

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE Y ANÁLISIS DEL PROTOCOLO HART

EDWIN FERNANDO GARCÍA CAMEJO



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2015**

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE Y ANÁLISIS DEL PROTOCOLO HART

EDWIN FERNANDO GARCÍA CAMEJO

MONOGRAFÍA DE GRADO

**JHON JAIRO PADILLA AGUILAR
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2015**

**Aprobado Por El Jurado De La
Facultad De Ingeniería
Electrónica En Cumplimiento De
Los Requisitos Exigidos Para
Optar Por El Título De
Especialista En Control E
Instrumentación Industrial**

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión del doctor Jhon Jairo Padilla Aguilar, a quien me gustaría expresar mi agradecimiento, por hacer posible la realización de este estudio.

Durante el tiempo que he pasado en esta Universidad, he conocido personas muy valiosas que sembraron en mí un amor por esta profesión y me dieron oportunidades que permitieron desarrollarme en el medio, a las cuales también quiero agradecer, los compañeros que se convirtieron en grandes amigos y los profesores de gran calidad, que me dieron una excelente formación académica.

A mis padres, por darme la vida y apoyarme en todo lo que me he propuesto.

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir, por permitirme disfrutar cada momento de mi vida y guiarme por el camino que ha trazado para mí.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
CONCEPTOS GENERALES.....	4
1. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN HART.....	4
1.1 HISTORIA.....	4
1.2 DEFINICION	4
1.3 CARACTERÍSTICAS	5
1.4 ESPECIFICACIONES.....	9
1.5 FUNCIONAMIENTO	12
1.6 VENTAJAS DE LA COMUNICACIÓN HART	18
1.7 COMANDOS DEL PROTOCOLO, PROCEDIMIENTO DE TRANSACCIONES, CÓDIGO Y ESTRUCTURA DEL MENSAJE	21
1.8 CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS.....	30
1.9 INTEGRACIÓN DE DATOS HART	34
2. NUEVAS TECNOLOGÍAS HART	37
2.1 WIRELESS HART.....	37
2.2 HART – IP.....	45
3. PRÁCTICAS Y EQUIPOS LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN	47
3.1 PRACTICA BANCO DE FLUJO	48
3.1.1 BOMBA CENTRIFUGA	48
3.1.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	49
3.1.3 MANÓMETRO.....	50
3.1.4 VÁLVULA TIPO MARIPOSA	51

3.1.5	SENSOR DE FLUJO TIPO ELECTROMAGNÉTICO	51
3.1.6	VARIADOR DE VELOCIDAD	52
3.2	PRACTICA VÁLVULA ELECTRONEUMÁTICA PROPORCIONAL TIPO GLOBO	53
3.2.1	VÁLVULA TIPO GLOBO ELECTRONEUMÁTICA PROPORCIONAL.....	53
3.3	PRACTICA TABLERO DE INSTRUMENTOS ANALÓGICOS Y DIGITALES.....	54
3.3.1	Sensor de Temperatura RTDpt100 de 3 Hilos	54
3.3.2	Transmisor de Temperatura 4 a 20mA (0°C a 400 °C)	55
3.3.3	Indicador de Corriente de Lazo 4 a 20mA	55
3.3.4	Medidor Ultrasónico de Nivel, 0 a 10Vdc.....	56
3.3.5	Indicador de Voltaje	57
3.3.6	Óptico difuso	57
3.3.7	Indicador de Voltaje	57
3.3.8	Sensor Inductivo.....	57
3.3.9	Sensor Fotoeléctrico	57
3.3.10	Válvula Solenoide	57
3.3.11	SSR (Relé de estado Sólido)	57
3.3.12	Cilindro de Efecto Simple	57
3.3.13	Válvula Solenoide 3/2 (3 Vías 2 Posiciones)	57
3.3.14	Cilindro de Efecto Doble a través de una Válvula Solenoide 5/2 (5 Vías 2 Posiciones) .	57
3.3.15	Encoder Incremental con Doble Canal en Cuadratura de Fase	57
3.4	MODULO DE TEMPERATURA.....	57
3.4.1	RTDpt100 de 3 Hilos.....	57
3.4.2	Horno de bloque metálico Fluke 9142	57
3.5	MODULO DE PRESION Y FLUJO.....	57
3.5.1	Módulo de Presión	57
3.5.2	Válvulas reguladoras de presión	57
3.5.3	Convertidor I/P.....	57
3.6	MODULO DE PRESION	58
3.6.1	Transmisor indicador de presión relativa con lazo 4 a 20 mA + protocolo HART	58
3.6.2	Calibrador de procesos FLUKE 726.....	58

3.7 MODULO DE TERMOGRAFIA	58
3.7.1 Cámara Termográfica Fluke	58
 CONCLUSIONES	 59
 BIBLIOGRAFÍA.....	 61
 ANEXOS.....	 62
 ANEXO 1. GUIA DE LABORATORIO PROTOCOLO HART	 62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interoperabilidad del protocolo HART	8
Figura 2. Modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF).....	12
Figura 3. Métodos de modulación FSK.....	13
Figura 4. Dos canales de comunicación	15
Figura 5. Maestros primarios y secundarios	15
Figura 6. Configuración Punto a Punto	16
Figura 7. Configuración Multipunto	17
Figura 8. Cadena de bits HART	25
Figura 9. Formato del mensaje HART	26
Figura 10. Estructura del formato corto.....	28
Figura 11. Estructura del formato largo.....	28
Figura 12. Comunicadores portátiles HART	31
Figura 13. Conexión de un PC a un dispositivo HART	33
Figura 14. Integración de datos en HART.....	36
Figura 15. Ejemplo Red HART inalámbrica.	42
Figura 16. HART-IP entrega de información proveniente de dispositivos con cable e inalámbricos a aplicaciones de más alto nivel (SCADA, DCS, ERP, etc.).....	46
Figura 17. Bomba centrífuga.....	49
Figura 18. Tanque de almacenamiento.	50
Figura 19. Manómetro.....	50
Figura 20. Válvula tipo mariposa.....	51
Figura 21. Sensor De Flujo Tipo Electromagnético E+H.....	52
Figura 22. Variador de Velocidad.....	53
Figura 23. Válvula electro neumática proporcional tipo globo.....	53
Figura 24. Sensor de temperatura Pt100.....	54
Figura 25. Transmisor de temperatura 4 a 20 mA	55
Figura 26. Indicador de corriente de lazo 4 a 20 Ma.....	56

Figura 27.Medidor ultrasónico de nivel 56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Longitud del cable - pies (metros) para la comunicación HART	11
Tabla 2. Especificaciones de tiempo en modo de ráfaga.....	18
Tabla 3. Tipos de dispositivos habilitados con HART	21
Tabla 4. Comandos Universales	22
Tabla 5. Comandos de práctica común	23
Tabla 6. Valores del byte de inicio	27

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Guía de laboratorio Análisis del protocolo HART.....	62
---	----

GLOSARIO

Análoga Expresión numérica de una variable física para representar una cantidad.

Automatización Aplicación de procesos automáticos a un aparato, proceso o sistema.

Binario Sistema de numeración que usa solamente los números 0 y 1, También llamado sistema de base 2.

Bit Unidad de memoria más pequeña. Guarda solamente uno de los dos estados 1 o 0. (on/off, encendido/apagado etc.)

Bus de campo ("Field Bus") es un sistema de transmisión de datos que interconecta dispositivos industriales y elementos de control reemplazando al bucle de corriente de 4-20mA.

Byte Grupo de dígitos binarios operados como una sola unidad, regularmente consta de 8 bits.

Controlador Lógico Programable (PLC) Dispositivo industrial de estado sólido, el cual maneja señales de entrada/salida basado en una programación establecida.

Dirección Serie de números decimales, binarios etc., para identificar un dispositivo en especial.

Estándar Es un patrón de comparación. Sinónimo de norma.

Hart es un acrónimo en inglés para Transductor Remoto Direccional en Red.

Maestro-Esclavo Forma de comunicación entre dispositivos, en la cual solo una estación puede iniciar requisiciones y la otra responder.

Multidrop Una configuración de cableado en forma serial la cual conecta más de dos dispositivos en cadena.

Protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y normas que permiten que dos o más entidades de un sistema de comunicación se comuniquen entre ellos para transmitir información por medio de cualquier tipo de variación de una magnitud física. Se trata de las reglas o el estándar que define la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación, así como posibles métodos de recuperación de errores. Los protocolos pueden ser implementados por hardware, software, o una combinación de ambos.

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TITULO: ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE Y ANÁLISIS DEL PROTOCOLO HART

AUTOR: EDWIN FERNANDO GARCÍA CAMEJO

FACULTAD: INGENIERÍA ELECTRÓNICA.

DIRECTOR: JHON JAIRO PADILLA AGUILAR

Este proyecto hace un estudio técnico-descriptivo del protocolo HART y desarrolla una guía de laboratorio que servirá de apoyo a diferentes cursos de pregrado y posgrado. Durante el proyecto se profundizó en los diferentes modos de comunicación, modulación por desplazamiento de frecuencia, lazos de conexión, las redes HART, la estructura del mensaje HART y se realizó un análisis de las Tecnologías desarrolladas recientemente para este protocolo.

Inicialmente se realizó la consulta teórica en etapas cortas plenamente definidas, posteriormente entramos en detalle a sus aplicaciones y funciones en el campo experimental, y por último se realizaron pruebas en el laboratorio de instrumentación para comprobar lo investigado.

PALABRAS CLAVE: Protocolo, Modulación, Hart, Redes Industriales.

V°B° DIRECTOR DE LA MONOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del control en la industria va de forma paralela a las comunicaciones. Cada vez es más necesario tener dispositivos inteligentes los cuales son los encargados de supervisar los procesos por medio de los buses de campo.

Un bus de campo es un conjunto de redes de comunicación para uso industrial, cuyo objetivo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional bucle de corriente de 4-20mA.[1]

Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y sensores. Cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, que lo convierte en un dispositivo inteligente, manteniendo siempre un coste bajo. Cada uno de estos elementos será capaz de ejecutar funciones simples de autodiagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus.

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

monitorización permite aumentar la eficiencia del sistema y reducir la cantidad de horas de mantenimiento necesarias.

El protocolo de comunicación HART es mundialmente reconocido como un protocolo estándar de la industria para comunicación de los instrumentos de campo inteligentes 4-20mA, basados en microprocesador. El uso de esta tecnología está creciendo rápidamente y hoy en día prácticamente todos los principales fabricantes del mundo de instrumentación ofrecen productos con comunicación HART.

El protocolo HART permite la superposición de señal de comunicación digital a las señales analógicas de 4-20mA, sin interferencia, en el mismo cableado. El protocolo HART proporciona algunos de los beneficios dados por la tecnología fieldbus, manteniendo la compatibilidad con la instrumentación analógica y aprovechando el conocimiento ya dominado sobre los sistemas 4-20mA existentes.[1]

Este proyecto de grado proporciona un panorama del protocolo de comunicación HART analizaremos cómo trabaja la comunicación HART, y mediante una práctica de laboratorio evidenciaremos su funcionamiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar una guía de laboratorio Teórico - Práctica con el fin de dar a conocer detalladamente el protocolo HART aprovechando los recursos disponibles en el laboratorio de instrumentación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el estudio teórico del protocolo HART.
- Conocer los equipos disponibles en el laboratorio de instrumentación para desarrollar la práctica de laboratorio.
- Investigar las producciones intelectuales relacionadas con el protocolo de comunicaciones HART.
- Clasificar los diferentes avances y mejoras del protocolo HART.

CONCEPTOS GENERALES

1. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN HART

1.1 HISTORIA

El protocolo de comunicación HART (Highway Adressable Remote Transducer). Fue desarrollado por Rosemount Inc a mediados de 1980 como propietario digital para sus instrumentos de campo inteligentes. Este se basó en el estándar de comunicación telefónica Bell 202. Pronto adquirió su nombre definitivo: HART y en 1986 pasó a ser un protocolo abierto.

En el año 1993 se estableció The HART Communication Foundation, con sede principal en los Estados Unidos. Esta es una fundación independiente, sin fines de lucro, que se encarga de brindar soporte mundial a desarrollos HART, así como también de establecer las especificaciones del protocolo y las normas que lo rigen. [2]

1.2 DEFINICION

HART ("transductor remoto direccionable de alta velocidad") es un protocolo de comunicación diseñado para aplicaciones de medición y control de procesos industriales. [3]

Ofrece la mejor solución para obtener información con valor agregado de diagnósticos y de dispositivos en forma digital mientras se mantiene la compatibilidad con las arquitecturas de automatización de 4-20 mA disponibles.

Es un protocolo híbrido llamado así porque combina comunicación analógica y digital. Puede comunicar una sola variable usando una señal analógica de 4-20 mA, mientras comunica también información agregada sobre una señal digital. La información digital es transportada por una modulación de bajo nivel superpuesta en un lazo de corriente estándar de 4 a 20 mA.

La señal digital no afecta la lectura analógica porque se remueve de la señal analógica mediante técnicas estándar de filtrado.

La habilidad de llevar esta información digital agregada es la base de los beneficios clave de HART.

1.3 CARACTERÍSTICAS ¹

1.3.1 Comunicación bidireccional

Al usar una señal analógica, la información se envía en una sola dirección, ya sea del dispositivo al host (entradas) o del host al dispositivo (salidas).

La información digital, por otro lado, puede viajar en ambas direcciones usando la señal de comunicación digital HART.

Esto abre un nuevo camino para un instrumento que tradicionalmente sólo recibe información de señal de control desde un host (un controlador de válvula, por ejemplo) para enviar también información al host acerca de lo que está pasando en la válvula.

¹ Sección de características tomada de la página web de Emerson process, Consulta 18 febrero 2015, URL: http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/EngSch-Buses_201_es.pdf

De manera similar, un transmisor que tradicionalmente sólo envía una variable de proceso al host, ahora también puede recibir información tal como ajustes de configuración. [3]

1.3.2 Nuevos tipos de información

Los dispositivos analógicos y discretos tradicionales comunican sólo una variable de proceso y usted normalmente no tendría una manera sencilla de saber si la información que están enviando es válida.

Con HART, se recibe la variable de proceso, pero también otros tipos de información.

Ejemplos:

- Estado de dispositivo & Alertas de diagnóstico
- Variables de proceso & Unidades
- Corriente de lazo & % de Rango
- Parámetros básicos de configuración
- Fabricante & Etiqueta de dispositivo

Con información adicional como ésta, los dispositivos HART que son sondeados digitalmente por un host le pueden decir si están configurados correctamente y operando correctamente.

Esto elimina la necesidad de la mayoría de las revisiones de rutina y ayuda a detectar condiciones de falla antes de que éstas provoquen un mayor problema en el proceso.

1.3.3 Instrumentos multivariables

En modo digital, un solo par de hilos puede manejar múltiples variables. Por ejemplo, un transmisor podría manejar entradas provenientes de múltiples sensores. [3]

Para los sistemas host que no pueden usar la información digital HART, la información proveniente de instrumentos multivariables a menudo es manejada primero por un dispositivo (llamado tri-loop) que convierte la información digital en múltiples señales de 4-20 mA que luego se envían al host en forma independiente.

1.3.4 Independencia de proveedor

Con HART, no hay peligro de bloquearse con limitados “estándares” regionales o específicos a un proveedor.

Eso es porque la tecnología HART no es propiedad de una compañía individual, ni está regulada por una sola nación o cuerpo de estándares. En lugar de eso, la tecnología es administrada por la HART Communications Foundation que es una fundación independiente no lucrativa.

1.3.5 Amplio suministro

HART es actualmente el protocolo con más soporte mundial para la industria de procesos. Casi 600 productos basados en HART están disponibles de diferentes proveedores.

Esta amplia gama de productos disponibles significa que es muy probable que haya un producto HART para casi cualquier aplicación de proceso para escoger de una selección de proveedores.

1.3.6 Interoperabilidad

Interoperabilidad simplemente significa que los dispositivos y sistemas host que cumplen con HART (Figura 1), sin importar de qué proveedor sean, pueden trabajar juntos.

Algunos sistemas host usan comandos universales de práctica común para trabajar con dispositivos HART. Otros van un paso más allá al usar también descripciones de dispositivo para comprender todos los mensajes HART.

Incluso los hosts que no están diseñados para manejar la información digital de un dispositivo HART pueden tener compatibilidad de control a través de la señal analógica de 4-20 mA. [3]

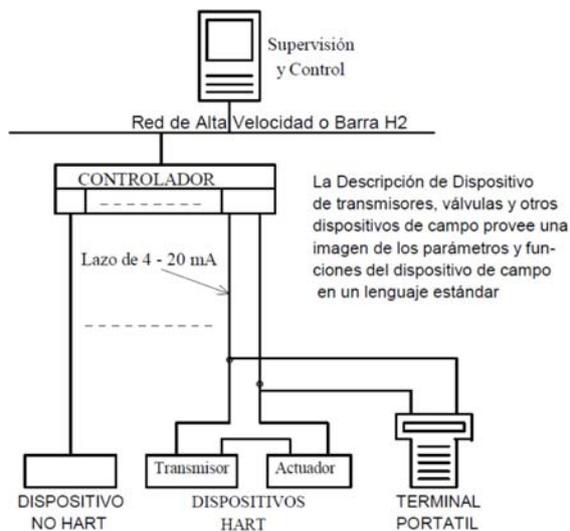


Figura 1. Interoperabilidad del protocolo HART ²

² M., J. E. (2005). TRANSMISIÓN DE DATOS (Digital 2005 ed.). Merida, VENEZUELA: Taller de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, ULA.

1.4 ESPECIFICACIONES

1.4.1 Actualización

El Protocolo HART se desarrolló a finales de la década de 1980 y fue transferido a la Fundación HART a principios de la década de 1990. Desde entonces se ha actualizado varias veces. Cuando se actualiza el protocolo, se hace de manera que asegura la compatibilidad con versiones anteriores. La versión actual del Protocolo HART es la revisión 7.3. El "7" denota el nivel de revisión mayor y el "3" denota el nivel de revisión menor.

1.4.2 HART y el modelo OSI

El Protocolo HART implementa la arquitectura jerárquica 1, 2, 3, 4 y 7 del modelo de protocolo de 7 niveles de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI)

1.4.2.1 El Nivel Físico

HART está basado en la norma Bell 202, usa la modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF) para comunicarse a 1200 bps. Las frecuencias de señal que representan los valores de bit 0 y 1 son 2200 y 1200 Hz respectivamente. Esta señal se superpone a un nivel bajo en la señal de medición analógica de 4 a 20 mA sin causar ninguna interferencia con la señal analógica.

1.4.2.2 El nivel de Enlace de Datos

HART define un protocolo maestro-servidor - en uso normal, un dispositivo de campo sólo contesta cuando le hablan. Puede haber dos maestros, por ejemplo, un sistema de control como maestro primario y un comunicador portátil HART como maestro secundario. Las reglas de tiempo definen

cuando puede cada maestro iniciar una transacción de comunicación. Se pueden conectar hasta 15 o más dispositivos servidores a un par individual de cable multipunto.

1.4.2.3 El Nivel de red

El Nivel de red suministra enrutamiento, seguridad de punta a punta y servicios de transporte. Éste gestiona "sesiones" para comunicación de punta a punta con los dispositivos correspondientes.

1.4.2.4 El nivel de transporte

El nivel de transporte: El Nivel de Enlace de Datos asegura que las comunicaciones sean propagadas correctamente de un dispositivo a otro. El Nivel de Transporte se puede usar para asegurar que la comunicación de punta a punta sea correcta.

1.4.2.5 El Nivel de Aplicación

El Nivel de Aplicación define los comandos, respuestas, tipos de datos e informes de estado respaldados por el Protocolo. En el Nivel de Aplicación, los comandos públicos del protocolo se dividen en cuatro grupos principales:

- I. Comandos universales - suministran funciones que se pueden implementar en todos los dispositivos de campo.
- II. Comandos de Práctica Común - suministran funciones comunes para muchos, pero no para todos los dispositivos de campo.
- III. Comandos Específicos para Dispositivo - suministran funciones que son únicas para un dispositivo de campo en particular y son especificadas por el fabricante del dispositivo.

- IV. Comandos para Familia de Dispositivos - suministran un juego de funciones estandarizadas para instrumentos con tipos particulares de medición y permiten el acceso genérico total sin usar comandos específicos para un dispositivo.

1.4.3 Longitud del cable

La mayoría de las instalaciones están dentro del límite teórico de los 3.000 metros (10.000 pies) para la comunicación HART. Sin embargo, las características eléctricas del cable - sobre todo su capacitancia - y la cantidad de dispositivos conectados pueden afectar la longitud máxima permitida del cable. La tabla 1 muestra el efecto de la capacitancia del cable y el número de dispositivos de red en la longitud del cable.

Esto se basa en dispositivos HART típicos en entornos no IS, o seguridad intrínseca, lo que significa que no hay impedancia en serie miscelánea. La información detallada para determinar la longitud máxima del cable para cualquier configuración de red HART se encuentra en las Especificaciones del nivel físico HART.

No. Network Devices	Cable Capacitance - pf/ft (pf/m)			
	20 pf/ft (65 pf/m)	30 pf/ft (95 pf/m)	50 pf/ft (160 pf/m)	70 pf/ft (225 pf/m)
1	9,000 ft (2,769 m)	6,500 ft (2,000 m)	4,200 ft (1,292 m)	3,200 ft (985 m)
5	8,000 ft (2,462 m)	5,900 ft (1,815 m)	3,700 ft (1,138 m)	2,900 ft (892 m)
10	7,000 ft (2,154 m)	5,200 ft (1,600 m)	3,300 ft (1,015 m)	2,500 ft (769 m)
15	6,000 ft (1,846 m)	4,600 ft (1,415 m)	2,900 ft (892 m)	2,300 ft (708 m)

Allowable cable lengths for 1.0mm (#18 AWG) shield twisted pair

Tabla 1. Longitud del cable - pies (metros) para la comunicación HART

1.5 FUNCIONAMIENTO

1.5.1 Modulación por desplazamiento de frecuencia

El Protocolo HART usa la norma Bell 202 Modulación por desplazamiento de frecuencia o MDF (Figura 2) para empalmar señales digitales de comunicación a bajo nivel sobre 4 a 20 mA. Un cero lógico es representado por una frecuencia de 2200 Hz, y el uno lógico por 1200 Hz.

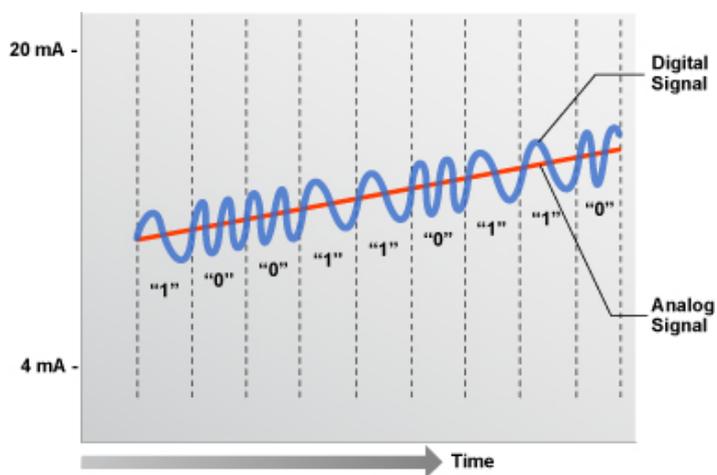


Figura 2. Modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF)³

Esto permite la comunicación bidireccional en campo y hace posible la transmisión de información adicional más allá de sólo las variables normales de proceso comunicadas de y hacia un instrumento inteligente de campo. El Protocolo HART se comunica a 1200 bps sin interrumpir la señal de 4 a 20 mA y permite a la aplicación central (maestra) obtener dos o más actualizaciones digitales por segundo de un dispositivo inteligente de campo. Ya que la señal digital MDF es de fase continua no hay interferencia con la señal de 4 a 20 mA.

³ Sección de características tomada de la página web de Emerson process, Consulta 18 febrero 2015, URL: http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/EngSch-Buses_201_es.pdf

La Modulación por desplazamiento de frecuencia o FSK, (Frequency Shift Keying) es una técnica de transmisión digital de información binaria (ceros y unos) utilizando dos frecuencias diferentes. La señal moduladora solo varía entre dos valores de tensión discretos formando un tren de pulsos donde un cero representa un "1" o "marca" y el otro representa el "0" o "espacio" (Figura 3).

En la modulación digital, a la relación de cambio a la entrada del modulador se le llama bit-rate y tiene como unidad el bit por segundo (bps).⁴

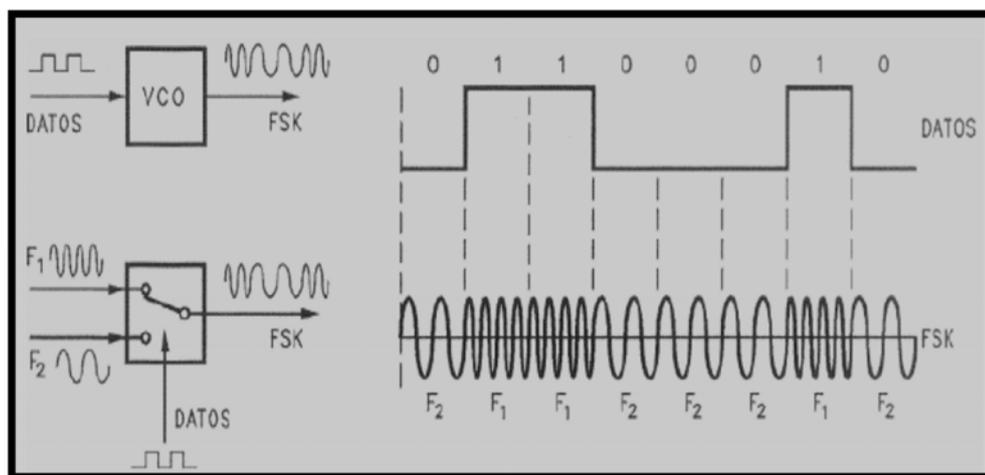


Figura 3. Métodos de modulación FSK

En FSK, el bit rate = baud rate. Así, por ejemplo, un 0 binario se puede representar con una frecuencia **F1**, y el 1 binario se representa con una frecuencia distinta **F2**.

⁴ Sección de modulación FSK tomada de la página web teleprospero, Consulta 19 febrero 2015, URL: <http://teleprospero.blogspot.com/2012/02/modulacion-por-desplazamiento-de.html>

El módem usa un **VCO**, que es un oscilador cuya frecuencia varía en función del voltaje aplicado.

1.5.2 Modos de comunicación ⁵

La Tecnología HART es un protocolo maestro/servidor, lo cual significa que un dispositivo inteligente de campo (servidor) sólo habla cuando le habla un maestro. El Protocolo HART se puede utilizar en diversos modos, como punto a punto o multipunto para transmitir información hacia y desde los instrumentos inteligentes de campo y el control central o los sistemas de monitoreo.

La comunicación HART se produce entre dos dispositivos habilitados con HART, típicamente un dispositivo de campo inteligente y un sistema de control o monitoreo (Figura 4).

La comunicación se produce mediante un cable de instrumentación de calidad estándar y el uso de prácticas de cableado y terminación estándar.

El protocolo HART proporciona dos canales de comunicación simultáneos: la señal analógica de 4 a 20 mA y una señal digital. La señal de 4 a 20 mA comunica el valor primario medido (en el caso de un instrumento de campo) con el circuito de corriente 4 a 20 mA, el estándar más rápido y más fiable de la industria. Información adicional del dispositivo se comunica mediante una señal digital que se superpone a la señal analógica.

⁵ Sección de módulos de comunicación tomada de la página web de Hart, Consulta 19 febrero 2015, URL: http://sp.hartcomm.org/hcp/tech/aboutprotocol/aboutprotocol_how.html

La señal digital contiene la información del dispositivo incluyendo el estado del dispositivo, diagnóstico, valores medidos o calculados adicionales, etc. Juntos, los dos canales de comunicación proporcionan una solución completa de comunicación de campo muy robusta a bajo costo que es fácil de usar y configurar.

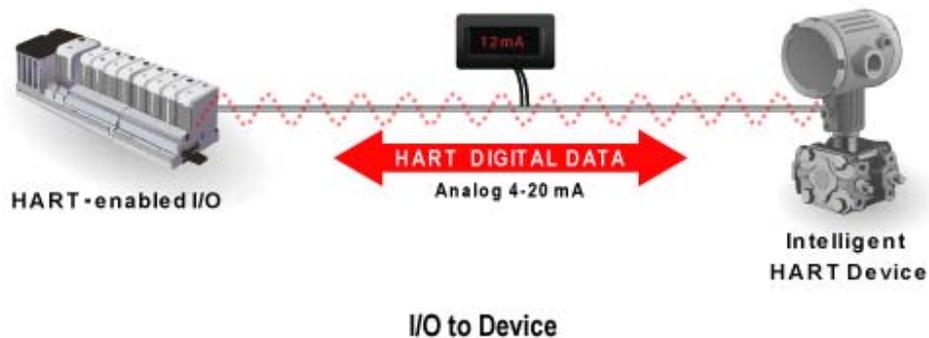


Figura 4. Dos canales de comunicación

El Protocolo HART suministra hasta dos maestros (primario y secundario) (Figura 5). Esto permite usar maestros secundarios como comunicadores de mano sin interferir con las comunicaciones desde y hasta el maestro primario, es decir, el sistema de control / monitoreo.

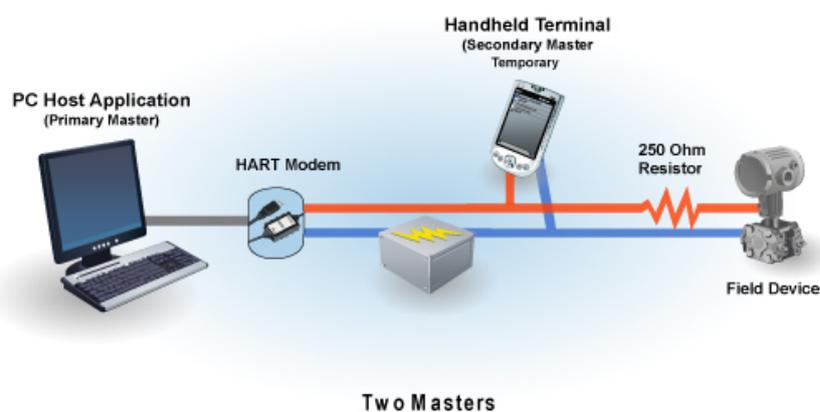


Figura 5. Maestros primarios y secundarios

El protocolo HART permite toda la comunicación digital con los dispositivos de campo en configuración de red punto a punto, multipunto y ráfaga.

1.5.2.1 Comunicación Punto a Punto

En el modo Punto a Punto, la señal tradicional de 4-20 mA es usada para comunicar una variable de proceso mientras otras variables adicionales - parámetros de configuración y otras informaciones de aparato- son transmitidas digitalmente usando el protocolo HART (Figura 6). La señal análoga de 4-20 mA no es afectada por la señal HART y puede ser usada para el monitoreo o control en la forma normal. La señal de comunicación digital HART le da acceso a variables secundarias y a otras informaciones, que pueden ser usadas para propósitos de operación, mantención y diagnóstico.

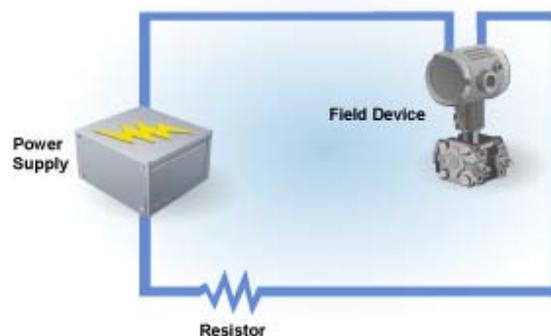


Figura 6. Configuración Punto a Punto

1.5.2.2 Comunicación Multipunto

El modo Multipunto requiere solamente un par de alambres y si es aplicable, el lazo también puede tener barreras de seguridad y fuentes de poder auxiliares para hasta 15 aparatos de terreno (Figura 7). Todos los valores de proceso son transmitidos digitalmente; en el modo Multipunto, las direcciones

de "Polling" de los aparatos de terreno son mayores que 0 y la corriente a través de cada equipo está fijada a un mínimo valor (típicamente 4 mA).

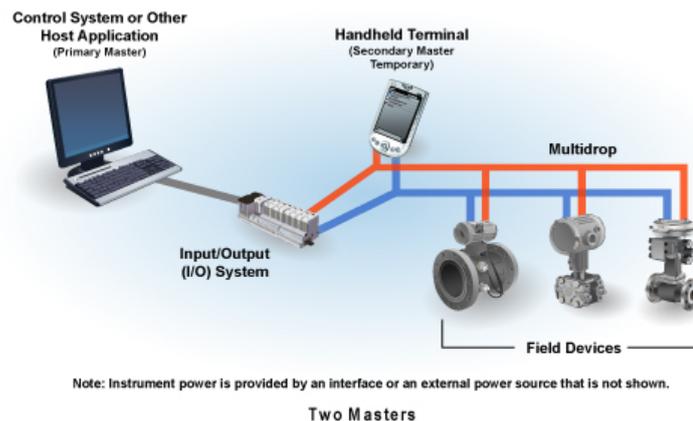


Figura 7. Configuración Multipunto

1.5.2.3 Comunicación ráfaga

Para lograr una tasa de transmisión de datos mayor, algunos dispositivos utilizan el modo ráfaga. Cuando un dispositivo se encuentra en este modo envía un mensaje repetidas veces. Este modo se activa y desactiva mediante comandos especiales.

Existe una pequeña pausa entre mensaje y mensaje, para permitir que el maestro envíe la señal de desactivación, o para iniciar cualquier otra transacción simple.

Este modo solo funciona para la configuración punto a punto, y se pueden enviar más de tres mensajes por segundo. En la tabla 2 se encuentran las especificaciones de tiempo para los mensajes en modo de ráfaga.

Dispositivo y tipo de mensaje	Intervalo t	
El maestro primario envía un comando El maestro secundario envía un comando Esclavo en modo BURST envía mensaje	>=305 ms >=380 ms >= 305 ms	Después de que la línea esta desocupada
Maestro sincronizado envía comando	20* – 75 ms >= 75 ms	Después de la respuesta al otro maestro Después de la respuesta a si mismo
Esclavo, modo normal, responde comando	0-256 ms	Después del comando
esclavo en modo BURST envía mensaje	75-256 ms 0-20 ms	Después de su mensaje anterior Después de que responde al comando Inicial "activar el modo BURST", después de la respuesta a otro comando,

Tabla 2. Especificaciones de tiempo en modo de ráfaga

1.6 VENTAJAS DE LA COMUNICACIÓN HART

La tecnología HART puede ayudar a:

- Aprovechar las capacidades de un juego completo de datos de dispositivos inteligentes para mejoras operativas.
- Tener advertencia temprana de variaciones en el rendimiento de dispositivos, productos o procesos.
- Acelerar el tiempo de identificación y corrección de problemas entre el diagnóstico y la solución.
- Validar en forma continua la integridad de los circuitos y estrategias del sistema de control / automatización.
- Aumentar la productividad del equipo y disponibilidad del sistema.
- Aumentar la disponibilidad de la planta.
- Integrar dispositivos y sistemas para detección de problemas previamente no detectables.
- Detectar en tiempo real problemas de conexión de dispositivos y/o procesos.
- Minimizar el impacto de desviaciones al tener advertencias nuevas y oportunas.

- Evitar el alto costo de paros o interrupción de procesos no programados.
- Reducir los costos de mantenimiento.
- Verificación rápida y validación de circuitos de control y configuración de dispositivos.
- Uso de diagnóstico remoto para reducir las pruebas de campo innecesarias.
- Captura de datos de tendencias de rendimiento para diagnóstico de mantenimiento predictivo.
- Reducción del inventario de refacciones y costos de administración de dispositivos.
- Mejorar el cumplimiento reglamentario.
- Activar la documentación automatizada para datos de cumplimiento.
- Facilitar la prueba de paros automáticos de seguridad.
- Elevar el nivel de integridad de seguridad (SIL) con diagnósticos avanzados.
- Tomar ventaja de dispositivos inteligentes multivARIABLES para informes más precisos y completos.

Las características estándar de la tecnología HART van desde la compatibilidad simple con las redes análogas de 4 a 20 mA existentes a una amplia selección de productos:

- Compatibilidad con alambrado de 4 a 20 mA estándar
- Transmisión simultánea de datos digitales
- Simplicidad a través de interfaces por menús intuitivos
- Reducción de riesgo a través de un protocolo robusto y preciso
- Facilidad de implementación para máxima efectividad de costo "de entrada"

- Amplia selección de productos, con dispositivos compatibles y aplicaciones de software de la mayoría de los proveedores de automatización de procesos
- Independencia de plataforma para interoperatividad total en entornos multiproveedor

Soporte alrededor del mundo por los principales proveedores:

La mayoría de los principales proveedores de instrumentación de procesos y sistemas de control del mundo, que abarcan a la mayoría de las soluciones de la industria, ofrecen soporte activo para la tecnología HART (Tabla 3). Hay más de 1300 dispositivos registrados en 24 categorías de dispositivos manufacturados por más de 300 miembros de la Fundación de Comunicación HART.

Tipos de dispositivos habilitados con HART	
Categoría de dispositivo	Núm. de dispositivos
Actuador	11
Analítico	267
Calibrador	8
Control	12
DCS	6
Densidad	12
Servicios y herramientas para desarrollo	30
Flujo	228
Portátil de mano	13
Sistema E/S	46
Barrera IS	25
Aisladores (IS)	47

Nivel	217
Módem	30
Módem CI (tarjetas)	8
Monitor de circuito	4
Multiplexor / Pasarela	16
Posicionadores - Válvula	77
Transmisores de presión	140
Software	35
Temperatura	116
WirelessHART adaptador	11
WirelessHART pasarela	9

Tabla 3. Tipos de dispositivos habilitados con HART

1.7 COMANDOS DEL PROTOCOLO, PROCEDIMIENTO DE TRANSACCIONES, CÓDIGO Y ESTRUCTURA DEL MENSAJE⁶

En esta sección se describe de modo más detallado la transacción de datos entre dispositivos Hart y la estructura de los mensajes, esto corresponde a la capa 2 del protocolo de referencia o modelo OSI.

Hart, como se ha mencionado, es un protocolo de maestro-esclavo. Esto significa que cada transacción es originada por el maestro, el dispositivo de campo o esclavo solo responde cuando recibe un comando con su dirección.

En la respuesta del esclavo se incluye un comando recibido, y puede que contenga los datos requeridos por el maestro. En el caso de que exista un

⁶ Sección 1.7 tomada de Communication Foundation. "HART Application Guide", consultado 9 de febrero de 2015, Disponible en internet, URL: <http://www.hartcomm.org/>

maestro secundario, estos tiene direcciones diferentes, por lo cual pueden distinguir si la respuesta es para el principal o secundario.

1.7.1 Comandos del protocolo HART

Para llevar a cabo diferentes funciones preestablecidas, el protocolo utiliza comandos, que se dividen en tres grupos:

1.7.1.1 Comandos universales

Provee funciones que están implementadas en todos los dispositivos de campo, por ejemplo: fabricante, modelo, fecha, estado del dispositivo, etc.

Los comandos universales se encuentran entre 0 y 30. Estos proveen funciones que son implementadas en todos los dispositivos Hart. La tabla 4 contiene un resumen de estas funciones.

Comandos	Función
0,11	Identificar dispositivo (fabricante, tipo de dispositivo, etiqueta de revisión)
1,2,3	Leer variables medidas
6	Establecer dirección de escaneo.(y modo multipunto).
12,13,17,18	Leer y escribir información introducida por el usuario (tag, fecha,mensaje)
14,15	Leer información del dispositivo (numero serial del sensor, límites del sensor, operación de alarma, valores del rango, función de transferencia, constante de tiempo de muestreo)
16,19	Leer y escribir número final de ensamble.

Tabla 4. Comandos Universales

1.7.1.2 Comandos de práctica común

Estos se encuentran en el rango 32 a 126. Proveen funciones comunes a muchos dispositivos de campo. Si estas funciones son implementadas en el dispositivo, estos comandos deben ser utilizados para invocarlas.

Ejemplo: lectura de variables del dispositivo, calibración (cero y span), cambio de unidades de ingeniería, etc.

En la tabla 5 se observa un resumen de dichos comandos.

Comandos	Función
33,61,110	Leer variables medidas
34-37,44,47	Establecer parámetros de operación (rango, unidades, función de transferencia)
38	Reiniciar la bandera de "Configuración modificada".
39	Control de la EEPROM
40-42	Funciones de diagnóstico (modo de corriente fija, auto prueba, reset)
43,45-46	Ajuste de la entrada y salida analógica.
48	Leer estados adicionales.
49	Escribir el número serial del sensor.
50-56	Uso de variable del transmisor.
57-58	Información de la unidad (tag, descriptor, fecha).
59	Escribir el número de bytes de preámbulo necesarios.
60,62-70	Uso de múltiples salidas analógicas.
107-109	Control del modo ráfaga.

Tabla 5. Comandos de práctica común

1.7.1.3 Comandos específicos

Los comandos específicos de dispositivo se encuentran en el rango 128 a 253. Sus funciones son más o menos únicas para cada dispositivo. En la revisión 4 y anteriores, los comandos específicos de dispositivo siempre incluían el código del tipo de dispositivo como el primer byte del campo de

datos, para asegurarse de que un comando nunca llegara a un dispositivo no compatible. Esto fue abandonado en la revisión 5, cuando se incluyó el número identificador único, que cumple con la misma función.

Ejemplo: opciones de calibración, conversión de unidades de ingeniería, etc.

1.7.2 La señal física

Esta se refiere a la capa 1 del modelo de protocolos OSI. Se basa en el procedimiento de transacción de datos a la estructura de los mensajes, describiendo a detalle el contenido de cada byte.

1.7.3 Niveles de la señal

La especificación HART es que los maestros deben transmitir una señal de voltaje, sin embargo el esclavo maneja una señal de corriente. La señal de corriente se convierte a señal de voltaje mediante una resistencia de carga, de modo que todos los dispositivos utilizan receptores pasivos.

1.7.4 Procedimiento de transacción

HART es un protocolo Half-Duplex, con lo cual se quiere decir que al terminar cada mensaje, la portadora debe ser desactivada para permitir que la otra estación transmita. Las reglas de tiempo de la portadora establecen que la portadora debe ser activada no más del tiempo de 5 bits antes del inicio del mensaje (preámbulo) y ser desactivada no más del mismo tiempo después de la transmisión del último byte del mensaje (la suma de verificación).

El maestro es el responsable de las transacciones de mensajes. Si no hay respuesta a un comando dentro de cierto tiempo, el maestro debe

retransmitir el mensaje. Después de unos cuantos intentos debe abandonar la transacción y notificar el problema. La longitud y retardo típicos de los mensajes, permiten dos transacciones por segundo.

1.7.5 Codificación de caracteres

Hart codifica los mensajes como series de 8 bits. Estos se transmiten de modo serial, utilizando una "UART" (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) para serializar cada byte, añadiendo un bit de inicio, uno de paridad y uno de fin, esto permite que la UART receptora identifique el inicio de cada caracter, y detecte errores en la transmisión. Se muestra la cadena completa de bits en la figura 8.

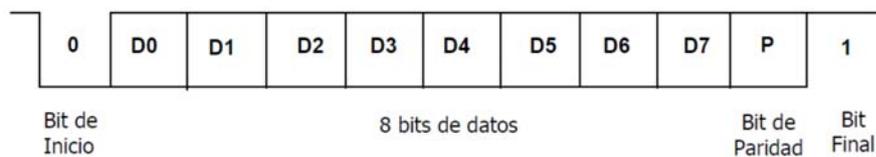


Figura 8. Cadena de bits HART

El bit menos significativo, D0 se envía primero. La mayoría de los protocolos seriales permiten pausas entre los caracteres; esto no es posible en Hart debido a las especificaciones de tiempo, de ocurrir dicho retraso se asume que la comunicación no fue establecida.

1.7.6 Formato del mensaje

El mensaje tiene un formato como el observado en la figura 9.

Preámbulo	Inicio	Dirección	Comando	Cuenta bytes	Estado	Datos	Suma de Verificación
------------------	---------------	------------------	----------------	---------------------	---------------	--------------	-----------------------------

Figura 9. Formato del mensaje HART

Existen el formato largo y el formato corto. Los primeros instrumentos Hart (inclusive la revisión 4) siempre utilizaron el formato corto. En este formato, la dirección del esclavo un byte, de valor cero, para configuración punto-punto o del 0 al 15 para configuración multipunto. Esta corta dirección se denomina dirección multipunto. La revisión 5 introduce el formato largo. En este, la dirección del esclavo es un número de identificación único, un número de 38 bits derivado del código del fabricante, el código del tipo de dispositivo y el número de identificación del dispositivo. Este formato impide que los esclavos tomen mensajes que no le corresponden. De un modo estricto, el identificador único, no es único, puede haber hasta cuatro veces el mismo número, ya que del código del fabricante solo se toman 6 bits, cuando el número en realidad consta de 8 bits.

La mayoría de los dispositivos maestros deben incluir ambos formatos en su totalidad, de modo que puedan trabajar correctamente con los dispositivos ya existentes así como con los nuevos. La revisión 5 establece que todos los dispositivos deben implementar el comando #0 (leer identificación única) en ambos formatos del mensaje. Un maestro normalmente utilizará el comando # 0 para la primera conexión con el dispositivo, ya que en ese momento el número único de identificación no se conoce, sin embargo como el mensaje también incluye el nivel de revisión de HART, el maestro sabrá que formato deberá utilizar.

1.7.6.1 Preámbulo

Permite que el receptor sincronice la frecuencia de la señal con la cadena de caracteres que recibe, después de la detección inicial del mensaje. Contiene de 5 a 20 bytes con caracteres hexadecimales.

1.7.6.2 El inicio

El caracter de inicio en Hart tiene diversos valores posibles, indicando cual formato está siendo utilizado, la fuente del mensaje, y si es o no un mensaje tipo ráfaga. Estos se muestran en la tabla 6.

Tipo de mensaje	Formato corto	Formato largo
Maestro a esclavo	2	82
Esclavo a maestro	6	86
Mensaje BURST del esclavo	1	81

Tabla 6. Valores del byte de inicio

Cuando están en espera de un mensaje, los receptores se encuentran en la búsqueda de estos caracteres, como el primer caracter después de por lo menos dos caracteres FF, para indicar el inicio del mensaje.

1.7.6.3 La dirección

El campo de dirección contiene tanto la dirección del maestro como la del esclavo del mensaje enviado. Está contenida en un byte, para el formato corto y en 5 bytes para el formato largo. El bit más significativo de la dirección, indica si el maestro es el primario (1) o el secundario (0). Los mensajes de tipo ráfaga son una excepción, en la cual el dispositivo alterna ambas direcciones, lo que le da oportunidad a ambos maestros de

interrumpir. También en ambos formatos, el bit que le sigue al más significativo indica si el mensaje proviene de un dispositivo en modo ráfaga, lo que no implica que el mensaje sea de tipo ráfaga. En el formato corto (Figura 10), los dispositivos esclavos tienen direcciones de la cero a la quince. Este número se incluye de modo binario en los 4 bits menos significativos del byte de dirección. En el formato largo (Figura 11), la dirección de multipunto no es utilizada, en cambio, los 38 bits restantes de los cinco bytes del campo de direcciones contienen el identificador único como una dirección. En las siguientes figuras se puede observar la estructura de las direcciones.

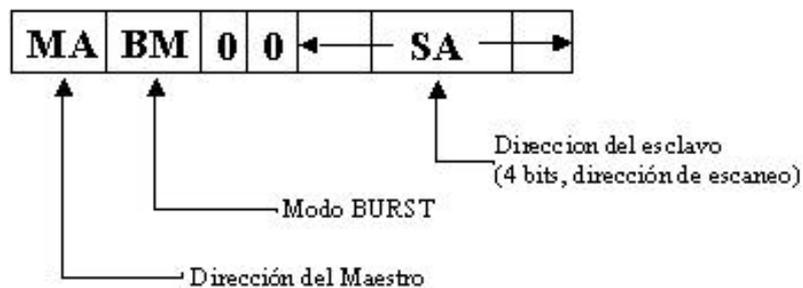


Figura 10. Estructura del formato corto

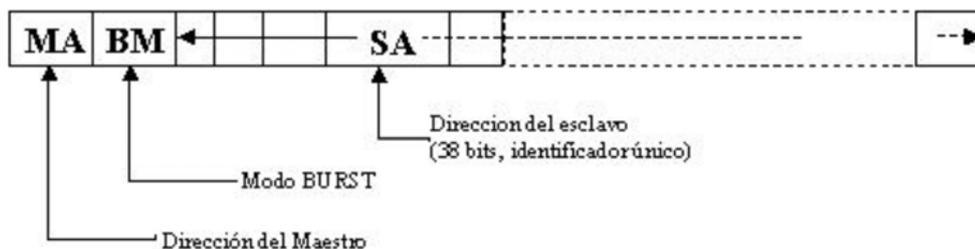


Figura 11. Estructura del formato largo

En la estructura de formato largo, si se asigna cero a todos los bits, se puede utilizar como un mensaje de transmisión sin destinatario específico, un mensaje que sea aceptado por todos los dispositivos; esto es solo posible si los datos en el mensaje determinan cuál de los dispositivos debe responder.

1.7.6.4 El comando

Contiene un entero del 0 al hexadecimal FD o al decimal 253, y representa la acción a realizar. El comando recibido se incluye en la respuesta del esclavo al ser enviada.

1.7.6.5 Cuenta de bytes

Indica el número de bytes que forman el resto del mensaje. El receptor lo utiliza para identificar el byte de suma de verificación y saber cuándo el mensaje está completo.

Este campo contiene un entero, que indica el número de bytes que forman el resto del mensaje (eso es los campos de estado y de datos, la suma de verificación no se incluye). Como el campo de datos está limitado a 25 bytes máximo, esta cuenta puede ser cualquier número entre 0 y 27.

1.7.6.6 El estado

Consta de dos bytes que reportan cualquier error de comunicación, el estado del comando recibido, y el estado de operación del esclavo. También es conocido como “código de respuesta”, y solo se incluye en el mensaje de respuesta de un esclavo.

1.7.6.7 Los datos

Los datos pueden estar en forma de enteros sin signo, números de punto flotante o cadenas de caracteres ASCII. El número y el formato de bytes, depende del comando recibido.

1.7.6.8 Suma de verificación

Contiene el OR exclusivo de todos los bytes que le preceden en el mensaje, comenzando con el caracter de inicio.

Esto provee un segundo chequeo para la integridad de la transmisión después del de paridad por byte. La combinación de estos dos garantiza la detección de hasta tres errores en un mensaje y tiene buenas probabilidades de detectar errores en más bits.

1.8 CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS

La tecnología HART permite varias maneras de llegar a la información en un dispositivo. Esto se puede hacer utilizando una conexión física permanente o temporal.

Es posible acceder a todos los datos HART de un dispositivo compatible con HART desde cualquier lugar de la señal de 4-20 mA. La conexión no tiene que ser en las terminales en el dispositivo. Esta característica reduce el número de viajes a campo ya que el acceso se puede hacer en el panel de relés o de terminación.

Las razones para comunicarse con un dispositivo específico son:

- Configuración del dispositivo
- Diagnóstico del dispositivo
- Identificación y corrección de problemas del dispositivo
- Verificación de integridad del circuito
- Identificación y corrección de problemas de procesos

Un dispositivo compatible con HART se puede configurar mediante las herramientas de hardware y software proporcionadas por las empresas afiliadas a la Fundación de Comunicación HART.

Algunos sistemas de control, gestión de activos o seguridad ofrecen la capacidad de conexión permanente para configuración de dispositivos.

Para configurar un dispositivo se necesita una herramienta universal de configuración de mano, una fuente de alimentación, un resistor de carga y un dispositivo compatible con HART. La configuración también se puede lograr usando un PC con una aplicación de configuración del dispositivo y utilizar un módem HART.

1.8.1 Comunicadores universales portátiles

Las ventajas de utilizar un comunicador de mano (Figura 12), son la portabilidad y, potencialmente, la capacidad de operar en entornos adversos.



Figura 12. Comunicadores portátiles HART

Los comunicadores HART portátiles están disponibles de los principales proveedores de instrumentación en todo el mundo y son apoyados por las empresas afiliadas a la Fundación. Mediante el uso de archivos de Descripción de Dispositivos (DD), el comunicador puede configurar completamente cualquier dispositivo HART para el que ha instalado una DD. Si el comunicador no tiene la DD para un dispositivo específico, todavía se comunica y configura el dispositivo a través de los comandos Universales y de práctica común de HART, pero no puede acceder a los comandos específicos adicionales o de dispositivos disponibles en el dispositivo.

Hay 35 a 40 elementos de datos estándar en todos los dispositivos HART registrados. Se puede acceder a los datos mediante cualquier comunicador o herramienta de configuración aprobada. Estos artículos no exigen una DD y por lo general incluyen la funcionalidad de equipo básico. Acceso a datos de dispositivos específicos requiere una DD actualizada para ese dispositivo en particular, ya que esto proporciona al comunicador la información necesaria para acceder plenamente a todas las capacidades de los dispositivos específicos.

Un comunicador HART portátil, si está equipado, también puede facilitar la documentación de configuración del dispositivo. Los datos de configuración del dispositivo instalado se pueden guardar en memoria o en un disco para archivo o impresión posterior. Hay muchos tipos de comunicadores portátiles disponibles. Asegúrese de revisar las características y la capacidad para cumplir con sus requisitos específicos.

1.8.2 Configuración de dispositivos y herramientas de administración basadas en PC

Es posible configurar un dispositivo compatible con HART con una PC de escritorio o computador portátil, u otros dispositivos portátiles equivalentes (Figura 13). Para ello, se utiliza una aplicación de software basada en PC y un módem de interfaz HART. En comparación con un comunicador portátil, un PC puede ofrecer una pantalla mejorada. También puede respaldar más DD y configuraciones de dispositivos debido a la capacidad adicional de almacenamiento de memoria. Debido a la naturaleza crítica de las configuraciones de dispositivos en el entorno de la planta, las computadoras también se pueden utilizar como almacenamiento de reserva de los datos de los comunicadores portátiles.



Figura 13. Conexión de un PC a un dispositivo HART

Una vez que el dispositivo está configurado, el dispositivo mantiene la configuración que permite la instalación en la aplicación de proceso.

1.9 INTEGRACIÓN DE DATOS HART

Hay muchas maneras de integrar los datos HART y aprovechar la inteligencia de los dispositivos inteligentes de campo. Estas estrategias simples y económicas incluyen:

- **Punto a Punto** Este es el uso más común de la tecnología HART.
- **HART a analógico** Integrar los datos HART con un sistema de control analógico existente mediante la conversión de datos digitales en señales analógicas.
- **HART más analógico** Un enfoque híbrido que mantiene el control analógico, pero proporciona un mejor acceso al dispositivo.
- **Integración total HART** Un nuevo método de comunicación continúa entre el dispositivo de campo y el sistema de control.
- **HART a la red de la planta** Esta estrategia de integración de gran alcance pasa datos HART en las redes Ethernet de la planta para su uso en cualquier parte de una empresa.

Estas capacidades de integración de datos ayudan a ahorrar tiempo y dinero, proporcionar valiosa información de diagnóstico, y permitir que los datos de dispositivos de campo se utilicen en toda la planta en los sistemas de planificación de recursos empresariales.

1.9.1 Integración de Punto a Punto

El uso más común de la tecnología HART. La capacidad de comunicación de los dispositivos compatibles con HART les permite ser configurados y puestos a punto para aplicaciones específicas. Esto reduce el inventario de repuestos y también ahorra tiempo y dinero en la puesta en servicio y mantenimiento.

Mediante la conexión a los cables de 4 a 20 mA en cualquier parte del

circuito de corriente, se puede interrogar a un dispositivo desde ubicaciones remotas.

1.9.2 Integración HART a analógico

Los extractores de señales se comunican con los dispositivos HART en tiempo real para convertir la información inteligente ubicada en estos dispositivos en señales 4-20 mA. Estos se introducen en un sistema de control analógico existente. Añada esta capacidad un dispositivo a la vez para conseguir más de sus dispositivos HART inteligentes. Algunos de estos dispositivos también proporcionan los cierres de contactos / alarmas para alerta temprana de posibles problemas.

1.9.3 Integración HART más analógico

Las soluciones de paquetes multiplexores HART facilitan la comunicación con dispositivos HART mediante la sustitución de los paneles de terminación E/S existentes. Su señal de control analógica continúa en el sistema de control.

Los datos HART son extraídos de la señal analógica y enviados a un dispositivo / sistema de gestión de activos, proporcionando valiosa información de diagnóstico las 24 horas del día, 7 días a la semana. Aunque el controlador no tenga conocimiento de los datos HART, esta solución proporciona un mejor acceso al diagnóstico de dispositivos para mejorar la gestión de activos o un proceso.

1.9.4 Integración HART completa

Actualizar su sistema E/S de campo o remoto para que sea compatible con HART proporciona una ruta integrada para continuamente poner datos HART

directamente en su sistema de control. La mayoría de los nuevos sistemas de control son compatibles con HART.

La comunicación continua entre el dispositivo de campo y el sistema de control permite detectar automáticamente problemas con un dispositivo, su conexión al proceso, o inexactitudes en la señal de control de 4-20 mA (Figura 14). Se pueden adoptar medidas correctivas antes de que haya repercusiones negativas para la operación del proceso. Esta solución también ofrece la oportunidad de pasar de una estrategia de mantenimiento programado a una estrategia de mantenimiento predictivo donde los dispositivos notifican al sistema sobre un posible problema - lo que le da la capacidad de trabajar sólo en los dispositivos que necesitan atención.

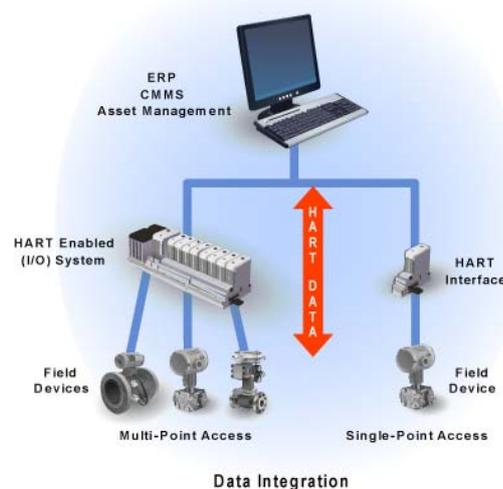


Figura 14. Integración de datos en HART

1.9.5 Integración HART a la red de la planta

La herramienta de software HART OPC Server proporciona un medio simple y económico para pasar datos HART a la red Ethernet de la planta. Una vez

allí, los datos pueden ir a aplicaciones OPC compatibles en cualquier lugar de la planta.

2. NUEVAS TECNOLOGÍAS HART

2.1 WIRELESS HART

2.1.1 CONCEPTO

WirelessHART es un estándar de comunicación inalámbrica que opera actualmente en la banda de radio ISM de 2.4GHz, usando radios estándar IEEE 802.15.4. Esta tecnología está diseñada para ser una red de dispositivos tipo "mesh" (malla), que se auto-organiza y se auto-repara.

En una red WirelessHART, cada estación (dispositivo de campo) forma una red, sirviendo simultáneamente como una fuente de señal y un repetidor. Entonces, el transmisor original envía un mensaje a su vecino más cercano, el que pasa esta información hacia otros dispositivos hasta que el mensaje alcanza la estación base y su destinatario.

Adicionalmente, rutas alternativas se configuran durante la fase de inicialización. Si el mensaje no puede ser transmitido por una ruta particular, debido a un obstáculo o un receptor defectuoso, se pasa automáticamente a una ruta alternativa. De este modo, además de extender el rango de la red, se proveen rutas de comunicación redundantes para aumentar la confiabilidad.

Para evitar las interferencias, WirelessHART también incorpora saltos de canal (frequency hopping) de acuerdo a las normas y estándares de la

industria, como IEEE 802.15.4, DSSS (espectro ensanchado por secuencia directa o direct sequence spread spectrum; en inglés), y CSS (Chirp spread spectrum). Esto permite una operación confiable, incluso si hay presencia de otras redes en la banda de los 2.4 GHz. Asimismo, posee robustos mecanismos de seguridad, como encriptación AES128, gestión de código, y autenticación, de modo que los datos y la red están protegidos todo el tiempo.

2.1.2 VENTAJAS

2.1.2.1 FÁCIL DE IMPLEMENTAR

WirelessHART es una tecnología robusta que es fácil de implementar. Permite a los usuarios obtener los beneficios rápida y fácilmente de la tecnología inalámbrica, mientras se mantiene la compatibilidad con los dispositivos, herramientas y sistemas HART.

Fácil Instalación y puesta en servicio

- Herramientas, flujo de trabajo y procedimientos familiares
- Múltiples opciones de energía
- Reducción de costos de instalación y alambrado
- Coexistencia con otras redes inalámbricas
- Respalda tanto topologías de estrella como de malla
- Añadir los dispositivos uno a la vez

Funciones automáticas de red

- Auto-organización y auto-corrección

- Seguridad siempre activa
- Se ajusta al añadir nuevos instrumentos
- Se ajusta a los cambios de infraestructura de la planta

2.1.2.2 CONFIABLE

Las instalaciones industriales con infraestructuras densas, el movimiento frecuente de los grandes equipos, las condiciones cambiantes, o de numerosas fuentes de radio-frecuencia y la interferencia electromagnética pueden tener problemas de comunicación. WirelessHART incluye varias características para proporcionar 99,9% de confiabilidad incorporada de punta a punta en todos los ambientes industriales.

Radio estándar con salto de canal

- Las radios cumplen con los estándares IEEE 802.15.4-2006
- Licencia para banda de frecuencia libre de 2,4 GHz
- "Salta" canales para evitar la interferencia
- Ofrece alta fiabilidad en entornos de radio adversos

Coexistencia con otras redes inalámbricas

- Evaluación de canal libre para canales disponibles
- Lista negra evita utilizar los canales usados frecuentemente
- Optimiza la amplitud de banda y tiempo de radio
- Sincronización de tiempo para mensajes puntuales

Red autocorregible

- Ajusta las rutas de comunicación para rendimiento óptimo
- Monitorea rutas para degradación y se repara a sí misma
- Encuentra rutas alternas alrededor de obstrucciones
- Red de malla y múltiples puntos de acceso

2.1.2.3 SEGURA

WirelessHART emplea robustas medidas de seguridad para proteger la red y asegurar los datos en todo momento. Estas medidas incluyen las últimas técnicas de seguridad para proporcionar el máximo nivel de protección disponible.

Protege la información valiosa

- Robusto, de varios niveles, seguridad siempre activa
- Cifrado AES de 128 bits estándar de la industria
- Clave de cifrado única para cada mensaje
- Integridad de los datos y autenticación de dispositivos
- Rotación de claves de cifrado utilizadas para unirse a la red

Protege la red inalámbrica

- Salto de canales
- Niveles ajustables de potencia de transmisión
- Múltiples niveles de claves de seguridad para el acceso
- Indicación de intentos de acceso fallido
- Reporta fallas en la integridad de mensajes

- Reporta fallas de autenticación
- A salvo de ataques tipo Wi-Fi a Internet

2.1.3 FUNCIONAMIENTO WIRELESSHART

WirelessHART es un protocolo de comunicaciones de red de malla inalámbrica para aplicaciones de automatización de procesos. Añade capacidades inalámbricas al protocolo HART, manteniendo compatibilidad con los dispositivos, comandos y herramientas HART.

Cada red WirelessHART incluye tres elementos principales (Figura 15):

- Dispositivos inalámbricos de campo conectados al equipo de la planta o de proceso. Este dispositivo podría ser un dispositivo con WirelessHART integrado o un dispositivo compatible con HART instalado existente con un adaptador WirelessHART conectado al mismo.
- Las pasarelas permiten la comunicación entre estos dispositivos y aplicaciones de unidades centrales conectadas a una red troncal de alta velocidad u otras redes de comunicaciones existentes en la planta.
- Un administrador de red es responsable de configurar la red, la programación de las comunicaciones entre dispositivos, gestión de rutas de mensajes y monitoreo del bienestar de la red. El administrador de red puede ser integrado en la pasarela, la aplicación central o un controlador de automatización de procesos.

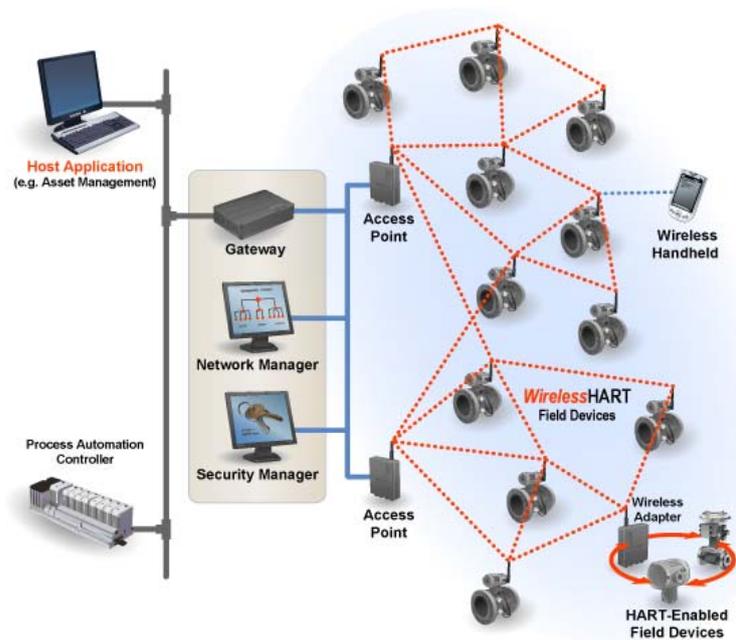


Figura 15. Ejemplo Red HART inalámbrica.

La red utiliza radios compatibles IEEE 802.15.4 que operan en la banda de radio industrial, científica y médica de 2,4 GHz. Las radios emplean tecnología de espectro de difusión de secuencia directa y salto de canal para la seguridad y fiabilidad de la comunicación, así como comunicaciones TDMA sincronizadas, controladas por latencia entre los dispositivos en la red. Esta tecnología ha sido probada en pruebas de campo e instalaciones de plantas reales a través de una amplia gama de industrias de control de procesos.

Cada dispositivo en la red de malla puede servir como un enrutador de mensajes de otros dispositivos. En otras palabras, un dispositivo no tiene que comunicarse directamente con una pasarela, sólo enviar su mensaje al dispositivo más próximo. Esto amplía el alcance de la red y proporciona rutas redundantes de comunicación para aumentar la fiabilidad.

El administrador de red determina las rutas redundantes basadas en la latencia, eficiencia y fiabilidad. Para asegurar que las rutas redundantes permanecen abiertas y despejadas, los mensajes continuamente alternan entre las rutas redundantes. En consecuencia, como en Internet, si un mensaje no puede llegar a su destino por una ruta, es automáticamente redirigido a seguir una ruta de acceso conocida redundante sin pérdida de datos.

El diseño de malla también facilita añadir o mover dispositivos. Siempre y cuando un dispositivo esté dentro del alcance de los demás en la red, se puede comunicar.

Para una mayor flexibilidad para cumplir con diferentes requisitos de aplicación, la norma WirelessHART respalda múltiples modos de mensajería, incluyendo la publicación unilateral de valores de proceso y control, la notificación espontánea por excepción, solicitud / respuesta ad-hoc, y transferencias de bloques autosegmentados de grandes conjuntos de datos. Estas capacidades permiten que las comunicaciones se adapten a los requisitos de aplicación, lo que reduce el consumo de energía y los gastos generales.

2.1.4 COMPONENTES DE LA TECNOLOGÍA WIRELESSHART

2.1.4.1 Pasarela

Suministra la conexión a la red central, a WirelessHART y luego a las interfaces de la unidad central principal como Modbus - Profibus - Ethernet. La pasarela también proporciona el administrador de red y de seguridad

(estas funciones también pueden existir a nivel de la unidad central; sin embargo, inicialmente estarán en la pasarela).

2.1.4.2 El administrador de red

Crea y mantiene la red MESH. Identifica las mejores rutas y administra la distribución de tiempo de acceso (WirelessHART divide cada segundo en ranuras de 10 mseg). El acceso a las ranuras de acceso depende del valor de la frecuencia de actualización de proceso que se requiere y otros accesos (notificación de alarmas - cambios de configuración).

El administrador de seguridad administra y distribuye claves de cifrado de seguridad. También contiene la lista de dispositivos autorizados a unirse a la red. El proceso incluye los aparatos de medición - la instrumentación compatible con HART.

2.1.4.3 Un repetidor

Es un dispositivo que dirige los mensajes WirelessHART pero puede no tener conexión al proceso por sí mismo. Su uso principal es ampliar el alcance de una red WirelessHART o ayudar a "dar la vuelta" a un obstáculo existente o nuevo (recipiente de proceso nuevo). Todos los instrumentos de una red WirelessHART tienen capacidad de conducción que simplifica la planificación y ejecución de una red inalámbrica.

2.1.4.4 El adaptador

Es un dispositivo que se conecta a un instrumento HART ya existente que permite pasar los datos del instrumento a través de una red WirelessHART a la unidad central. El adaptador puede estar ubicado en cualquier lugar a lo largo del cable del instrumento de 4-20 mA, que se puede alimentar con pilas o puede obtener su energía del cable de 4-20 mA. Algunos adaptadores serán a pilas y utilizarán la misma batería para alimentar el aparato y - en este caso no habrá señal de 4-20 mA a la unidad central - todos los datos de proceso se informarán a través de WirelessHART.

2.1.4.5 Una terminal de mano

Puede venir en dos versiones. En el primer caso, la terminal de mano será una unidad de configuración estándar de HART MDF (sólo tiene que añadir las DD o los archivos DOF para el dispositivo nuevo), al igual que la utilizada para las tareas diarias tales como el mantenimiento de rutina y los controles de calibración. En el caso de soporte inalámbrico, terminal de mano se utiliza para unir un nuevo instrumento a una red WirelessHART existente.

En el segundo caso, la terminal de mano tiene una conexión WirelessHART a la pasarela y después a un instrumento y puede ser utilizada para la lectura de PV o de diagnóstico.

2.2 HART – IP

2.2.1 CONCEPTO

HART-IP es una opción de conexión adicional que permite a sistemas a nivel de host y aplicaciones de gestión de activos acceder e integrar con facilidad

información de mediciones y diagnósticos de dispositivos de campo compatibles con HART utilizando la infraestructura de red existente de la planta (Figura 16).

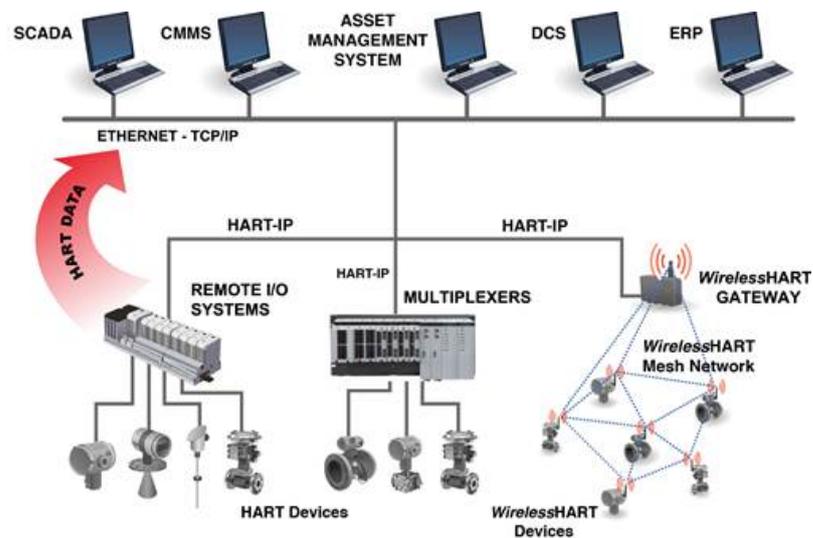


Figura 16. HART-IP entrega de información proveniente de dispositivos con cable e inalámbricos a aplicaciones de más alto nivel (SCADA, DCS, ERP, etc.)

La Fundación ha presentado la nueva capacidad del protocolo de comunicación HART: HART-IP permite que el protocolo HART funcione sobre cualquier conexión basada en IP, proporcionando valiosos datos HART a la velocidad de Ethernet. HART-IP admite la gestión de dispositivos inteligentes para la instrumentación de procesos inteligentes. Simplifica la integración del sistema gracias a que elimina el mapeo de datos manual, permite aplicaciones a gran escala de sensores inalámbricos en toda la planta y posibilita una estrecha integración de instrumentos de campo en Sistemas de Gestión de Activos Empresariales.

HART-IP se conecta a la infraestructura de red de la planta, permite el acceso a la información desde todos los niveles de la empresa y proporciona un acceso rápido a la medición y al diagnóstico de dispositivos. Mediante el

uso de su actual infraestructura de red, ahora los usuarios pueden integrar la información de diagnóstico y la medición de dispositivos inteligentes con sus aplicaciones de productividad, planificación, registro histórico o de otro tipo, en cualquier lugar del mundo.

“HART-IP ofrece la forma más sencilla de acceder a toda la información HART disponible en un dispositivo HART”, añade Masters. “Permite que la información proveniente de dispositivos HART sea llevada hasta el nivel de la empresa con facilidad, sin necesidad de pasar por ningún proceso de traducción y sin pérdida de información”.

2.2.2 VENTAJAS

- Simplifica considerablemente la configuración de la conexión del sistema, proporciona todos los datos disponibles del dispositivo y elimina el mapeo de registros.
- Reduce la carga de integración del sistema proporcionando acceso a Internet remoto y en toda la planta al análisis de dispositivos y mediciones de procesos mediante el uso de la infraestructura de red de la planta.
- Agrupa a dispositivos inteligentes HART, multiplexores y pasarelas WirelessHART® en una única solución de gestión de dispositivos inteligentes en toda la planta que funciona con plantas de cualquier tamaño y con todos los dispositivos compatibles con HART.

3. PRÁCTICAS Y EQUIPOS LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN

La Universidad Pontificia Bolivariana en su seccional Bucaramanga cuenta con un conjunto de equipos en el laboratorio de instrumentación los cuales

permiten desarrollar diferentes prácticas; a continuación se presenta un resumen de las prácticas que están disponibles y sus equipos asociados con una breve descripción de su funcionamiento.

3.1 PRACTICA BANCO DE FLUJO

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.⁷

El banco de flujo cuenta con los siguientes equipos.

3.1.1 BOMBA CENTRIFUGA

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica (Figura 17).⁸

⁷ Sección tomada de la página web de WIKIPEDIA, Consulta 23 febrero 2015, URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_\(fluido\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_(fluido))

⁸ Sección tomada de la página web de UNET, Consulta 23 febrero 2015, URL: www.unet.edu.ve/~magflu/doc/LAB-1-95.htm

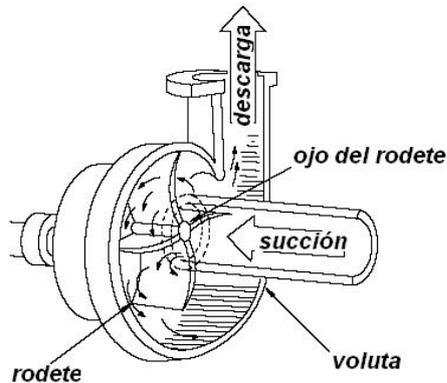


Figura 17. Bomba centrífuga.⁹

3.1.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Son estructuras de diversos materiales, por lo general de forma cilíndrica, que son usadas para guardar y/o preservar líquidos o gases a presión ambiente, por lo que en ciertos medios técnicos se les da el calificativo de Tanques de Almacenamiento Atmosféricos (Figura 18). Los tanques de almacenamiento suelen ser usados para almacenar líquidos, y son ampliamente utilizados en las industrias de gases, del petróleo, y química, y principalmente su uso más notable es el dado en las refinerías por sus requerimientos para el proceso de almacenamiento, sea temporal o prolongado; de los productos y subproductos que se obtienen de sus actividades.¹⁰

⁹ Imagen tomada de la página web de FULLMECANICA, Consulta 23 febrero 2015, URL: www.fullmecanica.com

¹⁰ Sección tomada de la página web de UPRM, Consulta 23 febrero 2015, URL: <http://lef.uprm.edu/Tank%20failure%20under%20fire/tanques.html>



Figura 18. Tanque de almacenamiento.

3.1.3 MANÓMETRO

Es un instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Se distinguen dos tipos de manómetros, según se empleen para medir la presión de líquidos o de gases (Figura 19).¹¹



Figura 19. Manómetro.

¹¹ Sección tomada de la página web de EIA, Consulta 23 febrero 2015, URL: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/manometro/manometro.html>

3.1.4 VÁLVULA TIPO MARIPOSA

Una válvula de mariposa es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto (Figura 20), aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada <mariposa>, que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo.¹²



Figura 20. Válvula tipo mariposa.

3.1.5 SENSOR DE FLUJO TIPO ELECTROMAGNÉTICO

El sensor de flujo es un dispositivo que, instalado en línea con una tubería, permite determinar cuándo está circulando un líquido o un gas.

Es un tipo de instrumento de medición de alta precisión y confiabilidad. Este tipo de medidores de flujo son, especialmente, apropiados para la medición del flujo volumétrico de electricidad en medios conductivos, como: ácidos, alcalinos, solución salina, barro, pulpa, efluentes, etc.

¹² Sección tomada de la página web de Grupo Compas, Consulta 23 febrero 2015, URL: <http://valvula.es/Tipos-de-valvulas/Valvulas-de-mariposa.php>

El medidor de flujo electromagnético se basa en la ley de inducción electromagnética de Faraday. Cuando los líquidos conductores se mueven en un ángulo correcto a través de un campo magnético, el voltaje inducido es generado en el conductor.¹³



Figura 21. Sensor De Flujo Tipo Electromagnético E+H

3.1.6 VARIADOR DE VELOCIDAD

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad (Figura 22) . Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).¹⁴

¹³ Sección tomada de la página web de Grupo Compas, Consulta 23 febrero 2015, URL: www.endress.com

¹⁴ Sección tomada de la página web de wikipedia, Consulta 23 febrero 2015, URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia

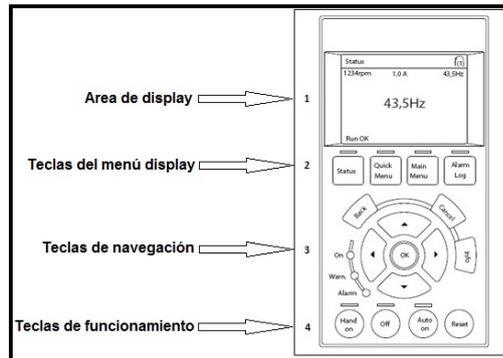


Figura 22.Variador de Velocidad

3.2 PRACTICA VÁLVULA ELECTRONEUMÁTICA PROPORCIONAL TIPO GLOBO

3.2.1 VÁLVULA TIPO GLOBO ELECTRONEUMÁTICA PROPORCIONAL

Válvula que sirve para regular la cantidad de flujo que pasa por ella (Figura 22). El elemento de cierre asienta sobre una sección circular. A medida que el elemento de cierre se aproxima al asiento, la sección de paso se reduce y por tanto aumenta la pérdida de carga disminuyendo el caudal.



Figura 23.Válvula electro neumática proporcional tipo globo

3.3 PRACTICA TABLERO DE INSTRUMENTOS ANALÓGICOS Y DIGITALES

El tablero de instrumentos análogos y digitales cuenta con los siguientes equipos:

3.3.1 Sensor de Temperatura RTDpt100 de 3 Hilos

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.¹⁵



Figura 24.Sensor de temperatura Pt100

¹⁵ Sección tomada de la página web de ARIAN Control & instrumentación, Consulta 23 febrero 2015, URL: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

3.3.2 Transmisor de Temperatura 4 a 20mA (0°C a 400 °C)

Los transmisores de temperatura transmiten una temperatura medida como una señal analógica de 0/4–20 mA a un receptor (figura 24).¹⁶



Figura 25. Transmisor de temperatura 4 a 20 mA

3.3.3 Indicador de Corriente de Lazo 4 a 20mA

El indicador de proceso se conecta directamente al lazo 4 a 20 mA. La configuración se realiza de forma sencilla tanto para el rango, punto decimal y offset mediante 3 botones en el frontal de la unidad. La configuración de los parámetros se puede realizar incluso durante el funcionamiento del equipo. La medición se realiza mediante un indicador de cristal líquido (LCD) de 5 dígitos y 7 segmentos (figura 25).¹⁷

¹⁶ Sección tomada de la página web de CBS, Consulta 23 febrero 2015, URL: www.cbs.grundfos.com/GMX.../AC_Temperature_transmitter.html

¹⁷ Sección tomada de la página web de e-direct, Consulta 23 febrero 2015, URL: <http://www.e-direct.mx/eh/e-direct/mx/es/home.nsf/#page/ria251>



Figura 26. Indicador de corriente de lazo 4 a 20 Ma

3.3.4 Medidor Ultrasónico de Nivel, 0 a 10Vdc

Un sensor ultrasónico de distancia mide empleando un transductor que emite “paquetes” de ultrasonido que contienen una serie de ondas sonoras intermitentes. El paquete se emite en forma cónica, se rebota o refleja en la superficie objetivo y se recibe e regreso en un transductor. El tiempo requerido por el sonido para ir y volver se mide y se convierte a unidades de distancia.¹⁸



Figura 27. Medidor ultrasónico de nivel ¹⁹

¹⁸ Sección tomada de la página web de Metro Instruments, Consulta 23 febrero 2015, URL: <https://metroinstruments.com>

¹⁹ Imagen tomada de la página web de maddalena, Consulta 23 febrero 2015, URL: www.maddalena.it

- 3.3.5 Indicador de Voltaje**
- 3.3.6 Óptico difuso**
- 3.3.7 Indicador de Voltaje**
- 3.3.8 Sensor Inductivo**
- 3.3.9 Sensor Fotoeléctrico**
- 3.3.10 Válvula Solenoide**
- 3.3.11 SSR (Relé de estado Sólido)**
- 3.3.12 Cilindro de Efecto Simple**
- 3.3.13 Válvula Solenoide 3/2 (3 Vías 2 Posiciones)**
- 3.3.14 Cilindro de Efecto Doble a través de una Válvula Solenoide 5/2
(5 Vías 2 Posiciones)**
- 3.3.15 Encoder Incremental con Doble Canal en Cuadratura de Fase**

3.4 MODULO DE TEMPERATURA

El módulo de temperatura cuenta con los siguientes equipos:

- 3.4.1 RTDpt100 de 3 Hilos**
- 3.4.2 Horno de bloque metálico Fluke 9142**

3.5 MODULO DE PRESION Y FLUJO

El módulo de presión y flujo cuenta con los siguientes equipos:

- 3.5.1 Módulo de Presión**
- 3.5.2 Válvulas reguladoras de presión**
- 3.5.3 Convertidor I/P**

3.6 MODULO DE PRESION

El módulo de presión cuenta con los siguientes equipos:

3.6.1 Transmisor indicador de presión relativa con lazo 4 a 20 mA + protocolo HART

3.6.2 Calibrador de procesos FLUKE 726

3.7 MODULO DE TERMOGRAFIA

El módulo de termografía cuenta con los siguientes equipos:

3.7.1 Cámara Termográfica Fluke

CONCLUSIONES

- El uso de buses de campo en la industria de proceso es un hecho hoy en día, aunque no por ello van a desaparecer de inmediato las otras tecnologías utilizadas hasta el momento, sino que será un proceso paulatino, hasta la implantación mayoritaria de la tecnología digital.
- El protocolo Hart es de vital importancia para el conocimiento de los estudiantes ya que es un protocolo de comunicación que se usa ampliamente en la industria, debido a que permite un manejo de señales con información, codificadas en frecuencias de 1200 Hz y 2200 Hz, montadas en el lazo de corriente de 4 a 20 mA, el cual es el estándar para la transmisión industrial.
- Los aparatos de campo con interfaz HART, diseñados para la comunicación con cables, pueden equiparse con un adaptador WirelessHART para la comunicación inalámbrica. Esto permite al usuario seguir usando sus aparatos acreditados y, al mismo tiempo, aprovechar las ventajas de la comunicación inalámbrica.
- La tecnología HART puede ser por lo tanto una herramienta vital para la vida de la planta. HART no requiere un cambio completo de dispositivos de medida y de control además no requiere una formación especial ni cambios en el cableado existente.
- Dados los nuevos requisitos de calidad, confiabilidad y seguridad del mercado es evidente que en los próximos años puede darse el cambio del control de proceso de la tecnología 4-20 mA por redes digitales y sistemas abiertos. Su utilización trae una ventaja competitiva, en el sentido de que esa nueva tecnología crea aumentos de productividad

a través de la reducción de las variabilidades de los procesos y la reducción del tiempo de indisponibilidad de los lazos de control.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Reyes G., (2006), "Tópicos de control" Universidad Santiago de Chile.
www.geocities.com/khifar/Protocolo_HART.pdf

[2] Hart Communication Foundation. "Protocol Hart". Disponible en internet:
<http://www.hartcomm.org/> , consultado 19 de enero de 2015.

[3] Hart Communication Foundation. "The Hartbook". Disponible en internet:
www.thehartbook.com/technical , consultado 9 de febrero de 2015.

[4] Communication Foundation. "HART Application Guide". Disponible en internet:
<http://www.hartcomm.org/> , consultado 9 de febrero de 2015.

[5] E. KURT, Tod. Hacking Roomba. Book "Hacking Roomba". Disponible en internet:
<http://hackingroomba.com>, consultado 15 de febrero de 2015.

[6] CANOVA, W., GIRALDO, A. F, "Diseño e implementación de un programador de transmisores de presión Honeywell basado en el protocolo Hart.", Trabajo Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia,2007.

[7] TECNIPUBLICACIONES, "Tecnomarket: Nuevos Productos para la Automatización Industrial", Revista Numero 46,47,48,49,50,51, Grupo Tecnipublicaciones, Madrid, España, 2007-2008. Disponible en internet:
www.tecnipublicaciones.com, consultado 18 de enero de 2015.

[8] URDANETA,E. F. "Protocolo de Comunicación Hart", Proyecto de Pasantía, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Febrero, 2001.

ANEXOS

ANEXO 1. GUIA DE LABORATORIO PROTOCOLO HART

GUÍA DE LABORATORIO TEÓRICO – PRÁCTICA
ANÁLISIS DEL PROTOCOLO HART

LABORATORIO DE INSTRUMENTACION
ESPECIALIZACION EN CONTROL E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SECCIONAL BUCARAMANGA

OBJETIVO GENERAL

Dar a conocer detalladamente el protocolo HART aprovechando los recursos disponibles en el laboratorio de instrumentación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a. Realizar el estudio teórico del protocolo HART.
- b. Conocer los equipos disponibles en el laboratorio de instrumentación para desarrollar la práctica de laboratorio.
- c. Entender el concepto de aplicación del calibrador de procesos multifunción FLUKE 726, el transmisor indicador de presión SMAR 4 a 20mA + HART, el osciloscopio ScopeMeter FLUKE 123, el configurador de Red HART DDCON100.
- d. Valorar la importancia que tiene la comunicación HART en la transmisión de datos en un proceso industrial.

MATERIALES Y EQUIPOS

- ✓ 1 Calibrador de Procesos Multifunción FLUKE 726
- ✓ 1 Transmisor Indicador de Presión SMAR 4 a 20mA + HART
- ✓ 1 Osciloscopio ScopeMeter FLUKE 123
- ✓ 1 Configurador de Red Hart DDCON100
- ✓ 1 Computador sistema operativo Windows XP ¹
- ✓ 1 Válvula de bola (suministro aire comprimido laboratorio instrumentación)
- ✓ 1 Regulador presión de aire comprimido 0 - 160 Psig (suministro aire comprimido laboratorio instrumentación)
- ✓ 2 Válvulas de Aguja Rating 5000 Psig
- ✓ 1 Regulador de Presión 0 – 250 Psig
- ✓ 1 Manómetro Análogo 0-300 Psig
- ✓ 1 Manifold de 2 vías
- ✓ 1 Software DDCON 100 v 2.0
- ✓ 1 Fuente alimentación 24 vdc 4.2 A
- ✓ 2 Regletas conexiones
- ✓ Cables

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Modulación por desplazamiento de frecuencia ²

El Protocolo HART usa la norma Bell 202 Modulación por desplazamiento de frecuencia o MDF (FSK en inglés) para empalmar señales digitales de comunicación a bajo nivel sobre 4 a 20 mA. Un cero lógico es representado por una frecuencia de 2200 Hz, y el uno lógico por 1200 Hz.

¹ Para Sistemas operativos diferentes a Windows XP se debe disponer de la máquina virtual de Windows XP.

² SECCION DEL MARCO TEORICO TOMADO DE : *APPLICATION GUIDE , HART COMMUNICATION FOUNDATION , HCF_LIT-039 REV. 7.3, DATE OF PUBLICATION: JULY 24, 2014*, URL: <http://www.pacontrol.com/download/Hart-Application-Guide.pdf>

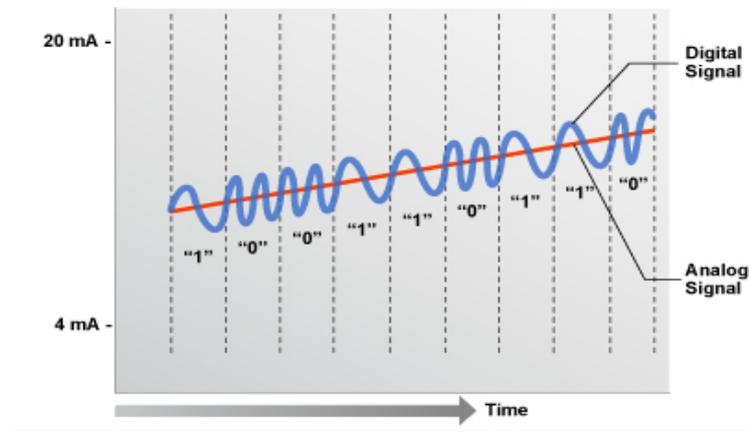


Figura 1. Modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF)

Esto permite la comunicación bidireccional en campo y hace posible la transmisión de información adicional más allá de sólo las variables normales de proceso comunicadas de y hacia un instrumento inteligente de campo. El Protocolo HART se comunica a 1200 bps sin interrumpir la señal de 4 a 20 mA y permite a la aplicación central (maestra) obtener dos o más actualizaciones digitales por segundo de un dispositivo inteligente de campo. Ya que la señal digital MDF es de fase continua no hay interferencia con la señal de 4 a 20 mA.

La Modulación por desplazamiento de frecuencia o FSK, (Frequency Shift Keying) (Figura 2) es una técnica de transmisión digital de información binaria (ceros y unos) utilizando dos frecuencias diferentes. La señal moduladora solo varía entre dos valores de tensión discretos formando un tren de pulsos donde un cero representa un "1" o "marca" y el otro representa el "0" o "espacio".

En la modulación digital, a la relación de cambio a la entrada del modulador se le llama bit-rate y tiene como unidad el bit por segundo (bps).

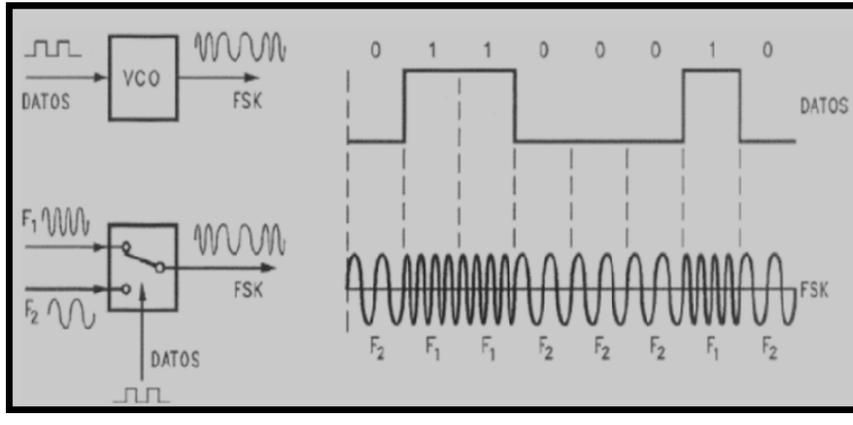


Figura 2. Modulación FSK

En FSK, el bit rate = baud rate. Así, por ejemplo, un 0 binario se puede representar con una frecuencia F_1 , y el 1 binario se representa con una frecuencia distinta F_2 .

El módem usa un VCO, que es un oscilador cuya frecuencia varía en función del voltaje aplicado.

1.2 Modos de Comunicación

La Tecnología HART es un protocolo maestro/servidor, lo cual significa que un dispositivo inteligente de campo (servidor) sólo habla cuando le habla un maestro. El Protocolo HART se puede utilizar en diversos modos, como punto a punto o multipunto para transmitir información hacia y desde los instrumentos inteligentes de campo y el control central o los sistemas de monitoreo.

La comunicación HART se produce entre dos dispositivos habilitados con HART, típicamente un dispositivo de campo inteligente y un sistema de control o monitoreo (Figura 3).

La comunicación se produce mediante un cable de instrumentación de calidad estándar y el uso de prácticas de cableado y terminación estándar.

El protocolo HART proporciona dos canales de comunicación simultáneos: la señal analógica de 4 a 20 mA y una señal digital. La señal de 4 a 20 mA comunica el valor primario medido con el circuito de corriente 4 a 20 mA, el estándar más rápido y más fiable de la industria. Información adicional del dispositivo se comunica mediante una señal digital que se superpone a la señal analógica.

La señal digital contiene la información del dispositivo incluyendo el estado del dispositivo, diagnóstico, valores medidos o calculados adicionales, etc. Juntos, los dos canales de comunicación proporcionan una solución completa de comunicación de campo muy robusta a bajo costo que es fácil de usar y configurar.

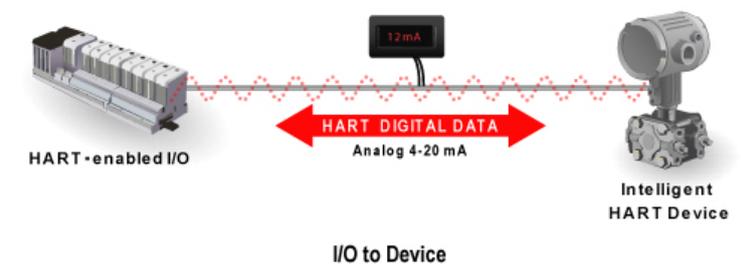


Figura 3. Dos canales de comunicación

El Protocolo HART suministra hasta dos maestros (primario y secundario). Esto permite usar maestros secundarios como comunicadores de mano sin interferir con las comunicaciones desde y hasta el maestro primario, es decir, el sistema de control / monitoreo (Figura 4).

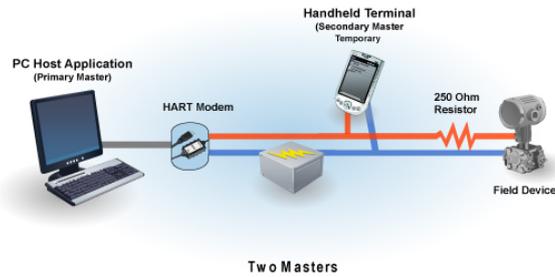


Figura 4. Maestros primarios y secundarios

El protocolo HART permite toda la comunicación digital con los dispositivos de campo en configuración de red punto a punto, multipunto y ráfaga.

1.2.1 Comunicación Punto a Punto

En el modo Punto a Punto, la señal tradicional de 4-20 mA es usada para comunicar una variable de proceso mientras otras variables adicionales - parámetros de configuración y otras informaciones de aparato- son transmitidas digitalmente usando el protocolo HART (Figura 5). La señal análoga de 4-20 mA no es afectada por la señal HART y puede ser usada para el monitoreo o control en la forma normal. La señal de comunicación digital HART le da acceso a variables secundarias y a otras informaciones, que pueden ser usadas para propósitos de operación, mantención y diagnóstico.

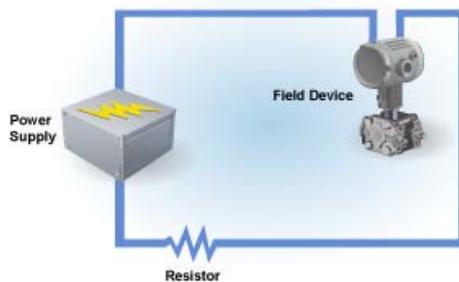


Figura 5. Configuración Punto a Punto

1.2.2 Comunicación Multipunto

El modo Multipunto requiere solamente un par de alambres y si es aplicable, el lazo también puede tener barreras de seguridad y fuentes de poder auxiliares para hasta 15 aparatos de terreno (Figura 6). Todos los valores de proceso son transmitidos digitalmente; en el modo Multipunto, las direcciones de "Polling" de los aparatos de terreno son mayores que 0 y la corriente a través de cada equipo está fijada a un mínimo valor (típicamente 4 mA).



Figura 6. Configuración Multipunto

2. PROCEDIMIENTO

A continuación se presenta el diagrama de las etapas que componen el presente laboratorio (figura 7).

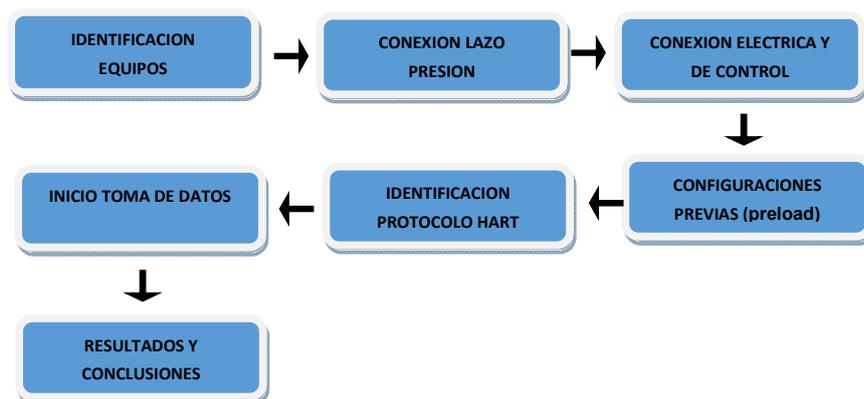


Figura 7. Diagrama etapas del laboratorio.

2.1 IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS

A continuación se presentan una breve descripción de los equipos a utilizar en la presente práctica.

2.1.1 Regulador de presión de aire

El sistema de suministro de presión de aire comprimido del laboratorio de instrumentación (0 psi a 100 psi) es controlado por medio del Regulador de presión de aire con manómetro (Figura 7) este posee conexión de entrada de 1/2 NPT y salida tipo hembra 1/4 NPT roscada y un rango de regulación entre 0 - 160 Psig.



Figura 7. Regulador de presión 0 - 160 Psig.

2.1.2 Calibrador de Procesos Multifunción FLUKE 726

El calibrador de procesos multifunción 726 de Fluke (Figura 8) es un instrumento manual, alimentado por baterías, que mide y suministra parámetros eléctricos y físicos; para este laboratorio nos interesa el parámetro de corriente.³

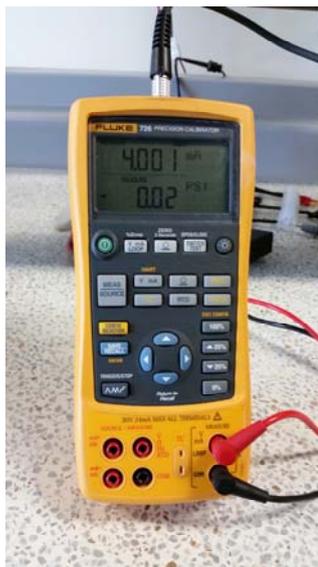


Figura 8. Calibrador de Procesos Multifunción FLUKE 726

2.1.3 Transmisor indicador de presión SMAR 4 a 20mA

El LD291 es un transmisor de presión inteligente para la medición de presión manométrica (Figura 9). El transmisor se basa en un sensor capacitivo probado en el campo, que ofrece un funcionamiento seguro y alto rendimiento.⁴

³ Para información adicional remitirse al documento *Manual de uso, FLUKE, Septiembre 2005*, URL: http://assets.fluke.com/manuals/726_umspa0000.pdf

⁴ Para información adicional remitirse al documento *Manual de Instrucciones Operación y Mantenimiento, SMAR, Marzo 2012 versión 6*, URL: www.smar.com/PDFs/Manuals/LD291MS.PDF



Figura 9. Transmisor indicador de presión SMAR 4 a 20mA

2.1.4 Osciloscopio scopeMeter Fluke 123

El osciloscopio digital de 20 MHz (Figura 10) combina un multímetro digital y un registrador de dos canales en un instrumento compacto alimentado por baterías. Permite realizar Mediciones automáticas, Interfaz aislada ópticamente para conexión al PC, es un equipo compacto y muy robusto.⁵



Figura 10. Osciloscopio ScopeMeter FLUKE 123

⁵ Para información adicional remitirse al documento manual de uso, FLUKE, Sep 2002, Rev. 4, 09/2009 ,URL: http://assets.fluke.com/manuals/123_124_umeng0400.pdf

2.1.5 Configurador de Red HART DDCON100

El DDCON 100 (Figura 10) transforma el computador en una plataforma universal para la configuración de dispositivos HART a través de la interfaz USB.

Posee un conjunto de herramientas de comunicación y configuración basadas en la tecnología DDL⁶ y compatibles con todos los dispositivos HART desarrollados y producidos con su respectivo archivo DD⁷.

Dentro de las características más importantes se encuentran:

- ✓ Interfaz gráfica intuitiva y de utilización sencilla.
- ✓ Soporte para más de 100 dispositivos HART para uso inmediato.
- ✓ Soporta operaciones multidrop y offline (fuera de línea) que se pueden almacenar para uso posterior.
- ✓ Permite la supervisión de bus a través del software integrado de monitoreo.

⁶ DDL (Device Description Language) es un lenguaje para describir el servicio y la configuración de los dispositivos de campo, procesos y automatización de fábrica. Fuente: http://sp.hartcomm.org/hcp/tech/dd/ddl_use.html

⁷ DD (Device Description) es un archivo electrónico de datos preparado de conformidad con las especificaciones del Lenguaje para Descripción de Dispositivo que describe las características y funciones específicas de un dispositivo. Fuente: http://sp.hartcomm.org/hcp/tech/dd/ddl_use.html



Figura 10. Configurador de Red HART DDCON100

2.2 CONEXIÓN DE EQUIPOS

2.2.1 Conexiones circuito presión

El circuito de presión a implementar en el presente laboratorio es el mostrado en la Figura 11 y está compuesto por los siguientes equipos:

- 1 Válvula de bola (suministro aire comprimido laboratorio instrumentación).
- 1 Regulador de presión de aire comprimido 0 →160 Psig (suministro aire comprimido laboratorio instrumentación).
- 2 Válvulas de aguja.
- 1 Manifold de 2 vías.
- 1 Regulador de Presión 0 →250 Psig
- 1 Manómetro Análogo 0 →300 Psig
- 7 Conectores en acero inoxidable con conexión rápida a manguera.
- 2 tee en acero inoxidable con conexión rápida a manguera.
- Manguera para aire comprimido.

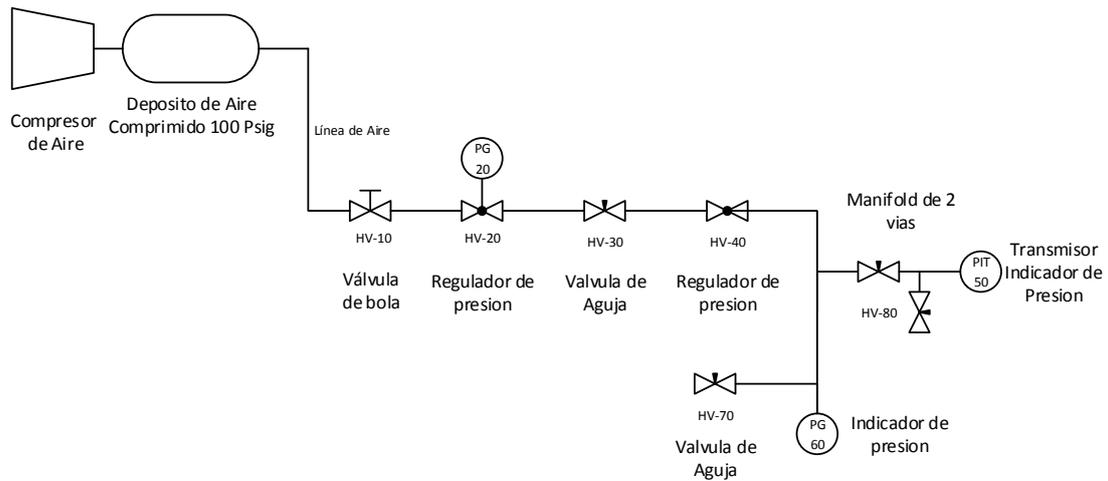


Figura 11. Diagrama Circuito presión

Procedimiento:

1. La válvula tipo bola **HV-10** hace referencia a la válvula de acción rápida de la línea de aire comprimido (línea de aire manguera azul) que disponemos en el laboratorio; esta debe permanecer cerrada hasta finalizar todas las conexiones (figura 12).



Figura 12. Válvula tipo bola en posición abierta, girar 90° para cerrar.

2. Seguido de la válvula de bola **HV-10** encontramos el regulador de presión de aire comprimido **HV-20**, el cual incorpora un manómetro **PG-20** análogo con rango de medición de 0→160 Psig (Figura 13).



Figura 13. Regulador de presión de aire comprimido

3. Ubique la salida del regulador **HV-20** (Figura 13); mediante los acoples rápidos y manguera de aire (Figura 14) conexionamos hacia la válvula de aguja **HV-30** (Figura 15).



Figura 14. Acoples rápidos y manguera de aire

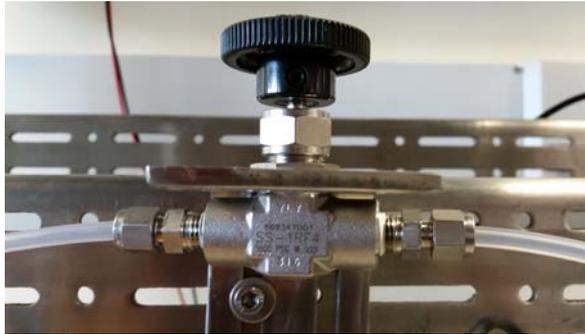


Figura 15. Conexionado válvula de aguja a proceso

4. A la salida de la válvula de aguja **HV-30** conecte la manguera de aire hacia el regulador de presión **HV-40** (Figura 16); identifique el sentido de flujo del regulador.

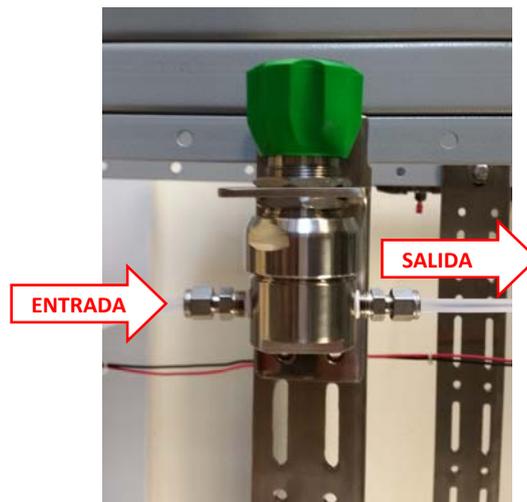


Figura 16. Conexión Regulador de presión

5. Desde la salida del regulador de presión **HV-40** realizamos una conexión hacia una tee con conexión rápida (Figura 17).



Figura 17. tee con conexión rápida

6. Seguidamente se realiza la conexión desde la tee hacia el **PIT-50** con Manifold de 2 vías **HV-80** (Figura 18) y desde la tee hacia otra tee para realizar la conexión hacia el indicador de presión **PG-60** (Figura 19) y la válvula de aguja **HV-70** (Figura 15).



Figura 18. Fijación del transmisor a la toma de proceso



Figura 19. Tee derivación hacia indicador de presión

2.2.2 Conexiones Eléctricas

La interconexión de los equipos a implementar en el presente laboratorio se muestran en la Figura 20 y está compuesto por los siguientes equipos:

- ✓ 1 Calibrador de Procesos Multifunción FLUKE 726
- ✓ 1 Transmisor Indicador de Presión SMAR 4 a 20mA + HART
- ✓ 1 Osciloscopio ScopeMeter FLUKE 123
- ✓ 1 Configurador de Red Hart DDCON100
- ✓ 1 Computador sistema operativo Windows XP ⁸

⁸ Para Sistemas operativos diferentes a Windows XP se debe disponer de la máquina virtual de Windows XP.

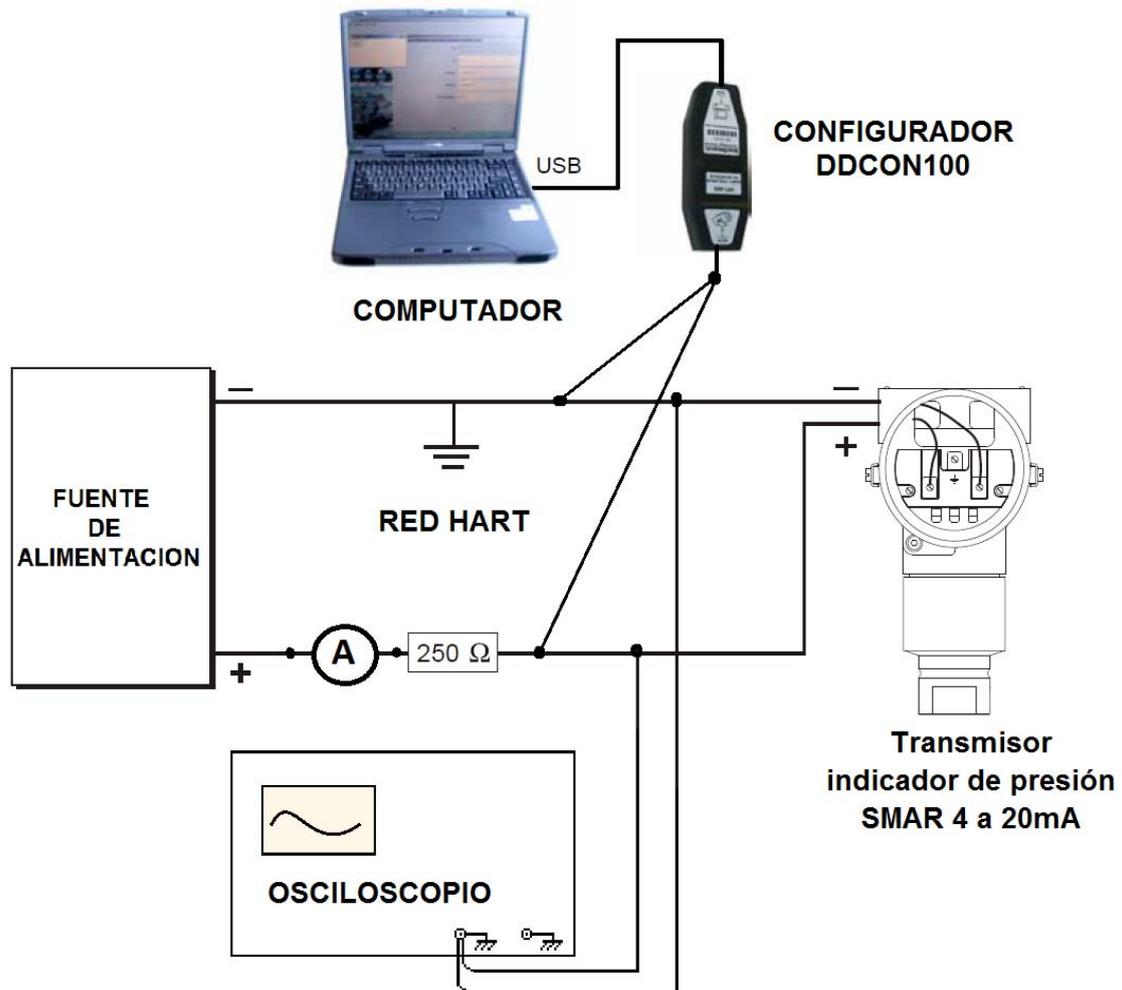


Figura 20. Diagrama interconexión de los equipos a implementar

Procedimiento:

1. Conecte en los terminales “-“ y “+” del transmisor indicador de presión SMAR 4 a 20 mA a la alimentación de 24 VDC como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Conexión transmisor indicador de presión SMAR 4 a 20 mA

2. La fuente de alimentación de 24 VDC se conecta como lo muestra la Figura 22; no alimente los terminales línea (L) y el neutro (N) a la red hasta finalizar todas las conexiones.



Figura 22. Conexión fuente de alimentación de 24 VDC

3. Para medir la corriente, conecte en serie los terminales “-“ y “+” al calibrador de procesos multifunción FLUKE 726 en escala de mA. Se recomienda el uso de cables de par trenzado (de la equivalencia 22

AWG o superior). Verifique en el calibrador de procesos que las entrada de corriente estén en modo MEASURE Figura 23.



Figura 23. Modo MEASURE medidor corriente

4. Para visualizar en el osciloscopio ScopeMeter FLUKE 123 conecte las pinzas en el terminal A como se muestra en la Figura 24, las pinzas deben ser conectadas entre los bornes “-“ y “+” de la red HART.

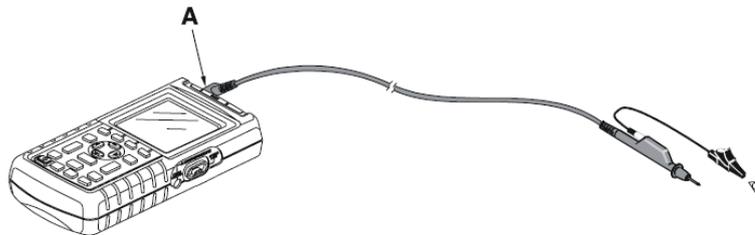


Figura 24. Conexión osciloscopio ScopeMeter FLUKE 123

5. A continuación encienda el osciloscopio presionando el botón  , y seleccione  para que automáticamente detecte las señales.
6. El configurador de Red Hart DDCON100 se conecta al puerto USB del computador y entre los bornes “-“ y “+” de la red HART.

7. Cuando halla verificado las conexiones anteriormente descritas proceda a encender la fuente de alimentación y el calibrador de procesos multifunción FLUKE 726.
8. Compruebe que el transmisor indicador de presión SMAR 4 a 20 mA este encendido indicando una corriente de 4ma y 0 psig como se muestra en la figura 25.

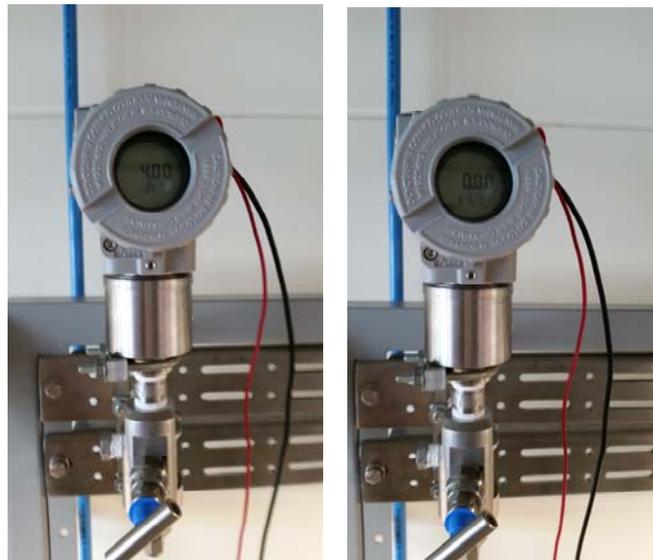


Figura 25. Estado inicial encendido PIT 4 mA y 0 Psig

2.3 ARRANQUE PREVIO DEL SISTEMA (PRELOAD)

El preload garantiza el correcto funcionamiento de los medidores y la dinámica interna de los dispositivos de medición.

A continuación se detalla el procedimiento para realizar un **preload** en el medidor de presión utilizando el sistema de suministro de aire de instrumentos para ajustar la presión hasta 80 Psig como se muestra en la figura 26.

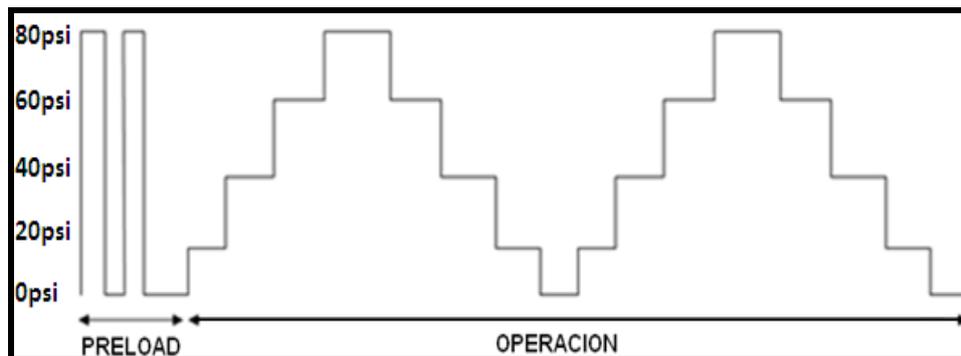


FIGURA 26. Preload en todos los medidores de presión hasta 80psi

Procedimiento:

Dado que el suministro de aire del laboratorio de instrumentación no supera los 100 Psig y que nuestro montaje soporta de 160 a 300 Psig; no tendremos inconveniente por daños causados por la apertura incorrecta de válvulas.

La válvula de aguja **HV-70** debe permanecer completamente cerrada para evitar escape de aire en el circuito.

1. Accione la válvula tipo bola **HV-10** de la línea de aire comprimido que disponemos en el laboratorio; esta debe quedar como se muestra en la Figura 27.



Figura 27. Válvula tipo bola en posición abierta.

2. Gire el regulador de presión de aire comprimido **HV-20**, ajuste el incremento de la presión en el manómetro **PG-20** hasta llegar a 20 Psig
3. Realice la apertura completa de la válvula de aguja **HV-30** garantizando flujo hacia el regulador de presión **HV-40**.
4. Observe el indicador de presión **PG-60** el cual debe llegar a 20 Psig mientras manipulamos el regulador de presión **HV-40**.
5. Repita los pasos del 2 al 4 incrementando la presión en 20 Psig hasta 80 Psig; de igual manera disminuya la presión desde 80 Psig hasta 0 Psig.
6. Durante el procedimiento recuerde se debe realizar pruebas de estanqueidad (fugas).

2.4 CONFIGURACIÓN SOFTWARE DEL DDCON100

El programa DDCON 100 tendrá las funciones necesarias para la implementación, configuración y uso del transmisor SMAR LD291 mediante el lazo de 4 a 20 mA, a través de una configuración vía protocolo HART.

Procedimiento:

1. Abrir el programa DDCON 100 como se muestra en la Figura 28.

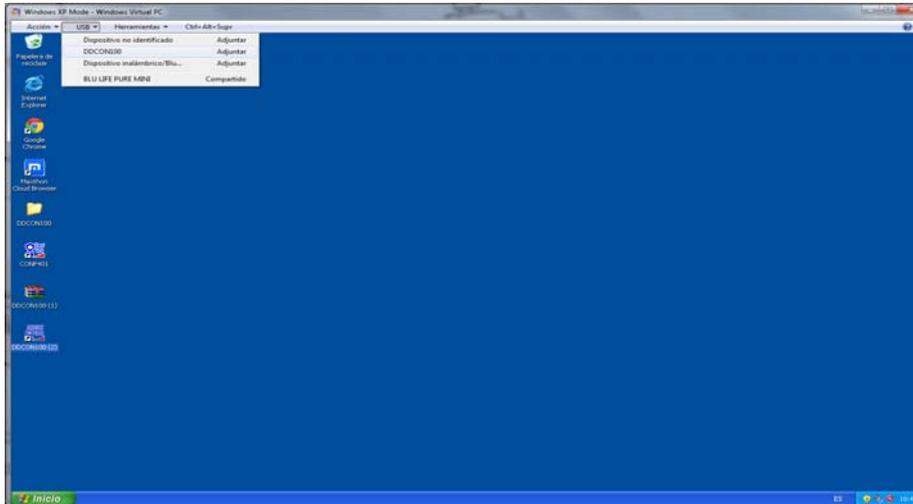


Figura 28. Abrir Programa DDCON 100

2. Verificar en el menú Settings en la opción Communication Port... que aparezca habilitado DDCON 100-0 (figura 29), esto significa que el programa reconoció la interfaz USB y puede hacerse uso de dicha herramienta.

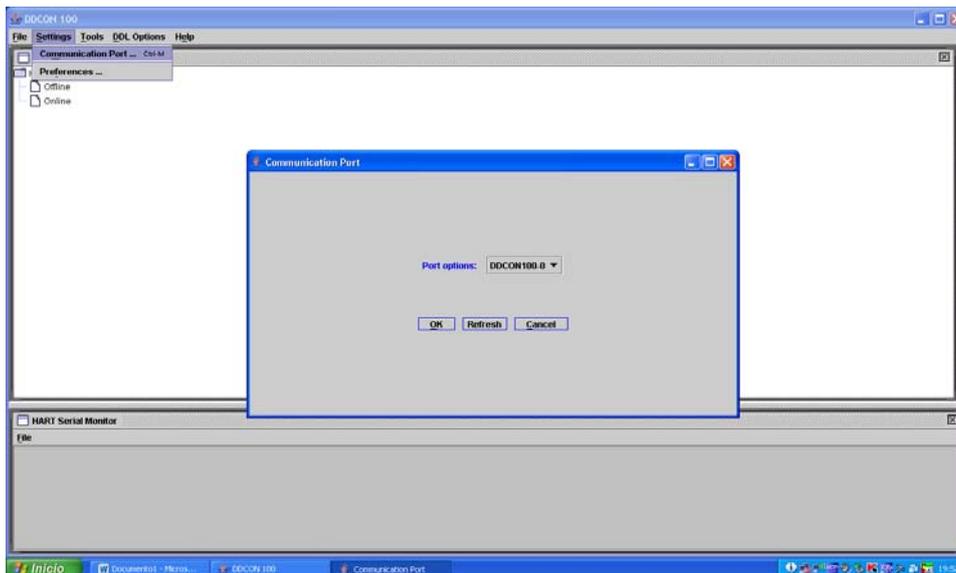


Figura 29. Habilitando DDCON 100-0 en Communication Port

3. En el menú Settings en la opción Preferences verificar que está habilitado el auto poll con el cual el sistema detecta automáticamente los dispositivos conectados al lazo, en este caso detecta el transmisor de presión SMAR bajo el nombre de 0-PIT-Smar, LD291, si esta opción esta deshabilitada, la búsqueda del dispositivo deberá hacerse de forma manual (Figura 30).

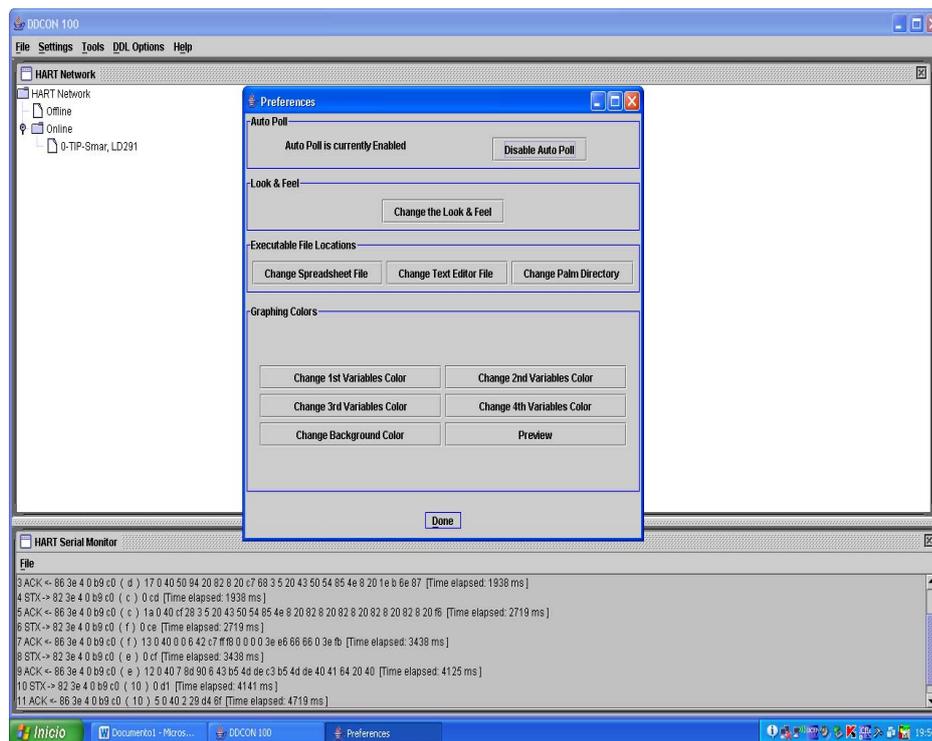


Figura 30. Habilitado del auto poll del Programa DDCON 100

4. Para la búsqueda manual de los dispositivos conectados se debe dar click derecho en la carpeta Online que aparece en el área de trabajo llamada HART Network, luego escoger la opción polling Windows con lo cual se abrirá la siguiente ventana (Figura 31).

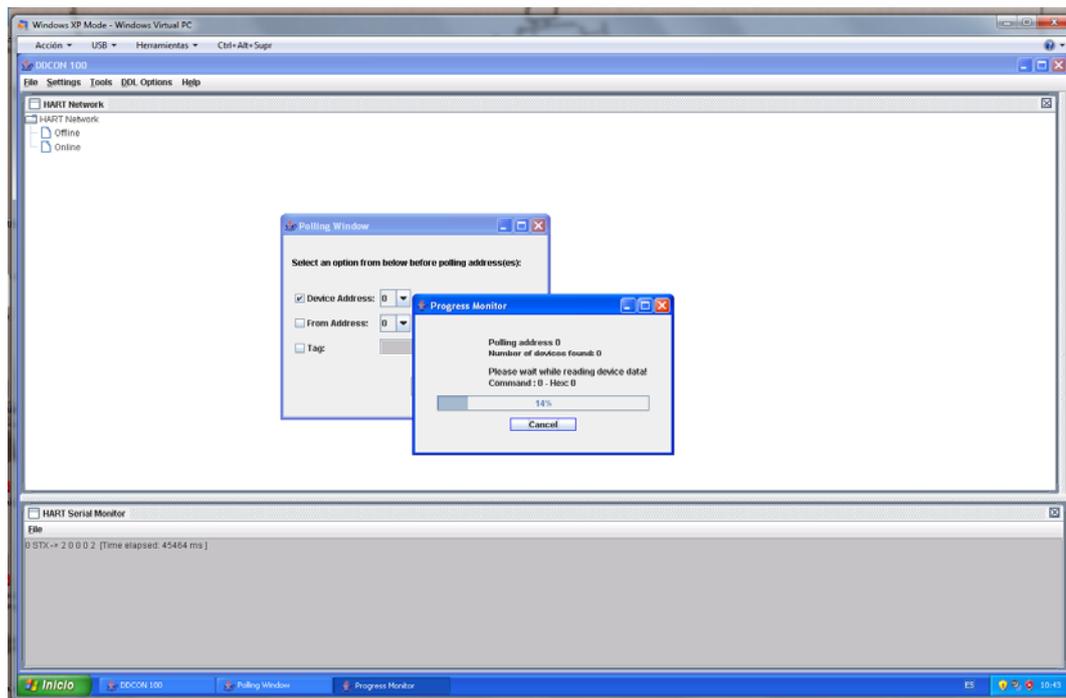


Figura 31. Búsqueda manual de dispositivos Programa DDCON 100

5. El programa debe reconocer el dispositivo bajo el nombre de 0-PIT-Smar,LD291. Al hacer click en el documento con ese nombre emerge una ventana con el nombre PIT – LD291, en esta se pueden realizar modificaciones y visualizar datos en tiempo real que arroja el transmisor de presión SMAR. Explore los diferentes menús y opciones que despliega la ventana, sin modificar los parámetros establecidos (Figura 32).

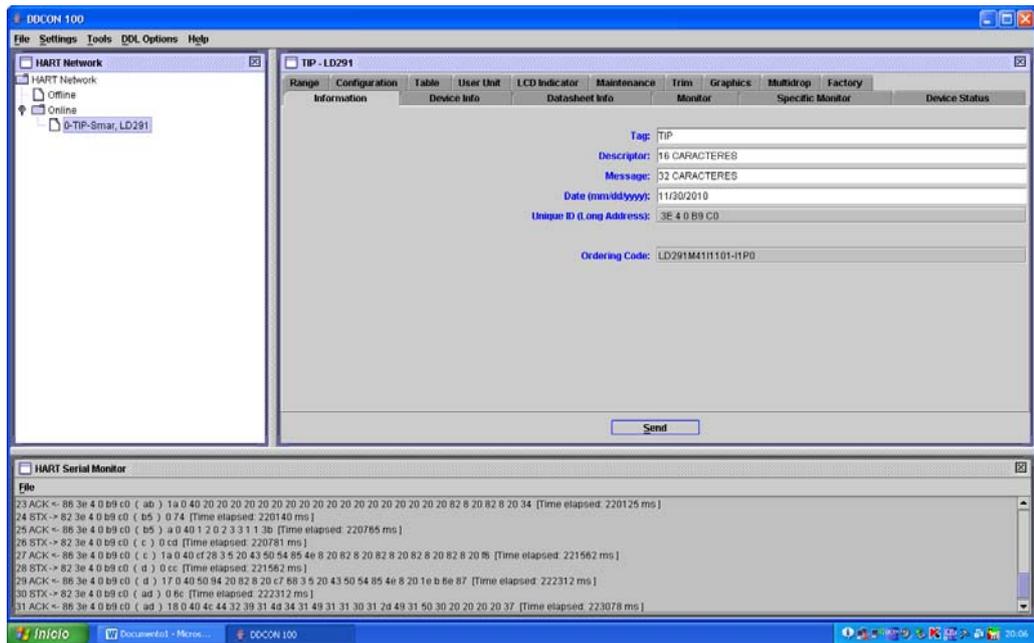


Figura 32. Información Dispositivo reconocido

6. Seleccione la pestaña *Graphics* para desplegar las opciones de capturas en graficas del programa (Figura 33),

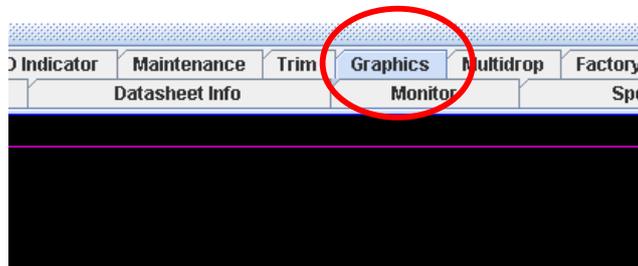


Figura 33. Opciones capturas graficas Programa DDCON 100

7. Presione *start* para iniciar la captura de datos de presión y corriente (Figura 34).

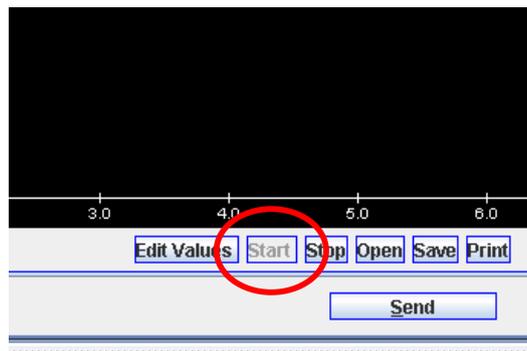


Figura 34. Inicio capturas del dispositivo agregado

2.5 EJEMPLO ANALISIS COMANDO PROTOCOLO HART

2.5.1 Comandos de identificación de direcciones⁹

Cada dispositivo HART posee una dirección de 38 dígitos que contiene el código de identificación del fabricante, el código del dispositivo y el número de identificación particular del dispositivo; es como la cédula de identidad del dispositivo. La maestra HART debe conocer esa dirección para poder interactuar con dicho dispositivo. La maestra puede conocer la dirección de una esclava mediante dos comandos que hacen que la esclava responda dando su dirección. Estos comandos, 0 u 11, son:

0. Leer Identificador Unívoco. Este comando es el preferido para iniciar un enlace con una esclava porque le permite a la maestra conocer la dirección de cada esclava sin interactuar con o sin intervención del usuario. Cada dirección de interrogación (de 0 a 15) permite conocer la dirección propia de cada dispositivo de campo.

⁹ M., J. E. (2005). TRANSMISIÓN DE DATOS (Digital 2005 ed.). Merida, VENEZUELA: Taller de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, ULA

11. Leer Identificador Unívoco por Etiqueta. Este comando es útil cuando hay más de 15 dispositivos en la red o si los dispositivos no fueron configurados con direcciones unívocas.

2.5.2 Ejemplo

Se tiene una configuración HART multipunto con N transmisores y una Maestra. La Maestra interroga a los transmisores a una frecuencia tal que cada vez que un transmisor es interrogado, él contiene información nueva. En HART el número máximo de transmisores es $N = 15$.

Mediante un comando CA de la Maestra, los N transmisores adquieren simultáneamente la señal correspondiente durante un tiempo de adquisición de $T_a = 25$ ms, y la retienen en un registro durante un tiempo T_r para transmitirla a la Maestra, cuando le sea requerida, mediante un comando CR. Una vez adquirida la señal, la Maestra comienza a interrogar cíclicamente a los transmisores, los cuales envían la información neta en 25 caracteres. Interrogado el último transmisor, la Maestra ordena una nueva adquisición y así sucesivamente se repite el ciclo. La velocidad de transmisión es de 1200 bps.

Se desea saber el tiempo máximo de retención T_r en las memorias de los transmisores, y el correspondiente período de interrogación T_{int} de cada uno de los transmisores.

Los preámbulos de las tramas contendrán 15 caracteres, las direcciones serán de 4 caracteres y las tramas de comando no llevarán información en el campo de información.

Cada carácter contiene 11 dígitos.

Solución:

Las especificaciones del sistema se muestran en el diagrama de tiempos de la figura 35.

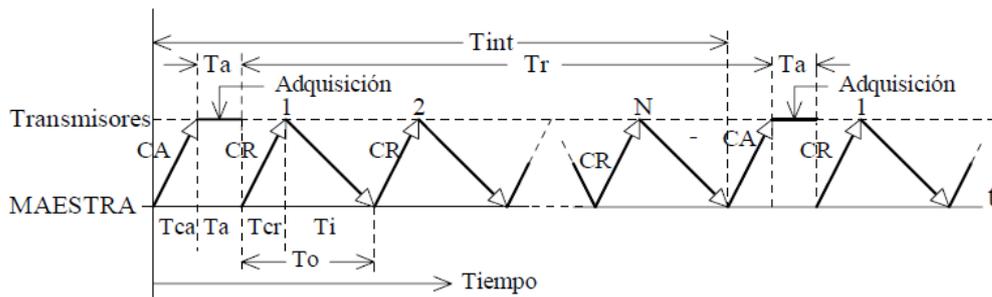


Figura 35. Diagrama de tiempos

Número de caracteres en las tramas de comando CA y CR:

$$N_{CA} = N_{CR} = 15 + 1 + 4 + 1 + 1 + 2 + 1 = 25 \text{ caracteres}$$

Número de caracteres en las tramas de información:

$$N_i = 15 + 1 + 4 + 1 + 1 + 2 + 25 + 1 = 50 \text{ caracteres}$$

Cálculo de los tiempos: $V_i = 1200 \text{ bps}$; $T_a = 25 \text{ ms}$;

$$T_{CR} = \frac{11N_{CR}}{V_i}; \quad T_{CA} = \frac{11N_{CA}}{V_i}; \quad T_i = \frac{11N_i}{V_i}; \quad T_o = T_{CR} + T_i;$$

De la figura, vemos que

$$\text{Tiempo de retención, } T_r = NT_o + T_{CA} = \frac{11N_{CA}}{V_i} (N_{CR} + N_i + N_{CA})$$

$$\text{Período de Interrogación, } T_{int} = T_{CA} + T_a + NT_o = \frac{11}{V_i} [N_{CA} + N(N_{CR} + N_i)] + T_a$$

Los tiempos máximos se tendrán cuando $N = 15$. Entonces, para $N = 15$,

$$T_{r \max} = 13,75 \text{ seg} \quad \text{y} \quad T_{int \max} = 10,567 \text{ seg}$$

Por ejemplo, para $N = 10$, $T_r = 9,167 \text{ seg}$ y $T_{int} = 7,129 \text{ seg}$

Los transmisores podrán producir ahora señales cada 7,129 segundos y la mantendrán en un registro durante 9,167 segundos para ser transmitidas.

2.6 EJEMPLO VISUALIZACION SEÑAL PROTOCOLO HART

Empleando el osciloscopio scopeMeter Fluke 123 seleccionamos modo auto, garantizando la captura de la

señal; tener en cuenta que para capturar la señal debe presionar la tecla

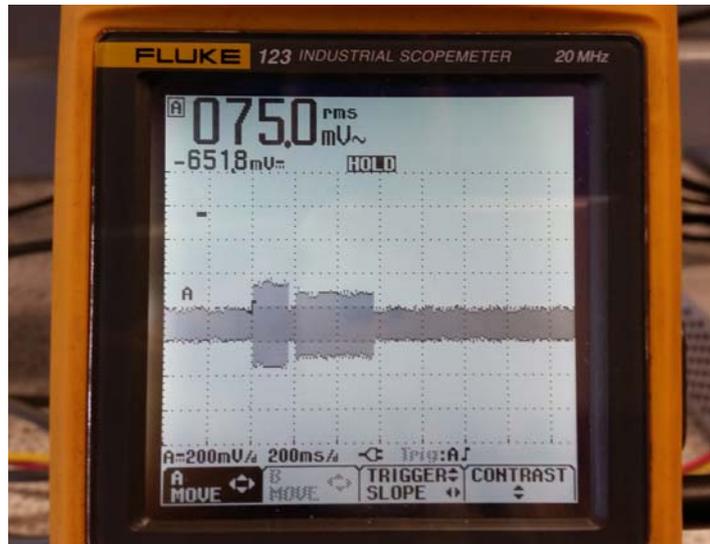


Figura 36. Visualización en osciloscopio señal HART generada por el PIT – LD291

Modifique la configuración del osciloscopio garantizando ampliar la señal visualizando las frecuencias del cero lógico representado por una frecuencia de 2200 Hz, y el uno lógico por 1200 Hz.

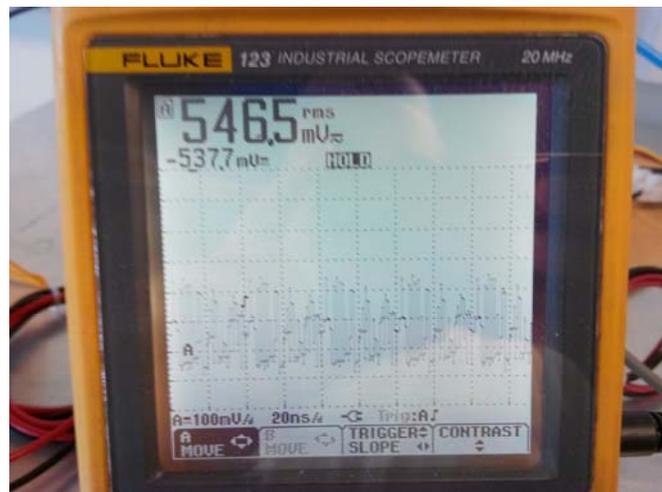


Figura 36. Visualización en osciloscopio señal HART generada por el PIT – LD291

2.7 ACTIVIDADES

- Construya dos (2) curvas de ascenso-descenso del transmisor indicador de presión y el manómetro, registrando en la Tabla 1. la **Presión (Manómetro y PIT) Vs Corriente (calibrador de procesos) Vs Presión patrón (calibrador de procesos)** para el rango de **0psi a 80psi**, cada 5psi.

Calibrador de Procesos		Curva Ascenso – Descenso 1			Calibrador de Procesos		Curva Ascenso – Descenso 2				
Presión (psi)		Presión (psi)			Presión (psi)		Presión (psi)				
Presión (psi)	Corriente (mA)	PIT	PRELOAD	PG 60	Presión (psi)	Corriente (mA)	PIT	PRELOAD	PG 60		
0						0					
5						5					
10						10					
15						15					
20						20					
25						25					
30						30					
35						35					
40						40					
45						45					
50						50					
55						55					
60						60					
65						65					
70						70					
75						75					
80						80					
75						75					
70						70					
65						65					
60						60					
55						55					
50						50					
45					45						
40					40						
35					35						
30					30						
25					25						
20					20						
15					15						
10					10						
5					5						
0					0						

Tabla 1. Datos de Ascenso-Descenso de la Presión.

- Mediante los datos obtenidos desde el osciloscopio identifique la secuencia de datos del protocolo HART obtenida.
- Del ejemplo de la sección 2.5.2 calcule el tiempo máximo de retención T_r en las memorias de los transmisores y el período de interrogación T_{int} de cada uno de los transmisores. Los preámbulos de las tramas contendrán 10 caracteres, las direcciones serán de 4 caracteres y las tramas de comando no llevarán información en el campo de información. Cada carácter contiene 8 dígitos. Los N transmisores adquieren simultáneamente la señal correspondiente durante un tiempo de adquisición de $T_a = 25$ ms.

2.8 RESULTADOS

- Registre las capturas obtenidas en el osciloscopio.
- Registre la captura de Gráficas Presión vs Corriente mediante el software DDCON 100.
- Conclusiones
- Recomendaciones.

BIBLIOGRAFIA

[1] Creus Solé, Antonio. Instrumentación Industrial. Octava Edición. Barcelona, España. Editorial Alfaomega Marcombo. 2011. ISBN 84-267-1361-5.

[2] Pallas Areny, Ramón. Sensores y Acondicionamiento de Señal. Editorial Alfaomega Marcombo. Tercera Edición.

[3] Frederick A. Meier, Clifford A. Meier. Instrumentation and Control Systems Documentation. ISA.

[4] Béla G. Lipták. Instrument Engineers' Handbook - Process Measurement and Analysis. Cuarta Edición. ISA.