

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA**



**"Aplicación de agroquímicos con el uso de sistemas de
posicionamiento global (GPS)"**

Por:

Refugio Marin Anzures

M O N O G R A F I A

Presentada como Requisito Parcial para Obtener

el Título de:

INGENIERO MACANICO AGRICOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2007

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA**

**"Aplicación de agroquímicos con el uso de sistemas de
posicionamiento global (GPS)"**

M O N O G R A F I A

**Realizada Por:
Refugio Marin Anzures**

**Que se somete a consideración del H. jurado examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

INGENIERO MECANICO AGRICOLA

Aprobada por:

M.C. Ramiro Luna Montoya
Presidente

M.C. Tomas Gaytan Muñiz
Sinodal

M.C. Jesús Rodolfo Valenzuela García
Sinodal

Dr. Raúl Rodríguez García
Coordinador de la División Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio de 2007

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater, por haberme brindado la oportunidad de superarme y lograr cumplir mis estudios, pues sin ella no hubiese sido posible.

A Dios nuestro padre por haberme permitido terminar satisfactoriamente con mis estudios y por seguirme ayudando en todo lo que hago.

Al M.C. Ramiro Luna Montoya por haberme prestado un poco de su tiempo al prestarse como mi asesor.

A mis padres por haberme brindado todo su apoyo y por su gran esfuerzo que hicieron para que yo saliera adelante, que dios los bendiga.

Les agradezco a todos los profesores que siempre nos enseñaron lo cierto y que fueron una guía para mí y un ejemplo.

A todos mis compañeros de la carrera gracias por su amistad y por todo su apoyo que me brindaron durante todo el tiempo que estuvimos juntos (Chava, Sabiel, Jorge, Ismael Torres, Ismael Vargas, Moguel, Neftalí, Teodoro, Humberto, Gabino, Tapia, Pacheco, Flor, Garibi, Elías).

A todos mis amigos cuate, Mago, ticho, con, surdo, tétela, chato, Oscar (navajas), Oscar (garras), Lucero, Pepe, Omar, bombín y mi compadre.

DEDICATORIAS

Con amor y respeto, para mis padres:

Juan Marin Vidal

Magdalena Anzures Díaz

Por su gran confianza que me tuvieron en cada instante de mi vida. Por su inagotable lucha y esfuerzo que realizaron para brindarme la oportunidad de estudiar, hasta llegar al termino de mi formación profesional.

Con mucho cariño a mis hermanos:

Adalberto Marin Anzures

José Isabel Escobar Anzures

Por todo su apoyo y respeto.

A Manuela por haberme brindado su cariño y apoyo todo este tiempo.

A toda mi familia:

Muy en especial a mi primo Aurelio Marin Espinoza y a mi tío Esteban Marin Vidal.

Por haberme brindado todo su apoyo y darme ánimos cuando me sentía derrotado.

Para ellos con todo mi amor y respeto.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	viii
I. INTRODUCCION	1
1.1 Importancia y justificación.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos particulares.....	2
II. ANTECEDENTES HISTORICOS DE LAS PULVERIZADORAS.....	4
2.1. Equipos pulverizadores y espolvoreadores	5
2.2. Función de un pulverizador.....	5
2.2.1. Tipos de pulverizadores	5
2.3 Abonadoras	8
2.3.1 Tipos de abonadoras para fertilizantes sólidos	8
III. EL GPS	10
3.1. El receptor GPS.....	11
3.2. GPS diferencial.....	12
3.3. Historia y Cronología	14
3.4. Configuración del sistema.....	17
3.4.1 Segmento de espacio.....	18
3.4.2. Segmento de control	21

3.4.3. Segmento de usuario.....	23
3.5. Usos para el GPS.....	25
3.5.1. Agricultura.....	25
3.5.2. Navegación en tierra y mar.....	26
3.5.3. Usos militares.....	27
3.5.4. Mapas y agrimensura.....	27
3.5.5. Ciencias.....	27
3.5.6. Recreación.....	27
3.5.7. Referencia de tiempo.....	28
3.6. Limitaciones del GPS.....	28
3.7. Composición del sistema GPS.....	29
3.8. Tipos de receptores GPS.....	30
3.9. Control terrestre de los satélites.....	31
3.10. Principio del funcionamiento del GPS.....	31
3.10.1. Cálculo de la distancia entre el receptor y los satélites.....	32
3.10.2. Cómo ubica la posición el receptor GPS.....	34
3.11. GPS en México.....	37
IV. AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	39
4.1. Definición.....	39
4.2. Tipos de variabilidad.....	40
4.2.1. Variabilidad espacial.....	40
4.2.2. Variabilidad temporal.....	41
La variabilidad temporal es el resultado de comparar un determinado número de mapas del mismo terreno a través de los años.....	41
4.2.3. Variabilidad predictiva.....	41

V. BANDERILLO SATTELITAL.....	42
5.1. Banderillero satelital.....	43
5.1.1. Ventajas	43
5.1.2. Funcionamiento del Banderillero Satelital	44
5.1.3. Interrupción de la aplicación.....	46
5.1.4. Sistemas de navegación y guía de implementos	46
5.1.5. Aplicadores de dosis variable guiados en forma satelital	51
5.2. Banderillero satelital como guía de pulverizadores, fertilizadoras	53
5.3. Uso en pulverizaciones aéreas.....	54
5.4. Ejemplos del uso del banderillero satelital.....	55
5.4.1. Agricultura de precisión en las plantaciones de banano y plátano en Colombia.....	55
5.4.2. Compactación de suelos en Nueva Zelanda.....	59
5.4.3. Uso de DGPS para mejorar la producción de maíz y la calidad del agua en Nebraska (USA)	60
5.4.4. Fumigación de precisión en Canadá	61
5.4.5. Control de la PAC en Andalucía.....	62
5.4.6. Control de vehículos agrícolas con CDGPS en California.....	62
VI. CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFIA	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aspersora de espalda o mochila.....	7
Figura 2. Esquema de una abonadora neumática.....	9
Figura 3. Segmentos con los que consta un sistema de navegación por satélite.	18
Figura 4. Constelación GPS.....	19
Figura 5. Estaciones monitoras.....	22
Figura 6. Segmento de control.....	23
Figura 7. Segmento de usuario.....	24
Figura 8. GPS de mano.....	30
Figura 9. Receptor GPS situado de forma fija.....	31
Figura 10. Paso 1 de la triangulación.....	35
Figura 11. Paso 2 de la triangulación.....	36
Figura 12. Paso 3 de la triangulación.....	36
Figura 13. Circulo de la agricultura de precisión.....	42
Figura 14. Determinación de los puntos A-B.....	45
Figura 15. Trazo de líneas paralelas.....	45
Figura 16. Los giros.....	45
Figura 17. Equipo aéreo con pantalla digital.....	54
Figura 18. Mapa de aplicación realizada con avión.....	55

INDICE DE TABLAS

CUADRO 1. Opciones de cabecera.....	50
-------------------------------------	----

I. INTRODUCCION

Es casi seguro que desde principios de la humanidad, el hombre tuvo la necesidad de conocer el entorno en el cual se movía y del que obtenía sus satisfactores vitales. Al principio, quizá era suficiente con tomar algunas referencias de ciertos rasgos sobresalientes del terreno, si asumimos que la competencia por los espacios era escasa y las distancias recorridas eran pequeñas.

Durante siglos la astronomía de posición jugó un papel determinante en los posicionamientos a grandes distancias y la navegación, en los últimos treinta años los métodos de posicionamiento satelital han venido no solo a tomar su lugar, sino el de otros métodos de posicionamiento más específicos.

La aplicación de agroquímicos a un cultivo debe hacerse, para que sea efectivo, uniforme en su dosis exacta ya que de lo contrario se puede causar daño al cultivo, obtener un bajo control o no obtener ningún beneficio, con las implicaciones económicas y ecológicas que lo conlleva. Por eso es necesario calibrar correctamente y conocer los accesorios y equipos de aplicación que se van a utilizar. El uso inadecuado de estos venenos sin dudas trae aparejados efectos negativos comprobados.

Ya que esto es un gran problema para el medio ambiente, la tecnología ha avanzado tanto que ya existe este método llamado banderilleo satelital (aplicación de agroquímicos con GPS).

Tomando en cuenta y racionalizando estos puntos, es urgente planear seriamente objetivos de conciencia en la forma de explotación y uso de los agroquímicos, y así poder combatir problemas ambientales.

1.1 Importancia y justificación

El interés de elaborar un trabajo de este tipo es el de contar con una guía de consulta rápida y actualizada para dar a conocer la utilización del sistema de posicionamiento global (GPS) en la aplicación de agroquímicos, así como también el correcto manejo de este sistema.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- recopilar, ordenar y difundir información sobre la aplicación de agroquímicos con el uso del GPS.

1.2.2. Objetivos particulares

- Recopilar información general sobre la aplicación de agroquímicos con el uso de GPS para los alumnos de nuestra universidad especialmente para los de la carrera de IMA.

- Utilización de la recopilación bibliográfica como material de apoyo para la docencia en el Departamento de Maquinaria Agrícola.

II. ANTECEDENTES HISTORICOS DE LAS PULVERIZADORAS

El primer rociador sin necesidad de potencia humana se invento en 1887. Era un rociador de tracción, que recibía la potencia de sus ruedas y arrastradas por los caballos.

Los primeros rociadores y espolvoreadores para operarse con motor de gasolina aparecieron en 1890. En 1911, se empezaron a usar el regulador de presión y la cámara de aire, para obtener un roció continuo y bien distribuido.

En 1944, entraron en el mercado espolvoreadores con aditamentos para inyectar agua en el polvo. Con este proceso se facilito que el polvo se pegara alas hojas secas. En 1944 también aparecieron rociadores de baja presión y poco volumen.

En 1951, se fabricaron 407,000 rociadores mecánicos que fueron doce veces más que los producidos en 1941; también se fabricaron 110,000 espolvoreadores mecánicos, nueve veces la producción de 1941.

Partiendo de los rociadores se usaron consecutivamente en las hortalizas cultivos mayores, y luego para el ganado.

En 1955, había 132 modelos de rociadores, fabricados por 33 compañías diferentes. La rociada es una operación muy importante en los campos agrícolas.

Podemos dividir en 3 grupos las maquinas que se usan para aplicarse insecticidas, herbicidas, fungicidas y desfoliadores tomando como base el vehiculo usado, es decir, si se transporta la sustancia química alas plantas en forma liquida de gas. (Juan Martín Acosta 2003).

Los primeros pulverizadores se emplearon para aplicar fungicidas que combatieron diversas enfermedades de los viñedos, cerca de Burdeos (Francia).

Hacia 1900 surgieron pulverizadores accionados por motor de gasolina. Pero no comenzaron a emplearse montados sobre el tractor hasta varios años después de aparecer, en 1925, tractores para el cultivo en líneas.

A principios de los años 40 comenzaron a emplearse aviones para aplicar pulverizaciones. (Smith A. E. 1979)

2.1. Equipos pulverizadores y espolvoreadores

El problema que presenta el control de las plagas y enfermedades de las plantas hace necesario para un gran porcentaje de agricultores, incluir entre sus maquinas agrícolas un equipo para aplicar insecticidas y fungicidas tanto de forma líquida como en polvo. (Smith A. E. 1979)

2.2. Función de un pulverizador

La función principal de un pulverizador, esta en desintegrar el líquido en gotitas de tamaño efectivo y distribuir las uniformemente sobre la superficie o espacio a proteger. Otra de sus funciones consiste en regular la cantidad de insecticida para evitar una dosis excesiva que resultaría dañina para el cultivo o, en todo caso, derrochadora, por innecesaria. (Smith A. E. 1979)

2.2.1. Tipos de pulverizadores

Existe un tipo de pulverizador adecuado para cada uso. Así, los hay para el hogar, para el jardín, para plantaciones frutales y para cultivos herbáceos. Los de tipo jardín se accionan manualmente, pero los de plantaciones y cultivos extensivos son accionados por motor. (Smith A. E. 1979)

Pulverizadores accionados por motor

Esta expresión se aplica a los pulverizadores accionados por motores eléctricos o de combustión interna. Pueden funcionar con un motor de gasolina de potencia adecuada, o ser accionados por el motor del tractor.

Pulverizadores hidráulicos

La mayoría de las pulverizadoras a motor que se emplean en la actualidad son de tipo hidráulico, en los cuales la presión se logra por la acción directa de la bomba sobre el líquido. Esta presión obliga al líquido a pasar por las boquillas que lo disgregan en gotitas de tamaño adecuado y lo dispersan.

Pulverizadores hidroneumáticos

El líquido a pulverizar se lleva en un depósito a presión producida por un compresor de aire accionado por un motor. El líquido por tanto, no pasa por ninguna bomba, ni esta en contacto con piezas móviles.

Pulverizadores nebulizadores

Estos pulverizadores, son relativamente nuevos y han surgido para aplicar pesticidas en forma concentrada. Con ellos se lograra un ahorro importante de los gastos de mano de obra, ya que la cantidad necesaria de agua, como diluyente, disminuye entre el 20 y el 80%.

Pulverizadores generadores de aerosoles

Estas maquinas dispersan el producto a pulverizar en forma de gotitas extraordinariamente pequeñas (1-5 micras de diámetro) que permanecen flotando en el aire durante un considerable periodo de tiempo.

(Smith A. E. 1979)

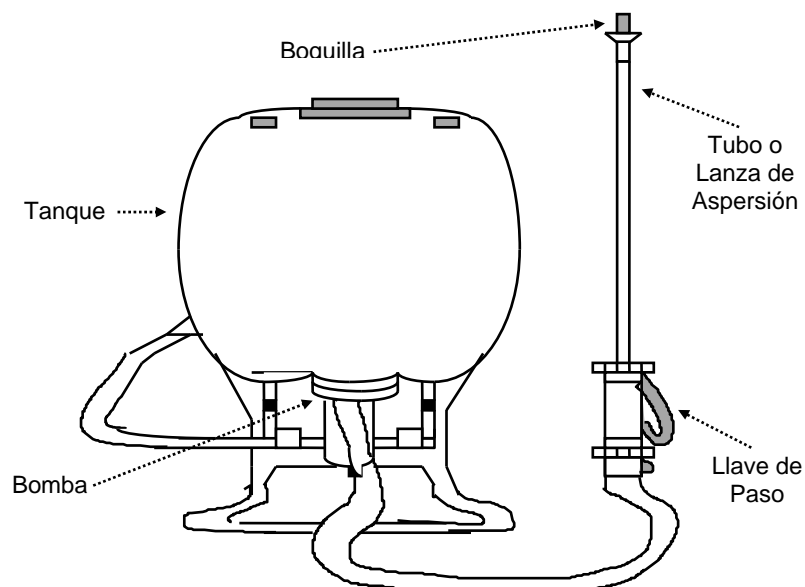
Pulverizador de mochila

El pulverizador de mochila es un aparato de indudable utilidad en pequeñas explotaciones, aunque nunca conseguirá labores y tratamientos tan perfectos como los de tracción mecánica.

Durante el trabajo va sujeto con unas correas en la espalda de operario que lo maneja y este es el que se encarga de transportarlo, accionar su bomba y dirigir el chorro de producto. Aunque no es un aparato técnicamente avanzado puede realizar tratamientos en cultivos bajos en líneas o realizar pulverizaciones localizadas (Ver fig. 1).

(Antonio Laguna Blanca.1999)

Fig. 1 - Aspersora de Espalda o Mochila



2.3 Abonadoras

Los abonos se aplican a los suelos agrícolas para aumentar esta cantidad disponible de nutrientes para las plantas (principalmente nitrógeno, fósforo y potasio). Su distribución uniforme y emplazamiento adecuado en el suelo se han hecho cada vez más importantes, en el sentido de producir la máxima respuesta en el cultivo al mínimo costo.

2.3.1 Tipos de abonadoras para fertilizantes sólidos

La tarea de una máquina abonadora consiste en aplicar los fertilizantes minerales lo más uniforme y exactamente posible en una superficie determinada.

Se distinguen tres tipos de abonadoras:

- **Distribuidoras por gravedad:** la anchura de la máquina corresponde generalmente a la anchura de distribución; el abono cae al suelo por efecto de la gravedad. Son aptas para abonos granulados o pulverulentos.

- **Distribuidoras centrifugas:** la anchura de aplicación es mucho mayor que la de la máquina; el abono es proyectado mecánicamente sobre el terreno. Resultan adecuadas para abonos granulados.

- **Distribuidoras neumáticas:** el producto es arrastrado por una corriente de aire a presión a lo largo de una barra o rampa con boquillas; la anchura de aplicación es aproximadamente la de la barra distribuidora. Puede distribuir cualquier tipo de abonos incluyendo los pulverulentos (ver fig. 2). (J. Ortiz Cañabate.1995).

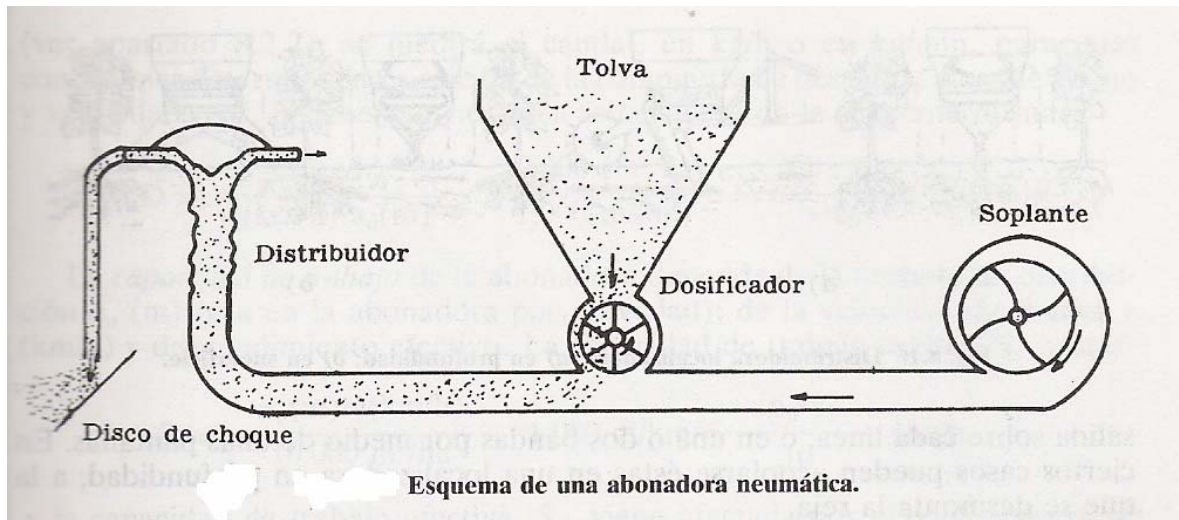


Fig. 2 – Esquema de una abonadora neumática

III. EL GPS

El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema de posicionamiento por satélites, diseñado originalmente para apoyar los requerimientos de navegación y ubicación geográfica con fines militares, diseñado por el departamento de defensa de los estados unidos y el cual actualmente es una importante herramienta para aplicaciones de navegación y determinaciones de sitio con finalidad de carácter civil en tierra, mar y aire.

La tecnología GPS, que nació para el ámbito militar, se ha revelado en la actualidad como una fuente inagotable y creciente de aplicaciones civiles, siendo una de ellas la Agricultura.

Desde el 27 de Abril de 1995 es completamente operacional lo que significa que el sistema puede ser usado para determinar la posición de un receptor 24 horas al día, en cualquier lugar de la tierra. El sistema fue concebido originalmente como un auxiliar para la navegación en el seno de las fuerzas militares de los Estados Unidos y se introdujo un error en los relojes de los satélites para su utilización exclusiva. Actualmente, utilizando una señal auxiliar, perfectamente definida se calcula el error y puede ser utilizado también para fines industriales, comerciales y civiles. El servicio está disponible, en forma gratuita, las 24 horas del día y bajo cualquier condición meteorológica, aunque la señal auxiliar no siempre es accesible gratuitamente.

Todas estas técnicas pueden ser utilizadas en jardinería, según los casos. En primer lugar, la conducción semiautomática: siguiendo la barra de luces o utilizando el sistema de dirección asistida. Permite operaciones extensas tales

como siega de céspedes, tratamientos fitosanitarios o siembras que, según el tamaño de la parcela, conseguirán una economía de medios y una precisión en el seguimiento de contornos, minimizando el solapamiento.

La cantidad de procedimientos que se pueden elegir para llevar a cabo una labor determinada de forma semiautomática se adaptan a la morfología de las parcelas a trabajar, consiguiendo evitar repeticiones y solapamientos, lo que redundará en beneficio tanto económico como medioambiental. (Arnulfo Gustavo de León Ramírez.1998)

3.1. El receptor GPS

La mayoría de los receptores GPS actuales tienen la posibilidad, como valor añadido, de guardar en memoria la información digitalizada de mapas, planos de calles de ciudades, red de carreteras y otras prestaciones que puede mostrar gráficamente en su pantalla con un alto nivel de detalle. Una vez que conocemos las coordenadas de nuestra posición es posible ampliar o reducir la escala de los mapas para poder orientar mejor o seleccionar el camino más corto hasta nuestro destino.

Si usted es de las personas que se desorientan y extravían con facilidad cuando intenta llegar hasta un sitio cualquiera que no conoce, con un receptor GPS le será prácticamente imposible perderse aunque se encuentre en medio de una gran ciudad desconocida, una carretera solitaria, un descampado, el océano, el desierto o volando en un avión particular. En todo momento el receptor GPS muestra las coordenadas del punto donde éste se encuentra situado durante todo el tiempo que se encuentre funcionando y, además, bajo cualquier tipo de condiciones climatológicas que le rodee.

Por otra parte, ya no es necesario cargar con un montón de mapas a la hora de realizar un viaje, pues si el vehículo en que vamos a viajar lleva instalado un receptor GPS, se podrá seguir en su pantalla el trazado del recorrido que va siguiendo, la velocidad de desplazamiento y el tiempo que demora o demorará en trasladarse de un punto a otro.

Para que el receptor GPS realice todas esas operaciones sólo será necesario introducirle de antemano las coordenadas de los diferentes puntos de la ruta que se pretende seguir. Los receptores fijos que están dotados con esta posibilidad, así como algunos portátiles, permiten introducir en su memoria las coordenadas de diferentes puntos de interés. De esa forma se puede organizar el trazado completo de una ruta, la que una vez introducida en la memoria se podrá reutilizar otra vez en cualquier momento que se necesite. Así sólo será necesario indicarle al receptor GPS el trayecto que queremos recorrer y éste se encargará de guiarnos, mostrándonos las vías más idóneas, así como las distancias existentes entre un punto y otro a medida que nos desplazamos por la carretera.

Actualmente se fabrican receptores GPS que muestran directamente mapas de un área determinada. Otros aceptan también memorias conteniendo mapas detallados, incluso de ciudades, que le indican al usuario la forma de encontrar una dirección mientras conduce un vehículo. (Arnulfo Gustavo de León Ramírez.1998)

3.2. GPS diferencial

El GPS Diferencial introduce una mayor exactitud en el sistema. Ese tipo de receptor, además de recibir y procesar la información de los satélites, recibe y procesa, simultáneamente, otra información adicional procedente de una estación

terrestre situada en un lugar cercano y reconocido por el receptor. Esta información complementaria permite corregir las inexactitudes que se puedan introducir en las señales que el receptor recibe de los satélites. En este caso, la estación terrestre transmite al receptor GPS los ajustes que son necesarios realizar en todo momento, éste los contrasta con su propia información y realiza las correcciones mostrando en su pantalla los datos correctos con una gran exactitud.

El margen de error de un receptor GPS normal puede estar entre los 60 y los 100 metros de diferencia con la posición que muestra en su pantalla. Para un desplazamiento normal por tierra 100 metros de diferencia no debe ocasionar ningún problema, pero para realizar la maniobra de aterrizaje de un avión, sobre todo si las condiciones de visibilidad son bajas, puede llegar a convertirse en un desastre. Sin embargo, el GPS Diferencial reduce el margen de error a menos de un metro de diferencia con la posición indicada.

El único inconveniente del GPS Diferencial es que la señal que emite la estación terrestre cubre solamente un radio aproximado de unos 200 kilómetros. No obstante ese rango es más que suficiente para realizar una maniobra de aproximación y aterrizaje de un avión a un aeropuerto.

Existen también receptores GPS mucho más sofisticados que funcionan recibiendo múltiples señales de radiofrecuencia. En esos dispositivos el margen de error no sobrepasa los 25 centímetros.

3.3. Historia y Cronología

El GPS surgió debido a la necesidad de las fuerzas armadas de tener un sistema de navegación preciso y que funcionara en aplicaciones diversas. El desarrollo de la tecnología de GPS descansa en progresos en ciencias físicas, en la electrónica, en ciencias de materiales y en muchas otras, pero fue el desarrollo de dispositivos extremadamente precisos para medir el tiempo - relojes atómicos, junto con progreso en la tecnología espacial, que en realidad hicieron posible el GPS. Relojes precisos son esenciales porque el GPS depende en el cronometraje del tiempo que toma a señales de los satélites llegar a los receptores en la tierra para determinar la posición, y los tiempos de viaje de estas señales son extremadamente cortos (mas detalles siguen).

Principios de la II Guerra Mundial – LORAN, el primer sistema de navegación basado en la llegada diferenciada de señales de radio desarrollado por el laboratorio de Radiación de MIT. LORAN fue también el primer sistema de posicionamiento capaz de funcionar bajo cualquier condición climatológica pero es solamente bidimensional (latitud y longitud).

1959 TRANSIT, el primer sistema operacional basado en satélites, fue desarrollado por Johns Hopkins (Laboratorio de Física Aplicada) bajo el Dr. Richard Kirschner. A pesar de que la intención de TRANSIT era dar soporte a la flotilla de la marina de Estados Unidos, las tecnologías empleadas para el sistema demostraron ser útiles para el sistema de posicionamiento global (GPS).

El primer satélite fue lanzado en 1959. . El sistema Transit estaba constituido por una constelación de seis satélites en órbita polar baja, a una altura de 1074 Km. Tal configuración conseguía una cobertura mundial pero no constante.

La posibilidad de posicionarse era intermitente, pudiéndose acceder a los satélites cada 1.5 h. El cálculo de la posición requería estar siguiendo al satélite durante quince minutos continuamente.

1960 El primer sistema de posicionamiento de tres dimensiones es sugerido por Raytheon Corporation en necesidad de la fuerza aérea.

1963 La compañía aeroespacial lanzó un estudio en la utilización de un sistema espacial para el sistema de navegación para los vehículos en movimiento a gran velocidad y tres dimensiones; esto los llevó directamente al concepto de GPS. El concepto involucraba medir los tiempos de llegada de las señales de radio transmitidas por los satélites cuyas posiciones eran bien conocidas. Esto proporcionaba la distancia al satélite cuya posición era conocida que a la vez establecía la posición del usuario.

1963 La fuerza aérea da apoyo a este estudio bautizándolo Sistema 621B.

1964 Timation, un sistema satelita, Naval es desarrollado por Roger Easton en los laboratorios de investigación Naval para el desarrollo de relojes de alta estabilidad, capacidad de transferencia de tiempo y navegación en dos dimensiones.

1968 El departamento de defensa de los Estados Unidos establece un comité llamado NAVSEG (Navigation Satellite Executive Comité) para coordinar los esfuerzos de diversos grupos de navegación satelital.

1971 El sistema 621B es probado por la fuerza aérea dando resultados de una precisión de centésimas de milla.

1973 El secretario de la defensa decide que los diferentes sistemas de navegación que se estaban creando, se unificaran y crearon un solo y robusto sistema de navegación.

1974 Junio. Rockwell international fue contratado como proveedor de los satélites GPS.

1974 Julio 14. El primer satélite de NAVSTAR fue lanzado y se planificó tener la constelación completa ocho años después. Unido a varios retrasos, el desastre de la lanzadera Challenger paró el proyecto durante tres años.

1978 El primer block de satélites fue lanzado. Un total de 11 satélites fueron lanzados entre 1978 y 1985. Un satélite fue perdido debido a una falla de lanzamiento.

1982 DoD decide reducir la constelación de satélites de 24 a 18.

1983 Después de la caída de una Unión Soviética, el gobierno de Estados Unidos informa que el sistema GPS podrá ser utilizado por las aeronaves civiles.

1988 El secretario de las Fuerzas Aéreas anuncia la expansión de la constelación de GPS de 18 a 21 satélites y tres repuestos.

1989 El primero del un block de 28 satélites es lanzado en Cabo Cañaveral, Florida.

1990 Dod Activa SA – una degradación en la exactitud del Sistema de forma planeada. El sistema es probado en la guerra del Pérsico.

1991 El gobierno ofrece el sistema de GPS a la comunidad internacional sin costo durante los siguientes 10 años.

1993 El gobierno declara el sistema formalmente funcionado con sus 24 satélites en órbita.

1995 El gobierno de Estados Unidos, Bill Clinton se compromete mediante una carta a la ICAO a proveer las señales de GPS a la comunidad internacional.

(Ramiro Jesús Ayala Arizpe. Historia, cronología y aplicación del GPS a través de tres décadas. homepages.mty.itesm.mx)

3.4. Configuración del sistema

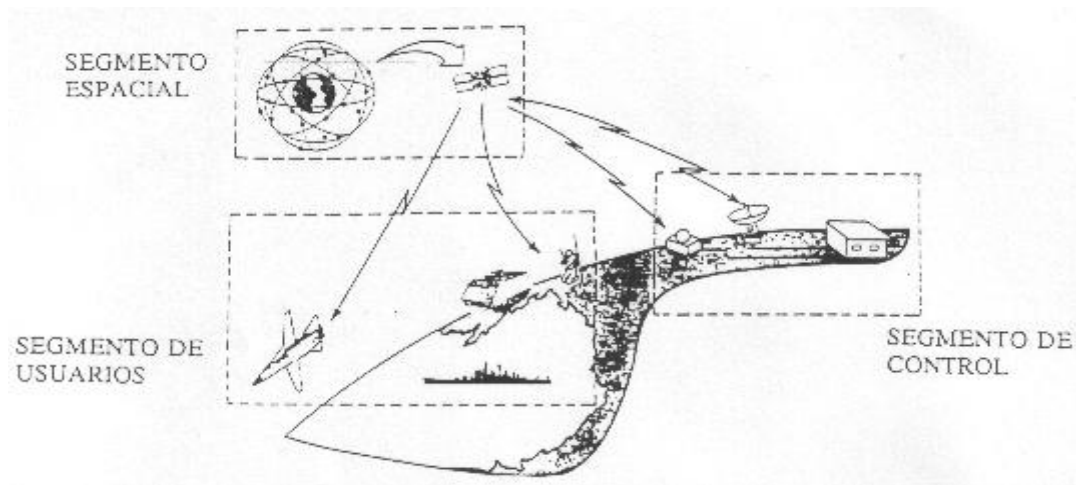
Todos los sistemas de navegación por satélite constan de tres subsistemas o segmentos, con diferentes trabajos y responsabilidades (ver fig. 3).

a) El segmento espacial: constituido por los satélites.

b) El segmento de usuarios: formado por los receptores

c) El segmento de control: el cerebro del sistema, cuya misión es el seguimiento y control de los satélites, así como el cálculo de los datos sobre el movimiento del satélite y su posterior transmisión a los usuarios a través de los propios satélites. (Historia del GPS. <http://www.geocities.com>)

Fig. 3 – segmentos con los que consta un sistema de navegación por satélite.



3.4.1 Segmento de espacio

Los satélites se clasifican en dos grupos:

Los geoestacionarios: permanecen en un punto fijo respecto a la superficie terrestre, a unos 36000 Km. de altura, siguiendo órbitas circulares en el plano ecuatorial.

-Los no geoestacionarios: recorren órbitas elípticas respecto al centro de la Tierra, que forman un ángulo con el plano ecuatorial.

En el sistema NAVSTAR GPS se utilizan satélites no geoestacionarios, ya que recorren todos los puntos de la superficie terrestre, pero sus órbitas deben ajustarse para obtener una cobertura global, es decir, que en cualquier punto se vean un número mínimo de satélites con una duración y periodicidad aceptable para permitir en recepción el cálculo de su posición con una precisión determinada.

El segmento espacial del NAVSTAR GPS es una constelación de satélites in órbitas semisíncronas alrededor de la Tierra. El contingente total de satélites GPS está en seis planos orbitales, con tres o cuatro satélites en cada plano. Para conseguir la capacidad de operación completa se requieren 24 satélites en la constelación, aunque puede haber más.

Los planos orbitales de los satélites tienen una inclinación de 55 grados respecto al ecuador, y una altitud de 20.000 Km. Los satélites típicamente completan una órbita en aproximadamente 12 horas. Específicamente, hay una diferencia de cuatro minutos por día entre el tiempo de órbita del satélite y el de rotación de la Tierra. Los satélites están posicionados de tal forma que normalmente hay un mínimo de cinco *a la vista* (en uso) para un usuario en cualquier sitio donde esté y en cualquier momento. El término *a la vista* significa que la emisión radio de un satélite se reciba por cualquier usuario debidamente equipado. La constelación fue diseñada para asegurar disponibilidad continuada (ver fig. 4).

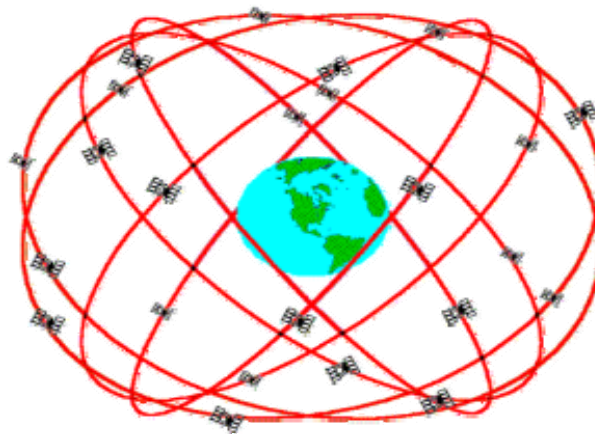


Fig. 4 - Constelación GPS.

Los primeros satélites GPS, también llamados Vehículos Espaciales (SVs), fueron denominados satélites de tecnología de navegación Block cero números 1 y 2.

Estos satélites se reutilizaron del sistema Timation y fueron los portadores de los primeros relojes atómicos lanzados al espacio.

Los satélites experimentales Block cero funcionaron sólo por un corto espacio de tiempo, sin embargo probaron el concepto de medida del tiempo utilizando señales de espectro ensanchado y el tiempo exacto derivado de los relojes atómicos.

Siguiendo con los satélites experimentales vienen los vehículos espaciales Block I. Algunos de estos satélites fallaron, bien en el lanzamiento o debido al deterioro de su reloj atómico. La mayoría permanecieron en órbita y continuaron dando servicio. Debido al requerimiento de capacidad de operación total, los satélites Block I fueron quitados de servicio.

Los vehículos espaciales Block II siguieron a los Block I en el servicio. Difieren físicamente de los Block I en forma y peso e incorporan diseños que afectan a la seguridad e integridad.

Las mejoras incluidas en los SV Block II fueron:

- Elementos electrónicos para mejorar la seguridad y supervivencia.
- Capacidades de disponibilidad selectiva (SA) total y anti-spoofing(AS) para proporcionar mayor seguridad.
- Detección automática de ciertas condiciones de error y conmutación a código de transmisión no estándar o por defecto mensaje de navegación (NAV-msg) para maximizar la integridad del sistema.

El primer SV's Block II, SVN 14, se lanzó en Febrero de 1989 y estuvo operativo en Abril del mismo año. Los satélites Block II del 22 en adelante tienen la capacidad adicional de poder operar durante 180 días sin contacto o intervención desde la Tierra. Esto fue un incremento importante ya que los Block II anteriores sólo podían estar como máximo 3.5 días sin contacto. Las versiones de mayor grado se llamaron satélites Block IIA.

En 1989, se anunció la construcción de 20 satélites para sustituir a los anteriores, se llamaron Block IIR.

Los vehículos espaciales Block IIR proporcionaron un interfaz idéntico de señales en el espacio que los Block II y IIA, sin embargo bajo un escenario de supervivencia, los Block IIR son capaces de una navegación autónoma y pueden generar sus propios mensajes de navegación, cosa que las versiones anteriores no podían hacer. Esta nueva capacidad permitía a los SV's Block IIR mantener la precisión total del GPS sin el control desde Tierra.

Una segunda mejora adicional de los Block IIR es que se permite su reprogramación en órbita, lo que da un mayor grado de flexibilidad. Además de esto incluyen relojes atómicos de rubidio frente a los de cesio, esto hace que proporcionen la extrema precisión en tiempo necesaria en los servicios de posicionamiento del GPS. (Historia del GPS. <http://www.geocities.com>)

3.4.2. Segmento de control

El segmento de control está compuesto por:

- Una estación maestra de control (MCS) situada en la base aérea Falcon en Colorado Spring,

- Cinco estaciones monitoras (MS) situadas en Hawai, Kwajalein, Diego García, Ascensión y Colorado Spring. Se está considerando poner otra estación monitora en la estación aérea de Cabo Cañaveral (ver fig. 5).

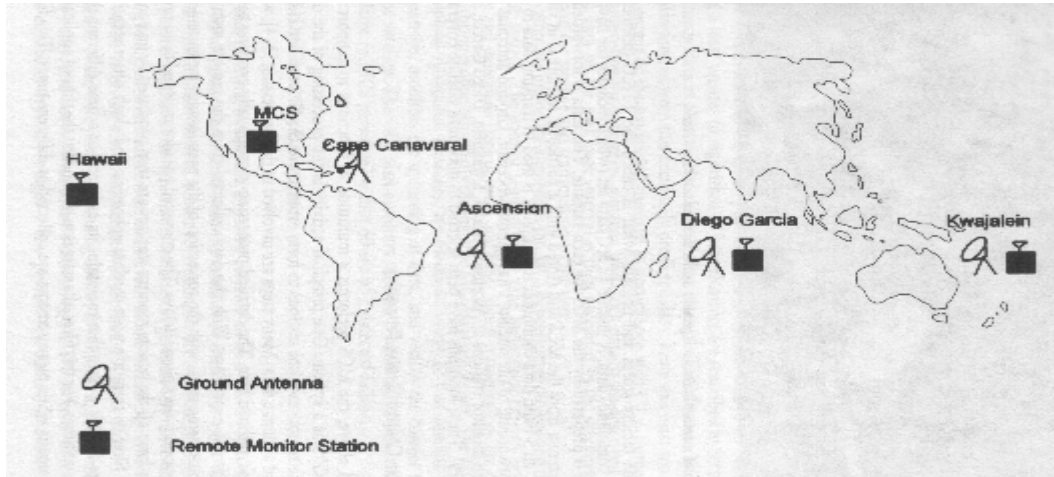


Fig. 5 – estaciones monitoras

La estación maestra de control es la central de procesamiento del GPS y está funcionando 24 horas al día los 7 días de la semana. Sus funciones son seguimiento, monitorización y manejo de la constelación de satélites GPS además de actualizar el mensaje de navegación.

Las estaciones monitoras son unos receptores radio muy precisos localizadas en posiciones determinadas con mucha precisión. Su función es el seguimiento pasivo de los satélites GPS que tiene a la vista, más de 11 simultáneamente, y obtiene la información necesaria para calcular con gran precisión las órbitas de los satélites.

Las estaciones monitoras hacen un pequeño procesamiento de datos, o mejor dicho, envían a la estación maestra de control sus medidas y observaciones de mensajes de navegación. La información la procesa la MCS para estimar y

predecir las efemérides y parámetros de reloj de los satélites. Efemérides se refiere a los parámetros de localización y órbita exactos de un satélite, es decir, sus datos de seguimiento. Con esto se puede calcular la posición de un satélite con un error menor de 1 m. en sentido radial, 7 m. en la de la trayectoria y 3 m. en la dirección perpendicular a la misma. Utilizando esta información la estación maestra envía periódicamente a cada satélite, efemérides y datos de reloj actualizados en los mensajes de navegación.

La información actualizada se envía a los satélites vía antenas de Tierra (GAs), que también se utilizan para enviar y recibir información de control del satélite. Todas las estaciones monitoras excepto Hawaii y Colorado Spring están equipadas con antenas de Tierra. Las otras tres también se llaman estaciones “Up-link” (ver fig. 6).

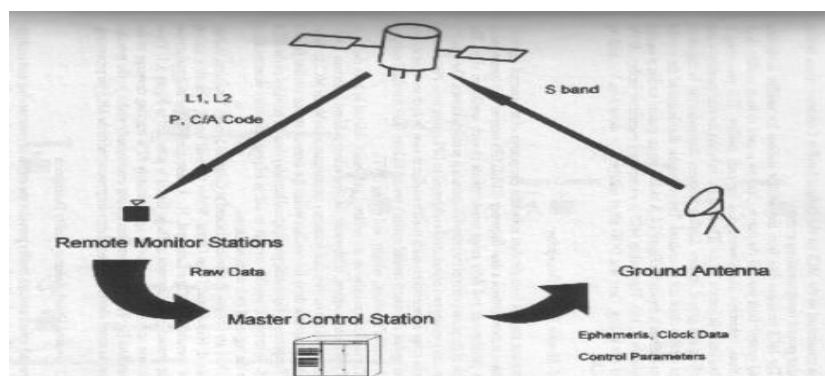


Fig. 6 - segmento de control

3.4.3. Segmento de usuario.

El segmento de usuario es el consumidor final del GPS y consiste en una variedad de receptores/procesadores civiles y militares específicamente diseñados para recibir o sintonizar la señal emitida por los satélites, decodificar el

mensaje de navegación, medir los tiempos de retardo y procesar los códigos y mensajes de navegación que envía el satélite GPS.

El GPS fue diseñado para dos niveles de usuarios, los que usan el Servicio de Posicionamiento Estandar /Standard Positioning Service (SPS) y los que utilizan el Servicio de Posicionamiento Preciso /Precise Positioning Service (PPS). En generales.

El PPS está reservado para uso militar

El SPS para otros usos.

Las diferencias actuales entre el servicio de posicionamiento estándar y el preciso es la precisión conseguida. Debido al gran potencial para aplicaciones especializadas y variadas, el equipamiento de usuario puede variar significativamente en su diseño y función.

La estructura general de un equipo de usuario consta de los siguientes bloques funcionales (fig. 7):

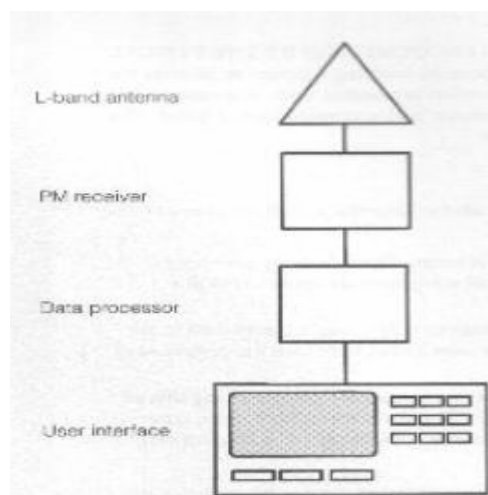


Fig. 7 – segmento de usuario

- Una antena en banda L, para recibir la señal transmitida por el satélite. Tiene cobertura semiesférica y suele incluir un amplificador de bajo ruido para permitir un cable de recepción largo sin degradar la sensibilidad del sistema.
- Un radio receptor PM (fase modulada). Traslada la señal a FI y realiza el procesamiento de la señal que fundamentalmente consiste en filtrado de la señal, demodulación del mensaje de navegación en dos lazos de enganche a la portadora y el código recibido.
- La unidad de control o interfaz de usuario. Permite la comunicación entre el usuario y el microprocesador. A través de ella se le suministran datos tales como: posición y velocidad aproximada, tipo de presentación deseada, etc. En algunos casos a través de este interfaz se puede integrar el equipo con otros sistemas de navegación.
- El microprocesador controla toda la operación del receptor y realiza el procesamiento de software requerido.

(Historia del GPS. <http://www.geocities.com>)

3.5. Usos para el GPS

Enumerar todas las aplicaciones para el GPS sería una labor imposible. Seguido se dan solo algunos ejemplos de aplicaciones de GPS en el mundo moderno como son los siguientes:

3.5.1. Agricultura

La navegación por satélite puede ayudar a los agricultores a aumentar su producción y a mejorar la eficiencia de sus métodos de cultivo. Sistemas de GPS

ubicados en los tractores y en otros vehículos agrícolas, junto con sofisticados sistemas de información geográficos utilizan varios métodos para recoger datos sobre las condiciones del suelo, humedad, temperatura y muchas otras variables. Con esta información, el sistema puede controlar muchos aspectos de la operación agrícola, por ejemplo, la intensidad de siembra por terreno, la aplicación de fertilizantes e insecticidas, los patrones de riego y mucho más. Estos sistemas también pueden ayudar a los agricultores a mantenerse al tanto de la operación de sus fincas, manteniendo registros de rendimiento, historia de aplicación de productos químicos, análisis del suelo, registros de pérdidas y ganancias por terreno, y muchos otros. Aplicaciones modernas de la tecnología GPS también incluyen el posicionamiento y la operación de equipos de agricultura robóticos en el campo. (Juvenal Gutiérrez Castillo y Andrés García Jurado. (2003). www.transferencia.com)

3.5.2. Navegación en tierra y mar

Además de sus usos directos para determinar posición usando sistemas de navegación a bordo, GPS se utiliza para mejorar la precisión de cartas marinas, para guiar sistemas de auto-piloto, para marcar objetos sumergidos como obstrucciones o su sitio favorito de pesca, y para determinar la posición exacta de naves en alta mar. Agencias de socorro y primeros auxilios dependen de sistemas de GPS para reducir el tiempo en tránsito a emergencias. Empresas de fletes y mudadas usan sistemas de GPS para mantenerse al tanto de la ubicación de sus vehículos, para planificar más eficientemente sus horarios de recogidas y entregas, y para determinar las tablas de mantenimiento para los vehículos. El GPS también se está usando para mantenerse al tanto de la posición de

vehículos y otras propiedades móviles, y en sistemas para ayuda directa al motorista como el OnStar .

3.5.3. Usos militares

Además de las aplicaciones más comunes tal como la navegación general, los servicios militares utilizan el GPS en gran variedad de aplicaciones incluyendo dirigir proyectiles y "bombas inteligentes" a sus blancos, para organizar el despliegue de tropas, para la coordinación en el campo y muchas otras. (Juvenal Gutiérrez Castillo y Andrés García Jurado. (2003). www.transferencia.com)

3.5.4. Mapas y agrimensura

El GPS permite la construcción de mapas y cartas más precisas, y es usado rutinariamente por agrimensores para planear proyectos y localizar marcadores catastrales, límites, estructuras, y rasgos naturales.

3.5.5. Ciencias

Las aplicaciones de GPS en las ciencias son innumerables. El GPS es especialmente valioso para investigadores de campo, para construir mapas y localizar sus estaciones de muestreo, para definir límites de hábitculos, para análisis espacial de rasgos naturales, para seguir a poblaciones de animales, y muchas otras. GPS también es usado ampliamente en la sismología, física, ciencias del espacio y en muchas otras ramas de la ciencia. (Juvenal Gutiérrez Castillo y Andrés García Jurado. (2003). www.transferencia.com)

3.5.6. Recreación

GPS es usado por operadores de embarcaciones para mantener el curso y para regresar a sitios favoritos, por ciclistas y naturistas para mantenerse al tanto de

sus posiciones y rutas, y por grupos de viaje para compartir información sobre viajes y rutas. Un nuevo "deporte" es el "geocaching" lo cual es básicamente una búsqueda de tesoros guiada por GPS. Los jugadores utilizan el GPS para viajar a coordenadas geográficas específicas y encontrar objetos escondidos por otros jugadores. (Juvenal Gutiérrez Castillo y Andrés García Jurado 2003. www.transferencia.com)

3.5.7. Referencia de tiempo

GPS se usa frecuentemente como un cronómetro fiable. Por ejemplo, el GPS puede ser usado para sincronizar múltiples instrumentos científicos desplegados en el campo, o para cualquier experimento que requiera sincronización precisa. La tecnología de GPS también se esta usando para sincronizar torres de comunicaciones celulares, redes de telecomunicación y muchas otras. Cronometraje por GPS se usó en las olimpiadas por primera vez en los juegos del 2000. (Juvenal Gutiérrez Castillo y Andrés García Jurado 2003 www.transferencia.com)

3.6. Limitaciones del GPS

El GPS es, sin duda, el más sencillo y preciso sistema de navegación disponible en la actualidad, sin embargo no debe ser el único instrumento de navegación de un vehículo, ya que además poder estropearse, el departamento de defensa de USA puede y ya lo ha hecho en alguna ocasión interrumpir, modificar o degradar las señales cuando lo considere oportuno.

Las señales emitidas por los satélites se comportan, en cierto modo como la luz, ya que pueden traspasar el cristal y el plástico, sin embargo no pasan a través de montañas, túneles, edificios, superficies metálicas o estructuras similares. La

antena de los receptores debe estar orientada de forma que tenga "acceso visual" a los satélites.

En el modo navegación, un receptor GPS indica la distancia que falta para alcanzar un punto de destino en línea recta. Hay que tener en cuenta que en la tierra es prácticamente imposible, incluso en el desierto, seguir una trayectoria recta por largos periodos ya que los accidentes orográficos obligan a variar la dirección con frecuencia. (El sistema GPS. www.clubdelamar.org)

3.7. Composición del sistema GPS

El sistema GPS consta de tres partes principales: los satélites, los receptores y el control terrestre.

El sistema se compone de 24 satélites distribuidos en seis órbitas polares diferentes, situadas a 2 169 kilómetros (11 000 millas) de distancia de la Tierra. Cada satélite la circunvala dos veces cada 24 horas. Por encima del horizonte siempre están "visibles" para los receptores GPS por lo menos 4 satélites, de forma tal que puedan operar correctamente desde cualquier punto de la Tierra donde se encuentren situados.

Por norma general y para mayor exactitud del sistema, dentro del campo visual de cualquier receptor GPS siempre hay por lo menos 8 satélites presentes. Cada uno de esos satélites mide 5 m de largo y pesa 860 Kg. La energía eléctrica que requieren para su funcionamiento la adquieren a partir de dos paneles compuestos de celdas solares adosadas a sus costados. Están equipados con un transmisor de señales codificadas de alta frecuencia, un sistema de computación

y un reloj atómico de cesio, tan exacto que solamente se atrasa un segundo cada 30 mil años.

La posición que ocupan los satélites en sus respectivas órbitas facilita que el receptor GPS reciba, de forma constante y simultánea, las señales de por lo menos 6 u 8 de ellos, independientemente del sitio donde nos encontremos situado. Mientras más señales capten el receptor GPS, más precisión tendrá para determinar las coordenadas donde se encuentra situado.

3.8. Tipos de receptores GPS

Los receptores GPS detectan, decodifican y procesan las señales que reciben de los satélites para determinar el punto donde se encuentran situados y son de dos tipos: portátiles y fijos. Los portátiles pueden ser tan pequeños como algunos teléfonos celulares o móviles. Los fijos son los que se instalan en automóviles o coches, embarcaciones, aviones, trenes, submarinos o cualquier otro tipo de vehículo (ver fig. 8 y fig. 9). (José Antonio E. García Álvarez. Funcionamiento del GPS. www.asifunciona.com)



Fig. 8 - GPS de mano

3.9. Control terrestre de los satélites

El monitoreo y control de los satélites que conforman el sistema GPS se ejerce desde diferentes estaciones terrestres situadas alrededor del mundo, que rastrean su trayectoria orbital e introducen las correcciones necesarias a las señales de radio que transmiten hacia la Tierra. Esas correcciones benefician la exactitud del funcionamiento del sistema, como por ejemplo las que corrigen las distorsiones que provoca la ionosfera en la recepción de las señales y los ligeros cambios que introducen en las órbitas la atracción de la luna y el sol.



Fig. 9 - Receptor GPS situado de forma fija en el salpicadero de un coche o automóvil. A la derecha se puede apreciar el trazado de las calles de la urbanización por las que se desplaza el vehículo en esos momentos.

3.10. Principio del funcionamiento del GPS

Los receptores GPS más sencillos están preparados para determinar con un margen mínimo de error la latitud, longitud y altura desde cualquier punto de la tierra donde nos encontremos situados. Otros más completos muestran también el punto donde hemos estado e incluso trazan de forma visual sobre un mapa la trayectoria seguida o la que vamos siguiendo en esos momentos.

Esta es una capacidad que no poseían los dispositivos de posicionamiento anteriores a la existencia de los receptores GPS.

El funcionamiento del sistema GPS se basa también, al igual que los sistemas electrónicos antiguos de navegación, en el principio matemático de la triangulación. Por tanto, para calcular la posición de un punto será necesario que el receptor GPS determine con exactitud la distancia que lo separa de los satélites.

(Comenzó como una investigación básica. www.nationalacademies.org)

3.10.1. Cálculo de la distancia entre el receptor y los satélites

Como se explicó anteriormente, con la aplicación del principio matemático de la triangulación podemos conocer el punto o lugar donde nos encontramos situados, e incluso rastrear y ubicar el origen de una transmisión por ondas de radio. El sistema GPS utiliza el mismo principio, pero en lugar de emplear círculos o líneas rectas crea esferas virtuales o imaginarias para lograr el mismo objetivo.

Desde el mismo momento que el receptor GPS detecta una señal de radiofrecuencia transmitida por un satélite desde su órbita, se genera una esfera virtual o imaginaria que envuelve al satélite. El propio satélite actuará como centro de la esfera cuya superficie se extenderá hasta el punto o lugar donde se encuentre situada la antena del receptor; por tanto, el radio de la esfera será igual a la distancia que separa al satélite del receptor. A partir de ese instante el receptor GPS medirá las distancias que lo separan como mínimo de dos satélites más. Para ello tendrá que calcular el tiempo que demora cada señal en viajar desde los satélites hasta el punto donde éste se encuentra situado y realizar los correspondientes cálculos matemáticos.

Cuando tiramos una piedra al agua se generan una serie de ondas concéntricas, que se amplían a partir del punto donde ésta cae, de forma similar a como lo hacen las ondas de radiofrecuencia.

Todas las señales de radiofrecuencias están formadas por ondas electromagnéticas que se desplazan por el espacio de forma concéntrica a partir de la antena transmisora, de forma similar a como lo hacen las ondas que se generan en la superficie del agua cuando tiramos una piedra. Debido a esa propiedad las señales de radio se pueden captar desde cualquier punto situado alrededor de una antena transmisora. Las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz, es decir, 300 mil kilómetros por segundo (186 mil millas por segundo) medida en el vacío, por lo que es posible calcular la distancia existente entre un transmisor y un receptor si se conoce el tiempo que demora la señal en viajar desde un punto hasta el otro.

Para medir el momento a partir del cual el satélite emite la señal y el receptor GPS la recibe, es necesario que tanto el reloj del satélite como el del receptor estén perfectamente sincronizados. El satélite utiliza un reloj atómico de cesio, extremadamente exacto, pero el receptor GPS posee uno normal de cuarzo, no tan preciso. Para sincronizar con exactitud el reloj del receptor GPS, el satélite emite cada cierto tiempo una señal digital o patrón de control junto con la señal de radiofrecuencia. Esa señal de control llega siempre al receptor GPS con más retraso que la señal normal de radiofrecuencia. El retraso entre ambas señales será igual al tiempo que demora la señal de radiofrecuencia en viajar del satélite al receptor GPS.

La distancia existente entre cada satélite y el receptor GPS la calcula el propio receptor realizando diferentes operaciones matemáticas. Para hacer este cálculo el receptor GPS multiplica el tiempo de retraso de la señal de control por el valor de la velocidad de la luz. Si la señal ha viajado en línea recta, sin que la haya afectado ninguna interferencia por el camino, el resultado matemático será la distancia exacta que separa al receptor del satélite.

Las ondas de radio que recorren la Tierra lógicamente no viajan por el vacío sino que se desplazan a través de la masa gaseosa que compone la atmósfera; por tanto, su velocidad no será exactamente igual a la de la luz, sino un poco más lenta. Existen también otros factores que pueden influir también algo en el desplazamiento de la señal, como son las condiciones atmosféricas locales, el ángulo existente entre el satélite y el receptor GPS, etc.

Para corregir los efectos de todas esas variables, el receptor se sirve de complejos modelos matemáticos que guarda en su memoria. Los resultados de los cálculos los complementa después con la información adicional que recibe también del satélite, lo que permite mostrar la posición con mayor exactitud. José (Antonio E. García Álvarez 2007. <http://www.asifunciona.com>)

3.10.2. Cómo ubica la posición el receptor GPS

Para ubicar la posición exacta donde nos encontramos situados, el receptor GPS tiene que localizar por lo menos 3 satélites que le sirvan de puntos de referencia.

En realidad eso no constituye ningún problema porque normalmente siempre hay 8 satélites dentro del “campo visual” de cualquier receptor GPS. Para determinar el lugar exacto de la órbita donde deben encontrarse los satélites en un momento

dado, el receptor tiene en su memoria un almanaque electrónico que contiene esos datos.

Tanto los receptores GPS de mano, como los instalados en vehículos con antena exterior fija, necesitan abarcar el campo visual de los satélites. Generalmente esos dispositivos no funcionan bajo techo ni debajo de las copas de los árboles, por lo que para que trabajen con precisión hay que situarlos en el exterior, preferiblemente donde no existan obstáculos que impidan la visibilidad y reduzcan su capacidad de captar las señales que envían a la Tierra los satélites. El principio de funcionamiento de los receptores GPS es el siguiente:

Primero: cuando el receptor detecta el primer satélite se genera una esfera virtual o imaginaria, cuyo centro es el propio satélite. El radio de la esfera, es decir, la distancia que existe desde su centro hasta la superficie, será la misma que separa al satélite del receptor. Éste último asume entonces que se encuentra situado en un punto cualquiera de la superficie de la esfera, que aún no puede precisar (ver fig. 10).

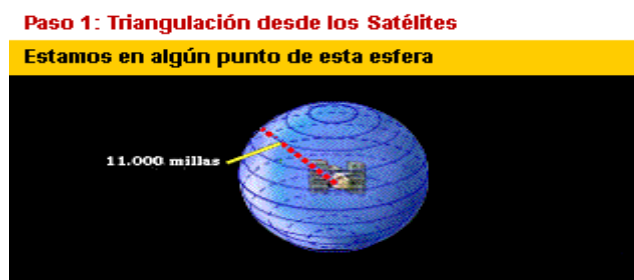


Fig. 10 – paso 1 de la triangulación. Pedro gutovnik. (2001)

Segundo: al calcular la distancia hasta un segundo satélite, se genera otra esfera virtual. La esfera anteriormente creada se superpone a esta otra y se crea un anillo imaginario que pasa por los dos puntos donde se interceptan ambas esferas

(ver fig. 11). En ese instante ya el receptor reconoce que sólo se puede encontrar situado en uno de ellos.



Fig. 11 – paso 2 de la triangulación. Pedro gutovnik. (2001).

Tercero: el receptor calcula la distancia a un tercer satélite y se genera una tercera esfera virtual. Esa esfera se corta con un extremo del anillo anteriormente creado en un punto en el espacio y con el otro extremo en la superficie de la Tierra. El receptor discrimina como ubicación el punto situado en el espacio utilizando sus recursos matemáticos de posicionamiento y toma como posición correcta el punto situado en la Tierra (ver fig. 12).

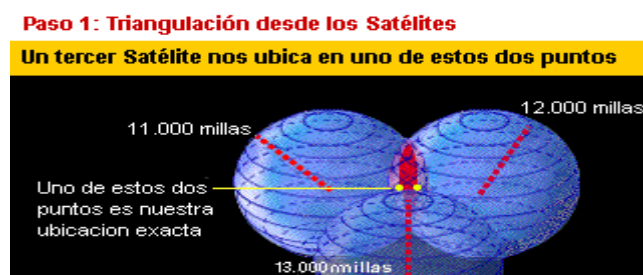


Fig.12- paso 3 de la triangulación. Pedro gutovnik. (2001).

Cuarto: una vez que el receptor ejecuta los tres pasos anteriores ya puede mostrar en su pantalla los valores correspondientes a las coordenadas de su posición, es decir, la latitud y la longitud.

Quinto: para detectar también la altura a la que se encuentra situado el receptor GPS sobre el nivel del mar, tendrá que medir adicionalmente la distancia que lo separa de un cuarto satélite y generar otra esfera virtual que permitirá determinar esa medición.

Si por cualquier motivo el receptor falla y no realiza las mediciones de distancias hasta los satélites de forma correcta, las esferas no se interceptan y en ese caso no podrá determinar, ni la posición, ni la altura.

(José Antonio E. García Álvarez 2007. <http://www.asifunciona.com>)

3.11. GPS en México

En nuestro país, las observaciones con este sistema se iniciaron desde 1985 en el CICESE, apoyando estudios de deriva continental en el golfo de California.

Para 1993, el INEGI inició la operación de 14 estaciones de GPS permanentes con la denominación "Red Geodésica Nacional Activa" en apoyo al proyecto PROCEDE.

En 1998, la UAM obtuvo financiamiento por parte del Conacyt para la compra e instalación de 10 ó 12 equipos GPS permanentes en las costas de Guerrero y Michoacán. También la U. de G., en colaboración con colegas estadounidenses, ha tomado esta herramienta como clave en la consecución de sus objetivos de estudio en la geodinámica del territorio nacional.

Sin embargo, abunda, actualmente en México no se cuenta con una red apropiada del sistema GPS. Estamos buscando convencer a las diversas

autoridades (científicas, políticas y administrativas) de que su uso extensivo redundaría en un crecimiento económico para el país.

(Laura A. Ruiz. GPS, una herramienta para la investigación y la vida diaria.

<http://gaceta.cicese.mx>)

IV. AGRICULTURA DE PRECISIÓN

4.1. Definición

Agricultura de precisión es el término utilizado para describir la meta del aumento de la eficiencia en la administración de la Agricultura. Es una tecnología en desarrollo que modifica las técnicas existentes e incorpora otras nuevas para producir un nuevo conjunto de herramientas a ser manejadas por el usuario.

Por tanto, la Agricultura de precisión no es simplemente la habilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local, sino que debe ser considerada como la habilidad para controlar con precisión y asignar la empresa agrícola a un nivel local y de granja, así como de tener los conocimientos suficientes para entender todos los procesos relacionados, de modo que puedan aplicarse los resultados obtenidos para lograr una meta determinada.

En cuanto a la historia relacionada con la Agricultura de precisión, los pilares de la misma se asentaron en los años '70, cuando el Departamento de Defensa Americano comenzó a lanzar los Satélites de Posicionamiento Global (GPS) para ayudar a las piezas de artillería a apuntar a sus blancos y a los submarinos a localizar su posición. Hoy en día estos satélites son también accesibles para cuestiones civiles, pero por razones de seguridad las señales así recibidas son distorsionadas, de modo que el error obtenido en la posición puede resultar inadmisibles, como es en el caso de su empleo en la agricultura. Por esto un sistema de corrección diferencial (DGPS) se hace totalmente necesario.

Este empleo de GPS permite que los agricultores puedan recopilar datos sobre sus terrenos de cultivo, ya sea durante la cosecha o previamente a ella, de tal

manera que hoy por hoy los cultivos ya no han de ser necesariamente tratados como una superficie de terreno de características homogéneas, sino que pueden ser tratados acorde con sus características espaciales. Es decir, se ha pasado de trabajar en kilómetros cuadrados a trabajar en metros cuadrados. Esto se ve traducido en una mejor aplicación de pesticidas, semillas, riego, todo lo cual conlleva un sustancial ahorro en costes variables de producción.

(Definiciones de agricultura de precisión.

http://www.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/13/tecnologia.pdf)

4.2. Tipos de variabilidad

Se distinguen tres tipos de variabilidad en lo referente a la Agricultura de precisión:

- Variabilidad espacial: se ocupa de los cambios a lo largo del terreno de cultivo.
- Variabilidad temporal: muestra los cambios de un año a otro.
- Variabilidad predictiva: discrepancia entre los valores predichos y los actuales.

4.2.1. Variabilidad espacial

Por variabilidad espacial se entienden los cambios sufridos a lo largo del terreno de cultivo. Estos cambios pueden ser fácilmente vistos en un mapa de rendimiento, por ejemplo, para lo cual se necesita recopilar datos en posiciones precisas.

Para localizar la posición actual del punto del terreno donde nos encontramos en latitud y longitud se utiliza un sistema DGPS, al tiempo que se van recopilando

otros datos de interés que mantengan una relación espacial, como pueda ser la calidad del suelo, cantidad de agua, densidad del cultivo... Con ello se busca la obtención de un mapa que resulte representativo del terreno y de utilidad para el agricultor.

La terna de datos recopilados puede ser filtrada para borrar los errores del sistema, transformada y presentada como un mapa de contorno, mostrando la variabilidad espacial.

4.2.2. Variabilidad temporal

La variabilidad temporal es el resultado de comparar un determinado número de mapas del mismo terreno a través de los años.

4.2.3. Variabilidad predictiva

La variabilidad predictiva está más relacionada con los errores de administración que con las características biológicas. Ésta puede ser calculada midiendo la diferencia entre los valores esperados y los valores realmente logrados.

(Agricultura de precisión. www.jofair.com)

V. BANDERILLO SATELITAL

El uso de los banderilleros satelitales tanto en aviones como en pulverizadoras autopropulsadas, no tiene en este momento ningún factor negativo para ser analizado. El banderillero es muy útil, ya que no dependemos del horario para aplicaciones de algunos productos químicos y/o fertilizantes, y a su vez, se evitan problemas de contaminación o intoxicaciones al evitar el trabajo con personas como marcadores de cada pasada.

Fig. 2, podemos observar que la variabilidad está presente de manera muy importante, y que podrían determinarse 2 sitios claramente definidos a los que pueden caracterizarse por medio de muestreos de suelo dirigidos, y así, poder realizar un manejo diferencial de insumos, variedades, híbridos, dosis de fertilización, distanciamiento entre hileras, etc.; de esta manera, el círculo de la Agricultura de Precisión se cumple, como puede observarse a continuación (fig. 13):

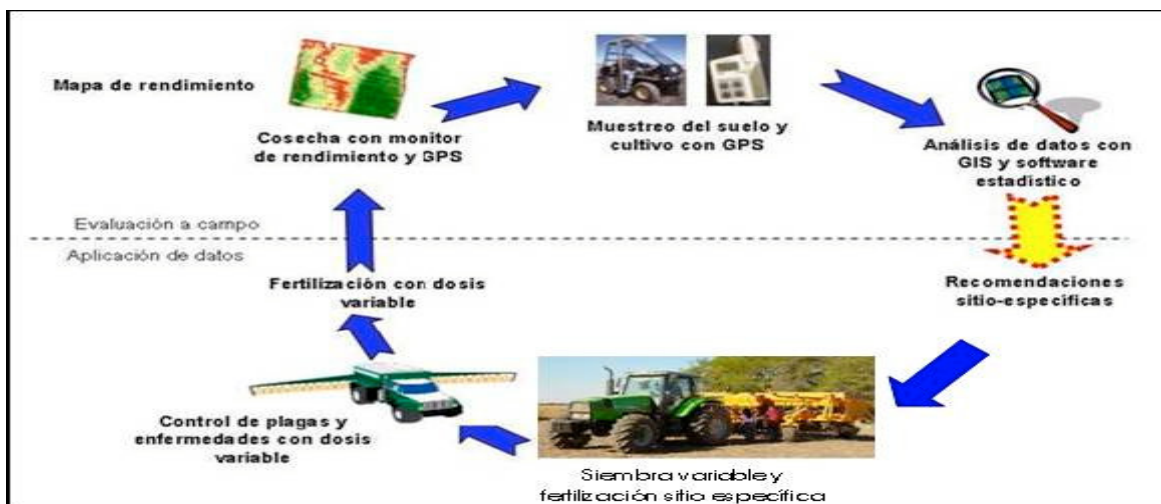


Fig. 13 – círculo de la agricultura de precisión

5.1. Banderillero satelital

Este equipo fue diseñado para mejorar, perfeccionar y simplificar la aplicación de agroquímicos en su fumigadora terrestre. Lo que permite ahorrar producto, acelerar tiempos de trabajo, trabajar eficientemente, disminuir costos.

El equipo esta compuesto por la unidad principal, antena GPS, cable antena, cable alimentación 12V.

La unidad principal esta construida en aluminio, presenta un diseño novedoso y resistente. Posee un display luminoso de cristal líquido, lo que permite la visión nocturna.

(Banderillero satelital raven. www.viarural.com.ar)

5.1.1. Ventajas

- Gran precisión, mantiene al vehiculo en la dirección adecuada y evita que se dejen espacios sin trabajar o superposiciones.
- Banderillero independiente a referencias externas, marcadores de espuma, referencias físicas o personas auxiliares.
- Guiado recto
- Ancho de trabajo configurable
- Numeración de pasadas
- Memoria de puntos y líneas
- Sistema de corrección automático
- Económico
- Robusto
- Fácil de operar

- Fácil de instalar: lo que permite, el intercambio a otra maquina o extraerlo por seguridad.
- Menú en castellano
- No precisa mantenimiento
- Instalación y capacitación in situ, sin costo.

5.1.2. Funcionamiento del Banderillero Satelital

El sistema consta de un receptor GPS con su respectiva antena, una barra guía de luces, funciona conectado a la batería de 12 Volts de la pulverizadora o tractor. Este sistema puede ser utilizado tanto con pulverizadoras autopropulsadas como de arrastre.

Cuando se comienza a pulverizar un lote, con este sistema, se ubica la pulverizadora en un punto de comienzo, preferentemente contra un alambrado o camino, y se ingresa a este como punto A en el receptor. Luego se va hasta el final del lote, haciendo la primera pasada paralela al alambrado, y se ingresa el punto B. Hecho esto, y previo ingreso del ancho de trabajo, la computadora traza infinitas líneas paralelas, como en largo, a la original A-B, con una separación igual al ancho de trabajo de la maquinaria utilizada, dato que será ingresado al equipo por el operador (Fig. 14 y 15). De esta manera se puede utilizar en cualquier lote sin importar las dimensiones y forma.

FIG. 14

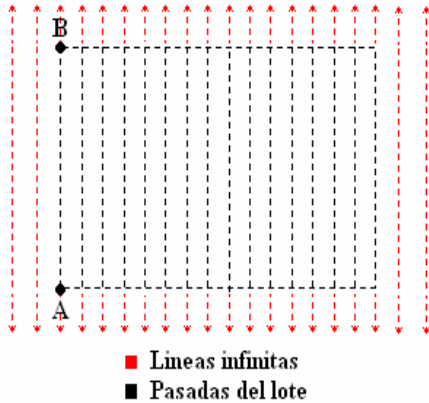
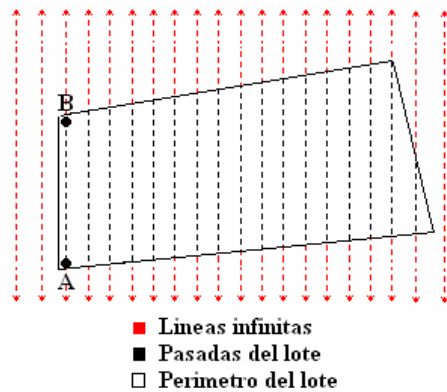


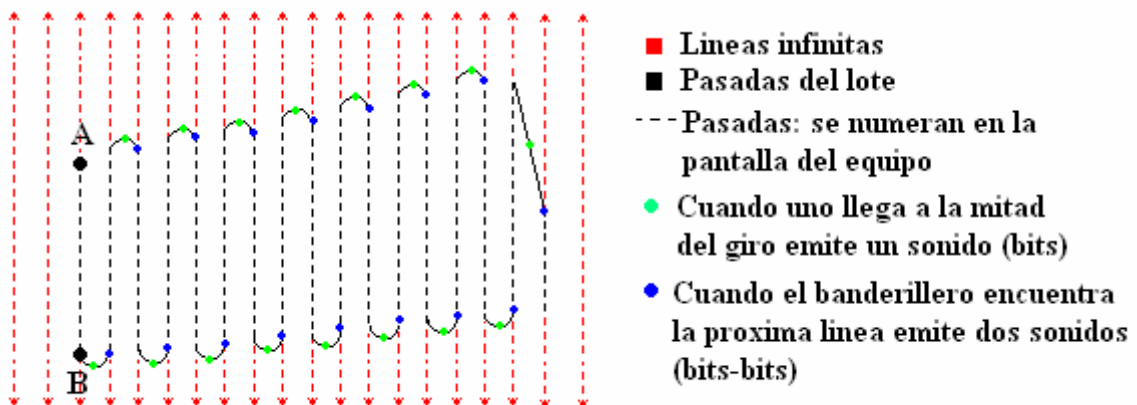
FIG. 15



Los giros

Al girar el equipo hacia la otra pasada la barra de luces indica la dirección para encontrar la próxima pasada. Cuando uno se encuentra a mitas de giro suena un "bits". Cuando uno encuadra la línea suena (Bits-Bits). (Ver fig. 16) Una vez encontrada la línea correspondiente se prenden las cuatro luces centrales de la barra guía, que son verdes, e indican que la pulverizadora va sobre la línea correcta. Si se desvía hacia cualquiera de los lados se prenden las luces rojas hacia el lado correspondiente.

FIG. 16



5.1.3. Interrupción de la aplicación

El equipo, tiene además, la posibilidad de detener la aplicación, poniendo el equipo en pausa, ya sea porque se vació el tanque o por cualquier otra razón, y poder retomarla en exactamente el mismo punto, con ayuda del navegador. Para volver al punto donde se discontinuó la aplicación la barra de luces indica la línea, al igual que cuando se está aplicando, mediante las 4 luces verdes centrales; la distancia que falta para llegar al punto y la línea, la indica mediante una cuenta regresiva de los metros restantes. No es necesario realizar esta operación en una cabecera, sino que se puede hacer en cualquier parte del lote. (Banderillero satelital 3500. www.agro-gps.com.ar)

5.1.4. Sistemas de navegación y guía de implementos

Considerando el costo del agroquímico, o bien el daño por un mal control ocasionado por solapamiento o áreas sin aplicar, sumado al efecto de fitotoxicidad por sobre dosis, indican la necesidad de marcadores eficientes.

La guía en pulverizadoras se realiza de dos maneras diferentes:

A- Mediante 2 personas que contando pasos entre una pasada y otra se posicionan para que el operario los utilice como guía.

Las desventajas de este sistema son: primero la inexactitud de medir las distancias con pasos, segundo el riesgo de contaminación crónica con agroquímicos al estar permanentemente expuesto a la acción nociva de los mismos y los inconvenientes de salud que ello implica. Otra desventaja es la imposibilidad de marcar en trabajos nocturnos, falta de visión cuando se trabaja en tiradas largas y con cultivos altos. La única ventaja del sistema estaría en que

los operarios pueden ayudar al conductor durante las recargas de agua y agroquímico.

B- Mediante el uso de marcadores de espuma, sistema que presenta el problema de falta de precisión, ya que este marca dónde termina la aplicación anterior y no representa una guía perfecta para el operario ya que siempre tendrá que calcular la dirección. Este sistema también presenta como desventaja la dificultad de ver la espuma en cultivos altos o rastrojos en pie.

Los dos sistemas anteriores presentan como desventaja, que los errores cometidos en las sucesivas pasadas son acumulativos, con respecto a las líneas paralelas trazadas por un banderillero satelital, lo que causaría una merma importante en la eficiencia, sobre todo en lotes grandes.

El sistema llamado "banderillero satelital", funciona como un navegador satelital, posicionado por una señal DGPS que puede ser satelital (Omnistar o Racal) o bien Beacon (D & E), los dos sistemas ofrecen una precisión de 30 cm. en todo momento.

El sistema posee un software en el que el operario necesita cargarle el ancho de franja del equipo, ingresarle el punto A, que es el inicio del lote y el punto B, que es el de finalización, se realiza una primera pasada paralela al camino o alambrado, con esos dos datos el software marca espacialmente el centro de las pasadas sucesivas en forma paralela a la primera pasada, con el ancho de franja ingresado y una precisión de 30 cm.

Para facilitar la guía del operador, el sistema posee un panel de luces donde el centro de la misma indica que se está en la línea correcta; cuando el operario se

desvía 30 cm. hacia uno de los laterales, las luces le indican que debe cambiar el rumbo y corregirlo.

El sistema también guiará al operario sobre el lugar exacto en el que debe conectar o desconectar el sistema de pulverización en cabeceras, como así también guiar sobre la entrada con rapidez en los giros en cabeceras, y también poder volver al punto exacto en donde se acabó el tanque, para reiniciar la aplicación en forma precisa y sin pérdida de tiempo

Los sistemas de guías de luces son utilizados en pulverizadoras autopropulsadas, para los aviones aplicadores los equipos son más complejos y costosos, además del sistema de guía de luces poseen un sistema de monitor que indica al piloto el lugar del lote en donde se encuentra el avión, y una brújula circular orienta al mismo hacia dónde debe dirigirse.

Al girar el equipo hacia la otra pasada el display indica la distancia que falta y con la barra de luces indica la dirección para encontrar la próxima pasada. Una vez encontrada la línea correspondiente se prenden las tres luces centrales de la barra guía, que son verdes, e indican que la pulverizadora va sobre la línea correcta. Si se desvía hacia cualquiera de los lados se prenden las luces rojas hacia el lado correspondiente, cada luz indica una distancia determinada de desvío que se debe programar con antelación, por ejemplo cada luz puede indicar un desvío de 1m, 0,5m o 0,1m, o la que le parezca conveniente al usuario, lo más común para maquinaria autopropulsada es de 0,3m.

Esta distancia de desvío puede ser programada en forma lineal, en cuyo caso cada una de las 17 luces a ambos lados del centro indica una distancia constante,

o a escala en cuyo caso se debe programar además de la distancia entre cada luz una distancia final que será indicada por la última luz. En este caso, las primeras 10 luces a cada lado del centro indican una distancia constante, y las últimas 7 van aumentando proporcionalmente, hasta llegar a la distancia indicada para la última luz. También se debe programar el modo de display de las luces, donde existen dos opciones, una que las luces indiquen el error de la dirección, en cuyo caso se prenderían las luces a la derecha del centro de la barra de luces cuando el operario se desvíe en esa dirección, y otra que las luces indiquen la corrección, donde el operario debe doblar en el sentido que se prenden las luces para corregir el sentido.

Para el caso de pulverizadoras terrestres, existe un modo de detección automática de giro, en el que el equipo incrementa automáticamente el número de pasada en el sentido que se gire, y cuando se supera un ángulo de 110° con respecto a la pasada activa. En el caso de usar este equipo para aviones pulverizadores se debe aumentar el número de pasada manualmente, ya sea a la izquierda o a la derecha de la línea A-B, debido a que el avión, al salir de una pasada se abre primero en sentido contrario a la siguiente pasada por necesitar un gran radio de giro. Si en este caso el equipo estuviera en el modo de detección automática indicaría como activa la pasada en el sentido del primer giro, que no es el deseado. El equipo tiene, también, la opción de configurar el tipo de cabecera para cada caso. El siguiente cuadro explica las opciones presentes.

Configuración	Descripción
Sin cabecera	No son necesarias las cabeceras.
Circuito abierto	Se establece un área de cabecera entre puntos determinados. Esta configuración es la apropiada cuando se establece un área de cabecera sobre bordes de un lote adyacente.
Circuito cerrado	Se establece un área de cabecera alrededor del perímetro del lote.
A–B como zonas finales	Establece un área de cabecera en extremos opuestos del lote.

A través de este sistema se mantiene una deriva menor a 2 metros luego de un período de 30 minutos, en el cual se actualiza la posición. Al comenzar a aplicar un lote se debe dejar el receptor estático durante 8 minutos, durante los cuales rastrea los satélites y fija un punto inicial que utilizará como corrección. Una vez realizado esto se puede utilizar el banderillero durante 30 minutos con poca deriva del GPS y sin saltos. Si el tiempo de pulverización supera los 30 minutos se debe actualizar el punto de corrección, aunque no es necesario volver al punto original, esta operación sólo lleva unos pocos segundos y se puede hacer sobre la marcha. En un futuro cercano esta actualización se hará de forma automática.

La firma argentina Pla ha desarrollado una pulverizadora con un sistema de válvulas en la dirección conectadas al banderillero satelital que le permite al

operario marcar la pasada original de un lote y posteriormente colocar el equipo en piloto automático, y este se autoguía en función de la corrección que le indica el banderillero satelital. Este sistema es denominado piloto satelital. El primer piloto automático fue lanzado en Marzo de 1999. Recientemente estos banderilleros han recibido una actualización en su programa, permitiendo trabajar en un modo que el equipo puede grabar exactamente el recorrido inicial, y luego hacer líneas imaginarias paralelas a una distancia igual al ancho de la máquina. Esto posibilita trabajar en círculos siguiendo curvas de nivel paralelas, teniendo una buena utilidad para aplicaciones en círculos de riego, donde siguiendo la huella del último tramo del pivote se podrá aplicar hacia adentro o afuera de la marcación con total exactitud.

Con el fin de no dejar áreas del lote sin aplicar se recomienda trabajar con una superposición de 30 cm., lo que significa que si nos encontramos en cualquiera de los extremos del error del equipo pueden suceder dos cosas: la primera es que esté aplicando con una superposición de 60 cm., y la segunda es que no se presente superposición alguna pero tampoco un área que no reciba producto. Esto se logra indicando al receptor, durante la configuración, un ancho de labor 30 cm. menor al real para cultivos en hileras. (Banderillero satelital 2004. www.agriculturadeprecision.org)

5.1.5. Aplicadores de dosis variable guiados en forma satelital

Todavía no existen en el mercado nacional equipos capaces de realizar tratamientos dirigidos con el equipo pulverizador, es decir un controlador de dosis que responda a la orden de un navegador satelital con un mapa de posición realizado de acuerdo a un relevamiento de variabilidad de necesidad de

aplicación. Sin embargo, en EE.UU. ya están disponibles John Deere, Tyler y Ro-Gator. Hardi de Dinamarca, ya desarrolló el sistema para Europa y lo llamó Hardi Pilot 3880, provisto de un sistema satelital DGPS, localiza en tiempo real el lugar exacto y la recomendación del mapa de prescripción para automáticamente variar la dosis en forma localizada.

La regulación de presión del Hardi Pilot se realiza variando la presión hasta en +40 y -50%, lo que si bien varía el caudal de campo en la forma deseada, se podría cuestionar la uniformidad de calidad de aplicación, situación que Hardi soluciona con un eficiente túnel de viento orientable.

Trimble ha lanzado recientemente al mercado una computadora de campo AgGPS 170 como accesorio de sus banderilleros satelitales. Las funciones de esta computadora son:

- Auxiliar en la guía de herramientas con banderillero satelital, muestra en pantalla las sucesivas pasadas de la pulverizadora, pudiendo identificar las zonas sin aplicar o fallas para repasarlas antes de dejar el lote, y no tener que volver por pocos metros de fallas.
- Mapeo de puntos, líneas, áreas, límites de lotes, puntos de recarga, etc.
- Navegador para aplicación variable de insumos, acepta prescripciones en formato Shapefile de programas como ArcView, SSToolbox, AgLink, etc.; maneja múltiples controladores, como por ejemplo: Mid Tech, Raven, Dickey John y Rawson.
- Muestreos de suelo, ya sean en grillas o dirigidos.
- Grabado de registros: graba una lista de historia de lotes, como así también los mapas de aplicación logrados.

- Despliega y muestra la posición del equipo sobre mapas de base que permiten ubicar la posición relativa a características del terreno o a elementos mapeados con anterioridad.
- Permite la impresión en papel de los lotes aplicados con un resumen de datos, y una representación gráfica de las sucesivas pasadas dentro del lote.

5.2. Banderillero satelital como guía de pulverizadores, fertilizadoras

Un sistema de posicionamiento, como el nombre lo sugiere, es un método para identificar, electrónicamente, la ubicación en el espacio de un objeto. Uno de estos sistemas es el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), cuyo principio es el uso de señales satelitales para definir posiciones sobre la tierra. Este servicio está disponible en cualquier punto del planeta, las 24 horas del día y en forma gratuita. El sistema consta de una constelación de 24 satélites NAVSTAR divididos en seis órbitas de 4 satélites cada una. Cada satélite emite continuamente su posición y el tiempo exacto a través de señales de radio.

El receptor del usuario de GPS mide el tiempo que le toma a cada señal llegar desde el satélite hasta su antena, y asumiendo una velocidad constante para las ondas de radio, el aparato puede calcular la distancia. Calculando su distancia desde tres puntos (satélites en este caso) se puede conocer su posición en dos dimensiones, en cambio si toma su distancia desde cuatro o más satélites obtiene su posición en tres dimensiones.

(Banderillero satelital 3500 como guía de pulverizadores, fertilizadoras.
www.ceditec.etsit.upm.es)

5.3. Uso en pulverizaciones aéreas

Para aviones fumigadores existen dos tipos de equipos, siendo las prestaciones y el precio muy similar a los equipos terrestres, con la única diferencia en que las antenas son de uso aéreo debido a la velocidad de aplicación. Estos equipos permiten trabajar en carrusel o las llamadas melgas por los productores; así se evitan los giros violentos y volver a volar inmediatamente sobre las zonas aledañas al área aplicada en caso que los productos sean tóxicos. Además del sistema de guía de luces se puede adquirir un monitor que indica al piloto el lugar donde se encuentra el avión, y una brújula circular orienta al mismo hacia dónde debe dirigirse, esto encarece un poco el equipo.

Esta pantalla display va marcando y grabando el recorrido del avión visto en planta, relacionado con las coordenadas geográficas y también con un mapa de base georreferenciado del campo o lote que se debe ingresar al monitor (Fig. 17).



Fig. 17 - Equipo aéreo con pantalla digital y barra de luces

Esto ayuda al piloto a encontrar el lugar en lote donde debe comenzar la pasada sucesiva, operación que se hace más dificultosa si solamente tuviera la barra de luces, debido a las distancias de giro y a la gran velocidad que se desplazan. Además el hecho de que se graben los recorridos brinda un archivo para verificar y documentar las aplicaciones (Fig. 18).

En el caso de las pulverizaciones aéreas se recomienda trabajar con 2 m de traslape entre las sucesivas pasadas, en un principio, y a medida que el piloto gana experiencia con este sistema de guía se puede reducir esta distancia a 1 m. Al igual que en las pulverizadoras terrestres el traslape se logra indicando un ancho de faja tanto menor como se quiera superponer las pasadas.

(Banderillero satelital DGPS como guía de pulverizadoras, fertilizadoras y sembradoras. www.agriculturadeprecision.org)



Fig. 18 - Mapa de aplicación realizada con avión guiado por navegador satelital, grabado en la pantalla display.

5.4. Ejemplos del uso del banderillero satelital

5.4.1. Agricultura de precisión en las plantaciones de banano y plátano en Colombia

Colombia es uno de los mayores exportadores mundiales de banano y plátano (112.000 acres). La más dañina de las enfermedades que ataca a estos cultivos es la llamada Sigatoka Negra, causada por un hongo. Este hongo se desarrolla y ataca las hojas de las plantas de banano y plátano causando su muerte y eventual pérdida de las hojas, acelerando así el proceso de maduración de los racimos. Esta enfermedad representa una gran amenaza económica si se toma

en cuenta que el banano y el plátano deben llegar a su puerto de destino completamente verdes. El costo promedio anual para controlar este hongo en Colombia es de 25 millones de dólares. Debido a que los agroquímicos conforman hasta el 75 por ciento de estas cifras, incorporar una nueva tecnología para controlar la Sigatoka Negra en las plantaciones es esencial para racionalizar el uso de agroquímicos.

El control de la Sigatoka Negra implica dos tareas primordiales: el control de las plantaciones y la fumigación aérea. Estas actividades son realizadas por la empresa Calima con el apoyo de herramientas GPS y GIS para posicionamiento, recolección y procesamiento de información de campo.

Control de las plantaciones

A fin de determinar la cantidad de agroquímicos a utilizar, se recorre la plantación cogiendo unas cuantas hojas al azar para concluir cuántas y cuáles tienen el hongo. Tradicionalmente, esta labor es realizada de manera rudimentaria por los trabajadores de las comercializadoras de fruta, quienes registran manualmente la información en el campo. Después, el trabajador procesa dicha información, generando un informe del estado de ataque del hongo, el cual es entregado cada dos semanas. Con este método, la máxima productividad alcanzada es de 200 acres controlados por semana y empleado. Otras desventajas del método tradicional son: su costo de operación elevado, la demora en la toma de decisiones y que el mismo no garantiza que el empleado recorra toda la plantación.

Para aumentar la eficiencia en el control de las plantaciones, Calima optó por la utilización de un sistema GPS de precisión para la recolección de información geográfica en tiempo real y el levantamiento de mapas y procesamiento de la información. El sistema emplea un radiofaro propiedad de Calima, situado a 300 Km de las plantaciones, para transmitir las correcciones diferenciales DGPS. Asimismo, de un equipo GPS, recolectores de datos y software para el procesamiento de la información en un GIS.

El trabajador recorre la plantación en zigzag capturando información de las plantas de banano al azar. Una vez que su equipo GPS está listo para funcionar crea un archivo de movimiento e introduce el nombre de los atributos de la finca que va a controlar. El trabajador se coloca lo más cerca posible a la planta e inmediatamente el equipo registra posiciones cada segundo y va mostrando en pantalla cuántas posiciones lleva. El operador cuenta las hojas de la planta y las introduce en el equipo; luego, busca qué hoja está infectada e ingresa la información, estando la antena colocada lo más cerca posible de la hoja.

Las ventajas de esta tecnología con respecto al método tradicional son evidentes. Con la utilización del GPS, el empleado puede cubrir hasta 375 acres por semana. La información generada puede ser procesada fácilmente en el mismo día, permitiendo la visualización del área recorrida por el trabajador con el fin de garantizar que el área asignada fue cubierta.

La información recolectada en campo es utilizada en post-proceso, obteniendo una descripción muy detallada de la plantación en un GIS. Esta información permite al dueño de la plantación, al inspector de Sigatoka Negra y a la compañía de fumigación aérea tomar decisiones con rapidez y precisión.

Con el objetivo de proceder a la fumigación, en primer lugar se toman las coordenadas del perímetro del área en mención con la ayuda del sistema de recolección de datos. Esta información es transmitida al equipo del avión fumigador a través de la utilidad "Insertar Objetivos". El sistema de guía de precisión GPS procesa esta información para generar, en la pantalla del avión, el área a fumigar con sus atributos: el área total y el número de pasadas necesarias para cubrir toda el área.

(Agricultura de precisión usando GPS. www.gpsworld.com)

Fumigación aérea

El control de la Sigatoka Negra demanda la aplicación de agroquímicos por vía aérea. Los aviones deben estar equipados con sistemas de guía de precisión GPS para la fumigación aérea.

Tradicionalmente, la aplicación aérea de agroquímicos se efectúa con la ayuda de banderas humanas. Estas personas se mueven a través de líneas imaginarias llevando consigo globos fluorescentes para indicar al piloto la trayectoria del lote que se va a fumigar. Durante la aspersión del cultivo, las banderas humanas se desplazan de un punto a otro a través de las líneas imaginarias. En general, los puntos delimitados anteriormente no son precisos con relación a la distancia planeada, lo que genera una señalización insuficiente y una cobertura inadecuada. Adicionalmente, las personas que realizan estas labores están expuestas a la contaminación por agroquímicos, dependiendo de si utilizan o no el equipo adecuado de seguridad industrial.

Hoy en día se ha incorporado la tecnología GPS a través de un sistema de guía de precisión para la fumigación aérea. El sistema no sólo posibilita un aumento de la productividad y un ahorro de combustible, sino que despeja las preocupaciones en torno a la aplicación incorrecta de agroquímicos, racionalizando su uso y más importante aún, permite prescindir del trabajo de personas en labores peligrosas. Con el fin de alcanzar una exitosa aplicación de los agroquímicos usando este sistema, deben seguirse estrictamente los siguientes parámetros:

- Localización exacta de los lotes a fumigar
- Señalización en tiempo real
- Ancho de pasada con precisión submétrica
- Altitud y velocidad de vuelo constante

Calima utiliza los siguientes productos de Trimble (Sunnyvale, California, EE.UU.) en sus operaciones: el sistema GPS Pathfinder Pro XR para creación de mapas y recolección de datos de campo y el software Pathfinder Office para el procesamiento de la información. El sistema de guía de precisión para la fumigación aérea empleado es el TrimFlight GPS.

(Agricultura de precisión usando GPS. www.geoconvergencia.com)

5.4.2. Compactación de suelos en Nueva Zelanda

Uno de los problemas contra los que tienen que enfrentarse los ingenieros forestales es la compactación de suelos producida por el paso de las máquinas. La técnica de analizar muestras del terreno no es válida en este caso, ya que los investigadores de suelos normalmente se centran en centímetros o metros

cuadrados, o como mucho en una hectárea, mientras que los ingenieros forestales han de abarcar decenas, cientos o miles de hectáreas. Las investigaciones demuestran que, en ocasiones, basta con tres pasadas de un vehículo para ocasionar la compactación del suelo. Semejante daño suele ser invisible en la superficie del terreno. Para estos casos no es suficiente el conocimiento de los daños causados a menor escala, sino que hay que determinar el efecto de las máquinas sobre la tierra en grandes áreas. Es aquí donde entran en juego agencias de investigación, como LIRO, y el sistema GPS.

5.4.3. Uso de DGPS para mejorar la producción de maíz y la calidad del agua en Nebraska (USA)

El uso de fertilizantes puede llegar a ser tan beneficioso para nuestros cultivos como dañino para nuestra salud. Es el caso de Nebraska Central, donde gran parte de la tierra es destinada al cultivo de maíz de regadío. En estas zonas se ha descubierto que más de 500.000 acres de tierra de cultivo tienen agua subterránea con concentraciones de nitrógeno (N) superiores a las 10 partes por millón (ppm), siendo ésta la concentración máxima permitida en el agua potable en USA. Dado que los fertilizantes derivados del nitrógeno utilizados en la producción del maíz son una fuente de contaminación de las aguas subterráneas, y que este tipo de fertilizantes es totalmente necesario para obtener una producción de maíz óptima, la idea de reducir simplemente el nivel de fertilizante aplicado al terreno no es válida, ya que esto se traduciría en una cosecha pobre. Por tanto, parece lógico buscar el modo de aplicar fertilizantes en cantidades variables, dependiendo del tipo de tierra, reduciendo así el impacto medioambiental.

La aplicación en cantidades variadas de fertilizante resulta una tarea relativamente simple si se cuenta con la ayuda de un sistema de posicionamiento, como es DGPS. Por medio de una antena colocada en el tractor y un controlador puede seguirse el rastro del vehículo y en cada punto ajustar la salida de fertilizante según la cantidad recomendada para esa zona. Sin embargo, el mayor problema surge a la hora de determinar un mapa que refleje las necesidades de cada punto.

Determinando las necesidades de fertilizante

Las decisiones acerca de la cantidad de fertilizante que debe aplicarse pueden realizarse tres veces a lo largo del año. Los granjeros deben:

- Estimar la aplicación inicial de fertilizante
- Corregir las deficiencias producidas durante la temporada
- Evaluar la efectividad obtenida durante esa temporada, y hacer ajustes para el año siguiente

5.4.4. Fumigación de precisión en Canadá

La aplicación de herbicidas en zonas específicas tiene el potencial para reducir los costes de control de malas hierbas y decrementar la cantidad de pesticidas en el medio ambiente.

Los métodos manuales para aplicar pesticidas de forma específica son demasiado costosos en cuanto a tiempo se refiere para llevarlos a cabo, pero las tecnologías actuales permiten automatizar el proceso de fumigación selectiva por medio del uso de GPS diferencial (DGPS). Mediante DGPS se pueden marcar las localizaciones exactas de malas hierbas, y el resto del equipo de la granja se

encargará de la fumigación propiamente dicha. Para ello, por supuesto, se requerirá de ordenadores con memoria y velocidad suficiente para procesar grandes cantidades de datos, sistemas de información geográfica (GIS) para preparar los mapas de aparición de las malas hierbas, y fumigadores avanzados que permitan su control por medio de un ordenador a bordo, el cual siga prescripciones predeterminadas.

Se ha demostrado que, en algunos casos, la fumigación de precisión puede reducir el uso de herbicidas en un 40%, dependiendo de la situación del terreno.

5.4.5. Control de la PAC en Andalucía

La Política Agraria Común (PAC) de la Unión Europea consiste en la entrega de subsidios a los agricultores que siembran cultivos específicos en las cantidades ordenadas por la PAC. Para recibir la subvención el agricultor debe dejar una parte de sus tierras sin cultivar de forma que se evite la sobreproducción y se permita al suelo recuperarse. La Unión Europea debe controlar que esto se lleva a cabo y exige que al menos se audite el 5% de las zonas subvencionadas.

5.4.6. Control de vehículos agrícolas con CDGPS en California

La conducción autónoma de vehículos agrícolas no es una idea novedosa. Se han realizado varios intentos, pero todos han fallado debido a limitaciones en los sensores. Algunos de estos sistemas requerían de voluminosos mecanismos auxiliares en los alrededores o en la propia finca. Otros sistemas se fundamentaban en sistemas de visión, los cuales requerían buena visibilidad, buen tiempo y marcas en el terreno. Los sistemas GPS han permitido sistemas de controles altamente precisos, de bajo coste y seguros para vehículos agrícolas.

California es una zona importante por su Agricultura, fundamentalmente mediterránea, en Estados Unidos. La Universidad de Stanford ha ideado un sistema que permite usar vehículos sin conductor en zonas de visibilidad nula o muy reducida (zonas nevadas o con hielo, aplicación de pesticidas peligrosos) o realizar tareas tediosas o peligrosas sin la necesidad de estar presente en el vehículo.

La solución empleada para implementar este sistema ha sido el uso de carrier phase DGPS (CDGPS). Con CDGPS se logra una exactitud en la medida de centímetros y una precisión en la postura del vehículo de $0,1^\circ$, incluso en condiciones de visibilidad cero.

La arquitectura hardware del sistema consiste en 4 antenas GPS en el techo del tractor y un rack dentro de la cabina. El ángulo de la rueda dispone de un potenciómetro que hace las veces de sensor y la rueda es dirigida por unidad de conducción eletro-hidráulica. Un microprocesador Motorola hace de interfaz entre el ordenador de control y la unidad de conducción.

El hardware GPS se fundamenta en un sistema CDGPS similar al Integrity Beacon Landing System (IBLS). Un receptor Trimble Vector de 6 canales da medidas de postura a 10Hz. Un receptor Trimble TANS de antena única producía las medidas code-phase y carrier-phase, usadas para dar la posición del vehículo, cada 4Hz. Además se dispone de un PC con sistema operativo de tiempo real LYNX-OS para conformar el Guidance-Navigation-Control (GNC), el cual realiza la interfaz de postura, los cálculos de posición, recolección de datos y cálculos de control. (Agricultura de precisión. www.jofair.com)

VI. CONCLUSIONES

Como hemos podido observar a través del presente trabajo, nos dimos cuenta que existen infinidad de equipos para la aplicación de agroquímicos, pero algunos de ellos traen graves problemas ambientales. Por lo que en esta recopilación explicamos un poco sobre una nueva tecnología que nos ayudara a reducir esos problemas ambientales y hacer mas eficientes las aplicaciones de estos productos.

El presente trabajo pretende contribuir ala formación de los estudiantes de las distintas carreras de agronomía principalmente a los de la especialidad de Ing. Mecánico agrícola, así como también aportar una guía de forma sencilla a todas aquellas personas que de una u otra forma están involucradas en los procesos de la aplicación de agroquímicos.

BIBLIOGRAFIA

Arnulfo Gustavo de León Ramírez. (1998). Sistema de posicionamiento global (GPS) y operación de equipos de recepción. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México. TEMAS (3.1)

Antonio Laguna Blanca. (1999). Pulverizador de mochila. Maquinaria agrícola. Tercera edición. Ediciones mundi prensa. Madrid Pp.167. TEMAS (2.2.1)

Fernando Martínez de Azagra Paredes. Ingeniero Agrónomo (1998). Empleo del GPS en la agricultura de precisión [versión electrónica]. Revista internacional de ciencias de la tierra. TEMAS (4.1-3.10)

José Antonio E. García Álvarez (2007, 14 de mayo). Así funciona el GPS. Así funciona. Madrid. TEMAS (3.7-3.8-3.9-3.10)

J. Ortiz Cañabate 1995. Abonadoras. Las maquinas agrícolas y su aplicación. Quinta edición. Ediciones mundi prensa. Madrid Pp. 95-108. TEMAS (2.3-2.3.1)

Juan Martín Acosta. (2003). Uso y manejo de equipo para la aplicación de productos químicos en la agricultura. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México. TEMAS (II)

Smith, A. E. 1979. Equipo pulverizador y espolvoreador. Maquinaria y equipo agrícola. Ediciones omega. Barcelona Pp. 260-277. TEMAS (II-2.1-2.2-2.2.1)

Sitios Web

Agricultura de precisión. Obtenido el 20 de febrero del 2007 de <http://www.jofair.com>. TEMAS (IV- 4.1- 4.2- 5.4.2- 5.4.3- 5.4.4- 5.4.5- 5.4.6)

Agricultura de precisión usando GPS. Obtenido el 9 de febrero del 2007 de <http://www.gpsworld.com> TEMAS (5.4.1)

Agricultura de precisión usando GPS. Obtenido el 9 de febrero del 2007 de <http://www.geoconvergencia.com> TEMAS (5.4.1)

Banderillero satelital. (2004, julio). Obtenido el 9 de febrero del 2007 de www.agriculturadeprecision.org TEMAS (5.1.2, 5.1.3, 5.1.4) TEMAS (V)

BANDERILLERO SATELITAL 3500. Obtenido el 19 de febrero del 2007 de www.agro-gps.com.ar TEMAS (5.1.1-5.1.2)

Banderillero satelital raven. Obtenido el 05 de marzo del 2007 de <http://www.viarural.com.ar> TEMAS (5.1)

Banderillero Satelital 3500 como Guía de Pulverizadores, Fertilizadoras. Obtenido el 20 de febrero del 2007 de <http://www.ceditec.etsit.upm.es>. TEMAS (5.2)

Banderillero Satelital DGPS como Guía de Pulverizadoras, Fertilizadoras y Sembradoras. Obtenido el 8 de febrero del 2007 de www.agriculturadeprecision.org TEMAS (5.2-5.1.4-5.3)

Comenzó con una investigación básica... obtenido el 01 de febrero del 2007 de <http://www7.nationalacademies.org>. TEMAS (3.10)

Club del mar. El Sistema GPS. Obtenido el 26 de abril del 2007 de <http://www.clubdelamar.org> TEMA (3.6)

Definiciones de agricultura de precisión. Obtenido el 19 de febrero del 2007 de http://www.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/13/tecnologia.pdf TEMA (4.1)

El Círculo de la Agricultura de Precisión en Feriagro y Expo Chacra 2005. (2005, Marzo). Obtenido el 21 de febrero del 2007 de www.feriagro/expochacra.com TEMA (IV)

Empleo del GPS en la agricultura de precisión. (1998, Marzo). Obtenido el 12 de febrero del 2007 de <http://www.mappinginteractivo.com/prin-iber.asp> TEMAS (IV-4.1)

Estudio de la variabilidad espacial del rendimiento en Uruguay. (2002, Marzo). Obtenido el 19 de febrero del 2007 de <http://www.flar.org/pdf/foro-pdf-marzo-05/agricultura-precision.pdf> TEMAS (IV-4.1)

Ramiro Jesús Ayala Arizpe. Historia, cronología, funcionamiento y aplicación del "GPS" a través de tres décadas. Obtenido el 21 de febrero del 2007 de <http://homepages.mty.itesm.mx>. TEMAS (3.3, 3.10)

Historia del GPS. Obtenido el 20 de abril del 2007 de <http://www.geocities.com> TEMAS (3.4-3.4.1-3.4.2-3.4.3)

Ing. Gustavo Tello e Ing. Darío Matijacevich (2006). AMS – Soluciones para la Gestión Agrícola. El surco [Revista electrónica]. Obtenido el 05 de marzo del 2007 de www.agro-gps.com.ar TEMAS (5.1.2- 5.1.3)

José Antonio E. García Álvarez (2007, 20 de marzo) Funcionamiento del GPS. Obtenido el 24 de marzo del 2007 de <http://www.asifunciona.com> TEMAS(3.1- 3.2- 3.7- 3.8)

Juvenal Gutiérrez Castillo y Andrés García Jurado. (2003, 17 de enero) Tecnología de agricultura de precisión para la reducción del consumo de agua en México. Obtenido el 12 de febrero de www.transferencia.com TEMAS (5.1.2-3.5-3.5.1-3.5.2-3.5.3-3.5.4-3.5.5-3.5.6-3.5.7)

Laura A. Ruiz. GPS, una herramienta para la investigación y la vida diaria. TODOS@CICESE. Obtenido el 25 de abril del 2007 de <http://gaceta.cicese.mx/> TEMAS (3.11)

Pedro Gutovnik (noviembre del 2001) La Triangulación desde los satélites. Obtenido el 20 de marzo del 2007 de <http://gutovnik.com> TEMAS (3.10.2)

Plagueo, Monitoreo & Mapas de las Poblaciones de Plagas. Obtenido el 20 de febrero del 2007 de <http://ipmworld.umn.edu/cancelado/Spchapters/gisSp.htm> TEMA (5.4.1)

Sistemas de aplicación de agroquímicos guiadas por GPS. (Año 2000). Obtenido el 9 de febrero del 2007 de http://www.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/13/tecnologia.pdf TEMA (5.1.4)