de su contenido: “Diversas referencias pueden ser consultadas para una mayor profundización en las cuestiones del análisis de datos cualitativos” (Grawitz, 1993).

3.7. Procedimiento del desarrollo del estudio

Para el desarrollo del estudio, se siguieron los siguientes pasos que se da a conocer en la siguiente figura:

Figura 3. 1: Proceso de Investigación



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, e interpretación de resultados

Según La torre y Gonzales (1987) indica que: “El análisis de datos es la etapa de búsqueda sistemática y reflexiva de la información obtenida a través de los instrumentos”. Constituye uno de los momentos más importantes del proceso de investigación e implica trabajar los datos, recopilarlos, organizarlo en unidades manejables, sintetizarlos, buscar regularidades o modelos entre ellos, descubrir que es importante y que aportara a la investigación.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Prueba de hipótesis general

En estos días, las empresas buscan ser más competitivas, esto implica un mayor control en los procesos industriales, en la adquisición de datos y el incremento de producción que cumplan con los estándares de calidad.

La industria de procesos, tienen dos tipos de comunicación como bien sabemos, la tecnología operativa (OT), que se encarga de mantener la planta en funcionamiento y la tecnología de la información (TI), estas tecnologías cada vez necesitan más información, razón por la cual es necesario una tecnología digital, como lo es la tecnología Fieldbus Foundation. Gracias a las ventajas de la tecnología Fieldbus Foundation y la instrumentación industrial inteligente, podemos obtener mayor información.

Jianwei Wei, Gerente de comunicaciones industriales de Microcyber Corp. En Shangay, China dice que: “Los dispositivos de campo tradicionales con interfaces analógicas y redes de 4-20 Ma. Solo proporcionan valores de procesos y solo permite que los usuarios reciban información limitada, pero no tienen información sobre el instrumento en sí, si esta información es buena o mala, la razón por la que es importante los datos digitales de Fieldbus Foundation, Harth y Wireless Harth, es porque proporciona mucha información sobre el proceso y el dispositivo lo que significa mayores operaciones y mantenimiento”.

Con la tecnología Fieldbus Foundation, se puede acceder a toda la información de los dispositivos como: La ubicación, diagnostico, configuración, características del instrumento, status, hasta la información de calibración, gracias a esta información podemos saber el comportamiento del instrumento, si existen fallas en la comunicación como en el instrumento. Un ejemplo de confiabilidad de datos se muestra en la siguiente figura.

Tabla 4. 1: Ejemplo de confiabilidad de datos

Nivel	Información DCS 4-20 mA	Información FCS 0 – 4,000 mm H ₂ O
0 mm H ₂ O	4 mA	0 mm H ₂ O GOOD
2000 mm H ₂ O	12 mA	2000 mm H ₂ O GOOD
4000 mm H ₂ O	20 mA	4000 mm H ₂ O GOOD
4500 mm H ₂ O	21 mA	4500 mm H ₂ O UNCERTAIN
6500 mm H ₂ O	21 mA	6500 mm H ₂ O UNCERTAIN

Elaboración propia

En la tabla, se puede ver que la información de sistema convencional, solo muestra datos de 0 a 20 mA. Si los niveles están en sus límites, si esto sobrepasa, el valor de la tensión se aumenta sin ningún criterio de Status, mientras que la información de la tecnología Fieldbus Foundation, nos brinda el valor verdadero de nivel y tiene un criterio de estatus de GOOD, BAD, y UNCERTAIN, que hace más fácil su manejo.

4.2.2. Prueba de hipótesis específicas

La norma ISO 14001, es la norma internacional de sistemas de gestión ambiental (SGA), que ayuda a su organización a identificar, priorizar y gestionar los riesgos ambientales, como parte de sus prácticas de negocios habituales, estas normas se pueden implantar en cualquier tipo de empresa independientemente de cual sea su tamaño o actividad. La producción más limpia es una estrategia ambiental proactiva que tiene resultados muy positivos en la gestión medioambiental de las empresas. Y la investigación en su análisis de Fieldbus Foundation, en la empresa orienta la aplicabilidad de la misma.

En cada una de: “Las empresas de mayor auge económico, han desarrollado aplicaciones de control, para mejorar la funcionabilidad de su empresa o industria en diferentes áreas” (Borg, 2014). Además, que: “El sistema cumpla con los estándares de gestión ambiental ISO 14001” (Oliveira, 2016).

Debido a que la Tecnología Fieldbus Foundation, requiere menos cableado y tiene una estructura sencilla, esto causa menos residuos en cableado y otros elementos propios de la instalación de un bus de campo, como también los residuos que pueden ocasionar los mantenimientos constantes por fallas no detectadas a tiempo.

Julio Palomino, superintendente de Control de procesos de la minera Las Bambas, declaro ante la revista internacional de minería y energía Horizonte Minero que la tecnología implementada en la minería es de última generación, que permite monitoreo online para la optimización de su rendimiento y eficiencia, además declaro que eso también implica a los trabajadores, ya que son capacitados para el manejo de esta tecnología, lo que los motiva al saber que están involucrados con las nuevas tecnologías.

Mike Cushing, Gerente de mercadeo de productos dice: “Uno de los mayores costos en mantenimiento tradicionales es para válvulas, si uno está fuera de línea, sus datos generalmente se extraen de su posicionador, ahora con los datos que llega de un grupo completo de 25 válvulas y sus posicionadores, podemos ver todo su abierto/cierre las curvas a lo largo del tiempo y ver que curvas están cambiando debido al aflojamiento de la empaquetadura o la pérdida del sello”.

Dave Lancaster, PE, instructor certificado de Foundation Fieldbus, dice que en el pasado no se podía detectar el calentamiento de un detector de temperatura (RTD), en un secador de gas, esta no se detectaba hasta después de que se apague. Ahora ese RTD, es uno de los dispositivos Foundation Fieldbus, en un par de cables con datos de diagnóstico unidos a gráficos en la sala de control, cuando vemos que la temperatura no es tan baja como se requiere hacemos Click, en el sensor de temperatura evaluamos sus diagnósticos e informa que hay una falla en el sensor, se envía al encargado de mantenimiento y el aprieta el cable suelto en el RTD, sin un cierre costoso, todo este problema se analiza y se soluciona en 20 minutos.

Estas experiencias que nos cuentan personas que trabajan con la tecnología Fieldbus Foundation, certifica que la comunicación digital y los dispositivos inteligentes proporcionan grandes ventajas en el funcionamiento de una planta, y los datos que proporciona nos ayuda a conocer el estado del instrumento y así poder actuar y tener decisiones, sin correr el riesgo de paradas no programadas en planta, lo cual implica reducción de costos y mejor manejo del mantenimiento preventivo y predictivo.

Por su capacidad para proporcionar reducción de costos continuos y flexibilidad para adaptarse a futuros avances tecnológicos, para obtener aún más ahorros Shell, ha elegido a la tecnología Fieldbus Foundation.

CONCLUSIONES

Primero. - La comunicación digital y la instrumentación inteligente brindan grandes ventajas para el control de procesos, tanto para facilitar su instalación por su arquitectura sencilla, su interpretación de datos, sus costos en la instalación, su fácil entendimiento en cuanto a monitoreo en planta se refiere, el control más detallado de cada instrumento para un mejor manejo en mantenimiento.

Segundo. - Las nuevas tecnologías y los avances en instrumentación son más sencillos de manejar, mucha gente cree que por ser una nueva tecnología son difíciles de entender y de manejar, razones por las cuales muchos se quedan usando los sistemas convencionales, desconociendo los beneficios que pueden tener al usar en planta nueva tecnología.

Tercero. - Usando los sistemas convencionales generalmente se realizan constantemente paradas de planta, y esto hace que los presupuestos de mantenimiento anuales sean elevados, al tener la tecnología digital se pueden realizar monitoreo on-lay, diagnosticar el estado de cada instrumento, realizar los mantenimientos debidos sin la necesidad de paradas de planta, reduciendo de esta manera significativamente los costos en mantenimiento.

Cuarto.- La instrumentación industrial inteligente de Fieldbus Foundation, es interoperable, pero esto no quiere decir que son intercambiables, si se tiene un instrumento de una marca determinada con el certificado de Fieldbus Foundation, no quiere decir que al momento de ser reemplazado por otro instrumento de diferente marca al instrumento anterior que también tenga los certificados de Fieldbus Foundation, que esta funcione de la misma manera que el anterior, esto es debido a las empresas de fabricación, Fieldbus Foundation, se encarga de certificar los instrumentos realizando

ciertos tipos de pruebas pero esto no garantiza que los instrumentos de diferentes fabricas se desempeñen de la misma forma en campo una vez instalados.

Quinto. - Gracias a la seguridad intrínseca que tiene la tecnología Fieldbus Foundation, esta puede ser instalada en lugares o áreas denominadas peligrosas.

RECOMENDACIONES

Primero. - Debido a que los instrumentos inteligentes son interoperables, pero no intercambiables, se recomienda que a la hora de adquirir un nuevo instrumento se considere incluir en la hoja de datos de dicho instrumento lo siguiente:

- Modelo del instrumento.
- Device descriptor.
- Identificación del Sistema de control existente.
- Firmware.
- Versión.

Segundo. - Se recomienda implantar, esta nueva tecnología en plantas industriales con miras a expansión, por su arquitectura sencilla, la confiabilidad en la información que brinda al momento del monitoreo en planta, por la disponibilidad, la reducción de costos en instalación y mantenimiento.

Tercero. - Para la instalación de la tecnología Fieldbus Foundation, como también de la instrumentación inteligente, se recomienda tomar en consideración los manuales de instalación, teniendo siempre en cuenta los protocolos de calidad en instalación para su correcto montaje y buen funcionamiento.

Cuarto. - Para el tendido de cable de Fieldbus Foundation, se recomienda tener en consideración las normas de tendido de cable Extracto guía IEEE 518-1982, para evitar generar ruidos elevados con retroalimentación en instrumentos, mantener una buena calidad y estabilidad en la señal.

BIBLIOGRAFIA

- Ahumada, J. A., & Ruiz, B. G. (2007). *Interoperatividad entre Fieldbus y Ethernet*.
Cartagena de Indias D.T. Y C.: Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de
Eléctrica y Electrónica.
- Alarcón Ahumada, J. A., & Bautista Ruiz, B. G. (abril de 2007). Interoperatividad entre
Fieldbus y Ethernet. Cartagena de Indias D.T. Y C.
- Andrada, I. (s.f.). *El ABC de la automatización, Buses de Campo*.
- Borg, D. S. (2014). *A neural network developed in a Foundation Fieldbus environment
to calculate flow rates for compressible fluid. Flow Measurement and
Instrumentation*.
- Borja Suárez, M. (2012). Metodología de la investigación científica para ingenieros.
- Camilla, L. (2006). Buses de campo. *Electro Industria, Editorial EBM*.
- Castillo, V. M. (2014). *La importancia e implicancia de una correcta confección en la
capa física (Hardware), para un sistema segmentos Fieldbus HI*. Antofagasta.
- Cavaleiri, S., & Chuan, L. (s.f.). *Wireless networking and cyber physical systems*.
- Coutinho, J., Martin, S., Samata, G., Tapley, S., & Wilkin, D. (1995). *Fieldbus tutorial*.
Computer Engineering . Western: University of technology .
- Creus, A. (2009). *Instrumentación Industrial*. Alfaomega Marcombo.
- Diagramas PID*. (s.f.). Obtenido de
https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php/965094/mod_resource/content/0/DIAGRAMAS_P_ID.pdf

- E., L. (2014). *La minería en el Perú*. Obtenido de <http://elprofelopezsmp.blogspot.com/2014/11/la-mineria-en-el-peru.html>
- Estofanero. (2016). *Fundamentos de la red Industrial Fieldbus H1*.
- Fernandez de Dios, J. J. (2004). *Foundation Fieldbus y su adaptación a la alta velocidad: HSE*. Telecomunicaciones de Vigo.
- Foundation, F. (2006). Fieldbus Foundation | All Rights Reserved. Design by Terramorph Productions & Enhance Design | Powered by Joomla. *Fieldbus Foundation*.
- Hernandez, G. D. (2010). *Elaboración guía de soluciones para problemas de comunicación en segmentos Fieldbus en área electro control licor celulosa Arauco y constitución S.A*. Santiago: Universidad Austral de Chile.
- IPN-ESIME. (2011). *Control de procesos*.
- Kaschel, D. I., & Pinto, I. E. (s.f.). *Analisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de Procesos Industriales*. Santiago: Fac. de Ingenieria, Depto. de Ingenieria Electrica, Universidad de Santiago de Chile.
- Lim, J. (s.f.). *Fieldbus Foundation Basics*. (págs. 1-30). . Singapore: Fieldbus Foundation Marketing Society.
- Miller, G. D. (2010). *Elaboración de guía de soluciones para problemas de comunicacion en segmentos Fieldbus en area electro control licor celulosa Arauco y constitución S.A*. Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingenieria, Escuela de Ingenieria Civil Electrónica.
- NEWBROUGH, E. (1990). *Adminstración de Mantenimiento Industrial*. Mexico.

- Oliveira, J. A. (2016). *Environmental Management System ISO 14001 factors for promoting the adoption of Cleaner Production practices*. . Journal of Cleaner Production.
- Páez Rivera, O. (s.f.). *Normas ISA*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- Pang, Y.-b. (2004). *Design and analysis of Fieldbus control system*. Nara: Institute of Science and Technology, Information Systems.
- Pazos, A. J. (s.f.). *Analisis del estado actual de las tecnicas en instrumentos inteligentes*. Coruña: Universidad de A. Coruña. Dep. Ingenieria Industrial .
- Plazas, M. S., & Vila, E. P. (2009). *Estudio del protocolo Fieldbus y aplicación práctica con el controlador SMAR DF51 para el manejo de instrumentos industriales*. Bucaramanga: Universidad Pontifica Bolivariana de Bucaramanga.
- Ramirez F, M. G. (s.f.). Variables medibles y controlables en la industria. *Instrumentación Industrial*.
- Rivera, O. P. (s.f.). *Norma ISA*. . Sntiago: Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingenieria, Departamento de Ingenieria Electrica.
- S., A. R. (2002). La industria sostenible en el Peru: Reto para el desarrollo Nacional. *Revistas UNMSM*, 25-33. Obtenido de La industria sostenible en el Peru: Reto para el desarroll Nacional.
- Santis, M., & Villa, E. (2009). *Estudio del protocolo Fieldbus y aplicación práctica con el controlador SMAR DF51 para el manejo de instrumentos industriales*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontifica Bolivariana de Bucaramanga.

SCHOMBERGER, R. (1984). *Just in Time: A comparison of Japanese and American Manufacturing Techniques*. Atlanta: Industrial Engineering and Management.

Serna, C. A., & Ortiz, L. C. (2011). *Buses de campo y protocolos en redes industriales (Fieldbus and protocols in industrial networks)*. Universidad de Manzanales Facultad de Ciencias e Ingenieria.

SMAR. (2010). *Installation, operation and amintenance manual*. GERAL.

Tejada, M. G. (1998). *Comparacao entre una arquitetura distribuida e arquitetura centralizada a nivel de instrumentacao*. Sao Paulo: Escola Politecnica de Sao Paulo.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Título: Instrumentación para el control de procesos industriales y la tecnología de Fieldbus en la comunicación inteligente.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicadores	Método	Estadística
<p>¿Qué beneficios tiene la tecnología Fieldbus Foundation al ser instaladas o reemplazadas en plantas industriales en la optimización de los procesos industriales para incrementar la productividad de la planta industrial, y que consideraciones nos pueden llevar a una incorrecta interpretación de las ventajas que brinda esta tecnología.?</p> <p>Problemas específicos ¿Por qué de la expansión</p>	<p>Mostrar los beneficios al utilizar la tecnología Fieldbus Foundation en la optimización de los procesos industriales para incrementar la productividad de la planta industrial, y que consideraciones nos pueden llevar a una incorrecta interpretación de las ventajas que brinda esta tecnología.</p> <p>Objetivo específico Exponer el porqué de la expansión del uso de esta</p>	<p>El estudio de la instrumentación para el control de procesos industriales y la tecnología Fieldbus optimizaran la automatización facilitando la parametrización, adquisición de datos que integran el proceso, incrementando la producción y disminuyendo los costos de instalación y mantenimiento.</p> <p>Hipótesis específicas El análisis de los recursos innovadores, garantizaran la</p>	<p>Optimización de los sistemas de control</p>	<p>Estudio de la tecnología Fieldbus Foundation</p> <p>Estudio de la instrumentación inteligente</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema intrínseco de seguridad - Rápido establecimiento después de una parada de planta - Diagnostico on-lay - Velocidad de respuesta en tiempo real - Mejoramiento del desempeño - Almacena gran cantidad de información - Proceso de algoritmos PID - Mayor información brindada - Facilidad en la instalación - Acción de control pre-programada - Interoperables 	<p>Descriptivo de diseño no experimental</p>	<p>Análisis léxico de tipo cualitativo o aplicado</p>

<p>del uso de esta tecnología en los sistemas de control industrial?</p>	<p>tecnología en los sistemas de control industrial.</p>	<p>optimización de los sistemas en el control de procesos industriales, de acuerdo a los estándares de la ISO-14001</p>	<p>Reducción de costos en instalación y mantenimiento</p>	<p>Disponibilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción del hardware y cableado - Arquitectura simple - Mantener de manera constante algunas variables en planta - Mantenimiento predictivo - Disminuir el tiempo entre paradas ordinarias 		
<p>¿Por qué se crean preconceptos que se generan al tratar de imponer algo diferente a lo convencional, viendo las ventajas que tienen hoy en día los sistemas digitales?</p>	<p>Vencer los preconceptos que se generan al tratar de imponer algo diferente a lo convencional, viendo las ventajas que tienen hoy en día los sistemas digitales.</p>	<p>La aplicación de la tecnología Fieldbus garantizará la eficiencia de los procesos intervinientes en la optimización del mantenimiento en planta.</p>					

Anexo 2. Preguntas realizadas en entrevista a personal de mantenimiento

1. ¿Facilita la tecnología Fieldbus en mantenimiento?
2. ¿Cómo consideran la arquitectura de la tecnología Fieldbus?
3. ¿La interpretación de datos obtenidos por esta tecnología es sencilla?
4. ¿Cómo funciona la interoperabilidad de la instrumentación con la tecnología Fieldbus?
5. ¿Por qué optar por la tecnología Fieldbus?

Anexo 3. Datasheet



⚠ AVISO IMPORTANTE

El documento introductorio "Para empezar" proporciona directrices básicas para los comunicadores de campo 375. No proporciona instrucciones detalladas para su configuración, diagnósticos, mantenimiento, servicio, resolución de problemas o instalaciones intrínsecamente seguras (I.S.).

Para mayor información, consultar el manual del usuario del comunicador de campo 375. Se puede obtener documentación adicional del comunicador de campo 375 en www.fieldcommunicator.com.

⚠ ADVERTENCIA

Las explosiones pueden provocar la muerte o lesiones serias:

Su utilización en un entorno explosivo debe hacerse siguiendo los códigos, estándares y procedimientos aprobados local, nacional e internacionalmente. Revisar la sección Certificaciones del producto del manual del usuario del comunicador de campo 375 para determinar si existen restricciones con respecto a su utilización segura.

Las descargas eléctricas pueden provocar la muerte o lesiones serias.

© 2009 Emerson Process Management. Reservados todos los derechos.

HART es una marca comercial registrada de HART Communication Foundation.

FOUNDATION es una marca comercial de Fieldbus Foundation.

IrDA es una marca comercial registrada de Infrared Data Association.

El logotipo de Emerson es una marca comercial y de servicio de Emerson Electric Co.

Todas las demás marcas son propiedad de sus respectivos dueños.

INTRODUCCIÓN

El comunicador de campo 375 puede facilitar su trabajo y hacerlo más productivo al proporcionar comunicaciones interactivas con los dispositivos HART® y FOUNDATION™ fieldbus en los procesos. Antes de utilizar el comunicador de campo 375, se deben realizar varios pasos preliminares y se deben seguir también diversas medidas de precaución.

GENERALIDADES Y PRECAUCIONES RELATIVAS AL PRODUCTO

El comunicador de campo 375 acepta los dispositivos HART y FOUNDATION fieldbus, por lo que el usuario puede configurar o resolver problemas en el campo. Cuando el comunicador de campo 375 se usa para comunicarse con otros dispositivos, se deben seguir todas las normas y procedimientos aplicables a la región en cuestión. El no hacerlo puede resultar en daños al equipo y/o lesiones personales. Asegurarse de comprender y cumplir los siguientes puntos:

- Un comunicador de campo 375 aprobado para áreas IS se puede usar en áreas de las zonas 0 (sólo FM y CSA), 1 ó 2, divisiones 1 y 2 (sólo opción KL).
- Un comunicador de campo 375 aprobado para áreas IS se puede conectar en lazos o segmentos que estén conectados a equipo ubicado en las zonas 0, 1, 2, 20, 21 y 22, divisiones 1 y 2 (sólo opción KL).
- El comunicador de campo 375 incluye una pantalla táctil de cristal líquido (LCD) tipo FSTN, una batería de hidruro metálico de níquel (NiMH) o un módulo de alimentación de ión de litio, un procesador SH3, los componentes de memoria y un sistema integral de circuitos para mediciones y comunicación.
- En la parte superior del comunicador de campo 375 hay tres terminales. Cada terminal rojo es una conexión positiva para su protocolo, mientras que el terminal negro es común a ambos protocolos y es compartido por los dos. Una cubierta de acceso garantiza que, en un momento dado, sólo un par de terminales quede expuesto. Varias señales indican a qué protocolo pertenece un par de terminales dado.
- La pantalla táctil debe tocarse solamente con artefactos romos, preferiblemente con el lápiz óptico incluido con el comunicador de campo 375. Si se utilizan instrumentos afilados, tales como destornilladores, puede ocasionar un fallo de la pantalla táctil e invalidar la garantía. La reparación de la pantalla táctil requiere que se reemplace por completo todo el conjunto de presentación del comunicador de campo 375, lo cual sólo puede hacerse en un centro de mantenimiento autorizado.
- Cuando se conecte el comunicador de campo 375 a un segmento FOUNDATION fieldbus activo, asegurarse de que exista capacidad de corriente adicional adecuada para alimentar los circuitos fieldbus del comunicador de campo 375. El comunicador de campo 375 consume aproximadamente 17 mA.
- El puerto infrarrojo y el lector de tarjetas permiten al comunicador de campo 375 ó a la tarjeta de su sistema que se comuniquen con un PC.
- Usar el teclado o la pantalla táctil para introducir datos en el comunicador de campo 375.
- Un módulo de expansión (EM, por sus siglas en inglés), etiquetado con el nombre "Expansion Module", es un dispositivo de memoria extraíble que se conecta en el puerto de expansión. El módulo de expansión se puede quitar o instalar en un área peligrosa.

- Sólo el módulo de expansión o el enchufe del puerto de expansión se deben insertar en el puerto de expansión. No se deben poner en el puerto de expansión las tarjetas del sistema/ tarjetas digitales seguras (Secure Digital) ni otros objetos. Al no proceder de esta manera, la aprobación IS y la garantía quedarán anuladas.
- Las tarjetas Secure Digital que se usan en el puerto del sistema deben ser las suministradas por el fabricante del comunicador de campo 375. Al no proceder de esta manera, la aprobación IS y la garantía quedarán anuladas.
- El comunicador de campo 375 acepta dos tipos de baterías: la batería de NiMH y el módulo de alimentación de ión de litio. La batería de NiMH tiene un conector negro de fuente de alimentación/cargador de 4 pasadores, y el módulo de alimentación de ión de litio tiene un conector verde de 6 pasadores. Consultar la figura 1 para conocer la ubicación del conector. En este manual, se utiliza el término "batería" para describir la funcionalidad común de ambos tipos de batería. Se hace notar cualquier diferencia.
- Al transportar un módulo de alimentación de ión de litio, se deben seguir las regulaciones correspondientes.
- La batería se puede quitar o instalar en un área peligrosa.
- La batería no debe cargarse en áreas peligrosas.
- Usar la fuente de alimentación/cargador del comunicador de campo 375 (00375-0003-0005) sólo con él.
- Usar sólo la fuente de alimentación/cargador para cargar la batería. Al no proceder de esta manera, el comunicador de campo 375 puede dañarse de manera permanente y su aprobación IS así como su garantía quedarán anuladas.
- Proteger la batería y la fuente de alimentación/cargador contra la humedad, y respetar los límites de temperatura de operación y de almacenamiento.
- No cubrir la batería o la fuente de alimentación/cargador, no se les debe exponer a la luz directa del sol, ni se les debe poner en materiales sensibles al calor ni cerca de ellos.
- No abrir ni modificar la batería ni la fuente de alimentación/cargador. No existen componentes que el usuario pueda reparar ni elementos de seguridad dentro del alojamiento. Si se abren o se modifican se anulará la garantía.

Figura 1. Comunicador de campo 375



MONTAJE

Antes de hacer funcionar el comunicador de campo 375, asegurarse de que:

- El comunicador de campo 375 no se encuentra dañado.
- La batería está bien asentada.
- Todos los tornillos están suficientemente apretados.
- Un módulo de expansión o el enchufe del puerto de expansión se encuentran en su lugar.
- La cavidad de los terminales de comunicación se encuentra completamente limpia.

CARGA DE LA BATERÍA

PRECAUCIÓN

La fuente de alimentación/cargador anterior de 4 pasadores no es compatible con el módulo de alimentación de ión de litio.

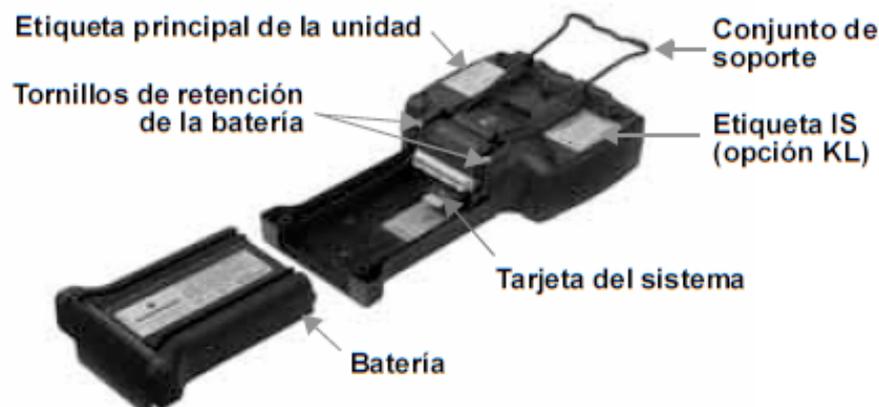
Antes de usar la unidad de manera portátil por vez primera, se debe cargar la batería por completo. La fuente de alimentación/cargador es compatible con el módulo de alimentación de ión de litio y con la batería de NiMH. Sin embargo, se debe utilizar el cable adaptador de NiMH para cargar la batería NiMH con la fuente de alimentación/cargador. La fuente de alimentación/cargador tiene un conector verde para hacer corresponder el conector adecuado del módulo de alimentación de ión de litio o el cable adaptador de NiMH. Consultar la Figura 2.

La batería puede recargarse por separado o mientras está conectada al comunicador de campo 375. La luz verde permanente en el cargador/fuente de alimentación indica que la carga se ha finalizado; esto requiere aproximadamente de dos a tres horas. El comunicador de campo 375 funciona totalmente mientras se está cargando.

Figura 2. Cable adaptador de NiMH usado para cargar la batería de NiMH



Figura 3. Vista posterior del comunicador de campo 375



INSTALACIÓN DE LA TARJETA DEL SISTEMA Y DE LA BATERÍA

1. Colocar el comunicador de campo 375 boca abajo en una superficie segura y nivelada.
2. Bloquear el soporte en la posición que permite colgarlo. Para pivotar más allá de la posición del soporte, apretar el soporte estrechándolo cerca de la bisagra, ver Figura 3.
3. Mientras la batería se encuentra extraída, colocar la tarjeta del sistema (rotulada con el nombre "System Card"), con sus contactos hacia arriba en las guías correspondientes ubicadas directamente debajo del conector de la batería. Deslizar la tarjeta del sistema en el enchufe del sistema, empujándola hacia delante hasta que quede bien colocada.

⚠ ADVERTENCIA

La tarjeta del sistema no debe ser insertada en el puerto de expansión. Al no proceder de esta manera, el equipo puede dañarse y tanto la aprobación IS como la garantía quedarán anuladas.

4. Mientras el comunicador de campo 375 se encuentra todavía boca abajo, asegurarse de que las partes superiores de los dos tornillos de retención de la batería queden niveladas con la parte superior del comunicador. Instalar la batería alineando sus laterales con el comunicador y deslizándola cuidadosamente hacia delante hasta que quede firme.

PRECAUCIÓN

Si la batería y el comunicador de campo 375 no quedan bien alineados, los pasadores del conector pueden dañarse.

5. Apretar con cuidado a mano los dos tornillos de retención de la batería para fijarla. (No apretar demasiado, un par de apriete máximo de 0,5 Nm.) La parte superior de cada tornillo debe quedar casi nivelada con la ranura del soporte.

ENCENDIDO DEL COMUNICADOR DE CAMPO 375

1. En el teclado, presionar y mantener presionada la tecla de Encendido/apagado hasta que el LED de funciones múltiples destelle (aproximadamente dos segundos). Durante la puesta en marcha, el comunicador de campo 375 revisa la tarjeta del sistema buscando actualizaciones del software y notifica al operador si se requiere una actualización. Luego, aparece el menú principal del comunicador de campo 375.
2. Desde el menú principal del 375, utilizar las teclas de flecha ascendente y descendente para seleccionar las opciones del menú y la tecla de flecha derecha para ingresar en las opciones. Los ajustes y la información del sistema se encuentran en el menú Settings (Ajustes). Para mayor información, consultar la versión más reciente del manual del usuario del comunicador de campo 375.

EXTRAER LA BATERÍA Y LA TARJETA DEL SISTEMA

1. Con el comunicador de campo 375 apagado, colocarlo boca abajo en una superficie segura y nivelada.
2. Aflojar los dos tornillos de retención de la batería hasta que la parte superior de ésta y la parte superior de los tornillos queden niveladas.
3. Deslizar la batería para sacarla del comunicador.

PRECAUCIÓN

No se debe tirar de la batería hacia arriba ya que al hacerlo se podrían dañar los pasadores del conector.

4. Asir la etiqueta de la tarjeta del sistema y deslizarla directamente sacándola del comunicador de campo 375.

PRECAUCIÓN

No se debe tirar de la tarjeta del sistema hacia arriba ya que al hacerlo se podría dañar la tarjeta misma o el enchufe del sistema.

TERMINALES DE COMUNICACIÓN

La cubierta de acceso de la parte superior del comunicador de campo 375 puede colocarse en dos posiciones. Usar las señales en la cubierta de acceso y entre los terminales para seleccionar el protocolo deseado. Usar el conjunto de conectores incluido para conectar el comunicador de campo 375 al lazo o al segmento. Consultar la versión más reciente del manual del usuario del comunicador de campo 375 para obtener más información.

PRECAUCIÓN

Solamente se permiten conexiones a un lazo HART y a un segmento FOUNDATION fieldbus.

SOPORTE TÉCNICO

Contactar al proveedor o visitar la página de Internet en <http://www.fieldcommunicator.com/supp.htm> para ver la información de contacto para soporte técnico.

MANTENIMIENTO, REPARACIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Cualquier mantenimiento, reparación o reemplazo de componentes que no estén listados más abajo, debe realizarse por personal especialmente capacitado en los centros de servicio autorizados. Los procedimientos comunes de mantenimiento del comunicador de campo 375 descritos a continuación pueden ser realizados por el usuario:

- Limpieza del exterior. Usar únicamente una toalla que no tenga pelusa o humedecerla en una solución de jabón suave y agua.
- Carga, extracción y reemplazo de la batería.
- Extraer y reemplazar la tarjeta del sistema.
- Extraer y reemplazar el módulo de expansión o el enchufe del puerto de expansión.
- Extraer y reemplazar el soporte y la placa de servicio.
- Asegurarse de que todos los tornillos externos están bien apretados.
- Asegurarse de que la cavidad del terminal de comunicación está completamente limpia.

ELIMINACIÓN DE RESIDUOS

Los productos que tengan la siguiente etiqueta cumplen con la directiva Residuos de equipos eléctricos y electrónicos (WEEE, por sus siglas en inglés), 2002/96/EC, que corresponde sólo a los estados miembros de la Unión Europea (UE).



La etiqueta indica que este producto debe reciclarse y no tratarse como un desperdicio casero. Los clientes que pertenezcan a estados miembros de la UE deben contactar con su representante de ventas local de Emerson para obtener información sobre cómo desechar piezas del comunicador de campo 375.

Para los clientes que residan en todas las demás áreas del mundo, si es necesario desechar piezas del comunicador de campo 375, deben seguir estrictamente las regulaciones de desecho de materiales correspondientes a su localidad.

SUSTANCIAS PELIGROSAS

Los productos que tengan la siguiente etiqueta no contienen plomo y cumplen con la Restricción del uso de ciertas sustancias peligrosas de la directiva sobre equipo eléctrico y electrónico (RoHS), 2002/95/EC, que corresponde sólo a los estados miembros de la UE.



El propósito de la directiva es limitar el uso de retardadores de llama tales como plomo, cadmio, mercurio, cromo hexavalente, bifenil polibromado (PBB) y éter difenil polibromado (PBDE) en equipo electrónico.

RoHS

CERTIFICACIONES DEL PRODUCTO

Generalidades

Todos los comunicadores de campo 375 incluyen la etiqueta principal de la unidad (consultar la Figura 3). Los comunicadores de campo 375 intrínsecamente seguros (opción KL) incluyen también una etiqueta adicional que se encuentra frente a la etiqueta principal de la unidad. Si el comunicador de campo 375 no incluye esta etiqueta (opción NA), se debe considerar que no ha sido aprobado para áreas IS.

Ubicaciones de los sitios de fabricación aprobados

Emerson Process Management — Leicester, Inglaterra

Información sobre las directivas europeas

Conformidad con CE

Compatibilidad electromagnética (2004/108/EC)

Ha sido probado según las especificaciones EN 61000-6-3, EN 61000-6-2 y EN 61326-1.

Directiva ATEX (94/9/EC) (sólo opción KL)

Emerson Process Management cumple con la directiva ATEX.

La información específica referente a la directiva ATEX se encuentra en este mismo documento y en el manual del usuario del comunicador de campo 375. Los estándares aplicables son EN 60079-0, EN 60079-11 y EN 60079-26.

Certificaciones de áreas peligrosas (sólo opción KL)

Certificaciones internacionales

IECEX

Certificación N°: IECEX BVS 08.0044

Ex ia IIC T4 ($-10\text{ °C} \leq T_a \leq 50\text{ °C}$)

Certificaciones norteamericanas

Factory Mutual (FM, por sus siglas en inglés)

Intrínsecamente seguro para la clase I, división 1, grupos A, B, C y D y clase I, zona 0; áreas peligrosas AEx ia IIC T4 ($T_a = 50\text{ °C}$) al conectarse según se indica en el plano de control 00375-1130 del manual del usuario del comunicador de campo 375. Consultar el plano de control para conocer los parámetros de entrada y de salida.

Canadian Standards Association (CSA)

Intrínsecamente seguro al ser utilizado en la clase 1, zona 0; áreas peligrosas Ex ia IIC T4 al conectarse según se indica en el plano de control 00375-1130 del manual del usuario del comunicador de campo 375. Consultar el plano de control para conocer los parámetros de entrada y de salida.

Certificaciones europeas

Seguridad intrínseca según ATEX

Certificación N°: BVS 03 ATEX E 347 II 2 G (1 GD)

Ex ia IIC T4 (-10 °C ≤ Ta ≤ +50 °C)

1180

Parámetros eléctricos HART intrínsecamente seguros

Parámetros de entrada

U_i = 30 voltios CC

I_i = 200 mA

P_i = 1,0 vatios

L_i = 0

C_i = 0

Parámetros de salida

U_0 = 1,9 voltios CC

I_0 = 32 μ A

FOUNDATION fieldbus

Intrínsecamente seguro satisfaciendo FISCO

U_{IIIC} = 17,5 voltios CC I_{IIIC} = 215 mA P_{IIIC} = 1,9 vatios

U_{IIIB} = 17,5 voltios CC I_{IIIB} = 380 mA P_{IIIB} = 5,3 vatios

U_0 = 1,9 voltios CC I_0 = 32 μ A

Intrínsecamente seguro sin satisfacer FISCO

U_i = 30 voltios CC I_i = 380 mA P_i = 1,3 vatios

U_0 = 1,9 voltios CC I_0 = 32 μ A

L_i = 0 C_i = 0

Product Specification

FOUNDATION™ Fieldbus

FBT-3

The **Fieldbus Monitor, FBT-3**, is used to examine the operation of a live FOUNDATION Fieldbus network without interfering with its operation. The Monitor is intended for maintenance personnel to verify network operation or to troubleshoot an errant network.

Benefits

The Fieldbus Monitor allows the user to quickly assess the health of a Fieldbus network segment by providing measurements of bus power level, minimum signal level, and peak and average noise level. It also displays the number of devices present on the segment and indicates when devices are added or removed from the network.

Features

The Fieldbus Monitor is palm-sized for portability and is powered by the fieldbus so that no batteries or external power source is required. It includes color-coded test leads and an LCD display.

Operation

The FBT-3 can be connected to the network using the clip leads. The test leads are polarity sensitive and the Monitor will not operate if they are reversed. When first connected to a Fieldbus, a Version number is displayed for 1 second.

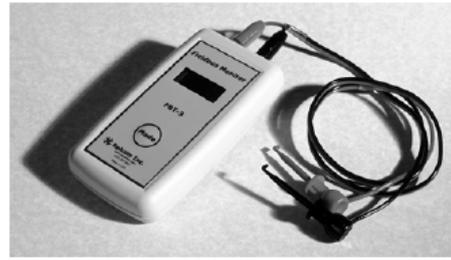
The MODE button is used to select from several network parameters that can be examined with the Monitor. When a function is selected, the LCD display reads "---" until the monitor has collected and processed the data. After that, the measured value is shown. The indication "OK" is shown if the measured value is within the acceptable range (as defined by the Fieldbus specification). The rotating symbol in the lower right corner of the display indicates that there is network activity. A horizontal bar under the rotating symbol indicates that a frame was detected, but could not be decoded. This is not a maintained function. i.e., if a single "bad" frame is detected, the horizontal underbar will only be on the display for a short time. Periodic "bad" frames will cause the underbar to blink.

Following are more detailed explanations of each of the monitor's modes:

Power The DC voltage on the network is shown. Measurements over 9 volts are OK.

LAS If there is any activity on the network, the Link Active Scheduler (LAS or Host) should be sending out Probe Node frames. The Monitor measures the signal level of the Probe Node frame in millivolts peak-to-peak.

Device If there are Fieldbus devices active on the network, the Monitor counts them. If the count has remained the same since the Device function was selected, the display shows "OK".



Device (continued)

Note that the LAS is considered a device and as such is included in the count. Devices are counted by watching their response to a Pass Token. If a device does not respond to the Pass Token, it is taken off an internal list and the count will be reduced. The device may still show up on PC monitoring software because the LAS will not take it off of the Live List until it has failed to respond to a Pass Token three times in a row. If a device leaves the network, the display shows "-". If a new device is added, the display shows "+".

Low The signal level of the device with the weakest signal is shown. The device's address (hexadecimal) is displayed behind the word "LOW". This will be the lowest signal level reading from a device since the tester was connected to the fieldbus. Measurements greater than 150 mV are OK.

Noise Av The noise on the network is measured during the silence between frames. The value is averaged over 10 measurements. Measurements of less than 75 mV are OK.

Noise Pk The peak noise recorded since this function was started is displayed. Measurements of less than 75 mV are OK.

New If a new device is to be added to the network, it must respond to the Probe Node frame sent by the LAS. The Monitor measures the signal level of the new device's response. Measurements greater than 150 mV are OK. The address (in hexadecimal) of the new device is also displayed.

Specifications

The Monitor is powered by the Fieldbus and draws approximately 10 mA of current from the network (depending on bus voltage and ambient temperature).

Operating temperature range: 0-50°C

Dimensions: 12.9cm x 7.0cm x 3.1cm (5.1" x 2.8" x 1.2")

Weight: 150 g

Caution:

The FBT-3 must not be used in hazardous areas or be connected to wiring that runs into hazardous areas.

Product specifications are subject to change without notice.

Anexo 4. Planos de conexionado PLC

