

## Kubota M135GX, tecnología japonesa en campo

El 1 de marzo, tras atravesar tierras castellanas cubiertas por una ligera nevada, realizamos en Balisa (Segovia) una prueba de campo con el tractor Kubota M135GX, un tractor de potencia media con una tecnología accesible y fácil de emplear. Mediante la grabación de los parámetros de funcionamiento del motor más destacados (con una frecuencia de muestreo de 10 Hz), se compararon dos estrategias de conducción

manual frente a la implementación del sistema de cambio automático que incorpora este modelo, en dos operaciones de laboreo (chísel y rotocultor) y en una de transporte con remolque (conjunto tractor-remolque: 24.229 kg). En este ensayo también hemos tenido ocasión de registrar los parámetros de funcionamiento del motor durante los procesos de regeneración pasiva y activa del filtro de partículas.



Pilar Barreiro, Adolfo Moya González, Belén Diezma, Miguel Garrido y Constantino Valero.

LPF\_TAGRALIA, UPM, CEI\_Moncloa.

**E**l tractor Kubota M135GX (**foto 1**) junto con el modelo M110GX constituyen la parte comercializada en España de la serie M Gran X de la marca japonesa. Este tractor, cuyas características técnicas se muestran en el **cuadro 1**, considerado como mediano por el fabricante, está equipa-

do con un motor V6108-TI-CRS, de 6.124 cm<sup>3</sup> y 99,3 kW de potencia, con inyección central directa de 4 válvulas por cilindro y sistema de inyección de combustible Common rail, incorporando la tecnología de recirculación de los gases de escape (EGR).

Los modelos Gran X están equipados con la transmisión Intelli-Shift 8 de Kubota: con ocho relaciones de cambio principal bajo carga, tres gamas (alta/media/corta) y modo automático, disponiendo así de 24 velocidades hacia delante y 24 hacia atrás, siendo opcional la combinación de 32 velocidades hacia delante y 32 hacia atrás.

El modo automático es una función que está diseñada de fábrica para reducir hasta en dos escalones la marcha, impidiendo así la caída del régimen del motor por debajo de un límite definido por el operador, y recuperando la marcha de consigna cuando las condiciones de operación lo permitan evitando superar el valor máximo del régimen fijado por el usuario. El modo automático presenta dos modalidades: modo de transporte y modo de campo, según la aplicación. En operaciones de transporte (con remolque, por ejemplo), la subida/bajada automática de marchas (ajustada en fábrica para dos cambios, pero que puede modificarse siguiendo instrucciones específicas del manual del operario), es función del movimiento del pedal de aceleración y de los cambios de régimen (rpm) a partir de la carga; si bien puede modificarse para obtener hasta tres escalones, es decir, dando lugar a un cambio automático entre cuatro marchas. En operaciones de arada, la subida/bajada automática de marcha (también ajustada en fábrica para dos cambios, pero modificable), se realiza según las condiciones de carga del motor y según la posición del triptantal: al elevar el apero o equipo con el triptantal, se produce la bajada automática de marcha para que girar resulte más sencillo.

El tractor ensayado incorpora también el sistema de giro Bi-Speed (**foto 2**), que se puede activar cuando la velocidad de avance es inferior a 10 km/h, la doble tracción está conectada y el neumático delantero interior del

giro sobrepasa los 35°, para conseguir giros cortos y rápidos. El dispositivo incrementa la velocidad de los neumáticos delanteros 1,6 veces respecto a un modelo con doble tracción convencional.

## Aperos empleados

Los ensayos de arada se llevaron a cabo con un chisel Kverneland CLC Evo Wings con siete brazos (**foto 3**), con un ancho de trabajo de 3 m (separación entre brazos de 420 mm) y 870 mm de despeje. El chisel incorpora balistas de protección, cuya resistencia corresponde a un esfuerzo equivalente a 640 kg en la punta. La tarea de nivelado de la superficie es efectuada por un elemento trasero de apoyo, que en este ensayo fue un rodillo jaula.

En la segunda parte de la prueba se empleó un rotocultor de eje horizontal (fresadora) modelo Kverneland GS 121 con seis cuchillas curvadas de 8 mm de espesor por brida, separadas éstas 20 cm y con una distribución helicoidal de las cuchillas a lo largo del rotor. La



Foto 2. Detalle del sistema de giro Bi-Speed.



Foto 3. Chisel empleado durante la prueba.



Foto 4. Fresadora empleada en los ensayos.



Foto 1. Tractor Kubota M135GX al inicio de la prueba.

## CUADRO I. Especificaciones del tractor empleado en los ensayos.

Motor	
Tipo	V6108-TI-CRS
Potencia neta del motor (kW) / Desplazamiento total (cm³)	99,3 / 6.124
Nº cilindros / Aspiración / Nivel de Emisión	4 / Turbo con intercooler / III B
Régimen nominal (r/min)	2.200
Par máximo (Nm) (a 1.200 r/min del motor)	567
Reserva de par (%)	40
Potencia a la tdf (estimación fabricante) (kW/r/min)	84,3 / 2.200
Tratamiento final	Filtro de escape con catalizador de oxidación diésel (DOC) y filtro de partículas diésel (DPF)
Transmisión	
Nº de marchas del cambio principal	8 - Powershift
Cambio de gama	3 velocidades sincronizadas con el botón del embrague
Velocidad máxima (km/h)	39,4 a velocidad máxima del motor
Bloque del diferencial	Electro-hidráulico
Toma de fuerza / régimen del motor (r/min)	540 / 1.994 1.000 / 2.050
Sistema hidráulico	
Caudal de la bomba (l/min)	82,5
Caudal de la bomba de dirección (l/min)	54,5
Enganche tripuntal (Categoría II)	Enganches rápidos en extremos de barras inferiores, estabilizadores telescópicos
Capacidad de elevación en el punto de enganche (kg)	6.100
Nº de distribuidores	2 de serie (4 opcional)
Dimensiones	
Longitud total (mm)	4.400
Altura total (mm)	2.885
Anchura total (ancho de vía mínimo, mm)	2.125
Distancia entre ejes (mm)	2.680
Despeje (mm)	565
Ancho de vía Delantero (STD) (mm) Trasero (STD) (mm)	1.720 a 1.765 1.605 a 1.810
Radio de giro (m)	4,1
Medidas de neumáticos	
Delanteros de serie	420/70R24
Traseros de serie	520/70R38





Foto 5. Carga del remolque para la prueba de transporte.



Foto 6. Muestreo del terreno donde se llevó a cabo la labor con fresadora.

## CUADRO II. Algunos valores medios característicos de los terrenos en los cuales se llevaron a cabo las pruebas de laboreo.

	Terreno 1 (chísel)	Terreno 2 (fresadora)
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	1.700	1.359
Porosidad (%)	43,46%	54,07%
Índice de cono a 8 pulgadas (kg/cm <sup>2</sup> )	4,32	1,38
Desviación típica de la resistencia a la penetración (kg/cm <sup>2</sup> )	2,19	0,93

fresadora o rotocultor (**foto 4**), de 850 kg de peso (2,5 m de ancho de trabajo), requiere una potencia comprendida entre 60 y 120 CV y está indicada para suelos medios y pesados. Dispone de transmisión lateral mediante engranajes. El accionamiento a la toma de fuerza se realizó a 540 rpm en modo económico y estándar.

Para el ensayo de transporte se empleó un remolque de dos ejes cargado con tierra (**foto 5**). El peso del conjunto tractor-remolque, 24.229 kg, se determinó en la báscula de Balisa (Segovia).

## Caracterización del terreno

La caracterización del terreno se llevó a cabo en las dos parcelas en las que se realizaron los ensayos: una para el trabajo con chísel y otra para el trabajo con fresadora.

En la primera se recogieron muestras y se midió la resistencia a la penetración en nueve puntos distribuidos uniformemente en una franja de 100 x 60 m donde se llevarían a cabo los ensayos de arada. En la parcela donde se realizaron los ensayos con la fresadora, de menor extensión, se muestrearon tres puntos (**foto 6**).

Ambos terrenos se encontraban en tempero, presentando una consistencia friable en la que el suelo se desmenuza con facilidad. La

parcela empleada en el ensayo de arada presenta una textura más pesada, aunque sin llegar a suponer un problema para las labores, mientras que la segunda, donde se desarrolló la labor con la fresadora, tiene una textura muy ligera, con abundante arena. Ambos suelos presentaban una porosidad cercana al 50%, algo superior en la segunda parcela. En cuanto a la resistencia a la penetración (**cuadro II**), los datos medios obtenidos para las 8 primeras pulgadas reflejan una mayor compactación en el caso del Terreno 1, que además presenta una mayor variabilidad entre las distintas muestras, especialmente a partir de cuatro pulgadas de profundidad. En todo caso, los valores de resistencia a la penetración obtenidos en cualquier punto y profundidad del terreno se encuentran dentro de los adecuados tanto

## Figura 1

Trayectorias y velocidades en la labor con chísel. La pasada quinta es el trayecto realizado por el operario 2 (dueño de la explotación) en su modo habitual de conducción.





Foto 7. Labor con chisel: conducción por parte de un responsable Kubota. Foto 8. Labor con chisel: conducción del tractor por parte del responsable de la explotación.

para la realización de la labor como para el posterior desarrollo del cultivo.

## Registro de datos

La adquisición de datos, llevada a cabo por los técnicos de Kubota asesorados por el equipo del LPF\_TAGRALIA, se ha centrado en los registros realizados a través de la centralita del motor entre los que destaca: régimen de motor (rpm), combustible inyectado por embolada ( $\mu\text{l}^3$  por cilindro y ciclo), apertura de la válvula de recirculación de los gases de escape o EGR (%), y presión del Common rail (MPa). En esta ocasión pudimos, además, registrar las temperaturas de los gases del escape ( $^{\circ}\text{C}$ ) en tres puntos del filtro de partículas: al inicio (T0), en la zona central (T1) y en la salida (T2), así como la presión diferencial a la entrada y a la salida del filtro (kPa) determinada con un sensor tipo Pitot. Este último dato es indicativo de la colmatación del filtro de partículas, y apunta la necesidad de recurrir a una regeneración pasiva o activa del mismo, en este caso mediante post-inyección de combustible cuando el pistón se encuentra en el punto muerto inferior (PMI). Es importante registrar la cantidad de combustible post-inyectado durante las regeneraciones pasivas ( $\mu\text{l}^3$  por cilindro y ciclo) de manera que no se impute a la labor esta cuantía. La frecuencia de adquisición de datos fue de 10 Hz (cada 100 ms).

Para la georreferenciación de la labor, así como para la determinación de la velocidad real, el equipo de ensayos del LPF\_TAGRALIA instaló dos GPS diferenciales y un ordenador de abordo con alimentación directa desde la batería del tractor. En este caso la frecuencia empleada fue de 1 Hz (cada segundo), por

tanto se dispone de 10 registros de motor por cada registro del GPS diferencial.

El procesado de datos se llevó a cabo mediante rutinas de análisis programadas en Matlab (Mathworks Inc.), entorno asimismo empleado para el análisis estadístico y la visualización de los puntos de funcionamiento del motor. El número de registros de motor disponibles asciende a: 3.148 en la labor de arada con chisel, 2.111 en el trabajo con rotocultor y 13.057 en transporte. El elevado número de registros permite obtener errores típicos asociados a los valores medios inferiores al 1% (desviación típica/raíz del número de datos por muestra).

## Ensayos de laboreo

En los ensayos de laboreo se procedió a verificar el efecto de trabajar en modo de cambio automático respecto al modo manual. En el tractor Kubota M135GX el cambio automático opera permitiendo rebajar hasta en dos valores la marcha para impedir la caída de régimen de motor, cuyos valores mínimo y máximo pueden ser asignados de manera sencilla mediante un pulsador de grabación. En el modo manual en cambio, el operador realiza el cambio (ocho dentro de cada gama) mediante pulsación eléctrica en la palanca de cambio. De este modo, en el cambio automático la

marcha más alta es la seleccionada al inicio (salvo corrección manual posterior), mientras que en el modo manual el operador puede ascender o descender dentro de las marchas de una misma gama. Por otra parte en este ensayo se valoraron las estrategias de conducción de un responsable de la marca (operador 1) (foto 7), respecto al responsable de la explotación (operador 2) (foto 8).

Tanto en el trabajo con chisel como con rotocultor se marcó una besana de 100 metros y se cronometraron manualmente los tiempos de paso del tractor, verificándose posteriormente con los datos del GPS (figura 1).

## Prueba de arada con chisel en modo manual y automático

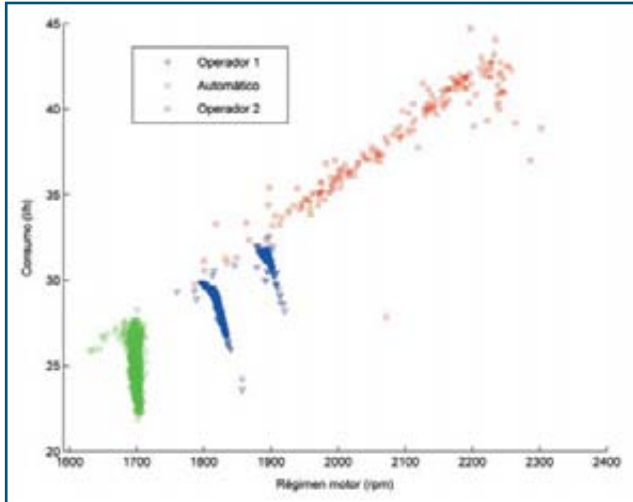
En esta prueba se realizaron tandas de cuatro pasadas consecutivas trabajando a una profundidad de 16 cm. La figura 1 muestra superpuesta en la ortofoto los perfiles de velocidad de las distintas pruebas. De derecha a izquierda en la imagen se aprecian cuatro pasadas del operador de Kubota en modo cambio manual, cuatro pasadas en modo cambio automático y dos pasadas realizadas por el operador 2 (dueño de la explotación) en su modo habitual de trabajo. El cuadro III resume los valores medios de velocidad (km/h), capacidad de trabajo (ha/h), consumo de combustible (horario, l/h y superficial,

CUADRO III. Parámetros relevantes obtenidos durante la labor de chisel.

	Velocidad km/h	Consumo l/h	Capacidad de trabajo St, ha/h	Consumo l/ha	P Com. Rail (bar)
Operador 1	8,67	30,22	2,601	11,62	1.556,4
Automático	8,49	25,69	2,548	10,08	1.465,6
Operador 2	9,69	38,51	2,906	13,25	1.652,2

**Figura 2**

**Régimen de motor vs. consumo horario durante la labor con chisel.**



l/ha), y presión del Common rail (bar) en la labor con chisel. Puede observarse que el consumo superficial mínimo (l/ha) se obtiene con el cambio automático (10,08 l/ha) y el máximo con el operador 2 (13,25 l/ha), de manera que el modo automático supone una reducción de consumo superficial del 23,9% y del 13,2% respecto al operador 2 y el opera-

ciándose una máxima uniformidad de régimen y mínimo consumo en el modo de trabajo automático respecto a la conducción del operador 1 y sobre todo respecto al operador 2, que trabaja sistemáticamente con el motor sobrerrevolucionado.

A modo de resumen de la labor con chisel (**figura 3**), en modo automático respecto

al manual el tractor tiende a trabajar a menos régimen y menos presión de inyección con una apertura de la válvula de recirculación cercana al 60%, mientras que cuando el motor se ve sobrecargado ha de reducir drásticamente la recirculación.

El **cuadro IV** resume el análisis de varianza de los parámetros más destacados en la labor con chisel de acuerdo con los factores: estrategia de conducción o control, tipo de trayecto (ascendente o descendente), y la interacción entre ambos, indicando los valores de la F de Fisher y el nivel de significación. Mayores valores de la F de Fisher indican mayor influencia del factor en el parámetro estudiado.

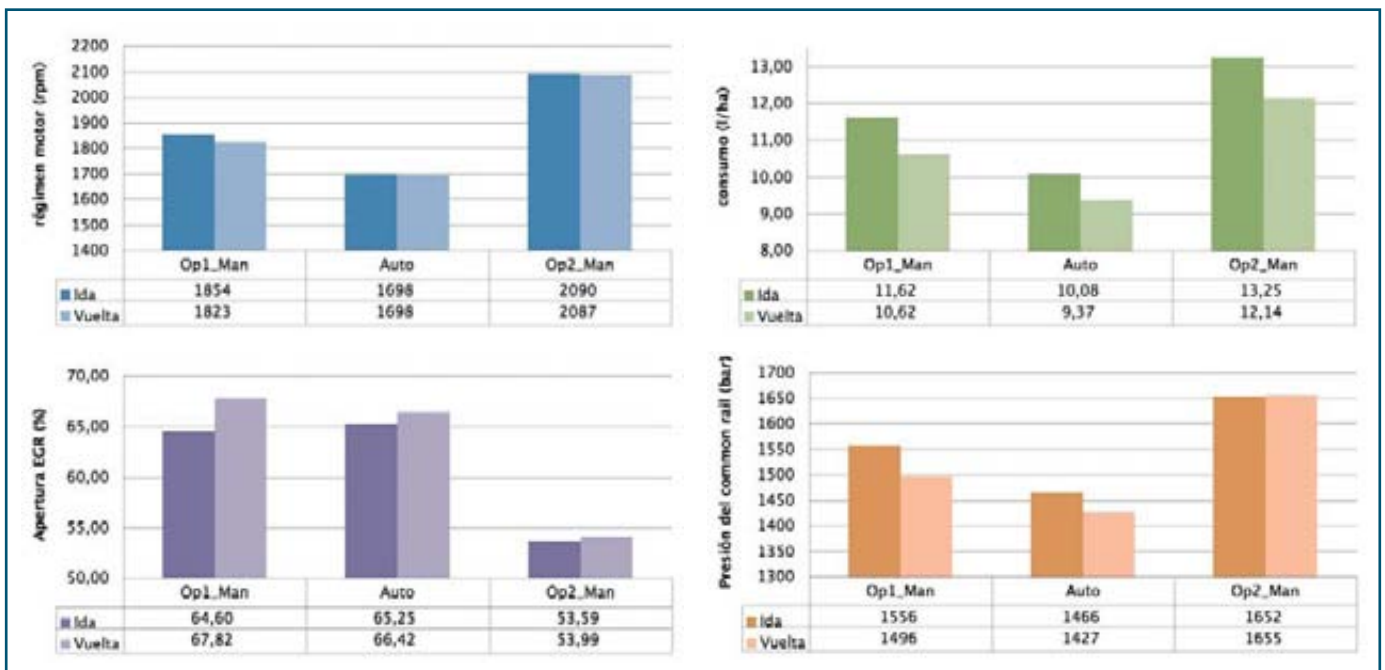
**Laboreo secundario con rotocultor en modo manual y automático**

En el trabajo con rotocultor (**foto 9**), a una profundidad aproximada de 10 cm sobre terreno alzado previamente, se compararon tandas de dos pasadas consecutivas con cambio automático respecto al cambio manual cuando se trabaja con la tdf a 540 rpm. La textura arenosa y el buen tempero favorecieron la penetración del rotocultor de manera que el batido de la tierra fue intenso y la demanda de potencia elevada.

La **figura 4** muestra los perfiles de veloci-

**Figura 3**

**Resumen de algunos parámetros de funcionamiento del motor en los distintos modos de trabajo durante la labor de chisel.**





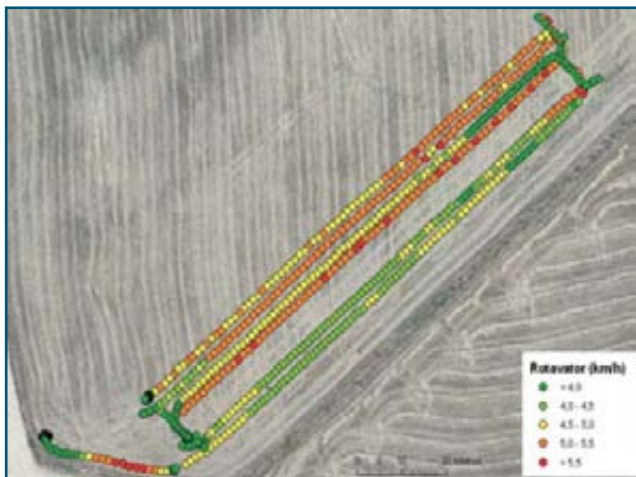
**CUADRO IV. Análisis de varianza que muestra las relaciones existentes entre los parámetros de funcionamiento de motor y los factores estrategia de conducción y trayecto durante la labor con chisel.**

	Régimen	Consumo	Apertura EGR	P. Common Rail
Control	13.467,5 **	11.684,3 **	321,7 *	5.284,5 **
Trayecto	33,5 **	362,6 **	20,8 **	376,1 **
Interacción	71,5 **	60,9 **	10,7 **	115,6 **

\* 5% de nivel de significación. \*\* 1% de nivel de significación.

**Figura 4**

**Trayectorias y velocidades en la labor con fresadora. Las pasadas más lentas se realizaron en modo tdf económico.**



dad en el trabajo con rotocultor entre los que destaca la menor velocidad de avance en el modo tdf Eco. En una de las pasadas se aprecia una gran variación de velocidad debido a la presencia de unas profundas rodadas al final de la besana.

El **cuadro V** resume los valores medios de velocidad (km/h), capacidad de trabajo (ha/h), consumo de combustible (horario, l/h y superficial, l/ha) y presión del Common rail (bar) en la labor



Foto 9. Labor con fresadora.

**Rendimientos elevados y calidad de trabajo garantizados.**



1 LSB 1270: Rotor con tecnología intake. Sistema de alimentación con pre-cámara- Power Density. Accionamiento robusto. Sistema de atado fiable. 2 VB y VBP: Progressive Density. Pacas perfectas de principio a fin. Rotor con tecnología intake. Gran capacidad de alimentación y 1 único accionamiento con o sin cuchillas. 3 SW 4004: Posibilidad de encintado de cualquier paca cúbica y redonda. Intelliwrap + Encintado 3D. 1ª Encintadora del mercado ISOBUS. Compacta.



Rotoempacadoras de cámara fija o variable, empacadoras de pacas cuadradas, encintadoras, combinación de empacadora-encintadora, todas con tecnología exclusiva que les otorga rendimientos superiores en el terreno. KUHN, la mejor opción para:

- Producir pacas de calidad excepcional cualquiera que sea el tipo de forraje.
- Fiabilidad inigualable con rendimientos elevados.

[www.kuhn.es](http://www.kuhn.es)



cultivos | ganadería | paisajes

be strong, be **KUHN**

## CUADRO V. Algunos parámetros de funcionamiento durante la labor con fresadora.

	Velocidad	Consumo	St	Consumo	P Com. Rail	EGR
	km/h	l/h	ha/h	l/ha	(bar)	%
Op1_TDF_Eco	4,48	18,5	1,120	16,5	1.446,3	57,0
Auto_TDF_Std	5,35	19,5	1,337	14,6	1.308,9	55,3
Op1_TDF Std	5,20	19,3	1,300	14,8	1.311,7	57,0

## CUADRO VI. Análisis de varianza que muestra las relaciones existentes entre los parámetros de funcionamiento de motor y los factores 'control' y 'trayecto' durante la labor con fresadora.

	Régimen		Consumo		Apertura EGR		P. Common Rail	
Control	4.634,2	**	6,09	**	4	*	385,5	**
Trayecto	18,7	**	0,24	ns	2,21	ns	13	**
Interacción	160,9	**	6,95	**	12,81	**	8,5	**

con rotocultor. En este caso la estrategia de conducción no repercute significativamente en los valores medios dado que los consumos superficiales son muy similares.

La **figura 5** sin embargo pone de manifiesto las diferencias instantáneas de funcionamiento que los valores medios no han podido plasmar. En ella observamos que en modo de conducción automática el régimen del motor y por tanto de la toma de fuerza permanece mucho más homogéneo en torno a 1.600 rpm, aspecto fundamental para la calidad de la labor de los aperos accionados. En el modo manual con la tdf estándar aparecen dos rangos de régimen claramente di-

ferenciados, uno en torno a 1.450 rpm y otro en torno a 1.550 rpm, ninguno de los cuales se corresponde exactamente con las 540 rpm de la tdf. En general, el mantenimiento del régimen se hace a costa de un incremento de la inyección y de ahí el aumento del consumo horario cuando aumenta la demanda de potencia debido a variaciones en las condiciones del suelo.

El **cuadro VI** resume el análisis de varianza de los parámetros más destacados en la labor con fresadora de acuerdo con los factores: estrategia de conducción o control, tipo de trayecto (ascendente o descendente) y la interacción entre ambos, indicando los valo-

res de la F de Fishery y el nivel de significación. La significación refiere a las grandes diferencias observadas entre la conducción con la tdf en modo Eco respecto a la tdf estándar como se ha verificado en los valores medios del **cuadro V**.

La **figura 6** compara en el trabajo con rotocultor el régimen del motor y el valor de apertura de la válvula EGR. En general el nivel de recirculación aumenta (del 60 al 70%) con el aumento del régimen salvo cuando sobrecargamos el motor, en el que puede caer drásticamente por debajo del 20%.

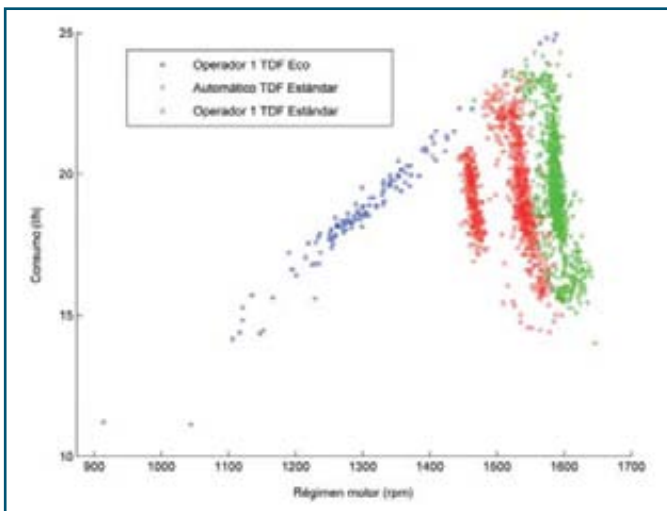
## Ensayo de transporte

La **figura 7** muestra los perfiles de velocidad en los ensayos de transporte que se llevaron a cabo en un trayecto con variaciones de pendiente (**fotos 10, 11 y 12**).

El **cuadro VII** resume los valores medios de transporte con remolque (24.229 kg) tanto en modo de cambio automático como en modo manual. Destaca la reducción de consumo horario (21,17 l/h a 18,71 l/h), que no se vio refrendada por kilómetro recorrido dado que la velocidad de avance fue más homogénea pero menor. Esto es debido a que la marcha seleccionada inicialmente para el modo automático era corta y hubiera sido preferible, teniendo en cuenta la estrategia de cambio siempre a la baja, haber comenzado en una marcha superior. De todas formas dicha marcha más alta se puede modificar

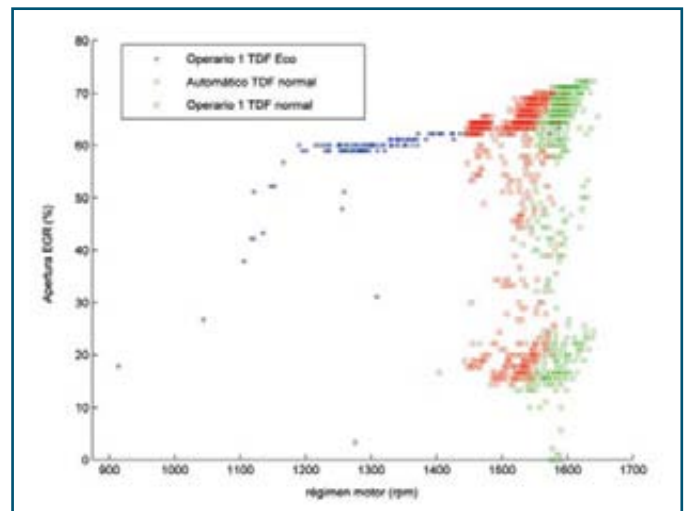
**Figura 5**

**Régimen de motor vs. consumo horario durante la labor con fresadora.**



**Figura 6**

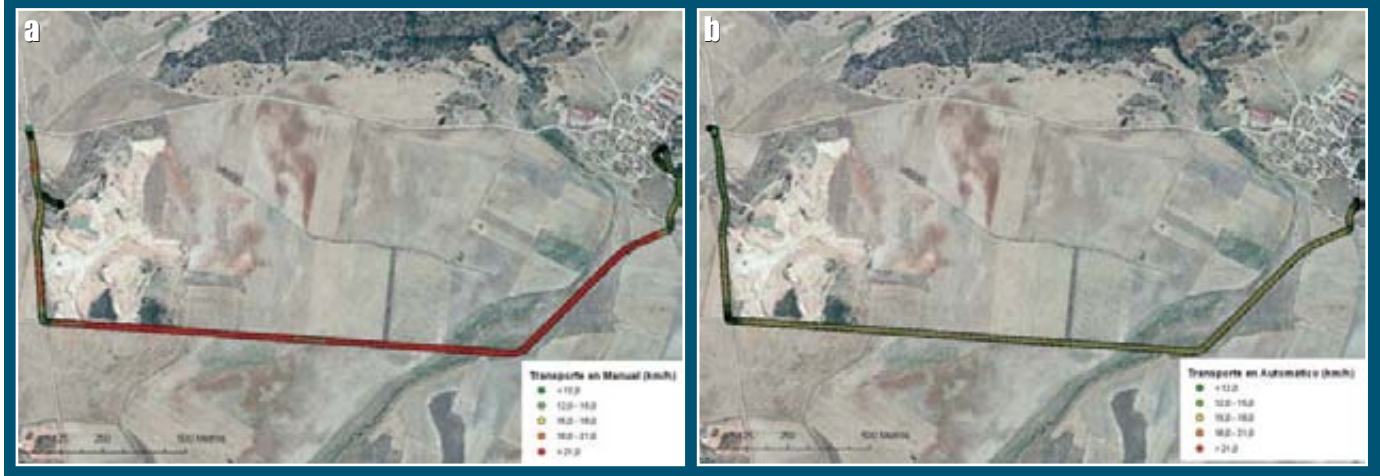
**Régimen del motor vs. apertura EGR durante la labor con fresadora.**





**Figura 7**

**Traectorias y velocidad de avance en las pruebas de transporte: manual (a) y automático (b).**



manualmente en cualquier momento.

En este caso observamos además que durante el transporte en modo automático se produjo la regeneración pasiva del filtro de partículas, aspecto que queda constatado al comparar las temperaturas medias a lo largo del filtro (**cuadro VIII**) que aumentaron (de 356,9 °C a 360,6°C) en el caso de la conducción automática debido a la regeneración del filtro, disminuyendo (de 353,9 °C a 324,1°C) en el caso de la conducción manual donde no se produjo dicha regeneración. El **cuadro VIII** indica además el valor medio de consumo debido a la regeneración y su duración en minutos siendo el trayecto total de 17 minutos.

Se entiende por regeneración pasiva aquella que se realiza aprovechando los periodos en los que la temperatura de los gases de escape permite realizar una combustión de partículas no metálicas sedimentadas en el filtro o DPF, para lo cual se realiza una post-inyección de combustible cuando el pistón está

**Fotos 10 (arriba, izda.), 11 (arriba, dcha.) y 12 (abajo). Desarrollo de la prueba de transporte en camino rural con variaciones de pendiente.**

en el punto muerto inferior. Cuando se trabaja con el modo de regeneración automático este proceso tiene lugar siempre que se dan las condiciones apropiadas y es una recomendación del fabricante que se trabaje preferentemente en este modo, dado que alarga la vida útil del filtro de partículas.

La acumulación de partículas en los filtros será tanto mayor cuanto menor sea la temperatura de combustión en el interior del motor y esto tendrá lugar cuando la estrategia de conducción sea inadecuada. La recirculación de gases de escape, empleada para reducir las emisiones de NOx, propicia la formación de partículas que van acumulándose en el filtro y que necesitan de un incremento de temperatura para ser destruidas. De este modo, la



operación constante del motor a muy bajas revoluciones incrementará la necesidad de regeneración del filtro de partículas.

## Regeneración activa de los filtros de partículas

Cuando se verifica una acumulación excesiva de partículas en el filtro, debido a que no se haya trabajado en modo regeneración pasi-



### CUADRO VII. Resumen de parámetros registrados durante la prueba de transporte.

	Distancia (m)	Velocidad GPS (km/h)	Consumo (l/h)	CV (%)	Consumo (l/km)	Régimen (rpm)	Apertura EGR (%)
Manual	5.662	20,9	21,17	35,6	1,01	1.710	57,69
Automático	5.423	16,3	18,71	20,1	1,15	1.738	46,88

### CUADRO VIII. Temperaturas en el filtro de partículas y cantidad de combustible empleada para la regeneración pasiva del mismo realizada durante la prueba de transporte en modo automático.

	T0	T1	T2	Post_iny (l/h)	Duración (min)
Manual	353,9	340,4	324,1	0	0
Automático	356,9	382,5	360,6	2,1	4,27

va automático y la estrategia de conducción sea sistemáticamente inadecuada, el tractor activa distintos niveles de alarma que pasan de ser acústico e intermitente a acústico en continuo para finalmente limitar la potencia disponible incluso al 50% del total, hasta que se realice la regeneración.

La regeneración activa la puede realizar el usuario (como regeneración de parking) siempre que no se haya llegado a un nivel muy alto de PM (en torno a 10.000 ppm) que es cuando es necesario trasladar el tractor a un punto de estacionamiento y ha de ser realizada por el servicio técnico. Lo normal es que este proceso no sea habitual (cada 1.000 h) pero es muy dependiente de las estrategias de conducción empleadas. Se denomina regeneración activa

pues hay que invertir energía para elevar artificialmente la temperatura de los gases de escape a la entrada del filtro hasta 300°C, instante en el que puede comenzar la post-inyección.

Las **figuras 8 y 9** muestran dos procesos de regeneración activa iniciados manualmente: uno en campo y otro en las instalaciones de Kubota en Madrid. En ambos casos se aprecia el perfil de variación de la temperatura en el filtro debido a la post-inyección, así como la disminución de las partículas sedimentadas en el filtro debido al proceso de combustión. Es especialmente notoria la oscilación de temperatura en la zona central del filtro que coincide con los pulsos de post-inyección (sólo grabados en la segunda regeneración) y que indican

que en esos instantes se están quemando las partículas no metálicas en su interior. Destaca asimismo que a medida que se queman las partículas en el interior del filtro, el valor de presión diferencial en el sensor Pitot también disminuye. La duración de la regeneración es variable y es controlada internamente por el sistema. Parece claro que el punto final se determina bien por tiempo (nunca se permite una duración excesiva) o bien cuando el sensor alcanza un valor asintótico en nuestro caso cercano a 0,6 KPa en la primera regeneración (no se ha graficado para la segunda).

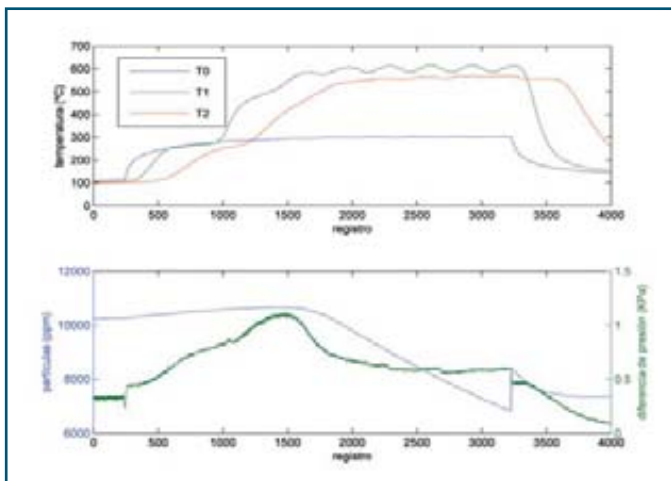
### Análisis termográfico

Una vez más empleamos durante este ensayo una cámara termográfica para desvelar algunos hechos de interés no revelados mediante imágenes visibles. La imagen térmica de los neumáticos del remolque después de la prueba de transporte (**foto 13**) muestra claramente una temperatura en los flancos superior a la de la parte central de la banda de rodadura. Este hecho indica que los flancos han sido sometidos a mayores esfuerzos de deformación debido a la elevada carga del remolque. Por lo tanto, para realizar la prueba de transporte en condiciones idóneas hubiera sido necesario ajustar al alza la presión de inflado de los neumáticos del remolque.

Otro de los parámetros observables mediante imagen térmica es la temperatura del dissipador de calor que cubre la válvula de recircu-

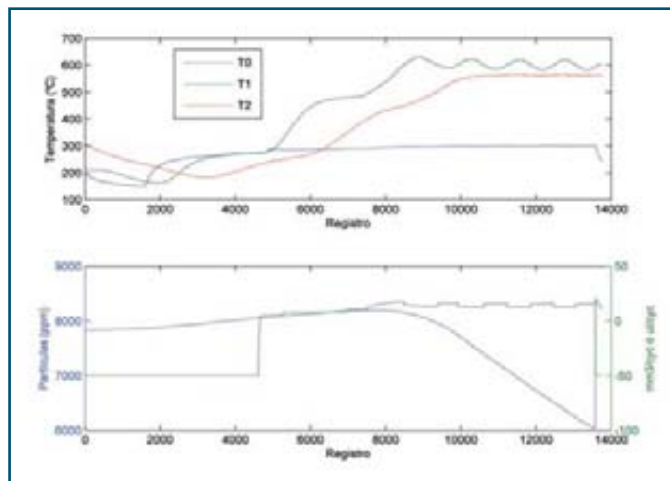
**Figura 8**

**Evolución de temperaturas y niveles de partículas durante el proceso de regeneración activa del filtro de partículas en campo.**



**Figura 9**

**Evolución de temperaturas y niveles de partículas durante el proceso de regeneración activa del filtro de partículas en las instalaciones de Kubota.**





De izquierda a derecha. Foto 13. Imagen térmica de los neumáticos del remolque durante la prueba de transporte. Foto 14. Disipador sobre la válvula EGR. Foto 15. Disipador válvula EGR durante la prueba de laboreo con rotocultor. Foto 16. Disipador válvula EGR durante la prueba de transporte.

lación de los gases de escape (EGR), elemento que puede apreciarse en la **foto 14** y que presenta unas perforaciones con la leyenda “HOT”. En términos generales, cuanto mayor es la carga a la que trabaja el motor, mayor es la recirculación de los gases de escape que calentarán la válvula y en último término el disipador. Las fotos térmicas (**fotos 15 y 16**) corresponden a este disipador durante las pruebas de labor con rotocultor y de transporte, respectivamente. Ambas imágenes han sido escaladas dentro del mismo rango de temperaturas para facilitar su comparación y en ellas se puede apreciar cómo las temperaturas, tanto del disipador como de los elementos de la válvula de recirculación de los gases de escape situados bajo éste y perceptibles a través de las ranuras, son superiores en el caso de la prueba de transporte respecto a la labor con rotocultor. Las temperaturas medias de las áreas recuadradas (A1 correspondiente al disipador y A2 correspondiente al área donde se encuentran las ranuras con la inscripción “HOT”) son de 44,0 y 64,3°C, respectivamente, en el caso de la prueba de labor con el rotocultor; y de 46,3 y 72,2°C, respectivamente, en el caso de la prueba de transporte.

## Conclusiones

En este ensayo hemos verificado una vez más el interés de trabajar en modo de cambio automático respecto al manual con reducciones de consumo de entre el 23,9% y el 13,2% en el trabajo con chisel (en función de la estrategia de conducción). Cabe destacar además que estas diferencias de consumo se magnifican cuando la estrategia de conducción es inadecuada y, en este sentido, hemos comprobado que algunos usuarios mantienen la tendencia a trabajar a regímenes excesivos de motor, superiores incluso a 2.000 rpm.

El sistema de recirculación de gases de escape es un sistema dinámico cuyos valores de apertura de la válvula EGR se modifican instantáneamente a la demanda para mejorar la combustión y reducir las emisiones, de manera que cuando el tractor trabaja en labores exigentes es frecuente encontrar niveles de apertura de la válvula entre el 60 y 70%. No conviene trabajar con el motor al 100% de carga puesto que en ese caso los sistemas de control del motor tienden a reducir la recirculación incluso hasta el 20% para no recortar la potencia, reduciendo el margen de actuación del sistema en las emisiones de NOx.

En el trabajo con aperos accionados a la toma de fuerza la mejora derivada del trabajo en cambio automático no es tanto en el consumo como en la calidad de la labor puesto que el régimen se mantiene muy uniforme al disponer de unos límites inferior y superior del régimen de motor entre los que se mantendrá a costa de reducir la velocidad de avance.

Resulta curioso el procedimiento de cambio automático que sólo modifica la marcha a la baja ante caídas del régimen del motor y no viceversa, aunque dicha marcha más alta se puede modificar en cualquier momento pulsando un solo botón de shift up/down. Por eso es conveniente seleccionar una marcha de trabajo un punto superior al valor deseado, aspecto que se ha puesto de manifiesto en la prueba de transporte. Ésta parece ser una curiosidad japonesa que no perjudica el funcionamiento pero que hay que tener en cuenta a la hora de elegir la marcha inicial. Este tractor no dispone de una opción de velocidad de cruce de manera que todos los controles se basan en el control del régimen y no del avance.

Es muy importante destacar la existencia de un sistema de regeneración pasiva del filtro de partículas que emplea la post-inyección de combustible cuando la temperatura de los ga-

ses de escape a la entrada del filtro alcanza los 300 °C. Para ello es imprescindible que se encuentre en modo automático el pulsador de regeneración. Claramente cuanto mejor sea la estrategia de conducción menor será la frecuencia de regeneración pasiva, y hay que tener en cuenta que es necesario un nivel de consumo para realizarlo. Nosotros hemos verificado una regeneración pasiva durante el transporte con un consumo medio de de 2,1 l/h durante 4,7 minutos.

Los sistemas de regeneración activa del filtro garantizan que la vida útil de los mismos sea prolongada puesto que puede realizarse el mantenimiento sin necesidad de recurrir al cambio del componente. Esta labor puede ser realizada por el usuario a nivel de parking o bien por los técnicos de Kubota en función del nivel alcanzado de PM. Uno de los aspectos clave con tecnología de recirculación de gases de escape y filtro de partículas diésel es que no resulta conveniente mantener el motor al ralentí por los problemas derivados de acumulación de partículas en el filtro. La estrategia de conducción más acertada para alcanzar el mínimo consumo de combustible y alargar la vida útil de los componentes del motor es la gestión automática tanto del cambio como del sistema de regeneración pasiva del filtro. Esto garantiza la operación del motor dentro de un rango eficiente y la aplicación de procesos de regeneración cuando esto resulte necesario.

En general se trata de un tractor con una tecnología “amigable”, muy fácil de emplear; en apenas unos minutos se familiariza uno tanto con el sistema de control de régimen de motor, como con la selección de cambio automático, o el empleo del sistema de giro Bi-Speed que facilita las labores de giro en cabecera para hacer más cómodo el trabajo y mejorar los rendimientos efectivos del tractor en campo. ●