

LA ELECTRÓNICA EN LOS TRACTORES Y EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN ISO-BUS



LUIS MÁRQUEZ

DR. ING. AGRÓNOMO

La característica más significativa de los tractores agrícolas modernos con elevado nivel de tecnología es la 'electrónica'. En pocos años los controles electro-hidráulicos han tomado posesión del puesto de mando de tractores agrícolas.

La presencia de la electrónica abre muchas posibilidades para el control de los tractores, pero no hay que considerarla como la panacea universal: aporta ventajas, aunque también es una fuente potencial de problemas para las máquinas que trabajan en el campo.

Lo primero que hay que destacar es que la electrónica de 'uso doméstico' no debe

utilizarse en las máquinas de campo. Aunque sea barata, su fiabilidad trabajando en las condiciones duras de campo es muy baja. Es la electrónica de procedencia 'militar' la única que ofrece una garantía suficiente.

Otro punto crítico pueden ser las averías. Aunque la electrónica moderna tiene un alto grado de fiabilidad, un pequeño fallo electrónico puede dejar inmovilizado un tractor. Para solucionarla en muchos casos es suficiente acercar un ordenador al conector de 'diagnóstico', pero el técnico que puede hacerlo no siempre está próximo al tractor averiado.

Esto tiene una consecuencia importante: solo puede introducirse la electrónica en tractores que trabajan en zonas

agrícolas en la que se dispone de una asistencia técnica altamente cualificada. En ocasiones se solucionan los problemas estableciendo conexiones vía telefonía móvil, pero todos los que trabajan en el campo saben que no siempre llega la 'cobertura'.

En consecuencia, muchos usuarios procuran elegir tractores con la menor carga de electrónica posible, aunque pierdan las ventajas que esta puede proporcionar para aumentar la productividad en sus trabajos de campo.

Lo que ofrece la electrónica en los tractores

El abaratamiento y la mejora constante de la fiabilidad de los dispositivos electrónicos han



Monitores de tractor.

producido el aumento considerable de la utilización de los mismos en los tractores agrícolas. Después de un periodo transitorio, en los que la fiabilidad de algunos de estos componentes quedaba limitada por las características del medio en el que el tractor trabaja, se ha pasado a su generalización, incluso en tractores de gama baja, como consecuencia de las ventajas que aportan, como son las ayudas a la conducción, con costes muy reducidos.

El empleo de dispositivos electrónicos en los tractores agrícolas permite:

- Mejorar la productividad y la fiabilidad, ayudando a prevenir averías.
- Reducir el esfuerzo mental y psíquico cuando se realizan operaciones monótonas.
- Mejorar la seguridad para los operadores
- Facilitar el manejo de datos que ayuden a la toma de decisiones

Los sistemas de control y de mando

El papel de la electrónica en los procesos es muy variable, ya que puede servir tanto para automatizar completamente un proceso complejo, como para suministrar al conductor la información del estado en que se encuentra un mecanismo, o cuantificar una determinada variable, como puede ser la temperatura del agua en el radiador o la presión del aceite en el motor.

La información se recibe por medio de los captadores que pasan la información a una

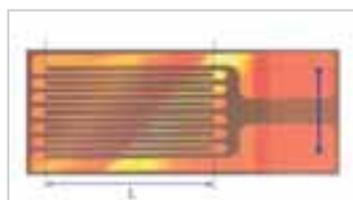
'unidad central' que proporciona información directa mediante un indicador (analógico o digital), o bien se utiliza en el control de 'accionadores' que ponen marcha procesos, con cambios que de nuevo son detectados por los captadores, dando lugar a la 'realimentación', buscando una situación de equilibrio previamente establecido.

Las bandas extensométricas y las células de carga

Permiten medir indirectamente la fuerza que actúa sobre cualquier pieza utilizando la variación de la resistencia de un conductor que se alarga al encontrarse pegado sobre la zona en la que se quiere realizar la medida.

Está formada por un hilo conductor plegado, adherido a un soporte, que se pega sobre la zona en la que se realiza la medida. Cuando se produce un alargamiento de la zona activa de la banda aumenta la resistencia al paso de una corriente eléctrica, con lo que se puede relacionar la fuerza con una magnitud eléctrica.

La precisión en la determinación de la tensión (fuerza/superficie) sobre la pieza en la que se ha pegado la banda extensométrica utilizando este procedimiento viene condicio-



Banda extensométrica simple.

nada, entre otros factores, por que el punto sea representativo de la misma (la deformación producida es la de la zona sobre la que se ha situado la banda).

Para aumentar la precisión en la medida se puede aplicar una carga de magnitud conocida sobre la pieza y calibrar directamente las lecturas de las variaciones de tensión eléctrica en términos de fuerza. Este es el caso de las 'células de carga', que son bloques de material (normalmente acero) sobre los que se pegan las bandas, muy utilizadas para medir con precisión las fuerzas que actúan sobre diferentes componentes de las máquinas.

Las bandas extensométricas pueden ser 'lineales', que solo mide las deformaciones según su dirección principal, y están diseñadas para que las deformaciones transversales que se produzcan no afecten a la medida. Hay bandas que permiten medir los esfuerzos multi-direccionales, diseñadas de forma que los elementos activos reflejen la deformación que se produce en diferentes direcciones de cualquier componente de una máquina.

El desarrollo de la microelectrónica ha permitido instalar bandas extensométricas en espacios mínimos (también sustituyendo los hilos metálicos por semiconductores), lo que unido a la comunicación de la señal eléctrica de forma inalámbrica permite un control preciso del funcionamiento de las máquinas.

La señal eléctrica procedente de una célula de carga es de muy baja intensidad, por lo que para que pueda ser utilizada en indicadores, o en sistemas de instrumentación, necesita ser amplificada, manteniendo la precisión en el intervalo de frecuencias establecido por el sistema.

Otros transductores o captadores

Convierten una magnitud física (presión, temperatura, aceleración, etc.) en una señal eléctrica. Así, las células de carga serían transductores específicos diseñados para la medida de fuerzas.

Los transductores que se utilizan en la agricultura deben de ser, además de precisos y de bajo coste, duraderos trabajando en condiciones ambientales poco favorables. Es preferible el empleo de transductores 'sin contacto', ya que se adaptan mejor a las condiciones ambientales del medio agrícola, en la que está presente la humedad, el polvo y las sustancias corrosivas.

Los transductores utilizan las numerosas propiedades físicas (mecánicas y eléctricas) de los materiales, para transformar una magnitud física en una señal eléctrica. Cabe distinguir los considerados como 'activos' de los 'pasivos', en los que se necesita alimentarlos eléctricamente para que cumplan su función.

Entre los más frecuentemente utilizados se encuentran:

- Interruptores simples y de lámina flexible.
- Potenciómetros (medida de niveles y ángulos de giro).
- Captadores de movimiento (velocidades de rotación, pequeños desplazamientos)
- Captadores termoeléctricos (medida de temperaturas)
- Captadores ópticos (control de seguridad)
- Captadores piezoeléctricos de impacto (control de pérdida de grano en cosechadoras)

Por otra parte, entre los fenómenos físicos que se necesita cuantificar para controlar el funcionamiento de los vehículos agrícolas están las aceleraciones producidas en algunos de sus elementos, como pueden

ser los sistemas de suspensión. Para la medida de la aceleración se utilizan unos transductores conocidos como acelerómetros, que pueden construirse utilizando un elemento piezo-resistivo (da una tensión de salida en función de la carga que recibe) apoyado sobre una base y cargado con una masa sometida a una pre-compresión que supere la máxima fuerza de inercia que podría generar el sistema. La carga eléctrica originada en el elemento piezoeléctrico es directamente proporcional a la fuerza que ejerce la masa sobre éste, o a su propia deformación, dando la variación de dicha carga una indicación de la aceleración a la que está sometida la base.

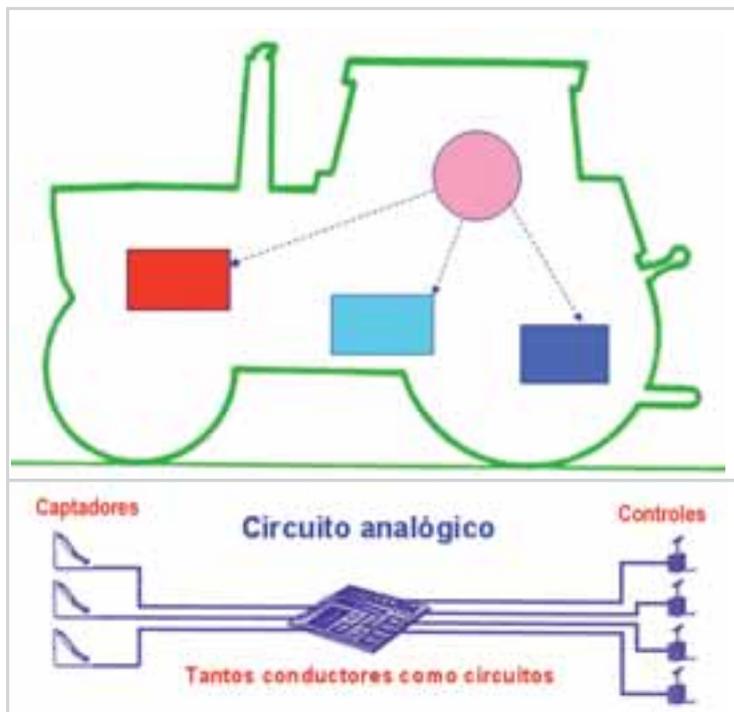
Amplificación de la señal

La señal eléctrica procedente de un transductor es de muy baja intensidad, por lo que normalmente se necesita amplificarla para que pueda actuar sobre un indicador, analógico o digital, o sirva como referencia para un sistema de control.

El sistema que forman el transductor y su amplificación

tiene una respuesta en frecuencia, en amplitud y en fase que conviene analizar. En un intervalo de frecuencias, para la variación de la magnitud de entrada, la señal de salida mantiene su proporcionalidad; por debajo de una determinada frecuencia esta proporcionalidad no se mantiene; por encima de otra frecuencia se puede producir una amplificación de la señal, para posteriormente pasar a una amortiguación. Conviene trabajar en el intervalo de frecuencias en el que se mantenga la proporcionalidad (respuesta plana del sistema).

En cualquier instrumento de medida hay que definir el 'rango', entendido como intervalo de valores en los que se pueden hacer medidas, la 'resolución', menor variación de la magnitud medida percibida por el medidor, y la 'sensibilidad', relación entre el cambio de la salida y el cambio del parámetro físico que la ha provocado. En función del fenómeno físico que se va a medir habrá que elegir el sistema que mejor se adapte a las necesidades, sin



Cableado independiente para cada captador.

perder de vista el coste del conjunto.

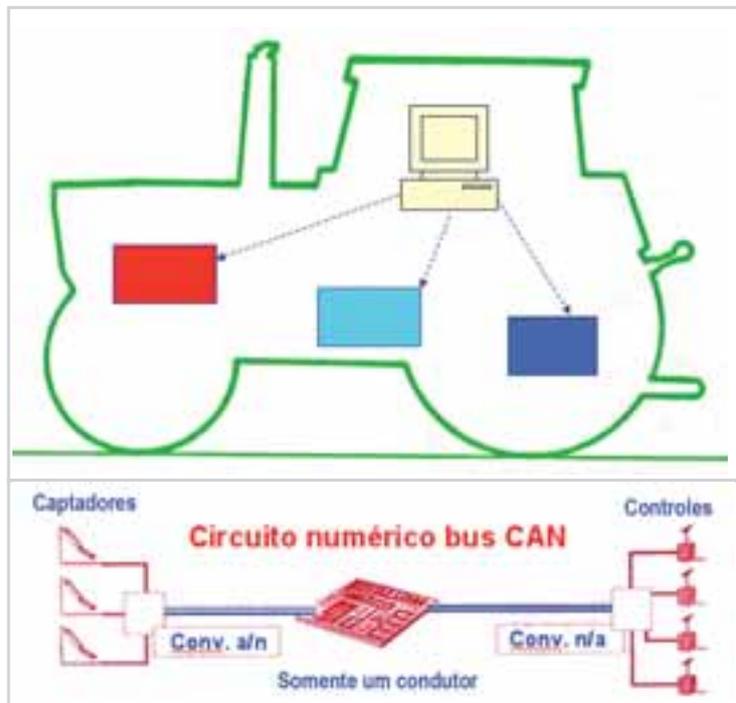
La señal amplificada debe llegar a un reproductor o visualizador de la señal captada. Los registradores de la señal pueden ser potenciométricos, galvanómetros mecánicos, oscilógrafos de haz luminosos y magnéticos, adaptándose cada uno de estos tipos a un rango de frecuencias determinados.

Estos registradores para señales analógicas han perdido interés como consecuencia de la generalización de los convertidores analógico-digitales, que transforma una señal continua en otra discontinua formada por un conjunto de valores representativos de la magnitud medida. Estos valores numéricos en código binario se pueden manejar directamente por los microprocesadores unidos a la instrumentación y almacenarlos en la memoria asociada a la misma.

Los sistemas de instrumentación de los tractores agrícolas

Los transductores que proporciona información sobre el estado de los diferentes componentes del tractor (motor, transmisión, sistema hidráulico) pueden comunicar directamente con un microprocesador situado en el puesto de conducción. Cada uno dispone de su propio cableado por el que circula corriente eléctrica con una intensidad de pocos miliamperios.

Esto dio lugar a la introducción en los tractores la denominada electrónica de cálculo, en la que un microprocesador central puede actuar sobre los parámetros de mando de los automatismos utilizando un teclado, con lo que se convierte en un calculador que define el mando a partir de los parámetros establecidos.



Circuito de comunicación BUS-CAN.

Todas las funciones se controlan por un solo microprocesador; admite combinaciones complejas, que remplazan a los sistemas mecánicos (inyección, elevador, etc.). Con esta estructura, cada captador dispone de un conductor específico que transporta la información, el microprocesador analiza toda la información que recibe, hay numerosas conexiones y gran longitud de cableado, ya que el control se hace por cada uno de los elementos.

Así comienza la electrónica de gestión, ya que los captadores recogen abundante información durante el trabajo y se registran los datos obtenidos para analizarlos con posterioridad. Inicialmente hubo limitaciones de registro como consecuencia de la capacidad de memoria del microprocesador, pero se abrió la posibilidad de memorizar datos para condiciones diferentes, como las necesarias para regular un apero, o bien transferir los datos a un ordenador para posteriormente procesarlos con otra información (gestión de parcelas).

El sistema de comunicación CAN-BUS

En gran parte como consecuencia de la necesidad de instalar un microprocesador en el motor para gestionar los parámetros de funcionamiento del mismo, los sistemas de instrumentación de los tractores agrícolas han evolucionado estableciendo una comunicación digital común (CAN-BUS), que comunica los microprocesadores que se sitúan en la caja de cambio y en el sistema hidráulico con el microprocesador central que controla el funcionamiento del tractor y da la información que necesita el conductor.

Con este sistema se hace circular gran cantidad de información por el mismo conductor, es mayor la facilidad para la detección de fallos, siendo posible interrogar a cada captador; se necesitan pocas conexiones y se reduce la longitud del cableado, aunque hay que incluir convertidores analógico-digitales en el sistema.

La estructura del sistema es similar a la de un micro-or-

denador en el que de la unidad central (CPU), controlada por el reloj, sale la línea de comunicación (BUS) a la que se une las 'memorias' con el programa y los datos, y las entradas y salidas hacia los periféricos (teclado, pantalla, impresora, etc.).

Fue Robert Bosch GmbH el que presenta este sistema, aplicado a los vehículos automóviles, en Congreso de SAE de 1986. En 1993 el sistema queda definido por las normas ISO de la serie 11898, que se modifican en 1995 para que el sistema pudiera trabajar a 29 bits. La estructura física del sistema desarrollado por Bosch utiliza como referencia el protocolo de comunicaciones de la norma SAE J1939.

El sistema de comunicación CAN-BUS está formado por un grupo de cuatro cables trenzados, de los cuales dos se encargan de transmitir la información, CAN high (alto) y CAN low (bajo), mediante oscilaciones de una corriente eléctrica cercana a los 2.5 voltios, que es la tensión que se mantiene entre ambas en condiciones de reposo. Los otros dos cables actúan como pantalla para evitar las interferencias electromagnéticas. Este cableado se completa con resistencias terminales que se encargan de absorber rebotes y ecos de los mensajes transmitidos, que podrían generar mensajes erróneos. Una de estas resistencias terminales es la que se encarga de suministrar la corriente eléctrica y la masa a la línea de comunicación (terminal activo).

Cada una de las unidades enlazadas a la línea de comunicación recibe la información que le corresponde y puede realizar 'pedidos' de información a cualquiera de las unidades del sistema. Se incluyen en la demanda el grado de prioridad de la petición. Si

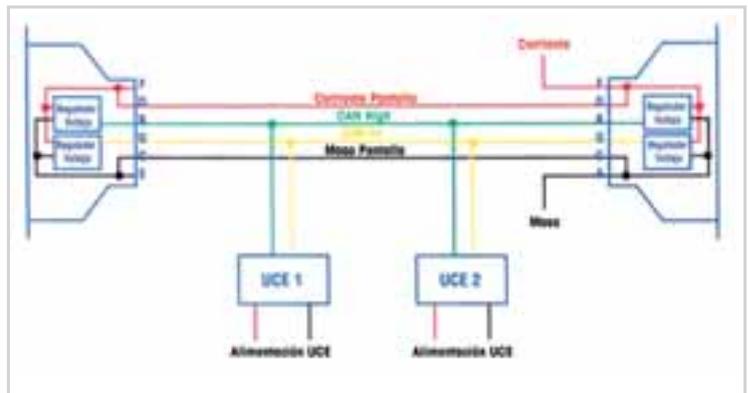
varias unidades quieren transmitir al mismo tiempo, las de mayor prioridad circulan en la línea de comunicación antes de las demás. Si se produce una anomalía, la unidad de control electrónico interrumpe la transmisión, y pueden distinguir entre las anomalías ocasionales y las persistentes mediante análisis estadístico de la situación de error. Las líneas de comunicación siempre se encuentran activas, y por ellas se transmite información, algunas muy frecuentes, otras no tanto.

El conjunto de información necesario para componer un mensaje se representa esquemáticamente en las figuras inferiores. Se compone de siete campos consecutivos y al comienzo se produce una sincronización del mensaje asignándole un orden de prioridad, y el emisor del mensaje comprueba que tiene derecho a transmitir

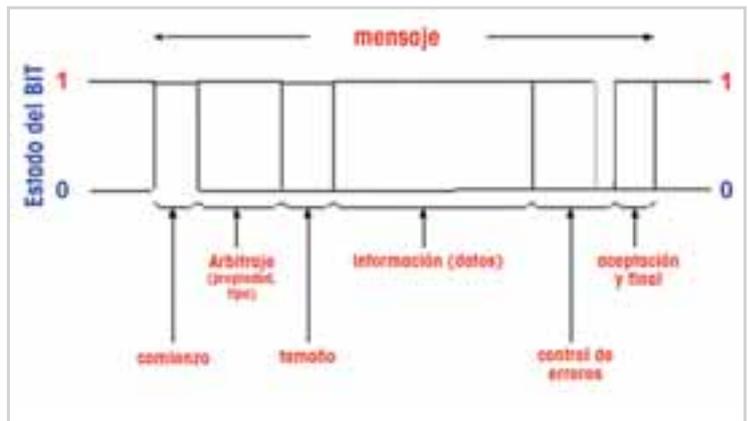
y su prioridad con respecto a las demás unidades de control electrónico; en este bloque se incluye un bit de control que indica si la información es una pregunta o una respuesta.

A continuación va la información sobre el tamaño del mensaje, para dar paso al campo de información que es en el que se encuentra este mensaje. Seguidamente va el campo de comprobación de redundancia cíclica (CRC) que se utiliza para reconocer cualquier error que pueda producirse en la transmisión, con un código de errores reconocibles por todas las unidades del sistema.

El campo de aceptación contiene las señales que indican que ha sido recibido correctamente el mensaje por las diferentes unidades del sistema. El mensaje se completa con la información que indica que éste ha finalizado.



Esquema eléctrico CAN-BUS.



Estructura de los mensajes que circulan.

El ISO-BUS para la comunicación de los tractores con las máquinas

La comunicación entre los tractores y las máquinas accionadas en lo que se relaciona con el control de operación, se puede hacer utilizando un sistema similar al desarrollado inicialmente para los automóviles.

Esto resulta posible con el desarrollo de las normas ISO de la serie 11783. En este caso, el soporte físico es similar al establecido por la norma ISO 11898, pero todo lo que se relaciona con la 'programación' se complica, dada la gran variedad

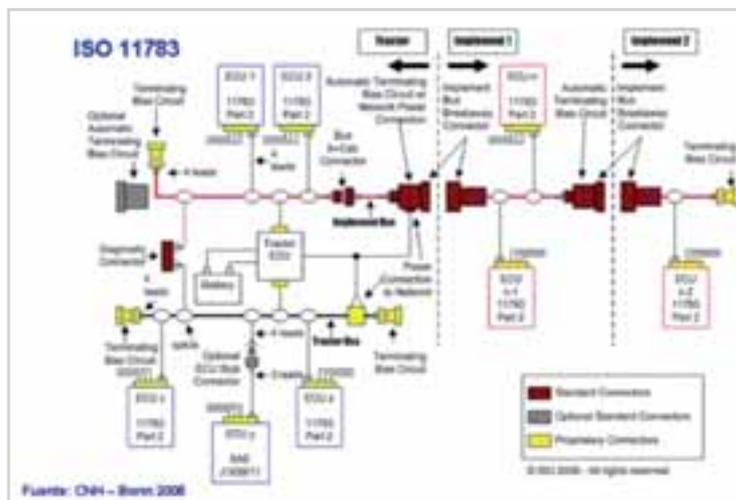


Conector ISO-BUS.

de máquinas agrícolas que pueden accionar los tractores, y de los diferentes parámetros que controlan su funcionamiento, lo que hace costosa su aceptación por la mayoría de los usuarios.

En líneas generales el conjunto dispone de una línea de comunicación similar a la que se utiliza el CAN-BUS del tractor, a la que se unen las diferentes unidades, cada una con su propia ECU. La línea se puede alargar mediante conexiones normalizadas para los diferentes aperos y máquinas accionadas por el tractor.

Cualquier unidad que cumple los protocolos establecidos por las normas ISO de la serie 11783 puede ser conectada a la línea de comunicación e integrarse en el sistema, lo cual es válido para los receptores de GNSS, los sistemas de guiado automático, etc.



Esquema del sistema de comunicación ISO-BUS.

El punto crítico del sistema es el enlace entre la línea de comunicación ISO-BUS con la CAN-BUS del tractor, ya que el fabricante del tractor no siempre está dispuesto a que una máquina externa intervenga modificando los parámetros de funcionamiento del tractor, salvo que sea 'homologada' por un laboratorio reconocido por su servicio técnico.

Por otra parte, se puede utilizar un monitor, definido según las normas ISO 11783, que sirva tanto para el control del tractor, como de los aperos y máquinas accionados por el mismo, así como una toma para el diagnóstico de fallos. Todos los fabricantes ofrecen monitores 'ISO-BUS' en los tractores de gama media y alta para el mercado europeo, pero hay pocos compradores que están dispuestos a pagar un sobreprecio para tenerlo, cuando no van a cambiar su parque de máquinas, ya que esto significa un aumento del coste de adquisición del tractor, por lo que generalmente se incluye como 'opción'.

Este conjunto de normas integradas en lo que se conoce como sistema ISO-BUS, pueden aportar ventajas en las áreas agrícolas que utilizan tractores polivalentes que cambian de implemento de forma conti-

nua, incluso durante el mismo día, pero no tanto para aquellas en las que el tractor acciona una sola máquina; para esto, se puede hacer lo mismo con un monitor mucho más sencillo y de menor coste, especialmente cuando el usuario está utilizando máquinas que no disponen de este sistema, y posiblemente tarde años en cambiarlas.



Monitor ISO-BUS se doble pantalla (Kverneland).

Hay otras preguntas que conviene hacerse, como si será la solución definitiva, cuando cada vez se generaliza más las comunicaciones inalámbricas, o cuanto tiempo tardará en renovarse el parque de tractores que actualmente no disponen de monitor ISO-BUS.

Sin embargo, cuando una cabina se llena de monitores para controlar máquinas diferentes hay que pensar en el ISO-BUS. ■