

SENSORES DE PERDIDAS DE GRANOS

Los sensores de pérdidas de granos son placas con la capacidad de generar una señal eléctrica proporcional a la cantidad de impactos de los granos sobre los mismos. De este modo cuando los sensores se ubican a la salida de la cosechadora, pueden realizar una estimación indirecta del nivel de pérdidas de granos. En algunos casos están recubiertos por una rejilla para evitar que se acumule material no grano que evite el impacto de los granos sobre el sensor.



Fig. 67 Sensores de pérdidas de granos

En general estos sensores no permiten estimar un valor preciso de pérdidas (Fig. 68), sino que alertan al operador si las pérdidas aumentan o disminuyen.

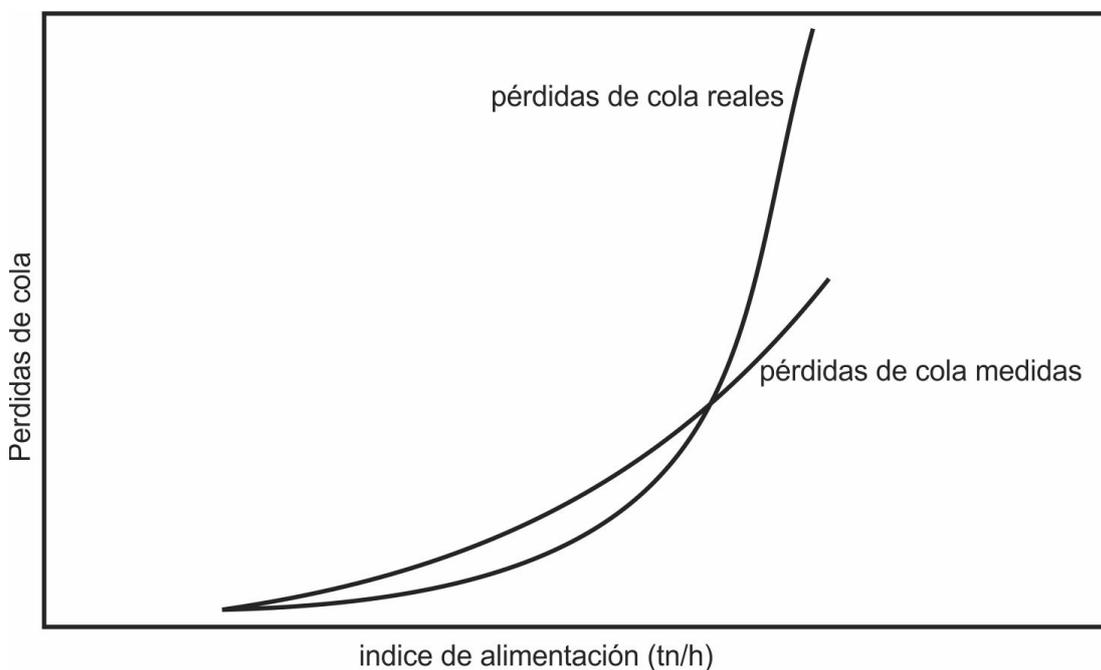


Fig. 68 Variación de las pérdidas de grano en función del índice de alimentación, medido de forma directa y mediante sensores de pérdidas.

Los sensores generalmente se encuentran a la salida del sistema de limpieza, uno a la izquierda y otro a la derecha, y otros dos a la salida de sistema de separación, aunque en el caso de las cosechadoras axiales puede encontrarse uno solo. Por su ubicación solo dan una estimación de las pérdidas por la cola de la cosechadora, que aunque para cultivos como soja, maíz o girasol suelen representar menos de la mitad de

las pérdidas por cosecha., con la información de los sensores se sostienen estas pérdidas en los porcentajes esperados. La información relevada por sensores en los sistemas de separación y limpieza, más el promedio de los mismos, se presenta en una consola en la cabina de la cosechadora.

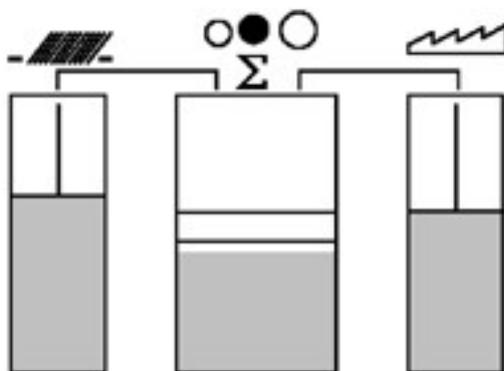


Fig. 69 Presentación de la información relevada por los sensores. A izquierda y derecha: pérdidas de limpieza, pérdidas de separación y en el centro el promedio de ambas.

Ajustes

Al menos una vez al año se debe chequear que todos los sensores funcionen generando pequeños impactos en cada placa con un lápiz, mientras otra persona comprueba que se registre la señal en la cabina. Además, cada vez que se cambia de cultivo cosechado, se debe ingresar el tipo de grano en la consola del monitor.



Fig. 70 Diferentes tamaños de grano generan diferentes intensidades de señal en los sensores, por lo que se debe indicar el tipo de grano a cosechar. Por ejemplo en la figura se selecciona el punto grande para maíz y porotos, el punto mediano para trigo y cebada y el punto pequeño para trébol, alfalfa o colza.

También deberían ser calibrados cuando cambian las condiciones de campo y del cultivo. La calibración se realiza fundamentalmente para diferenciar distintos tipos de grano del material no grano (paja, granza, malezas), Para llevarla a cabo se miden las pérdidas de cola en un sector representativo del lote, realizando los ajustes en la cosechadora para que el nivel de pérdidas medido sea razonable y se ajusta el monitor de pérdidas al nivel de pérdidas medido en el campo.

Un aspecto que debe ser controlado diariamente es que no se acumulen restos de cosecha sobre los sensores, que puedan dificultar los impactos de los granos.

Los monitores de pérdidas suelen tener un ajuste de sensibilidad para suavizar las oscilaciones bruscas en la pantalla y enfocarse en la tendencia del nivel de pérdidas.

Las investigaciones sobre la relación estadística entre la medición de la pérdida de grano en la cosechadora con sensores de pérdida con bandejas recolectoras mostraron que se necesitan al menos cuatro bandejas para llegar a correlaciones estadísticamente más confiables. Se recomienda el uso diario de bandejas recolectoras de residuos para calibrar las lecturas del sensor de la cosechadora (Baumgarten 2020).

CONTROL AUTOMÁTICO DEL ÍNDICE DE ALIMENTACIÓN

El índice de alimentación de una cosechadora depende de:

- El rendimiento del cultivo,
- la velocidad de avance,
- el ancho y altura de corte.

Tradicionalmente la cosechadora se regula para minimizar las pérdidas de grano a un determinado índice de alimentación. Luego, para sostener ese nivel de pérdidas, se cosecha manteniendo el índice de alimentación mediante el ajuste de la velocidad de acuerdo a las fluctuaciones de rendimiento del cultivo en el lote. Los sistemas automáticos de regulación de flujo liberan al operador de la cosechadora de sostener un índice de alimentación ajustando la velocidad a lo largo de la jornada de cosecha, pero además realizan los ajustes en menor tiempo y en situaciones en las que el operador no podría detectar las variaciones de la condición del cultivo. Los fabricantes de cosechadoras han desarrollado sus diferentes sistemas: HarvestSmart (John Deere), Cruise Pilot (Claas), Intellicruise (New Holland), Feed Rate Control (CASE IH) Constant Flow (AGCO).

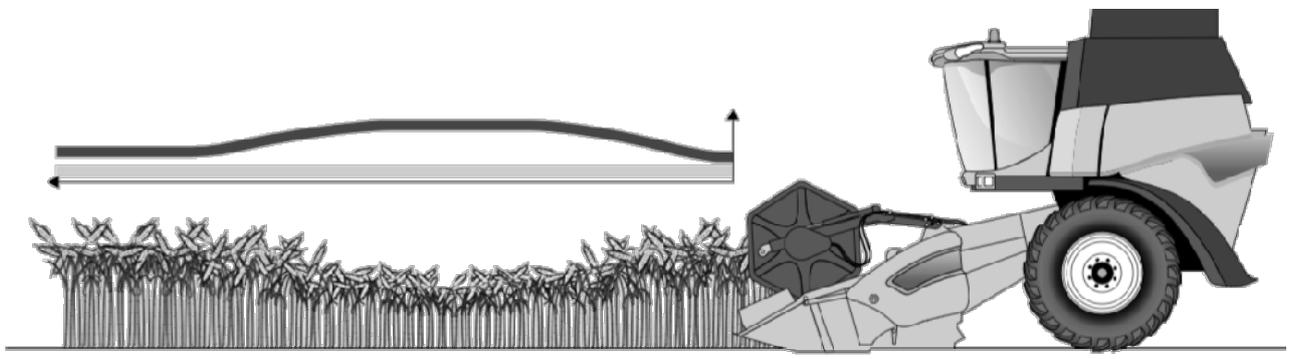


Fig. 71 La línea clara indica el índice de alimentación que se mantiene constante a pesar de las variaciones en el desarrollo del cultivo, debido al ajuste de la velocidad de avance que se ilustra en con la línea oscura

Los sistemas automáticos de regulación del índice de alimentación recurren a distintas fuentes de información para controlar el flujo del cultivo o índice de alimentación,

1. Control de carga del motor y/o sistema de trilla: las variaciones en el índice de alimentación condicionan la potencia demandada por el sistema de trilla al motor, por lo que ajustar la velocidad de avance para mantener un porcentaje de carga del motor es la forma más sencilla y difundida de sostener un índice de alimentación constante. El tiempo que tarda en llegar el cultivo desde que es recolectado en el cabezal hasta el sistema de trilla, provoca un retardo en la respuesta del sistema de control.
2. Sensores de pérdidas de grano: al integrar la información de estos sensores con la carga del motor, permite detectar cuando el índice de alimentación fijado para reducir las pérdidas de granos ya no es el adecuado, generalmente por cambios en las condiciones del cultivo, y de este modo reducir la velocidad hasta que bajen las pérdidas de granos.
3. Sensor de flujo de material en el acarreador: algunas compañías añaden este sensor que mejora la velocidad de respuesta del sistema, ya que detecta las variaciones del índice de alimentación antes de llegar al sistema de trilla.
4. Están en desarrollo sistemas que predicen el volumen del cultivo delante de la cosechadora, integrando la información de cámaras con visión estereoscópica e imágenes satelitales. La

comparación de la estimación de los sensores predictivos con el flujo que registran los sensores internos de la cosechadora, permite que el sistema realice un autoaprendizaje para las condiciones de cada cultivo (Münch, 2019).



Fig. 72 El uso de sensores de flujo en el acarreador permite ajustar el tiempo de respuesta del sistema.

En general estos sistemas de control automático presentan modos de operación alternativos según los objetivos del operador. De este modo se puede seleccionar que la prioridad sea:

1. mantener un reducido nivel de pérdidas de grano
2. trabajar con una determinada carga del motor para maximizar el uso de la cosechadora independientemente de las lecturas de los sensores de pérdidas.

Para operar estos sistemas, además se deben ajustar parámetros operativos en la consola de la cosechadora como, la velocidad máxima admitida (generalmente se fija en unos dos kilómetros por hora por arriba de la velocidad de trabajo habitual), la sensibilidad o velocidad de respuesta, el porcentaje de carga del motor con el que se desea trabajar.

En general los fabricantes diseñan estos sistemas para que el control automático pase a control manual en cuanto se accionan los frenos o la palanca del acelerador. Durante la descarga de grano el sistema sigue operativo pero los ajustes de velocidad para sostener el índice de alimentación se realizan más lentamente. Cuando el sistema trabaja con mucho material no grano puede dificultarse el funcionamiento de los sensores de grano, pudiendo trabajar el regulador de flujo sosteniendo el índice de alimentación sin considerar las lecturas de estos sensores (Deere, 2008).

En un ensayo en el que se comparó los sistemas de control automático de flujo con el control manual realizado por un conductor experimentado, las diferencias en el índice de alimentación y la velocidad de cosechadoras fueron mínimas y no significativas, pero con el sistema automático el operador queda liberado de controlar la velocidad para controlar otras regulaciones (Taylor et al., 2005). De todos modos con el control automático cualquier operador puede lograr el desempeño del más experimentado.

El incremento sostenido del tamaño de las cosechadoras durante décadas, no pareciera sostenible a causa de las dificultades que se encuentran para el desplazamiento por caminos rurales y de compactación de suelos, por lo que es esperable que el incremento en la capacidad de trabajo se sostenga mediante este tipo de tecnologías de automatización (De Baerdemaeker & Saeys, 2013).

SENSORES DE PRESIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA

Dentro del sistema de limpieza se debe lograr una óptima regulación del ventilador. Un caudal de viento insuficiente provocará que se acumule granza sobre la caja de zarandas, obstaculizando el pasaje de los granos a través de la misma, pudiendo terminar perdiéndose fuera de la cosechadora. Además parte de la granza que se acumula en la caja de zarandas llegará a la tolva disminuyendo la limpieza del grano. Por el contrario, un caudal de viento excesivo terminará expulsando parte de los granos fuera de la cosechadora junto con la granza. El caudal de viento óptimo aumenta junto al incrementarse el índice de alimentación, por lo que tradicionalmente se cosecha con un índice de alimentación constante para el que se ajustó el caudal de viento que minimiza las pérdidas de granos.

En caso de variar el índice de alimentación y que el caudal de viento no resultara el adecuado, se producirá un aumento de las pérdidas de grano que va a ser registrado por los sensores de pérdidas del sistema de limpieza, sin diferenciar si este incremento se produce por falta o exceso de caudal de aire (Aesaert et al., 2020). Para detectar estos desajustes antes de que aumenten las pérdidas de granos, se han desarrollado sensores de presión de aire que van colocados arriba y abajo de la caja de zarandas. Cuando el caudal de aire no es suficiente para expulsar toda la granza, el sensor permite detectar un incremento de la presión del aire debajo de las zarandas respecto a registrada arriba de las mismas. Contrariamente, cuando se registra que la diferencia de presión entre la parte superior e inferior de las zarandas tiende a igualarse, indica que el caudal de aire es excesivo y va a terminar expulsando granos fuera de la cosechadora (Craessaerts et al., 2010). De este modo cuando se detecta que las lecturas de presión se apartan del rango óptimo, permite que se realicen los ajustes en el sistema de limpieza antes de que comiencen a aumentar las pérdidas de grano.

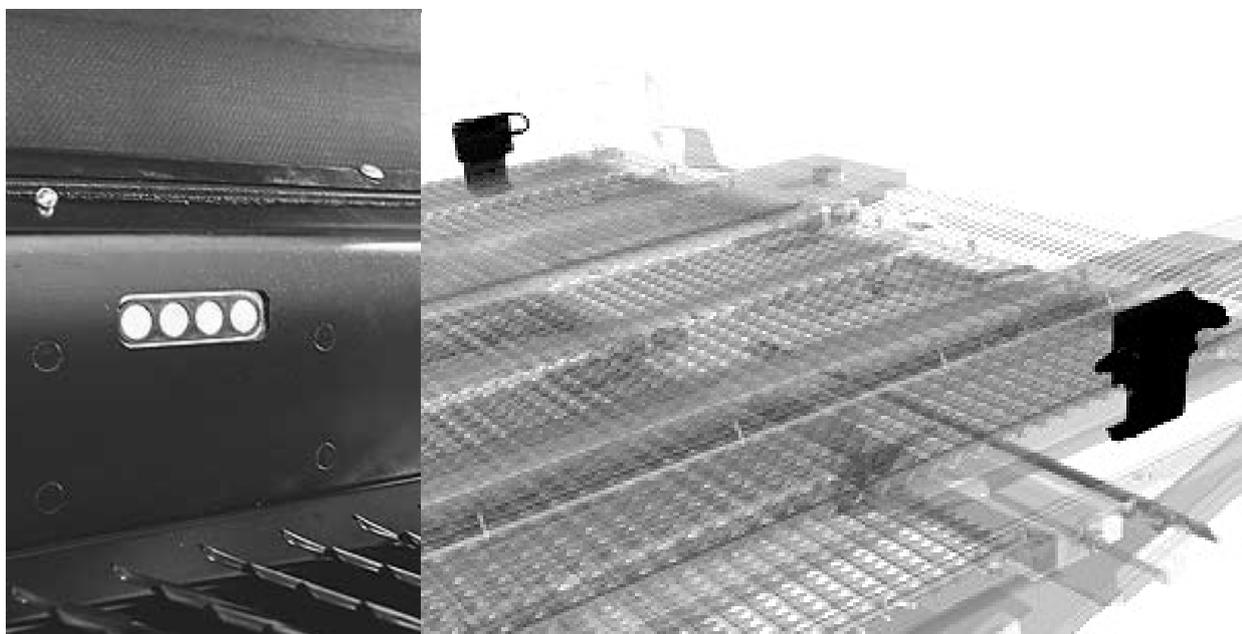


Fig. 73 Los sensores de presión del sistema de limpieza permiten medir con mucha precisión (0.01 mbar) la diferencia de presión de aire entre la parte superior e inferior de la caja de zarandas en tiempo real (Marques Delgado, 2021).

SENSORES DE ACUSTICOS

Se han desarrollado sensores de masa acústicos (MADS), que registran los impactos de los granos y el resto del material que se mueve dentro de las cosechadoras. Cuentan con una superficie de impacto sobre una cámara acústica y un micrófono que transforma las ondas sonoras en señales eléctricas. Diferencian la densidad del material que impacta en el sensor por sus diferentes ondas sonoras, por lo que distingue los flujos de grano del resto del material y del ruido que genera el funcionamiento de la cosechadora (Schøler et al., 2017). Estos sensores no tienen piezas móviles y no requieren recalibración a pesar de los cambios de tamaño y velocidad de partículas registrados (Appareo, 2021). Si bien son utilizados para relevar la distribución del flujo de partículas en fertilizadoras, sembradoras air drill y cosechadoras, en estas últimas van dispuestos en grupos de cuatro sensores alineados y equidistantes (Fig. 74).



Fig. 74 MADS, sensores de masa acústicos desarrollados para cosechadoras (Appareo, 2021).

AGCO introdujo estos sensores en sus cosechadoras “Ideal” (no se comercializan en Argentina hasta la fecha), dispuestos tanto de forma longitudinal como transversal, en los sistemas de trilla, separación y limpieza (Fig. 75), lo que le permite realizar una representación grafica del flujo del cultivo dentro de la cosechadora, tanto transversal como longitudinal (Rademacher, 2020). De este modo se puede por ejemplo, detectar si todo el grano es separado en la parte frontal del cóncavo, indicando que resta capacidad de separación en la parte posterior como para aumentar el índice de alimentación (Wolfgang, 2019.)

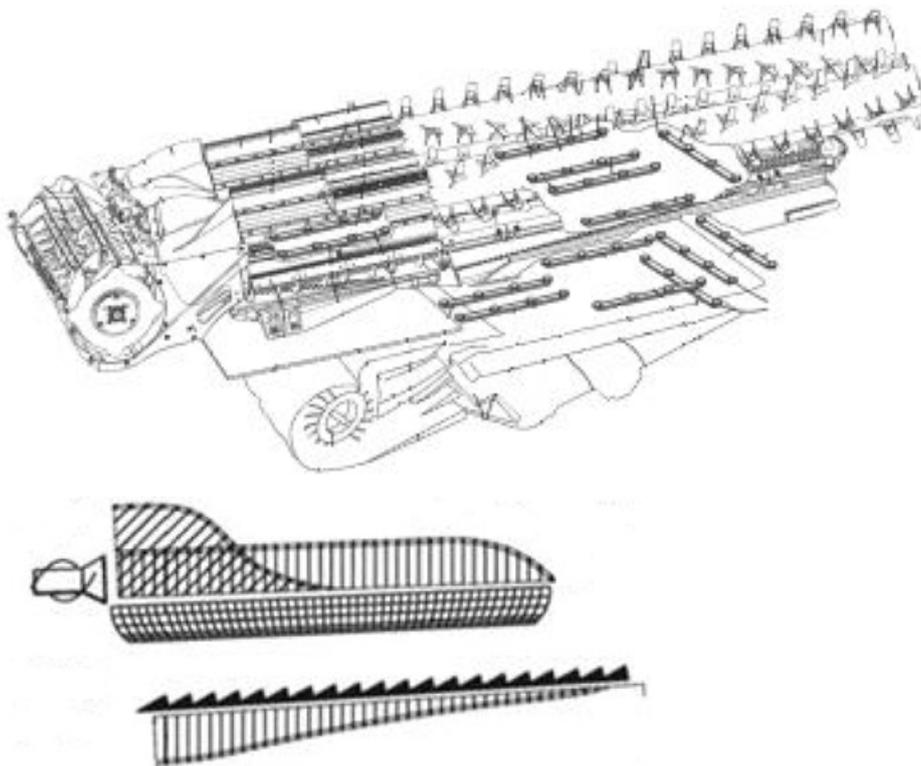


Fig. 75 Disposición de los sensores acústicos en la cosechadora y representación del flujo relevado.

CÁMARAS DIGITALES PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE GRANO EN TIEMPO REAL

Tradicionalmente la calidad del grano cosechado se evalúa tomando una muestra de la tolva de grano limpio de la cosechadora, para comprobar si la presencia de grano con daño mecánico y/o de material no grano, demandan modificar las regulaciones de la cosechadora. El desarrollo de cámaras digitales de evaluación de la calidad de grano permite tener información de forma continua en la cabina para realizar los ajustes cada vez que cambian las condiciones del cultivo (Gajdzinski, 2013).

La firma Claas viene incorporando a las cosechadoras una cámara color que va instalada en el extremo superior de la noria de grano limpio. La cámara no filma el flujo de grano sino que va tomando imágenes cada segundo. Está separada y protegida del flujo de grano por un cristal de zafiro que resiste la abrasión y se va autolimpiando por el mismo material que se desplaza sobre el vidrio. Debido a la velocidad del flujo de grano, el tiempo de exposición para la toma de las imágenes es muy corto y además cuenta con un flash de alta intensidad a causa de la falta de luz dentro de la noria. Para analizar las imágenes, el sistema utiliza una base de datos de diferentes cultivos que le permiten diferenciar los granos sanos de los dañados y el material no grano, por tamaño y color, calculando ambos porcentajes a partir del análisis de varias imágenes. Esta información se visualiza en la consola de la cosechadora como gráficos de barras en donde también se señalan los valores límites para estos parámetros (Fig. 76). También se pueden visualizar las imágenes de los granos diferenciando el grano dañado y el material no grano (Escher & Krause, 2014).

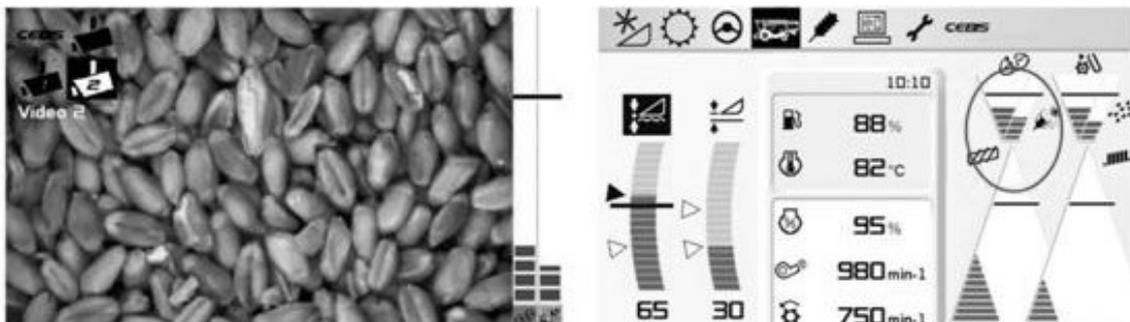


Fig. 76 Presentación de los resultados de la cámara en la consola de cosechadora Claas.

Estos sistemas son confiables en su evaluación de la calidad de grano (Fig. 77), y han sido incorporados por los principales fabricantes de cosechadoras, que en algunos casos instalan una segunda cámara en el sistema de retrilla para analizar la composición del materia que circula por este sistema (John Deere, 2018) o controlan la calidad de grano con una cámara multispectral como CaseIH y New Holland.

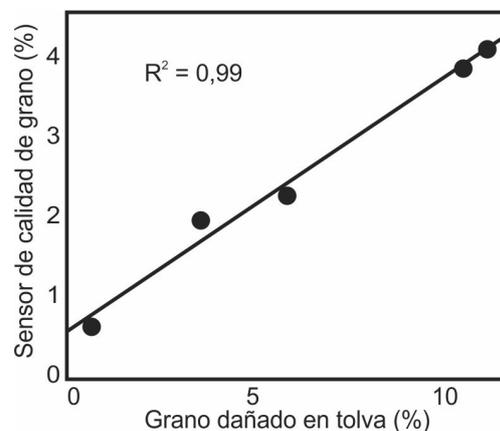
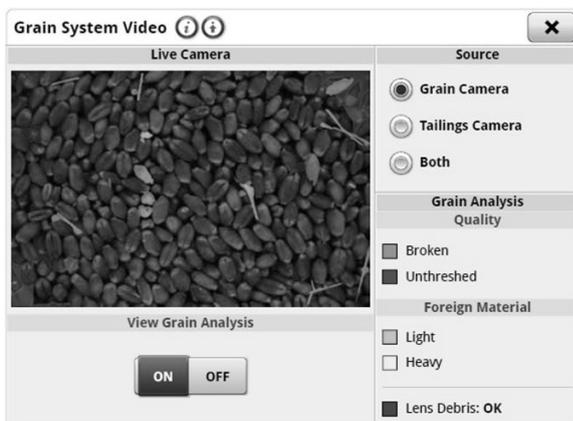


Fig. 77 Consola para visualizar datos de la noria de grano limpio o la retrilla. Regresión entre grano de soja dañado y la evaluación digital del mismo (Hermann, 2018).

AUTOMATIZACIÓN DE LAS REGULACIONES DE LA COSECHADORA

La incorporación de sensores mencionados a las cosechadoras permite relevar de forma continua las condiciones del flujo del cultivo cosechado, que analizado por algoritmos complejos, permite realizar correcciones en los parámetros de regulación para optimizar el funcionamiento del sistema. Los primeros desarrollos estos sistemas funcionaban mediante una estrategia de regulación interactiva, que alertaban al operador de la cosechadora cuando el cambio en las condiciones del cultivo demandaba modificar las regulaciones de la cosechadora, presentándole en la consola de la cabina los ajustes recomendados. Una vez seleccionados por el operador se ejecutaban automáticamente. Más recientemente las cosechadoras vienen incorporando como alternativa a la regulación interactiva, un modo de trabajo completamente automático, que cuando es activado realiza los ajustes sin consultar al operador de la cosechadora, aunque este puede retornar al modo manual en cuanto lo decida. Un operador capacitado puede considerar innecesario un sistema automático ya que tiene la experiencia para a lo largo de una jornada de cosecha, interpretar adecuadamente cuando hacer las regulaciones necesarias, pero los sistemas automáticos permiten realizar los ajustes en una escala de tiempo mucho más precisa (Fig. 78). Se estima que se logra un incremento del 20% de capacidad de trabajo (Mendieta, 2012). Estos sistemas además permiten que operadores con poca experiencia logren optimizar el funcionamiento de la cosechadora desde el primer día. La optimización de la cosecha se logra por disponibilidad de un sistema de control que integra la información de todos los sensores. Por ejemplo, si durante la cosecha el sistema tuviera margen de maniobra en términos de pérdidas de grano y utilización del motor, el índice de alimentación aumentaría automáticamente mediante el incremento de la velocidad de avance y luego de avanzar unos metros corregiría las regulaciones de los sistemas de trilla y limpieza (Wolfgang, 2019).

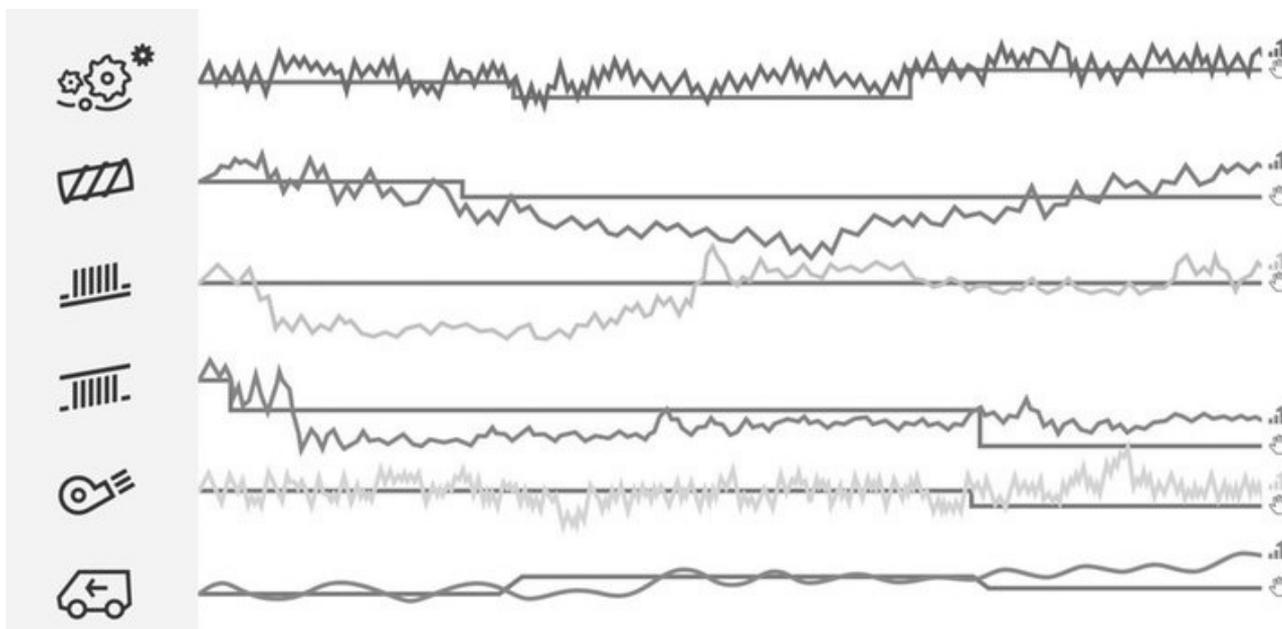


Fig. 78 Variación de distintos parámetros de la cosechadora híbrida con el control manual y automático, a lo largo del día. Los parámetros graficados de arriba abajo son intensidad de trilla, régimen de la separación centrifuga, apertura de zarandón superior y zarandón inferior, régimen del ventilador y velocidad de avance. Aunque con el control manual se van realizando ajustes, con el control automático estos son más frecuentes y pronunciados a causa de que los sensores detectan variaciones en las condiciones del cultivo cosechado que no son apreciables para el operador desde la cabina (Claas, 2020).

En estos sistemas generalmente se debe definir inicialmente cuál es el objetivo prioritario para el que se van a realizar los ajustes de la cosechadora entre tres o cuatro alternativa que no siempre son las mismas entre los distintos fabricantes de cosechadoras.

Tabla: Comparación de prioridades o estrategias de cosecha de los sistemas automáticos de cuatro fabricantes de cosechadoras. El sistema automático realiza los ajustes según la estrategia seleccionada por el operador de la cosechadora.

John Deere ICA2	Claas CEMOS Automatic	AGCO IdealHarvest	New Hollan IntelliSense Case HarvestCommand
Reducción de pérdidas	Capacidad de trilla	Reducción de pérdidas	Reducción de pérdidas*
Daño mecánico al grano	Consumo combustible	Daño mecánico al grano	Índice de alimentación fijo
Limpieza del grano	Calidad de grano	Limpieza del grano	Índice de alimentación max
Calidad de la paja	Balanceado / equilibrado		Calidad de grano**

*Performance

*Calidad de grano refiere a minimizar tanto el daño mecánico como mejorar la limpieza de granza.