

Evaluación de la precisión de un sistema de ayuda al guiado de tractores por GPS

Juan Agüera Vega.

Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Córdoba.

Manuel Pérez Ruiz.

Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos.
Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Sevilla.

Jacob Carballido del Rey.

Departamento de Investigación de la empresa Soluciones Agrícolas de Precisión S.L.

En trabajos con maquinaria agrícola nos encontramos con el problema de no saber exactamente qué precisión podemos obtener cuando utilizamos las distintas señales de corrección del GPS. En este trabajo se establece una clasificación de señales según su precisión para que los empresarios agrícolas las usen como herramientas eficaces para la selección de una u otra señal de corrección.

Una herramienta fundamental dentro del campo de la agricultura de precisión es el sistema GPS, bien para localizar la maquinaria en campo, bien para poder realizar trabajos de toma de datos, aplicación a dosis variable o guiado de tractores. Sin embargo, la tecnología GPS utilizada de forma aislada no cumple todos los requisitos que serían necesarios para realizar muchas operaciones; las precisiones que pueden obtenerse oscilan en torno a los 10 m, restringiendo así su uso.

Utilizando un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS), la precisión aumenta hasta niveles submétricos. El sistema DGPS se basa en el uso de dos receptores situados a poca distancia que reciben la misma información GPS; por lo tanto, si uno permanece de forma estacionaria en un punto de coordenadas conocidas puede calcular los errores que se están cometiendo de forma instantánea y enviarlos a otro cercano para que los utilice y mejore su precisión.

Los sistemas DGPS están compuestos por los receptores GPS convencionales y una señal de corrección que puede provenir de distintas fuentes. En España encontramos disponibles un amplio número de estas señales como son OmniStar, Egnos, Euref-IP o Rasant.

Sistemas de guiado

En los últimos sesenta años los sistemas de guiado han sido objeto de múltiples investigaciones por parte de la comunidad científica.

El principal objetivo perseguido es el de reducir la atención del operario para realizar la conducción, de forma que pueda centrarse en la tarea que está realizando. Aunque se han mejorado las características y confort de la cabina, con el tiempo, también se han ido incrementando la velocidad y anchura de trabajo y la potencia de la maquinaria. Por lo tanto, sigue siendo interesante desarrollar sistemas de guiado que realicen esta actividad con la precisión de un conductor experimentado, pero con la ventaja de no fatigarse después de horas de trabajo.

Dentro de los sistemas que utilizan la tecnología DGPS, encontramos dos grandes grupos:

- Sistemas de guiado automático de vehículos, que reducen al mínimo la intervención del operario en el control de la dirección, pero que tienen el inconveniente de apoyarse en otros sistemas complementarios para aumentar la precisión, con el consecuente incremento del coste.
- Sistemas de ayuda al guiado, formados generalmente por la combinación de receptores DGPS de bajo coste y sistemas de barra de luces.



Foto 1.
Sistema de ayuda al guiado.

Sistemas de ayuda al guiado

Los sistemas de ayuda al guiado son recomendados para operaciones en las que no se necesita mucha precisión, de 0,5 a 1 m, ya que pueden obtenerse muy buenos resultados con un coste notoriamente menor.

Estos dispositivos, aunque utilizan la misma tecnología GPS que los sistemas de guiado automático, tienen una concepción totalmente diferente. No están diseñados para interactuar con la máquina, sino que se comunican con el conductor. De esta forma, se sigue incurriendo en la problemática derivada de la atención que el conductor debe tomar sobre el control de la dirección, desviando su concentración de la actividad que está llevando a cabo; no obstante, se obtienen otras ventajas relacionadas con la labor que se realiza (**foto 1**).

Los sistemas de ayuda al guiado presentan una serie de ventajas como son:

- Disminuir la atención del operario sobre la conducción, pudiendo centrarse en la operación que está realizando.
- Permitir la conducción en situaciones atmosféricas desfavorables, baja iluminación, polvo o niebla.
- Minimizar los solapes y huecos entre pasadas, reduciendo el gasto en inputs utilizados, tiempo de trabajo, combustibles, etc.
- Reducir el empleo de mano de obra, ya que no se requiere personal en los márgenes de las parcelas para marcar las pasadas.
- Al reducir los inputs utilizados, bien combustibles o agroquímicos, obtenemos un consecuente beneficio ambiental.

Estudios realizados por Nieminen y Sampo (1993) y Buick y Lange (1998) demuestran que un operador que use un sistema de aplicación de herbicida convencional puede incurrir en solapes del 8% de la longitud de la barra; sin embargo, si utiliza sistemas de ayuda al guiado, éste se ve disminuido hasta el 2 ó 3%, y por debajo del 1% usando sistemas de guiado automático.

Estudios más recientes concluyen que con un sistema de guiado automático se mejora la calidad de siembra y se ahorran recursos, al disminuir los solapes en valores próximos al 6% (Pérez, 2007).

Señales de corrección

OmniStar

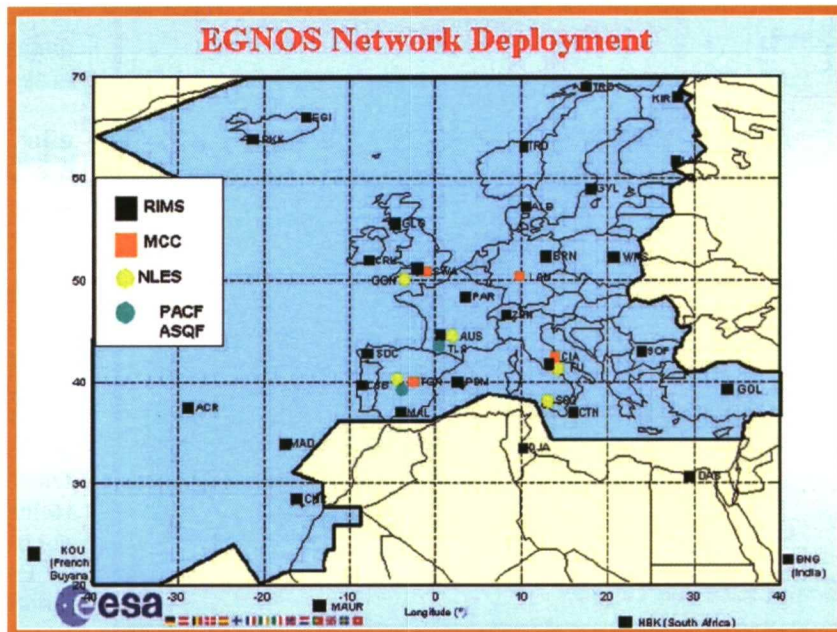
Es una señal de corrección enviada desde un satélite geoestacionario y que puede ser recibida en la mayoría de los receptores GPS utilizados en agricultura. Estos satélites, y por lo tanto la corrección, pertenecen a una empresa privada, por lo que el uso de esta señal es bajo suscripción por un período de tiempo.

OmniStar utiliza un modelo denominado "estación base virtual" (VBS), mediante el cual la señal que recibimos es una composición de la señal de corrección que están calculando todas las estaciones base de OmniStar. Existe una compensación de manera que la señal perteneciente a las estaciones base más cercanas al receptor poseen mayor importancia.

Ofrece tres niveles de precisión para DGPS: VBS, HP y XP. Con OmniStar VBS se pueden alcanzar precisiones submétricas, con OmniStar HP precisiones entre los 10 y 15 cm, mientras que con OmniStar XP no más de 20 cm, pero con una mayor cobertura, según el suministrador (para más información, véase **Vida Rural nº 233**).

Figura 1.

Distribución estaciones base para Egnos en Europa.



Egnos

Al igual que OmniStar, Egnos es un sistema de corrección de la señal GPS de amplia área. Egnos está siendo desarrollado por la Unión Europea, en concreto por la Agencia Espacial Europea (ESA) y será de uso civil y gratuito.

La señal Egnos cubrirá Europa, África, Oriente Medio, algunos países de Asia y toda Sudamérica. Este sistema pretende dar continuidad a otros dos del mismo tipo, WAAS (estadounidense) y MSAS (japonés), entre los que existe compatibilidad y con los que se pretende dar servicio a la aviación civil en un futuro.

Desde enero de 2000, se está emitiendo una señal de prueba denominada Egnos System Test Bed (ESTB). Ésta cuenta con un número menor de estaciones base y centros de procesamiento. En la **figura 1** podemos ver las estaciones bases operativas para Egnos en Europa.

El principal objetivo de los sistemas de guiado es reducir la atención del operario para realizar la conducción, de forma que pueda centrarse en la tarea que está realizando. Aunque se han mejorado las características y confort de la cabina, con el tiempo también se han ido incrementando la velocidad y anchura de trabajo y la potencia de la maquinaria. Por lo tanto, sigue siendo interesante desarrollar sistemas de guiado que realicen esta actividad con la precisión de un conductor experimentado, pero con la ventaja de no fatigarse después de horas de trabajo



Figura 2.

Diseño del ensayo.

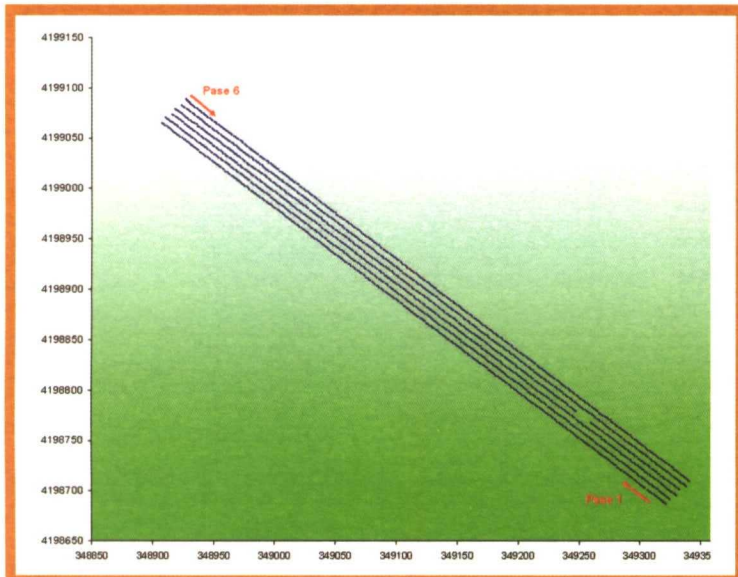
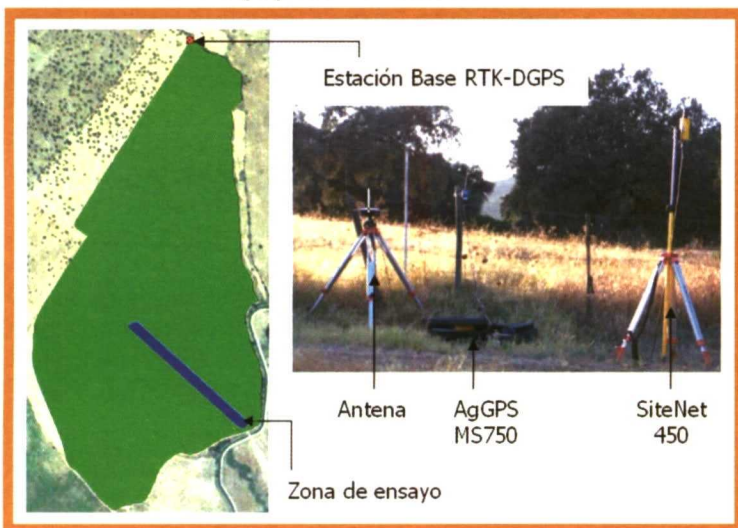


Figura 3.

Localización del ensayo y estación base RTK.



Egnos, al igual que OmniStar, envía a sus usuarios un modelo de corrección que tiene en cuenta todas sus estaciones base, haciendo las medidas compensatorias necesarias (para más información, véase **Vida Rural nº 233**).

Euref-IP

La EPN (Euref Protocol Network) es un servicio de correcciones GPS vía Internet, creado por la Subcomisión Europea del IAG (International Association of Geodesy) y apoyado por la Unión Europea. Además, en este proyecto colaboran más de cien agencias y universidades europeas.

Existen unas doscientas estaciones base repartidas por Europa y emiten correcciones diferenciales en formato RTCM.

Este tipo de corrección se puede establecer desde cualquier punto que tenga acceso a Internet, utilizando un PC o una PDA y un programa informático desarrollado para establecer la comunicación con el servidor.

A diferencia de los sistemas que veíamos anteriormente, Euref-IP es un sistema de aumento de la precisión de área local (LAAS), por lo que utiliza únicamente el código RTCM proveniente de la estación base más cercana, con la consecuente pérdida de precisión a posiciones alejadas de ésta (para más información, véase **Vida Rural nº 233**).

Rasant

Rasant es un estándar europeo de correcciones diferenciales para el sistema GPS. Fue desarrollado por el LVANRW (Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen) y por WDR (West Deutsche Rundfunk) con vocación de ser un servicio público y gratuito.

Rasant utiliza el sistema RDS (Radio Data System) de las emisoras de radio FM para enviar la información que se genera en las estaciones base. Utiliza el código RTCM, por lo que puede ser utilizado por cualquier usuario que disponga del equipo necesario.

En España, la señal es generada por el IGN (estación base); posteriormente se envía a Radio Nacional de España, que se encarga de integrarla en su sistema RDS. Desde aquí se inyecta en el satélite Hispasat, que la distribuye a todos los centros emisores. Actualmente la señal de corrección se emite en Radio 2 (Radio Clásica) y Radio 1 para completar la cobertura.

A diferencia de otras señales de corrección, es muy importante considerar que el bajo número de estaciones base utilizado (sólo una en Madrid para toda España, exceptuando Cataluña e Islas Canarias con estaciones de referencia propias) hace que debamos

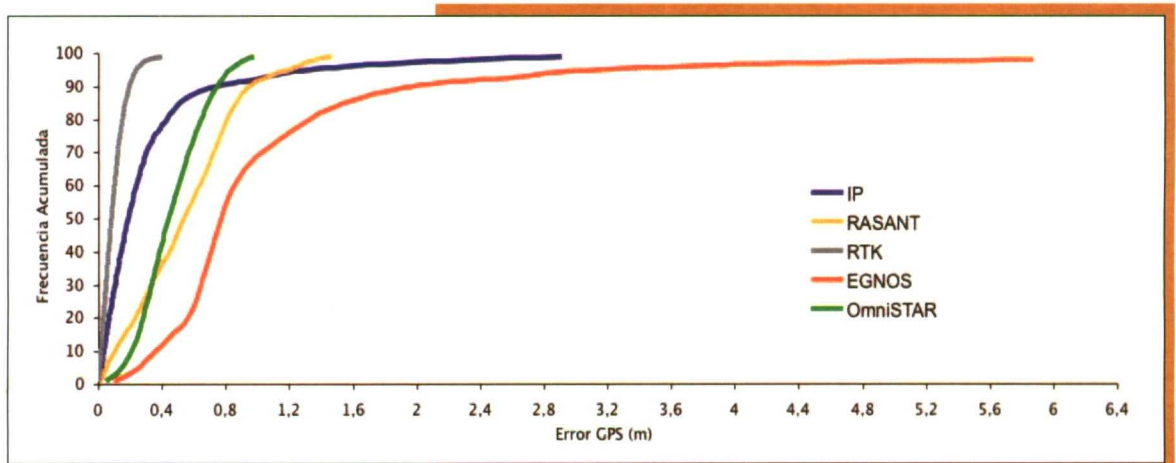
Cuadro I.

Resultados para el conjunto de señales.

	RMS (m)			Media (m)	Desv. Est. (m)	N
EB Propia	0,124			0,028	0,121	35667
OmniSTAR		0,503		-0,457	0,210	36262
IP			0,630	-0,216	0,592	35887
RASANT				0,462	0,449	37520
EGNOS				2,004	-0,398	33001
	+	Calidad		-		

Figura 4.

E_{GPS} para el conjunto de señales.



**NEW HOLLAND**

AGRICULTURE



Comercial Berciana de Maquinaria, compromiso total

La relación con el sector de la maquinaria por parte del personal de este concesionario, según afirma Perfecto García, gerente de la concesión, se remonta a más de cuarenta años atrás. Sin embargo, es en 1987 cuando se deciden a fundar por cuenta propia la actual sociedad de la mano de la marca New Holland. Su experiencia previa en este sector les hace merecedores del respeto y la confianza de los agricultores de la zona que hoy se traduce en la presencia consolidada que tienen los tractores de la marca New Holland en el mercado local. El presente año han apostado por la continuidad de su servicio y no han dudado en hacer un esfuerzo extra para estar a disposición de sus clientes en el menor tiempo posible.

El concesionario de maquinaria agrícola de la marca New Holland, Comercial Berciana de Maquinaria (Coberma), se sitúa en el municipio leonés de Camponaraya, en pleno corazón de la comarca del Bierzo. Tras sufrir un incendio que arrasó gran parte de sus instalaciones, renuevan su compromiso con los agricultores de la zona estando de nuevo completamente a disposición de sus clientes en un tiempo récord.



Su área de influencia y clientes

El área a la que Coberma suministra sus productos y asistencia técnica abarca las comarcas del Bierzo y Laciana, en la provincia de León. Se trata de una comarca que, debido a su orografía cuenta con peculiaridades climáticas que favorecen la presencia de cultivos más termófilos que los que se dan en las comarcas colindantes.

En el área de influencia de Coberma existen dos zonas diferenciadas en cuanto a la producción agraria. Por una parte, la zona de hoya consagrada al cultivo de hortalizas, viña y frutales, y por otra, la zona de montaña, con explotaciones agroganaderas –principalmente de vacuno en extensivo– y explotaciones dedicadas a los aprovechamientos forestales.

De entre los frutales que se cultivan en la zona de hoya destaca el cultivo de manzana Reineta y pera Conferencia, ambas amparadas por Denominación de Origen, así como los viñedos que gozan del amparo de la Denominación de Origen Vinos del Bierzo, con las uvas autóctonas de las variedades Mencía y Godello como principales representantes. En esta comarca también tiene especial relevancia el cultivo del pimiento, que en

El factor humano

El equipo de Coberma se compone de un total de trece empleados, repartidos en las distintas áreas de actividad de la concesión como son gerencia, administración, ventas, repuestos y taller. Entre sus planes más inmediatos se encuentra ampliar esta plantilla con dos trabajadores más, que serán destinados a las áreas de repuestos y taller. Destaca el peso que, para Coberma, tiene el servicio posventa, en el que el personal de taller y recambios supone más del 50% de la plantilla. En este concesionario de maquinaria agrícola son conscientes de que además de ofrecer productos de calidad, es necesario asegurar a sus clientes una respuesta eficaz ante todas las eventualidades que puedan ocurrir después de la venta de una máquina. Por este motivo, cuentan con una amplia plantilla de mecánicos y recambistas, para asegurar la satisfacción de sus clientes con la seriedad y rapidez de su servicio. La formación constante de sus trabajadores mediante la asistencia a cursos es una condición fundamental en la filosofía de Coberma. Este hecho, junto con su experiencia acumulada a lo largo de los años, supone la mejor garantía para sus clientes.



esta región está amparado igualmente por una figura de calidad.

La estructura de las explotaciones de la zona se caracteriza por una fuerte atomización y parcelación. Se trata de explotaciones poco dimensionadas con una superficie media de 5 hectáreas. En el área en la que opera el concesionario de maquinaria agrícola Coberma conviven distintos tipos de agricultura. En primer lugar, aquella practicada por agricultores a título principal que se dedican al frutal, viñedo, ganadería o aprovechamientos forestales. También tiene una gran importancia la agricultura de fin de semana en la que los productores combinan la actividad agraria con el trabajo en otros sectores. Entre sus clientes se encuentran, además de los señalados, bo-

degas con viñedo propio y empresas de servicios agrícolas con implantación en la zona. Del mismo modo, sus equipos son demandados por agrupaciones locales, como es el caso de distintas mancomunidades de municipios, que destinan los tractores al desbroce y mantenimiento de cunetas. Es de destacar los tractores adquiridos a Coberma por parte de la Junta de Castilla y León para la escuela de capacitación agraria de Almazcara.

Para adaptarse a las demandas de clientes tan variados que coexisten en su área de influencia en Coberma valoran positivamente la marca New Holland como fabricante de maquinaria agrícola como aliado fundamental gracias a la amplitud de su gama de productos.



Sus instalaciones y medios

Las instalaciones de esta concesión están ubicadas en el polígono industrial del municipio de Camponaraya. Recientemente, se vieron obligados a renovarlas parcialmente debido a un incendio que sufrieron el pasado mes de febrero. Este incendio arrasó gran parte de sus instalaciones, causando deterioros en las oficinas y exposición, dejando inservible el taller y acabando con sus herramientas, máquinas en reparación y vehículos-taller. Como muestra de su gran compromiso con los agricultores de la zona y con la vista puesta en poder ofrecer la continuidad de su servicio



que les hace merecedores de la confianza de los agricultores de las comarcas a las que dan servicio, en Coberma decidieron crear un taller auxiliar mientras se reparaban sus instalaciones. En tan sólo quince días el servicio a sus clientes ya estaba reestablecido gracias al taller auxiliar puesto en marcha, y tras sólo seis meses el taller estaba totalmente reconstruido y en pleno funcionamiento.

Sus actuales instalaciones cuentan con 2.300 m² de solar, de los que 1.800 m² están edificadas. En la zona exterior poseen una campa de recepción y expedición de máquinas directamente comunicada con el taller donde se reparan y ponen a punto los equipos. La zona edificada alberga la exposición de equipos nuevos y se caracteriza por su amplitud y luminosidad. También acoge la zona de oficinas, autoservicio, repuestos y recepción de clientes. Sin embargo, es el taller el área que mayor parte de la superficie edificada ocupa. Esta dependencia, recientemente reconstruida, goza de una buena ventilación e iluminación así como amplios accesos para facilitar el movimiento de máquinas y cuenta con todas las herramientas necesarias para



la correcta puesta a punto de los equipos que entran. El almacén de repuestos se encuentra en una ubicación estratégica entre el taller y la zona de recepción de clientes para suministrar las piezas necesarias en un sentido o en otro, minimizando el flujo de materiales.

Los equipos comercializados por esta concesión se ven profundamente condicionados por las particularidades orográficas y de cultivo de la zona a la que dan servicio así como por la estructura de las explotaciones predominantes.

La Serie TNFA es la que resulta más adecuada para las explotaciones de viña y frutal de la zona. Como ya se ha señalado, las explotaciones del área de influencia de Coberma tienen un alto grado de parcelación. En estas condiciones lo que más aprecian los clientes es la enorme maniobrabilidad en espacios reducidos de los tractores de la serie TNFA, gracias al gran ángulo de giro que proporciona el eje Supersteer. Por su parte, los tractores TCE son los que más se adaptan a las exigencias los agricultores que practican la agricultura a tiempo parcial, por sus reducidas dimensiones.

En las explotaciones agroganaderas, son los tractores de la serie TDD los que más se demandan. Los clientes que escogen este tipo de equipos valoran su fácil manejo y la gran visibilidad que ofrece así como su capacidad de moverse cuando existen limitaciones de espacio.

Los equipos



Por su parte, la serie de tractores que resulta más adecuada para las explotaciones de aprovechamientos forestales situadas en la zona de montaña es la Serie T7000, donde se requiere gran potencia para accionar los aperos forestales, y resulta fundamental que la respuesta de la toma de fuerza sea la adecuada incluso tiene que trabajar durante largas jornadas.



El servicio de taller

Al igual en todos los concesionarios que conforman la red de New Holland, uno de los aspectos a los que Coberma presta especial atención es a que sus clientes estén satisfechos con el producto que han adquirido desde la venta hasta el final de su vida útil. Para ello parten de la premisa de que es fundamental que los equipos permanezcan el menor tiempo parados.

La experiencia de más de veinte años establecidos por cuenta propia prestando servicio de taller de reparación de equipos agrícolas avalan el trabajo eficiente, organizado y fiable que se lleva a cabo en los talleres de Coberma.

Actualmente cuentan con cinco mecánicos y una flota compuesta por cinco vehículos-taller para atender las posibles eventualidades que puedan ocurrir cuando las máquinas de sus clientes están trabajando en el campo. Poseen cuatro vehículos taller completamente equipados y así como un camión grúa para proceder al traslado de equipos cuando sea necesario.

Recambios

Hoy en día, la fidelización de los clientes resulta fundamental en un mercado altamente competitivo donde coexisten gran cantidad de marcas. En Coberma creen que una de las principales herramientas para cumplir este objetivo es dar una respuesta rápida a todas las eventualidades que puedan ocurrir. Para no defraudar la confianza que en ellos depositan los agricultores de la zona en Coberma, poseen un inventario totalmente informatizado con más de 5.000 referencias en stock para poder suministrar al instante todas las piezas que puedan necesitar sus clientes.

Adicionalmente, en la zona de recepción de clientes se encuentra un área de libre servicio donde se encuentran ubicados los productos de uso más frecuente, sobre todo aquellos destinados al mantenimiento programado de los equipos.



Consideraciones finales

Coberma es un concesionario de maquinaria agrícola valorado por los agricultores de la zona debido a la calidad del servicio que prestan, del producto que venden y por la experiencia de años que avala su buen hacer. El tiempo récord que emplearon en superar la adversidad que supuso el incendio en sus instalaciones ha puesto de manifiesto una vez más de cara a los agricultores y ganaderos de la zona el compromiso de Coberma con el sector agrario. Por otra parte, el apoyo de New Holland como marca resulta fundamental en una zona donde la tipología de las explotaciones es tan amplia, y se hace necesario contar con un aliado como New Holland, que proporcione la amplitud de gama necesaria para adaptarse a todas las exigencias de los clientes.



Comercial Berciana
de Maquinaria, S.A.
(COBERMA)



Polígono Industrial Camponaraya - Parcela nº 26
24410 - Camponaraya (León)
Teléfono: 987 450 128

◀ Viene de pág. 30

prestar especial interés a la distancia a la que nos situemos de la misma (para más información, véase **Vida Rural nº 233**).

RTK-DGPS

Un equipo RTK-DGPS es el utilizado por la mayoría de las estaciones base de los sistemas descritos anteriormente. Éste debe generar las señales de corrección que se distribuirán posteriormente.

Por lo tanto, en este caso no se trata de un sistema de difusión de señales de corrección para múltiples usuarios, sino que el propio usuario establece su estación base y genera la señal de corrección que usará para sus propios receptores GPS. Se hace necesario así el uso de estos dispositivos cuando se requieren precisiones centimétricas, como por ejemplo, trabajos de autoguiado de vehículos.

Se obtienen precisiones de unos 3 cm (según fabricantes), aconsejando su uso a no más de 10 km entre emisor y receptor. El principal inconveniente es su precio, aproximadamente 30.000 euros.

Normalmente un equipo RTK-DGPS está formado por dos receptores RTK bifrecuencia. Uno de ellos se establece como estación base. Para ello se le introducen las coordenadas exactas del punto en el que permanecerá y se configura para que genere señales de corrección. El código utilizado es RTCM, aunque va complementado con información RTK. Para enviar los datos hasta el receptor RTK GPS móvil se utilizan radio-módems de largo alcance.

Diseño del ensayo

Se diseñó un campo experimental formado por seis pasadas de 600 m de longitud, separadas 6 m entre sí (**figuras 2 y 3**), consiguiendo de esta forma la generación de una secuencia similar a la de cualquier trabajo de campo y además la generación de un número importante de datos que diesen magnitud al estudio.

La velocidad elegida fue de 6 km/h, velocidad aproximada de trabajo para la aplicación de agroquímicos con barra.

Sabiendo que los satélites emisores de la señal GPS cambian su configuración en el espacio, nos planteamos dar una información complementaria que haga referencia a esta variabilidad. Para ello se decide dividir el día en cinco franjas horarias, desde las 9 hasta las 20 horas.

Resultados

Los errores analizados fueron:

- Error total (E_{total}): es la distancia existente entre la posición real del vehículo y la deseada para cada instante; resultando la suma del

Figura 5.

E_H para el conjunto de señales.

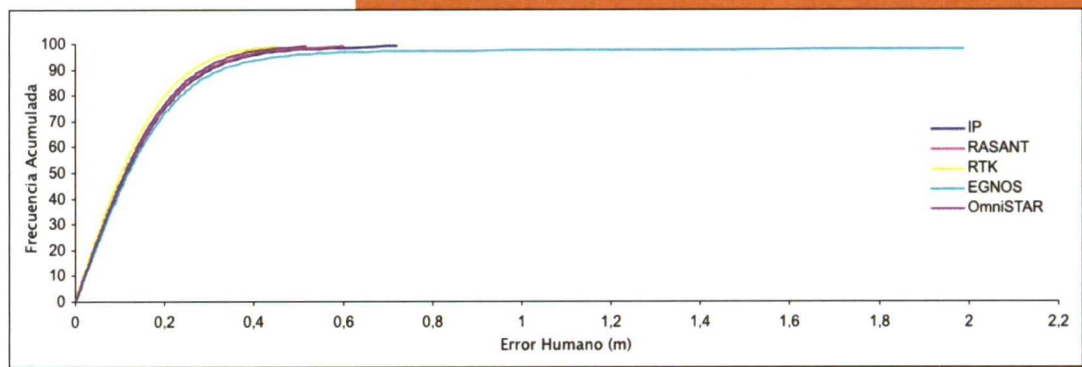


Figura 6.

E_{GPS} para la señal EB propia distribuido por franjas horarias.

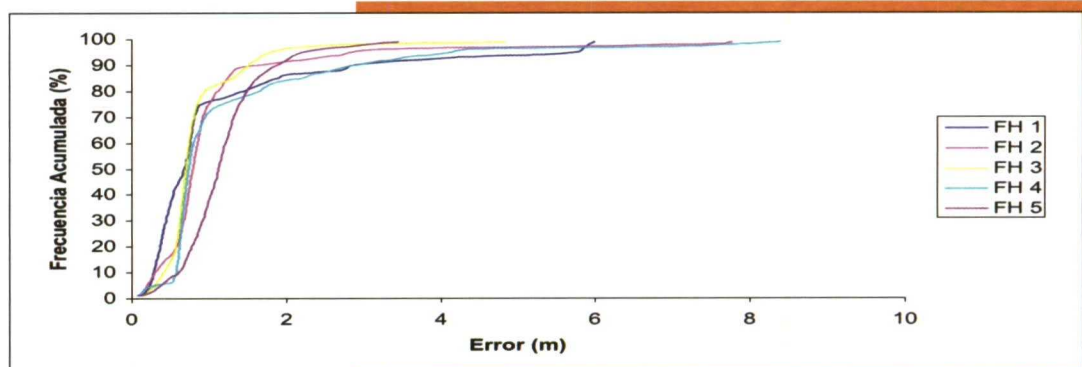
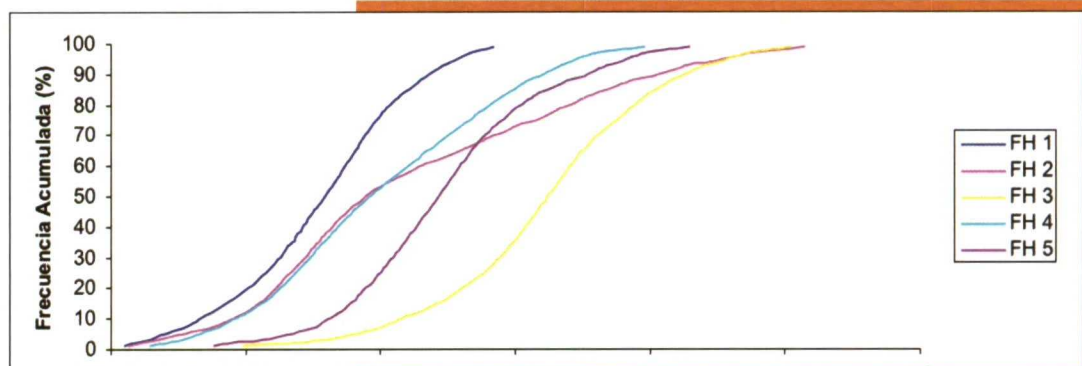


Figura 7.

E_{GPS} para la señal OmniStar distribuido por franjas horarias.



error debido al sistema de ayuda al guiado (EGPS) más el error cometido por el operario (error humano).

- Error GPS (E_{GPS}): es la desviación transversal al sentido de la marcha, ocasionado exclusivamente por el uso del GPS del sistema de guiado complementado por cada una de las señales de corrección.

Se han utilizado gráficas de acumulación de frecuencia, donde podemos elegir un nivel de confianza (% total del tiempo de ensayo) y obtener el error medio que podemos cometer para éste.

- E_{GPS} para el conjunto de señales. Los mejores resultados se obtienen para la estación base propia con valores de E_{GPS} medio, en torno a los 12,4 cm. Posteriormente encontramos OmniStar, Euref-IP y Rasant con valores de 50,3, 63 y 64,5 cm respectivamente. Para Egnos se obtuvo un valor medio del error sensiblemente mayor, en torno a los 2 m (**cuadro 1 y figura 4**).

Figura 8.

E_{GPS} para la señal Eufef-IP distribuido por franjas horarias.

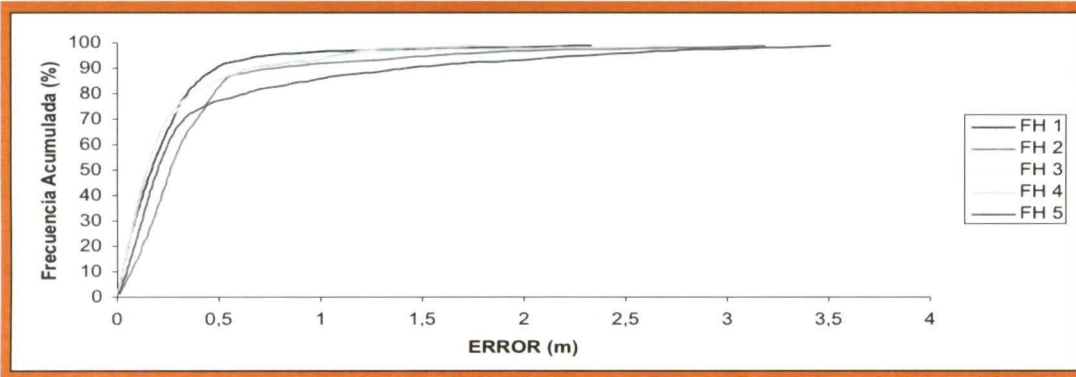


Figura 9.

E_{GPS} para la señal Rasant distribuido por franjas horarias.

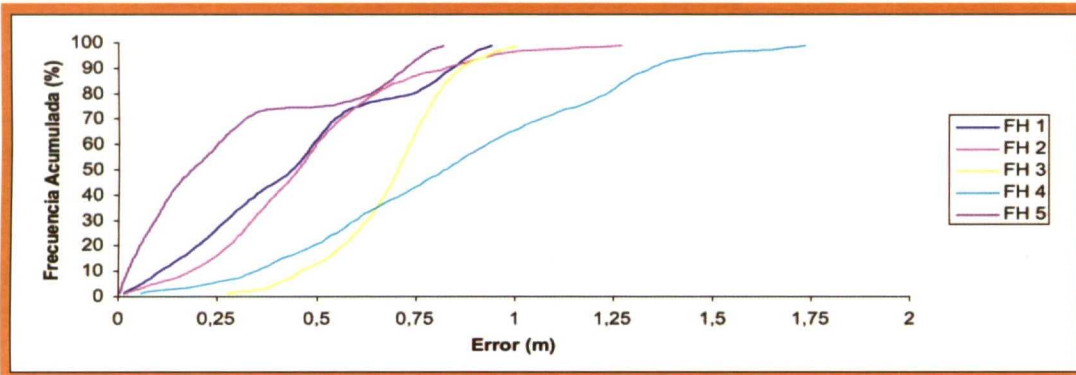
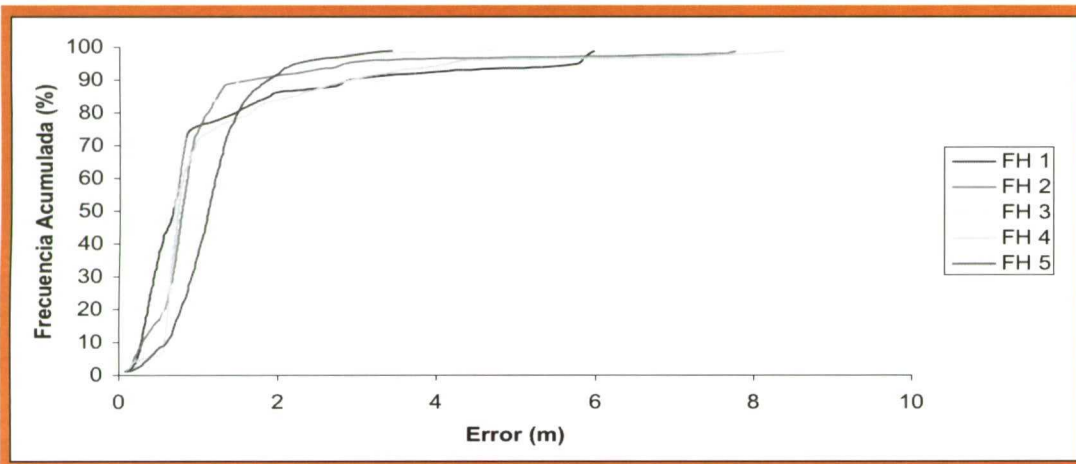


Figura 10.

E_{GPS} para la señal Egnos distribuido por franjas horarias.



Cuadro II.

Resultados para el conjunto de señales del error humano.

	RMS (m)				Media (m)	Desv. Est. (m)	N
EB Propia	0,170		-0,014	0,170	35667		
IP		0,251	0,004	0,251	35887		
OmniSTAR		0,195	0,010	0,195	36262		
RASANT	0,206		-0,015	0,206	37520		
EGNOS		1,663	-0,172	1,654	33001		
	+	Calidad		-			

Bibliografía

- Buick, R., y A. Lange, 1998. Assessing efficiency of agricultural chemical applications with different GPS, Arcview and Spatial analysis. In Proc. Of the 6th Int´t Conf. On Precision Agriculture, ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI
- Nieminen, T. y Sampo, M. 1993. Unmanned vehicles for agricultural an off-highway applications. ASAE Technical Paper Series No. 932475. Warrendale, PA. ASAE.
- Pérez Ruiz M., Agüera Vega J., Gil Ribes J. 2007. Desarrollo, evaluación y análisis de técnicas de agricultura de precisión para la optimización de insumos en cultivos característicos del valle del Guadalquivir. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Departamento de Ingeniería Rural.

• E_H para el conjunto de señales. Los resultados son bastante parecidos. Se encuentran en torno a los 20 cm de error. Esto es debido a que se utilizó un mismo operario, ya iniciado en el uso de sistemas de ayuda al guiado, para todos los ensayos. Para Egnos vemos que el error cometido es mucho mayor, lo que refleja los problemas de calidad y continuidad que podemos tener utilizando este sistema de corrección (**cuadro II y figura 5**).

• E_{GPS} para cada señal, en cada una de las franjas horarias en las que se dividió la jornada se resume en las **figuras 6, 7, 8, 9 y 10**.

Conclusiones

Gracias al desarrollo de este trabajo de investigación, se ha demostrado que existe una variabilidad importante en la precisión obtenida, usando diferentes sistemas de corrección para complementar a un equipo de ayuda al guiado. Además, se ha puesto en práctica una metodología de ensayo para este tipo de tecnología que nos permite conocer y analizar el comportamiento de las señales estudiadas.

Con relación a los resultados obtenidos y con el fin de hacer una recomendación a la hora de elegir una determinada señal de corrección u otra, es conveniente el uso de las gráficas de frecuencia acumulada descritas en el apartado anterior. En estas gráficas se recoge prácticamente toda la variabilidad obtenida en el estudio, por lo que se ajustarán mejor al comportamiento de las señales en campo. ■

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto INIA nº RTA 2006-00058-C03-03 y la colaboración prestada por la empresa de base tecnológica Soluciones Agrícolas de Precisión SL. (www.agriculturadeprecision.es).