

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN RED SOBRE EL PROTOCOLO PROFIBUS-DP (I)

V. Mascarós, V. Casanova, J. Salt
Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera S/N, 46020 Valencia (España)
vimasma@doctor.upv.es, vcasanov@isa.upv.es, julian@isa.upv.es

Resumen

El aumento del número de dispositivos utilizados en las plantas industriales y las grandes distancias ha originado un notable desarrollo de los sistemas de control basados en red. Estos sistemas requieren de un medio de comunicación compartido. Los buses de campo son elementos de gran importancia en la transmisión de información desde los módulos de entrada/salida analógicos y digitales, y módulos inteligentes, hasta los autómatas programables, y viceversa. En este trabajo se representan las etapas que sigue una señal analógica en un sistema de control en red que utiliza el protocolo Profibus-DP, desde el instante de tiempo en que se captura hasta que es aplicada a la planta, después de ser procesada. Para ello se describe una representación esquemática del funcionamiento. Mediante el desarrollo de una serie de ensayos experimentales realizados con un equipo industrial monomaestro se comprueba el efecto de la velocidad de transmisión del bus sobre una señal generada por un nodo maestro que es transmitida a un nodo esclavo, donde es convertida a formato analógico. En un trabajo complementario se analiza de forma experimental el efecto del enlace de comunicación sobre una señal analógica capturada en un nodo esclavo que es transmitida a un nodo maestro.

Palabras Clave: Sistemas de control basados en red, redes de comunicaciones, buses de campo.

1 INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la complejidad de las plantas industriales, el número de dispositivos necesarios para su control (sensores, actuadores e instrumentación adicional) se ha incrementado considerablemente. Con el objeto de reducir costes y mejorar la eficiencia se han desarrollado las arquitecturas distribuidas, las cuáles exigen un medio de comunicación eficiente y seguro. Los buses de

campo aparecen para proporcionar este servicio de comunicación en los sistemas de control de grandes plantas industriales, donde las largas distancias unidas al elevado número de procesos a controlar sugieren un sistema de control basado en red. Se trata de protocolos y tecnologías de comunicación utilizados en automatización y control de procesos industriales. Están adquiriendo importancia en la transmisión de datos entre los módulos de entrada/salida descentralizados y los autómatas programables. Se distingue entre buses de campo propietarios y buses de campo abiertos. Los buses de campo propietarios son propiedad intelectual de una compañía particular. Las licencias de utilización son controladas a discreción del propietario y están sometidas a restricciones de uso y a elevados pagos de derechos. Esto no ocurre con los buses de campo abiertos, para los que se consideran los siguientes criterios básicos:

- Las especificaciones completas deben ser públicas y estar disponibles a precios razonables a cualquiera que desee adquirirlas.
- Sus componentes críticos deben estar disponibles en las mismas condiciones.
- Los procedimientos de validación y homologación deben estar bien definidos y abiertos a cualquiera.

De esta forma, los buses de campo abiertos permiten la conexión de dispositivos de distintos fabricantes. En este sentido, uno de los buses de campo que mayor aceptación y difusión ha tenido es Profibus. Los sistemas de control basados en red (SCBR) son un tipo especial de sistemas de control, donde se deben tener en cuenta los efectos de la comunicación en el tratamiento de las señales ([5], [6], [7]). En diversos trabajos, para resolver estos efectos se ha considerado el problema desde el punto de vista del control multifrecuencia ([1], [2], [3], [8]).

La figura 1 muestra una representación genérica de un SCBR. La variable controlada es medida utilizando un sensor y convertida a formato digital mediante un conversor A/D.

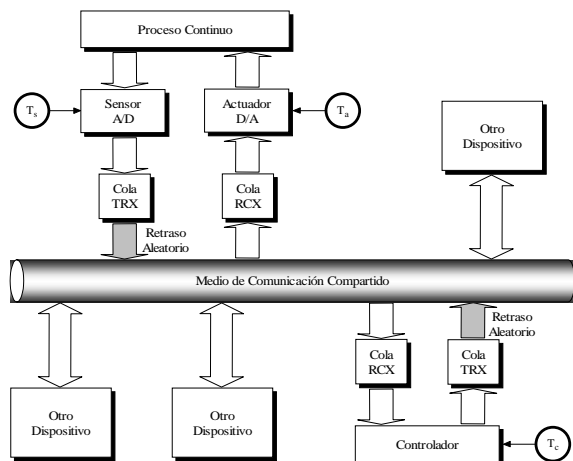


Figura 1: Escenario de un SCBR.

El valor resultante se almacena en un registro interno, y permanece a la espera de ser enviado al controlador utilizando el enlace de comunicación. T_s es el periodo de muestreo de la variable controlada. El controlador dispone de una cola de recepción donde se almacena el valor de la variable controlada recibida. A partir de esta señal, calcula la acción de control y la escribe en la cola de transmisión, con un periodo de muestreo T_c . En función del protocolo del medio de comunicación, cuando el controlador dispone del derecho de transmisión envía la señal de control a la planta, donde es almacenada en la cola de recepción. Dicho valor es convertido a un valor analógico y aplicado a la planta mediante un actuador, con un periodo T_a . En el funcionamiento de un sistema de estas características influyen diversos factores (la velocidad de la conversión A/D y D/A, la velocidad de transmisión de la información por la red, la cantidad de información que se envía, la política de arbitraje, el número de dispositivos que componen el sistema,...).

En este artículo se desarrolla una representación esquemática del funcionamiento de un sistema genérico de control en red basado en el protocolo Profibus-DP [4], [9], la cuál permite explicar las etapas que sigue una señal analógica desde que es capturada por una canal de entrada de un nodo esclavo hasta que es de nuevo aplicada a la planta mediante un canal de salida del nodo esclavo, después de ser procesada por el maestro y transmitida a través del bus. También se analiza de forma experimental la influencia de la velocidad de transmisión del bus sobre una señal generada por un maestro que es transmitida a un esclavo, donde se convierte a formato analógico. En la segunda parte del trabajo se analiza de qué forma afecta el enlace de comunicación sobre una señal analógica capturada en un nodo esclavo que se transmite a un nodo maestro. En las aplicaciones prácticas se utiliza un sistema de control en red del tipo monomaestro, basado en el protocolo Profibus-DP.

El artículo está estructurado de la siguiente forma. En primer lugar se desarrolla una breve introducción sobre el protocolo Profibus. A continuación se describe el equipo industrial objeto de estudio. Seguidamente en el apartado 4 se desarrolla una representación esquemática donde se muestra, siguiendo un eje de tiempos, el funcionamiento de la red Profibus y de las etapas que sigue una señal analógica. En el apartado 5 se desarrolla la implementación práctica sobre un sistema industrial. En los experimentos realizados se observan los fenómenos de repetición y pérdida de datos [7], explicables mediante la representación propuesta. Por último se comentan las principales conclusiones de este trabajo.

2 EL PROTOCOLO PROFIBUS-DP

Profibus ([4], [9]) es un bus de campo abierto que cumple el estándar europeo EN50170. Proporciona tres versiones diferentes del protocolo de comunicación:

- Profibus-DP: este protocolo está optimizado para conseguir una alta velocidad de transmisión. Está especialmente diseñado para establecer la comunicación entre el controlador programable y los dispositivos de entrada/salida a nivel de campo.
- Profibus-PA: está especialmente diseñado para conseguir una comunicación fiable a alta velocidad en ambientes expuestos a peligro de explosión.
- Profibus-FMS: se utiliza para la comunicación a nivel de célula, donde lo principal es el volumen de información y no el tiempo de respuesta.

El medio de comunicación utilizado puede ser:

- El cable eléctrico: es la técnica de transmisión más utilizada en Profibus. Se basa en el estándar RS-485. La velocidad de transmisión del bus puede configurarse desde 9.6 Kbits/seg. hasta 3 Mbits/seg. La velocidad máxima depende de la longitud del segmento (tabla 1).
- La fibra óptica: tiene la ventaja de que es inmune a las interferencias electromagnéticas.

Velocidad de transmisión (kbits/s)	Máxima longitud del segmento (m)
12000-3000	100
1500	200
500	400
187.5	1000
9.6-93.75	1200

Tabla 1: Distancia máxima del segmento en función de la velocidad de transmisión.

Profibus utiliza un mecanismo híbrido de control de acceso al bus de campo (figura 2). Utiliza un procedimiento de paso de testigo para la comunicación entre los nodos activos (maestros), y un procedimiento maestro-esclavo para la comunicación entre los nodos activos y los nodos pasivos (esclavos). En los siguientes apartados se describen brevemente los principios básicos de funcionamiento de estos procedimientos.

2.1 PROCEDIMIENTO PASO DE TESTIGO

Los nodos activos (maestros) conectados a la red Profibus forman un anillo lógico en orden ascendente de acuerdo con su dirección de bus (figura 2). El testigo proporciona el derecho para acceder al medio de comunicación, el cuál se pasa entre los nodos activos mediante una trama especial. El nodo activo que posee el testigo lo pasa al nodo activo que posee la dirección más alta y más cercana con respecto a la dirección del nodo que pasa el testigo, a excepción del nodo activo que posee la dirección más alta. Este nodo pasa el testigo al nodo activo con la dirección más baja. El tiempo que tarda el testigo en recorrer todo el anillo lógico depende de la velocidad de transmisión y de la cantidad de información que debe transmitirse entre los nodos activos y pasivos.

2.2 PROCEDIMIENTO MAESTRO - ESCLAVO

Cada nodo activo de la red posee un listado (polling list) donde figuran los nodos pasivos que tiene asignados, los cuáles también pueden estar asociados a varios maestros simultáneamente. Cuando un nodo activo posee el testigo, utiliza el bus de campo para comunicarse con sus esclavos de forma secuencial, de acuerdo con su listado (figura 2).

3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo industrial utilizado para el desarrollo del presente trabajo es un sistema SIMATIC S7-300 (figura 3). Se trata de un sistema de control en red formado por un nodo maestro y un nodo esclavo, que utiliza el protocolo Profibus-DP como enlace de comunicación.

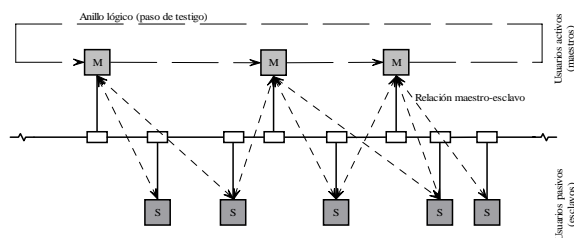


Figura 2: Protocolo de acceso al medio.

Los módulos que componen el nodo maestro se detallan en la tabla 2. En la tabla 3 se enumeran los módulos que forman el nodo esclavo. El medio físico utilizado en el enlace de comunicación es el cable eléctrico.

Para configurar y programar el sistema de control se utiliza un PC con el software y hardware adecuado. Este PC se conecta a través del puerto serie RS-232 mediante un adaptador, con el puerto MPI de la CPU del maestro. Para la monitorización de las variables de interés se utiliza un segundo PC, el cuál lleva instalada una tarjeta de adquisición de datos. En la fase de análisis experimental del sistema el maestro genera una señal cuadrada, la cuál se envía al módulo de salidas analógicas del maestro y al módulo de salidas analógicas del esclavo. Estas dos señales se capturan mediante la tarjeta de adquisición de datos para su visualización.

3.1 LA CONVERSIÓN A/D - D/A

Los módulos de entradas analógicas convierten una señal del proceso analógica en una señal digital. El tiempo de conversión básico depende directamente del tipo de conversión utilizado en el canal de entrada analógica.

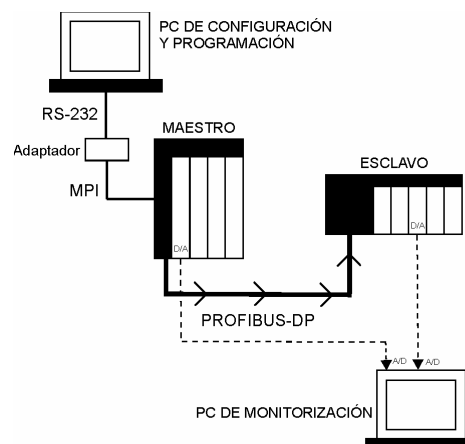


Figura 3: Esquema del sistema de control en red.

Nombre	Descripción
Fuente de alimentación	PS307 4A
CPU	CPU 313C-2 DP
Módulo salidas analógicas	AO 4x12Bit

Tabla 2: Componentes del maestro.

Nombre	Descripción
Fuente de alimentación	PS307 5A
Periferia descentralizada	ET 200M IM153-2
Módulo entradas digitales	DI 16xDC24V
Módulo salidas digitales	DO16xDC24V/0.5
Módulo E/S analógicas	AI4/AO2x8Bit
Módulo salidas analógicas	AO4x12Bit
Módulo entradas analógicas	AI8x12Bit

Tabla 3: Componentes del esclavo.

Los tiempos de conversión correspondientes a los distintos módulos analógicos pueden deducirse de los datos técnicos del respectivo módulo. La conversión analógico-digital y la transferencia de los valores de medición digitalizados a la memoria o al bus posterior se efectúan secuencialmente, es decir, los canales de entrada analógica son convertidos uno tras otro. El tiempo que transcurre entre dos conversiones de un mismo canal (tiempo de ciclo) es igual a la suma de los tiempos de conversión de todos los canales de entradas analógicas activados en un módulo.

Los módulos de salidas analógicas convierten un valor de salida digital en una señal analógica. En el tiempo de conversión de un canal de salida analógica van incluidas la recepción del valor desde la memoria interna y la conversión digital-analógica. La conversión de los canales de salida analógica se realiza secuencialmente.

Del mismo modo que ocurre con la conversión A/D, el tiempo de ciclo de un canal D/A es igual a la suma de los tiempos de conversión de todos los canales de salidas analógicas activados en un módulo.

El tiempo de respuesta es el tiempo que transcurre desde la escritura de los valores de salida digitales en la memoria interna hasta que se alcanza el valor especificado en la salida analógica. En el caso más desfavorable, el tiempo de respuesta equivale a la suma del tiempo de ciclo de conversión y el de estabilización. Dicho caso más desfavorable se presenta cuando el canal analógico comienza la conversión inmediatamente antes de recibir el dato de salida.

Para reducir y optimizar el tiempo de ciclo de conversión, tanto A/D como D/A, se deben desactivar los canales analógicos no utilizados.

3.2 LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DEL MAESTRO

En el maestro se gestiona una rutina de interrupción disparada por un reloj cuyo periodo es ajustable. Dispone de un registro de almacenamiento para la transmisión de información a través del bus de campo. Cuando la rutina del maestro desea leer el valor de los canales de entradas analógicas descentralizadas lee el valor almacenado en el registro de lectura, y cuando desea escribir un valor en los canales de salidas analógicas lo escribe en el registro de escritura. El sistema de comunicaciones es el encargado de gestionar la transmisión de la información, independientemente de la ejecución del programa del maestro.

3.3 EL ANILLO LÓGICO: PASO DE TESTIGO

En un sistema de control en red, del tipo monomaestro, el nodo activo no tiene que compartir el bus de campo con otros nodos activos, por lo que siempre posee el testigo. Cuando finaliza su ciclo de transmisión vuelve a iniciar un nuevo ciclo. En el caso de un sistema multimaestro, cuando un nodo activo finaliza su tiempo de ciclo, para poder utilizar el medio de transmisión debe esperar la cesión testigo, el cuál llegará cuando recorra todo el anillo lógico. El equipo objeto de este estudio es un sistema monomaestro.

4 REPRESENTACIÓN TEMPORAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED PROFIBUS-DP

En la figura 4 se representan de forma esquemática, en función del tiempo, los subsistemas que describen el funcionamiento de un sistema de control basado en red, desde el punto de vista de un maestro que procesa un dato: la conversión A/D, la conversión D/A, la transmisión de información y la ejecución del programa del maestro.

4.1 ENTRADAS ANALÓGICAS

Dado un módulo determinado de entradas analógicas, la conversión de los canales se realiza de forma secuencial. De acuerdo con esta idea, la lectura de un canal se puede representar como un ciclo periódico, cuyo periodo de muestreo es el correspondiente al tiempo de conversión de todos los canales activos.

Los instantes de tiempo señalados en la figura 4, en el eje del sensor, indican el momento en el que comienza la conversión A/D del canal n. La flecha indica el momento en el que finaliza la conversión y se almacena el dato en el registro interno.

4.2 SALIDAS ANALÓGICAS

Del mismo modo que ocurre con los módulos de entradas analógicas, los módulos de salidas analógicas realizan la conversión D/A de cada uno de los canales de forma secuencial. Los instantes de tiempo marcados en la figura 4, en el eje del actuador, indican el momento en el que comienza la conversión D/A del canal n del dato que el módulo tiene almacenado en su registro de recepción. Mediante la flecha se indica el instante de finalización de la conversión, momento en el que el dato se encuentra en la salida analógica.

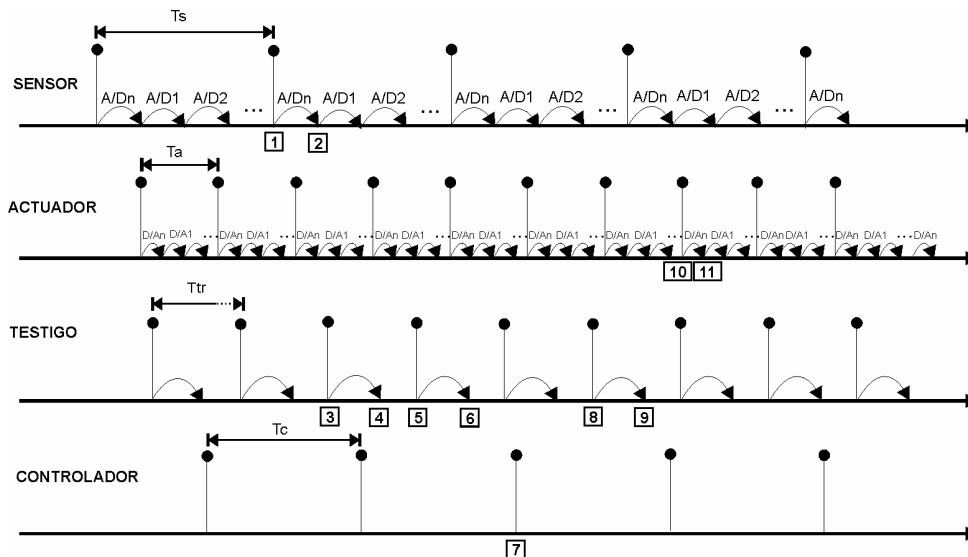


Figura 4: Representación esquemática.

4.3 ROTACIÓN DEL TESTIGO

En un sistema multimaestro el bus de campo se debe compartir entre todos los maestros. Los instantes de tiempo de la figura 4 asociados al testigo indican el instante en el que el maestro objeto de análisis recibe el testigo y tiene derecho a utilizar el bus de campo. La flecha indica el instante de tiempo en el que el maestro finaliza la transmisión de información, y pasa el testigo al siguiente maestro, de acuerdo con el orden establecido en el anillo lógico. T_{tr} es el tiempo de ciclo de todos los maestros.

4.4 CONTROLADOR (MAESTRO)

En la figura 4 también se representan los instantes de tiempo en que comienza la ejecución del programa principal en el maestro. Cuando el maestro desea leer o escribir en los canales analógicos descentralizados, lo hace en el registro de comunicación, independientemente de la política de transmisión de información a través de la red.

4.5 ETAPAS DE UNA SEÑAL CAPTURADA

A partir de la representación esquemática propuesta, se pueden analizar las etapas que sigue una señal analógica desde que es capturada en un canal de un módulo de entradas hasta que es escrita, una vez procesada, en un canal de un módulo de salidas. En el instante 1 (figura 4) el dato comienza a ser convertido por el canal A/D. En el instante 2 finaliza la conversión, y el dato queda almacenado en el registro interno del esclavo. En el instante 3 el maestro tiene derecho sobre la red y comienza la transmisión de información. El dato se recibe en el maestro en el instante 4. En 5 el maestro vuelve tener derecho en la red y vuelve a recibir el mismo dato. En el instante 7 comienza la ejecución de la

rutina del maestro. Lee el dato del registro de lectura, lo procesa y el resultado lo vuelve a escribir en el registro de escritura. El maestro vuelve a tener derecho sobre la red en 8. Comienza a transmitir el dato procesado, el cuál llega al registro del esclavo en 9. En 10 comienza la conversión D/A, la cuál finaliza en el instante 11.

5 REPETICIÓN Y PÉRDIDA DE INFORMACIÓN POR EFECTOS DE LA COMUNICACIÓN

Debido a las características del medio de comunicación, aparecen los fenómenos de repetición y pérdida de información. Utilizando el equipo de la figura 3 se han realizado una serie de experimentos para comprobar estos fenómenos. El maestro genera, de forma interna, una señal cuadrada de periodo 100 ms. Dicha señal es enviada a un canal de salida analógica centralizado (ubicado en el maestro) y a un canal de salida analógica descentralizado (ubicado en el esclavo).

5.1 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN: 1.5MBIT/S

En la figura 5 se representan las señales analógicas obtenidas en las salidas analógicas del maestro y el esclavo, para una velocidad de transmisión de 1.5 Mbit/s. El retraso en la transmisión de información es pequeño, y por tanto el retardo entre las dos señales es pequeño. La señal analógica de salida en el esclavo es prácticamente igual que la señal analógica de salida en el maestro. Este caso se explica mediante la representación esquemática de la figura 6. La transmisión de la comunicación tiene lugar a una velocidad muy alta, por lo que los efectos del enlace de comunicación son despreciables.

En el instante 1 se ejecuta la rutina del maestro, y escribe la señal de salida en el registro de comunicación. En 2 comienza la transmisión y en 3 el dato llega al esclavo. En 4 comienza la conversión D/A y en 5 finaliza. Hasta que tenga lugar una nueva ejecución de la rutina del maestro, el enlace de comunicación está transmitiendo el mismo dato de forma repetida. Por su parte, el convertor D/A está convirtiendo el mismo dato hasta que le llegue un nuevo valor a su registro, lo cuál ocurre en el instante de tiempo 9.

5.2 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN: 45.45KBIT/S

En la figura 7 se representan las señales analógicas obtenidas en el maestro y en el esclavo para una velocidad de transmisión de 45.45Kbit/s. Aparece el fenómeno de repetición de la información transmitida. La actualización de la señal de salida en el esclavo depende del retraso en la comunicación. Esta señal se actualiza cada 40 ms, aproximadamente. Debido a esto y a que la señal a transmitir se actualiza cada 50 ms, hay veces en las que se envía al esclavo dos veces seguidas la misma información, por lo que en algunos tramos la señal cambia de valor después de unos 80 ms. Observando la representación de la figura 8 se puede comprender lo que está ocurriendo. En el instante 1 se ejecuta la rutina del maestro, y escribe la señal de salida en el registro de comunicación.

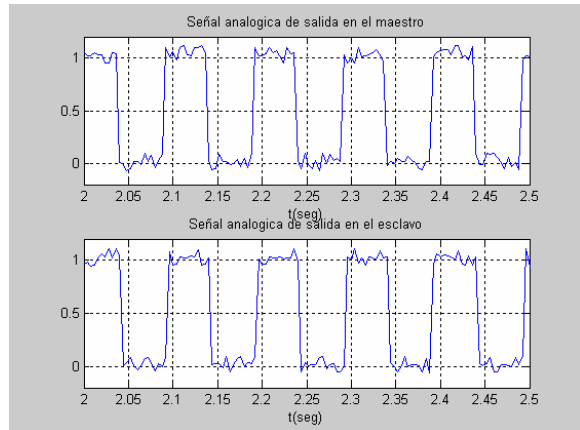


Figura 5: Salidas analógicas (1.5 Mbit/s).

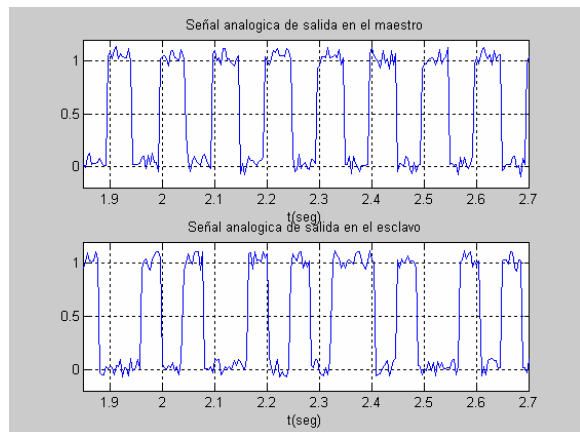


Figura 7: Salidas analógicas (45.45 Kbit/s).

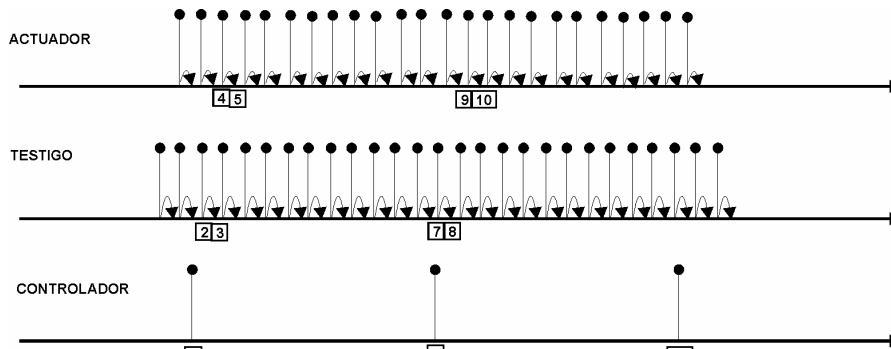


Figura 6: Representación esquemática (1.5Mbit/s).

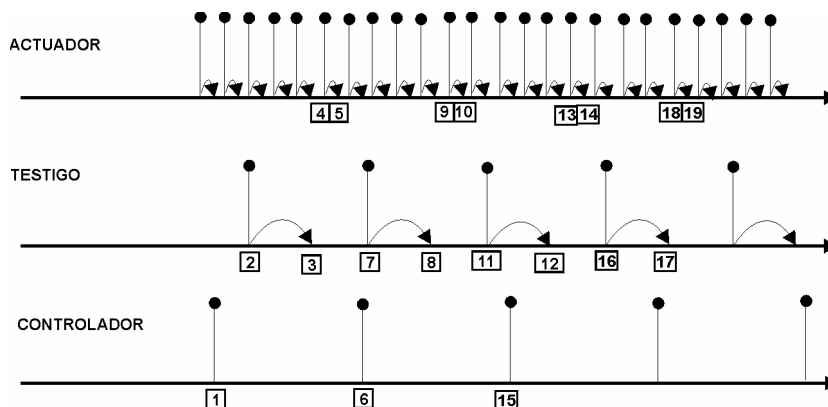


Figura 8: Representación esquemática (45.45 Kbit/s).

En 2 comienza la transmisión y en 3 el dato llega al esclavo. En 4 comienza la conversión D/A y en 5 finaliza. En 6 tiene lugar una nueva ejecución de la rutina del maestro. El dato pasa por los pasos 7,8 y 9, hasta que en 10 es escrito en la salida analógica. Sin embargo, ese mismo dato se vuelve a transmitir en 11. Llega al esclavo en 12, y finalmente es escrito en la salida analógica en el instante 14. El dato de salida que decide la ejecución del instante 1 permanece escrito en la salida analógica el tiempo comprendido entre 5 y 10. Mientras que, por otro lado, el dato de salida que decide la ejecución del instante 6 permanece escrito en la salida analógica el tiempo comprendido entre 10 y 19.

5.3 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN: 9.6KBIT/S

En este punto se presentan los resultados obtenidos cuando se utiliza una velocidad de transmisión de 9.6 Kbit/seg. Las salidas analógicas en el maestro y en el esclavo se muestran en la figura 9. En este caso hay una pérdida de información, ya que muchos datos no llegan al esclavo. Esto se debe a que el tiempo que emplea el sistema en transmitir la información del maestro al esclavo es mayor que el semiperiodo de la señal cuadrada generada.

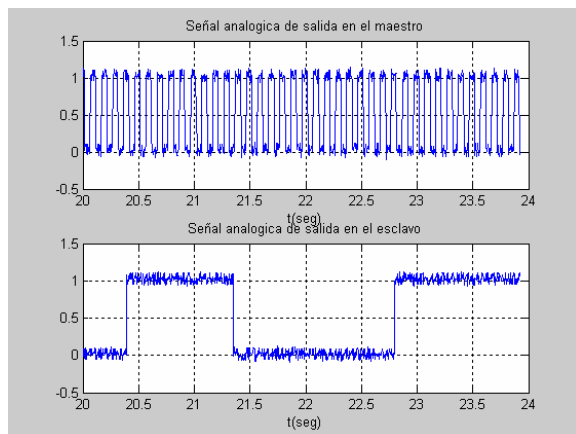


Figura 9: Salidas analógicas (9.6 Kbit/s).

En la figura 10 se refleja el fenómeno que está sucediendo. En el instante 1 se ejecuta la rutina del maestro, y escribe la señal de salida en el registro de comunicación. En 2 comienza la transmisión y en 3 el dato llega al esclavo. En 4 comienza la conversión D/A y en 5 finaliza. Sin embargo, los datos de salida calculados en las ejecuciones correspondientes a los instantes de tiempo 6 y 7 se pierden, ya que son sobrescritos por el dato calculado por la ejecución del instante 8, el cuál llega a escribirse en la salida analógica en el instante 12.

6 CONCLUSIONES

La necesidad de utilización de una gran cantidad de dispositivos (sensores, actuadores, autómatas programables) en las plantas industriales y las largas distancias ha motivado un notable interés por los sistemas de control que utilizan un enlace de comunicación compartido, como los buses de campo. Se trata de sistemas de control basados en red (SCBR) donde se debe tener en cuenta el efecto de las comunicaciones.

En este trabajo se ha propuesto una representación esquemática del funcionamiento de un sistema industrial de este tipo basado en el bus de campo Profibus-DP, así como las etapas, en función del tiempo, que sigue una señal analógica desde que es capturada en un canal de un esclavo hasta que es escrita en un canal del esclavo, después de ser procesada por el maestro.

Se muestran los resultados obtenidos en una implementación real de un sistema industrial de control en red del tipo maestro-esclavo, basado en el protocolo Profibus-DP. En estos resultados experimentales aparecen los fenómenos de repetición y pérdida de información por efectos del enlace de comunicación, los cuáles se explican mediante la representación esquemática propuesta.

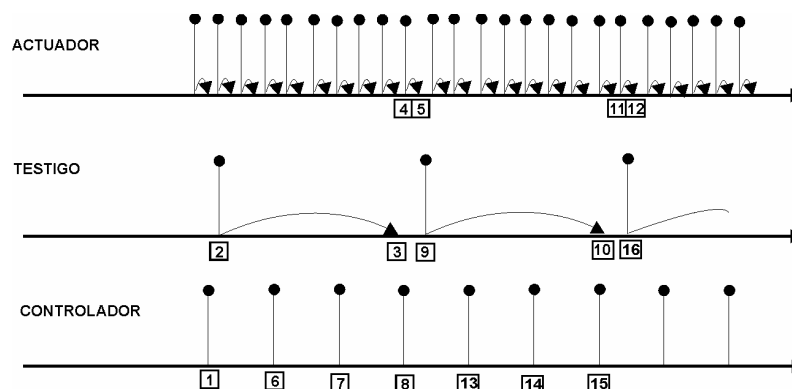


Figura 10. Representación esquemática (9.6 Kbit/s)

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Plan Nacional de I+D+I, en el marco del Programa Nacional de Diseño y Producción Industrial (DPI2003-01964) y del Programa Nacional de Potenciación de Recursos Humanos (BES-2004-5139), cofinanciado por el Fondo Social Europeo.

Referencias

- [1] Casanova, V., Salt, J.J., (1999) "First approximation on the design of a multirate control loop for an ICCS". 15th ISPE/IEE International conference on CAD/CAM, robotics & factories of the future. Campinas (Brasil).
- [2] Casanova, V., Salt, J.J., (2000) "Multirate control for an ICCS environment. Part I : The random access delays". 2nd IFAC Workshop on linear time delay systems. Ancona (Italia).
- [3] Casanova, V., Salt, J.J., (2002) "Real-time implementation of multirate control techniques for an ICCS". 15th IFAC World Congress. Barcelona (España).
- [4] EN50170 (1998) "Profibus specification. Normative parts of Profibus-FMS, -DP, -PA according to the European Standard", vol. 2.
- [5] Halevi, Y., Ray, A., (1988) "Integrated communication and control systems : Part I - Analysis". Journal of dynamics systems, measurement and control. Vol. 110, pags. 367-373.
- [6] Halevi, Y., Ray, A., (1990) "Performance analysis of integrated communication and control systems networks". Journal of dynamics systems, measurement and control. Vol. 112, pags. 365-370.
- [7] Ray, A., Halevi, Y., (1988) "Integrated communication and control systems : Part II - Design considerations". Journal of dynamics systems, measurement and control. Vol. 110, pags. 374-381.
- [8] Salt, J.J., Casanova, V., (2000) "Multirate control for an ICCS environment. Part II : The time skew problem". 2nd IFAC Workshop on linear time delay systems. Ancona (Italia).
- [9] Weigmann, J., Kilian, G., (2000) Decentralization with Profibus-DP: Architecture and Fundamentals, Configuration and Use with Simatic S7, Siemens, Germany.