

**“PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN HART EN INSTRUMENTACIÓN
CONVENCIONAL DE INSTALACIONES NUCLEARES.
APLICACIÓN EN PUESTA EN MARCHA DEL PROYECTO
DISPOSITIVO DE IRRADIACIÓN.”**

**CARRERA: ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES
Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE**

Alumno: Carlos J. Cartelli
Director: Luis M. Pizarro



Mes y año: Noviembre de 2013.-



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Protocolo de comunicación HART en
instrumentación convencional de instalaciones
nucleares.

Aplicación en puesta en marcha del Proyecto
Dispositivo de Irradiación.

Carlos J. Cartelli
Director de Tesina: Luis M. Pizarro

Noviembre de 2013

Índice general

Resumen	VII
1. Introducción	1
1.1. Aplicación y Propósito de la Tesina.	5
2. HART sobre lazo 4-20mA	7
2.1. Comunicación por lazo 4-20 mA.	8
2.2. HART.	10
2.2.1. Ventajas y desventajas de HART	14
3. Puesta en marcha de instrumentación HART del Dispositivo de Irradiación	17
3.1. Proyecto Dispositivo de Irradiación	17
3.1.1. Descripción básica	17
3.1.2. Componentes de I&C del Sistema de Refrigeración	19
3.2. Operaciones de puesta en marcha sobre la instrumentación HART	22
3.2.1. Inspección de conexión de lazos	23
3.2.2. Configuración de instrumentos	24
3.2.3. Pruebas funcionales	26
3.3. Ejemplos de puesta en marcha de instrumentación	26
3.3.1. Puesta en marcha de sensor de presión Rosemount 3051S	27
3.3.2. Puesta en marcha de válvulas de control con controlador inteligente DVC2000	29
3.3.3. Resultados de la inspección de instrumentos	34
4. Conclusiones	35

Índice de figuras

1.1. Diagrama simplificado de los componentes de I&C en una planta.	2
1.2. Importancia de la exactitud de la medición para la realización de una experiencia en el reactor.	3
1.3. Importancia del tiempo de respuesta de una RTD para la detección de un incremento abrupto de temperatura de un fluido.	3
2.1. Tipo de protocolo en dispositivos de campo instalados hasta 2011.	8
2.2. Tipo de protocolo en dispositivos de campo instalados en 2011.	8
2.3. Lazo de corriente 4-20mA típico.	8
2.4. El procedimiento de comunicación en una red 4-20 mA.	9
2.5. Lazo de control en una red 4-20 mA.	10
2.6. Filtrado necesario para separar las componentes superpuestas de la señal.	11
2.7. Las señales obtenidas luego de filtrar la señal transmitida y la interpretación digital de la señal.	12
2.8. Representación simplificada de los componentes internos de dispositivos HART.	12
2.9. Ejemplo de lazo de control en una red HART.	14
2.10. Ejemplo de la información accesible en un dispositivo HART.	15
3.1. Foto del Sistema de Refrigeración, vista frontal.	18
3.2. Foto del Sistema de Refrigeración, vista superior.	19
3.3. Diagrama P&I básico del Sistema de Refrigeración.	20
3.4. La instrumentación del sistema y la dificultad de acceso a la misma.	21
3.5. La instrumentación en CNE para notar las diferencias de acceso, respecto del Sistema de Enfriamiento.	21
3.6. El controlador DeltaV en el tablero de control.	22
3.7. Diagrama simplificado de interconexión de tableros.	23
3.8. Configurador HART Emerson 475 Field Communicator.	24
3.9. Planilla ejemplo relevada por PC en línea con un instrumento HART.	25
3.10. Secuencia de pantallas para configuración mediante HHH.	25
3.11. Pantallas de ValveLink Mobile para pruebas de recorrido de vástago.	26
3.12. Diagrama en bloques de operación de sensor de presión Rosemount 3051S.	27
3.13. Circuito de prueba para sensor de presión HART Rosemount 3051S.	28

3.14. Tablas de instrumentos con datos de campo de entradas analógicas + HART.	29
3.15. Diagrama en bloques de lazo interno de controlador Fisher DVC2000.	30
3.16. Circuito de prueba para controlador de válvula FisherDVC2000.	31
3.17. Tablas de instrumentos de campo de salidas analógicas + HART.	33

Resumen

El equipamiento de instrumentación y control (I&C) es esencial para operar instalaciones nucleares garantizando operación segura y eficiente en todos los estados operativos. En lo particular, para reactores de investigación y teniendo en cuenta su propósito, los datos relevados por la instrumentación durante cada ensayo constituyen información muy valiosa a la hora de analizar resultados de las experiencias. La I&C como conjunto ha tenido una gran evolución tecnológica, migrando desde equipamiento analógico-electromecánico hacia equipamiento digital. Estos cambios aplicados en reactores de investigación posibilitan más y mejores ensayos, datos de monitoreo más confiables, menor exposición a radiación del personal, mejoras en eficiencia operativa en el caso de reactores que también producen radioisótopos, etc. Sin embargo; y pese a lo mencionado, la mayor parte de las instalaciones nucleares actuales todavía conserva componentes de tecnología analógica y han pasado de un nivel de equipamiento a otro reteniendo parte de cableados, sensores y actuadores diseñados entre las décadas del 50 y 60. Aún cuando los beneficios son evidentes, la incorporación de tecnología digital de I&C en instalaciones nucleares existentes es sustancialmente más lenta que en otras industrias.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, y para aumentar la capacidad de ensayo del reactor RA-3, un Proyecto de Cooperación Técnica entre el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) contempla el diseño, la fabricación y el montaje de una instalación denominada *Dispositivo de Irradiación*. El objetivo de la instalación es poder irradiar barras combustibles de reactores de potencia. Esto permitiría estudiar el comportamiento de combustibles en condiciones de operación que reproducen total o parcialmente la presión, temperatura, velocidad y química del refrigerante de las centrales nucleares argentinas Atucha I (CNAI), Atucha II (CNAII), Embalse (CNE) y CAREM. El resultado de esos estudios podría aportar mejoras a los diseños de combustible de las centrales mencionadas. Para lograr las condiciones de operación del combustible de las centrales, el Proyecto Dispositivo de Irradiación incluye un *Sistema de Refrigeración* de la instalación, constituido como un subsistema modular, con equipamiento de categoría convencional para I&C de procesos. Este subsistema incluye dispositivos digitales de I&C de última generación con redes de comunicación HART (Highway Addressable Remote Transducer) sobre lazos 4-20mA y permite explotar parte de las capacidades de la tecnología digital.

En esta Tesina se analizan y utilizan las capacidades de las tecnologías digitales para desarrollar estrategias que facilitan la puesta en marcha de la planta, simplifican la configuración de instrumentos y permiten detectar errores de instalación y cableado de los mismos, respecto a la documentación de diseño.

Capítulo 1

Introducción

Instrumentación y control, funciones.

El equipamiento de instrumentación y control (I&C) es esencial para la operación segura y eficiente en todos los estados operativos de instalaciones nucleares [17]. Es el encargado primario de mantener las variables de proceso dentro de límites de diseño, y colaborar en la mitigación de ciertos transitorios, contribuyendo a minimizar la demanda de las funciones de protección. Por lo tanto cumple un rol fundamental en el principio de defensa en profundidad [14]. En lo particular, para reactores de investigación y teniendo en cuenta su propósito, los datos relevados por la instrumentación durante cada ensayo constituyen información muy valiosa a la hora de analizar resultados de experiencias [18]. Se puede considerar a la instrumentación como el “sistema nervioso” de la planta, ya que aporta información continua de las condiciones en la que se encuentra operando [24]. Con esta información, el sistema de control actúa consecuentemente de manera automática y asiste a los operadores en los casos que es necesario una operación conjunta. También operadores y personal de mantenimiento pueden utilizar la información adquirida para evaluar causas de degradación de condiciones de funcionamiento de la instalación y planificar las acciones preventivas y correctivas necesarias [15].

Clasificación general.

De manera general, los componentes de un sistema de I&C pueden clasificarse de acuerdo a sus funciones en

- Sensores, que miden las variables físicas de los procesos de la planta; como temperatura, presión y caudal, por ejemplo.
- Actuadores, que intervienen sobre -y modifican- los procesos físicos de manera de implementar acciones de control sobre la planta. Válvulas y bombas modifican el caudal de fluidos, por ejemplo.
- Controladores, que procesan la información de los sensores y definen las decisiones para regular las condiciones de los procesos.
- Infraestructura de comunicación, que transmite información hacia y desde los controladores, por ejemplo mediante el cableado.

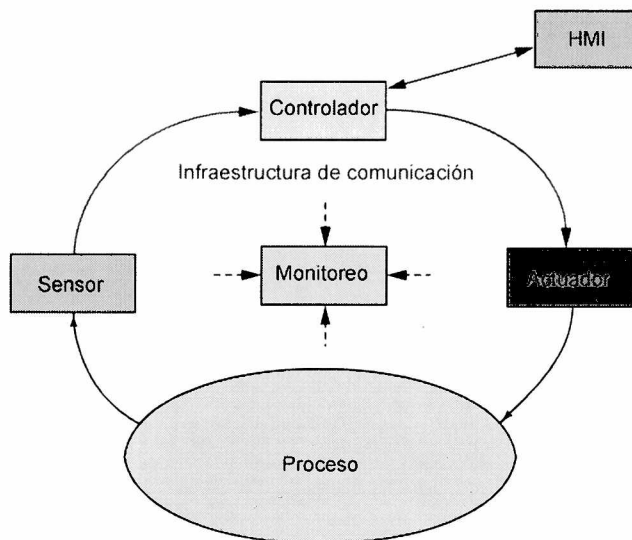


Figura 1.1: Diagrama simplificado de los componentes de I&C en una planta.

- Sistemas de monitoreo, diagnóstico y almacenamiento de información operativa, que permiten evaluaciones históricas de procesos y componentes.
- Interfaces humano-máquina, que muestran a los operadores las condiciones de operación en línea.

El diagrama de Fig. 1.1 ilustra la relación entre los componentes de I&C en una planta.

Clasificación funcional.

El Organismo Internacional de Energía Atómica menciona que, por lo diverso de las variables físicas presentes en instalaciones nucleares, es conveniente clasificar la instrumentación de acuerdo al parámetro de la planta con el que se vincula [15] en

- Convencional o de procesos, para medir variables de procesos no-nucleares, como presiones y caudales del refrigerante, por ejemplo.
- No convencional, con instrumentación para medir los variables relacionadas con los procesos nucleares, como por ejemplo flujo neutrónico; monitoreo ambiental, para determinar condiciones de radiación en el sitio de la planta; especial, para medir otras variables como vibraciones, condiciones sísmicas, de conductividad del agua, etc.

En este trabajo toda la instrumentación tratada es de tipo convencional.

Necesidad de exactitud y alta velocidad de respuesta.

Es necesario que los componentes de I&C de una instalación nuclear estén adecuadamente calibrados y posean buen comportamiento dinámico. Particularmente en un reactor de investigación, esto influye tanto en cuestiones relativas

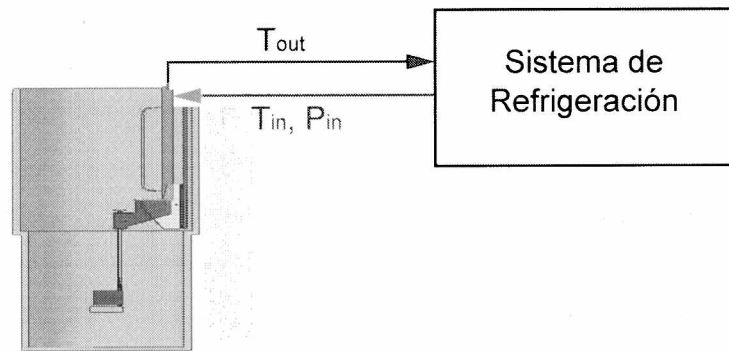


Figura 1.2: Importancia de la exactitud de la medición para la realización de una experiencia en el reactor.

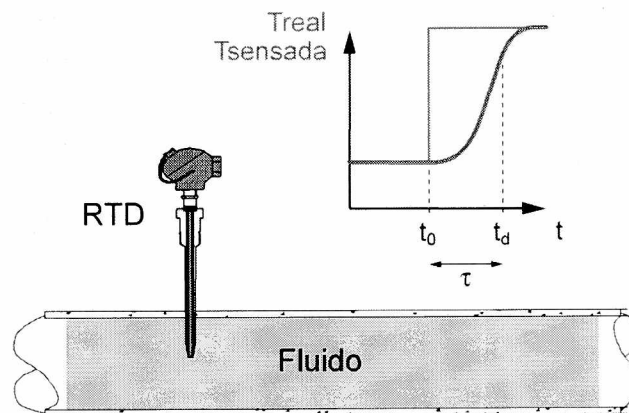


Figura 1.3: Importancia del tiempo de respuesta de una RTD para la detección de un incremento abrupto de temperatura de un fluido.

a las experiencias a realizar como en las condiciones de seguridad. Dos ejemplos simplificados ilustran con claridad los motivos de esta exigencia.

El primero plantea que se necesita realizar una experiencia bajo condiciones de ingreso y salida de refrigerante a un dispositivo muy precisas (ver Fig. 1.2). Si la instrumentación instalada no es lo suficientemente precisa, y está calibrada con exactitud, la experiencia no tiene valor de muestra.

El segundo ejemplo plantea que los sensores deben detectar rápidamente los cambios en las variables de procesos, como por ejemplo un escalón en la temperatura. De esta forma pueden proveer información que determine acciones de control también rápidas y efectivas minimizando el retardo τ ocasionado por el tiempo de respuesta del sensor, en este caso un detector de temperatura resistivo (RTD) (Fig. 1.3). Esto justifica la necesidad de minimizar los tiempos de respuesta en las mediciones para lograr actuar con rapidez ante ciertos eventos que puedan comprometer la seguridad de la instalación [12].

Evolución.

Los sensores y actuadores de la planta son los responsables primarios de una intervención eficiente sobre el proceso, y normalmente están sujetos a condiciones ambientales severas. Si bien son los componentes más comprometidos y más relacionados con el proceso, no han cambiado sustancialmente desde las primeras instalaciones nucleares hasta la actualidad [13]. Como ejemplos

- la temperatura de procesos sigue determinándose en base a resistencias dependientes de la temperatura o bien termocuplas, y
- la presión con celdas capacitivas o bien membranas y celdas de carga.

Sin embargo la I&C como conjunto sí ha tenido gran evolución tecnológica, evidenciada en la migración secuencial de

- equipamiento analógico - mecánico para instrumentación y lógica de relés para el control, a
- equipamiento implementado con componentes electrónicos de estado sólido, a
- equipamiento digital de I&C [19].

Esta evolución se fundamenta en factores como

- la obsolescencia del equipamiento analógico-mecánico, y el escaso interés de fabricantes en conservar un nicho de mercado que en otras industrias ya ha sido discontinuado,
- las mayores prestaciones que la electrónica aporta a todos los sistemas,
- la reevaluación general de paradigmas de sistemas y componentes empleados en la industria nuclear: en cuanto conceptos de robustez, principios de operación y márgenes de seguridad, motivada en análisis post-accidentes.
- la necesidad creciente de realizar ensayos de adecuación de plantas nucleares a nuevas regulaciones y de extensión de vida.

Los avances tecnológicos en I&C posibilitan más y mejores ensayos, datos de monitoreo más confiables, menor exposición a radiación del personal, mejoras en eficiencia operativa en el caso de reactores que también producen radioisótopos, etc. Sin embargo; y pese a lo mencionado, la mayor parte de las instalaciones nucleares actuales todavía conserva componentes de tecnología analógica y han pasado de un nivel de equipamiento a otro reteniendo parte de cableados, sensores y actuadores diseñados entre las décadas del 50 y 60.

Aportes de la tecnología digital.

Entre los beneficios de la incorporación de tecnologías digitales a I&C de instalaciones nucleares se pueden mencionar

- Reducción del ruido y medición más precisa, en base a mejoras a la electrónica incorporada a los sensores.

- Posibilidad de ajustar parámetros de los sensores y actuadores en línea más fácilmente, incluso en forma remota al equipo.
- Miniaturización de los circuitos relacionados y de la energía insumida en ellos.
- Aumento de la capacidad de procesamiento de la información y por consiguiente la de automatización, reduciendo la necesidad de intervención de operadores y la posibilidad de errores humanos.
- Distribución del control e implementación de redundancias más eficientes.
- Capacidades de auto diagnóstico y monitoreo continuo de funcionalidad.

A pesar de los claros beneficios de la tecnología digital validados en otras industrias, la nuclear es reacia a adoptarla rápidamente. La principal razón de esto es la dependencia del software en el equipamiento digital de I&C. Incluso sabiendo que que el equipamiento analógico tiene normalmente mayores tasas de fallas, sus mecanismos y modos de fallas son percibidos como “mejor entendidos” y mas “reproducibles” [22]. En cambio, los algoritmos implementados en software suelen tener asociadas múltiples entradas y salidas lógicas, con lo que se dificulta evaluar todas las condiciones posibles y evitar errores de diseño y bugs. Es necesario recurrir a procesos de verificación y validación durante el desarrollo, para asegurar que los requerimientos funcionales, de performance y de seguridad se cumplen, antes que pueda ser utilizado en la planta[16]. Esto hace que la incorporación de software de I&C en instalaciones nucleares sea sustancialmente más lenta que en otro tipo de instalaciones industriales.

Una capacidad muy importante de la tecnología digital de I&C que vale la pena resaltar es la de permitir integrar en la instrumentación sistemas de auto diagnóstico, monitoreo de funcionalidad y performance en línea (OLM: On-line monitoring). Estas herramientas pueden usarse en línea para calibración, mantenimiento, evaluación de respuesta dinámica, detección prematura de fallas, estimación de envejecimiento para extensión de vida de la instrumentación, entre otras. Tampoco estas prácticas son utilizadas en instalaciones nucleares a pesar del importante aporte tanto a seguridad como a economía, incluso cuando en muchos casos podrían implementarse sobre la instrumentación ya instalada [1].

Todas estas cuestiones hacen reconsiderar el diseño y actualización de instalaciones del ámbito nuclear, para incorporar tecnología digital y obtener soluciones más seguras, eficientes y también más rentables.

1.1. Aplicación y Propósito de la Tesina.

Como parte de un proyecto conjunto entre la OIEA y la CNEA está previsto el diseño, la fabricación y el montaje de una instalación denominada Dispositivo de Irradiación. El objetivo de la instalación es irradiar barras combustibles de reactores de potencia en condiciones de operación para estudiar su comportamiento. El Dispositivo de Irradiación incluye un Sistema de Refrigeración de la instalación, destinado a lograr esas condiciones y constituido como un subsistema modular. Utiliza equipamiento digital de I&C de categoría convencional, con redes de comunicación con protocolo HART sobre lazos 4-20mA, y permite explotar capacidades digitales discutidas en párrafos previos.

El propósito de esta Tesina es analizar y utilizar esas capacidades desarrollando e implementando estrategias para

- inspección de instalación de tableros, cableado y ubicación de instrumentación,
- realización de pruebas de comunicación entre sistema de control y equipos de campo,
- pruebas funcionales de instrumentos,
- obtención de configuración inicial,
- configuración para adecuación a las condiciones del proceso,
- administración de configuraciones de instrumentos y evolución durante los pasos de puesta en marcha y
- detección de errores y propuestas de soluciones.

Organización de la Tesina

El capítulo siguiente aborda la evolución de las redes 4-20mA hacia el protocolo HART, su funcionamiento y las ventajas -y desventajas- de esta tecnología. Luego, en el capítulo 3, se presenta el Sistema de Refrigeración, la instrumentación instalada y los procedimientos de puesta en marcha de la misma. Finalmente el capítulo 4 expone las conclusiones generales del trabajo.

Capítulo 2

HART sobre lazo 4-20mA

Un *protocolo de comunicación industrial* es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de información entre los distintos dispositivos que conforman una *red industrial* de I&C. En las décadas pasadas, el incremento de potencia y eficiencia de cómputo de sistemas electrónicos ha motivado cambios en los protocolos de comunicación industrial empleados. Inicialmente, en los sistemas de control mecánicos, la comunicación de variables de procesos (PV) y señales objetivos de control (SP) entre los diferentes componentes de una planta se basaba en una señal neumática. Así, presiones entre 3 y 15 psi representaban porcentajes (entre 0 y 100 %) del rango de magnitud de la variable que se tratara. Cuando la electrónica discreta se volvió masiva, los sistemas neumáticos y mecánicos de control fueron reemplazados por lazos de control electrónicos con sensores, relés y conversores de corriente a presión (I/P). La comunicación a su vez migró a un equivalente en señales eléctricas de corriente (entre 4 y 20 mA), también en correspondencia con porcentajes (entre 0 y 100 %) de la variable de proceso. Con la evolución de la electrónica, la funcionalidad de los controladores fue aumentando progresivamente hasta llegar a controladores digitales, incluso a pesar de que las comunicaciones en campo seguían realizándose con lazos analógicos.

A partir de los 80s las comunicaciones digitales comenzaron a introducirse en las *redes de campo*, que son aquellas más “cercanas” a los procesos de la planta. Sin embargo, no hubo acuerdos iniciales y cada fabricante adoptó y desarrolló su propio protocolo de comunicación [7]. Hoy en día aún persisten varias de esas opciones, y con ellas las dificultades de compatibilizar componentes de I&C. Uno de los protocolos de comunicación de campo más difundidos es HART (Highway Addressable Remote Transducer), tal como puede verse reflejado en Fig.2.1 y Fig.2.2 [2]. La principal razón del dominio de HART es la facilidad y los pocos cambios de componentes con que una red de 4-20mA puede actualizarse a digital. Otro factor es la compatibilidad hacia atrás de una red HART con una 4-20mA.

En las siguientes secciones se detallan los cambios y mencionan cuáles son las características, ventajas y desventajas de utilizar HART en las redes de campo.

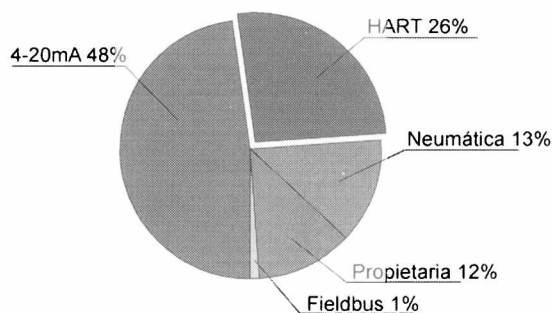


Figura 2.1: Tipo de protocolo en dispositivos de campo instalados hasta 2011.

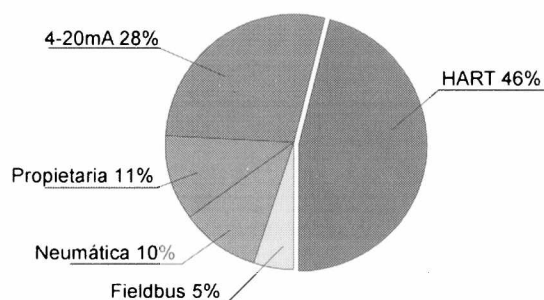


Figura 2.2: Tipo de protocolo en dispositivos de campo instalados en 2011.

2.1. Comunicación por lazo 4-20 mA.

El tradicional lazo de corriente está basado en una señal analógica de corriente continua de rango entre 4 y 20 mA. Un *trasmisor* convierte la variable de proceso sensada por un *sensor* en un valor de corriente de ese rango, que representa la medición. Por ejemplo si se trata de un sensor de presión ajustado en un rango (*span*) entre 2 a 10 bar, el trasmisor convierte linealmente esas mediciones a su equivalente de corriente 4-20 mA que se comunica al sistema de control a través de un lazo de corriente. Un lazo de corriente típico se muestra en Fig.2.3. La figura 2.4 muestra un ejemplo de las conversiones necesarias durante la comunicación para transmitir una señal de 5 bar, desde el sensor hasta el controlador. Inicialmente la señal de presión es convertida a corriente y transmitida por el lazo. Al llegar al controlador, éste la interpreta como un porcentaje

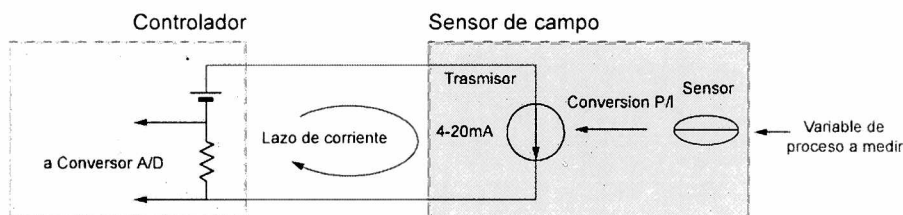


Figura 2.3: Lazo de corriente 4-20mA típico.

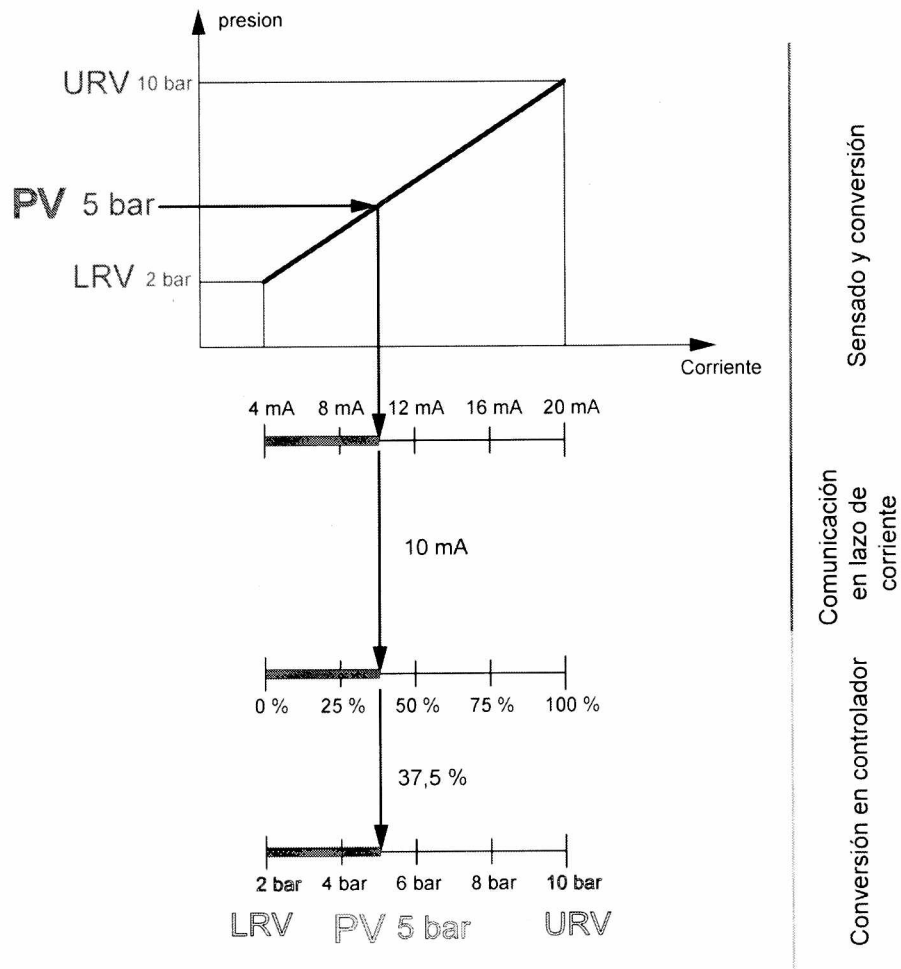


Figura 2.4: El procedimiento de comunicación en una red 4-20 mA.

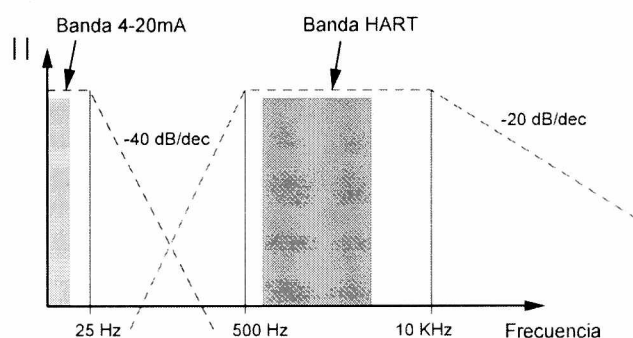


Figura 2.6: Filtrado necesario para separar las componentes superpuestas de la señal.

mo cableado. La parte digital de la información se envía utilizando modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) tal como se propone en la norma Bell 200 [20]. Es decir, se superpone una señal de alta frecuencia sobre una señal típicamente de baja frecuencia como la de 4-20mA relacionada de una variable de procesos. La parte digital de la comunicación es bidireccional y es interpretada por dispositivos de campo “inteligentes”, mientras se conserva la compatibilidad con equipamiento analógico ya que pueden enviarse también datos analógicos de 4-20 mA. La señal digital se transmite representada por una señal senoidal de dos frecuencias distintas:

- 2200Hz para un cero lógico “0”, y
- 1200Hz para un uno lógico “1”.

Como la señal senoidal superpuesta tiene un valor medio cero, la señal de continua no es afectada si se la filtra adecuadamente. En la figura 2.6 se muestra el filtrado necesario para separar la parte analógica de la señal 4-20mA de la que representa la información digital HART. Las señales resultantes de filtrar la señal transmitida se representan en la Fig.2.7. El lazo planteado en Fig.2.3 adaptado y aumentado al protocolo HART, puede verse representado de manera simplificado en Fig.2.8.

Por tratarse de una evolución de una red de comunicación existente, HART ofrece una solución simple para aprovechar los beneficios de una comunicación digital. Y lo más importante, es que lo hace por un par de cables que pueden ser de una instalación 4-20mA previa. Estos son los principales motivos por los que ha sido adoptada como una opción conveniente en comunicaciones industriales a nivel de campo.

Mediante HART la señal PV (o la señal SP) continúa siendo transmitida mediante la señal analógica de 4-20mA, mientras que la parte digital es utilizada para transmitir otro tipo de información. Esa información puede incluir también PV y SP, LRV y URV, las unidades de ingeniería de la medición, otros parámetros del proceso, configuración, calibración, información de diagnóstico del instrumento, información adicional del equipo como temperatura, posición, etc., dependiendo del equipo de I&C que se trate.

En HART existen dos modos para la transmisión de información entre los instrumentos de campo y el controlador.

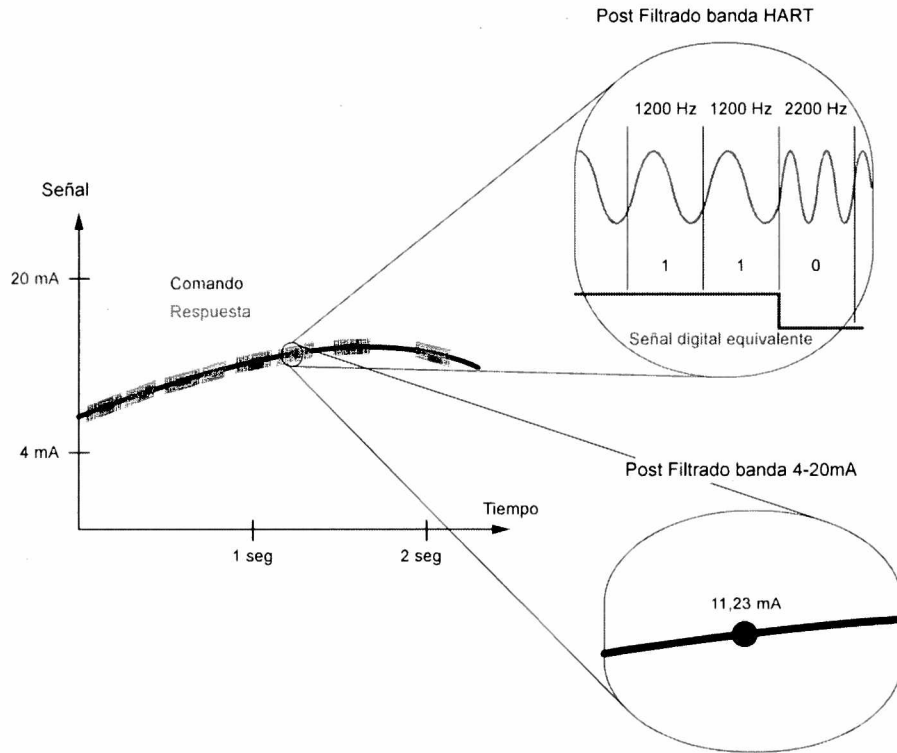


Figura 2.7: Las señales obtenidas luego de filtrar la señal transmitida y la interpretación digital de la señal.

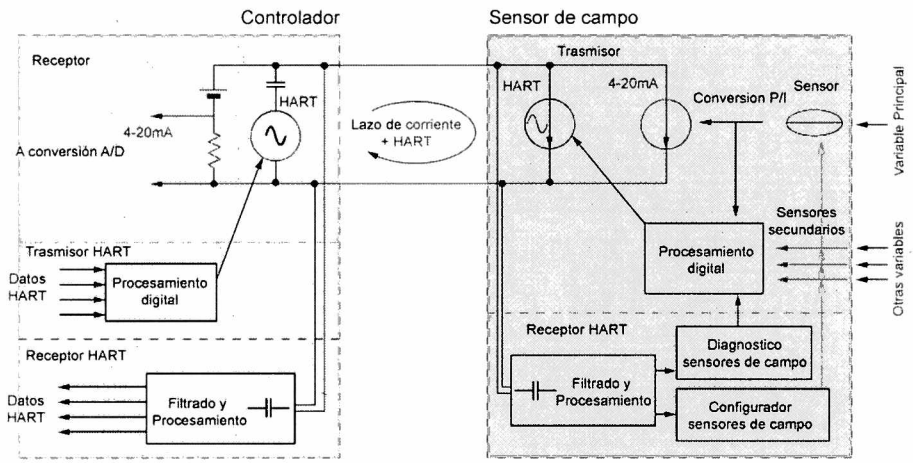


Figura 2.8: Representación simplificada de los componentes internos de dispositivos HART.

- En el *modo maestro/esclavo*, el esclavo (dispositivo de campo) responde a los comandos del maestro(controlador) hasta aproximadamente 2 veces por segundo.
- En el *modo burst* un único dispositivo esclavo emite continuamente un mensaje HART de respuesta estándar entre 3 a 4 veces por segundo, además de responder a las eventuales peticiones del maestro.

En cuanto a la topología de red, la estructura *punto a punto* es la más común. En ella, puede transmitirse información entre el maestro y un único esclavo tanto por la vía digital como la analógica en forma simultánea. Otra opción es la *multipunto* en donde es posible conectar hasta 15 dispositivos en bus. Sin embargo, esta topología sólo soporta comunicación digital, y el lazo de corriente analógico es usado sólo para alimentar los dispositivos.

Nivel de enlace

En el nivel de enlace la especificación define la forma en que se sincroniza la comunicación entre emisor y receptor de los datos. Esto se logra con señales de preámbulo y de mensaje transferido. La comunicación digital del protocolo HART consta de mensajes que contienen

- Delimitador de inicio,
- la dirección del dispositivo destino,
- espacio para futuras expansiones,
- el comando o la instrucción para el destinatario,
- la cantidad de datos enviados,
- los datos propiamente dichos,
- campos de validación de la estructura.

Esta estructura permite cierta flexibilidad en el tipo de datos a transmitir y también posibilita control de errores robusto, y a la vez simple. Como desventaja la comunicación en el protocolo HART es half-duplex.

Nivel de aplicación

El nivel de aplicación está centrado en comandos, tipos de datos, y en datos y operaciones de diagnóstico y configuración. En cuanto a los comandos, hay tres tipos básicos:

- Universales: proporcionan acceso a información genérica y común a todos los equipos.
- Comunes: proporcionan acceso a funciones que son implementadas en muchos dispositivos, pero no en todos.
- Específicos: permiten que cada aparato equipo tenga parámetros o funciones exclusivos.

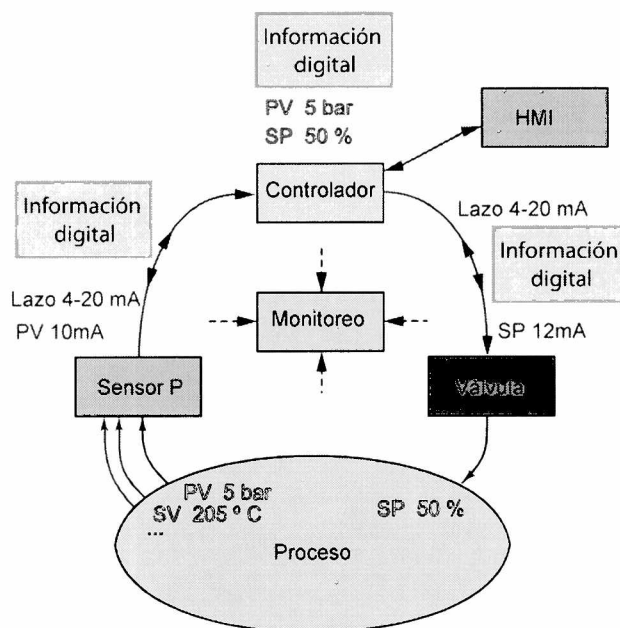


Figura 2.9: Ejemplo de lazo de control en una red HART.

En cuanto a los tipos de datos, el nivel de aplicación permite comunicar múltiples PVs para un dispositivo, datos de tipo carácter, enteros, de punto flotante con precisión de 32 y 64 bits, unidades de ingeniería, identificación del dispositivo y fecha. Los datos y funciones de diagnóstico incluyen información de estado de funcionamiento, alarmas y advertencias por exceso en los límites de URV o LRV, errores en comunicación, incompatibilidad de configuraciones entre el dispositivo y el sistema de control, etc. Respecto a la configuración, las funcionalidades son diferentes de acuerdo el tipo de dispositivo de campo que se trate pero, en general la configuración completa puede hacerse mediante el protocolo, en forma remota al dispositivo de campo y a través de su misma red.

Volviendo al esquema de Fig.2.5 y adaptándolo para el protocolo de comunicación HART, queda representado por Fig.2.9.

2.2.1. Ventajas y desventajas de HART

La principal ventaja de HART es la simplicidad de actualización desde una red de 4-20mA, tanto por la utilización del mismo cableado así como por la posibilidad de mantener la compatibilidad hacia atrás de la comunicación. Respecto al flujo de información, con HART la comunicación se transforma en bi-direccional, con lo que pueden configurarse y ejecutarse procedimientos de diagnóstico enviando comandos al dispositivo de campo por la misma vía, y en forma remota. Esta capacidad es muy conveniente en el caso de Dispositivo de Irradiación por la dificultad de acceso a muchos de los transmisores, tal como se comentará más adelante. Además, la información enviada por vía digital puede incluir múltiples variables de proceso, y la analógica conserva la comunicación de la variable principal. Incluso por vía digital puede enviarse el mismo dato que

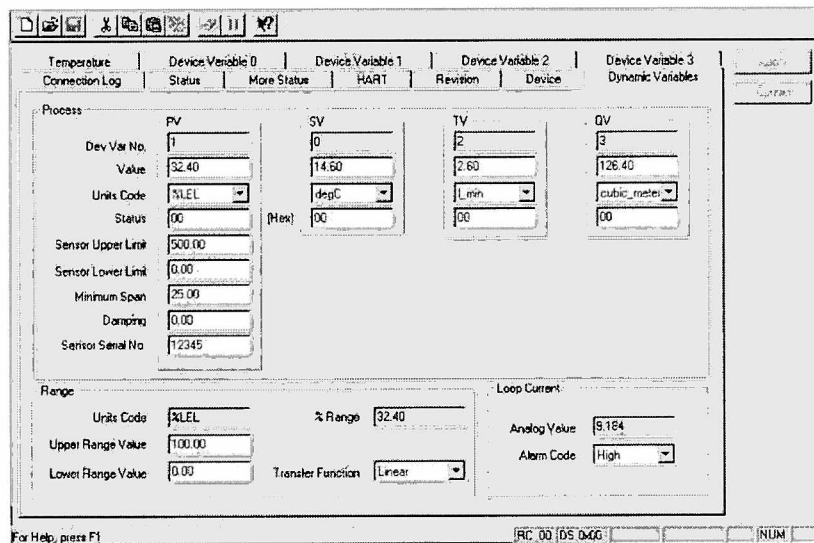


Figura 2.10: Ejemplo de la información accesible en un dispositivo HART.

por vía analógica, con lo que se provee cierta diversidad a la comunicación [11]. Un ejemplo de la información y la capacidad de configuración disponible en un transmisor HART se muestra en la Fig.2.10. Desde el punto de vista del ruido que puede filtrarse en la transmisión hacia el controlador, la ventaja de la señal digital es que se aplican algoritmos de detección, corrección de errores y por lo tanto es un protocolo con gran robustez en la comunicación de datos. La gestión de alarmas es muy superior a lo que podía hacerse con la señal puramente analógica, brindando la posibilidad múltiples causas diferenciadas entre ellas.

La principal desventaja del protocolo HART es la baja velocidad de transmisión de datos digitales (1200 bps). A esa velocidad de transmisión sólo pueden obtenerse datos del proceso a los sumo hasta 4 veces por segundo. Esto hace que la información digital se utilice principalmente para datos de diagnóstico, gestión de alarmas y configuración; y que la información para control sea provista por la señal 4-20mA del lazo.

Capítulo 3

Puesta en marcha de instrumentación HART del Dispositivo de Irradiación

3.1. Proyecto Dispositivo de Irradiación

3.1.1. Descripción básica

El Proyecto de Cooperación Técnica entre el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) ARG/4/087 contempla el diseño, la fabricación y el montaje de una instalación denominada Dispositivo de Irradiación. El objetivo de la instalación es irradiar -en el reactor RA-3- barras combustibles de reactores de potencia en condiciones de operación para estudiar su comportamiento. Se propone que este dispositivo pueda reproducir total o parcialmente las condiciones de presión, temperatura, velocidad y química del refrigerante de las centrales nucleares argentinas Atucha I (CNAI), Atucha II (CNAII), Embalse (CNE) y CAREM. Para lograr esas condiciones, el Proyecto Dispositivo de Irradiación incluye un Sistema de Refrigeración de la instalación, constituido como un subsistema modular, con equipamiento de categoría convencional para I&C de procesos. Este subsistema, incluye dispositivos digitales de I&C de última generación con redes de comunicación HART sobre lazos 4-20mA, que permiten explotar parte de las capacidades mencionadas en el Cap.1. Las figuras 3.1 y 3.2 muestran las fotos de la instalación del Sistema de Refrigeración que actualmente se encuentra emplazada en el Loop de Alta Presión del Centro Atómico Ezeiza. La figura 3.3 muestra el diagrama P&I básico del Sistema de Refrigeración, donde pueden notarse los componentes y la instrumentación instalada en sus subsistemas: (a) Sistema Primario de Transporte de Calor, (b) Sistema Intermedio de Transporte de Calor, (c) Sistema de Transporte de Calor a la Pileta, (d) Sistema de Purificación de Agua y Control de Volumen.



Figura 3.1: Foto del Sistema de Refrigeración, vista frontal.

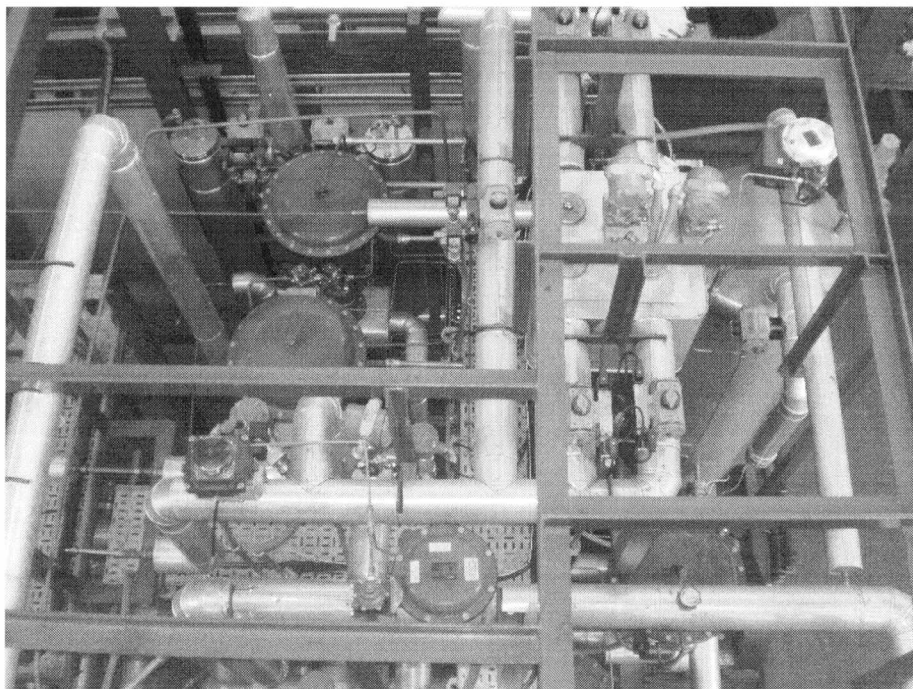


Figura 3.2: Foto del Sistema de Refrigeración, vista superior.

3.1.2. Componentes de I&C del Sistema de Refrigeración Instrumentación

La instrumentación de la instalación consta de:

1. Trasmisores de presión (9) .
2. Trasmisores de presión diferencial, caudalímetros y medidores de nivel (19).
3. Válvulas globo de control con controlador de posición y switches programables (14).
4. Válvulas globo on-off (4).
5. RTDs (18).
6. Válvulas mariposa o esférica on-off(18).
7. Termocuplas (no definido aún).

De estos instrumentos, los items 1 a 3 poseen comunicación HART sobre red 4-20mA. Todos los componentes HART se encuentran conectados en modo punto a punto, lo que en este caso evita que la pérdida de un bus de comunicación afecte simultáneamente a más de un instrumento. En la figura 3.4 se aprecian algunos de los instrumentos instalados, y se observa también la dificultad de acceso a los mismos. Para notar las diferencias en facilidad de acceso se muestra en Fig. 3.5 la instalación de instrumentación en CNE.

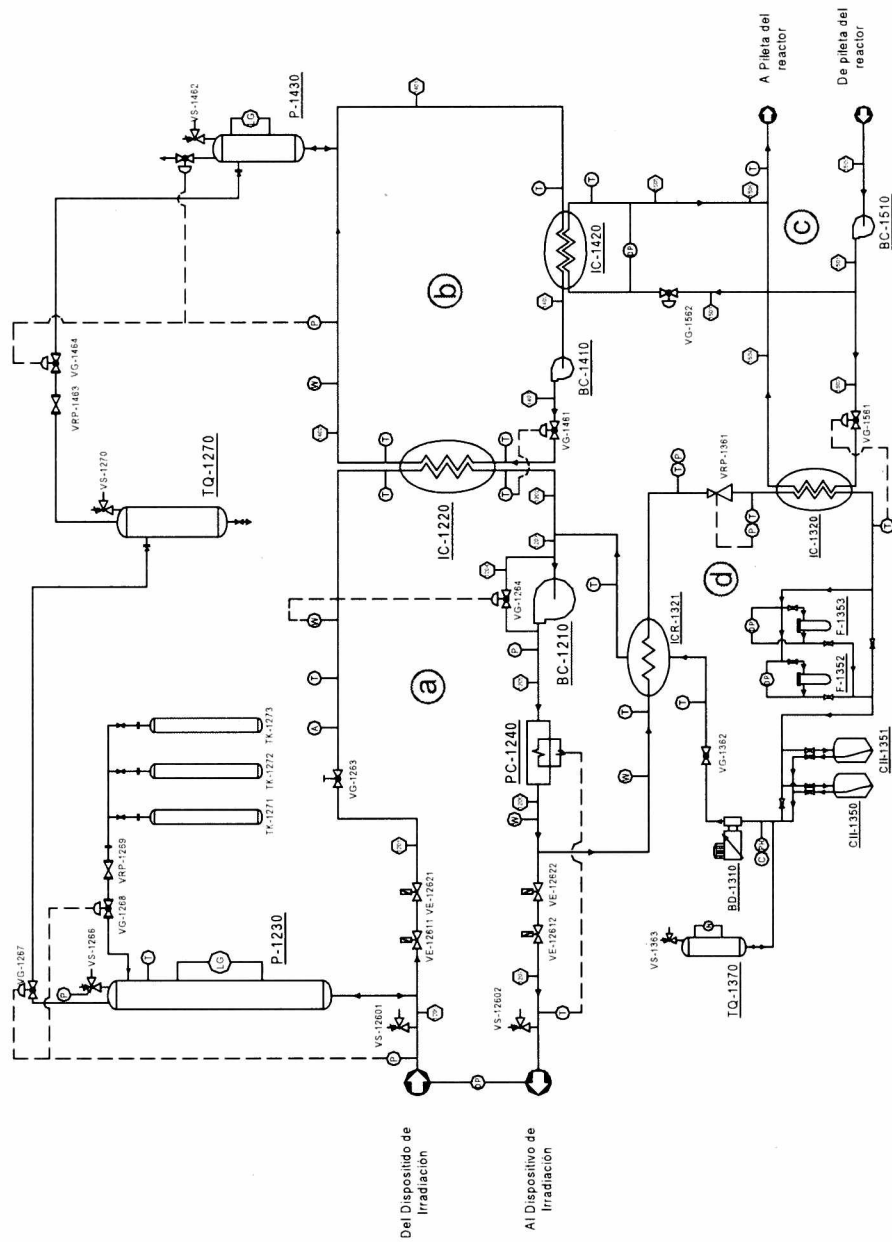


Figura 3.3: Diagrama P&I básico del Sistema de Refrigeración.

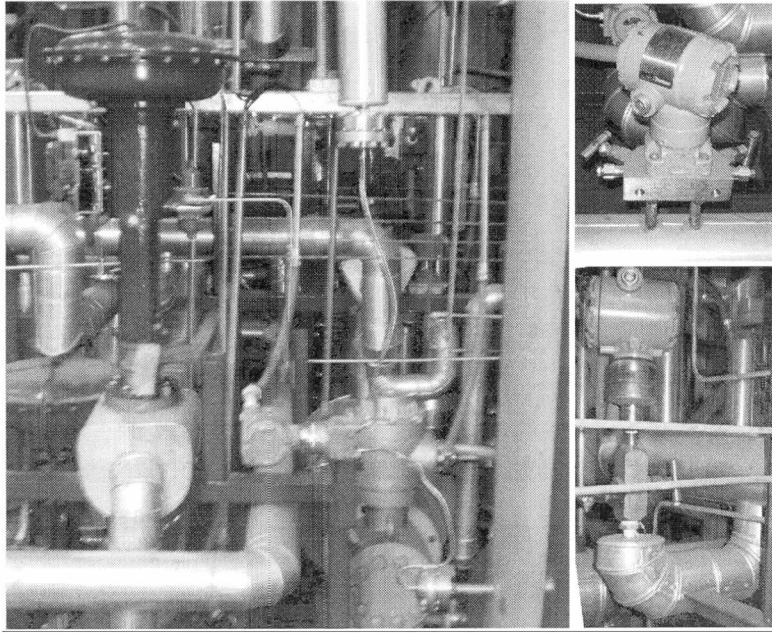


Figura 3.4: La instrumentación del sistema y la dificultad de acceso a la misma.

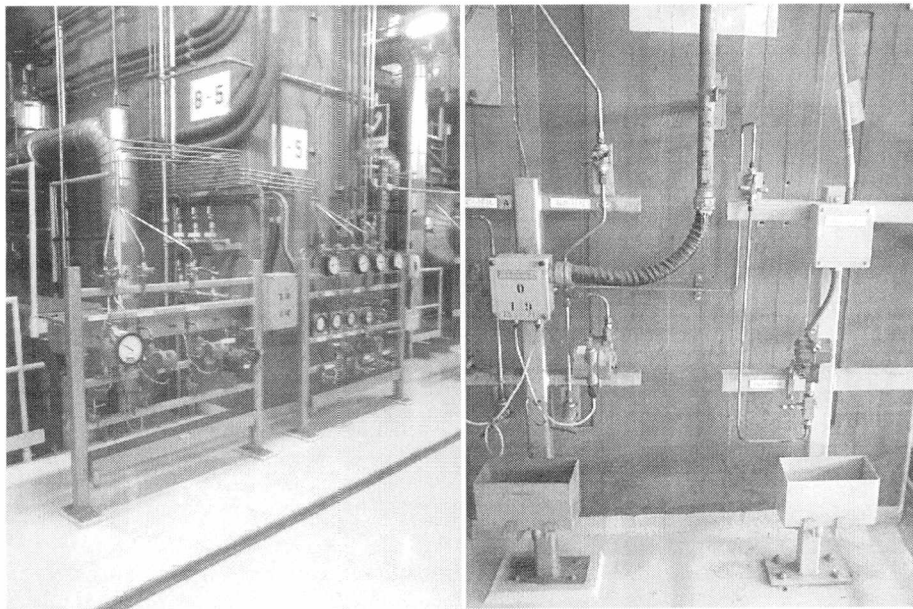


Figura 3.5: La instrumentación en CNE para notar las diferencias de acceso, respecto del Sistema de Enfriamiento.



Figura 3.6: El controlador DeltaV en el tablero de control.

Controlador

El controlador es un equipo de doble redundancia Emerson DeltaV serie M escalable (ver Fig. 3.6), que en este caso tiene instalada la capacidad de comunicación con dispositivos de campo por

- entradas analógicas + HART (40),
- salidas analógicas + HART (24),
- entradas de termocupla (8),
- entradas de RTDs de hasta 4 hilos (24),
- entradas digitales (64) y
- salidas digitales (40).

Además dispone de una estructura de red Ethernet industrial que permite la integración con estaciones de ingeniería, de operación (HMI), de mantenimiento y con otras redes de planta [6].

Tableros de comunicación

El Sistema de Refrigeración dispone de tableros de conexión para la I&C denominados (i) de campo, (ii) de bombas, (iii) de cruzadas y (iv) de control, que enlazan la estructura de comunicación instrumentación de campo - controlador tal como se muestra en el diagrama simplificado de la Fig. 3.7. La interconexión de los tableros de cruzadas y de control aún no está implementada.

3.2. Operaciones de puesta en marcha sobre la instrumentación HART

Se comentan en esta sección las operaciones y técnicas desarrolladas y utilizadas para la puesta en marcha de la instrumentación que dispone de protocolo

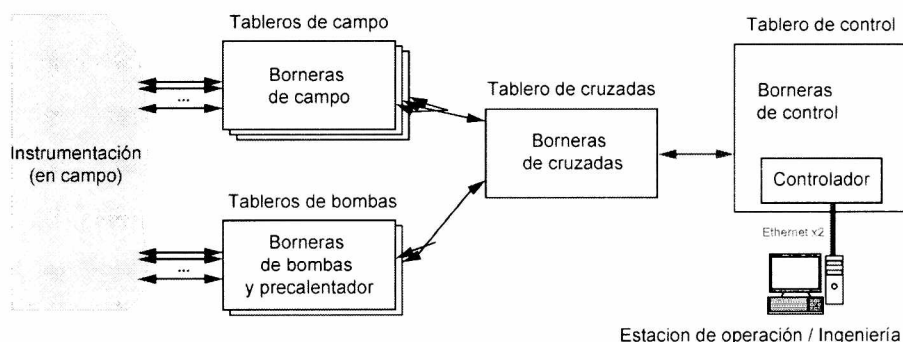


Figura 3.7: Diagrama simplificado de interconexión de tableros.

HART. Como ya se mencionó, por tratarse una instalación compacta el acceso a sensores y actuadores de campo es complicado, y por lo tanto, las capacidades HART para prueba remota de conexión de lazos, de configuración y de operación son sumamente ventajosas. Las operaciones de puesta en marcha se han dividido en (i) inspección de conexión de lazos de corriente, (ii) configuración de instrumentos y (iii) pruebas de funcionamiento.

3.2.1. Inspección de conexión de lazos

Las *pruebas de conexión de lazos* de corriente de la instrumentación HART consisten en la inspección de la instalación de borneras. El propósito de la *inspección de borneras* es chequear que la instrumentación se encuentra conectada eléctricamente de tal manera que se corresponda con lo especificado en los diagramas de lazo documentados en la ingeniería de detalle del proyecto. En esta instancia, y para tratar minimizar el acceso a la bornera de cada instrumento de campo, se diseñaron pruebas utilizando capacidades HART de acceso remoto al instrumento. Para realizar estas tareas es necesario contar con un dispositivo maestro que interactúe con los parámetros propios del instrumento en cuestión. Al no disponer aún de la conexión al controlador, se utilizó el configurador HART de tipo portátil HandHeld HART Emerson 475 Field Communicator (HHH), mostrado en Fig.3.8. Este equipo, que actúa como maestro del lazo, permite acceder mediante comunicación HART a los dispositivos de campo. Una vez logrado el acceso, los parámetros de configuración y las variables de proceso particulares de la instrumentación accedida se encuentran disponibles desde el panel del HHH. Para aprovechar todas las posibilidades de configuración y diagnóstico, cada fabricante de dispositivo suministra un *descriptor de dispositivo* (DD), que es un archivo con funcionalidad análoga a lo que un driver de un periférico es para una PC. Tal como un driver, es independiente y específico para cada modelo de instrumento de campo. En caso de no disponerlo, la funcionalidad accedida se limita a una serie de comandos genéricos. Además, cada DD proporciona una estructura de acceso de tipo planilla o árbol jerárquico en el que se dispone de los (i) parámetros modificables, (ii) parámetros de sólo lectura y (iii) valores medidos por el dispositivo; todos accesibles y ordenados de acuerdo a su función. En la Fig.3.9 se muestra una planilla típica de un dispositivos de campo, accedida desde una PC con software de gestión de



Figura 3.8: Configurator HART Emerson 475 Field Communicator.

dispositivos HART y su contrapartida en navegación en la pantalla del HHH en la Fig. 3.10.

El primer paso de esta etapa es obtener los descriptores (desde una base de datos que mantienen actualizada los fabricantes en www.hartcomm.org) y cargarlos en la memoria SD o bien en la interna del HHH. Luego es necesario alimentar el lazo analógico, ya que los dispositivos HART de la instalación del Sistema de Refrigeración son de tipo pasivo. Para lograrlo se diseñaron circuitos que simulan salidas (o entradas de acuerdo al instrumento a probar) de un lazo 4-20mA y proveen alimentación de señal analógica a cada dispositivo de campo. En estas condiciones es posible el enlace maestro (el HHH) - esclavo (dispositivo de campo).

Si, **desde cada una de las borneras** especificadas para el instrumento, el enlace del HHH con el dispositivo de campo es exitoso, se comprueba la correcta conexión eléctrica de lazo.

3.2.2. Configuración de instrumentos

Después de comprobar el enlace exitoso a un instrumento, la *configuración* consiste en ajustar las características funcionales particulares de cada instrumento de acuerdo al proceso.

El primer paso de la configuración consistió en *taggear* o identificar con la denominación (TAG) definida en la ingeniería de detalle cada uno de los instrumentos de campo, utilizando con ese propósito el HHH. Esta modificación permanece almacenada en la memoria interna no volátil del instrumento de campo.

El *relevamiento de las configuraciones* iniciales de cada instrumento es el

Parameter	Value	Unit	Status
SITRANS P DSIB2			
Identification			
Operation Unit			
TAG	P12711		Changed
Long Tag			Initial val
Device			Initial val
Message			Initial val
Date	01.10.1999		Initial val
Device			
Manufacturer	Siemens		Initial val
Model	SITRANS P DS		Initial val
Dev. id	1		Initial val
Device order number	ZMF-4333-1FAY-1A8G-Z		Changed
Universal Revision	5		Initial val
Device Revision	3		Initial val
Software Revision	1		Initial val
Hardware Revision	1		Initial val
Mounting	Absolutdruck (AP)		Initial val
Original Fabrication No.			Initial val
Final assembly num	1		Initial val
Sensor Serial Number	T		Initial val
Input			
Measuring speed	Medium		Initial val
Pres. damp	0.10	s	Initial val
Pressure Unit			
Pressure Reference	none		Initial val
Pres. unit	mbar		Initial val
Unimrad. Pressure unit	bar		Initial val
Temperature Unit			
Sensor temperature unit	°C		Initial val
Electronic temperature unit	°C		Initial val
Application Switch / HART Variable Assignment			
Application	Pressure		Initial val
PV (HART Primary Variable)	Pressure		Initial val
SV (HART Secondary Variable)	Sensor temperature		Initial val

Figura 3.9: Planilla ejemplo relevada por PC en línea con un instrumento HART.

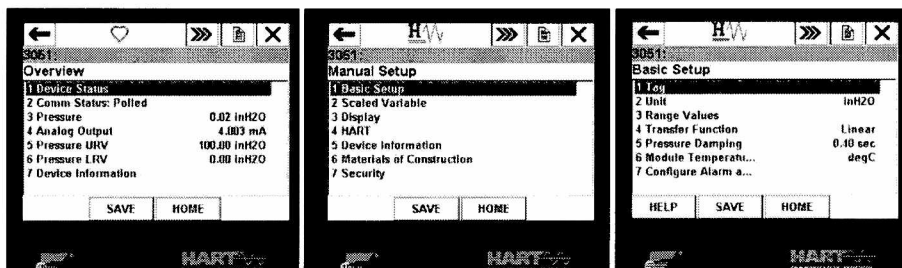


Figura 3.10: Secuencia de pantallas para configuración mediante HHH.

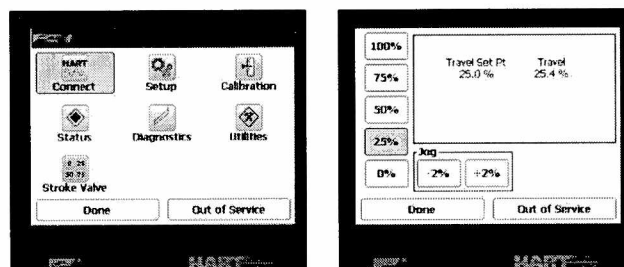


Figura 3.11: Pantallas de ValveLink Mobile para pruebas de recorrido de vástago.

procedimiento posterior al taggeado, y consiste en almacenar en la memoria interna del HHH lo que el protocolo HART denomina *archivo de configuración de hardware* (HCF). Este archivo contiene la configuración actual completa del instrumento. Disponiendo de los HCFs de toda la instalación es posible, llegado el caso de ser necesario, restaurar cada instrumento a la configuración inicial de fábrica. Se generó una copia en PC de esa información obtenida de cada instrumento mediante el HHH.

Por el momento, y como se está en proceso de revisión los datos específicos de proceso para cada instrumento, la configuración se limitó al taggeado, borrado de alarmas y activación e inicialización de funcionalidades básicas tales como los switches de fines de carrera inteligentes de válvulas de control, por ejemplo.

3.2.3. Pruebas funcionales

En el caso de los sensores de presión y los de presión diferencial, las pruebas funcionales consistieron en observar mediante el HHH que las mediciones obtenidas de las variables de proceso principales y secundarias se encontraran con valores del estado inicial: presión atmosférica, temperatura ambiente, presión diferencial nula, etc.

Sobre las válvulas de control se efectuaron pruebas de recorrido de vástago (stroke test), verificación de lazos de realimentación analógica de posición y de switches fin de carrera inteligentes. Esta operación se realizó empleando el software de inspección y pruebas de válvulas de control ValveLink Mobile cargado en el HHH, tal como se ilustra en Fig. 3.11. Es un software que además permite efectuar sobre la válvula la calibración, diagnóstico on-line, evaluación de condiciones evolutivas del estado de componentes internos y sintonización de su controlador [5].

3.3. Ejemplos de puesta en marcha de instrumentación

En esta sección se describen las operaciones de puesta en marcha realizadas puntualmente sobre un modelo de sensor de presión y una válvula de control en carácter de ejemplo del resto de la instrumentación con comunicación HART.

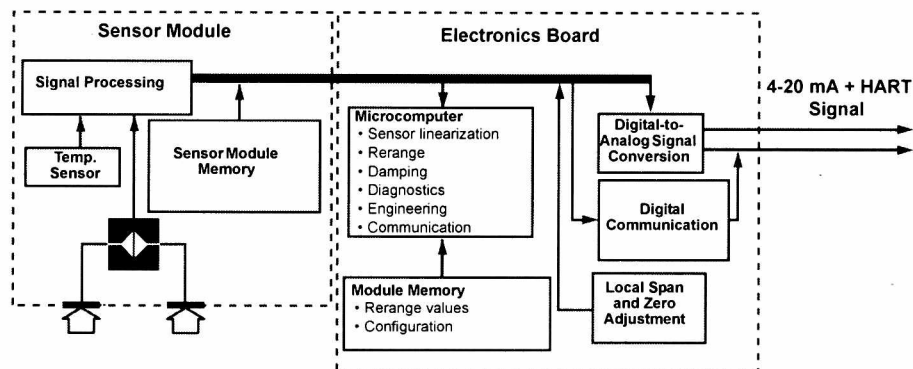


Figura 3.12: Diagrama en bloques de operación de sensor de presión Rosemount 3051S.

3.3.1. Puesta en marcha de sensor de presión Rosemount 3051S

El sensor de presión Rosemount 3051S es un módulo de sensado y trasmisor que tiene versiones de presión y presión diferencial. El módulo de sensado utiliza un elemento de sensado de tipo diferencial capacitivo, que detecta presión diferencial conectado al proceso por una membrana de aislación de interfaz y aceite de siliconas. Además también incluye un sensor que mide la temperatura del módulo de sensado (no del proceso) mediante una RTD. Esta medición le permite acondicionar y corregir la medición de presión dependiendo de la temperatura. En la Fig. 3.12 se muestra el diagrama en bloques funcional del sensor completo, extraído de la documentación del equipo [4]. Entre las funcionalidades configurables por HART se encuentran: la identificación del instrumento, el tipo de unidades de ingeniería de la medición primaria (presión), la conversión de la salida (lineal o raíz cuadrada), las unidades de ingeniería de la variable secundaria (temperatura del sensor), el rango de presión para la relación con 4-20mA (URV y LRV), el damping en la salida de la variable principal, las condiciones que desembocan en alarmas analógicas y digitales, entre las principales.

En la Fig.3.13 se muestra el circuito implementado para la puesta en marcha.

El test que se explica a continuación permite verificar la comunicación HART del trasmisor pasivo, su cableado y la asignación de bornes en tableros de campo y cruzadas.

Test de trasmisor HART

1. Alimentación con fuente de tensión externa en serie con Resistencia de 390Ω , vía tablero de cruzadas.
2. Conexión de HHH en bornera de cruzadas correspondiente al instrumento bajo prueba.
3. Verificación de comunicación HART entre HHH-trasmisor del instrumento.

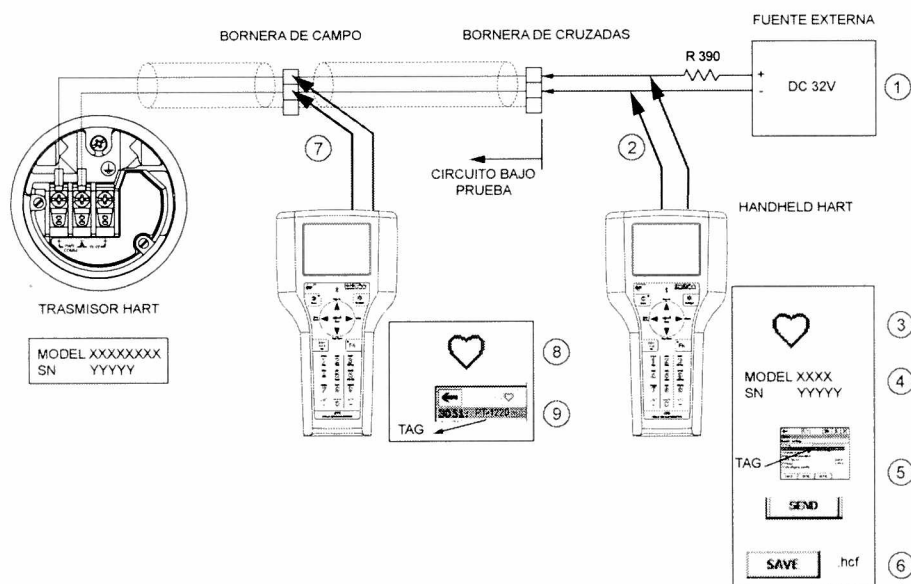


Figura 3.13: Circuito de prueba para sensor de presión HART Rosemount 3051S.

4. Verificación de modelo y número de serie entre el informado por el HHH y la chapa de transmisor o la especificación.
5. Taggeado de instrumento según lo especificado en el P&I.
6. Adquisición del HCF y almacenamiento en HHH.
7. Conexión de HHH en bornera de campo correspondiente al instrumento bajo prueba.
8. Verificación de comunicación HART entre HHH-transmisor del instrumento.
9. Verificación de TAG del instrumento.

Equipamiento utilizado

- HandHeld HART Emerson 475.
- Fuente genérica 32V CC.
- Resistencia 390 Ohms 1W.

Generación de tablas con datos de campo de entradas analógicas + HART

Una vez relevados los dispositivos que envían datos hacia entradas analógicas + HART del sistema de control, se construyeron tablas con los datos de campo. Las tablas incluyen para cada instrumento:

3.3. EJEMPLOS DE PUESTA EN MARCHA DE INSTRUMENTACIÓN 29

22/08/2013 ENTRADAS 4-20mA de campo

TAG	Descripción	Comm HART	Modelo / SN	VF	Especificado	HCF	Cableado			
							C	B	M	
PT-1228	Presión Recipiente TQ-1270	OK	3051S2TG4A2A11A1AQ4	S	3051S2TG3A2A11A1AB4Q4	PT-1228	C	B-017	C	B-016
			196889	S				B	17	B
PT-1229	Presión Aliment. Helio a tanque P-1230	OK	3051S2TG4A2A11A1AQ4		3051S2TG4A2A11A1AB4Q4	PT-1229	N	18	N	18
			196890					M	19	M
DPT-1230	PresiónD en bombe BC-1210	OK	3051CD4A02A1AS5B4Q4	S	3051CD4A02A1AS5B4Q4	DPT-1230	C	B-012	C	B-016
			2180012	S				B	20	B
PT-1324	Presión entrada intercambiador IC-1320	OK	3051S2TG2A2A11A1AQ4	S	3051S2TG2A2A11A1AB4Q4	PT-1324	N	21	N	21
			196865	S				M	22	M
DPT-1327	PresiónD en filtro F-1352	OK	3051S2CD3A2A11A1AQ4	S	3051CD7A02A1AS5B4Q4	DPT-1327	C	B-001	C	B-003
			196847	S				B	30	B
DPT-1328	PresiónD en filtro F-1353	OK	3051S2CD3A2A11A1AQ4		3051CD7A02A1AS5B4Q4	DPT-1328	N	31	N	34
			196848					M	32	M
							C	B-010	C	B-014
							B	1	B	1
							N	2	N	2
							M	3	M	3
							C	B-010	C	B-010
							B	14	B	14
							N	15	N	15
							M	16	M	16
							C	B-010	C	B-014
							B	17	B	17
							N	18	N	18
							M	19	M	19

Figura 3.14: Tablas de instrumentos con datos de campo de entradas analógicas + HART.

- el TAG,
- la descripción de la medición del instrumento,
- el resultado de cada una de las pruebas realizadas,
- el modelo y número de serie del equipo relevado en campo vs. el especificado,
- el nombre del archivo de configuración grabado en el HHH,
- la asignación de cableado y borneras.

Estas tablas permitirán actualizar y corregir la documentación del proyecto con datos de campo y también facilitará la planificación del cableado pendiente entre el tablero de cruzadas y el de control. Una sección de la tabla se muestra en Fig.3.14.

3.3.2. Puesta en marcha de válvulas de control con controlador inteligente DVC2000

El controlador o posicionador válvulas Fisher Fieldvue DVC2000 es un controlador digital diseñado para cumplir con el objetivo de posicionamiento de válvulas enviado por comunicación 4-20mA + HART mediante un lazo interno de control realimentado. La salida de control del posicionador es una señal neumática para el actuador a diafragma de la válvula. La entrada de realimentación para el posicionador se obtiene mediante la medición de la posición del vástago de la válvula. En la Fig. 3.15 se muestra el diagramas en bloques funcional extraído de la documentación del equipo [3]. Además el controlador entrega una salida analógica de referencia de posición de 4-20mA por otro lazo, y también salidas digitales del tipo sensor de proximidad NAMUR para fines de carrera configurables.

Entre las funcionalidades configurables por HART se encuentran la identificación del instrumento, las unidades de presión límites de los switches, tipo de actuador y válvula acoplada, ajuste de respuesta temporal, condiciones de

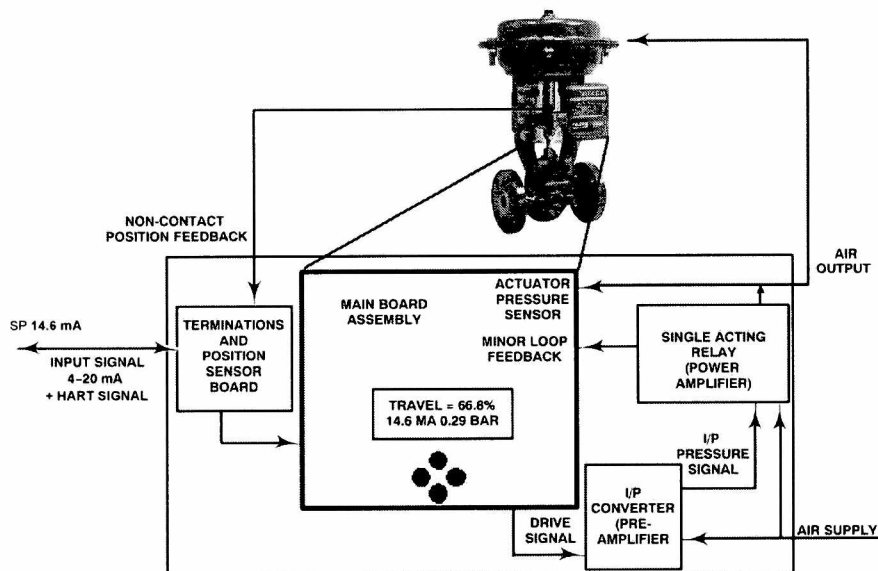


Figura 3.15: Diagrama en bloques de lazo interno de controlador Fisher DVC2000.

alarma y alertas, entre otras y diagnósticos ejecutables por HART como test de stroke, calibración automática, etc.

En la Fig.3.16 se muestra el circuito implementado para la puesta en marcha del controlador de válvula, los switches fin de carrera y el lazo de posición.

Los tests que se explican a continuación permiten

- comprobar la comunicación HART del transmisores pasivos, su cableado y la asignación de bornes en tableros de campo y cruzadas.
- determinar la respuesta del posicionador ante la modificación del SP y el efecto en el movimiento del vástago de la válvula detectado por la salida de posición actual,
- configurar y probar el funcionamiento de switches fin de carrera inteligentes.

a) Test de cableado y comunicación HART posicionador de válvula

1. Alimentación con fuente de corriente externa vía tablero de cruzadas. Corriente fija en 4mA.
2. Conexión de HHH en bornera de cruzadas correspondiente al instrumento bajo prueba.
3. Verificación de comunicación HART entre HHH-controlador de válvula.
4. Verificación de modelo y número de serie entre el informado por el HHH y la chapa de válvula.
5. Taggeado de instrumento según lo especificado en el P&I.

3.3. EJEMPLOS DE PUESTA EN MARCHA DE INSTRUMENTACIÓN 31

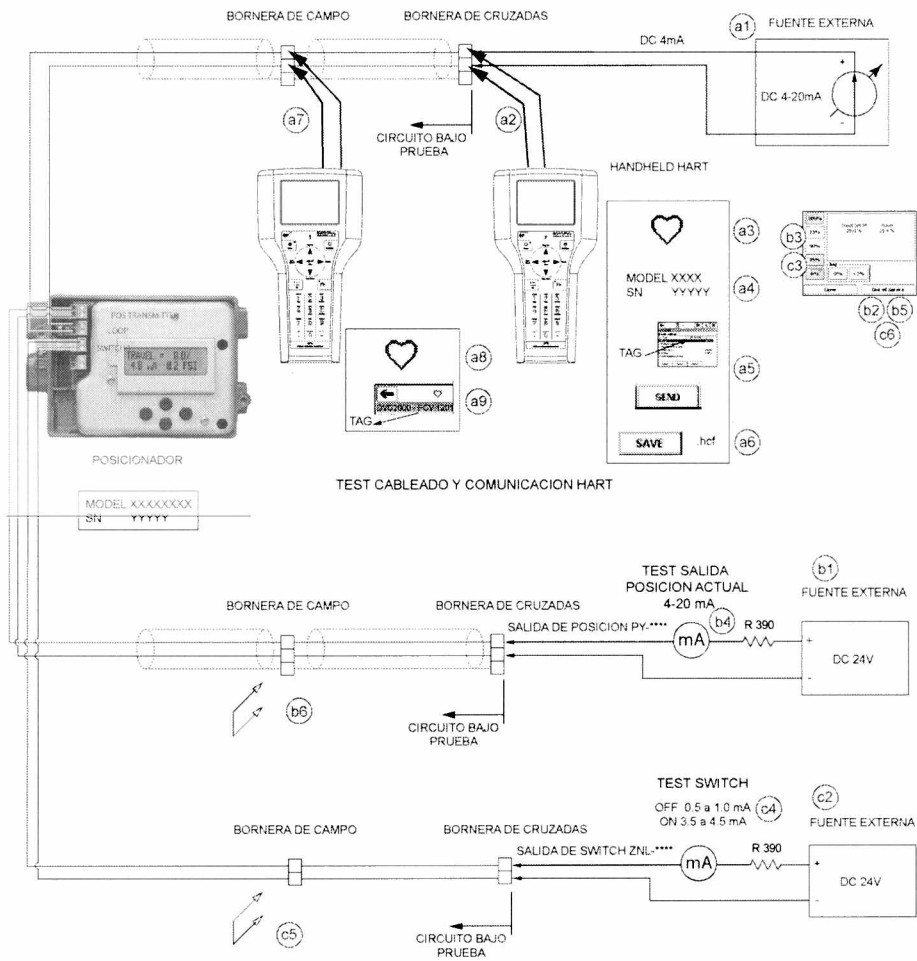


Figura 3.16: Circuito de prueba para controlador de válvula FisherDVC2000.

6. Adquisición del HCF y almacenamiento en HHH.
7. Mantener la alimentación desde tablero de cruzadas y conectar el HHH en bornera de campo correspondiente al instrumento bajo prueba.
8. Verificación de comunicación HART entre HHH-controlador de válvula.
9. Verificación de TAG del instrumento.

b) Test de recorrido de vástago y salida de posición actual

1. Alimentación de lazo de corriente para SP de válvula mediante fuente de corriente en 4mA. Alimentación de aire de instrumentos al controlador de válvula.
2. Inicio de ValveLink Mobile en HHH y puesta en fuera de servicio de la válvula mediante este software.
3. Generación de SP mediante ValveLink para posicionar la válvula en apertura y cierre (0 y 100 por ciento),
4. Verificación del cambio de posición de válvula a través de detección del cambio en el miliamperímetro del circuito de salida de posición actual de vástago.
5. Puesta en servicio normal de la válvula.
6. Cortocircuito temporal en la bornera de campo del lazo de posición actual correspondiente y detección de cambio en el miliamperímetro del lazo de salida de posición actual.

c) Configuración y test de funcionamiento de switches fin de carrera inteligentes

1. Configuración del switch de fin de carrera vía HHH en modo HART. Ejemplo: cerrado para posición por debajo de 5
2. Alimentación de lazo de corriente para SP de válvula mediante fuente de corriente en 4mA. Alimentación de aire de instrumentos al controlador.
3. Generación de SP mediante ValveLink o por variación de la corriente de SP de manera de lograr que la válvula cambie su posición entre 0 y 100
4. Verificación de funcionamiento de la salida SWITCH bajo prueba observando el cambio en la indicación del miliamperímetro. Estado OFF: $I_{switch} < 1mA$, estado ON: $I_{switch} \approx 4mA$.
5. Cortocircuito temporal en la bornera de campo del lazo de switch y detección de cambio en el miliamperímetro del lazo de switch inteligente.
6. Puesta en servicio normal de la válvula si se utilizó ValveLink.

3.3. EJEMPLOS DE PUESTA EN MARCHA DE INSTRUMENTACIÓN 33

22/08/2013										Salidas 4-20mA (SP válvulas)									
TAG	Señal	Descripción	AD	Comm HART	Stroke	Modelo / SN	VF	Especificado	HCF	Cableado									
FCV-1201	PY-1201	Regulación caudal SPTC	ZT	OK	OK	Fisher FIELDVUE DVC2000	S	Kámmet Logix 500 Series	FCV-1201	C	B	B-002	C	B-100					
						19797350	S			N	1	N	1						
FCV-1202	PY-1202	Regulación caudal SPTC	ZT	OK	OK	Fisher FIELDVUE DVC2000	S	Kámmet Logix 500 Series	FCV-1202	M	3	M	3						
						19797351	S			C	B-407	C	B-006						
PCV-1204	PY-1204	Ventoso de P-1230 (hacia TO-1270)	ZN	OK	OK	Fisher FIELDVUE DVC2000	S	Kámmet Logix 500 Series	PCV-1204	D	7	B	7						
						F00046230	I			N	6	N	6						
PCV-1205	PY-1205	Control presión P-1200	ZN	OK	OK	Fisher FIELDVUE DVC2000	S	Kámmet Logix 500 Series	PCV-1205	M	9	M	9						
						F00046234	S			C	B-021	C	B-022						
PCV-1209	PY-1209	Ventoso tanque TO-1270	ZN	OK	OK	Fisher FIELDVUE DVC2000	S	Kámmet Logix 500 Series	PCV-1209	B	1	B	1						
						F00046235	I			N	2	N	2						
PCV-1215	PY-1215	Control de presión TO-1270	ZN	OK	OK	Fisher FIELDVUE DVC2000	S	Kámmet Logix 500 Series	PCV-1215	M	3	M	3						
						F00046236	I			C	B-021	C	B-022						

Figura 3.17: Tablas de instrumentos de campo de salidas analógicas + HART.

Equipamiento utilizado

- HandHeld HART Emerson 475.
- Fuente genérica 24V CC (2).
- Fluke 702 DocumentingProcessCalibrator en modo source mA, como fuente de corriente ajustable.
- Resistencia 390 Ohms 1W (2).
- Multímetro Wavetek DM15XL en modo miliamperímetro (2).

Generación de tablas con datos de campo de salidas analógicas + HART

Una vez relevados los circuitos de válvulas de control, se construyeron tablas con los datos de campo. Las tablas incluyen para cada instrumento:

- el TAG,
- la señal asociada, de acuerdo se trate de lazo de SP, de PV de posición o de switches.
- la descripción funcional de la válvula,
- el resultado de cada una de las pruebas realizadas,
- el modelo y número de serie del equipo relevado en campo vs. el especificado,
- el nombre del archivo de configuración HCF grabado en el HHH,
- la asignación de cableado y borneras.

Estas tablas permitirán actualizar y corregir la documentación del proyecto con datos de campo y también facilitará la planificación del cableado pendiente entre el tablero de cruzadas y el de control. Una sección de la tabla se muestra en Fig.3.17.

3.3.3. Resultados de la inspección de instrumentos

Se detectaron diversos tipos de problemas gracias al empleo de los métodos planteados, entre ellos

- Errores en diagramas de lazo de instalación de borneras.
- Desperfectos en sensores de presión.
- Instrumentos intercambiados de ubicación en el proceso.
- Válvulas de control sin alimentación de aire de instrumentos o con problemas de instalación.
- Switchs de válvulas de control no inicializados.

En todos los casos se sugirieron soluciones a estos problemas, que ya han sido corregidos o lo se hará en lo sucesivo. Además, también se recomendó la adquisición de un instrumento para simplificar la puesta en marcha, simulación de lazos y de salidas de instrumentos; que actualmente está en proceso de entrega.

Capítulo 4

Conclusiones

Durante el desarrollo de las tareas mencionadas en la Tesina, el Sector de Ingeniería - Grupo de Instrumentación y Control incorporó y aplicó nuevos conocimientos sobre el protocolo de comunicación HART para redes de campo, que no habían sido empleados hasta el momento.

Se plantearon las características de la comunicación digital en redes industriales de campo. Se explicó el funcionamiento del protocolo HART que surgió originalmente como una evolución de la comunicación analógica de 4-20mA. Al ser un protocolo con casi treinta años de vida, muy difundido y que de manera simple puede incorporarse a redes 4-20mA, es indicado para nuevas instalaciones I&C de instalaciones nucleares y especialmente en aquellas que necesitan ser actualizadas por programas de extensión de vida.

Por poner un ejemplo, la CNE ya tiene parte de la instrumentación actualizada a equipos que admiten el protocolo HART. La extensión de vida contempla el cambio de la computadora de control, pero el “nuevo” controlador no soportará las prestaciones HART, sólo 4-20mA. Aun así, el personal de mantenimiento de I&C de la central realiza actualmente tareas similares a las descritas en esta Tesina para la puesta en marcha y configuración de los instrumentos.

En el caso particular del Sistema de Refrigeración del Dispositivo de Irradiación, las ventajas en tareas de puesta en marcha se evidenciaron en la simplicidad de configuración y diagnóstico remoto, ya que el acceso a la mayoría de los instrumentos es dificultoso. Comparativamente y para ejemplificar, la puesta en marcha de la instalación de las RTDs (que no poseen transmisores HART), requirió el acceso a la bornera de cada instrumento de campo, la verificación de continuidad hacia cada bornera de conexión de tableros, y por lo tanto demandó mayor tiempo y las pruebas de funcionamiento fueron menos concluyentes.

Las tareas futuras que contempla el Proyecto -y que continúan la línea de trabajo de la Tesina- respecto de los componentes de I&C incluyen

- Finalizar de la configuración del equipamiento HART de acuerdo a las condiciones y rangos de operación del proceso. Podrán emplearse los mismos procedimientos descritos en esta Tesina o bien simplificarse ya que la alimentación de los lazos podría estar provista por el controlador DeltaV.
- Diseñar e implementar sobre el controlador los algoritmos de control del Sistema de Refrigeración. Está previsto que las prestaciones que aportan

los instrumentos HART instalados se aprovechen principalmente para el manejo de alarmas, diagnóstico y monitoreo.

Bibliografía

- [1] Analysis and Measurement Services Corp. (2010). On-Line Monitoring of Accuracy and Reliability of Instrumentation and Health of Nuclear Power Plants, Final Project Report, DOE Grant No. DE-FG02-06ER84626.
- [2] ARC Advisory Group, (2012). Field devices study and estimations. ARC Advisory Group Presentations, Dedham, MA.
- [3] Emerson Process Management (2007). DVC2000 Series FIELDVUE Digital Valve Controllers Reference Manual.
- [4] Emerson Process Management (2010). Model 3051S Series Pressure Transmitter Family Reference Manual.
- [5] Emerson Process Management (2013). ValveLink Mobile Software Quick Start Guide.
- [6] Emerson Process Management (2013) DeltaVTM Digital Automation System Overview.
- [7] Galloway, B. and Hancke, G. (2012). Introduction to Industrial Control Networks, IEEE Communications Surveys and Tutorials.
- [8] HART Communication Foundation (1999). FSK Physical Layer Specification. 8.1. HCF_SPEC-54.
- [9] HART Communication Foundation (2001). Data Link Layer Specification 8.0, HCF_SPEC-81.
- [10] HART Communication Foundation (2001). Command Summary Specification 8.0, HCF_SPEC-99.
- [11] HART Communication Foundation (2005). Hart Tutorial Bulletin.
- [12] Hashemian, H.M. (2006). Maintenance of Process Instrumentation in Nuclear Power Plants, Springer, USA.
- [13] Hashemian, H.M. (2009). State of the Art in Nuclear Power Plant I&C, International Journal of Nuclear Energy Science and Technology, Volume 4, No. 4, page 330-354.
- [14] International Atomic Energy Agency (1997). Research reactor instrumentation and control technology, Vienna.

- [15] International Atomic Energy Agency (1999). Modern Instrumentation and Control for Nuclear Power Plants: A Guidebook. Vienna.
- [16] International Atomic Energy Agency (1999). Verification and validation of software related to nuclear power plant instrumentation and control, Tech.Rept S 384. Vienna.
- [17] International Atomic Energy Agency (2002). Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plant. Safety Standars Series Safety Guide NS-G-1.3, Vienna.
- [18] International Atomic Energy Agency (2009). Research Reactor Modernization and Refurbishment, Vienna.
- [19] International Atomic Energy Agency. (n.d.). Instrumentation and Control (I&C) Systems in Nuclear Power Plants: A Time of Transition, Vienna.
- [20] Kennedy, G. and Davis, B. (1992). Electronic Communication Systems. McGraw-Hill International.
- [21] Lipták, Béla G. (2006). Safety Instrumentation & Justification of Its Cost, Instrument Engineer's Handbook, 4th ed., Taylor & Francis, ISBN 0-8493-1081-4, Boca Raton, FL.
- [22] Oak Ridge National Laboratory. (2007). Industry Survey of Digital I&C Failures, Oak Ridge, TN.
- [23] Odanaka, S., Goto, Y., Oda, N., Tanaka, A., Sato, S., Igawa, S. and Izumi, M. (2004). Development of FPGA-based safety-related I&C systems. NPIC & HMIT Meeting, Ohio.
- [24] U.S. Nuclear Regulatory Commission (2011). Digital Instrumentation and Controls. Washington, DC.