

PERDIGONES, A.;  
GARCÍA, J. L.;  
LUNA, L.;  
PÉREZ DE RUEDA, R.;  
RAPOSO, C.

DPTO. DE INGENIERÍA RURAL  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
AGRÓNOMOS

LA ELECTRÓNICA EN EL TRACTOR AGRÍCOLA:



## COMUNICÁNDOSE POR EL 'BUS'

La electrónica ha irrumpido con fuerza en el sector agrícola. Los tractores y la maquinaria agrícola en general reciben a través de sensores múltiples informaciones que, una vez procesadas de acuerdo a las señales prestablecidas, permiten el envío de las órdenes apropiadas para la obtención del resultado deseado.

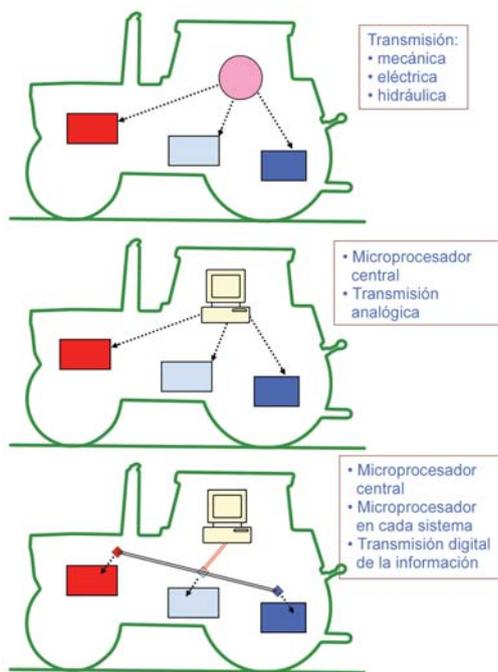
La electrónica, cada vez más importante en la sociedad, está introduciéndose como elemento de control en distintos ámbitos, como es el caso de la domótica en viviendas, y en sistemas productivos como industrias, explotaciones ganaderas, etc. Al igual que en estos casos, también se ha producido un cambio importante en los equipos de control de la maquinaria agrícola, como es el caso de los tractores, que reciben información de un gran número de sensores, comparan las señales enviadas con las pre-

establecidas, y envían las órdenes correspondientes a los actuadores; todo ello mediante la actuación coordinada de microprocesadores, sensores, actuadores y cableado.

### La evolución de los sistemas de control en tractores agrícolas

La aplicación de los *buses* de comunicaciones a los tractores comenzó a extenderse cuando éstos incorporaron cada vez más dispositivos electrónicos, tanto

**Figura 1 a)**  
**Evolución de los sistemas de control de tractores agrícolas**



intercambiaran información. Como las necesidades de intercambio de información fueron creciendo a medida que se iban incrementando los dispositivos electrónicos en el vehículo, la cantidad de cableado y conectores fue aumentando. Esto se traducía en coste de material y tiempo de producción, complicaba la instalación, reducía la fiabilidad de los vehículos y producía problemas de mantenimiento y localización de averías.

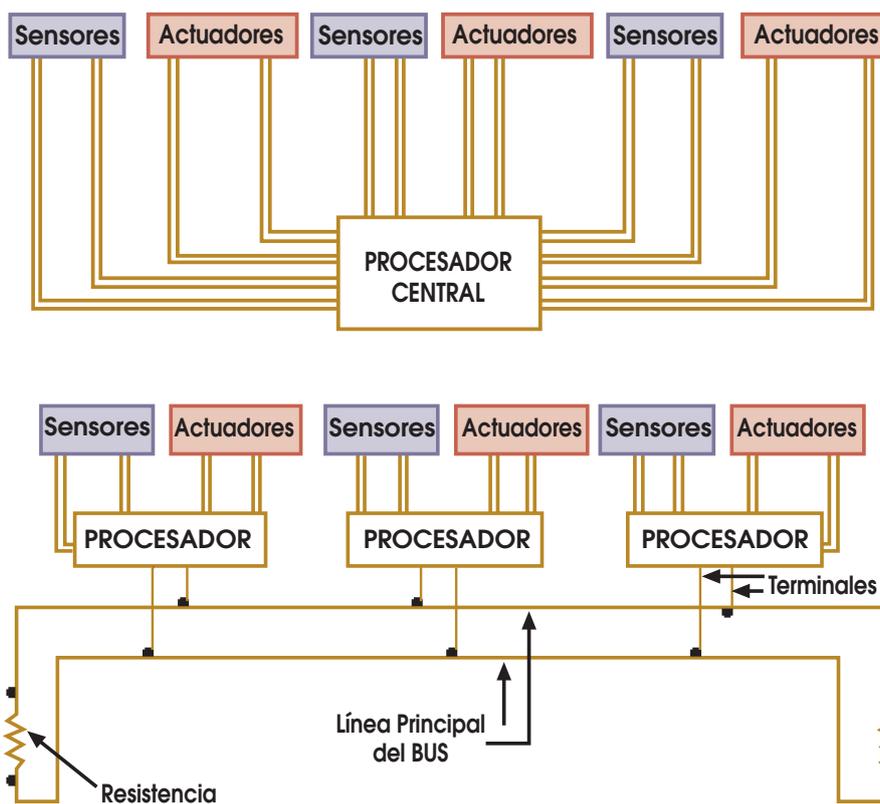
La solución a este problema fue la división del vehículo en sectores, con la

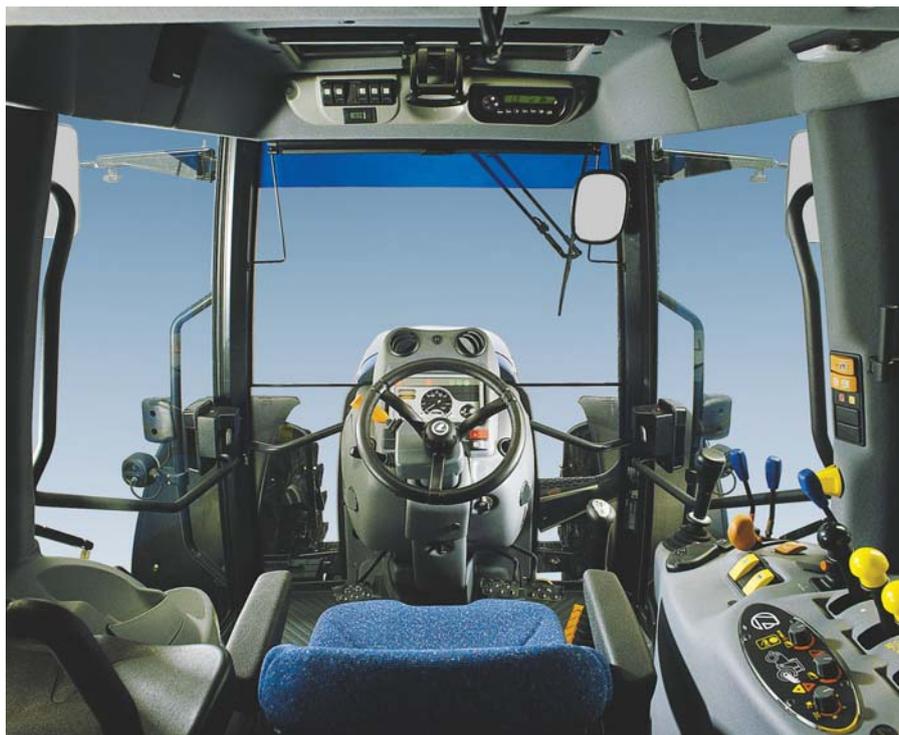
instalación de un sistema de control por microprocesador en cada sector, y la conexión de todos los sistemas de control a través de un *bus* de comunicaciones, con la filosofía de un control distribuido. Con la utilización del *bus*, se sustituye el cableado punto a punto por dos conductores que conectan todos los sectores, con lo que se reduce el cableado y se simplifica la instalación. El sistema debe incluir la programación necesaria en los microprocesadores, con las reglas del protocolo en la transmisión y recepción de información a través del *bus*. Cada microprocesador puede emitir información en formato digital por los dos conductores, información que puede ser leída por todos los demás microprocesadores o por parte de ellos; los que no precisan esa información sencillamente la ignoran.

para la medida de distintos parámetros, como para la actuación sobre electroválvulas y otros elementos, especialmente en relación con el gran desarrollo de sus sistemas hidráulicos. Lógicamente, se requería una comunicación más compleja entre los sistemas de control y los sensores y actuadores implicados.

Hasta la aparición de los *buses* de comunicaciones los tractores utilizaban conexiones con cableado punto a punto entre los distintos elementos, por ejemplo conexiones a dos hilos para entradas y salidas digitales, o conexiones también a dos hilos, para bucles 4-20 miliamperios, para la transmisión de señales analógicas. Algunas señales de los sensores podían cablearse con los actuadores bien directamente o bien a través de circuitos electrónicos reguladores. En otros casos un microprocesador debía instalarse para controlar un proceso; además aparecía la necesidad de que microprocesadores de distintos sectores o procesos

**Figura 1 b)**  
**Uso de microprocesadores con y sin bus de comunicaciones, en control de tractores agrícolas**





### Regulación electrónica: el bus de comunicaciones

El bus de comunicaciones en los tractores agrícolas usa normalmente la comunicación en serie. La información se transmite por medio de dos cables, en general un par trenzado de cobre, a los cuales se conectan todos los equipos con microprocesadores; uno de los cables lleva la información en formato digital, y el otro cable el potencial cero o de masa. En algunos tipos de bus la información se transmite de forma redundante por dos cables, y por dos cables adicionales pueden ir el voltaje utilizado en la alimentación de los microprocesadores y el potencial cero o de masa. En cualquier caso, los bits con la información van de uno en uno por el cable que los transporta, lo que caracteriza a la comunicación en serie. Una alternativa a la comunicación por par trenzado es la transmisión sin cableado por infrarrojos.

Los dos cables mencionados recorren el tractor; constituyen lo que se denomina la línea principal del bus. De los dos cables de

la línea principal salen pares de cables a los distintos procesadores (los terminales del bus). Finalmente, en los extremos de la línea principal se conectan en ocasiones resistencias (por ejemplo, de 120 ohmios) o reguladores de voltaje que evitan reflexiones de las señales al final

## LA INFORMACIÓN SE TRANSMITE POR MEDIO DE DOS CABLES, A LOS CUALES SE CONECTAN TODOS LOS EQUIPOS CON MICROPROCESADORES

del bus y aseguran los niveles correctos de corriente continua en la línea.

Un ejemplo de bus de comunicaciones de este tipo, que se usa en los tractores agrícolas, es el bus CAN (*Controller Area Network*), desarrollado a finales de los años ochenta, normalizado

por ISO en el ámbito internacional y por la otros organismos de normalización sectoriales, como la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE).

En el bus CAN la máxima longitud de la línea principal del bus es de aproximadamente 40 metros, en función de la velocidad de transmisión, y la máxima longitud de los terminales es de un metro; la información se transmite en formato digital simultáneamente por dos cables, en los cuales cada señal es la imagen especular de la otra.

### Conexión con sensores y actuadores

En el control por bus de comunicaciones, el tractor se divide en sectores, cada uno de los cuales está gobernado por un microprocesador; por ejemplo, el procesador del motor, el de la transmisión, el de la instrumentación y otros. Cada procesador está conectado por medio de cableado con una serie de sensores y actuadores de su correspondiente sector, con transmisión de señales en formato analógico.

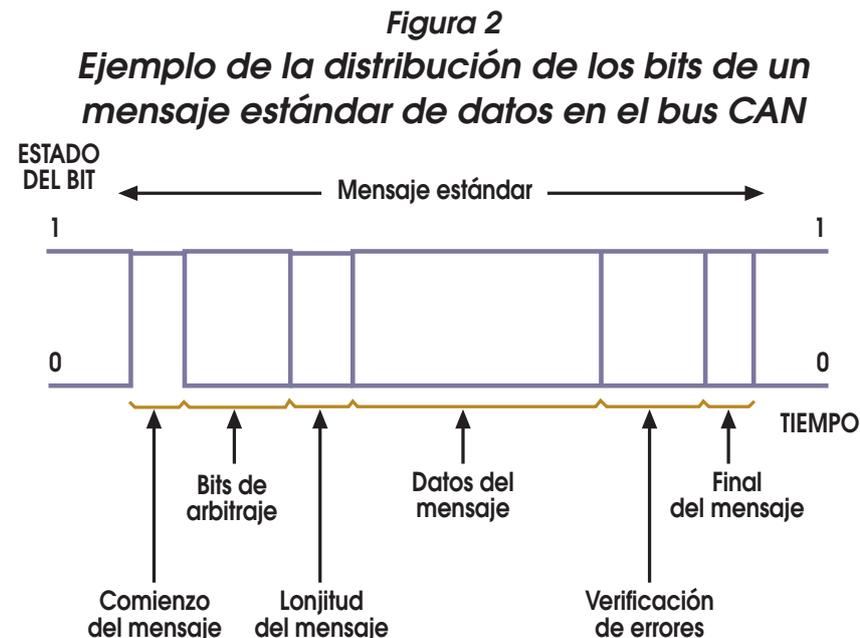
En cambio, la información se transmite entre los procesadores en formato digital. Lógicamente, los procesadores están situados cerca de sus sensores y actuadores; por ejemplo, el procesador del motor está en el compartimento del motor. Esto conlleva una menor cantidad de cableado.

En el caso del microprocesador del motor, el conjunto de sensores puede incluir la medida de la temperatura del refrigerante, la presión y temperatura de aceite del motor, la posición del pedal del acelerador, etc. Los actuadores típicos son los solenoides de las electroválvulas que regulan el paso de combustible o de otros fluidos.

Los sensores conectados al procesador de la transmisión mi-

den, entre otros parámetros, la temperatura del aceite e indican (por medio de contactos y potenciómetros) la marcha seleccionada. Los actuadores en este caso son las electroválvulas que accionan los embragues y los frenos. En cuanto al procesador del panel, su función fundamental es la comunicación con el usuario a través de los periféricos adecuados.

Como en cualquier *bus* de comunicaciones, además de la comunicación de todos los procesadores con sus respectivos elementos, todos los procesadores se comunican entre sí, de manera que la información que maneja cada controlador está disponible para todos ellos. Por ejemplo, en el cambio automático, la marcha del tractor se ajustará automáticamente según las revoluciones del motor. El proceso que se produce es que el sensor de velocidad del motor envía su señal al procesador del motor y éste, a su vez, envía esta información al *bus* de comunicaciones. A continuación, el procesador de la transmisión recibe la información, la compara con sus parámetros preestablecidos, y, si la velocidad se desvía de la consigna, actuará sobre las electroválvulas para modificar las marchas, subiendo o bajando una



marcha. Además, la información también llegará al microprocesador de la instrumentación, que podrá mostrarlo en la pantalla de la cabina.

## El protocolo de comunicaciones

La comunicación digital a través de un *bus* exige un protocolo establecido para la comunicación. Como ejemplo vamos a revisar el protocolo de comunicaciones del *bus* CAN, habitual en tractores agrícolas.

En el *bus* CAN no existe una limitación (en la práctica) en el número de microprocesadores, y la información de su ubicación está incluida en los identificadores de los mensajes transmitidos, con el contenido del mensaje y su prioridad. Cada mensaje transmitido consta de una serie de unos y ceros, por tratarse de un formato digital; cada uno o cero es un bit.

En muchos sistemas, el uno se envía con una tensión de cinco voltios y el cero con cero voltios; el equipo que recibe el mensaje traduce los unos y ceros a la información correspondiente, como en cualquier transmisión dentro de un ordenador. Un mensaje estándar de datos incluye determinadas partes: bits de inicio, bits de arbitraje y de longitud del mensaje, datos del mensaje, bits de verificación de errores y final del mensaje. Por ejemplo, el bit de comienzo siempre es un uno. Existen otro tipo de mensajes que no son de datos, por ejemplo los mensajes de error.

La primera parte del mensaje, tras el bit de inicio, corresponde al arbitraje. El concepto de arbitraje dentro de la comunicación en el *bus* evita la colisión de mensajes en caso de que se co-





Receptor de señales de satélite.

mienten a transmitir, en el mismo instante, por dos microprocesadores diferentes. Además, asegura que sea el mensaje más importante el que se transmita en primer lugar. Los bits de arbitraje suelen ser 12 en el *bus* CAN.

Esto se consigue según la diferencia de dominancia de los bits de arbitraje, al comienzo del mensaje; aquel mensaje que lleve más bits dominantes (el que tiene mayor número de ceros) en el identificador del mensaje será el que se envíe primero. El procesador que envía el mensaje de menor prioridad deja de transmitir y pasa al estado de recepción de mensajes; el que envía el mensaje de mayor prioridad continúa transmitiendo.

Los siguientes bits de un mensaje estándar especifican su longitud, que puede llegar a ser de 64 bits. En esta parte del mensaje también se identifica como estándar. A continuación se mandan los datos propios del envío, codificados en ceros y unos.

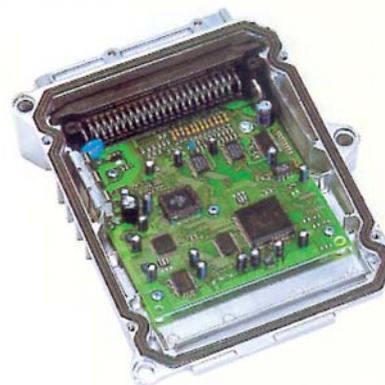
Los bits siguientes son los de verificación de errores, con una secuencia de 15 bits. Los errores detectados producen mensajes de error en el *bus*, visibles para todos los microproce-

sadores. Si es necesario, la transmisión del mensaje se aborta y el envío del mensaje se repite.

Un sistema habitual es el bit de paridad, que verifica si el número de unos o ceros enviados es par o impar. Otro sistema parecido, que se utiliza en el *bus* CAN, consiste en la reali-

## LA COORDINACIÓN DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS DEL TRACTOR FACILITA LA DETECCIÓN DE AVERÍAS

zación de una suma de la secuencia de bits del mensaje, que es transmitida en los bits de verificación de errores del mensaje. El procesador que recibe el mensaje también calcula la suma, utilizando la misma fórmula, y realiza una comparación con la información recibida; si detecta una diferencia entre lo que ha calculado y lo que



Las unidades de control electrónico se comunican entre sí para mejorar el rendimiento del tractor.

ha recibido, entonces se ha producido un error. El procesador rechaza el mensaje y transmite una solicitud de que se vuelva a enviar.

Finalmente, el último conjunto de siete bits indica el final del envío, completando la distribución de un mensaje estándar.

## Conclusiones

Se puede decir que en los tractores modernos, y en general en los nuevos equipos agrícolas se necesita, cada vez más, de la electrónica para el control de sus componentes: motor, transmisiones, sistema hidráulico, etc.

Para aumentar la eficacia reduciendo el cableado, los tractores más modernos incorporan un *bus* de comunicaciones, encargado de comunicar los sensores con los actuadores a través de un número ilimitado de microprocesadores.

La incorporación de estos elementos electrónicos mejora, en principio, la coordinación de los distintos elementos del tractor y facilita la detección de averías, pero lógicamente requiere un servicio técnico más especializado. ■