

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

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

## Resumen

*El creciente aumento de la complejidad y las dimensiones de las plantas industriales ha ocasionado el desarrollo de los enlaces de comunicación compartidos entre los diferentes dispositivos que componen los sistemas de control, consiguiendo de esta forma una mejora de la eficiencia del sistema de control. Los buses de campo son uno de los sistemas de comunicación más empleado para la comunicación entre los módulos de entradas y salidas, bien sean analógicas o digitales, los autómatas programables y los módulos inteligentes. En el artículo complementario a éste se describe una representación esquemática del funcionamiento de un sistema de control basado en red sobre el protocolo Profibus-DP, que permite representar las distintas etapas que sigue una señal analógica desde el instante de tiempo en que se captura hasta que es aplicada a la planta, después de ser procesada. En dicho trabajo se presentan una serie de resultados experimentales obtenidos en un sistema industrial de control del tipo maestro-esclavo, donde se comprueba el efecto de la velocidad de transmisión del bus sobre una señal generada por un nodo maestro (controlador) que es transmitida a un nodo esclavo, donde es convertida a formato analógico (planta). En este artículo se analiza de forma experimental el efecto del enlace de comunicación sobre una señal analógica capturada en un nodo esclavo (planta) que es transmitida a un nodo maestro (controlador, así como el efecto de la comunicación cuando la señal capturada en el esclavo se transmite al maestro, y de nuevo al esclavo. Los fenómenos obtenidos son explicables mediante la representación esquemática presentada en el primer trabajo.*

**Palabras Clave:** Sistemas de control basados en red, enlace de comunicación compartido, buses de campo.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los enlaces de comunicación compartidos representan una mejora de la eficiencia y una reducción de costes en las grandes plantas industriales, cuyos sistemas de control están formados por un número elevado de dispositivos. Los buses de campo, y en particular el protocolo Profibus, representan una solución al problema del enlace de comunicación, ampliamente utilizada. Los sistemas de control basados en red (SCBR) (véase [2], [3], [4]) son un tipo especial de sistemas de control, donde se deben considerar los efectos del enlace de comunicación en la transmisión de información. Profibus es uno de los buses de campo más utilizado en la práctica para implementar el enlace de comunicación (véase [1], [5]). Los conceptos básicos sobre los SCBR y el protocolo Profibus se describen en los apartados 1 y 2 de la primera parte del trabajo complementario.

En dicho trabajo también se describe una representación donde se refleja el funcionamiento de un sistema industrial de control en red basado en el protocolo Profibus-DP, analizando también de forma experimental el efecto de la velocidad de transmisión del bus de campo sobre una señal generada en un nodo maestro, en su camino hasta el nodo esclavo, y su posterior conversión D/A. Para el desarrollo de los ensayos experimentales se utiliza un sistema de control monomaestro basado en red sobre el protocolo Profibus-DP. En los resultados prácticos presentados en este artículo se utiliza el mismo sistema de control, cuya descripción se puede consultar en el apartado 3 del primer trabajo.

En el apartado 2 de este artículo se analiza el efecto del enlace de comunicación sobre una señal analógica capturada en un canal A/D de un nodo esclavo que se transmite mediante el bus de campo al maestro, donde es convertida a formato analógico en un canal D/A. En los ensayos experimentales se varían dos parámetros: el número de canales activados del módulo de entradas analógicas del esclavo (lo cuál influye en el periodo de conversión

A/D del canal utilizado), y la velocidad de transmisión de la red. Las señales obtenidas se explican y justifican mediante la representación esquemática presentada en el primer trabajo. En el apartado 3 se muestran los resultados obtenidos cuando la señal capturada por el esclavo es transmitida por el bus hasta el maestro y seguidamente se vuelve a enviar al esclavo, donde es convertida de nuevo a formato analógico. En la última parte del artículo se exponen las principales conclusiones de los trabajos realizados.

Estos dos artículos representan un estudio previo de representación y modelado del funcionamiento de los SCBR, con vistas a un posterior desarrollo e implementación de estructuras de control, que tengan en cuenta las características especiales de este tipo de sistemas de control.

## 2 RESULTADOS PRÁCTICOS: ESCLAVO → MAESTRO

Los experimentos realizados sobre el equipo industrial consisten en la captura de una señal analógica en el esclavo, la cuál es convertida de nuevo a formato analógico en un canal D/A del maestro después de ser transmitida por el bus de campo (figura 1). Estos experimentos se desarrollan variando dos parámetros: el número de canales activados del módulo de entradas analógicas del esclavo y la velocidad de transmisión de la red. El ajuste de la velocidad de transmisión viene determinado por la longitud del cable eléctrico utilizado como medio de comunicación en Profibus (ver tabla 1 del artículo complementario). El tiempo necesario para el envío de información por el bus depende de la velocidad utilizada, lo cuál influye en el tiempo que transcurre entre transmisión y recepción. En la aplicación desarrollada, la rutina del maestro se ejecuta con un periodo de 50 ms.

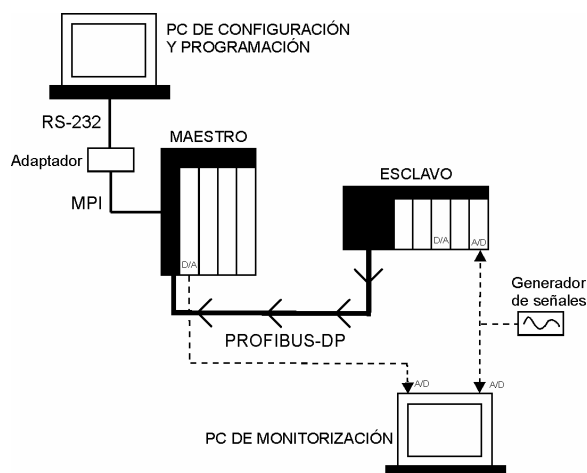


Figura 1: Esquema del sistema de control en red.

Tal como se ha descrito en el apartado 2 del trabajo complementario, el periodo de conversión de los canales A/D de un módulo de entradas analógicas se puede variar activando o desactivando canales. Puesto que la conversión tiene lugar de forma secuencial, cuanto menor sea el número de canales activados menor es el tiempo que transcurre entre dos conversiones de un canal.

### 2.1 CANALES A/D ACTIVADOS: 2

En los ensayos presentados en este apartado se activan dos canales del módulo de entradas analógicas del esclavo, y se varía la velocidad de transmisión. Con estas condiciones, resulta un periodo de conversión A/D de 40 ms. Las distintas velocidades de transmisión analizadas son 1.5Mbit/s, 45.45Kbit/s y 9.6Kbit/s.

#### 2.1.1 Velocidad de transmisión: 1.5 Mbit/s

Los resultados obtenidos cuando la velocidad de transmisión en el bus es de 1.5Mbit/s se representan en la figura 2. En este gráfico se muestra la señal senoidal aplicada en un canal de entrada analógico del esclavo y la señal escrita por el maestro en un canal de salida analógico. A partir de las señales de la figura 2 se pueden obtener una serie de conclusiones:

- Existe un tiempo de retraso apreciable entre las dos señales.
- La señal de salida se actualiza cada 50 ms, coincidiendo con el periodo de la rutina del maestro.
- Algunas de las muestras analógicas capturadas por el conversor A/D no aparecen en la señal de salida del maestro.

La explicación de estos fenómenos se detalla en la representación de la figura 3. En el instante 1 se inicia la conversión A/D de la señal analógica. Ésta finaliza en el instante 2, momento en el cuál se almacena el valor en el registro interno del esclavo.

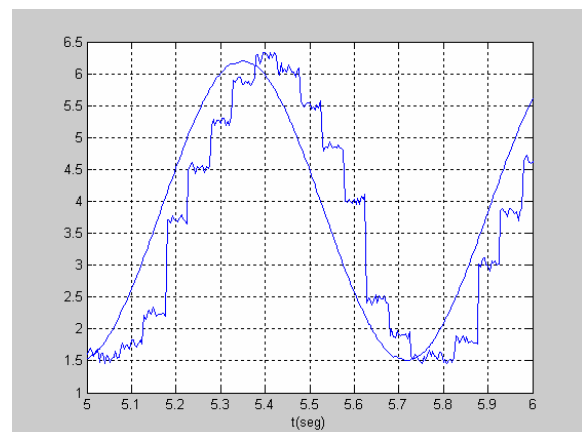


Figura 2: Señales analógicas (1.5 Mbit/s).

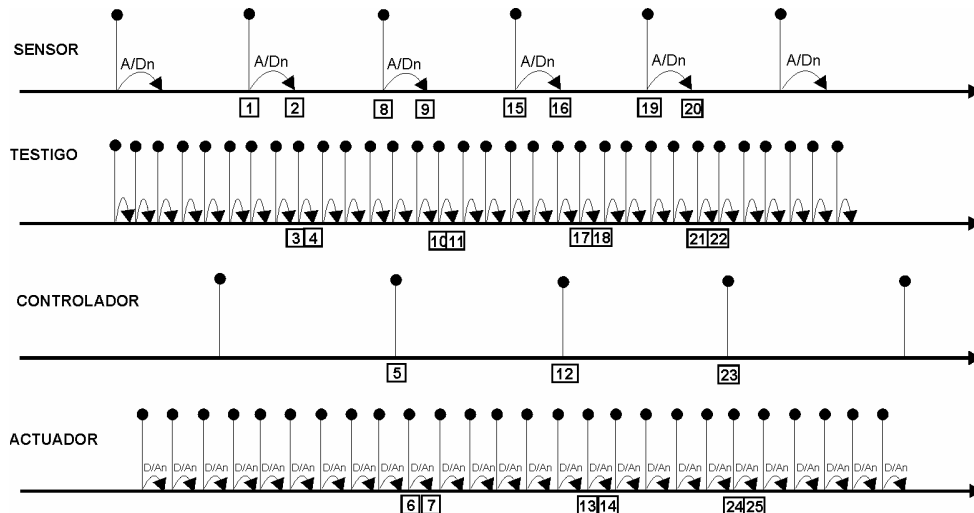


Figura 3: Representación esquemática (1.5Mbit/s).

En 3 el maestro recoge el testigo y comienza la transmisión de información. La señal llega al maestro en 4, y se almacena en su registro de recepción. La ejecución de la rutina del maestro tiene lugar en el instante 5. Esta rutina lee el dato del registro de recepción, y lo escribe en el registro del módulo de salidas analógicas del maestro. En 6 se inicia la conversión D/A y en 7 aparece el dato en la salida analógica. Siguiendo los mismos pasos, la señal capturada en el instante 8 es escrita en la salida analógica en 14, y la señal capturada en 19 es escrita en la salida en el instante 25. Por tanto, considerando que el periodo de la conversión D/A es muy pequeño, la señal analógica de salida se actualiza cada 50 ms, coincidiendo con el periodo de la rutina del maestro. Sin embargo, en la representación esquemática se puede observar que la señal analógica capturada en el instante 15 llega al maestro en 18, pero es sobrescrita por la siguiente conversión en el instante 22. Existe una pérdida de información, ya que algunas de las conversiones A/D transmitidas no son gestionadas por la rutina del maestro (muestreo vacante). El retraso entre las dos señales (figura 3) es la suma de los siguientes tiempos:

- El tiempo de conversión A/D (intervalo de tiempo 1-2).
- El tiempo de espera hasta el inicio de la transmisión de información por el bus (intervalo de tiempo 2-3).
- El tiempo necesario para la transmisión de la información por el bus (intervalo de tiempo 3-4).
- El tiempo que transcurre desde que llega el dato al registro del maestro hasta que es solicitado por la rutina (intervalo de tiempo 4-5).
- El tiempo que transcurre desde que el dato es escrito en el registro del módulo de las salidas analógicas hasta que se inicia la conversión D/A (intervalo de tiempo 5-6).
- El tiempo de conversión D/A (intervalo de tiempo 6-7).

### 2.1.2 Velocidad de transmisión: 45.45 Kbit/s

En la figura 4 se representan la señal aplicada en la entrada analógica del esclavo y la señal analógica de salida en el maestro para una velocidad de transmisión de 45.45 Kbit/s. Ocurren los mismos fenómenos que en el caso de 1.5Mbit/s, los cuales se pueden explicar mediante la representación de la figura 3. El periodo del testigo es mayor que en el caso del apartado 2.1.1, pero sigue siendo menor que el periodo del sensor y menor que el periodo del controlador, por lo que se mantienen las relaciones entre los periodos del sistema. La diferencia con respecto al caso del apartado 2.1.1 es que el tiempo de retraso entre las dos señales ha aumentado. Esto es lógico ya que se ha incrementado el tiempo necesario para la transmisión de información por el bus.

### 2.1.3 Velocidad de transmisión: 9.6 Kbit/s

Cuando se utiliza una velocidad de transmisión de 9.6Kbit/s la actualización de la señal de salida en el maestro tiene lugar cada 100 ms (figura 5), correspondiente al doble del periodo de la rutina del maestro.

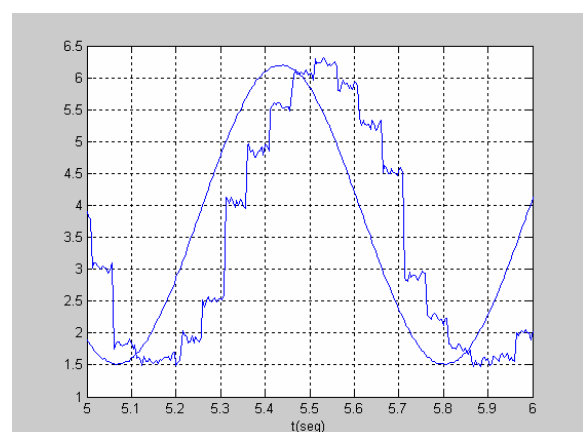


Figura 4: Señales analógicas (45.45Kbit/s).

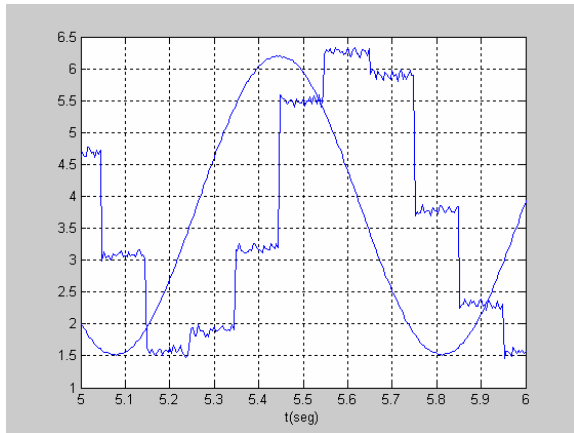


Figura 5: Señales analógicas (9.6Kbit/s).

Mediante la representación de la figura 6 se explican los resultados obtenidos. En el instante de tiempo 1 se inicia la conversión A/D de la señal analógica, y finaliza en el instante 2. El comienzo de la transmisión del dato por el bus tiene lugar entre los instantes 3 y 4. En 5 se ejecuta la rutina del maestro, lee el dato del registro de recepción y lo escribe en el registro del módulo de salidas analógicas. La conversión D/A comienza en 6, y el dato se escribe en la salida en 7. Como el dato recibido en el maestro no cambia hasta el instante 13, La ejecución de la rutina del maestro en 18 vuelve a escribir el mismo valor en el registro de la salida analógica. Siguiendo los mismos pasos, el dato analógico capturado en 10 se escribe en la salida en 26. Por tanto, la señal capturada en el instante 1 permanece escrita en la salida analógica del maestro entre los instantes 7 y 26. Considerando que el periodo de la conversión D/A es muy pequeño, la señal analógica de salida se actualiza cada dos veces el periodo de la rutina del maestro. Si el periodo del maestro es 50 ms, la señal se actualiza cada 100 ms, tal como se observa en la figura 5.

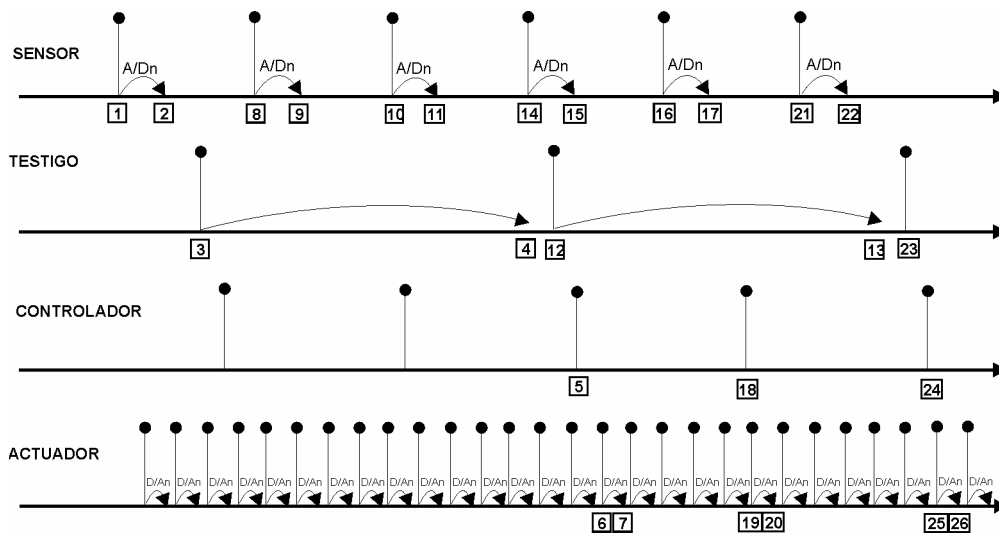


Figura 6: Representación esquemática (9.6Kbit/s).

En la representación de la figura 5 también se puede apreciar que tiene lugar una pérdida de información, ya que algunas conversiones A/D no llegan a ser transmitidas (las señales capturadas en 8, 14 y 16). Fenómeno observable en la diferencia de alturas de los escalones en la señal de la figura 5. Debido al aumento del tiempo necesario para la transmisión de información por el bus, el retraso entre las dos señales aumenta considerablemente con respecto a los dos casos anteriores.

## 2.2 CANALES A/D ACTIVADOS: 8

En los ensayos presentados en este apartado se activan ocho canales del módulo de entradas analógicas del esclavo, y se varía la velocidad de transmisión (1.5Mbit/s, 45.45Kbit/s y 9.6Kbit/s). Cuando se activan ocho canales del módulo de entradas analógicas resulta un periodo de conversión A/D de 160 ms.

### 2.2.1 Velocidad de transmisión: 1.5 Mbit/s

Las señales capturadas por el PC de visualización se muestran en la figura 7. La señal de salida del maestro se actualiza cada 150 y 200 ms, es decir, 3 o 4 veces el periodo de la rutina del maestro. Esto ocurre así porque el periodo de conversión A/D es mayor que máximo de los periodos de los otros subsistemas (comunicación, rutina del maestro y conversión D/A). La señal escrita en el registro de recepción del maestro se actualiza cada 3 o 4 ejecuciones de la rutina. Por tanto, la señal escrita en el módulo de salidas analógicas del maestro tampoco varía. La representación esquemática de la figura 8 muestra la explicación de lo sucedido. En el instante 1 se inicia la conversión A/D. El dato se almacena en el registro de transmisión del esclavo en el instante 2.

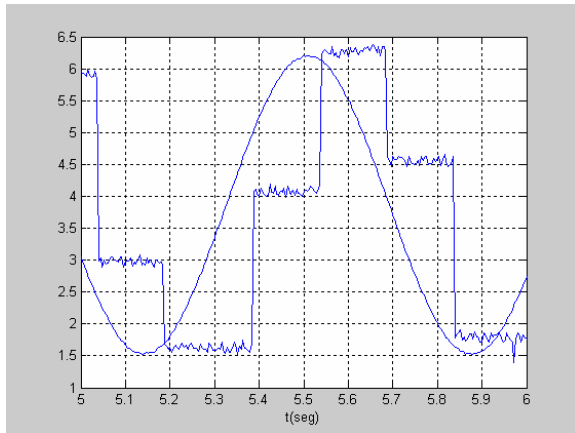


Figura 7: Señales analógicas (1.5 Mbit/s).

En 3 se transmite y en 4 llega al maestro. La rutina del maestro se ejecuta en 5, y el dato se escribe en el registro del módulo de salidas analógicas. En 6 comienza la conversión y finaliza en 7. Hasta el instante 10 no hay una nueva captura y hasta entonces la señal capturada en 1 se transmite por el bus repetidamente. Por tanto, en las ejecuciones de la rutina del maestro en los instantes 8 y 9 se vuelve a escribir el mismo dato en el módulo de salidas analógicas. El dato capturado en 10, después de ser transmitido y procesado aparece en la salida analógica del maestro en 14. Así mismo, el dato capturado en 18 se escribe en la salida analógica del maestro en 24. El dato capturado en 1 aparece en la salida analógica del maestro el tiempo comprendido entre los instantes 7 y 14, mientras que el dato capturado en 10 aparece en la salida analógica el tiempo comprendido entre los instantes 14 y 24. Si se considera que el periodo de la conversión D/A es muy pequeño, la señal analógica de salida se actualiza cada tres y cada cuatro veces el periodo de la rutina del maestro. Puesto que el periodo de la rutina es 50 ms, la señal se actualiza cada 150 ms y cada 200 ms, tal como se aprecia en la señal de la figura 5.

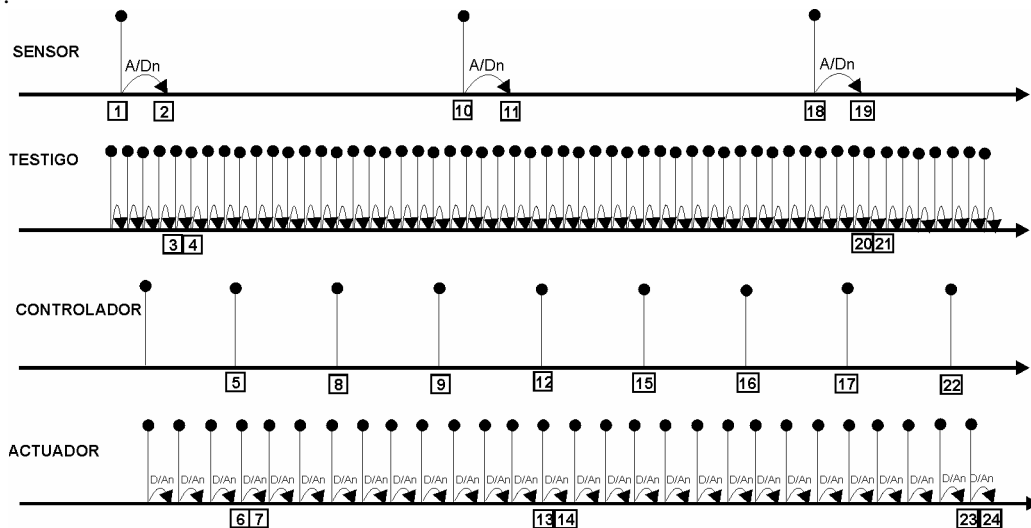


Figura 8: Representación esquemática (1.5Mbit/s).

En este caso todos los datos capturados en el módulo de entradas analógicas del esclavo son transmitidos y escritos en la salida analógica del maestro. No hay pérdida de datos convertidos.

### 2.2.2 Velocidad de transmisión: 45.45 Kbit/s

Cuando se utiliza una velocidad de 45.45Kbit/s y se activan los ocho canales del módulo de entradas analógicas se obtienen las señales de la figura 9. La señal de salida del maestro se actualiza cada 150 y 200 ms.

En la señal de la salida analógica del maestro suceden los mismos hechos que en el caso del apartado 2.2.1 (velocidad de transmisión de 1.5Mbit/s), ya que el periodo de la transmisión de información sigue siendo menor que el periodo de conversión A/D y menor que el periodo de la rutina del maestro (ver figura 8). La diferencia entre la utilización de una velocidad de 1.5Mbit/s y una velocidad de 45.45Kbit/s en esta aplicación particular es el incremento lógico del tiempo de retraso entre las dos señales.

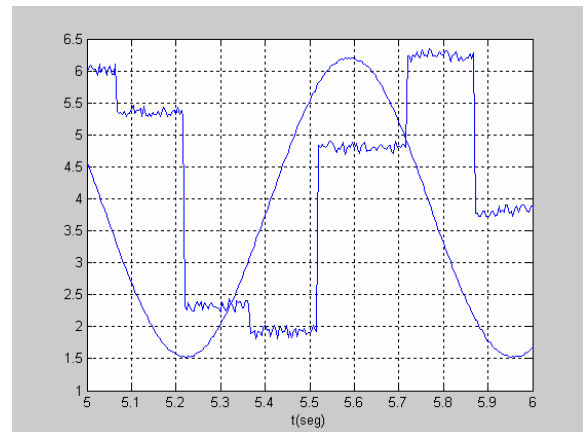


Figura 9: Señales analógicas (45.45Kbit/s).

### 2.2.3 Velocidad de transmisión: 9.6 Kbit/s

Para una velocidad de transmisión de 9.6Kbit/s, tal como se muestra en la figura 10, la señal analógica de salida del maestro se actualiza en algunos casos cada 100 ms, y en otros casos cada 200 ms. En esta aplicación, el periodo de transmisión de información es menor que el periodo de conversión A/D, pero es mayor que el periodo de la rutina del maestro.

Mediante el análisis de la figura 11 se explican los resultados obtenidos. La señal aplicada en el módulo de entradas analógicas del esclavo se captura en el instante de tiempo 1, y la conversión A/D finaliza en el instante 2. La transmisión de la señal por el bus de campo comienza en el instante 3, y llega al maestro en 4. En 9 se vuelve a transmitir la señal y llega al maestro en 10. La ejecución de la rutina del maestro en 5 lee la señal recibida, y la escribe en el registro del módulo de salidas analógicas del maestro. La conversión D/A de la señal se inicia en 6 y finaliza en 7. Las ejecuciones de la rutina del maestro en 8, 11 y 12 vuelven a escribir la misma señal en el registro del módulo de salidas analógicas. La señal analógica capturada en 13, siguiendo las distintas etapas, aparece en la salida analógica en el instante 19. Y la señal capturada en 21 aparece en la salida analógica en 27. Así pues, el valor capturado en 1 permanece en la salida analógica desde el instante 7 hasta el instante 19 (aproximadamente cuatro veces el periodo de la rutina del maestro), y el valor capturado en 13 se escribe en la salida analógica durante el tiempo comprendido entre 19 y 27 (aproximadamente dos veces el periodo de la rutina del maestro). En el análisis práctico, puesto que el periodo de la rutina es de 50 ms, la actualización tendrá lugar cada 100 y cada 200 ms, como se puede observar en la figura 10.

Debido al incremento del tiempo necesario para la transmisión de la información por el bus, el retraso de la señal obtenida en el maestro aumenta

notablemente con respecto a los resultados de los apartados 2.2.1 y 2.2.2. En este caso todas las conversiones A/D llegan a ser escritas en el módulo de salidas analógicas del maestro.

### 3 RESULTADOS PRÁCTICOS: ESCLAVO → MAESTRO → ESCLAVO

En el artículo complementario se analizan los resultados obtenidos cuando una señal cuadrada de periodo 100 ms es generada internamente en el maestro, se transmite por el bus de campo y se convierte a formato analógico en un canal D/A del módulo de salidas analógicas del esclavo.

En el apartado 2 de este artículo se analizan los efectos del enlace de comunicación cuando una señal analógica es capturada en un canal A/D del esclavo, se transmite por el bus de campo hasta el nodo maestro, es gestionada por la rutina cada 50 ms y se escribe en un canal del módulo de salidas analógicas del maestro.

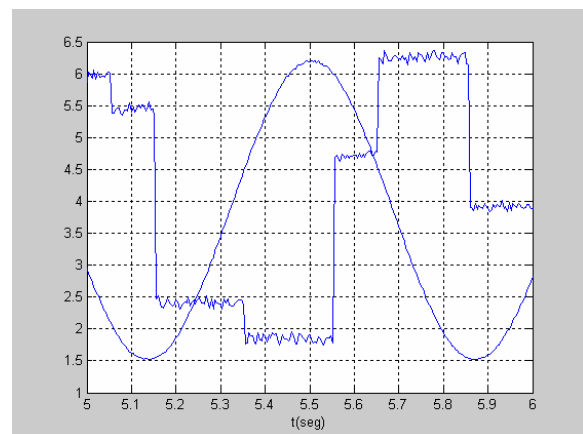


Figura 10: Señales analógicas (9.6Kbit/s).

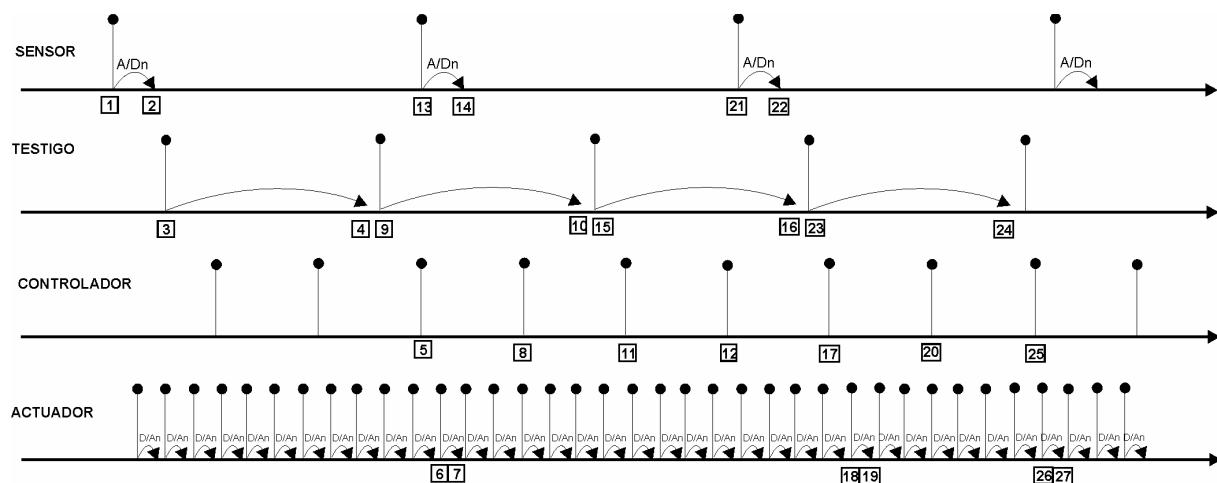


Figura 11: Representación esquemática (9.6Kbits/s).

En este apartado se presentan los resultados prácticos obtenidos cuando un canal de entradas analógicas del esclavo captura una señal, ésta llega al maestro a través del bus, vuelve otra vez al esclavo a través del bus y es convertida de nuevo a formato analógico en un canal D/A (figura 12). Las etapas que sigue la señal analógica se describen en el apartado 4.5 y en la figura 4 del artículo complementario. El retraso entre la señal aplicada en el conversor A/D del esclavo y la señal de salida del conversor D/A del esclavo, después de pasar por el maestro, es la suma de los siguientes tiempos (numeración relativa a la figura 12 del artículo complementario):

- El tiempo de conversión A/D (intervalo de tiempo 1-2).
- El tiempo de espera hasta el inicio de la transmisión de información por el bus (intervalo de tiempo 2-3).
- El tiempo necesario para la transmisión de la información por el bus (intervalo de tiempo 3-4).
- El tiempo que transcurre desde que llega el dato al registro del maestro hasta que es solicitado por la rutina (intervalo de tiempo 4-7).
- El tiempo de espera hasta el inicio de la transmisión de información por el bus (intervalo de tiempo 7-8).
- El tiempo necesario para la transmisión de la información por el bus (intervalo de tiempo 8-9).
- El tiempo que transcurre desde que el dato es escrito en el registro del módulo de salidas analógicas hasta que se inicia la conversión D/A (intervalo de tiempo 9-10).
- El tiempo de conversión D/A (intervalo de tiempo 10-11).

En estos ensayos se activan los ocho canales del módulo de entradas analógicas del esclavo. Al igual que en los casos anteriores, la rutina del maestro se ejecuta cada 50 ms, y las velocidades de transmisión consideradas son 1.5Mbit/s, 45.45Kbit/s y 9.6Kbit/s.

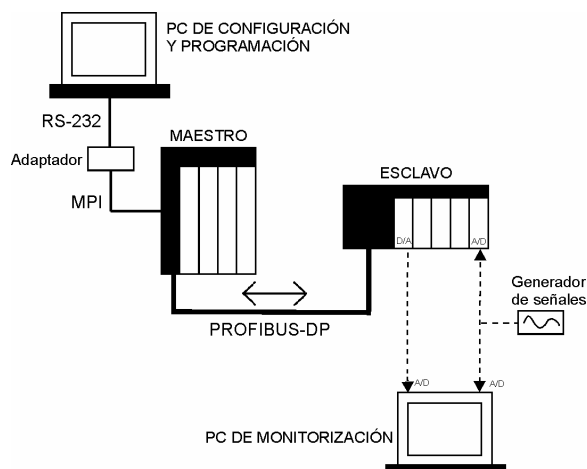


Figura 12: Esquema del sistema de control en red.

En la figura 13 se representa la señal senoidal aplicada en la entrada de un canal A/D del esclavo y la señal de salida resultante en un canal del módulo de salidas analógicas del esclavo, para una velocidad de 1.5Mbit/s. Puesto que el tiempo de transmisión de la información por el bus es despreciable frente al periodo de la rutina del maestro y al periodo de la conversión A/D, y además el periodo de conversión D/A es rápido, se puede considerar despreciable el efecto del enlace de comunicación (figura 14). El periodo predominante sobre la señal de salida es entonces el periodo de la rutina del maestro. La señal de salida mostrada en la figura 13 se actualiza cada 150 y 200 ms, es decir, cada 3 y 4 veces el periodo de la rutina del maestro. Este fenómeno se debe a la relación entre el periodo de conversión A/D y el periodo de la rutina. La señal capturada en el instante 1 (figura 14) permanece en la salida analógica el tiempo comprendido entre 9 y 18 (3 veces el periodo de la rutina del maestro), mientras que la señal capturada en 10 permanece en la salida analógica el tiempo comprendido entre 18 y 27 (cuatro veces el periodo de la rutina del maestro).

La señal resultante cuando se utiliza una velocidad de 45.45Kbit/s se muestra en la figura 15. Se observa que el tiempo de retraso ha aumentado con respecto al caso anterior, ya que ahora el tiempo necesario para la transmisión de información no es despreciable, el cuál influye tanto en el camino esclavo-maestro como en el camino maestro-esclavo. La señal se actualiza cada 120, 160 y 200 ms. Si se considera que la conversión D/A es muy rápida, entonces el periodo que domina sobre la actualización de la señal de salida es el periodo de transmisión de información por el bus.

Puesto que este periodo es aproximadamente de 40 ms, la señal de salida se actualiza cada 3, 4 y 5 veces el periodo de la transmisión de información. Dicha actualización depende de las relaciones puntuales entre los periodos de los subsistemas.

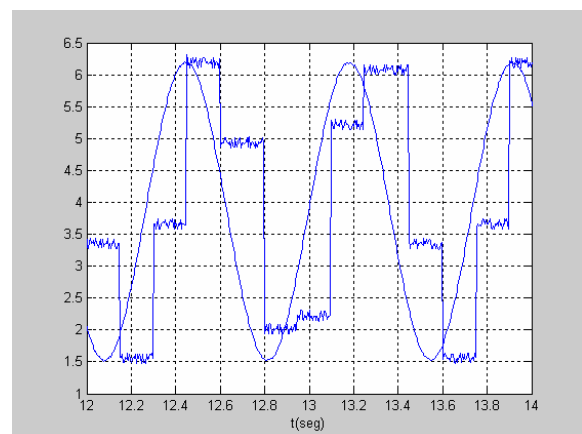


Figura 13: Señales analógicas (1.5Mbit/s).

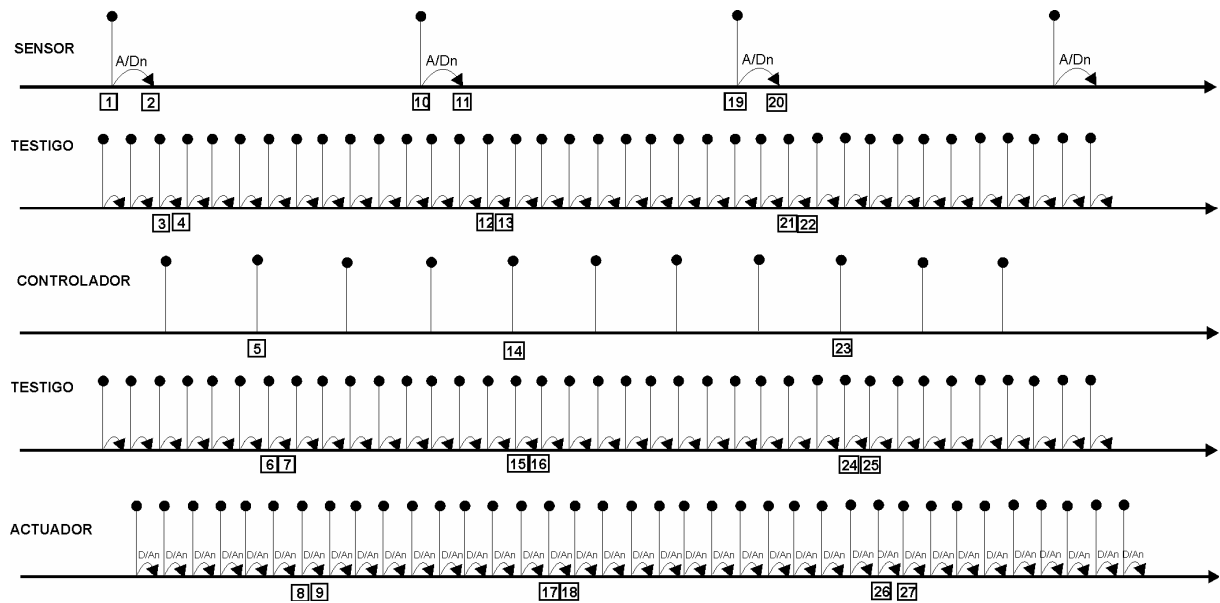


Figura 14: Representación esquemática (1.5Mbit/s).

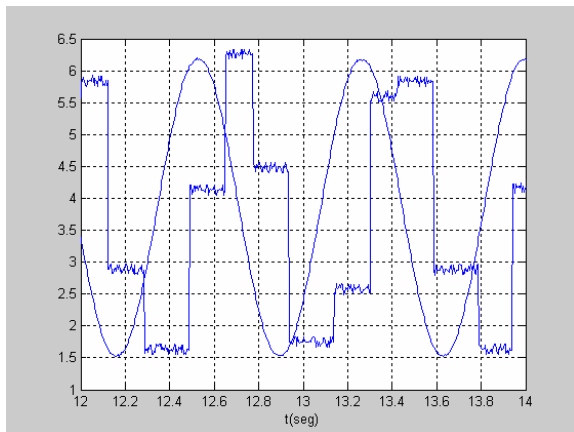


Figura 15: Señales analógicas (45.45Kbit/s).

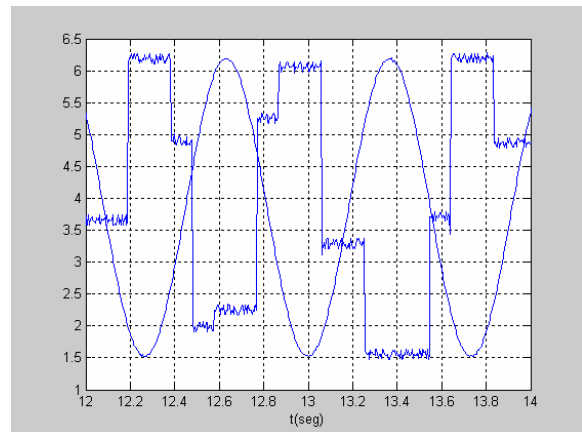


Figura 18: Señales analógicas (9.6Kbit/s).

En la figura 16 se representan los casos en los que la actualización tiene lugar cada tres y cinco veces el periodo de la transmisión de información por el bus. La señal capturada en el instante 1 se ha enviado desde el maestro al esclavo cinco veces, mientras que la señal capturada en 10 se ha enviado desde el maestro al esclavo tres veces. El caso en el que la actualización tiene lugar cada cuatro veces el periodo de la transmisión de información se representa en la figura 17. La señal capturada en 1 se envía desde el maestro al esclavo cuatro veces, por lo que la señal tarda en actualizarse cuatro veces el periodo de la transmisión de información por el bus.

Cuando se disminuye la velocidad de transmisión hasta 9.6Kbit/s, tal como se observa en la figura 18, el tiempo de retraso entre las dos señales aumenta considerablemente con respecto a los dos casos anteriores. La señal de salida se actualiza cada 100, 200 y 300 ms.

Al igual que en el caso anterior, los tiempos de actualización dependen de la relación entre los periodos de cada uno de los subsistemas que intervienen en el funcionamiento.

#### 4 CONCLUSIONES

Los sistemas de control con enlace de comunicación compartido se utilizan con el objeto de reducir costes y mejorar la eficiencia de las grandes plantas industriales.

Profibus es un bus de campo ampliamente utilizado en la comunicación entre autómatas programables, módulos analógicos y digitales de entrada y salida, e instrumentación adicional. El trabajo presentado constituye la segunda parte de un primer artículo complementario.



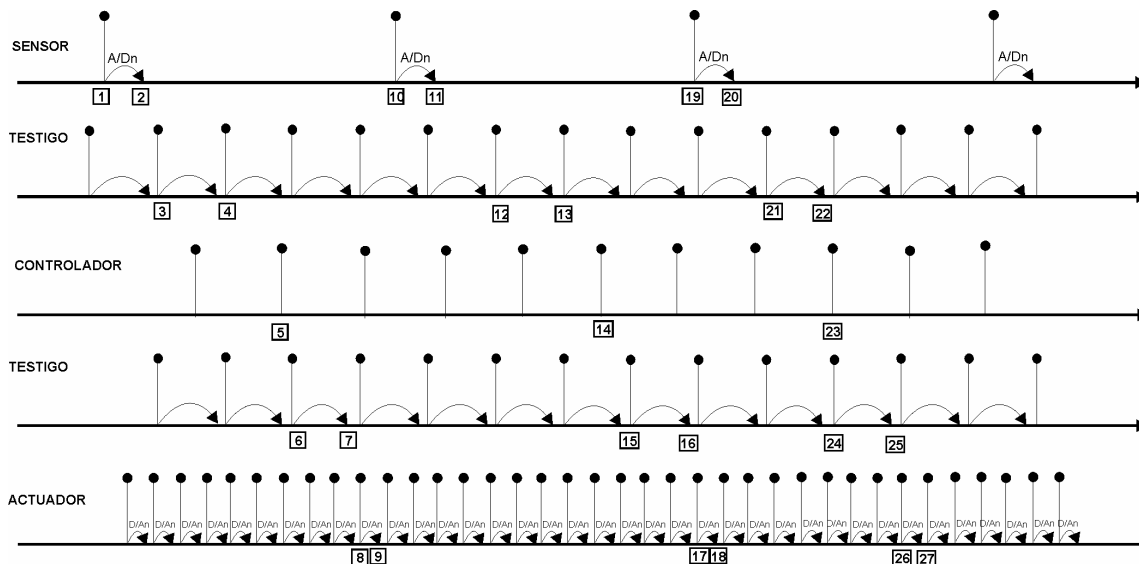


Figura 16: Representación esquemática (45.45Kbit/s).

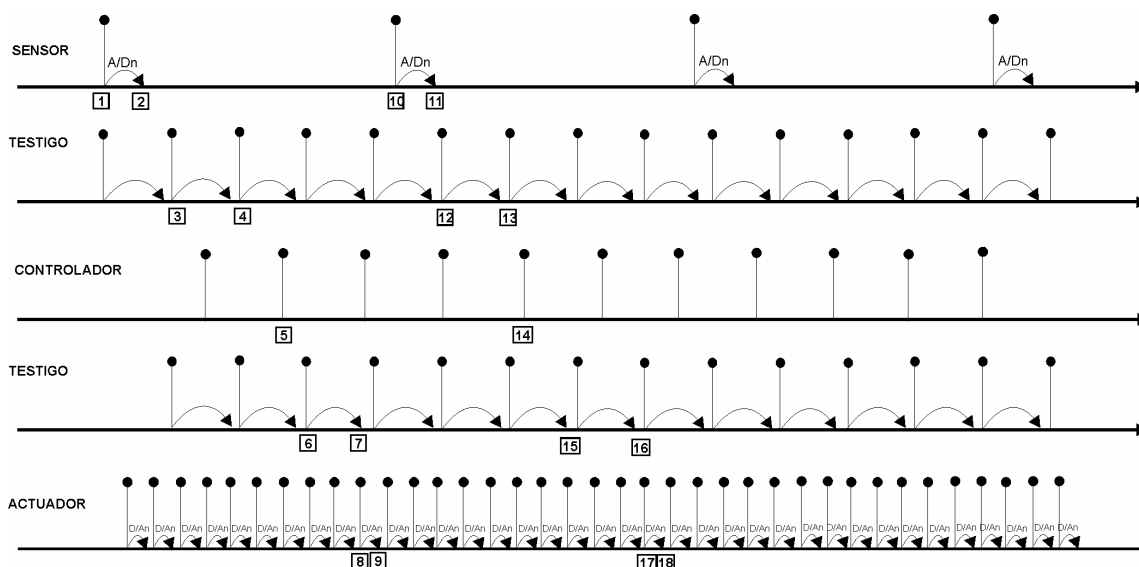


Figura 17: Representación esquemática (45.45Kbit/s).

En éste último se desarrolla una representación esquemática para explicar el funcionamiento de un sistema de control en red basado en el protocolo Profibus-DP, y se describen las etapas que sigue una señal analógica desde que es capturada hasta que es escrita en una salida analógica después de ser procesada por un maestro y transmitida por el bus de campo. También se muestran una serie de resultados experimentales realizados sobre un equipo industrial, donde se analiza 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 este artículo se desarrolla un análisis experimental sobre el efecto del enlace de comunicación sobre una señal analógica capturada en un nodo esclavo que es transmitida a un nodo maestro. En la última parte se analiza la respuesta del sistema cuando uno de los

canales de entradas analógicas del esclavo convierte una señal, la cuál llega al maestro a través del bus. Después vuelve otra vez al esclavo a través del bus y se convierte a formato analógico en un canal de salidas analógicas. Los resultados obtenidos son explicables mediante la representación esquemática propuesta en la primera parte del trabajo. Los ensayos han sido realizados modificando dos parámetros: la velocidad de transmisión y el número de canales activados del módulo de entradas analógicas.

Mediante los dos artículos complementarios se pretende comprender y representar el funcionamiento de los sistemas industriales de control en red, con vistas a la implementación de estructuras de control donde se tengan en cuenta los efectos del enlace de comunicación.

## **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] EN50170 (1998) “Profibus specification. Normative parts of Profibus-FMS, -DP, -PA according to the European Standard”, vol. 2.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Weigmann, J., Kilian, G., (2000) Decentralization with Profibus-DP: Architecture and Fundamentals, Configuration and Use with Simatic S7, Siemens, Germany.