

LO QUE CONVIENE SABER SOBRE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

PARTE 1.- SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO Y GUIADO

ALEGORÍAS DE SAN ISIDRO Y SOBRE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA AGRICULTURA.

AUTOR: DANIEL ZULOAGA. LUGAR: ETS ING. AGRÓNOMOS DE MADRID



En las líneas que siguen a continuación se intenta dar una visión resumida, y de conjunto, sobre la Agricultura de Precisión, completando la información proporcionada por la serie de artículos sobre 'Electrónica en la Agricultura' del Prof. Mazzetto, recientemente publicados en *agrotecnica*.

LUIS MÁRQUEZ

Desde que comienza la motorización de la agricultura se busca, como objetivo final, la posibilidad de que las máquinas trabajen 'solas' en los campos, mientras los agricultores 'descansan'. Todos los que en su día pasaron por la Estación de Mecánica Agrícola para homologar tractores, cuando estaba situada en su primitiva ubicación de la Ciudad Universitaria de Madrid, tuvieron ocasión de ver unos bellos mosaicos de Zuloaga con la alegoría de San Isidro, rezando mientras el ángel conducía los bueyes arando en el campo. Al lado, la máquina de vapor hacia lo mismo por sí sola,



mientras el agricultor tecnificado leía tranquilamente en el borde de la parcela.

El edificio en el que se encuentran los mosaicos, que ahora forma parte de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de Madrid, fue construido en los comienzos de los años '30, mejorando el edificio primitivo del organismo creado hace un siglo, dentro del Instituto Agronómico, para potenciar la mecanización de la agricultura española.

Como frecuentemente sucede, han sido los avances de la tecnología militar los que están haciendo posible que las máquinas puedan trabajar solas en el campo, ayudando a vencer, poco a poco, las limitaciones económicas de los sistemas de posicionamiento 'terrestres', conocidos desde hace años.

Pero la posibilidad de que una máquina pueda trabajar sola en el campo, con una automatización total del proceso agrícola que realiza, no siempre es la mejor solución desde una perspectiva económica y social, más aún cuando hay niveles intermedios de mecanización que permiten integrar en los procesos productivos a los que viven en las zonas rurales, en función del nivel de desarrollo de las mismas y con una relación coste beneficio más favorable.

Esta tecnología, que permite conocer la posición de una máquina en el campo, y controlar sus desplazamientos durante el trabajo, es el punto de partida para hacer lo que comercialmente se conoce como 'Agricultura de Precisión', que, de una manera sencilla, se puede definir como la posibilidad de dar en cada parte del campo un tratamiento agrícola particularizado, igual que lo han hecho durante siglos los pequeños agricultores, pero manteniendo la potencialidad que ofrece la mecanización avanzada de la agricultura moderna.

Dicho de otra manera: reallizar en cada zona del campo, y

en cada momento, las operaciones agrícolas más convenientes para optimizar la producción, reduciendo la demanda de insumos, con tres consecuencias principales: mejorar el beneficio empresarial, aumentar la calidad de las cosechas y proteger el ambiente.

En consecuencia, la 'Agricultura de Precisión' es mucho más que un sistema de guiado automático o semiautomático, y para desarrollarla se necesita integrar el sistema agrícola de un área geográfica con un conjunto de tecnologías que faciliten la toma de decisiones de los agricultores.

En estas tecnologías se incluyen los sistemas de posicionamiento global y de información geográfica, y los sistemas para la cuantificación de la situación agrícola en cada zona del campo y para acción precisa de las máquinas, respondiendo a las órdenes que previamente han recibido.

Pero para que todo esté integrado y funcione, se necesita disponer de un conocimiento agronómico personalizado y particularizado y programas de ordenador para la gestión de los equipos de campo y para la gestión empresarial del sistema.



Hasta ahora, con los 'GPS' y los sistemas de guiado solo se ha dado el primer paso, en un camino largo en el que hay muchos obstáculos que vencer, mediante un trabajo que permita rentabilizar la tecnología disponible, ya que en caso contrario las empresas agrarias en nada se beneficiarían de ella.

■ Conocer la posición

Desde que comienzan a volar los aviones, y más aún con la llegada de los satélites, los agricultores tienen a su disposición una cartografía precisa de todas las parcelas que componen su explotación. Con la llegada del Sigpac, impulsado por el control impuesto por la Política Agraria Común de la UE, cada agricultor conoce hasta el número de árboles que crecen en sus campos y la posición de cada uno de ellos.

La imagen visible que proporciona la fotografía aérea básica se complementa con sensores en el campo de la radiación no visible, que informan de otras situaciones que no se puede observar en una fotografía clásica (humedad del suelo, temperatura, tipo de vegetación, etc.). La digitalización de la información permite almacenarla asociada a cada punto y aumentar los detalles sin limitación.



Tradicionalmente se ha utilizado marcas terrestres como referencia para determinar una posición en el terreno: los vértices geográficos son un ejemplo de ello. En una superficie plana es posible marcar la posición de cualquier punto, de manera permanente, conociendo su distancia a otros tres puntos fijos. La precisión en la determinación de la posición depende de la situación relativa de los puntos de referencia, y de los elementos utilizados para medir las distancias a cada uno de ellos.

El sistema 'GPS'

Con la puesta en el espacio de la red de satélites NAVSTAR-GPS del ejército de USA se puede utilizar la medida de la distancia a estos satélites para determinar la posición de cualquier punto sobre la Tierra, en base a sus coordenadas geográficas (longitud, latitud y al-

titud) sobre un geoide de referencia, aunque los satélites se encuentren en movimiento, siempre que se conozcan sus trayectorias.

Con el sistema 'GPS', puesto en marcha en 1978 con el lanzamiento del primer satélite y en funcionamiento desde 1995, que utiliza 24 satélites operativos y otros de reserva, sobre seis planos orbitales y a una altitud de más de 20 000 km, que realizan un giro sobre su órbita en un periodo de aproximadamente 12 horas, se consigue que al menos 4 de ellos se encuentran visibles simultáneamente en toda la Tierra (8 visibles en la mayoría de las regiones). Cada uno de estos saté-

lites llevan cuatro relojes atómicos con la 'hora universal', e informan continuamente por radiofrecuencia sobre su identidad, sobre la hora que marcan sus relojes, y sobre su órbita (altura, posición y velocidad), y generan una señal periódica que permiten determinar el tiempo transcurrido desde que la señal fue emitida hasta que llega al receptor.

Considerando que las ondas de radio viajan a una velocidad próxima a la de la luz, la distancia del satélite al punto de medición sobre la tierra se calcula multiplicando el valor de la velocidad de la luz por el tiempo transcurrido desde que la señal fue emitida por el satélite; a este respecto conviene destacar que un error en la medida del tiempo de 1 milisegundo puede dar lugar a una diferencia en distancia de 300 km.

Junto con esta información básica, que por si sola permite determinar la distancia a la que se encuentra el satélite de cualquier punto de la Tierra en el que está situado el receptor, hay otras informaciones complementarias que ayudan a mejorar la precisión en la medida de la distancia, y que se emiten en dos frecuencias (longitudes de onda $L1 \approx 19$ cm y $L2 \approx 24$ cm), con códigos conocidos como C/A (abierto) y P (prote-


**LA RED DE
SATÉLITES
NAVSTAR-GPS PERMITE
ESTABLECER LA
POSICIÓN DE
CUALQUIER PUNTO
SOBRE LA TIERRA**




gido), que durante algunos años solo permitían que esta información solo llegara a los propietarios del sistema.

Así, si el receptor que recibe la información de los satélites dispone de la electrónica apropiada, la distancia entre el satélite y el receptor se puede determinar en función del número de ondas contabilizado en el recorrido entre el emisor y el receptor (receptores con frecuencias L1 y L2).

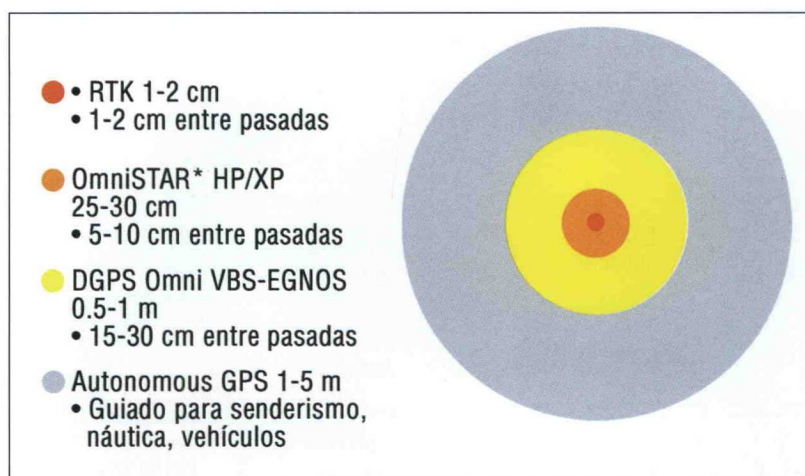
Los errores en la determinación de la posición, como consecuencia de las desviaciones en la medida de las distancias a los diferentes satélites, son causados por el desfase entre la hora de los relojes de los satélites y la de los receptores, por las desviaciones que se producen en la órbita de los satélites, por la posición relativa de los satélites visibles en el horizonte, por las alteraciones de la atmósfera sobre la trayectoria de las ondas emitidas por los satélites y por los errores que se producen en el propio receptor. A esto hay que añadir los errores que durante un tiempo introducían los propietarios del sistema GPS, conocidos como de 'disponibilidad selectiva', que han sido eliminados desde 2002.

La precisión también depende de que la capacidad del receptor para procesar la información que le llega de los satélites, lo que se puede hacer en varios canales simultáneamente o de manera sucesiva. Con 8 canales de medida en el receptor se puede conseguir una precisión en la posición de unos 5 m, mientras que con 12 canales se podría llegar hasta un metro, sin que sea necesaria otra corrección. La velocidad con la que se desplaza el receptor influye inversamente en la precisión de la determinación.

La corrección diferencial

Para corregir estos errores, mejorando la precisión en la determinación de la posición, se puede utilizar lo que se conoce como 'corrección diferencial', a

PRECISIÓN QUE OFRECEN LOS SISTEMAS DGPS Y GPS CON RTK



partir de las determinaciones realizadas en un punto que se mantiene fijo en el suelo, y que envía por radiofrecuencia las correcciones para compensar las desviaciones que detecta en cada momento. El punto de referencia para correcciones debe de estar cercano al punto en el que se realizan la medición.

Estos puntos de referencia pueden ser 'oficiales', como el servicio de balizas costeras, o bien situadas en la propia explotación por su propietario, o por un prestador de servicios, o también proceder de un satélite geoestacionario, que recibe la información y la envía por radio a todos los receptores situados en su área de influencia (sistemas Egnos, Starfire, etc.). Para acceder a este servicio de corrección es necesario pagar una cuota periódica, cuyo coste es proporcional a la mejora de la precisión que el sistema ofrece. Los de menor precisión suelen ser gratuitos.

Resolución y precisión

Si se mantiene el receptor del sistema GPS en una posición fija, se observa que las lecturas, en un periodo de tiempo establecido, varían de manera continua como consecuencia de los cambios en la posición relativa de los satélites (como se ha indicado, las órbitas se describen en un periodo de unas 12 horas). Con los valores obtenidos en este periodo se obtiene una curva de distribución normal con un valor medio y unas desviaciones con respecto a la media que se pueden cuantificar con el parámetro estadístico conocido como desviación típica.

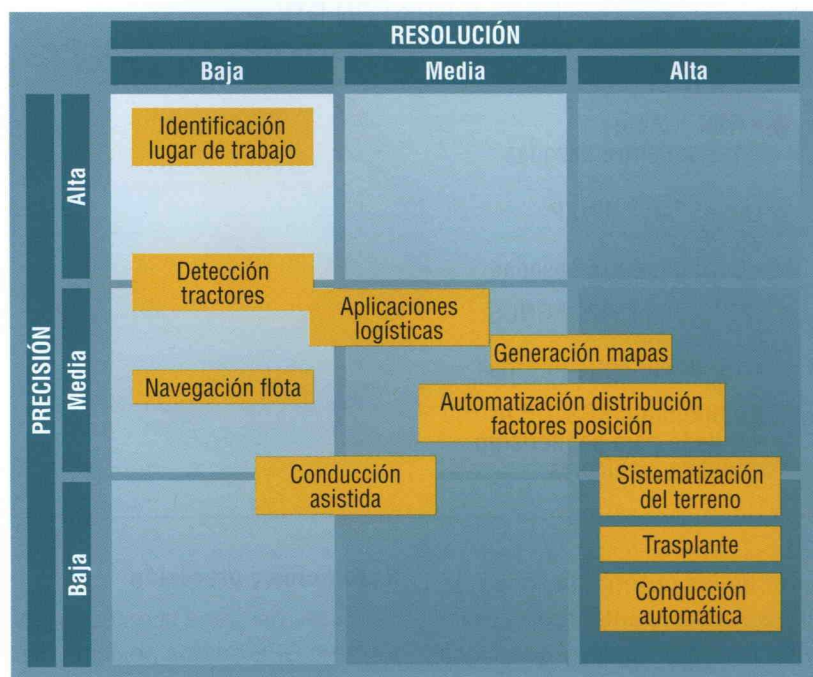
A partir de esta distribución, se define como 'resolución' la diferencia que hay entre la posición real y el valor de la media obtenida de las mediciones correspondientes a un periodo de tiempo determinado. Se define como 'precisión' las desviaciones de las lecturas respecto a la media en el periodo de medición.

RESOLUCIÓN DE LOS RECEPTORES GPS Y COSTES RELATIVOS (AÑO 2007)

Frecuencia	Configuración	Resolución media (cm)	Coste (€)
SENCILLA	L1	500	250
	L1 + EGNOS	100	1 000
	L1 + OMNISTAR	50	2 500
	(L1 + RTK) X 2	10	12 000
DOBLE	L1 + L2	200	5 000
	L1 + L2 + EGNOS	50	6 000
	L1 + L2 + OMNISTAR HP	10	8 000
	(L1 + L2 + RTK) X 2	1	20 000

Fuente: F. Mazzetto. Univ. de Milan

CLASE DE APLICACIÓN AGRÍCOLA



De forma genérica, el error en la determinación de la posición se cuantifica con el conocido como 'probabilidad de error circular' (CEP), que es como se denomina al radio del círculo que contiene el 50% de las determinaciones realizadas en un periodo de tiempo establecido. Hay que distinguir entre la precisión que se consigue en las lecturas dentro de un intervalo de 15 minutos y la correspondiente a 24 horas. En el primero de los casos es el valor que se toma como referencia para la maquinaria agrícola cuando se trabaja sobre una parcela en pasadas sucesivas. La referencia a 24 horas permite volver en cualquier momento, con dicha precisión, a la posición marcada, y para con-



HAY QUE

**DISTINGUIR ENTRE LA
PRECISIÓN QUE SE
CONSIGUE EN LAS
LECTURAS DENTRO DE
UN INTERVALO DE 15
MINUTOS Y LA
CORRESPONDIENTE A
24 HORAS**



seguirlo se necesita una corrección diferencial de alta precisión.

Sobre la precisión tiene influencia el tipo de antena que se utiliza en el receptor y las características de éste, así como si disponen de simple o de doble frecuencia (L1 y L2), del número de canales (satélites que pueden ser captados simultáneamente), y de la forma de procesamiento de la información recibida (serie o paralelo) y el tiempo de adquisición. Además está la posibilidad de utilizar señales de otros grupos de satélites, como las del Glonass ru-

so y del Galileo europeo (cuando esté operativo). Contando con los tres sistemas de satélites se dispondría de 48 satélites operativos, de los cuales un valor medio de 14 estarían visibles (mínimo de 8 y máximo de 20). Esto es lo que se conoce con las siglas GNSS (Sistemas de Navegación Global por Satélites) en alternativa al GPS, que solo toma en consideración la red de satélites de USA.

La corrección RTK (*Real Time Kinematic*)

Cuando se necesita una precisión centimétrica, hay que establecer un sistema de corrección diferencial de gran precisión, lo que se realiza a partir de una estación terrestre estacionaria, con un receptor igual al que se desplaza sobre el vehículo, y un enlace por radio entre ambos receptores, para que las variaciones que se producen en el receptor fijo sirvan para corregir la posición en el receptor móvil. Con ello se consigue una precisión de 1-2 cm en las tres dimensiones.

La distancia admitida entre receptor fijo y móvil está entre 3 y 5 km, por lo que se puede utilizar un receptor fijo único para varios móviles situados en el radio indicado. En los equipos móviles hay que incluir un sistema para la corrección de la posición derivada de la posición de la antena y de las inclinaciones que se produzcan en el vehículo, ya que de otra manera los errores de posición superarían los potenciales del sistema.

La precisión y la resolución que se necesitan en las diferentes aplicaciones agrícolas se indican en la figura adjunta, junto con el coste aproximados de los diferentes sistemas disponibles y la precisión que aportan. El mayor coste de los sistemas RTK se debe en parte a la necesidad de contar con dos receptores.

En la segunda parte de este artículo se analizarán los aspectos relacionados con los mapas de cosecha y la gestión agronómica de la información. ■

