



29ª Reunión Plenaria del Club of Bologna

# MECANIZACIÓN AGRÍCOLA Y SOSTENIBILIDAD: ELECTRIFICACIÓN EN LA MAQUINARIA AGRÍCOLA

## Resúmenes de la Ponencias realizado por:

MARCO FIALA.- Secretario General  
LUIS MÁRQUEZ.- FM  
CLUB OF BOLOGNA

Los días 10 y 11 de noviembre, en Agritech-nica, se celebró la Reunión Plenaria Anual del Club de Bolonia, con el lema general de 'Mecanización agrícola y sostenibilidad'. Con tres Sesiones, la primera dedicada a la 'Sostenibilidad y la economía circular', la segunda al 'Potencial de electrificación de la maquinaria agrícola', y la tercera a la 'Maquinara para la producción y la distribución de los forrajes'.

Seguidamente se resumen las intervenciones de los Ponentes en la Sección 2ª, considerando los aspectos que más pueden interesar a los lectores de **agrotécnica**. Los textos completos de las ponencias y de las presentaciones se pueden descargar de la web del Club of Bologna ([www.clubofbologna.org](http://www.clubofbologna.org)).

## Electricidad en los tractores y en el sistema de tractor-implemento

La primera ponencia de la Sesión estuvo a cargo de Peter Pickel (John Deere). Comienza indicando que la maquinaria agrícola accionada eléctricamente tiene una larga historia, pero el desarrollo de los motores en los comienzos del siglo XX desplaza a los sistemas de accionamiento eléctrico en la maquinaria móvil.

En la actualidad con la mejoras de las baterías con iones de litio aumenta el interés por la electrificación en máquinas agrícolas móviles. Describe las experiencias realizadas en los últimos 15 años.

En primer lugar el proyecto MELA de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Regensburg (Alemania), en 2001, para desarrollar una transmisión de distribución de potencia electromecá-

nica para tractores, con suministro de energía eléctrica adicional para implementos eléctricos a través de un conector de 540 V (corriente continua).

Como en el proyecto MELA, la mayoría de las actividades para la electrificación de máquinas agrícolas no se han centrado en usar la electricidad como fuente primaria de energía para accionar máquinas móviles.

Así, John Deere presentó en 2007 el tractor serie 7530 ePremium. Con un generador asíncrono de 20 kW en el volante del motor, y un rectificador que proporciona energía para varios accionamientos auxiliares (ventilador, compresor, etc.). Mediante el acuerdo de John Deere con Rauch se desarrolla un motor eléctrico para accionar los mecanismos de proyección de una abonadora. Posteriormente el sistema evoluciona, en los tractores JD 6210RS, para la alimentación exterior de aperos eléctricos con la conexión AEF de segunda generación. La motivación principal por el que se desarrollan estos sistemas es la mejora de la eficiencia en los sistemas de transmisión, aunque esta mejora, por el momento, no ha sido suficiente para incentivar estos sistemas.

Por otra parte, la introducción de los sistemas eléctricos ofrece ventajas para todo lo que significa agricultura inteligente o de precisión. Un ejemplo de ello es el control de la sembradoras monograno de precisión ExactAmerge de John Deere utilizando una interfaz AEF o un sistema de 48 voltios de corriente continua, suficiente para situaciones de baja demanda de potencia. Con el sistema AEF se podría llegar a los 150 kW.



energía, afirma tener una mejor eficiencia sobre otras transmisiones de energía dividida. Además, permiten la transmisión de potencia a los implementos a través de 2 conectores AEF (generación 4.x) de hasta 100 kW.

Una parte de la potencia se dedicó a analizar el estado del conocimiento en relación con los tractores eléctricos con batería, poniendo como ejemplo el prototipo SESAM de John Deere, con casi 400 CV de potencia máxima. Con este prototipo trabajando a potencia nominal sería necesario recargar la batería en menos de 1 hora de funcionamiento. Las dimensiones de la batería representan un problema inherente para todos los tractores eléctricos. Puso como ejemplo el caso de un tractor de 250 kW de potencia nominal, para trabajar 12 horas a una carga del 50%, la batería tendría un peso de 12 toneladas y un volumen de 5 m<sup>3</sup>.

Indica que otra razón para la electrificación en la maquinaria móvil es la electromovilidad. La producción, el suministro y el consumo de energía generada de manera sostenible a partir de recursos renovables tienen un gran potencial para ser un pilar clave en la creación de un mayor valor agregado en las tierras de cultivo.

Se han desarrollado varios proyectos de vehículos híbridos e híbridos enchufables, con baterías externas que se sitúan en el frontal del tractor en la posición de los lastres delanteros, que se cambian con rapidez y se recargan con su conexión a la red.

En Agritechnica 2019, John Deere presentó una nueva transmisión de tractor: el eAutoPowr Para tractores de la Serie R. La idea básica del eAutoPowr es la misma que la de las transmisiones clásicas de potencia mecánica hidrostática; combina la funcionalidad de una transmisión variable con la eficiencia de un engranaje mecánico estándar. Debido a que eAutoPowr no utiliza la hidrostática para la transferencia de



John Deere GridCON. (Fuente: P.Pickel).

Con la tecnología actual de las baterías son posibles los tractores eléctricos de baja potencia, como el eVario de Fendt. Este tractor de 50 kW podría funcionar con una batería de 600 kg que proporciona de 100 kWh. Dicho tractor necesitaría recargarse después de 4 horas de funcionamiento con una utilización del 50%.

Ante esta situación John Deere desarrolla el prototipo GridCON, que se alimenta a través de una conexión de cable de 2.5 kV (corriente alterna, 3.6 kHz) desde el borde del campo hasta la máquina, lo que permite una transferencia de potencia permanente de 300 kW. El tambor de cable transportado por la máquina tiene un alcance de 1000 m. El cable es guiado por un brazo robótico que minimiza la fricción y la carga. El peso total del prototipo GridCON es de aproximadamente 8.5 t, un peso similar al de un tractor JD 6195R, con doble de potencia y sin emisión de gases de escape.

Basado en GridCON presenta en Agritechnica 2019 John Deere un prototipo más desarro-



John Deere SESAM.

llado. En el divide la funcionalidad del tractor y el tambor de cable, con una conexión entre tractor y apero que permite la dirección del conjunto.

Para finalizar resume que existen cuatro aspectos principales para la electrificación de la maquinaria agrícola.

- Eficiencia
- Controlabilidad
- Acceso a energías renovables
- Densidad de potencia

Según estos aspectos, la electrificación será una tecnología habilitadora clave para una agricultura futura precisa y altamente sostenible.

Las discusiones y desarrollos futuros deben abordar aspectos problemáticos de la electrificación, como temas de seguridad en sistemas de alto voltaje y nuevos perfiles educativos obligatorios del personal del taller. Los costes y los modelos comerciales decidirán en última instancia el futuro de los accionamientos eléctricos.

Otro aspecto importante de la electrificación es la tecnología de la información y la comunicación, tecnología clave para permitir operaciones altamente precisas en la agricultura inteligente y digital.



Field swarm unit. (Fuente: Pfaffmann, John Deere).

## Perspectivas del tractor eléctrico

Esta segunda ponencia estuvo a cargo de Stefano Fiorati y otros técnicos de CNH Industrial. En la introducción señala que el equipo agrícola actual se está alcanzando sus límites de optimización, por lo que se necesita un enfoque creciente en el área de electrificación y accionamientos eléctricos. Además, la industria de fabricación de equipos agrícolas, tradicionalmente mecánica, está invirtiendo una gran cantidad de recursos para probar motores eléctricos y baterías y reemplazar, con el tiempo, los sistemas de propulsión e hidráulicos convencionales. La duración y el rendimiento de la batería en entornos hostiles sigue siendo un desafío desde el punto de vista tecnológico. Por otro lado, fusionar la electrificación con motores de combustión inter-



New Holland NH2™.

na más tradicionales en sistemas híbridos puede ser una solución efectiva a mediano plazo.

Seguidamente plantea la necesidad de la electrificación e indica los desafíos que se plantea CNH Industrial en la situación actual: el cambio climático, la escasez de alimentos y seguridad alimentaria, y la digitalización.

Los desafíos globales para CNH serían: estrategias de descarbonización, digitalización con telemática y conectividad abierta, y automatización.

En relación con la electrificación como paso a la descarbonización desarrolla tecnologías para mejorar la eficiencia del ecosistema agrícola. Indica que la electrificación jugará un papel importante para:

- desacoplar cargas y unidades del motor para reducir las emisiones y permitir un diseño más flexible;
- optimizar la capacidad de control de los flujos de energía a través de máquinas agrícolas y entre máquinas
- aumentar la automatización con el fin de mejorar la precisión de las operaciones eliminando variables humanas que podrían causar ineficiencias;
- Identificar nuevos modelos de mantenimiento para reducir el tiempo de inactividad de la máquina.

Recuerda la experiencia de la electrificación de CNH Industrial en vehículos industriales via- rios, tanto eléctricos como híbridos, que le resulta útil para poder aplicar estas tecnologías a la agricultura. Seguidamente relaciona las soluciones híbridas que se han presentado en los últimos años, como:

- En 2005, CASE IH presentó el ProHybrid EECVT, un híbrido diesel serie integrado en ejes diferenciales estándar que combina un

motor diesel de 120 kW y dos motores / generadores eléctricos de 50 kW.

- En 2007, John Deere presentó la serie E-premium con un generador de 20 kW para suministrar energía a auxiliares como compresores e implementos.
- En 2009, Bielorrusia, en cooperación con RuselProm, presentó el tractor eléctrico diesel 3023. Un motor diesel de 220 kW y un generador de 172 kW.
- En 2011, Rigitrac presentó el tractor eléctrico diesel RigiTrac EWD 120 con cuatro ruedas motrices con una potencia de 33 kW por motor.
- En 2013, Fendt presentó el X-Concept un motor 4.9 litros y 147 kW que suministra hasta 130 kW para alimentar implementos.
- En 2018, Carraro presentó el tractor híbrido, equipado con un motor diesel de 55 kW, un motor electrónico de 50 kW y una batería de iones de litio de 25 kWh que puede funcionar en modo totalmente eléctrico.
- En 2019, John Deere presentó la caja de cambios eAutoPower e8WD para tractores grandes, la primera caja de cambios de potencia electromecánica dividida en tecnología agrícola.

Los totalmente eléctricos presentados han sido:

- En 2011, New Holland presentó el segundo tractor impulsado por hidrógeno (basado en un tractor T6.140). En comparación con el primera versión (año 2009) las celdas de combustible que entregan 100 kW. incluye una batería de iones de litio de 12 kWh y 300 V.
- En 2017, John Deere presentó SESAM. La energía eléctrica es suministrada por un conjunto de baterías de iones de litio de 130 kWh / 670 V.
- En 2017, Escorts presentó el tractor eléctrico Farmtrac, con potencia nominal de 19 kW.
- En 2017, Fendt presentó el e-100 Vario. Tractor compacto totalmente eléctrico con 50 kW de potencia. La fuente de energía es una batería de iones de litio de 50 V con una capacidad de alrededor de 100 kWh. La batería se carga con 400 V y hasta 22 kW a través de un enchufe exterior CEE estándar, o mediante una opción de sobrealimentación con voltaje directo.
- En 2018, Rigitrac presentó el prototipo de tractor eléctrico Rigitrac SKE 50. Con cinco motores eléctricos: uno para cada eje, otro para el sistema hidráulico y dos para la toma de fuerza delantera y trasera, respectivamente. Desarrolla una potencia total de 50 kW con una batería de iones de litio de 80 kWh.
- En 2019, John Deere presentó el tractor eléctrico autónomo y tripulado GridCon (basado

en el tractor 6210R) alimentado continuamente por la red. Un tambor fijado al tractor transporta 1000 m de cable con posibilidad de extensión.

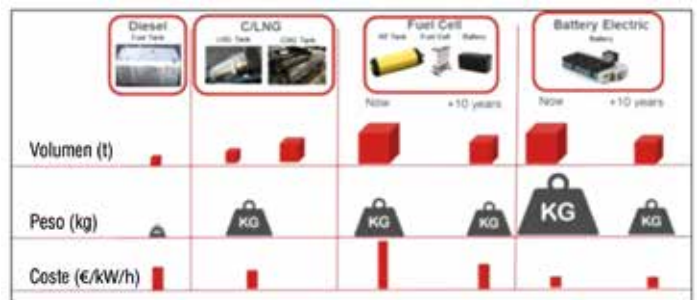
Las arquitecturas utilizadas más prometedoras a corto y medio plazo son las híbridas. Las configuraciones posibles son:

- Híbrida eléctrica en serie: el vehículo funciona con energía eléctrica de la batería a través del motor. El motor diesel se usa para cargar la batería. En esta configuración, el motor puede ser más pequeño y la batería más grande para proporcionar la potencia necesaria al vehículo.
- Eléctrico híbrido en paralelo: el vehículo funciona con motores térmico y eléctrico. Actualmente, esta arquitectura es preferida para equipos pequeños fuera de carretera porque es más simple en construcción.
- Combinación de paralelo y serie: esta combinación puede ofrecer el mejor uso de ambos modos con un problema de coste debido a la batería más grande y al complejo sistema de control para administrar la transmisión.

La energía eléctrica producida puede utilizarse para accionar los elementos auxiliares del vehículo, en funciones automatizadas para aperos y máquinas accionadas, para tracción en remolques, y ser almacenada para recuperarla en determinadas condiciones de trabajo.

El ponente señala que los desafíos relacionados con la electrificación son múltiples:

- seguridad: la corriente no es visible, esto requiere sistemas de monitoreo y diagnóstico;
- volumen, peso y coste de las baterías.
- fiabilidad y rendimiento de componentes eléctricos en un entorno todoterreno (como vibraciones);
- aumento del coste de componentes / productos y recuperación para el usuario final;
- cadena de suministro / valor y soporte técnico aún no capacitados;
- infraestructura alrededor de la máquina eléctrica aún no despejada.



**Volumen, peso y coste de los sistemas de propulsión**  
(Fuente: CNH Industrial).

El paso a la electrificación no significa solo un cambio en la arquitectura del vehículo, sino también en la forma en que se suministra la energía. Almacenar energía eléctrica en un tractor ya es un desafío, si se piensa en la densidad de energía de la batería y lo que se necesita para el trabajo completo del tractor. Cargar la batería en un entorno agrícola es otro gran paso que afecta a una cadena de valor más amplia y a más participantes, además de los fabricantes.

El volumen que ocupa la batería y su peso junto con el coste de la unidad de energía almacenada son factores a tener en cuenta para los nuevos desarrollo, tanto en la actualidad y como en lo que se espera con un plazo de 10 años.

En las conclusiones destaca que:

- A medida que la industria para carretera busca tecnología de vehículos híbridos y eléctricos y educa a la sociedad sobre las tecnologías, la sociedad se acostumbrará y aceptará cada vez más la idea del equipo agrícola híbrido/eléctrico. A pesar de esto, debe quedar claro que el motor diesel y la tecnología convencional (TDF hidráulica y mecánica) jugarán un papel importante aún durante mucho tiempo porque ofrecen una opción robusta, confiable y conocida a un precio competitivo.
- La tecnología está cambiando la forma en que diseñamos los tractores, la forma en que los usamos, pero también cómo estos tractores están interactuando con el resto del mundo. Necesitamos ser rápidos e inteligentes para anticipar el cambio. Necesitamos saber cómo está cambiando la tecnología para comprender nuevos posibles modelos de negocio. Entonces tendremos la oportunidad de influir en el cambio en la dirección correcta para la industria agrícola y el cambio climático, en el momento en que la tecnología satisfaga las necesidades, no antes ni después, justo a tiempo.

## Componentes de accionamiento eléctrico para implementos y remolques

La tercera ponencia en esta Sección estuvo a cargo de Manfred Auer, Stefan Igl, Karl Grad, de ZF Friedrichshafen AG (Alemania), que en la introducción destacan las particularidades de los vehículos agrícolas, que necesitan elevada capacidad de tracción en condiciones de suelos poco adherentes, con limitaciones en la carga de los propulsores para reducir la compactación del suelo.

Según ZF, el mercado requiere un sistema modular para unidades de varios ejes. Realizaron



**Transmisiones CVT de ZF.**  
Izq. Hidromecánica. Der. Electromecánica.

una encuesta de las demandas del mercado y de las aplicaciones para desarrollar aquí la mejor solución dentro de un posible kit técnico. Esto se realizó en combinación con la síntesis y el análisis de varios sistemas de transmisión.

Un sistema modular para diferentes aplicaciones aumentará significativamente el volumen y reducirá los costos del sistema, que son uno de los principales desafíos de la electrificación del sistema de transmisión.

En relación con las motivaciones que guían el desarrollo tecnológico, señalan que con los tamaños de vehículos de hoy en día, se alcanzan cada vez más los límites técnicos, físicos y agronómicos. Un aumento adicional del rendimiento de tracción solo se puede lograr con la participación de implementos. Varios sistemas de eje de transmisión en diseños mecánicos o hidráulicos están disponibles en el mercado hoy. La electrificación del tractor y la toma de fuerza eléctrica (eTDF) ahora ofrecen la opción de un eje motor electrificado o una rueda motriz en el implemento.

Durante los últimos diez años, se han presentado al mercado diferentes soluciones para proporcionar energía eléctrica al implemento. Se han propuesto módulos generadores de toma de fuerza y, debido a su flexibilidad, se consideran como una solución de puente siempre que las unidades de implementos eléctricos sean no muy frecuentes.

Desde la perspectiva del implemento, el sistema de accionamiento de tracción eléctrica debe diseñarse para funcionar con una interfaz de voltaje de CA o CC en el tractor. Para la interfaz de voltaje de CC en el tractor, la unidad de accionamiento de tracción del implemento debe tener un inversor a bordo y, por lo tanto, preferiblemente también la responsabilidad de control recae en el implemento.

Por otra parte, las soluciones de accionamiento de tracción del implemento pueden ser mecánicas, hidrostáticas o eléctricas. Las ventajas de los accionamientos mecánicos están claramente en el área de eficiencias superiores y alta potencia de transmisión (con pocos esfuerzos de cambio en el tractor). Sin embargo, las oportunidades en términos de control y regulación (potencia bajo demanda) y flexibilidad

en la disposición de los variadores son limitadas. Estas últimas son claras fortalezas de los accionamientos hidrostáticos, pero con debilidades en la eficiencia. Con el conocimiento de sus ventajas fundamentales, el accionamiento de tracción del implemento eléctrico parece ser una alternativa interesante, ya que combina las ventajas de los accionamientos mecánicos e hidrostáticos. Ofrece una clara ventaja sobre otros conceptos, como las tomas de fuerza mecánicas a velocidad de avance y los accionamientos hidrostáticos, especialmente en lo que respecta a la capacidad de control en función de los requisitos de potencia. El accionamiento de tracción eléctrica en el implemento y un sistema inteligente de gestión de tracción en el tractor permiten un sistema que es muy flexible en su utilización.

Además de la configuración física del sistema combinado de tracción del tractor/implemento, la tracción en el implemento necesita ser controlada y optimizada con respecto al tractor. Pensando en la combinación del remolque del tractor, la tarea de controlar la transmisión del eje en el remolque puede ser bastante exigente e incluso relevante para la seguridad.

La integración de las unidades de tracción eléctrica de una combinación de tractor/implemento requiere colaboración a través de las fronteras de las empresas. El tractor, el fabricante de implementos y la industria de componentes deben trabajar en estrecha colaboración a partir de la definición de la arquitectura del sistema sobre el diseño, la validación y durante todo el ciclo de vida del producto/sistema. Esto se debe principalmente al hecho de que se solicitan implementos de varios fabricantes para que coincidan con las diferentes marcas y modelos de tractores.

Se pueden identificar dos grupos de implementos para apoyar el rendimiento de tracción del tractor mediante soluciones de accionamiento eléctrico.

- Los implementos preferidos para las unidades de tracción eléctrica son todos los tipos de remolques, casi independientemente del tamaño del tractor que se utiliza para este tipo de aplicaciones.
- Otro grupo objetivo importante de implementos está representado por equipos de labranza primarios y secundarios de tipo pesado con / sin sembradoras o sembradoras combinadas, cuando se engancha al tractor mediante una barra de tiro con poca o incluso ninguna transferencia de carga al tractor.

Los parámetros clave para el desarrollo de soluciones de tracción eléctrica serían:

- Fuerza de tracción requerida.
- Dirección de conducción inversa.
- Carga de la rueda y el eje.
- Radio de rodadura efectivo.
- Velocidad del vehículo y del trabajo
- Espacio de instalación.
- Costes del sistema.

Con la utilización de la simulación con ordenadores ahora es posible buscar sistemáticamente estructuras de conjuntos de engranajes con división de potencia. Además, se utiliza un método de evaluación parcialmente automatizado para comparar una gran cantidad de sistemas en una etapa temprana del desarrollo y análisis de conceptos. La amplia gama de aplicaciones conlleva diferentes requisitos con respecto a las velocidades de trabajo y transporte.



**Transmisión eAutoPowr de los tractores de John Deere Serie 8R con propulsión eléctrica para la cisterna de purín de Joskin.**

Como resumen de la ponencia se señala:

- El uso del peso de los implementos para crear tracción se considera el próximo paso lógico para mejorar el rendimiento de tracción de los tractores.
- Se proponen diferentes soluciones, que se están desarrollando, para proporcionar energía eléctrica por el tractor, lo cual es obligatorio para implementar con éxito las unidades de tracción eléctrica en los implementos.
- Los remolques agrícolas y los equipos pesados de labranza primaria y secundaria son los grupos más favorables de implementos para accionamientos de tracción eléctrica
- Para poder cumplir con una amplia gama de requisitos de aplicación en el mercado, se necesita una cartera flexible y modular de unidades de accionamiento de eje eléctrico y de eje de rueda.
- Los fabricantes de tractores, implementos y componentes deben trabajar juntos estrechamente durante todo el ciclo de vida del producto para aprovechar al máximo el potencial de las soluciones de accionamiento de tracción eléctrica en combinaciones de tractores / implementos.■