

## QUE ES EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL - GPS

**Prof. Jorge Luis Favier**

*Director de la estación de packet  
Radio de la Universidad de Mendoza*

Desde el momento en que el hombre se paró sobre sus extremidades posteriores y comenzó a recorrer la Tierra empezó a buscar alguna forma simple de determinar dónde estaba y hacia dónde iba.

Los antiguos viajeros, probablemente, sólo marcaban sus senderos con pilas de rocas. Pero cuando el hombre empezó a explorar los océanos el problema empeoró, ya que no podía dejar marcas.

La única forma que tenía el hombre para guiarse en el mar eran las estrellas. Pero aún con los mejores instrumentos la navegación celeste sólo puede decir, aproximadamente, dónde uno está.

Para mejorar los inconvenientes de la navegación celeste, se diseñaron otros sistemas. Los más conocidos son los sistemas LORAN y DECCA. Estos sistemas están basados en la transmisión de ondas de radio, que resultan sumamente confiables cuando se está cerca de la costa.

El sistema LORAN (Long Range Navigation) se basa en la medición de la diferencia de tiempo entre dos señales transmitidas desde dos estaciones costeras.

El sistema está formado por una cadena de transmisores LORAN, perfectamente sincronizados unos con otros, que transmiten desde la costa una señal radioeléctrica.

La estación maestra transmite su señal, esta es escuchada por la estación esclava la cual transmite su señal en sincronismo con la maestra.

El vehículo con equipamiento LORAN reconoce la diferencia

entre la señal de la estación maestra y la estación esclava. Para detec-

tar esta diferencia verifica la frecuencia de la señal transmitida y las características de la misma. Midiendo la diferencia entre las dos señales se puede calcular la posición del móvil.

La precisión de este sistema ronda los 402 mts., dependiendo de la ubicación relativa de los móviles con respecto a las estaciones LORAN, de las interferencias radioeléctricas, de los edificios, etc.

Las estaciones operan las 24 horas del día y cubren toda la costa de Norte América y desde la costa hasta unos 1.482 Km. mar adentro.

El inconveniente mayor de estos sistemas es que no tienen una cobertura global de la tierra y que su exactitud depende de las interferencias eléctricas y las variaciones geográficas.

Otro sistema más nuevo, que utiliza satélites, es el llamado "The Transit" o "Navigation Satellite System".

Este sistema cuenta en la actualidad con cinco satélites en órbita, a una altitud de 1.075 kilómetros y circulando la tierra cada 107 minutos. Cada vez que los satélites están "visibles" en el horizonte se tiene la posibilidad de fijar la posición. El promedio de la pasada varía entre los 35 a 100 minutos dependiendo de latitud.

A los efectos de las comunicaciones se cuenta con dos transmisores de 400 y 150 Mhz.

La medición de la posición no es instantánea, demanda entre 10 y 16 minutos, esto no es problema cuando se miden puntos fijos, pero sí es un inconveniente cuando se trata de móviles. En este caso el móvil va cambiando de posición a medida que se realiza la medición lo cual trae aparejado un error adicional al del sistema.

El sistema Transit es solamente un sistema de ayuda a la navegación con cobertura global y no es afectado por las condiciones meteorológicas como los sistemas anteriormente descritos.

Desafortunadamente los satélites que usa este sistema están en una órbita muy baja y no hay muchos de ellos, por lo que frecuentemente no pueden darnos la posición del móvil.

Otro ejemplo de sistemas de posicionamiento usando satélites lo constituye el sistema DORIS.

El sistema DORIS es un sistema de alta precisión utilizado para la determinación de la órbita de los satélites y geodesia espacial. Está formado por una red de plataformas espaciales y una red de estaciones terrestres.

La estación terrena transmite con dos frecuencias de portadoras, cuyos valores son 400 / 2000 Mhz., de esta forma se reciben los datos desde las plataformas satelitales.

Este sistema está en fase de testeo y posee sólo una plataforma en el satélite SPOT-2. Mientras que la red terrestre está formada por 30 estaciones.

El sistema DORIS está previsto para operar sobre los satélites TOPEX/POSEIDOM con una red de 50 estaciones terrestres.

Para solucionar todos estos inconvenientes, descritos anteriormente, llegó el "Sistema Global de Posicionamiento" o GPS (Global Positioning System).

Este sistema está basado en una constelación de veinticuatro satélites, que orbitan la tierra a una elevada altitud.

Estos satélites están lo suficientemente altos para poder evitar los problemas que presentaban los anteriores sistemas terrestres.

El sistema GPS permite dar la posiciones en cualquier parte del mundo, las veinticuatro horas del día.

Con la actual tecnología, de circuitos integrados, los receptores de GPS están rápidamente transformándose en equipos pequeños y baratos, que pueden ser llevados por cualquiera y a cualquier lugar. Esto significa que todo el mundo podrá saber dónde está exactamente todo el tiempo.

## **CÓMO TRABAJA EL SISTEMA GPS**

Los principios básicos en que se fundamenta el sistema GPS son realmente simples, aunque el sistema en sí mismo emplea algunas de las más altas tecnologías desarrolladas en la actualidad.

Para entender esto vamos a descomponer el sistema en cinco partes conceptuales distintas.

## a) IDEA BÁSICA

GPS está basado en la determinación de la posición por satélite. Esto significa que nosotros podemos determinar nuestra posición, en la tierra, midiendo nuestra distancia a los distintos satélites.

Los satélites actúan como referencias precisas para determinar nuestra posición.

Si conocemos la distancia que nos separa de un satélite, podemos decir que pertenecemos a un punto de una esfera que tiene como radio esa distancia y cuyo centro es ese satélite.

Si al mismo tiempo nosotros también conocemos la distancia que nos separa de otro satélite, podemos decir también que estamos en un punto de una esfera que tiene como radio esa distancia y cuyo centro es ese satélite.

El único lugar en el universo donde podemos estar, a las distancias dadas para cada satélite, es el círculo donde se interceptan ambas esferas.

Si tomamos otra medida, a un tercer satélite, podemos determinar una primera aproximación de nuestra posición, ya que existen sólo dos puntos en el universo donde esta condición se cumple.

Estos dos puntos se encuentran donde la tercera esfera corta al círculo de intercepción de las dos esferas anteriores.

Esto significa que con la determinación de las tres distancias a cada uno de los tres satélites podemos determinar nuestra posición real.

Para dar nuestra posición, en forma exacta, debemos descartar uno de los dos puntos mencionados anteriormente.

Más tarde veremos que existe una razón técnica por la que debemos hacer otra medición. Pero por el momento, teóricamente, las tres mediciones son suficientes.

Nuestro problema es cómo decidir qué punto es el correcto. Podríamos hacer una cuarta medición a otro satélite, o podemos hacer una presunción. Esta presunción es que, normalmente, uno de los dos puntos es una respuesta ridícula.

De los dos puntos en cuestión, uno está sobre la superficie de la tierra y el otro en algún punto del espacio. El punto correcto es el que está en la superficie de la tierra.

Sin embargo, si nosotros quisiéramos ser absolutamente técnicos, la trigonometría dice que realmente necesitamos cuatro satélites para localizarnos claramente. Pero en la práctica, podemos conseguirlo con sólo tres, si rebatimos la solución ridícula.

## **b) MEDICIÓN DE LA DISTANCIA AL SATÉLITE**

El sistema GPS se basa en conocer la distancia a los satélites en forma muy precisa, por lo tanto nosotros necesitamos un método para determinar cuál es esa distancia. El método elegido trabaja midiendo cuánto tiempo le toma a una señal de radio en llegar a nosotros desde un satélite. Posteriormente conocida la velocidad de la luz y este tiempo podemos calcular la distancia.

Las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz. Entonces si nosotros podemos determinar, exactamente, cuándo el satélite GPS comienza a emitir su mensaje de radio y cuándo lo recibimos nosotros, podremos llegar a saber cuánto le tomó llegar hasta nuestra posición.

Recordemos que: Velocidad de la luz x Tiempo = Distancia

Es decir que conociendo sólo tres señales de satélites diferentes, podemos determinar nuestra posición.

Ahora, por supuesto, nuestros relojes tendrán que ser muy buenos. En efecto, si un satélite GPS está sobre nuestras cabezas le puede tomar solamente alrededor de seis centésimas de segundo para que el mensaje llegue a nosotros.

La medición de tiempo deber ser muy exacta, pero también los relojes que se utilizan en los receptores deben ser baratos.

El sistema GPS ha desarrollado técnicas de avanzada para esta clase de mediciones. La mayoría de los receptores GPS pueden medir el tiempo con una precisión del nanosegundo. Esto es 0,000000001 segundos.

El gran truco de la medición del tiempo de viaje es determinar exactamente cuándo la señal deja el satélite. Para hacer esto los diseñadores del sistema GPS decidieron sincronizar los satélites y los

receptores de tal manera que generen el mismo código exactamente al mismo tiempo.

Después sólo debemos recibir los códigos del satélite y volver a observar cuánto hace que nuestro receptor ha generado el mismo código. El tiempo de diferencia entre los dos códigos iguales es el tiempo que le tomó a la señal llegar hasta nosotros.

La ventaja de usar un grupo de códigos es que se puede hacer una medición de tiempo en cualquier momento en que se desee.

El sistema GPS no usa números, tanto los satélites como los receptores, actualmente generan un complicado grupo de códigos digitales.

Los códigos están hechos complicados a propósito, para que puedan ser comparados fácilmente y sin ambigüedades, y por otras razones técnicas de las que hablaremos posteriormente. De todas formas, los códigos son tan complicados, que la mayoría de ellos aparece como una larga fila de códigos aleatorios.

Estos no son realmente del todo aleatorios, sino que están cuidadosamente seleccionados como secuencias "seudo - aleatorias" que se repiten cada millonésima de segundo. Por esto, frecuentemente están referidos como códigos "seudo - aleatorios".

### **c) DETERMINACIÓN DEL TIEMPO CORRECTO**

Al menos una parte del problema de sincronizar los relojes es fácil de explicar. Los satélites tienen a bordo relojes atómicos. Estos son increíblemente precisos y caros. Cada satélite tiene cuatro, sólo para estar seguros de que uno está siempre trabajando.

Los relojes atómicos no andan con energía atómica. Tienen el mismo nombre porque usan las oscilaciones de un átomo para sus "metrónomos". Esta es la más estable y exacta referencia del tiempo que el hombre ha creado.

Hay una forma de conseguir esta estabilidad con los relojes que tienen los receptores GPS comerciales. El secreto está en hacer una medición de distancia extra. Esta medición permite corregir las imperfecciones de la sincronización. Esta es la razón por la cual decíamos que "teóricamente" tres mediciones eran suficientes.

La trigonometría dice que si tres mediciones perfectas localizan un punto en un espacio tridimensional, entonces cuatro mediciones imperfectas pueden eliminar cualquier error de tiempo.

Esto puede sonar como un montón de técnicas desconocidas, pero la idea en realidad es bastante simple. Supongamos que el reloj de nuestro receptor no es perfecto como uno atómico, lo cual es cierto, pero es estable como un reloj de cuarzo y que no está perfectamente sincronizado con el tiempo universal. Para resolver este problema se puede usar un truco trigonométrico.

Si tenemos mediciones producidas con relojes que no están sincronizados adecuadamente y agregamos otra medición, veremos que no hay forma física de que todas estas mediciones se puedan interceptar en un solo punto. Las pequeñas computadoras, que están en nuestros receptores GPS, están programadas para detectar este inconveniente. En este caso la computadora asume que la causa de este problema es que su reloj interno está mal.

Entonces las computadoras comienzan a sustraer o a agregar tiempo, la misma cantidad para todas las mediciones. Esto se repite hasta que dé una respuesta que permita que todos los rangos vayan a un mismo punto.

En esencia, "descubre" que substrayendo o agregando segundos a todas las mediciones puede lograr que todos los círculos se intercepten en un solo punto. Y de esta forma deduce que su reloj está sincronizado.

En otras palabras lo que hacen las computadoras es aplicar los conceptos del álgebra para resolver el problema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas.

Pero la idea fundamental es que si agregamos una medición más podemos descartar cualquier error de sincronismo de los relojes, que puedan tener nuestros receptores.

En tres dimensiones esto significa que realmente se necesitan hacer cuatro mediciones para suprimir cualquier error. Este es un significativo número para recordar ya que implica que usted no puede obtener una posición exacta y verídica hasta tener cuatro satélites en su horizonte.

La necesidad de cuatro mediciones tiene un gran impacto en

el diseño de los receptores GPS. Esto implica que necesitaremos un receptor con cuatro canales como mínimo. De esta forma puede dedicar un canal a cada uno de los cuatro satélites simultáneamente.

#### **d) CÓMO SE DETERMINA LA POSICIÓN DE UN SATÉLITE EN EL ESPACIO**

Nosotros estamos asumiendo que en todas nuestras mediciones, conocemos exactamente dónde están los satélites GPS.

Las órbitas de los satélites utilizados en este sistema no están perturbadas por la atmósfera. Esto significa que las predicciones de sus órbitas son muy exactas.

El gobierno de los Estados Unidos introdujo, en cada satélite, una órbita precisa acorde al plan máster del sistema GPS. Las órbitas son conocidas con anticipación.

Algunos receptores GPS tienen un "almanaque" programado dentro de su memoria. Este almanaque les indica dónde estará cada satélite en el cielo en cualquier momento.

Para mantener adecuadamente las órbitas de los satélites GPS el Departamento de Defensa de los Estados Unidos las monitorea y corrige constantemente.

Los satélites GPS pasan sobre una de las estaciones de monitoreo (DOD) dos veces al día.

Esto le da a la DOD la oportunidad de medir precisamente su: altitud, posición y velocidad.

Estas variaciones en las órbitas son producidas por fenómenos llamados en la mecánica celeste perturbaciones de la órbita. Estas variaciones son usualmente menores y causados por la influencia gravitacional de la luna, del sol y por la presión de la radiación solar.

Una vez que la DOD ha medido una posición del satélite y la ha corregido devuelve esta información al satélite. Después el satélite transmitirá estas pequeñas correcciones a los receptores GPS.

Los satélites GPS no sólo transmiten un pseudo - código aleatorio para propósitos de tiempo, sino también transmiten un "mensaje de datos" sobre su exacta posición orbital y la "salud" de su sistema.

Todos los receptores importantes de GPS usan esta información en sus almanaques internos para establecer precisamente la posición de los satélites.

## **e) RETRASOS IONOSFÉRICOS Y ATMOSFÉRICOS**

El sistema posee un par de fuentes de errores que son muy difíciles de eliminar.

Tal vez el más importante de esos errores se debe a la ionosfera de la tierra. La ionosfera es una capa de partículas cargadas eléctricamente que está situada alrededor de las 100 millas de altitud. Estas partículas afectan la velocidad de la luz, como también la velocidad de las señales de radio que llegan al receptor GPS.

La velocidad de la luz es solamente constante en el vacío. Pero cuando la luz o una señal de radio viaja a través de un medio más denso, como puede ser una capa de partículas cargadas de varias millas de espesor, se reduce un poco su velocidad. Este retraso hará perder precisión en nuestros cálculos de distancia ya que éstos implican que la velocidad de la luz es constante.

Hay un par de formas por las que podemos tratar de minimizar el error causado por esa variación. Por una parte podemos predecir cuál será la variación típica de la velocidad en un día promedio, bajo condiciones promedias de la ionosfera, y después aplicar el factor de corrección a todas nuestras mediciones. Esto ayudará, pero desafortunadamente no todos los días son promedios.

Otra forma por la que podemos medir la variación en la velocidad de nuestra señal es observando las velocidades relativas de dos señales diferentes. La idea básica, para este caso, es que la señal radioeléctrica viaja a través de la ionosfera y ésta disminuye su velocidad de propagación. Esta disminución es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. Cuanto más baja es la frecuencia de la señal, menos disminuye su velocidad.

Entonces si comparamos el tiempo de llegada de dos señales diferentes de un satélite GPS, podemos deducir qué clase de disminución debe haber tenido cuando viajaba.

Esta clase de corrección de errores es muy sofisticada y sólo se encuentra en los más avanzados receptores GPS.

Este tipo de receptor se llama de "frecuencia binaria" o también de "libre solución ionosférica".

Después de que las señales de los satélites GPS atraviesan la ionosfera, entran en la atmósfera.

Desafortunadamente el vapor de agua de la atmósfera también puede afectar a las señales. Los errores son similares en magnitud a aquellos causados por la ionosfera, pero por desgracia esta clase de errores son casi imposibles de corregir.

Afortunadamente, su efecto neto en nuestros cálculos de posición es considerablemente menor que el ancho de una calle promedio.

La propagación de errores ionosféricos y atmosféricos es solamente un tipo de errores que pueden escurrirse en nuestras mediciones.

Hay otras causas que provocan inexactitud en nuestro sistema. Los relojes atómicos también están sujetos a pequeñas variaciones de tiempo, si bien el DOD monitorea a estos relojes y puede ajustados cuando ocurren pequeñas desviaciones. Sin embargo estas leves inexactitudes pueden afectar, a veces, nuestras mediciones.

Al igual que los relojes atómicos en los satélites, nuestros receptores también pueden cometer errores. El receptor puede cometer un error en una operación matemática debido a una interferencia electrónica y esto puede causar una correlación errónea en los "códigos pseudo-aleatorios".

Estos errores son usualmente muy pequeños o muy grandes, para el receptor es muy fácil detectar errores grandes, porque son muy obvios, pero a veces es difícil descubrir los pequeños. Estos "errores de recepción" pueden dar unos pocos centímetros de duda en todas las mediciones.

Otra clase de error, que no puede ser evitado, en los satélites o en los receptores es el "error multipath". Este aparece cuando las señales transmitidas desde los satélites rebotan antes de llegar a nuestro receptor. El resultado es que esa señal no va directamente al receptor como debería, en cambio toma otros caminos.

Este es el mismo efecto que causa el "desvanecimiento de la señal" en los sistemas de radioenlaces.

Los receptores modernos usan avanzadas técnicas de procesamiento de señal y antenas especiales para minimizar este problema.

Para alcanzar la mejor exactitud posible, un buen receptor GPS tomará en cuenta un sutil principio de la geometría llamado "Dilución geométrica de precisión".

No es que un satélite sea mejor que otro. Es sólo que dependiendo de sus ángulos relativos en el cielo, la geometría puede magnificar o disminuir todas las inexactitudes de las que hemos hablado anteriormente.

En otras palabras, las inexactitudes implican que no podemos decir que nosotros estamos en este punto determinado. Sólo podemos decir que estamos, en algún lugar, dentro de un volumen.

Dependiendo del ángulo entre los satélites, esa pequeña caja puede ser exacta y cuadrada y relativamente pequeña, o bien puede ser estirada y larga.

En términos simples, cuanto más grande sea el ángulo entre los satélites, mejor va a ser la medición.

Los buenos receptores tienen computadoras que analizan las posiciones relativas de todos los satélites posibles y eligen los cuatro mejores candidatos. Es decir aquellos mejores posicionados para reducir el tamaño de la caja.

Siempre los receptores más sofisticados calculan su posición basados en todos los satélites a la vista. De esta forma el error GDOP es completamente minimizado.

La exactitud del sistema GPS es determinada por la suma de diferentes fuentes de error. La contribución de cada fuente podría variar dependiendo de la atmósfera y las condiciones del equipo.

Además, la exactitud de GPS puede ser intencionalmente degradada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

Para ello se usa un modo de operaciones llamado "Utilidad Selectiva" (Selective Availability) o S/A.

La variación del S/A permite quitar a las fuerzas enemigas la ventaja táctica del posicionamiento GPS.

Los tipos de errores y su contribución al error total es la siguiente:

Error en reloj del satélite	61 cm.
Error astronómico	61 cm.
Error del receptor	122 cm.
Atmosféricos / ionosféricos	366 cm.
En el peor caso S/A implementado	732 cm.
TOTAL (suma de raíz cuadrada)	457 a 915 cm.

Para calcular la exactitud predicha, multiplicamos el total sobre el PDOP (Posición de la Dilución de Precisión).

PDOP está bajo rango de buenas condiciones desde 122 cm a 183 cm. Entonces la posición exacta que usted podría esperar sería:

Típica en un buen receptor	1829 - 3048 cm.
En el peor caso	6096 cm.
Si S/A está implementado	10669 cm.

En el peor de los casos estamos hablando de un error de 100 mts.

## **CÓDIGO SEUDO ALEATORIO**

Este concepto de código seudo - aleatorio es muy ingenioso y ayuda al sistema GPS a ser práctico y relativamente barato.

Ya hemos discutido cómo el código seudo-aleatorio deja a un receptor, calcular la diferencia de tiempo entre él y un satélite, pero eso sólo es parte de su función.

El código seudo-aleatorio elimina la necesidad de usar un concepto puntal en la teoría de la información. Por esto, la señal de GPS puede ser de muy baja potencia y aún así ser recibida con una antena de sólo unas pocas pulgadas de ancho. En efecto, las señales GPS son tan débiles que no se registran sobre el inherente ruido de fondo de las señales de radio de la tierra.

El ruido de cualquier comunicación radioeléctrica está formado por pulsaciones electrónicas aleatoriamente variables.

Nuestro código seudo-aleatorio luce como si fuera ruido, pero

tiene una importante diferencia con éste ya que nosotros conocemos el patrón de fluctuaciones.

Nosotros podemos dividir la señal en períodos de tiempo (llamados "chips" en lenguaje GPS) y después marcar todos los períodos que se igualan.

Dado que ambas señales son básicamente patrones aleatorios la probabilidad dice que sobre la mitad del tiempo coincidirán y la otra mitad del tiempo no lo harán. Entonces si nosotros establecemos un sistema de puntaje y nos damos un punto cuando ellos coinciden, y substraemos uno cuando no, encontramos que sobre una larga carrera acabaremos con una puntuación final de "0" porque el "1" sería cancelado con el "-1".

Pero ahora, si un satélite GPS comienza mandando una serie de pulsos con el mismo patrón que nuestra serie pseudo-aleatoria, esas señales, siempre y cuando sean débiles, aguardarán para armar el fondo aleatorio con el mismo patrón que estamos usando para nuestra comparación. Si nosotros deslizamos nuestro código seudo - aleatorio de receptor hasta que se ponga en línea al satélite, rápidamente habrá un patrón de coincidencias y nuestro puntaje aumentará.

Si hacemos la comparación sobre un gran número de períodos de tiempo, podemos hacer nuestra puntuación más y más grande. Cuanto más grande es el período de comparación, más grande será el número y éste actúa como una clase de amplificador.

Ahora, esta explicación está muy simplificada pero el concepto básico es significativo. El código seudo - aleatorio nos da una forma de reconocer claramente una señal muy débil. Esto significa que los satélites GPS no tienen que ser muy poderosos, por lo tanto cuestan menos y esto significa que nuestros equipos tanto en el espacio como en la tierra pueden usar antenas muy pequeñas.

Hay un par de razones más por las que el sistema está basado en un código seudo-aleatorio.

Este código proporciona al Departamento de Defensa de los Estados Unidos una forma de acceder al sistema de un satélite.

En tiempos de guerra, ellos podrían cambiar el código y así prevenir que el enemigo use el sistema. También en tiempos de paz el DOD retiene alguna "exclusividad" para el sistema.

Hay dos formas separadas de código pseudo-aleatorio, una llamada el "código C/A" y otra llamada el "código P".

El código C/A es el que usan todos los receptores civiles. Este es de una frecuencia más baja que el código P y es pensado para ser menos preciso.

El código P puede ser encriptado de tal manera que sólo usuarios militares tengan acceso garantizado al mismo. En suma el código P es casi imposible de burlar.

El DOD puede aún degradar la exactitud común del código C/A usando un modo operacional llamado "utilidad selectiva" (selective availability) o S/A.

S/A es esencialmente un método para crear artificialmente un significativo error en los relojes de los satélites. Cuando esté implementado será la fuente más grande de error del sistema GPS.

Otro beneficio del esquema del código pseudo-aleatorio es que todos los satélites del sistema pueden compartir la misma frecuencia sin interferir uno con otro.

Cada satélite tiene su propio código pseudo-aleatorio distinto, entonces diferenciar entre ellos es sólo un problema de usar el código correcto en el receptor durante el proceso de comparación.

Dado que todas las transmisiones son de baja potencia no hay ningún satélite que interfiera.

Sin lugar a dudas las aplicaciones de este sistema de posicionamiento global son múltiples y van desde aplicaciones geodésicas hasta la localización automática de móviles.

## **SISTEMA DE LOCALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE VEHÍCULOS**

Una de las aplicaciones típicas del sistema GPS lo constituye la localización automática de vehículos. Estos sistemas se llaman AVLS (Automatic Vehicle Location System).

Los sistemas de localización automática de vehículos, están formados por tres módulos que son:

### **a) MÓDULO DE NAVEGACIÓN**

## **b) MÓDULO DE COMUNICACIONES**

### **c) ESTACIÓN BASE**

Estos sistemas permiten la localización y control de los móviles, dando la velocidad y la posición de cada uno, en forma automática.

Posteriormente estos datos son presentados, en la Estación Base, en un mapa que contiene toda la información necesaria para optimizar la operación.

Con el uso del sistema LAV se logra un menor costo operativo, mayor eficiencia en la operación, más seguridad, el conocimiento de la velocidad y un estado en tiempo real de la ubicación de cada formación.

Veamos una breve descripción de cada modulo.

### **a) MÓDULO DE NAVEGACIÓN**

El módulo de navegación está formado por el receptor GPS.

En las aplicaciones terrestres, los obstáculos (edificios, árboles, montañas, etc.) disminuyen temporalmente la señal de los satélites GPS.

El receptor GPS es sensible a los bajos niveles de señal. Para neutralizar este efecto se usa un receptor de seis canales independientes entre si. Con esta configuración se reciben seis frecuencias simultáneas, lo que permite optimizar el tracking de los satélites. Con esta arquitectura se puede seleccionar los canales donde las señales sean más fuerte.

La antena que utiliza el receptor es pequeña. Puede ser montada en cualquier lugar del techo del móvil, la única recomendación es que no esté cerca de la antena del sistema comunicaciones del tren.

### **b) MÓDULO DE COMUNICACIONES**

Esta formado por un controlador de comunicaciones y el equipo de radio (VHF / UHF). El controlador de comunicaciones tiene un módem cuya velocidad es de 1.200 bauds (DBPSK).

Se lo utiliza para proveer las comunicaciones de datos sobre

un canal de voz o un canal dedicado. Asegura una transmisión libre de error mediante el uso de códigos detectores y correctores.

Cuando los datos y la voz comparten el mismo canal, el sistema hace que siempre la voz tenga prioridad sobre el dato.

Si el tráfico de voz es muy intenso, a pesar que los datos se transmiten en los tiempos muertos que se producen en una conversación de voz, es necesario tener un canal de datos exclusivo. De esta forma se logra tener una razonable frecuencia de transmisión de datos a la estación base del sistema LAV.

El modem, del controlador de comunicaciones, es compatible con una amplia gama de radios (VHF / UHF, FM o similares).

Los equipos de radios son los que comúnmente se utilizan para comunicaciones móviles, es decir VHF / UHF, FM (semi-duplex).

### **c) ESTACIÓN BASE**

La Estación Base del sistema **LAV** utiliza una PC 486 o mejor para recibir y decodificar la posición de los móviles, vía el sistema de radio.

Los mensajes son recibidos con total confiabilidad, de forma tal que la información de la posición de los trenes es procesada por la propia empresa, manteniendo de esta forma la seguridad del sistema.

Los beneficios del sistema **LAV** se muestran particularmente en los procesos **just-in-time**, permitiendo ajustar al máximo la productividad en función de determinar con precisión la llegada de los móviles.

El conocimiento de la posición del móvil en todo momento, permite la corrección de los programas de producción y de esta forma optimizar los índices de productividad.

La función de la Estación Base es procesar la información recibida desde el tren y mostrarla en una pantalla. En esta pantalla se puede visualizar la posición del tren superpuesta con la del mapa correspondiente a esa zona; como también tablas con información adicional de importancia.

En la PC de la Estación Base hay un software especial que

controla e identifica, en un mapa, los distintos móviles. En este mapa aparecen todas las calles, rutas, pasos a nivel, estaciones y ciudades principales del área en cuestión, pudiendo utilizarse funciones de zoom a efectos de visualizar mejor una zona.

Como podemos ver el sistema en sí mismo es independiente del canal de comunicaciones que se utilice.

Los canales de comunicaciones típicos que se utilizan en este tipo de aplicaciones son: satelital, enlace de radio óptico. En menor medida se utilizan los siguientes canales de comunicación: telefonía celular y sistema troncalizado.

Veamos una breve descripción de cada uno.

## **CANALES DE COMUNICACIÓN**

### **a) SATELITAL**

El sistema satelital más usado, para esta aplicación, es el sistema Inmarsat-C.

El sistema Inmarsat-C está constituido por una red de satélites de comunicaciones y estaciones terrestres.

Este sistema permite a sus usuarios enviar y recibir, al instante, mensajes de texto en cualquier lugar de la Tierra. Esta comunicación es independientemente de las condiciones meteorológicas.

Los usuarios de este sistema, transmiten mensajes escritos por intermedio de una computadora móvil conectada a un transreceptor Inmarsat-C.

Un satélite Inmarsat-C regional recibe el mensaje y luego lo transmite a la correspondiente estación terrestre LES (Lan Earth Station). La LES proporciona acceso a las redes internacionales de comunicaciones, transmitiendo mensajes vía Telex, datos, por paquetes y por voz. Todos los mensajes Inmarsat son privados.

Con el uso de la red global de satélites Inmarsat-C se tiene la seguridad de que la información de los buques será siempre transmitida.

Cada uno de los satélites tiene un sistema secundario de emergencia, y para mayor integridad del sistema se tiene la opción de dos o más satélites Inmarsat en la mayoría de las regiones del mundo.

Un consorcio internacional de países está a cargo de la operación del sistema Inmarsat. El sistema es económico, global, confiable e inmune a las demoras ocasionadas por las congestiones o condiciones atmosféricas que acosan a las comunicaciones por radio (VHF, HF y MF).

En la actualidad el costo de las comunicaciones por este tipo de canal está en franca reducción. Existen tarifas especiales para los sistemas tipo LAV que reducen sustancialmente los costos, también se pueden utilizar arquitecturas especiales con este mismo fin. Como es el caso de las estaciones virtuales.

## **b) ENLACE DE RADIO ÓPTICO**

En este caso se utilizan equipos de radio que trabajan en la banda de VHF o UHF. Estos equipos, en general, son semi-duplex y son los que comúnmente se utilizan para la comunicaciones de móviles (camionetas, autos de policía, bomberos, etc.).

En este tipo de comunicaciones el alcance está dado por la altura de las torres, potencia de los equipos, perfil del terreno, condiciones atmosféricas, condiciones climáticas, etc.

Si bien el uso de este tipo de canal de comunicación hace que el sistema LAV sea relativamente barato choca con el inconveniente de que la cobertura del mismo no es global.

## **c) TELEFONÍA CELULAR**

Los sistemas LAV pueden tener como soporte de comunicaciones sistemas de telefonía celular. Estos sistemas permiten tener una cobertura mayor de la que se obtiene con los sistemas de enlace de radio óptico.

Si bien se puede tener una cobertura muy grande, dependiendo del alcance de la red de telefonía celular que se trate, no tendríamos la cobertura global que se puede obtener con los sistemas que trabajan con un enlace satelital.

Otro problema importante de este tipo de canal es el costo de la comunicación. Si bien la duración de la transmisión de dato es corta el costo del uso de este canal de comunicación es elevado.

#### **d) TRONCALIZADO**

Los sistemas troncalizados se desarrollaron con la finalidad de aliviar la congestión que tuvo el espectro radioeléctrico con el crecimiento explosivo de los sistemas de VHF/UHF, FM.

Estos sistemas permiten optimizar el uso de las frecuencias asignadas, lograr privacidad en las comunicaciones, colocar más móviles por frecuencia, etc.

Si bien se puede tener una cobertura muy grande, dependiendo del alcance del sistema troncalizado que se trate, no tendríamos la cobertura global, como en el caso de la telefonía celular, que se puede obtener con los sistemas que trabajan con un enlace satelital.

Este tipo de canal posee el mismo inconveniente que el caso anterior, es decir el costo de la comunicación. Si bien el costo de la comunicación es menor al de la telefonía celular es mayor que el de los sistemas de enlace de radio óptica.