



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Electricidad y Electrónica

Sistema GPS y bitácora electrónica de móviles.

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero Electrónico.

Profesor patrocinante:
Sr. Nestor Fierro Morineaud.
Ingeniero Electrónico.

BORIS AYANCAN LEIVA
SEBASTIÁN NARVÁEZ CÁRDENAS

Valdivia 2008

MIEMBROS COMISIÓN DE TITULACIÓN

Profesor Patrocinante
Néstor Fierro Morineaud
Ingeniero Electrónico

Profesor Informante
Franklin Castro
Ingeniero Electrónico

Profesor Informante
Pedro Rey Clericus
Ingeniero Electrónico

FECHA DE TITULACIÓN:

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos utilizar esta instancia, para agradecer en primer termino a nuestros padres, por todo el apoyo y comprensión que nos brindaron no solo durante estos años de formación universitaria sino por todo lo que nos han entregado en nuestras vidas.

Además, no podemos dejar de agradecer a todas las personas que nos apoyaron en estos años, a nuestros profesores muchas gracias, de ustedes podemos valorar muchas mas lecciones de las aprendidas en las aulas.

Bueno, también agradecemos a todas las personas que se sientan contentas nosotros.

A todos muchísimas gracias.

RESUMEN

Este trabajo de Tesis se enmarca una vista amplia sobre los sistemas de posicionamiento global existentes hoy en día , donde se profundiza en el sistema GPS ya que es el mas desarrollado, siendo en este momento el mas conocido a nivel mundial.

Además se desarrolló en laboratorios de el Instituto de Electricidad y Electrónica un equipo que utiliza la información que proporciona un receptor GPS, para almacenar la ubicación de un móvil que se desplaza por la ciudad de Valdivia, la cual puede ser analizada en un software especialmente creado para esta aplicación, y de esta manera reconstruir el recorrido y la ubicación del móvil, que cuenta con este sistema llamado Bitácora electrónica.

SUMMARY

This work of thesis fits a large view about the global positioning systems available today, which delves into the GPS system as it is the most developed and at this moment the most famous worldwide.

In addition to develop and build a device in laboratories of the Institute of Electrical and Electronics, this device uses the information provided by a GPS receiver, to store the location of a mobile moves by the city of Valdivia, which can be analyzed in a software specially created for this application and thus rebuild the route and the location of the mobile, with this electronic system called “Bitacora electronica”.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES:

- Investigar el sistema GPS
- Utilizar los datos que es capaz de entregar el equipo GPS
- Crear un prototipo capaz de almacenar los datos de los puntos de recorrido para ser visualizados en un pc .

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigar sobre las comunicaciones satelitales, específicamente, lo que refiere al sistema GPS.
- Describir el funcionamiento de cada uno de los equipos y sistemas necesarios para implementar el prototipo práctico.
- Realizar pruebas necesarias para obtener el buen funcionamiento del prototipo.
- Exponer todos los aspectos relevantes de los sistemas y tecnologías utilizadas en el sistema GPS y en los sistemas y componentes utilizados para almacenar y procesar los datos que maneja el prototipo.
- Desarrollar un software para la visualización de forma grafica de los datos de posición almacenados en el prototipo.

INDICE

CAPITULO 1 TEORIA DEL SISTEMA GPS.

1.1 Introducción al GPS.	9
1.2 Sistema de posicionamiento Global GPS.	11
1.3 Descripción del sistema GPS.	12
1.4 El sector espacial.	12
1.5 Señal de los satélites.	17
1.6 Espectro Expandido.	23
1.7 El sistema de referencia DATUM WGS-84.	25
1.8 El sector de control.	26
1.9 Sector usuarios.	27
1.10 Formas de recibir las señales de los satélites.	30
1.11 Como trabaja el GPS.	31
1.12 GPS diferencial.	36

CAPITULO 2 OTROS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO POR SATELITE Y APLICACIONES.

2.1 Introducción	38
2.2 GLONASS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)	39
2.3 Descripción Sistema GLONASS	40
2.4 Códigos del sistema GLONASS	43
2.5 El mensaje de navegación	44
2.6 Sistema de Referencia DATUM PZ-90.	45
2.7 Sector Usuario	46
2.8 GPS vs GLONASS	46
2.9 Uso Conjunto de GPS y GLONASS	47
2.10 Sistema de Posicionamiento Global GALILEO	51
2.11 Arquitectura de GALILEO.	53
2.12 Sector Usuarios.	54
2.13 Servicios de GALILEO	54

2.14 Ventajas del Sistema GALILEO.	56
2.15 Sistema de Posicionamiento por Satélite BEIDOU	57
2.16 Red de navegación	58
2.17 Método de operación	59
2.18 Satélites	59
2.19 Aplicaciones de los Sistemas de Posicionamiento	60

CAPITULO 3 TECNOLOGIAS ASOCIADAS AL DESARROLLO DE BITACORA ELECTRONICA PARA CONTROL DE FLOTAS EN LA CIUDAD DE VALDIVIA.

3.1 Introducción	63
3.2 Descripción del sistema Bitácora Electrónica	63
3.3 Recepción de los datos de Posición	64
3.4 Estándar NMEA	65
3.5 Interfaz de Almacenamiento y Procesamiento de Datos de Posicionamiento.	68
3.6 USB	71
3.7 Despliegue Grafico y visualización en el Pc.	78

CAPITULO 4 IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE, FIRMWARE Y MONTAJE ELECTRÓNICO DE LA TARJETA REGISTRADORA DE BITACORA ELECTRONICA.

4.1 Introducción	79
4.2 Tarjeta electrónica	79
4.3 Comunicación con el dispositivo GPS.	81
4.4 Programación en el circuito.	81
4.5 Interfaz USB.	82
4.6 Captura y almacenamiento de datos.	83

4.7 Comunicación USB.	86
4.8 Software de visualización	89
4.9 Comunicación con la tarjeta electrónica.	90
4.10 Presentación grafica de la información.	93
4.11 Sistemas de almacenamiento de archivos y exportación en archivos de texto tabulados.	99
4.12 Resultados.	103
4.13 Evaluación financiera del desarrollo y producción de Bitácora Electrónica.	109
CONCLUSIONES.	111

CAPITULO 1

TEORIA DEL SISTEMA GPS.

1.1 Introducción al GPS.

En el presente capitulo veremos todos los aspectos relacionados con el Global Positioning System (GPS) que es un sistema de posicionamiento global por satélites usado en navegación que permite determinar la posición las 24 horas del día en cualquier lugar del planeta, en el desarrollo de este trabajo se utilizara esta aplicación, en los próximos capítulos desarrollaremos este tema.

El sistema GPS consiste en una constelación de 24 satélites que orbitan la Tierra y envían señales de radio a su superficie. Un receptor GPS es capaz de recibir y procesar señales de los satélites. Este utiliza las señales de radio para determinar la posición en la Tierra. La mayor ventaja del sistema GPS frente a la navegación convencional, con compás, cartas y altímetro, es su exactitud.

El sistema GPS nace en la década de los sesenta, y comenzó su desarrollo bajo la supervisión de la U.S.Air Force. Pero fue en el año 1974 cuando otros entes militares de EE.UU aunaron esfuerzos y le dieron el nombre Navstar Global Position System; sin embargo, el nombre GPS es con el que se conoce hoy en día. El costo monetario del desarrollo fue de unos 10 billones de dólares y esta en plena operación desde el año 1995.

En este contexto los rusos en 1976 iniciaron el desarrollo de su propio sistema de navegación satelital, llamado Global Navigation Satellite System (GLONASS), este sistema ofrece las mismas condiciones de funcionamiento para la parte civil en exactitud como el GPS. GLONASS envía señales de radio a la Tierra, pero en frecuencias distintas que el sistema GPS utiliza otras tecnologías (mas adelante profundizaremos este tema). Los

receptores civiles corrientes no pueden leer las señales GLONASS, pero ya existen fabricantes de receptores que están utilizando estas dos señales.

En 2003 la Agencia Europea del Espacio inicio su propio sistema de posicionamiento por satélite llamado GALILEO, poniendo en orbita el primer satélite, este sistema constará de 30 satélites en su constelación y está previsto completar el programa en 2008. El sistema GALILEO será compatible con el sistema GPS. Además, la republica popular china esta desarrollando su propio sistema de posicionamiento por satellite llamado BEIDOU que se diferenciara de GPS y GLONASS por usar satelites geoestacionarios también cabe mencionar que china tiene participación en el sistema GALILEO.

1.2 Sistema de posicionamiento Global GPS

EL Sistema de Posicionamiento Global (GPS; o NAVSTAR GPS) es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual nos permite determinar la posición de una persona, móvil, nave con una precisión bastante buena llegando al caso de solo centímetros de error usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. El sistema fue creado desarrollado y puesto en marcha, y actualmente mantenido, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una constelación 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el planeta a 20.200 km con trayectorias sincronizadas para dar cobertura total a la tierra. Cuando se quiere calcular la posición, el receptor GPS que se este utilizando localiza automáticamente un mínimo de cuatro satélites de la constelación, de estos recibe una señal indicando su posición sideral y el estado de su reloj interno. Con estas señales, el receptor sincroniza su reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, la distancia desde el receptor al satélite. Por "triangulación" calcula la posición deseada. La triangulación utilizada en el caso del GPS, se basa en encontrar la distancia a cada satélite respecto al punto de medición (equipo Receptor). Determinada las distancias, fácilmente se logra la posición relativa respecto a los tres satélites. Además teniendo los datos de las coordenadas de cada uno de ellos por la señal que emiten en sus ondas de radio, se obtiene las coordenadas reales del receptor. También se logra exactitud muy alta en el reloj del recetor GPS, comparable a la de los relojes atómicos que se encuentran en las estaciones de control de tierra y que sincronizan los satélites. Por el diseño de la constelación en cualquier lugar del planeta siempre estarán visibles un mínimo de 8 satélites disponibles para determinar la posición. La energía eléctrica que necesitan para su funcionamiento la adquieren a partir de dos paneles de celdas solares. Están equipados con transmisores de microondas electromagnéticas, un sistema de navegación y un reloj atómico de cesio, tan preciso que solo se retrasa un segundo cada 30 mil años.

La posición designada para cada satélite en sus órbitas proporciona que el receptor GPS reciba, las señales de por lo menos 6 u 8 de ellos.

1.3 Descripción del sistema GPS.

El sistema GPS se puede dividir en tres grandes partes, como se muestra en la figura1: El Sector Espacial, El Sector de Control Terrestre y El Sector del Usuario.

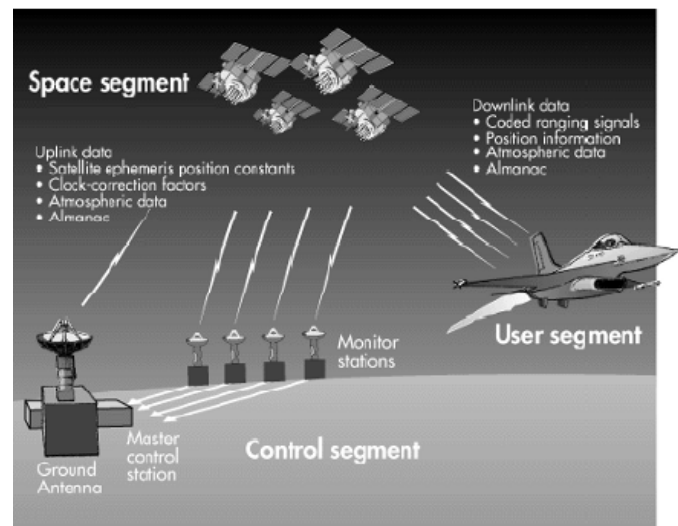


Figura 1.muestra los tres grandes sectores

1.4 El sector espacial

Este segmento del sistema GPS está compuesto por los satélites de la constelación GPS. Está constituida por seis planos orbitales, y en cada plano está compuesto por órbitas elípticas casi circulares, donde se encuentran en órbita los satélites de manera uniforme. Los planos tienen una inclinación de 55° respecto al plano del ecuador, y se nombran como A, B, C, D, E y F. Cada órbita alberga un mínimo de cuatro satélites, aunque pueden ser más. Los satélites se encuentran a una distancia de 20200 Km respecto del geocentro, y

completan una órbita en 12 horas sidéreas. Estos satélites dependen integramanete de los Comando de las Fuerzas Aéreas Espaciales de U.S.A.

1.4.1 Órbitas

- Las órbitas de los satélites son casi circulares, con una excentricidad de 0.03 a 0.3
- Están situadas a una altura de 20200 km.
- Tienen una inclinación respecto al plano del ecuador de 55° .
- La separación entre las órbitas es de 60° .
- El periodo de los satélites es de 11h 58m.
- Hay 6 efemérides que caracterizan a las órbitas.

Las efemérides son las predicciones de la posición actual de los satélites que se transmite al usuario en el mensaje de datos

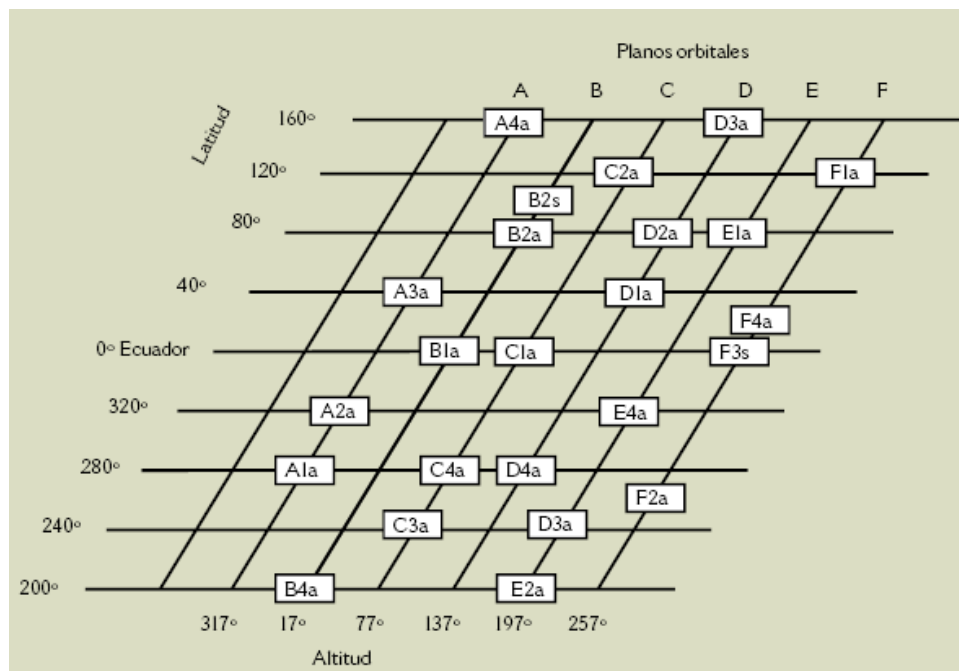


Figura 2: Representación simplificada constelación GPS.

1.4.2 Características de los satélites

Los satélites de la constelación GPS son identificables por:

- Por su número NAVSTAR (SVN).
- Por su código de ruido pseudoaleatorio (PRN).
- Por su número orbital.

Pero principalmente en la técnica GPS los satélites se reconocen por su PRN o *ruido pseudoaleatorio* (Pseudo Random Noise), único de cada satélite NAVSTAR.

En la actualidad, existe un número de veintisiete satélites operativos, pertenecientes a los bloques IIA y IIR. Se disponen:

- Cinco en los planos A, E y F.
- Cuatro en los planos B, C y D.

Todos cuentan con relojes atómicos de cesio, salvo los SVN 24, 27 y 31 que lo tienen de rubidio. En el caso de los relojes de cesio la precisión es de 10^{-13} s, mientras que los de rubidio es de 10^{-12} s. La frecuencia fundamental de emisión de estos osciladores es de 10,23 MHz. Además los satélites obtienen su energía necesaria para su funcionamiento de paneles solares con los cuales recargan los acumuladores de níquel-cadmio de 105 Ah.

Estos satélites tienen un grupo de antenas emisoras que trabajan en la banda L del espectro. También cuentan con una antena emisora-receptora, operando en banda S, que es con la que se comunica con el centro de control en tierra.

El tiempo que utiliza el sistema GPS es el tiempo universal coordinado designado UTC(USNO) que delimita el Observatorio Naval de los Estados Unidos mediante relojes atómicos de hidrógeno. La unidad de este tiempo GPS es el segundo atómico internacional .

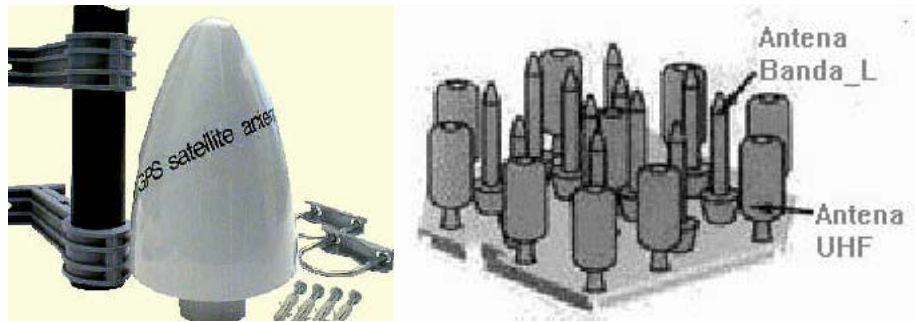


Figura 3: Antenas Utilizada en Satélite GPS ganancia 15 dB.

1.4.3 Bloque I

Los satélites del bloque I experimental, hasta hoy en día en servicio, fueron creados por Rockwell Internacional. Estos satélites fueron concebidos para que sean capaces de poder mantener de 3 a 4 días el servicio de posicionamiento sin contactarse con el Segmento de Control. Estos satélites transmiten un código de configuración de 000 que indican que pertenecen al bloque I. Fueron puestos en órbita entre los años 1978 y 1985 con cohetes Atlas F. Como características importantes pesan aprox. 400 Kg. y tienen paneles solares con 400 vatios de potencia. Su vida útil prevista era de 5 años pero han sido sobrepasada ampliamente ya que hoy en día todavía se encuentran en servicio.

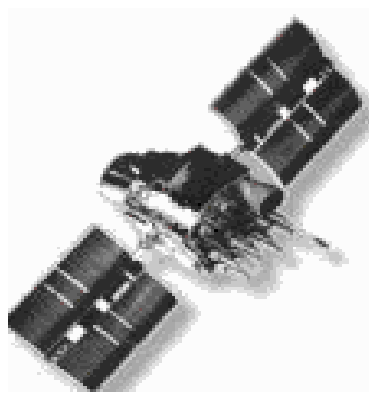


Figura 4. Satélite Bloque I

1.4.4 Bloque II

El bloque II fue desarrollado después del bloque experimental de satélites es 100% operativos, desarrollados por Rockwell Internacional y están comprendidos entre el 13 y el 21. Han sido diseñados para pasar 14 días de servicio de posicionamiento sin comunicarse con el Segmento de Control. Estos satélites transmiten un código de configuración de 001 que indica que pertenecen al bloque II. Como características específicas estos satélites pesan unos 800 Kg. Contienen 2 paneles solares de 7,2 metros cuadrados y 700 watios de potencia.



Figura 5. *Satélite Bloque II*

1.4.5 Bloque IIA

El bloque IIA es una nueva versión basada del bloque II, desarrollado igualmente por Rockwell International. Los satélites de este bloque se encuentran comprendidos entre el 22 y el 40. Han sido diseñados para proporcionar una mayor autonomía y pasar 180 días de servicio sin contacto con el Segmento de Control.

Las características que los diferencian del bloque II es que son mas pesado 930 Kg. Presentaron problemas en la orientación automática de sus paneles solares (orientables manualmente desde el control de tierra). El problema fue una falta de lubricación en el sistema de orientación inercial.

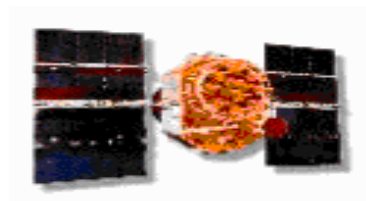


Figura 6. *Satélite Bloque IIA*

1.4.6 Bloque IIR

Los satélites del bloque IIR remplazan a los contemplados en el proyecto inicial bloque III. El bloque IIR fue desarrollado por General Electric y están comprendidos entre el 41 y el 66. Estos satélites proporcionan servicio de posicionamiento durante al menos 14 días sin contacto con el Segmento de Control si éstos utilizan el modo del bloque IIA son capaces de un mínimo de 180 días de servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control cuando están en el modo de navegación autónomo (Autonav mode).

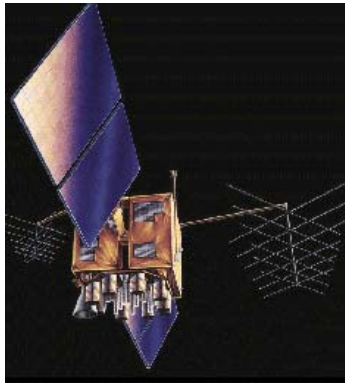


Figura 7. *Satélite Bloque IIR*

1.5 Señal de los satélites

Los satélites Transmiten sobre dos portadoras. Una de estas resulta de multiplicar la frecuencia fundamental (10,23 MHz.) por 154: 1575,42 MHz. que es llamaremos L1 (longitud de onda de 19,05 cm.). La otra la multiplicaremos por un factor 120: 1227,60 MHz. y la llamaremos L2 (longitud de onda de 24,45 cm.). La L es porque las frecuencias se encuentran en la banda L de radiofrecuencia que abarca desde 1 GHz. a 2 GHz. El hecho de usar dos frecuencias es para determinar el retardo producido en la transmisión, se utiliza en los receptores militares.

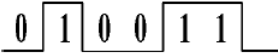
NIVEL	TIPO DE SEÑAL	APLICACIÓN
<i>Datos de navegación</i>	Secuencia de bits 	Datos de: • Posición de los satélites • Hora GPS • Estado funcional, ...
<i>Secuencias PRN</i>	Secuencia de bits 	• Medida de la distancia al satélite • Acceso cifrado a los datos de navegación
<i>Onda portadora</i>	Micro-ondas 	• Modulación de las secuencias binarias • Medición de distancia

Figura 8: Tratamiento de la señal en los satélites

Sobre las portadoras antes descritas se transporta secuencias de números llamados códigos, el C/A (Coarse /Adquisition) y el P (Precise). El código C/A (Course/Adquisition) es modulado utilizando la frecuencia fundamental dividida por 10, o sea 1,023 MHz. El código P (Precise), se modula solamente con la frecuencia fundamental de 10,23 MHz. Obteniendo finalmente, las efemérides son transmitidas en una frecuencia de 50 Hz.. El código C/A es recibido por todos los usuarios y modulado sobre la portadora L1. Por su parte el código P, es creado de manera similar y modulado en las portadoras L1 y L2 esto para medir el retraso en la ionosfera. Una de las características de las portadoras es que la técnica de modulación utilizada es BPSK

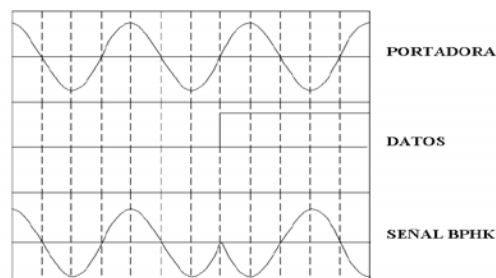


Figura 9: Señal modulada

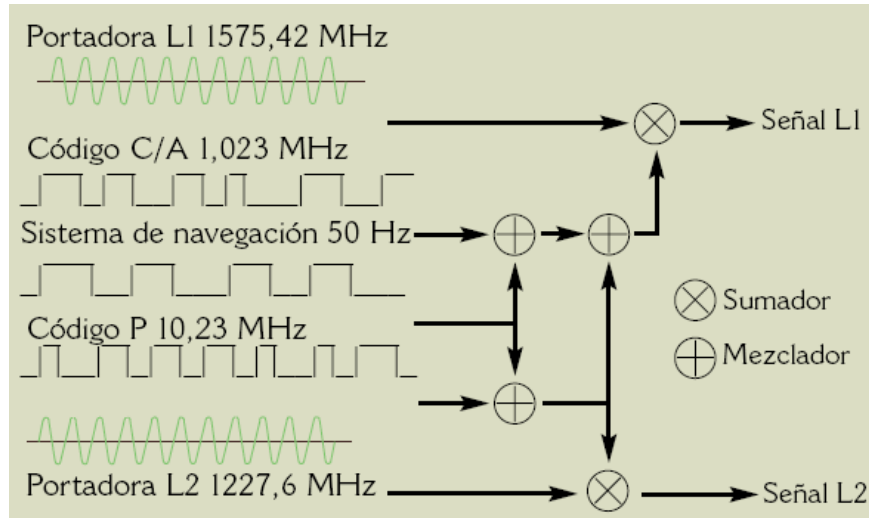


Figura 10: Tratamiento de las señales dentro del satélite GPS

1.5.1 CODIGOS

El código C/A se utiliza para el cálculo del servicio de posicionamiento estándar SPS (Standard Positioning Service). El código P ofrece mayor precisión y se utiliza en el posicionamiento preciso PPS (Precise Positioning Service). El mensaje entrega toda la información a los usuarios. Los códigos y el mensaje consisten en una secuencia, de determinada longitud, formada por dígitos binarios. Estos dígitos binarios también son denominados chips. Igualmente se expresa la longitud de los códigos en número de chips. Los códigos que utiliza el sistema GPS son los siguientes.

1.5.1.1 Código C/A (Coarse Acquisition).

Este como se mencionó anteriormente modula la portadora L1. Este es un código pseudoaleatorio PRN (Pseudo Random Noise) de 1 MHz. Utiliza modulación de espectro expandido de secuencia directa (DSSS) sobre 1 MHz de ancho de banda. Esta señal utiliza técnicas de modulación BPSK (Binary Phase Shift Key).

1.5.1.2 código P (Precise)

Envía su mensaje modulando ambas portadoras L1 y L2. Es un código PRN largo (7 días) de 10 MHz. En caso de ser necesario puede encriptarse y pasa a llamarse código Y. Éste requiere de receptores especiales es de uso exclusivo militar

Estos códigos son creados a través de un sistema conocido como Tapped Feedback Shift Registers (TFSR). Un Shift Register (SR) es una serie ordenada de bits cuya función es generar una secuencia continua de valores binarios. El sistema GPS usa SR de 10 bits.

Cuando se genera el código C/A se emplean dos TFSR: el G1 y el G2.

G1: Se utilizan los bits número 3 y 10 para determinar el valor binario que tomara el bit número 1 una vez que queda vacío al producirse el salto. G1 se puede expresar con el siguiente polinomio

$$1+x^3+x^{10}.$$

El bit que se obtiene después de cada salto del bit número 10 se denomina básico.

G2: El código G2 realiza la operación lógica XOR entre dos bits definidos para encontrar un dígito que denominaremos típico. Luego se realiza la XOR entre el bit básico y el típico. El resultado que se va obteniendo en cada salto se usa para formar la secuencia que constituye el código C/A, con 1023 bits de longitud total. G2 se puede expresar como el siguiente polinomio

$$1+x^2+x^3+x^6+x^8+x^9+x^{10}.$$

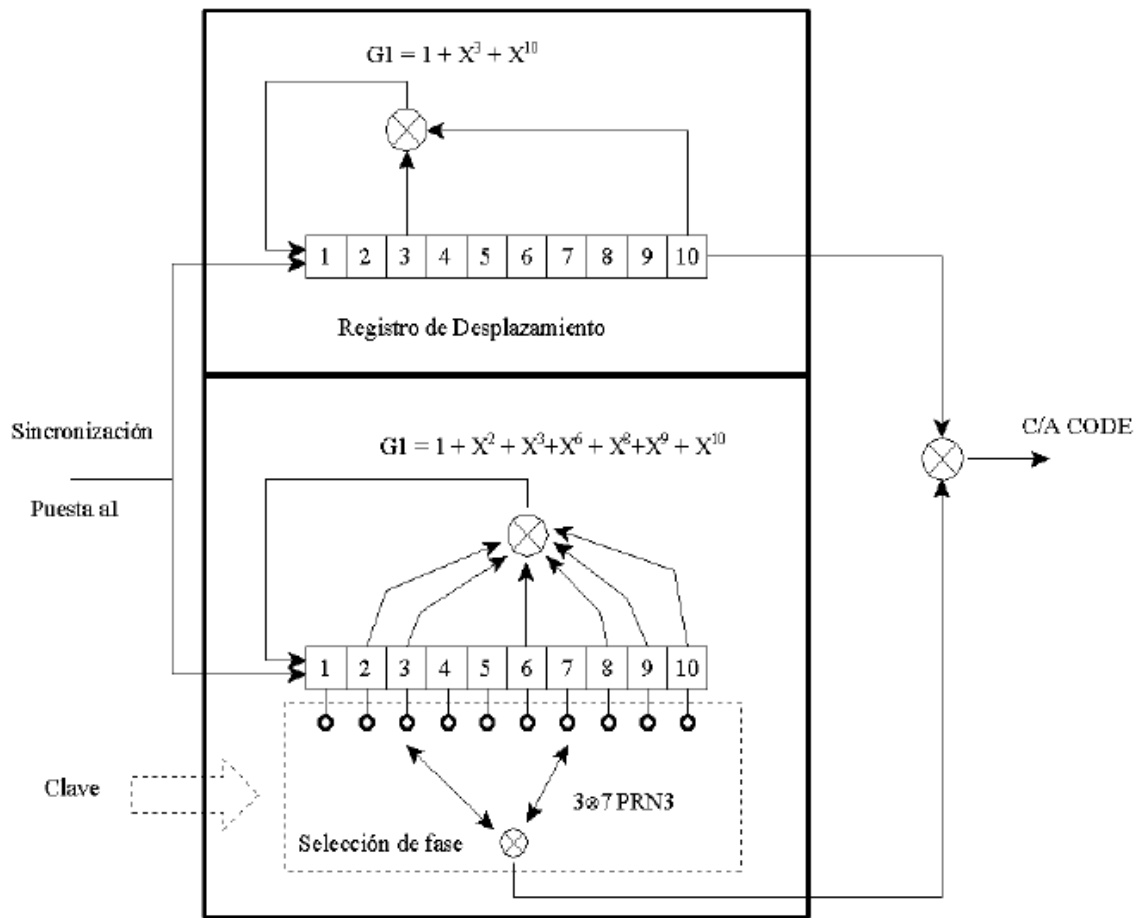


Figura 11: Diagrama en bloque generación código C/A

La generación del código P bastante parecida, pero utiliza 4 TFSR el lugar de dos. Combinados dos a dos generan dos códigos intermedios, el X1 y el X2.

1.5.1.3 El mensaje de navegación

El mensaje está constituido de 25 tramas de 1500 bits cada una. Con una velocidad de transmisión de 50 baudios cada grupo es enviado en 30 segundos. Cada grupo de 1500 bits se subdivide en 5 subtramas de 300 bits cada una, que nuevamente se subdividen en palabras, de 30 bits de longitud.

Las correcciones del reloj son transmitidas en la subtrama uno, y los datos de la órbita (efemérides) en las subtramas dos y tres. Las subtramas cuatro y cinco se usan para transmitir distintos datos del sistema. En 25 tramas (125 subtramas) se envía el mensaje completo, que lleva un tiempo de 12,5 minutos

Cada bit del mensaje se transmite durante 20 milisegundos; en este tiempo el código C/A se ha repetido 20 veces. La base de tiempos para la recepción del mensaje se obtiene de un contador/divisor de frecuencia de valor 20 en el C/A.

El contenido del mensaje es el siguiente:

Subtrama 1: Contiene información sobre estado del reloj en GPS Time (los coeficientes polinómicos para convertir el tiempo de a bordo en tiempo GPS).

Subtrama 2 y 3: Contienen las efemérides radiodifundidas que se usan para la obtención de resultados.

Subtrama 4: Sólo se utiliza en 10 de sus 25 Tramas. Entrega un modelo ionosférica para usuarios monofrecuencia, información UTC e indicaciones de si está activado en cada satélite el AS (Anti Spoofing) que transforma el código P en el secreto Y.

Subtrama 5: Contiene la bitácora, que es una información entregada de las órbitas de todos los satélites

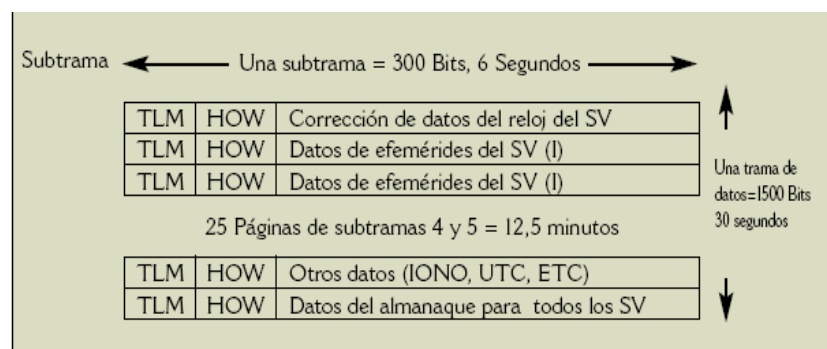


Figura 12: *Contenido mensaje de navegación*

Como se puede ver, para minimizar el tiempo necesario para que receptor obtenga una posición inicial, las efemérides y el estado de los relojes se repiten cada 30 segundos.

Los componentes de la señal y sus frecuencias son:

COMPONENTE	FRECUENCIA(MHz)	
<i>Frecuencia Fundamental</i>	ν_0	10,23
<i>Portadora L1</i>	$154 \cdot \nu_0$	1.575,42
<i>Portadora L2</i>	$120 \cdot \nu_0$	1.227,60
<i>Código P</i>	ν_0	10,23
<i>Código C/A</i>	$\nu_0/10$	1,023
<i>Código W</i>	$\nu_0/20$	0,5115
<i>Mensaje de Navegación</i>	$\nu_0/204.600$	$50 \cdot 10^{-6}$

1.6 Espectro Expandido

Cabe dedicar un parte de este capítulo para definir el sistema de espectro expandido que utiliza el sistema GPS, esta técnica transmisión que consiste en expandir como su nombre lo dice la información de manera redundante y de esta manera utilizar técnicas de acceso al medio como CDMA de esta manera se consigue que los satélites transmitan en la mismas frecuencia sus portadoras como se aprecia en la figura.

Existen dos tipos de técnicas de espectro expandido generales los sistemas modulados de “secuencia directa” esta es la utilizada por el sistema GPS y los de salto en frecuencia.

La capacidad de utilizar códigos aleatorios y direccionar al utilizar CDMA, además el espectro de potencia de baja densidad para ocultar la señal; el rechazo de interferencia. Todas estas características son las que aprovecha el sistema GPS y utiliza la técnica de espectro expandido de secuencia directa modulada en BPSK.

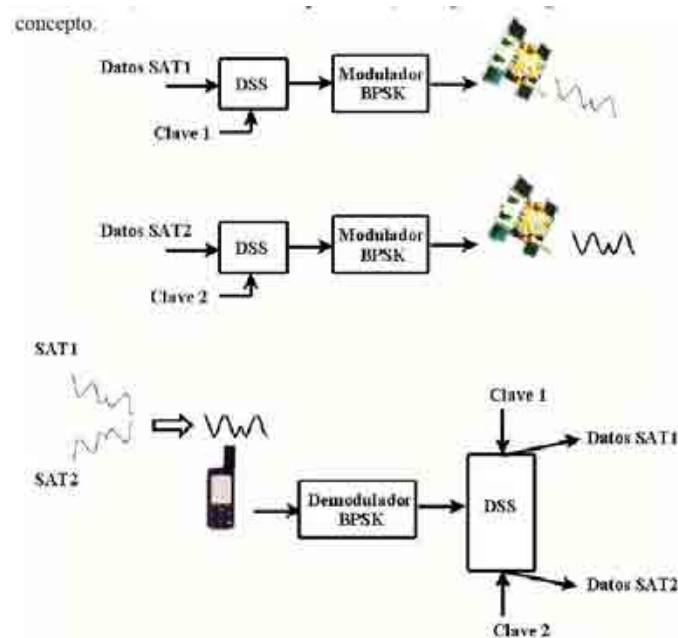


Figura 13: *Etapas de transmisión*

1.6.1 DSSS (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa)

Esta técnica se basa en el aumento de bits de la señal original (señal de chip) para cada uno de los bits de la señal de datos. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias.

La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de Barker (también llamado código de dispersión o PseudoNoise). Es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0. Un ejemplo de esta secuencia es el siguiente. +1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1 Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir, por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida.

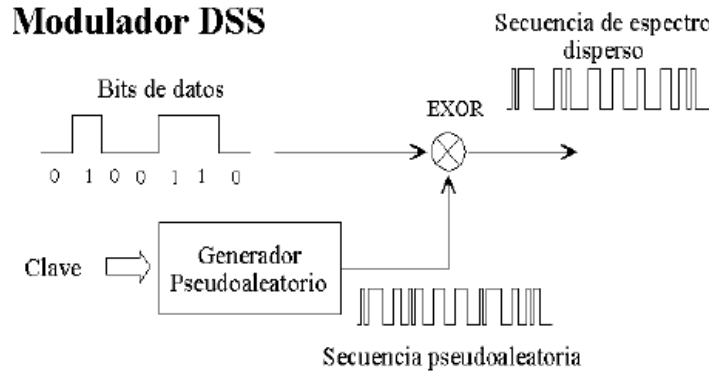


Figura 14: Modulador DSS

1.6.2 Modulación BPSK

Esta modulación es por desplazamiento de fase es decir para una entrada digital tendremos una salida en fase o desplazada en 180° si hay un cambio en la entrada digital. Esta modulación recibe otros nombres como modulación bifásica o transmisión inversa de fase, el ancho de banda mínimo de una transmisión modulada con BPSK es la razón de bit de la entrada.

1.7 El sistema de referencia DATUM WGS-84.

Las coordenadas utilizadas en el sistema GPS tanto por los usuarios como los satélites, son referidas al sistema de referencia WGS84 (Sistema Geodésico Mundial de 1984). Estas coordenadas pueden ser cartesianas en el espacio respecto al centro de masas de la Tierra (X, Y, Z) o geodésicas (ϕ , λ , h). El sistema tiene las siguientes características:

- Origen en el Centro de Masas de la Tierra.
- El eje Z es paralelo al polo medio.
- El eje X es la intersección del meridiano de Greenwich y el plano del ecuador.
- El eje Y es perpendicular a los ejes Z y X, y coincidente con ellos en el Centro de Masas terrestre.

- Las coordenadas geodésicas están referidas a un elipsoide de revolución con las siguientes características:

* Semieje mayor (a) : 6.378.137 m.

* Inversa del aplastamiento ($1 / f$) : 298,257223563

* Velocidad angular de rotación (ω) : $7.292.115 \cdot 10^{-11}$ rad / s.

Las coordenadas WGS84 pueden ser transformadas a otro sistema de referencia, y viceversa, es posible con transformaciones tridimensionales.

1.8 El sector de control.

Las estaciones de control terrestre monitorean los satélites para cotejar sus órbitas exactas e incorporar la información en los modelos orbitales, para enviársela a cada satélite. Las estaciones de control terrestre también sincronizan los relojes atómicos a bordo de cada satélite, la hora es llamada hora GPS, pero puede ser cambiada fácilmente en Tiempo Universal Coordinado (UTC = Universal Time Coordinated)

De esta manera el usuario puede recibir la información de las efemérides emitidas de posición de los satélites y el error presente en su reloj en ese instante, todo esto incluido en el mensaje de navegación.

Las Estaciones de Control de la constelación son fundamentalmente:

- Colorado Springs (U.S.A.). Central de cálculo y operaciones.
- Ascensión (Atlántico Sur).
- Hawai (Pacífico Oriental).
- Kwajalein (Pacífico Occidental).
- Diego García (Indico).

Además existen estaciones de seguimiento (láser, radar y ópticas), cuya labor es obtener efemérides que no se vean afectadas por la disponibilidad selectiva inpuesta por la fuerza aérea norteamericana, estas efemérides son utilizadas por organismos científicos como el IGS (International Geodynamic Service) o el NGS (National Geodetic Survey). Con ellas, existe la seguridad de posicionarnos en el sistema WGS84 solo con los errores típicos del sistema.



Figura 15: *Ubicación estaciones de control*

1.9 Sector usuarios

El sector de usuario, esta constituido por todos los receptores y subsistemas de estos como por ejemplo antenas, este sector es el usuario final y es donde, se le dan las aplicaciones al sistema de posicionamiento.

1.9.1 Antenas:

El papel que desempeña la antena en un receptor GPS. Es la transformación de la señal radioeléctrica que capta de los satélites GPS a señal eléctrica.

El receptor GPS ejecuta la ubicación del centro radioeléctrico de la antena, que no concuerda normalmente con el centro físico del receptor, esto nos quiere decir que el cálculo de posición por medio del sistema GPS es al centro de nuestra antena, algo que hay que tener en cuenta cuando se utilizan antenas externas. Los fabricantes de receptores recomiendan una posición precisa o recomendable de medición para el aparato, de esta manera minimizaremos el error cometido (Antenna phase center ambiguity).

La antena es de cobertura hemisférica omnidireccional, con la cual se logra captar con la misma sensibilidad las señales que procedan desde el cenit hasta el horizonte. Puede utilizarse cualquier tipo de antena que ofrezca una ganancia que este en los rangos del receptor y además, trabaje en la banda de frecuencia de este, dependiendo de las aplicaciones y del coste del receptor: monopolo, dipolo, dipolo curvado, cónico-espiral, helicoidal o microstrip.

1.9.2 Receptor

En la antena se generaran tantas señales como satélites se estén recibiendo. Por ejemplo: un receptor de 8 canales bifrecuencia recibe 10 señales si sigue a 5 satélites, y podría llegar a procesar 24 señales si hubieran 12 satélites en su cobertura comúnmente se reciben entre 5 y 6 satélites. Cada señal utiliza un canal.

Las señales GPS son transmitidas utilizando técnica de espectro ensanchado de secuencia directa como mencionamos anteriormente.

El receptor GPS es del tipo heterodino, La composición de frecuencias se realiza por medio de un oscilador local que genera una señal senoidal pura, como se muestra en la figura 8.

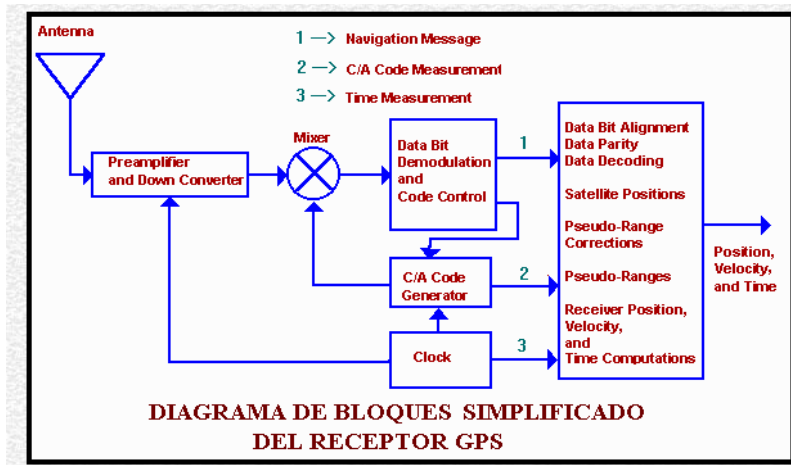


Figura 16: Diagrama de bloques de receptor

La potencia de la señal transmitida por un satélite en un receptor GPS es de -160 dBw o -130 dBm (con ganancia 0 dBi en la antena). El ruido térmico es del orden de -114 dBm, al que para los caculos se añade por literatura consultada 1dB por ruido producido por el receptor. Esto resulta en que la señal que recibimos en el receptor esta 17 dB por debajo del nivel de ruido. El proceso de correlación permite ganar 30 dB, con lo que la relación señal / ruido sube a +13 dB en un ancho de banda de 1 kHz. A partir de ahí se estrecha la banda en un lazo de portadora a 50 Hz para extraer el dato, lo que representa otros 13 dB de ganancia. Con 26 dB de relación señal/ruido se puede obtener sin dificultad una recepción libre de errores.

1.9.2.1 Funciones de los receptores

Los receptores se encargan de tres funciones principales:

a) Satellite Manager, es la gestión de los datos que envía el satélite. primero el receptor trabaja en modo que se guarda el registro y el estado de los satélites en su memoria. luego pasa al modo activo en adquiere los datos necesarios para los cálculos de posición.

b) *Select Satellite*, se encarga regestionar los cuatro satélites necesarios para el calculo utiliza como criterio de selección la geometría óptima para la navegación, a partir de una lista de satélites visibles.

c) *SV Position Velocity Acceleration*, entrega otros datos que es capas de calcular el receptor como velocidad, elevación, desplazamiento.

1.10 Formas de recibir las señales de los satélites

La recepción continúa de cada portadora transmitida de cada satélite, hasta el límite que sea capaz el receptor, es decir se puede dedicar un canal para cada satélite hoy en día existen receptores de 12 canales.

También se puede utilizar un canal para recibir todas las señales. Sólo se puede trabajar con una señal a la vez, multiplexado una de la otra, recogiendo las muestras a una velocidad de muestreo mayor que la que tienen los cambios en las señales. Si el circuito de muestreo repite cada 20 mseg. este es el tiempo que tarda en transmitirse cada bit del mensaje, el receptor así podrá reensamblar el mensaje de cada satélite. Los receptores que emplean seguimiento multiplexado son designados comúnmente como receptores de canal multiplexado.

Otro método es recibir la señal de los satélites secuencial en un canal, éste recibe los cuatro satélites en serie. Discrepa de lo anterior ya en que en el multiplexado se toman muestras del mensaje de todos los satélites en cobertura recomponiendo la señal original de cada uno.

1.11 Como trabaja el GPS

1.11.1 Radionavegación

El uso de radio-señales para determinar la posición fue el un paso importante en la navegación, por 1912 aparecen los primeros equipos de radionavegación, pero eran poco precisos. El siguiente paso fue el descubrimiento del radar por los ingleses en la Segunda Guerra Mundial, que hizo posible medir el tiempo transcurrido entre la emisión de una onda de radio y su recepción. Un radar emite un impulso de radio y miden el tiempo que emplea el impulso en viajar hacia un vehículo, rebotar en él y regresar al disparador del radar. La diferencia de tiempo indica al radar la distancia del vehículo al disparador.

El sistema GPS ya hemos mencionado también usa ondas de radio que son transmitidas por los satélites de su constelación y procesadas por sus receptores en tierra esta analogía la hacemos para dar una pequeña referencia a la evolución que ha tenido la radio navegación, lo que se encuentra citado anteriormente es un extracto de un artículo sobre los cambios en la utilización de ondas de radio para la navegación.

1.11.2 Triangulación desde los satélites

La idea en que se basa el sistema GPS, es utilizar los satélites de su constelación como puntos conocidos, en el cálculo de la posición de un receptor en la tierra. Calculando nuestra distancia logramos triangular la posición de receptor. Si se calcula la distancia a un satélite, y por ejemplo nos sale 16.000 km, la posición que deseamos calcular sabemos que se encuentra en la superficie de una esfera centrada en el satélite y de radio 16.000 km (figura A). la distancia al segundo satélite es 18.000 km; entonces sabemos que el receptor se encuentre en la intersección entre la primera esfera, y una centrada en el satélite y con un radio de 18.000 km. Esta intersección es un círculo (figura B). Entonces calculamos la distancia a un tercer satélite y nos da 20.000 km. Entonces reducimos a dos posibles puntos la posición de nuestro receptor. (figura C). Para saber cual de estos dos puntos es nuestra posición se ocupa una cuarta calculo a un satélite si no se encuentra disponible solo se

descarta la menos probable. De todas formas la cuarta medida es muy útil porque nos permite saber la altura a la que estamos situados en la tierra.

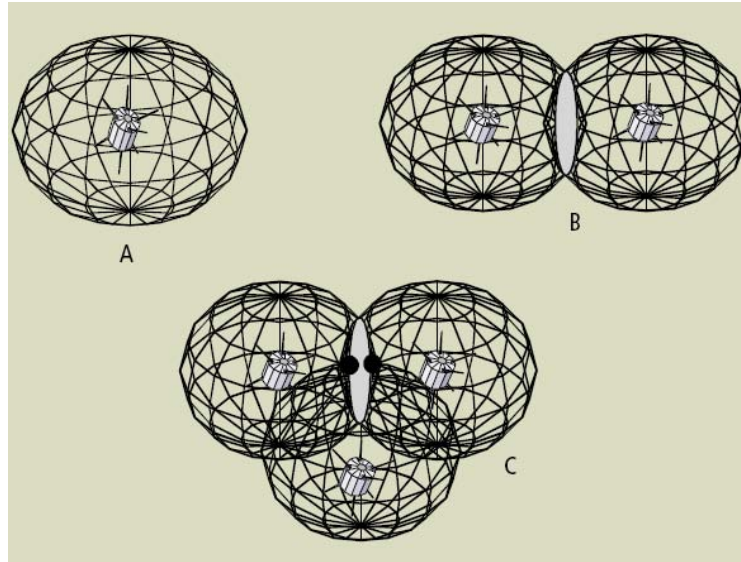


Figura 17: *Triangulación de los satélites*

1.11.3 Distancia al satélite

GPS se basa en el concepto de TOA tiempo de arribo para calcular la posición de un receptor. Esto consiste en medir el tiempo que tarda una señal desde el satélite al receptor.

Para poder calcular esto utilizamos relojes atómicos por la resolución que se necesita, ya que estamos hablando de tiempos de propagación del orden de 60 ns, con lo que necesitamos unos relojes realmente precisos.

Otra cosa importante es que además necesitamos conocer el momento exacto en que la señal es transmitida desde el satélite. Para realizar la medida anterior asumimos que tanto el satélite como nuestro receptor sincronizan la generación del código pseudo-aleatorio. De esta manera simplemente es necesario comparar el pseudo-código enviado por el satélite con el que se generó en el receptor así sabemos cuanto tarda la señal en llegar. Multiplicando por la velocidad de la luz calculamos la distancia.

1.11.4 Posición del satélite

Los satélites de la constelación GPS se ubica en una órbita muy exacta. Estas órbitas son monitoreadas constante mente por las estaciones de control terrestre. Estas estaciones controlan posición velocidad y altitud. Los errores que se logren encontrar se llaman errores de efemérides. Una vez que el control de tierra encuentra una posición diferente le envía la información al satélite para que la incluya en la información que envía en sus mensajes a los receptores. El modelo físico de la tierra que se utiliza es el nombrado anteriormente WGS84.

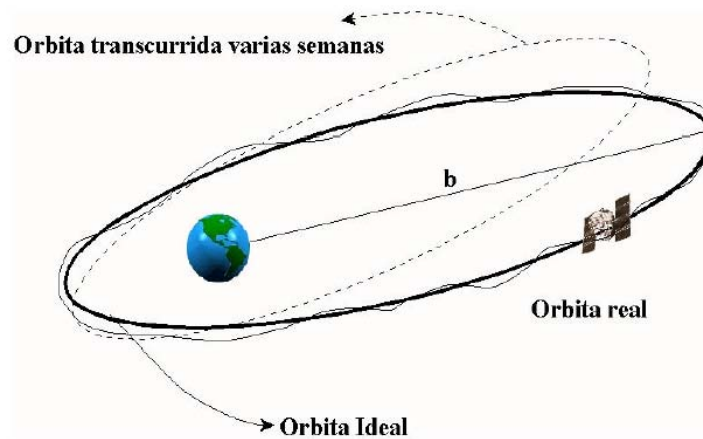


Figura 18: *Orbita de un satélite*

1.11.5 Fuentes de error

Fuente	Efecto
<i>Ionosfera</i>	$\pm 5 \text{ m}$
<i>Efemérides</i>	$\pm 2,5 \text{ m}$
<i>Reloj satelital</i>	$\pm 2 \text{ m}$
<i>Troposfera</i>	$\pm 0.5 \text{ m}$
<i>multipath</i>	1 m o menos

La fuente de error en la ionosfera es variable dependiendo de la densidad de electrones y el ángulo con que la señal la incide. Este error siendo uno de los mas significativos se puede eliminar con receptores especiales que son capaces de recibir la portadora. Otra fuente de error es que las señales le pueden llegar al receptor por diferentes caminos. Este efecto se llama multipath. Otro factor son los relojes de abordo aunque son muy precisos. Por otro lado la generación de efemérides afecta los cálculos en tierra.

Otros errores son debidos a las variaciones de densidad de las diferentes zonas de la tierra, al efecto de la luna, e incluso al viento solar que perturba la órbita del satélite.

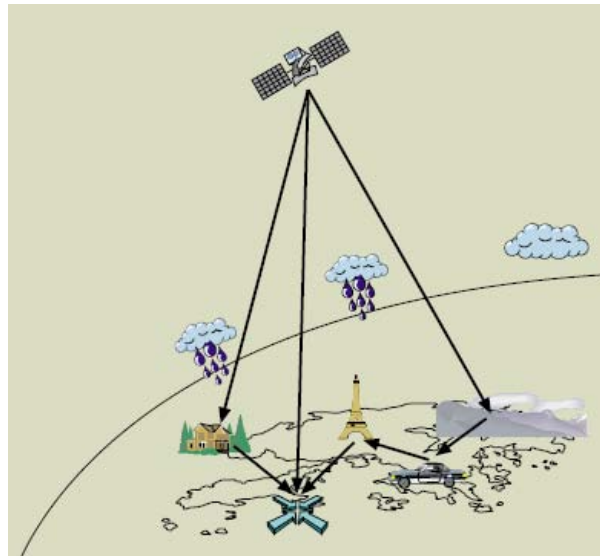


Figura 19: *Efecto multipath*

1.11.6 Posición del usuario

Para calcular la ubicación del receptor en las coordenadas (R_x , R_y , R_z) y el offset del reloj del receptor (t_u) existen los siguientes pasos:

1. Se calculan las coordenadas de los satélites SV (x_j , y_j , z_j) para 4 satélites en coordenadas ECEF calculadas mediante los parámetros de efemérides de los satélites.

2. Cálculo de los pseudorangos r1 a r4 en metros estos son información obtenida del código C/A en m)
3. Posición probable del receptor en coordenadas ECEF (Rx, Ry, Rz)
4. Valores de las correcciones observadas.

El resultado es un sistema de ecuaciones:

$$\rho_j = \|sj - u\| + c * t_u$$

Esta ecuación se puede desarrollar obteniendo:

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - Rx)^2 + (y_1 + Ry)^2 + (z_1 - Rz)^2} + c * t_u$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - Rx)^2 + (y_2 + Ry)^2 + (z_2 - Rz)^2} + c * t_u$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - Rx)^2 + (y_3 + Ry)^2 + (z_3 - Rz)^2} + c * t_u$$

$$\rho_4 = \sqrt{(x_4 - Rx)^2 + (y_4 + Ry)^2 + (z_4 - Rz)^2} + c * t_u$$

De esta manera se obtiene el sistema de ecuaciones para poder ser resuelto de diversos métodos por desarrollo algebraico, por filtro de kalman, etc.

De esta manera se obtienen las derivadas direccionales para x, y, z, t

$$Dx_j = \frac{SVx_j - Rx}{R_j}.$$

$$Dy_j = \frac{SVy_j - Ry}{R_j}$$

$$Dz_j = \frac{SVz_j - Rz}{R_j}$$

$$Dt_j = -1$$

Aplicando correcciones de la posición estimada del receptor se obtiene:

$$A = \begin{bmatrix} Dx0 & Dy0 & Dz0 & Dt0 \\ Dx1 & Dy1 & Dz1 & Dt1 \\ Dx2 & Dy2 & Dz2 & Dt2 \\ Dx3 & Dy3 & Dz3 & Dt3 \end{bmatrix} \quad dR = (A^T * A)^{-1} * A^T * L$$

Finalmente aplicando las correcciones obtenemos.

$$Rx = Rx + dR0 \quad Ry = Ry + dR1 \quad Rz = Rz + dR2 \quad t = dR3$$

Los receptores calculan la velocidad simplemente midiendo el desplazamiento de la fase de la portadora y se estima la frecuencia Doppler de las señales recogida por el satélite. La frecuencia incrementa cuando el satélite acerca al receptor y se disminuye cuando se distancia del receptor. en estos cálculos se utiliza el modelo de posición del satélite

En el receptor, la frecuencia recibida f_r puede ser aproximada por las clásicas ecuaciones Doppler:

1.12 GPS diferencial.

Todos los errores descritos del sistema GPS reducen la precisión de este, como resultado obtenemos un entre 5 y 15 metros en la medición, antes de la supresión de la disponibilidad selectiva el error se elevaba a unos nada despreciables 100 metros. Con lo cual se limitaba ostensiblemente las aplicaciones para el sistema GPS. La disponibilidad selectiva (SA) es la distorsión intencional de la señal de los satélite esta era generada por el administrador el "U.S. Department of Defense". Es por esto, para poder mejorar las capacidades y potencialidades del sistema que se utiliza la técnica de GPS diferencial y de esta manera se puede eliminar estas fuentes de error.

La técnica del GPS diferencial se basa en la utilización de dos receptores; uno es detenido y otro que realiza las medidas de posición. El receptor detenido es la clave; recolecta y guarda las posiciones de todos los satélites de forma de crear una referencia local. Los receptores GPS utilizan señales de un mínimo de 4 satélites para poder calcular una posición precisa. Cada una de esas señales tiene un retraso debido al camino que ha de recorrer la señal hasta llegar al receptor. Debido que el satélite que esta enviando la señal está en su órbita bastante alejado de la tierra, las señales que reciben los dos receptores en la tierra separados unos cientos de kilómetros tendrán probablemente los mismos errores atribuibles a su paso por la atmósfera. Esa es la clave. Al tener un receptor detenido su posición es conocida y de esta manera calcula los errores que se están cometiendo en el cálculo de la posición y lo comunica a el otro receptor para que corrija sus cálculos en terreno, incluso de esta manera se puede corregir el error de disponibilidad selectiva. Esta es la una manera de utilizar GPS diferencial. Con el tratamiento diferencial, podemos lograr una precisión de menos de 2,0 m a 0,02 m en la horizontal.

En los comienzos del sistema de posicionamiento global GPS las estaciones de referencia fueron creadas por compañías privadas para clientes como agrimensores o compañías petrolíferas. Hoy en día organismos que transmiten las correcciones y se pueden ser obtenidas de manera gratuita. Los Guardacostas de EE.UU. (United States Coast Guard) y otros organismos internacionales han establecido estaciones de referencia. Estas estaciones transmiten sus señales de radio en la banda de 300 kHz. Cualquiera que se encuentre en el área puede recibir esas correcciones y mejorar la precisión de sus medidas GPS.

CAPITULO 2

OTROS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO POR SATELITE Y APLICACIONES.

2.1 Introducción

En el desarrollo de este capitulo daremos a conocer otros sistemas de posicionamiento por satélite, como lo es el sistema Ruso GLONASS que es el homologo de GPS ya que mantiene varias características con este sistema. Además entregaremos información general sobre el proyecto GALILEO, que esta llevando acabo la Unión Europea y el sistema experimental BEIDOU Chino, el cual en su primera etapa es solo de cobertura local, pero que en la etapa 2 pretende poner en orbita la constelación mas grande de los sistemas actuales de posicionamiento por satélite, con un numero de 35 satélites en orbita, dando cobertura global una vez que este proyecto se encuentre totalmente operativo, cuando el sistema GALILEO también lo este, existirán cuatro sistemas independientes de posicionamiento y que además, podrán interactuar entre ellos lo cual será muy bueno para los usuarios como nosotros. En este momento contamos solo con dos totalmente operativos que son GPS analizado en el capitulo anterior y GLONASS.

De esta manera podemos introducir el término de Sistema de Posicionamiento Global por Satélite GNSS, que es a lo que se aspira a nivel mundial para los sistemas actuales y futuros que es una cobertura y calidad de servicio buena para los usuarios civiles sin depender de los controles militares de los sistemas que se encuentran actualmente en funcionamiento.

2.2 GLONASS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)

GLONASS (Sistema Global de Navegación por Satélite) Es el sistema de posicionamiento por satélite ruso está activo desde el 18 de Enero de 1996 y es bastante similar al sistema GPS pero presentando algunas diferencias. Es dirigido por las Fuerzas Espaciales Rusas.

Como su homónimo GPS, GLONASS utiliza dos señales de navegación. La primera es útil para todos los usuarios civiles y militares, la segunda señal de alta precisión esta disponible solo para uso militar.

La constelación GLONASS esta conformada por 21 satélites activos y 3 de reserva dispuestos en tres planos orbitales separados 120° . Esto nos da una cobertura global del sistema asegurando a los usuarios en el 98% del tiempo de tener una cobertura de al menos 4 satélites. De los 24 satélites de la constelación GLONASS, periódicamente se seleccionan los 21 que resultan dar la combinación más eficiente y los 3 restantes son dejados en reserva.

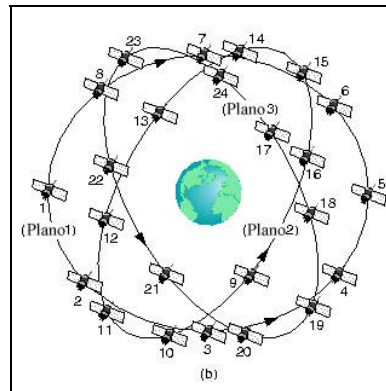


Figura 20: Constelación GLONASS 3 planos orbitales

Los satélites GLONASS describen una órbita circular a 19100 Km sobre la superficie terrestre con una inclinación de 64.8° . El periodo orbital es de 11 horas y 15

minutos. La configuración del sistema GLONASS proporciona datos de navegación a usuarios que se encuentren incluso por encima de los 2000 Km sobre la superficie terrestre.

2.3 Descripción sistema GLONASS

El Sistema de Navegación Global GLONASS, al igual que el Sistema GPS, lo componen tres sectores fundamentales: el Sector de Control, el Sector Espacial y el Sector Usuario.

2.3.1 Sector de Control

El Sector de Control esta constituido por un Sistema Central el cual esta físicamente ubicado en la región de Moscú y un conjunto de estaciones de seguimiento y control denominadas CTS (Command Tracking Stations), ubicadas en toda Rusia. El Sector de control GLONASS, igual que GPS, supervisa el comportamiento y estado de sus satélites, y transmite las efemérides y errores de los relojes de los satélites.

Las estaciones de seguimiento y control almacenan los datos de distancias y telemetría a partir de las señales de los satélites. La información obtenida es enviada y procesada en la estación principal que se encuentra en Moscú para determinar los estados de las órbitas y relojes de los satélites, y para actualizar el mensaje de navegación de cada satélite. Las correcciones son enviadas a cada satélite por medio de las CTSs.

A todas estas estaciones de control debemos sumarle otras estaciones de seguimiento que son empleadas para obtener parámetros de ubicación y de esta manera obtener transformación del Sistema GLONASS PZ-90 al Sistema GPS WGS-84 ambos sistemas de modelamiento de posición en el espacio de cada uno de sus satélites. Estos parámetros de transformación se aplican cuando se trabaja con el sistema combinado GPS/GLONASS. Las estaciones se encuentran ubicadas en todo el mundo y utilizan técnicas láser, radar y ópticas.

Las Fuerzas Especiales Rusas (RSF) por medio de sus estaciones de control publican periódicamente boletines, llamados NAGUSs para los usuarios GLONASS con noticias, estado y fallas del sistema,

2.3.2 Sector Espacial

La constelación esta constituida de 24 satélites en tres planos orbitales de estos 21 operativos y 3 de reserva, los planos orbitales se encuentran separados 120. Cada plano esta compuesto por 8 satélites separados regularmente. Los planos están inclinados 64,8° respecto al Ecuador. Los satélites GLONASS están a una distancia de 19.100 Km aprox. Con orbitas circulares de 25.510 Km. respecto al geocentro terrestre, realizando una orbita cada 11 horas y 15 minutos. Esto garantiza, que con el sistema 100% operativo en cualquier parte del mundo se deberían visualizarla un mínimo de 5 satélites con adecuada geometría, de esta manera la constelación GLONASS proporciona una cobertura de navegación continua y global para la ejecución satisfactoria de observaciones de navegación.

Los planos orbitales se enumeran del 1 al 3. Cada satélite, esta designado según el plano en que fue puesto en orbita, se enumera del 1 al 8, del 9 al 16 y del 17 al 24 respectivamente.

Como dato relevante el primer satélite con el que se comenzó la puesta en orbita de la constelación se lanzó el 12 de Octubre de 1982, y el último el 14 de Diciembre de 1995.

2.3.3 Características de las Señales GLONASS.

Los satélites que componen la constelación GLONASS están provistos por relojes atómicos de Cesio con un oscilador resonando a 5 MHz. Esta frecuencia es utilizada para modular los códigos C/A y P, el código C/A tiene una frecuencia de 0.511 MHz y el código P de 5.11 MHz. En la señal también transmite un mensaje de 50 Hz. La banda L1 funciona en el rango de frecuencias de 1602 - 1615.5 MHz. La banda L2 funciona en el rango de frecuencia de 1246 - 1256.5 MHz.,

GLONASS al utilizar esta frecuencia tuvo el problema de interferencias, es por esto que con los años se decidió solucionar este problema para esto decidieron reducir el número de frecuencias usadas (y por lo tanto el número de canales), y bajar el intervalo de frecuencias utilizadas. De esta manera el sistema constará de 12 canales de frecuencia, más dos adicionales para los test de control. De esta forma la banda L1 se encontrará entre 1598.0625 - 1604.25 MHz y la banda L2 se encontrará entre 1242.9375 - 1247.75 MHz. Los actuales y futuros canales de frecuencias GLONASS se pueden resumir de la forma siguiente:

Frecuencias iniciales:

Frecuencias L1 = $1602 + 0.5625 \cdot k$ MHz ($k = 0, \dots, 24$) k numero de canal.

Frecuencias L2 = $1246 + 0.4375 \cdot k$ MHz ($k = 0, \dots, 24$)

En 1998:

Frecuencias L1 = 1602 - 1608.8 MHz (canales 1 - 12)

Frecuencias L1 = 1614.4 - 1615.5MHz (canales 22 - 24)

Frecuencias L2 = 1246 - 1251.25 MHz (canales 1 - 12)

Frecuencias L2 = 1255.625 - 1256.5 MHz (canales 22 - 24)

Nota: Los canales del 15 al 20 no están en uso y el uso de los canales de frecuencia 13, 14, y 21 es solo esporádicamente.

Entre 1998-2005:

Frecuencias L1 = 1602 - 1608.8 MHz (canales 0 - 12)

Frecuencias L2 = 1246 - 1251.25 MHz (canales 0 - 12)

En la actualidad:

Frecuencias L2 = 1598.1 - 1604.25 MHz (canales -7 - 4)

Frecuencias L2 = 1242.9375 - 1247.75 MHz (canales -7 - 4)

Los canales 5 y 6 serán utilizados para test de control.

Para poder manejar los 24 satélites con solo 12 canales se le asignaran la misma frecuencia a dos satélites de un mismo plano orbital separados en 180° de argumento de latitud, de esta manera asegurar que un usuario colocado en cualquier punto de la Tierra nunca recibía las dos señales del mismo canal.

2.3.4 Sistemas de Tiempo

Los satélites de la constelación GLONASS utilizan relojes de cesio, estos son actualizados al menos 2 veces por día para evitar y minimizar errores, de esta manera se consigue una precisión de 15 nseg. El Sistema de Tiempos GLONASS (GLONASST) es monitoreado en la central de control de Tiempos de Moscú, para utilizan relojes de hidrógeno.

2.4 Códigos del sistema GLONASS

En el sistema GLONASS la frecuencia portadora L1 es modulada con los Código C/A para uso civil y código P para uso militar. Además, del mensaje de navegación de 50 Hz. La portadora L2 es modulada exclusivamente por el código P y el mensaje de navegación. Los códigos C/A y P son iguales para todos los satélites, esta es una diferencia con el sistema GPS ya que en este cada código es exclusivo del satélite que lo transmitía.

2.4.1 Código C/A :

Este código pseudoaleatorio es creado mediante la utilización de registros de desplazamiento de 9 bits, con lo cual se logra una longitud de 511 chips para el mensaje. Este código se transmite a 0.511 Mchips/s, por lo que se repite cada 1 ms. Se utiliza un código corto para poder lograr una rápida adquisición del código por parte del usuario.

2.4.2Código P :

El código pseudoaleatorio secreto es creado para el uso militar. Este código tiene un tamaño de 5.11.106 chips. Se transmite a 5.11 Mchips/s y es repetido cada 1 segundo.

2.5 El mensaje de navegación

El mensaje es transmitido con una velocidad de 50 bit/s y es modulado junto con los códigos C/A y P. El mensaje de navegación GLONASS del código C/A separa los datos en operacionales y datos no operacionales. Los operacionales son las efemérides, y los no operacionales es un parámetro que indica la diferencia entre el sistema de tiempo GLONASS y el UTC, esta es información que permite el uso de los sistemas GPS y GLONASS simultáneamente

La información entregada a través de las efemérides logra que el receptor GLONASS sepa la posición precisa de cada satélite a cada instante. Además de las efemérides, el mensaje transmitido esta compuesto por información como:

- Cronometraje de épocas.
- Bits de sincronización.
- Bits de corrección de errores.
- Estado de salud del satélite.
- Edad de los datos.
- Bits de reserva.

2.5.1 El mensaje de navegación C/A

El mensaje de navegación C/A esta formado de una trama que esta subdividida por 5 subtramas. Las subtrama a su vez contienen 15 palabras de 100 bits cada una. Una subtrama tarda 15 segundos en ser transmitida. Las tres palabras con que comienza cada subtrama son efemérides del satélite, y pueden ser recibidas por el receptor cada 30 segundos. Las demás palabras que forman la subtrama contienen el almanaque. Cada subtrama tiene la información del almanaque de 5 satélites, por lo que es necesario leer todas las subtramas para conocer las efemérides aproximadas de todos los satélites, lo que tarda unos 2.5 minutos. Esta información sirve para que el receptor pueda determinar cuales son los satélites que debería tener mas cerca y dar prioridad a estos sobre otros para proceder a realizar las medidas con toda precisión. Las efemérides tienen varias horas de vida útil, esto sirve para que el receptor no tenga que estar leyendo esta información del mensaje de navegación para calcular la posición exacta a cada momento.

2.5.2 El mensaje de navegación P

Los satélites GLONASS transmiten una trama constituida por 72 subtramas. Cada subtrama contiene 5 palabras de 100 bits. Una subtrama tarda 10 segundos en ser emitida, por lo que la trama completa tarda 12 minutos en ser emitida.

Al igual que el mensaje de navegación C/A las 3 primeras palabras de cada subtrama contienen las efemérides, y el resto de palabras que forman el mensaje la información del almanaque de la posición de los otros satélites de la constelación.

2.6 Sistema de Referencia DATUM PZ-90.

GLONASS utiliza como referencia en sus efemérides al Datum Geodésico Parametry Zemli 1990 o PZ-90. Este sistema reemplazó al SGS-85, usado por GLONASS hasta 1993.

TABLA 1. Parámetros del Datum PZ-90.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Rotación de la Tierra	$72.92115 \cdot 10^{-6}$ rad/s
Constante Gravitacional	$398600.44 \cdot 10^9$ m ³ /s ²
Constante Gravitacional de la atmósfera	$0.35 \cdot 10^9$ m ³ /s ²
Velocidad de la luz	299792458 m/s
Semieje mayor del elipsoide	6378136 m
Aplanamiento del elipsoide	1 / 298.257839303
Aceleración de la gravedad en el Ecuador	978032.8 mgal

El sistema PZ-90 es un sistema de referencia terrestre al igual que el sistema que utiliza GPS el Sistema WGS-84

2.7 Sector Usuario

El sistema al ser de uso militar y civil, ambos componen el sector usuarios. La existencia de un sistema que presenta las mismas prestaciones que el sistema GPS provocó un alto interés en las comunidades científicas y del mundo de la navegación.

Temas como la ausencia de Disponibilidad Selectiva (S/ A). son puntos que llamaron mucho la atención hacia el sistema ruso, pero nadie pensó en el sistema ruso como sustituto de GPS sino que en unir ambas constelaciones. Todo esto se plasmó en el proyecto GNSS-1 (Global Navigation Satellite System),

2.8 GPS vs GLONASS

En la tabla que se adjunta, podemos ver las diferencias entre las dos constelaciones, la estructura de la señal y las especificaciones del GPS y GLONASS para un posicionamiento preciso. Como se observará, los dos sistemas son muy similares. En Diciembre de 1993, GPS completó su Capacidad Operativa Inicial logrando cobertura mundial en cuatro dimensiones, con 24 satélites operativos en órbita. Estos satélites no han tenido ningún problema y han superado su vida útil planeada de 5 años, llegando incluso a los 11 años de vida útil. Ellos continúan lanzándose periódicamente y cada vez con nuevas características

que robustecen al sistema GPS. Sin embargo, GLONASS ha tenido problemas importantes con la prematura pérdida de servicio de sus satélites, y el tamaño de la constelación ha quedado en cerca de 12 satélites. La red de satélites GLONASS comenzó en el año 1993 con 13 satélites operativos, luego se añadieron 3 nuevos satélites en un lanzamiento ese mismo año, pero conforme transcurrió el tiempo y la vida útil de los satélites se cumplía, el número de satélites ha ido reduciéndose.

CONSTELACIÓN	GPS	GLONASS
Número de Satélites	24	24
Número de Planos Orbitales	6	3
Inclinación de la órbita (en grados)	55°	65.8°
Radio de la órbita (en Km.)	26560	25510
Periodo (hh:mm)	11:58	11:16
Retransmisión del seguimiento	Día sideral	8 días siderales
Separación de los planos orbitales	60°	120°
CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL	GPS	GLONASS
Señal portadora (Mhz)	L1 : 1575.42 L2 : 1227.60	L1 : 1602+0.5625n L2 : 1246+0.4375n
Código	CDMA Código C/A en L1 Código P en L1 y L2	FDMA Código C/A en L1 Código P en L1 y L2
Frecuencia del código (Mhz)	Código C/A : 1.023 Código P : 10.23	Código C/A : 0.511 Código P : 5.11
NORMAS DE REFERENCIA	GPS	GLONASS
Sistema de coordenadas	WGS84	PZ90
Tiempo	UTC (USNO)	UTC (US)
ESPECIFICACIÓN DE PRECISIÓN (95%)	GPS	GLONASS
Horizontal (mts)	10-25 mts	50-70
Vertical	140	150

Figura 21: *GPS versus GLONASS*

2.9 Uso Conjunto de GPS y GLONASS

Los receptores capaces de procesar las señales de los sistemas de posicionamiento GPS-GLONASS conjuntamente ofrecen un muy alto performance que los receptores individuales de cada sistema. Con los dos sistemas pudiendo trabajar juntos se obtiene una mayor velocidad de recepción de señales debido al número mayor de satélites en un tiempo

dado y en cualquier parte. Al tener las dos constelaciones de satélite se aumenta la recepción en lugares de difícil cobertura.

Los Sistemas GPS y GLONASS al ser autónomos, tienen sus propios sistemas para referenciar y su propio sistema de tiempo. Para utilizar GPS y GLONASS simultáneamente, recibiendo las señales tanto de los satélites de GPS y de los satélites GLONASS, es necesario establecer la relación entre los sistemas de tiempo y sistemas de referencia utilizados en los dos sistemas. El Sistema GPS utiliza el sistema de referencia WGS-84, mientras que el Sistema GLONASS utiliza el PZ-90. Los parámetros que definen los dos sistemas de referencia son significativamente diferentes.

Hoy en día con la existencia de receptores GPS/GLONASS, como usuarios podemos tener acceso a un sistema combinado de hasta 48 satélites (con las dos constelaciones completas). Con todos estos satélites, se mejora la cobertura y el cálculo de posición de los usuarios en lugares como áreas boscosas, etc., esto se produce debido a la posibilidad de mayor información de más satélites. Además, un mayor número de satélites mejora la ejecución del posicionamiento diferencial en tiempo real, por último el tiempo de inicialización para alcanzar precisiones de nivel de centímetros mejora en un factor de 3 a 6 con una constelación de 48 satélites esto quiere decir que un equipo dual según el fabricante puede inicializar entre 15 segundos a un minuto su posición a diferencia de un equipo GPS que tarda alrededor de 3 minutos.

El posicionamiento posee una integridad mayor. Para un nivel de confianza de 99.9% el posicionamiento con GPS requiere una recepción continua de 6 o más satélites en sus constelación de 24 satélites. Para el mismo nivel de confianza, usando GPS/GLONASS se requiere una recepción continua de 7 satélites de los 48 de la combinación

El sistema de posicionamiento por satélite GLONASS con sus tres planos orbitales, y el sistema GPS con sus seis, y la diferente inclinación de estos, ofrecen un complemento en función de la latitud. Con el GLONASS se ven favorecidas las latitudes extremas debido

al alto grado de inclinación de sus planos orbitales, mientras que con el GPS se favorecen las latitudes medias.

2.9.1 Parámetros de transformación entre PZ-90 Y WGS-84.

Los parámetros que utilizan GPS y GLONASS como se dijo anteriormente son significativamente diferentes. Para trabajar con un sistema combinado GPS/GLONASS es necesario conocer la posición de todos los satélites que se vayan a utilizar, satélites GPS y GLONASS, en el mismo sistema de referencia. Para esto se realiza la transformación de la posición de todos los satélites GLONASS al sistema de referencia WGS-84, y de esta manera se trabaja con 48 satélites en el mismo sistema de referencia. También es necesario establecer la relación entre los dos sistemas o escalas de tiempo utilizados. Esto se resuelve por medio de la información contenida en los mensajes de navegación.

Para conocer los parámetros de transformación de PZ-90 a WGS-84, esto se realiza teniendo las coordenadas de algunos satélites GLONASS en ambos sistemas. Con estos satélites se calculan los parámetros de transformación utilizando la técnica de mínimos cuadrados, y se aplican al resto de satélites.

La posición de los satélites GLONASS en PZ-90 se encuentran en el mensaje de navegación que mandan los satélites. Y la posición en el sistema de referencia WGS-84 se realiza por una serie de estaciones de seguimiento que utilizan técnicas de medición láser, radar y ópticas para la determinación de las órbitas. Estas estaciones están localizadas por todo el mundo:

- **Técnicas láser:** Estados Unidos, Alemania, Austria, Finlandia, Latvia, Rusia, Ucrania, Uzbekistan, Japón y Australia.
- **Técnicas radar:** Westford y Kwajalein.
- **Técnicas ópticas:** Estaciones MOTIFF en Hawai y Estaciones GEODSS

La obtención de las órbitas son calculadas utilizando técnicas de mínimos cuadrados y esto es con los datos recolectados cada nueve días de seguimiento. Una vez que los parámetros orbitales son estimados, el programa genera vectores de estado en intervalos de 30 minutos, correspondientes al periodo con que las efemérides GLONASS son transmitidas. La calidad de la determinación de las órbitas tras el cálculo se estima por un error real de la posición de los satélites del orden de 11 m.

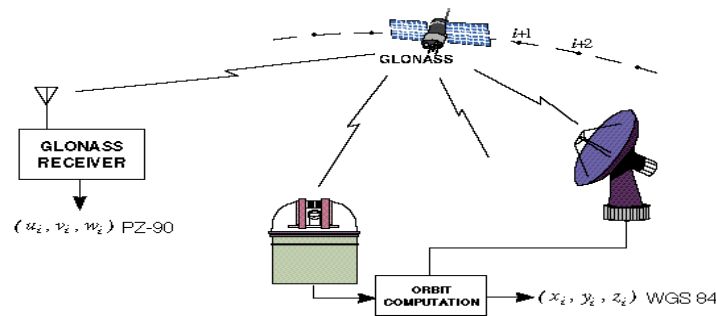


Figura 22: Estaciones de seguimiento para el cálculo de las órbitas de los satélites GLONASS en WGS-84.

ES el Laboratorio Lincoln de Massachusetts, que es quien comenzó a experimentar con el uso combinado de los sistemas GLONASS y GPS el que calcula los parámetros de transformación entre ambos sistemas. Para esto utiliza una red de receptores de referencia distribuidos por toda la superficie de la Tierra que obtienen las coordenadas de los satélites GLONASS en ambos sistemas. Se obtiene los parámetros de transformación lo que da como resultado una rotación alrededor del eje Z y una traslación a lo largo del eje Y en los sistemas de referencia. Los parámetros de la transformación resultantes se muestran en la figura 23 :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{WGS 84}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.5 \text{ m} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -1.9 \times 10^{-6} & 0 \\ 1.9 \times 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}}$$

Figura 23: Transformación de coordenadas de PZ-90 a WGS-84.

Una vez obtenidos los parámetros de transformación entre el sistema PZ-90 al sistema WGS-84. La mayor causa de error en la obtención de los parámetros se encuentra en las efemérides transmitidas. Para facilitar el uso combinado GPS/GLONASS, las autoridades Rusas evalúan incluir en los nuevos mensajes de navegación de los satélites de la Constelación GLONASS-M, las diferencias entre los dos sistemas de tiempos y posiciones de referencia.

2.10 Sistema de Posicionamiento Global GALILEO

2.10.1 Que es GALILEO

Es el Sistema Europeo de Navegación por Satélite, este estará compuesto por una constelación de treinta satélites situados en órbita media (MEO), con su respectiva infraestructura terrestre. Este sistema se basa en la premisa de independencia de la Unión Europea sobre los otros sistemas de posicionamiento existentes. Esta constelación será manejada por organismos privados, a diferencia de GPS y GLONASS.

Pero así mismo, y dentro del desarrollo de los elementos de usuario, se busca la ínter polaridad de las aplicaciones y servicios, con los sistemas actuales, básicamente el GPS y GLONASS, para asegurar y reforzar el concepto de Sistema de Navegación Global. En su definición y concepción se han seguido criterios estrictamente civiles, por lo que se puede afirmar que es un sistema de carácter totalmente civil y en esta premisa se basa su desarrollo.

2.10.2 Características técnicas y prestaciones

Este Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) además de prestar servicios de autonomía en radionavegación y ubicación en el espacio, será ínter operable con los sistemas GPS y GLONASS. El usuario podrá calcular su posición con un receptor

que utilizará satélites de distintas constelaciones. Al ofrecer dos frecuencias en su versión estándar, Galileo brindará ubicación en el espacio en tiempo real con una precisión del orden de metros, algo sin precedentes en los sistemas públicos.

Los satélites de la constelación Galileo, a diferencia de los que forman la constelación GPS, estarán en una órbita ligeramente desviada del ecuador. Al igual que el sistema Ruso sus datos serán más exactos en las regiones cercanas a los polos, donde los satélites estadounidenses pierden precisión.

Otra ventaja es que GALILEO asegurar el servicio al ser un organismo internacional sin compromisos militares. El uso combinado de Galileo y otros sistemas GNSS ofrecerá un gran nivel de prestaciones para todas las comunidades de usuarios del mundo entero, Galileo será una importante herramienta para resolver los problemas en el cálculo más exacto de posición, al proveer de forma independiente la transmisión de señales suplementarias de radionavegación en diferentes bandas de frecuencia. En total, utilizará 10 radiofrecuencias, de la siguiente manera:

4 frecuencias en el rango de 1164-1215 MHz (E5A-E5B)

3 frecuencias en el rango de 1260-1300 MHz (E6),

3 frecuencias en el rango de 1559-1591 MHz (L1).

Todas las transmisiones de los satélites pertenecientes a la constelación GALILEO hacen uso de Acceso Múltiple por División de Código esta es una característica que comparte con el sistema GPS, pero diferente al GLONASS que utiliza FDMA, o sea por división de frecuencias. Hay cinco tipos de datos transmitidos en el mensaje de navegación: datos de navegación básicos, datos de integridad, datos comerciales, datos PRS y datos SAR.

2.11 Arquitectura de GALILEO.

El sistema de posicionamiento satelital GALILEO cuando se concluya estará compuesto por: Una constelación de 30 satélites navegando a 23.616 km de altitud, con una inclinación de 56° respecto al Ecuador. Cada satélite tendrá una masa de 680 kg, dispondrá de una potencia de 1,6 kW y podrá transportar una carga útil para el sistema de navegación de 70/80 kg y una carga útil para el sistema de búsqueda y salvamento de 20 kg.

Los satélites son monitoreados por un segmento terrestre compuesto por centros de control, estaciones de enlace para establecer contacto con los satélites, una red de estaciones de referencia que controla la señal enviada por los satélites y determina las órbitas de estos con una alta precisión, esto nos da la siguiente infraestructura en tierra:

- Dos centros de control para gestionar el conjunto del sistema.
- Cinco estaciones TT y C en banda S (2 GHz) con una antena en banda S de 11 m por estación (TT and C: Telemetry, Tracking and Command System).
- Diez estaciones-misión en banda C (5 GHz) con cuatro antenas de 3,20 m en banda C por estación.
- Treinta estaciones de supervisión necesarias para las operaciones de determinación de órbitas, de sincronización de tiempo y de integridad
- Centros de tratamiento de datos.

2.12 Sector Usuarios.

Obviamente este sector esta constituido por los receptores GALILEO, encargados de procesar las señales enviadas por los satélites y presentarla al usuario en forma comprensible entregando la posición de este. Estos receptores serán desarrollados para los diferentes tipos de usuarios y en función de las necesidades del mercado. Es importante resaltar que la arquitectura de GALILEO esta diseñada para optimizar los servicios en el receptor. El diseño de los diferentes elementos del receptor, deberá realizarse teniendo en cuenta la posible complementariedad con otros sistemas.

2.13 Servicios de GALILEO

2.13.1 Servicio abierto

Este servicio entregara señales de Navegación, Posicionamiento y Tiempo a las que se podrá acceder de forma gratuita solo contando con un receptor capaz de procesarlas, de modo similar al GPS. Dado su carácter de gratuidad, será accesible al mercado de masas dentro de las aplicaciones de navegación, tales como las aplicaciones de control de flotas , teléfonos móviles, usos particulares, etc. Además, proporcionará servicios horarios (UTC) cuando se empleen receptores en posiciones fijas, lo que permitirá su empleo en usos científicos o control y sincronismo de redes.

2.13.2 Servicio Comercial

Este servicio otorgara un valor agregado con respecto al Servicio Abierto, pudiendo disponer de prestaciones mejoradas en base al diseño de la señal para: Aplicaciones que requieran alta precisión (centimétrica). Señales de referencia para permitir la integración de GALILEO en aplicaciones de posicionamiento de índole profesional y para referencia en la redes de comunicaciones inalámbricas.

2.13.3 Servicios “*Safety of Life*”

Este servicio ha sido desarrollado para cumplir los requisitos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para Aproximación y aterrizaje y Guiado Vertical (el denominado APV II). Estas prestaciones han sido pensadas al asegurar una disponibilidad del 99.9%. El área de cobertura de este servicio será global, y la arquitectura de GALILEO se está optimizando para lograr este objetivo.

2.13.4 Servicio Público Regulado

Este es un servicio que se prestara sobre frecuencias dedicadas para aplicaciones específicas y estar disponible solo en la Unión Europea, usándose para: Aplicaciones civiles relacionadas con seguridad, policía, protección civil, servicios de emergencia y otras actividades gubernamentales. Este servicio será diseñado para ser robusto y soportar interferencias provocadas o accidentales se limitara el uso mediante las técnicas disponibles que nos entrega CDMA aplicándose las técnicas de acceso adecuadas para mantener controlados a sus usuarios.

2.13.5 Servicios *proporcionados por elementos locales*

Este servicio suministra correcciones diferenciales para lograr precisiones de posicionamiento mejores de 1 metro esto es similar a lo que hace la guardia costera de estrados unidos con el sistema GPS. En el caso de usar la técnica denominada TCAR (Resolución de ambigüedad por tercera portadora) permitirá lograr precisiones mejores de 10 cm.

2.13.6 Servicios de búsqueda y rescate

Este servicio se coordinara con COSPAS-SARSAT y será compatible tanto con Sistema mundial de socorro y seguridad marítimo (GMDSS) y la red de transporte transeuropa, permitiendo mejorar la detección y precisión de localización de las balizas disponibles en relación a los sistemas actuales. La determinación de la posición de estas balizas se llevará a cabo por COSPAS-SARSAT en base a las señales y datos proporcionados por GALILEOS, lo que permitirá pasar de la actual precisión de 5 Km. a una precisión de 10 metros para balizas equipadas con receptores GALILEO.

2.14 Ventajas del Sistema GALILEO.

GALILEO proporciona la oportunidad para desarrollar servicios de posicionamiento en todo el mundo para toda categoría de usuarios con precisiones iguales a la que los otros sistemas se restringen solo para militares:

- GALILEO es un sistema que busca complementarse con los sistemas existentes, Las futuras aplicaciones se beneficiarán de la posibilidad de utilizar todos los sistemas de navegación disponibles, Así pues, GALILEO será compatible e ínter operable con GPS y GLONASS. Es por esto que los criterios de diseño de la estructura de la señal del sistema de GALILEO se están desarrollando para añadir un coste mínimo adicional a los terminales de usuario
- Otra ventaja es la independencia del sistema GALILEO de GPS y de GLONASS, asegurando que las aplicaciones críticas en términos de seguridad están protegidas de los posibles errores que puedan ocurrir en modo común.

- **GALILEO** es un sistema civil y utiliza esta potencialidad para desarrollar varios servicios que se proporcionan a varias categorías de usuarios. En su concepción se basa que será administrado por un organismo independiente, de esta manera se promoverá el desarrollo de servicios de valor agregado en cualquier zona del mundo permitiendo la adaptación eficiente de aplicaciones comerciales rentables. La filosofía con que ha sido diseñado está basada en la optimización de sus componentes (global, regional, local, equipos de usuario,...) para poder hacer la interfaz con otros sistemas (GSM, UMTS,...) y así disminuir la complejidad y el coste de cada componente.

2.15 Sistema de Posicionamiento por Satélite BEIDOU

El sistema experimental de posicionamiento por satélite que esta desarrollando la Republica Popular China, es llamado BeiDou, este esta compuesto por una constelación de tres satélite geoestacionarios, es desarrollado por la academia China de tecnología del espacio (MOLDE). Esta pensado para la navegación regional primero, la red cubre la mayoría de las áreas de la región de Asia del este y cumple funciones de navegación y de comunicación. La red esta compuesta por tres satélites BeiDou-1 (dos operacionales y una reserva).

China comenzó a estudiar la navegación basada en los satélites y la tecnología de posicionamiento por medio de estos desde los años 60. Sin embargo, el desarrollo de su propio sistema de posicionamiento por satélites ha sido lento debido a los problemas de fondos y dificultades técnicas. China primero probó la teoría de posicionamiento regional, con un proyecto experimental llamado “Estrella Gemela” a mediados de los años ochenta, esto lo hizo con dos satélites de comunicaciones el DFH-2A en 1989. Mediante esta prueba se demostró que la precisión del sistema Estrella Gemela era comparable al sistema de Estados Unidos (GPS). La luz verde para el sistema de navegación basado en los satélites experimental fue dada por los líderes chinos en 1993.

Los primeros dos satélites del sistema experimental de la navegación BeiDou en poner en orbita han sido, el BeiDou-1A y el BeiDou-1B, estos fueron lanzados del centro

de lanzamiento de Xichang el 31 de octubre de 2000 y el 21 de diciembre de 2000 respectivamente. El sistema comenzó a proporcionar las primeras señales de navegación y los servicios de posicionamiento a finales de 2001. El tercer satélite (reserva) BeiDou-1C fue lanzado el 25 de mayo de 2003, dejando el sistema completamente operacional. La navegación y los servicios de posicionamiento comenzaron a estar disponibles para los usuarios civiles en abril de 2004. Esto ha hecho que China sea el tercer país en el mundo en haber desplegado su propio sistema navegación basada en satélites y que se encuentre 100% operacional.

2.16 Red de navegación

El sistema de posicionamiento por satélites BeiDou cubre la región entre la longitud $70^{\circ}\sim 140^{\circ}$ E y la latitud $5^{\circ}\sim 55^{\circ}$ N. Dos satélites se encuentran en órbita geoestacionaria a 35.768Km de altitud y ubicados en 80° E y 140° E. El tercer satélite (de reserva) esta ubicado en los 110.5° E.

Los sistemas de tierra incluyen una estación de control central, tres estaciones de seguimiento de las órbitas de los satélites (en Jamushi, Kashi y Zhanjiang), y los receptores de los usuarios (receptores/transmisores).

Los satélites transmiten en las frecuencias $2491.75\pm 4.08\text{MHz}$ y el receptor de tierra puede transmitir de nuevo al satélite en los 1615.68MHz . El sistema de referencia de BeiDou es el sistema coordinado de Beijing 1954, con el sistema de tiempo referido al UTC de China según lo determinado a Beijing.

El sistema proporciona en el posicionamiento del receptor una exactitud de 50m. Usando los métodos diferenciados de tierra y/o espacio, la exactitud se puede aumentar a unos 10m.

2.17 Método de operación

En primer lugar, la estación de control central envía señales a los usuarios vía los dos satélites. Cuando el receptor del usuario recibió la señal a partir de un satélite, envía la señal que responde de nuevo a ambos satélites. La estación central recibe las señales que responden enviadas por el usuario a partir de dos satélites, y calcula la posición del usuario basada en la diferencia del tiempo entre las dos señales. Esta posición entonces se compara con el mapa territorial digital almacenado en la base de datos para conseguir los datos de la posición 3D, que entonces se envía de nuevo al usuario vía los satélites este sistema utiliza CDMA para sus transmisiones. El usuario puede también transmitir mensajes cifrados (hasta 120 caracteres chinos) a la estación central vía los satélites.

El sistema BeiDou al requerir de transmisiones de manera dual entre el usuario y la estación de control central vía los satélites que se encuentran en la órbita geoestacionaria, su segmento de usuario necesita un espacio adicional para el transmisor y una batería más-de gran alcance. Por lo tanto los segmentos del usuario del sistema de BeiDou son mucho más grandes (antena de 20cm), más pesados y más costosos comparados a los receptores del usuario de GPS. Además, el número de usuarios se puede servir por el sistema es limitado por la capacidad de la comunicación de la red. (fuente: MOLDE)

2.18 Satélites

El satélite BD-1 fue desarrollado en a los satélites DFH-3, y es de 2.2 x 1.72 x 2.0 metros de tamaño. Cuenta con un par de paneles solares. El satélite pesa 2,200kg, y lleva el propulsor 1,100kg para su motor principal. La vida útil se estima en aproximadamente 5 años. Los satélites fueron lanzados por el vehículo de lanzamiento CZ-3A del centro de lanzamiento de Xichang (XSLC).

BD-1D

Después de los tres lanzamientos acertados de los satélites BeiDou-1 en 2000 y 2003, un cuarto satélite de GEO fue lanzado por un vehículo del lanzamiento de CZ-3A del centro de lanzamiento de Xichang (XSLC) a las 16:28 el 2 de febrero de 2007 (00: tiempo

de 28 local el 3 de febrero de 2007). El satélite sufrió un malfuncionamiento del sistema de control, que dio lugar a la incapacidad de extender los paneles solares. Después de un cierto trabajo del ajuste de la estación de control de tierra, el satélite pudo ser restaurado completamente. El satélite fue colocado en su orbitageoestacionaria, para complementar los tres satélites geoestacionarios regionales existentes Beidou-1.

El sistema de posicionamiento Beidou-1 es solo experimental en estos momentos se encuentra en desarrollo el sistema Beidou-2 que constara de una constelación total de 35 satélites los plazos para este nuevo proyecto ya se encuentran en curso tras el lanzamiento y exitosa puesta en órbita de su primer satélite el cual se realizó su lanzamiento en abril de 2007 este nuevo sistema será de cobertura global y pretende desvanecer la dependencia de GPS y GLONASS. Además China está inmerso en el proyecto Galileo.

2.19 Aplicaciones de los Sistemas de Posicionamiento

Los Sistema de Posicionamiento Global por Satélite tiene una variedad de aplicaciones en tierra, aire y mar. Básicamente, La tecnología GPS puede ser utilizada en cualquier lugar, En el aire, son utilizados para la navegación aérea, tanto en aeronáutica militar como en aviación comercial y general. En el mar, también son utilizados por aficionados a la náutica, pescadores y marinos profesionales. Las aplicaciones terrestres en cambio son más diversificadas. La comunidad científica por ejemplo utiliza la tecnología para obtener datos de posición y tiempo muy precisos.

A continuación nombraremos, algunas de las aplicaciones que se le dan hoy en día, a los sistemas de posicionamiento por satélite y no especificamos cual ya que puede ser de la constelación GPS o GLONASS que son las que están totalmente operativas, de esta forma comenzaremos a enfocar este trabajo a la aplicación que se realizó con un receptor GPS que nos facilitó el Instituto de Electricidad y Electrónica de la Universidad Austral de Chile, que desde el próximo capítulo se profundizará.

Agricultura de alta Precisión - 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 permiten optimizar la siembra en los terrenos y ayuda delimitar campos en la construcción de cercos.

Navegación en Tierra y Mar - Además de los directos para determinar posición usando sistemas de navegación a bordo, 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 por ejemplo.

Usos Militares – los militares lo utilizan desde las aplicaciones más comunes como la navegación general, hasta dirigir proyectiles y "bombas inteligentes" a sus blancos, para organizar el despliegue de tropas, para la coordinación en el campo y muchas otras.

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 límites, estructuras, y rasgos naturales.

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 hábitats, 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.

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.

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 está 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.

Estas son solo algunas de las aplicaciones que se le están dando hoy en día a los sistemas de posicionamiento. A continuación describiremos una aplicación que es conocida como control de flotas la cual fue desarrollada de forma práctica.

2.19.1 Control de Flotas.

Esta aplicación es relevante para nosotros, ya que fue implementada para un móvil en la ciudad de Valdivia, pero en que consiste el control de flotas es una forma de optimizar los recursos móviles de una empresa utilizando medios de posicionamiento como GPS o GLONASS de esta manera se logra saber y controlar el recorrido del vehículo y mediante el análisis de estos datos optimizar su recorrido, este control puede ser manera online o offline esto se logra incorporando tecnologías como gprs, esta herramienta es muy valorada en estos días por la capacidad de lograr optimizar los recursos.

Ventajas

- *Informes de actividad:* Los informes de actividad del sistema nos permiten saber con exactitud las horas trabajadas por un vehículo: hora de inicio de recorrido, cuándo paró, qué kilómetros hizo (en total y en cada intervalo), qué velocidades medias ha tenido, etc.
- *Control de las jornadas laborales:* Podrá determinarse con exactitud cuándo comienzan a trabajar los vehículos y cuándo terminan.
- *Optimización de los tiempos:* Se puede lograr reducir los tiempos muertos en la salida de los móviles.

Estas son solo algunas de las ventajas que se pueden obtener de este tipo de sistema

CAPITULO 3

TECNOLOGIAS ASOCIADAS AL DESARROLLO DE BITACORA ELECTRONICA PARA CONTROL DE FLOTAS EN LA CIUDAD DE VALDIVIA

3.1 Introducción

En este capítulo comenzaremos a desarrollar la parte práctica de nuestro trabajo de tesis, el cual consiste en el desarrollo de una bitácora electrónica, la cual fue pensada y desarrollada para ser capaz de guardar la posición entre otros datos de un móvil que circula por la capital de la Región de los Ríos Valdivia, y además poder desplegar gráficamente sobre un plano de ciudad la información obtenida durante el tiempo de muestra, entre otras aplicaciones extras del prototipo, esta idea ha sido elaborada con ayuda del profesor Néstor Fierro y lo que se persigue es dar una aplicación práctica del sistema GPS desarrollada en los laboratorios del instituto de ingeniería eléctrica y electrónica, en este capítulo daremos a conocer las tecnologías utilizadas en la creación de la bitácora electrónica.

3.2 Descripción del sistema Bitácora Electrónica

El sistema se fundamenta en la localización geográfica y visualización de un vehículos que recorre la ciudad de valdivia, para la implementación de este sistema se desarrollo una interfaz que conectada a un receptor GPS facilitado para este proyecto por el instituto de Electricidad y Electrónica el cual almacena los datos de posición del vehículo hasta que son descargados en el PC para ser visualizados en un software implementado para este fin.

3.2.1 Funcionalidades de la Bitácora:

- Localización y respaldo de la posición del móvil durante las horas de trabajo.
- Optimización de los recursos móviles de la empresa.
- Control y reducción de tiempos muertos de los móviles.
- Control de velocidad

3.2.2 Arquitectura de la Bitácora

- Recepción de datos de posición
- Interfaz de almacenamiento y procesamiento de datos de posición
- Despliegue grafico y visualización en el PC

3.3 Recepción de los datos de Posición

Para este fin se utilizo el sistema GPS, esta tarea se realiza por medio de un receptor Garmin modelo GPS II Plus el cual cumple con el estándar de transmisión NMEA en su conector serial. A continuación daremos a conocer características del receptor.

3.3.1 GPS II PLUS

Receptor de segunda generación del sistema GPS fue desarrollado por la empresa GARMIN entre sus principales características cuenta con 12 canales y una interfaz serial que soporta el estándar NMEA, resumiremos sus características en la siguiente tabla.



Figura 24: *Receptor GPS II PLUS*

CARACTERISTICAS GENERALES GPS II PLUS	
Receptor	<i>12 satelites</i>
Tiempo de adquisición	<i>Caliente : 15 seg. Frio 45 seg. AutoLocate : 5min.</i>
Media de Actualización	<i>1/seg continua</i>
Precisión	<i>15 metros</i>
Interface soportadas	<i>NMEA 180, 182, 183 y correcciones DGPS RTCM104</i>
Antena	<i>Móvil con conector BNC estándar</i>

3.4 Estándar NMEA

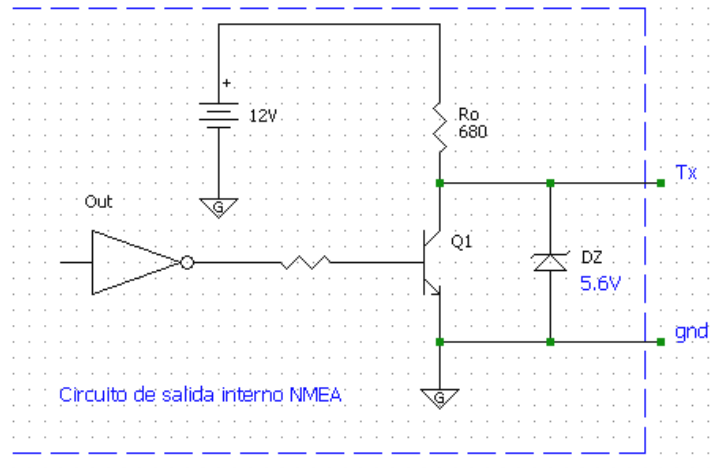
NMEA (nacional marine electronics association) es un protocolo estándar usado por receptores GPS para transmitir información. La salida NMEA-0183 es del tipo EIA-422A pero para la mayoría de los propósitos se puede considerar RS-232 compatible. En un bus NMEA pueden existir muchos receptores, pero solo un transmisor. Este estándar fue desarrollado para permitir la rápida y satisfactoria comunicación entre instrumentos marinos electrónicos, equipos de navegación y equipamiento de comunicación cuando son conectados a través de un sistema apropiado.

3.4.1 Características eléctricas.

Este estándar permite un solo transmisor conectado en un bus donde puede haber muchos receptores. La interconexión recomendada es a través de un par trenzado con una malla de recubrimiento, la cual solo debe estar conectada a la tierra del transmisor. El estándar no especifica el uso de un conector en particular.

Los estándares NMEA-0180 y 0182 dicen que la salida del transmisor puede ser RS-232, o desde un buffer TTL, esta debe ser capaz de proporcionar 10mA a 4V.

Un circuito de ejemplo se muestra a continuación.



NMEA 0183, acepta lo anterior, pero recomienda que la salida del transmisor sea compatible con EIA-422. Esto es un sistema diferencial que tiene dos líneas para señal, A y B. El voltaje en la línea A es igual al antiguo sistema de one-wire, mientras la línea B es invertida (mientras la línea A es cero lógico la B es uno lógico y viceversa).

En cualquier caso se recomienda que la entrada NMEA use un opto-acoplador para asegurar la protección de la circuitería. La entrada debe estar aislada de la tierra del receptor.

3.4.2 NMEA 0183

NMEA 183 usa 4800 baudios de velocidad de transmisión, 8 bits de datos, sin paridad además de un bit de parada (8N1). Todas las sentencias NMEA están en caracteres ASCII.

La información es transmitida en pequeños paquetes denominados sentencias. Cada sentencia comienza con el signo pesos (\$), y finaliza con un ASCII avance de línea seguido de un retorno de carro (0x0D + 0x0A).

Los datos dentro de la sentencia esta delimitados por comas (,), todas las comas señalan marcadores que separan datos independientes dentro de esta. Un checksum es opcionalmente agregado al final de la sentencia.

Seguido del carácter \$ esta el campo de dirección xxyyy, donde el par xx identifica la unidad, GP para datos de un GPS y yyy indica el formato de la sentencia el cual también es conocido como el nombre de la sentencia.

El campo opcional checksum consiste en un carácter '*' seguido de dos dígitos hexadecimales que representan la operación XOR de todos los caracteres anteriores, excluyendo el comienzo '\$' y el '*'. Un checksum es requerido por algunas sentencias.

El estándar permite a los fabricantes definir formatos de sentencias propias. Estas sentencias deberán partir con los caracteres "\$P", seguido de un ID. De fabricante de tres letras, seguido del identificador que el fabricante desee y posteriormente el formato general de la sentencia estándar.

Algunos ID. Para transmisores genéricos son:

GP	Global Positioning System receiver
LC	Loran-C receiver
OM	Omega Navigation receiver
II	Integrated Instrumentation

3.4.3 SENTENCIAS.

De todas las sentencias que define el estándar solamente se detallara la RMC ya que esta es ocupada para la realización de nuestro proyecto, las demás se omitirán por un asunto de espacio, desde luego, las que se omitan, se encuentran ampliamente detalladas en la literatura disponible en www.nmea.org.

Ejemplo:

RMC, Recommended minimum specific GPS/Transit data.

\$GPRMC,225446,A,4916.45,N,12311.12,W,000.5,054.7,190207,020.3,E*68

225446	Hora universal: 22:54:46 UTC.
A	Estado de recepción: warning A = OK, V = warning.
4916.45,N	Latitud: 49 grados, 16.45 minutos Norte.
12311.12,W	Longitud: 123 grados, 11.12 minutos Oeste.
000.5	Velocidad sobre tierra: 000.5 Nudos.
054.7	Curso a seguir hacia el track: 054.7 grados.
190207	Fecha universal: 19/02/2007.
020.3,E	Variación magnética: 020.3 grados, Este.
*68	Checksum: 0x68.

3.5 Interfaz de Almacenamiento y Procesamiento de Datos de Posicionamiento.

Esta interfaz fue desarrollada en laboratorios del Instituto de Electricidad y Electrónica de la Universidad Austral de Chile, y esta desarrollada en un microcontrolador de la empresa Motorola que se comunica por USB al PC y NMEA 0183 para adquirir los datos de posición desde el receptor antes descrito en este capítulo.

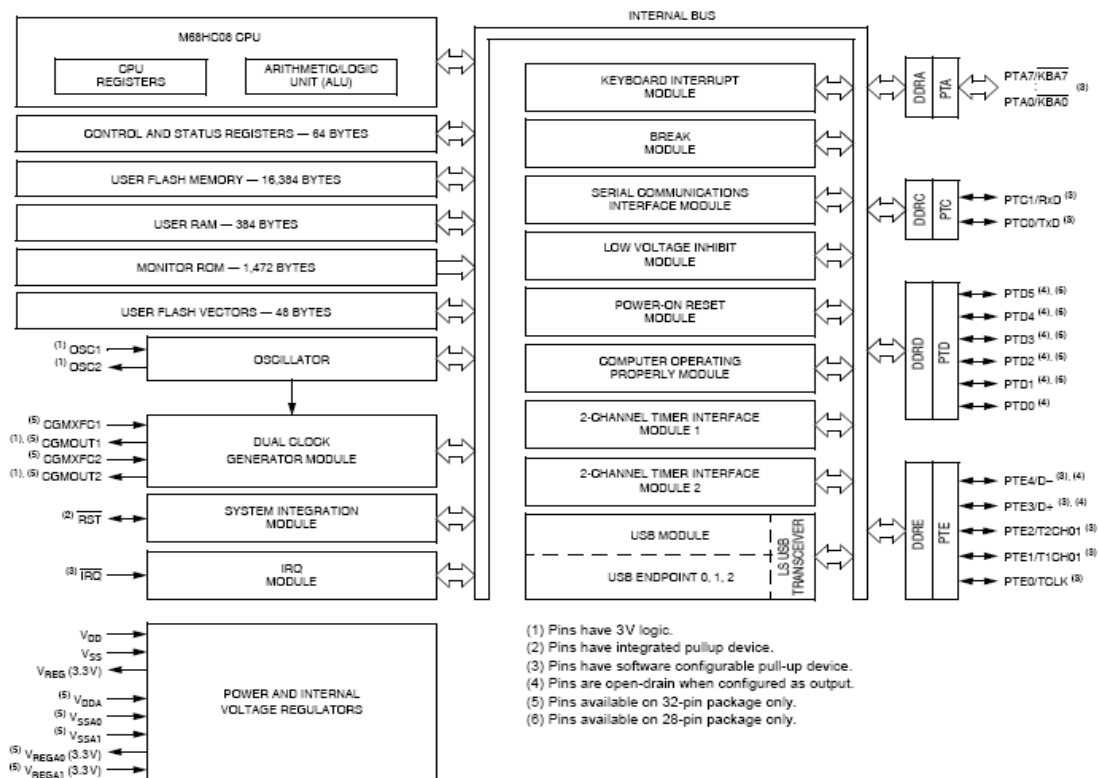
3.5.1 MC908JB16

El uC MC908JB16 es un microcontrolador de 8 bits de la familia HC08 de Freescale (motorola). EL procesador HC08 es una evolución de la popular familia HC05 de Motorola. La principal ventaja de este microcontrolador es su excelente direccionamiento si se compara con su similar de microchip además de muy buenas herramientas de desarrollo proporcionadas por el fabricante.

3.5.1.1 Características:

- 6 MHz de velocidad en su bus interno.
- 16.384 bytes para memoria de programa.
- 384 bytes de memoria ram.
- 21 I/O pines de propósito general.
- 2 timer de 16 bits.
- USB on-chip module, funciones low speed, 3 endpoints, version 2.0 compatible.
- SCI o también conocida como UART.
- Divisor hardware

3.5.1.2 Diagrama en Bloques.

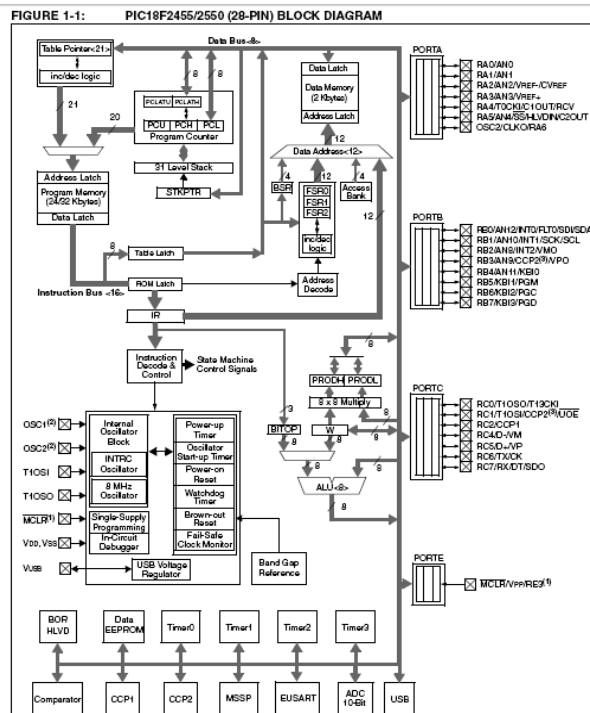


3.5.2 PIC18F2550

El PIC18F2550, es un microcontrolador de la familia PIC18 de Microchip. Este uC se diferencia de la popular familia PIC16 en que posee un procesador con muchas más instrucciones lo que facilita la programación. La principal ventaja de este uC es la amplia literatura y ejemplos disponibles en Internet y su rapidez para ejecutar instrucciones.

3.5.2.1 Características.

- 12 MHz de velocidad en su bus interno.
- USB 2.0 on-chip module, full speed y low speed.
- 2048 bytes de memoria ram.
- 32K bytes de memoria de programa.
- 4 timers, 2 x 16bits y 2 x 8 bits.
- USART.
- I2C modulo.
- Conversor AD 10 bits.



3.6 USB

El Universal Serial Bus (USB) es una rápida y flexible interfaz de comunicación para conectar unidades a un computador. Actualmente todos los PC's tiene uno o mas puertos de comunicación USB y los nuevos portátiles dejaron de lado la antigua comunicación por la puerta serial (UART). La interfaz es versátil y se usa con muchos de los periféricos estándar como teclados, mouses, impresoras y otras unidades especializadas. USB es diseñado para facilitar la implementación por parte del usuario final, esto porque no son necesarias configuraciones de hardware ni de software para su puesta en funcionamiento.

En resumen USB es muy diferente de las viejas interfaces a las cuales reemplaza. Una unidad USB puede trabajar con cualquiera de cuatro tipos de transferencias y en cualquiera de tres velocidades disponibles.

Conectándose a un PC, una unidad debe ser capaz de responder a una serie de requerimiento los cuales habilitan al PC para escuchar a la unidad y establecer una comunicación con ella. En el PC, cada unidad debe tener un driver de bajo nivel para manejar la comunicación entre la aplicación y el sistema USB.

Desarrollar una unidad USB y su software correspondiente requiere conocer acerca de cómo trabaja el sistema USB y como el sistema operativo del PC implementa la interfaz. Además de esto se debe escoger el chip que se va a usar, la clase (device class) y las herramientas y técnicas que se usaran para permitir desarrollar rápidamente el sistema.

3.6.1 Velocidades Definidas

- Low speed: Definida en todas las especificaciones cuenta con una taza de transferencia de 1.5Mb/seg.
- Full speed: Definida en todas las especificaciones cuenta con una taza de transferencia de 12Mb/seg.
- High speed: Definida solo en la especificación 2.0 cuenta con una taza de transferencia de 480Mb/seg.

3.6.2 Tipos de Transferencias.

USB es diseñado para manejar muchos tipos de periféricos con variados requerimientos de velocidad de transferencia, tiempo de respuesta y corrección de errores. Existe cuatro tipos de transferencias, en donde cada uno maneja diferentes necesidades, y un dispositivo puede manejar los tipos que su aplicaron lo requiera.

- **CONTROL:** Las transferencias de control son las únicas que tienen definida su función en el estándar. Las transferencias de control sirven para que el host pueda leer información acerca de la unidad, establecer una configuración, su dirección en el bus o cualquier otra configuración. Las transferencias de control pueden usarse además para requerimientos propios de una aplicación en particular y también, si así se desea, enviar y recibir información hacia o desde el host, pero esto último no es recomendado pues existen transferencia especialmente destinadas para esta función.
- **BULK:** En español: transferencia por bultos o masiva. Son implementadas en aplicaciones donde el tiempo no es un factor crítico para la transmisión pero donde si lo es la integridad de la información, como por ejemplo enviar datos a una impresora o recibir grandes cantidades de información de un escáner o un pendrive. Las transferencias BULK son muy rápidas pero los datos pueden esperar si así es necesario, esto es por ejemplo si el bus esta muy ocupado con otra transferencia que si tiene garantizado la tasa de transferencia, las transferencias BULK deben esperar, pero una vez que el bus esta desocupado estas son muy rápidas. Transferencias BULK solo pueden ser implementadas en full y high speed no en dispositivos low speed.
- **INTERRUPT:** Las transferencias por interrupción están diseñadas para aplicaciones donde la unidad envía periódicamente pequeñas cantidades de datos al host, aplicaciones muy típicas son el teclado del pc, el mouse o un joystick por ejemplo

. Las interrupciones son la única vía que tienen las unidades low speed de enviar información al pc.

- **ISOCHRONOUS:** Transferencias isocronicas, en español. Este tipo de transferencia tiene como característica que tiene garantizada la tasa de transferencia pero no así la integridad de la información es decir no se reenvían paquetes si un error es detectado. Comunes aplicaciones son por ejemplo las que funcionan en tiempo real, como audio o video procedente de una webcam por ejemplo.

3.6.3 Estándares Definidos.

Desde la publicación del primer estándar, USB 1.0, en febrero del año 1996 han aparecido dos revisiones posteriores, USB 1.1 publicada en septiembre de 1998 y la actualmente en vigencia, la especificación USB 2.0 publicada en abril del año 2000.

3.6.3.1 USB 1.0:

Esta especificación se caracteriza por tener dos velocidades disponibles, low speed y full speed en donde la velocidad para la primera es de 1.5Mbit/seg. y para el caso de full speed es de 12Mbit/seg., cabe señalar que debido a la reciente aparición de este estándar no tuvo la relevancia de sus posteriores revisiones por lo que hoy en día es muy difícil encontrar unidades que trabajen bajo esta especificación.

Una de las principales diferencias de esta revisión es que solo cuenta con interrupciones IN, las interrupciones del tipo OUT son añadidas en las siguientes revisiones.

3.6.3.2 USB 1.1

Esta especificación es muy similar a su predecesora, el cambio de mayor relevancia es la adición de la interrupción del tipo out, esto es el envío periódico de información del host al dispositivo. Además de esto fueron echas algunas modificaciones para corregir algunos defectos de la primera especificación.

3.6.3.3 USB 2.0:

La versión 2.0 constituye un gran paso en la evolución del sistema USB, esto es la transferencia de muy alta velocidad “high speed” que incorpora una tasa de transferencia de 480Mb/seg. Es decir se amplió la velocidad máxima en 40 veces. Esto hace de USB una interfaz mucho más atractiva para aplicaciones que requieren mover grandes cantidades de datos como discos duros externos o pendrives. USB 2.0 mantiene la compatibilidad con los estándares anteriores.

3.6.4 USB respecto otras interfaces.

A continuación se realizara una comparación entre la interfaz USB y otras dos famosos estándares como son el IEEE-1394 y Ethernet.

3.6.4.1 USB v/s IEEE-1394

Otra popular interfaz elegida por los nuevos periféricos es IEEE-1394, también conocida como Firewire, que es la implementación de Apple Computers. Generalmente esta interfaz es mas rápida y mas flexible que la USB, pero es mucho mas compleja de implementar. En USB un solo “host controller” se comunica con muchas unidades, así el host maneja la complejidad del sistema permitiendo a la unidad electrónica ser mas simple de implementar. IEEE-1394 permite a las unidades comunicarse directamente entre ellas sin la participación de un host, esto por cierto permite mucha mayor flexibilidad pero con un incremento notable en la complejidad de la unidad y con esto el costo. IEEE-1394 es apropiado para situaciones en que se requiera una extremadamente alta velocidad en la transmisión. USB es recomendable para velocidades bajas y moderadas además de aplicaciones que son de bajo costo.

3.6.4.2 USB v/s ETHERNET.

Dentro de las ventajas de ethernet se puede incluir la que permite usar cables muy largos, capacidad de comunicación entre unidades y soporte para protocolos de Internet. De todas maneras, como en IEEE-1394, el hardware requerido para implementar ethernet es mucho mas complejo que el que se necesita para USB. Así USB es mas versátil con cuatro tipos de transferencias y una variedad de clases definidas para diferentes propósitos.

La siguiente tabla ilustra USB respecto de otras interfaces.

Interfaz	Formato	Numero de unidades (máximo)	Distancia (máxima en pies)	Velocidad (máxima en bits/s)	Usos típico
USB	Serial asíncrono	127	16	1.5M, 12M, 480M	Mouse, teclado, audio, impresoras, otros específicos.
Ethernet	Serial	1024	1600	10G	Comunicaciones de red.
IEEE-1394b (Firewire800)	Serial	64	300	3.2G	Video, almacenamiento masivo.
IEEE-488 (GPIB)	Paralelo	15	60	8M	Instrumentación.
IrDA	Serial asíncrono infrarrojo	2	6	16M	Impresoras, celulares.
I2C	Serial síncrono	40	18	3.4M	Comunicación entre uControladores.
Microwire	Serial síncrono	8	10	2M	Comunicación entre uControladores.
MIDI	Serial current-loop	2	50	31.5K	Música.
Puerto paralelo de impresora	Paralelo	2	10-30	8M	Impresoras, escáneres.
RS-232 (EIA/TIA-232)	Serial asíncrono	2	50-100	20K (115K con algunos hardware)	Modems, mouse, instrumentación.

RS-485 (TIA/EIA-485)	Serial asíncrono	32 (hasta 4000 256 en algunos hardware)	10M	Adquisición de datos y sistemas de control
SPI	Serial síncrono	8 10	2.1M	Comunicación entre uControladores.

3.6.5 Características Eléctricas.

La interfaz eléctrica se encuentra ampliamente detallada en las publicaciones del sitio www.usb.org y además en el capítulo número 19 del libro USB COMPLETE del autor Jan Axelson.

El detalle que incluiremos es relevante para la implementación en la tarjeta electrónica y se da por hecho que el transeiver USB cumple todas las demás especificaciones.

3.6.5.1 Conector

El estándar USB ocupa conector de 4 pines estos son

Pin	Nombre	Descripción	Color
1	VBUS	+ 5 V. CC	rojo
2	D-	Data -	azul
3	D+	Data +	amarillo
4	GND	Tierra	verde

Los diferentes conectores son:

Tipo A.





Tipo B.



3.6.6 Señal.

La transmisión en USB es en forma serial con formato NRZ, la principal característica de las líneas de datos en USB es que son diferenciales. Esto es un uno lógico se representa con la línea D+ a 5V y D- a 0V, en tanto que el cero lógico se representa con D+ a 0V y D- a 5V. Además de el uno y cero lógico existe un tercer estado que es el “reset signal” en el cual ambas líneas, D+ y d-, están a cero Volts.

3.6.7 Cables

Existen dos tipos de cable: apantallado y sin apantallar. En el primer caso el par de hilos de señal es trenzado, los de tierra y alimentación son rectos, y la cubierta de protección (pantalla) solo puede conectarse a tierra en el anfitrión. En el cable sin apantallar todos los hilos son rectos. Las conexiones a 12 Mbit/seg. y superiores exigen cable apantallado.

3.7 Despliegue Grafico y visualización en el Pc.

Para poder desplegar en un computador los datos obtenidos desde el receptor GPS y almacenados en la interfaz anteriormente descrita, se desarrollo un software para dicho propósito, este software ha sido implementado mediante la programación en Visual C++.

3.7.1 VISUAL C++

El lenguaje de programación C++, fue elaborado a mediados de los años 1980, por Bjarne Stroustrup.

C++ contempla tres partes de la programación: la programación estructurada, la programación genérica y la programación orientada a objetos.

El estándar ISO C++, es el que unifica la gran mayoría de los compiladores existentes hoy en día. Existen también algunos intérpretes como ROOT ([enlace externo](#)). Las características de C++ son la facilidad que entrega para la programación orientada a objetos y para el uso de plantillas o programación genérica (templates). Además posee una serie de propiedades difíciles de encontrar en otros lenguajes de alto nivel:

C++ es un lenguaje muy poderoso y para algunos programadores es el lenguaje más potente, debido a que permite trabajar tanto a alto como a bajo nivel.

El nombre C++ nace de la propuesta de Rick Masciatti en el año 1983, y significa que es una extensión del lenguaje C.

CAPITULO 4

IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE, FIRMWARE Y MONTAJE ELECTRÓNICO DE LA TARJETA REGISTRADORA DE BITACORA ELECTRONICA.

4.1 Introducción .

El sistema a implementar se compone, como primera parte, de una tarjeta electrónica programada cuya función es capturar información procedente del GPS, almacenarla en una memoria y gestionar la comunicación USB para descargar dicha información en un PC. La segunda parte de la implementación consiste en un software que debe funcionar bajo el sistema operativo Windows y que debe comunicarse con la tarjeta electrónica mediante USB, rescatar la información guardada en dicha tarjeta, decodificarla y mostrar las posiciones registradas en un mapa permitiendo una animación del recorrido registrado.

Por esto el presente capítulo se separa en dos partes principales.

- Tarjeta electrónica programada (4.2)
- Software de visualización. (4.3)

4.2 Tarjeta electrónica.

La función de la tarjeta electrónica es capturar datos provenientes del GPS y almacenarlos en una memoria, además de esta función debe gestionar la comunicación USB con un PC para de esta manera enviarle los datos capturados.

La información que se registrara corresponde a:

- Posición en latitud y longitud.
- Velocidad en Km/h.

- Hora UTC de la muestra.

Estos datos serán almacenados a intervalos regulares de tiempo.

De esta manera describiremos la tarjeta electrónica en tres secciones

- Hardware
- Captura y almacenamiento
- Comunicación USB.

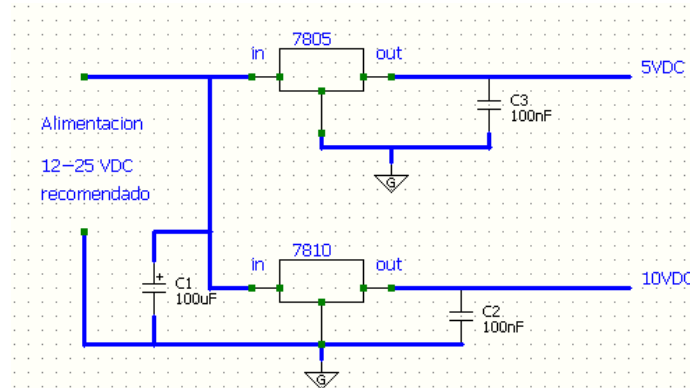
4.2.1 Hardware.

La misión de la circuitería será:

- Dar soporte de alimentación DC de 5V a todos los componentes y 10VDC para el GPS.
- Permitir la correcta comunicación entre el dispositivo GPS y la interfaz de comunicación serial del uC.
- Permitir la programación en circuito de la tarjeta.
- Conectar apropiadamente la interfaz USB.

4.2.1.1 Alimentación de 5VDC.

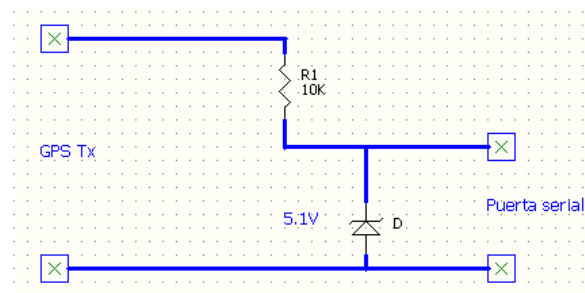
La alimentación de 5 VDC será entregada mediante el popular regulador 7805, este se caracteriza por un amplio rango de voltajes de entrada, pudiendo soportar hasta cerca de 30 V. La desventaja de este regulador es su consumo de potencia y por esto sería muy poco recomendable su uso si el circuito funcionara con baterías, pero en nuestra aplicación de prueba será alimentado con 12VDC provenientes del automóvil o camión en donde se monte el sistema. De igual manera el GPS se alimentara con un regulador 7810. Así el sistema de potencia queda de la siguiente forma.



4.3 Comunicación con el dispositivo GPS.

La salida del GPS puede conectarse directamente a la puerta serial del uC, aunque la norma recomienda el uso de optoacopladores estos no se usaran pues la alimentación tanto del GPS como de la tarjeta son comunes y comparten la misma tierra, solo se tomara precaución de los voltajes que pudieran exceder la máxima entrada de la puerta serial.

Un ejemplo de circuito se muestra a continuación.



4.4 Programación en el circuito.

Una de las partes más importantes del desarrollo es la etapa de debug, esto es probar las diferentes funcionalidades del sistema uno por uno. Aquí es importante programar en circuito la tarjeta ya que esto permite una más rápida puesta en funcionamiento de cualquier

4.6 Captura y almacenamiento de datos.

Esta etapa comprende el desarrollo del programa encargado de capturar los datos provenientes del GPS, empaquetar los datos que se van a registrar y almacenarlos adecuadamente en una memoria.

Según se recibe la sentencia NMEA esta se almacena temporalmente en la memoria ram del uC, se comprueba el checksum y se procesa o no dependiendo del resultado. Debe recordarse que la sentencia se recibe en ASCII y el paquete debe contener la información de posición, velocidad y hora.

El paquete en bruto

VARIABLE	Valor típico	Numero de bytes
<i>Latitud</i>	XX°YY'ZZ''	6
<i>Longitud</i>	XX°YY'ZZ''	6
<i>Velocidad</i>	XXX	3
<i>Hora UTC</i>	XX:YY:ZZ	6
TOTALES		21

Una vez aplicado un sistema de compresión

VARIABLE	Valor típico	Numero de bytes
<i>Latitud</i>	XX°YY'ZZ''	2
<i>Longitud</i>	XX°YY'ZZ''	2
<i>Velocidad</i>	XXX	1
<i>Hora UTC</i>	XX:YY:ZZ	2
TOTALES		7

Como se ve al aplicar un sistema de compresión la memoria ocupada se reduce notablemente en un 66%.

Así se puede considerar el uso de una memoria eeprom, típicamente estas son de 64Kbytes. Además un tiempo de muestreo prudente para nuestra tarjeta de prueba es de 20 segundos. Con los anteriores datos se puede calcular el máximo tiempo de registro de nuestro sistema.

$$N = \frac{M_{total}}{M_{packet}} = \frac{65536}{7} = 9362$$

En donde N representa el número total de paquetes que caben en la memoria, Mtotal la memoria total disponible y Mpacket el tamaño en bytes del paquete. Entonces...

$$t_{max} = 9362 \times 20s = 187240seg$$

El tiempo total de registro es de 187240 segundos o mejor expresado 2 días, 4 horas, 0 minutos y 40 segundos aproximadamente.

Este tiempo se puede aumentar utilizando una memoria de mayor capacidad y/o aumentando el tiempo entre muestras.

En nuestro caso particular utilizamos un uControlador de 16Kbytes de memoria interna para programa y de esos 16Kbytes el programa solo ocupa 3Kbytes por lo que al agregarle 1Kbyte para modificaciones al programa sobra un total de 12KBytes de memoria flash. Debido a que el sistema a implementar es un prototipo decidimos en ocupar esos 12Kbytes disponibles en el uC para de esa manera reducir la circuitería y los costos asociados a una memoria externa.

Entonces el máximo tiempo de registro para nuestro sistema es de:

$$t_{\max} = \frac{Memoria_{total}}{Memoria_{packet}} \times t_{muestra} = \frac{12288}{7} \times 20 = 35108 \text{seg.}$$

Para un periodo total de registro de 9 horas, 45 minutos y 8 segundos.

El sistema se puede configurar para el caso en que se exceda el tiempo máximo de registro este guarde las primeras 9 horas, 45 min y 8 segundos o las ultimas.

Por ejemplo si el sistema registrase un máximo de 10 horas y un registro en particular comienza a las 8 de la mañana y finaliza a las 10 de la noche se puede configurar para que detenga el proceso de almacenar en memoria trascurridas las primeras 10 horas, a las 6 de la tarde, y en este caso almacene entre las 8 de la mañana y las 6 de la tarde o como segunda configuración podría almacenar las ultimas 10 horas es decir entre las 12 del día y las 10 de la noche, esto ultimo se consigue configurando la memoria en forma circular en donde el sistema nunca se detiene de tomar muestras y cuando se llena la memoria, nuevas muestras borran las mas antiguas.

Un diagrama de flujo general de este proceso se muestra a continuación

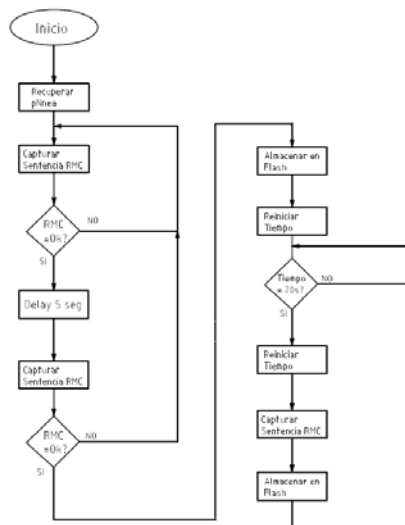


Figura 27: Diagrama de flujo

El método “Recuperar pNmea” que como su nombre lo indica recupera un puntero a la dirección del último paquete almacenado, esta al inicio por la razón de que la unidad puede desconectarse en algún momento y cuando se reinicie comenzará a almacenar nuevos paquetes a continuación de el último almacenado antes que el sistema se desconecte.

El delay de 5 segundos incluido al inicio es porque al iniciarse el GPS sin señal este envía la información guardada en su buffer interno la que corresponde a los últimos datos que quedaron en dicho buffer antes de apagarse.

4.7 Comunicación USB.

El proceso de comunicación con un host controller (PC) comienza con la denominada enumeración en la que el host interroga a la unidad (Tarjeta electrónica) acerca de cómo esta configurada.

En esta etapa el host solicita a la unidad una serie de descriptores, los cuales son una tabla de datos en un orden definido por la norma USB, los cuales contienen información de cómo trabajara el sistema, endpoints disponibles con su respectiva configuración etc. Los descriptores solicitados se muestran a continuación.

* Device Descriptor

Dev_Desc:

dc.b DDesc_End-Dev_Desc	; Largo del descriptor
dc.b \$01	; Tipo de descriptor (Device)
dc.b \$00,\$02	; USB especificación (2.0)
dc.b \$00	; Código de clase
dc.b \$00	; Subcódigo de clase
dc.b \$00	; Código de protocolo
dc.b \$08	; Máximo del packet en endpoint 0 (8 bytes)
dc.b \$b0,\$15	; Código de fabricante
dc.b \$00,\$00	; Código de producto
dc.b \$01,\$00	; Número del lanzamiento (1.00)
dc.b \$01	; Índice al String Descriptor del fabricante
dc.b \$02	; Índice al String Descriptor del producto
dc.b \$00	; Índice al String descriptor del número de serie
dc.b \$01	; Número de posibles configuraciones (1)

DDesc_End:

Los parámetros propios de nuestra unidad son el código del fabricante y del producto, elegidos al azar, estos números son los que ocupa Windows para identificar una unidad en particular.

- Configuration Descriptor

Con_Desc:

dc.b CDesc_End-Con_Desc	; Largo del descriptor
dc.b \$02	; Tipo de descriptor (Configuration)
dc.b E1Desc_End-Con_Desc,\$00	; Largo total de datos (Config-Interface-EP)
dc.b \$01	; Interfaces soportadas
dc.b \$01	; Valor de configuración.
dc.b \$00	; Indice al String descriptor de conf.
dc.b \$C0	; Self powered
dc.b \$0	;Maxima corriente requerida del bus en mA

CDesc_End:

* Interface Descriptor

Int_Desc:

dc.b IDesc_End-Int_Desc	; Largo del descriptor
dc.b \$04	; Tipo de descriptor (Interface)
dc.b \$00	; Número de interfaces
dc.b \$00	; Sin configuraciones alternas
dc.b \$01	; Numero de endpoints
dc.b \$03	; Codigo de clase (HID)
dc.b \$00	; Subcodigo de clase
dc.b \$00	; Codigo de protocolo
dc.b \$00	; Indice al String Descriptor

IDesc_End:

Aquí especificamos que nuestra unidad es de la clase HID, con esto windows asigna el driver HID automáticamente al conectar (plug-in).

* HID Descriptor

HID_Desc:

dc.b HDesc_End-HID_Desc	; Largo del descriptor
dc.b \$21	; Tipo de descriptor (HID)
dc.b \$00,\$01	; Numero de lanzamiento HID (1.00)
dc.b \$00	; Codigo de pais=\$00
dc.b \$01	; Numero de HID class descriptors.
dc.b \$22	; Tipo de descriptor de clase (REPORT)
dc.b RDesc_End-Rep_Desc,\$00	; largo del Descriptor Report.

HDesc_End:

* Endpoint Descriptor

Endp1_Desc:

dc.b E1Desc_End-Endp1_Desc	; Largo del descriptor
dc.b \$05	; Tipo de descriptor (Endpoint)
dc.b \$81	; Numero y dirección del endpoint (#1,IN)
dc.b \$03	; Tipo de transferencia (Interrupt)
dc.b \$01,\$00	; Maximo tamaño del paquete EP1 (1 byte)
dc.b \$FF	; Intervalo de polling=255[ms]

E1Desc_End:

El intervalo de polling se refiere al tiempo en ms en que el host enviara una petición IN en el endpoint 1.

* Report Descriptor

Rep_Desc:

dc.b \$06,\$00,\$FF	; Usage Page (definida por la clase)
dc.b \$09,\$01	; Usage (definida por la clase)
dc.b \$A1,\$01	; Collection (Application)
dc.b \$09,\$02	; Usage (definida por la clase)

; Input report

dc.b \$09,\$03	; Usage (definida por la clase)
dc.b \$15,\$00	; Minimo lógico (\$00)
dc.b \$26,\$FF,\$00	; Maximo lógico (\$FF)
dc.b \$75,\$08	; Tamaño del reporte (8 bits)
dc.b \$95,\$01	; Cuenta del reporte (1 campo)
dc.b \$81,\$02	; Input (Data, Variable, Absolute)

dc.b \$C0	; End Collection
-----------	------------------

RDesc_End:

Este report descriptor se encuentra configurado para la clase HID, mas detalles de esta configuración se puede obtener en www.usb.org, en la especificación HID 1.0.

La secuencia exacta de cómo se solicitan los descriptores dependen del host en particular.

Una vez completado el proceso de enumeración Windows asigna el driver HID para nuestra unidad, así desde la aplicación en Windows se puede acceder al dispositivo mediante los números de fabricante y numero de producto incluido en el descriptor Device.

Desde la aplicación se puede transferir información entre unidad-host mediante la función API de Windows ReadFile, esta función devuelve el ultimo valor que envió la unidad en la mas reciente interrupción IN en el endpoint 1, que esta configurado para soportar este tipo de transferencia.

También se puede transferir información unidad-host mediante la función HID denominada GetInputReport, esta transferencia se realiza en el endpoint de control (endpoint 0) y la unidad debe configurarse para reconocer este requerimiento y responder apropiadamente a el. GetInputReport se compone de un setup packet enviado por el host y sucesivos token IN en el endpoint 0, estos sucesivos token IN se extienden hasta completar la transferencia de todos los datos especificados en la función GetInputReport.

Desde la aplicación se puede transferir información host-unidad mediante la función API WriteFile que llama la función HID SetReport, esta función se compone de un setup packet enviado al endpoint 0 y sucesivos token OUT a este mismo endpoint hasta completar toda la información especificada en WriteFile.

4.8 Software de visualización

La función del software de visualización será permitir la correcta extracción y decodificación de los datos almacenado en la tarjeta electrónica vía interfaz USB, y además de esto, deberá permitir una representación grafica de las coordenadas almacenadas por la tarjeta electrónica, esto se lograra utilizando un mapa con escala real y representando cada muestra almacenada en forma secuencial a como fueron registradas, con lo ultimo lograremos una animación del progreso del recorrido.

También el software implementado tendrá las siguientes funciones

- Arrastrar la imagen con el Mouse.
- Efectuar zoom.
- Manejar el tiempo con el que se muestra la secuencia.

- Copiar la imagen en el portapapeles de Windows.
- Permitir guardar, abrir y visualizar archivos de recorrido.
- Exportar la información en un archivo de texto tabulado compatible con la mayoría de las aplicaciones mas populares, como Excel por ejemplo.

De esta manera dividiremos el software de visualización en 3 partes fundamentales

- Comunicación con la tarjeta electrónica
- Presentación grafica de la información.
- Sistema de almacenamiento de archivos y exportación en archivo de texto tabulado.

Para la implementación de todas las anteriores funciones utilizaremos el compilador Visual C++, dicho compilador viene con el paquete Microsoft Visual Studio, que viene en su versión 6.0.

4.9 Comunicación con la tarjeta electrónica.

La comunicación con la tarjeta electrónica se realiza a través de interfaz USB, para realizar esto la aplicación accede a la unidad mediante un driver de bajo nivel. En nuestro caso usaremos un driver estándar que viene con el sistema operativo Windows denominado HID.

Utilizaremos este driver puesto que cumple con los requerimientos básicos que necesitaremos en nuestra transferencia y además nos evita considerable tiempo que ocuparíamos si es que desarrollamos un driver propio.

Cuando se conecta la tarjeta electrónica a través de la interfaz USB el sistema operativo analiza los descriptores que la tarjeta le envía y se entera de que el dispositivo funciona con HID, entonces le asigna e instala este driver.

Una vez instalado dicho driver, lo primero que debe hacer la aplicación es solicitar al sistema operativo una lista con todas las unidades HID conectadas.

- Solicitar una guía HID: Para esto se utiliza la función `HidD_GetHidGuid(&hidGuid)`
- **Encontrar la unidad:** continuación se busca nuestra unidad en la guía por los números de fabricante (VENDOR ID), y el número de producto (PRODUCT ID).

Una vez encontrada una unidad con los mismos números de fabricante y producto procedemos a encontrar un handle para la unidad. Un handle es, en forma resumida, una dirección para referirse al dispositivo.

```
VendorID = tesis_vendor;      definidos por
ProductID = tesis_product;    nosotros

if ((Attributes.VendorID == VendorID) &&
    (Attributes.ProductID == ProductID))
{
    HIDDevice=CreateFile(ClassDeviceData->DevicePath,
                        GENERIC_READ|GENERIC_WRITE,
                        FILE_SHARE_READ|FILE_SHARE_WRITE,
                        NULL, OPEN_EXISTING, 0, NULL);
    free(ClassDeviceData);
    SetupDiDestroyDeviceInfoList(AllHIDDeviceInfo);
    return TRUE;
}
else CloseHandle(HIDDevice);
```

En este punto estamos listos para comunicarnos con la unidad refiriéndonos al handle anteriormente asignado.

- **Enviar información a la unidad.:** Para enviar información a la unidad utilizaremos la función API `WriteFile`, esta función utiliza el estándar HID `SetReport` descrito en a especificación HID 1.0.

```
unsigned char Buffer_envio[8];
```

```

Buffer_envio[0]= 0;      este bit siempre debe ser 0
Buffer_envio[1]= byte 1;
Buffer_envio[2]= byte 2;
Buffer_envio[3]= byte 3;
Buffer_envio[4]= byte 4;
Buffer_envio[5]= byte 5;
Buffer_envio[6]= byte 6;
Buffer_envio[7]= byte 7;
Buffer_envio[8]= byte 8;

```

```

WriteFile(HIDDevice, Buffer_envio, BufferLength_,
,&bytes_escritos, NULL);

```

De esta manera enviamos un paquete de 8 bytes a la tarjeta, lo anterior llega a la tarjeta con un setup packet que describe el requerimiento SetReport, seguido de una interrupción OUT en el endpoint 0.

- ***Recibir información de la unidad.:*** Para recibir información de la tarjeta utilizamos GetInputReport, utilizamos esta función y no la estándar API ReadFile, porque esta ultima es a través del endpoint 1 que funciona con interrupciones y con un intervalo de polling de cómo mínimo 10ms y esto otorga una transferencia muy lenta, en cambio GetInputReport funciona por el endpoint 0 de control y permite un máximo de hasta 3 transferencias por ms.

A continuación se muestra un requerimiento para solicitar 4097 bytes a la unidad.

```

Bool resultado;
char data_input[4097];
int get_length = 4097;
resultado= HidD_GetInputReport(HIDDevice,data_input,
                               get_length);
if(resultado == 0)
{
    MessageBox("Imposible leer del dispositivo",
               "Error",MB_ICONERROR);
    CerrarComunicacion();
    return false;
}

```

4.10 Presentación grafica de la información.

Para una representación de las muestras almacenadas se requiere contar con un mapa referenciado. Como nuestro programa esta pensado para la ciudad de valdivia ocupamos un plano de la cuidad disponible en www.planos.cl.



Figura 28: *Plano de ciudad de Valdivia.*

4.10.1 Referenciación.

El proceso de referenciar un mapa consiste en encontrar una función matemática que me permita pasar de coordenadas del GPS a coordenadas cartesianas para ubicarse dentro de la imagen que contiene el mapa.

Para lograra esto se necesita relacionar puntos reales de coordenadas GPS con sus correspondientes puntos XY dentro de la imagen.

La coordenada X en el mapa tiene su correspondiente coordenada que es la Longitud y la coordenada Y su correspondiente Latitud. Por supuesto esta conversión no es

directamente lineal, ya que unas son coordenadas cartesianas y las otras corresponden a coordenadas esféricas, pero para efectos de movernos dentro de la ciudad de Valdivia esta diferencia es absolutamente despreciable, de hecho al hacer mediciones en terreno se comprueba.

Así de manera simplificada un punto X depende de la Longitud, pero como la imagen no necesariamente se encuentra alineada en comparación a la componente Y de latitud, también depende de esta. Así la función queda de la siguiente manera:

$$X = a \times C_{longitud} + b \times C_{latitud} + c$$

Donde $C_{longitud}$ es la coordenada de longitud y $C_{latitud}$ corresponde a latitud y ambas las expresaremos en minutos con decimales (para los segundos). Entonces se deduce que para la referenciación se necesitan 3 puntos para resolver las incógnitas a, b y c.

De manera similar la componente Y:

$$Y = a' \times C_{longitud} + b' \times C_{latitud} + c'$$

Elegimos 3 puntos alejados entre sí. Estos puntos y sus respectivas coordenadas se muestran a continuación.

1.- Esquina Los Laureles con Los Robles en la isla teja.

$$\begin{array}{lcl} X, Y & = & 230 \quad , \quad 488 \\ C_{longitud}, C_{latitud} & = & 15.14 \quad , \quad 48.656 \end{array}$$

2.- Esquina General Lagos con Miraflores.

$$\begin{array}{lcl} X, Y & = & 249 \quad , \quad 1670 \\ C_{longitud}, C_{latitud} & = & 15.12 \quad , \quad 50.056 \end{array}$$

3.- Esquina Picarte con Circunvalación.

$$\begin{array}{lcl} X, Y & = & 2774 \quad , \quad 2181 \\ C_{longitud}, C_{latitud} & = & 12.133 \quad , \quad 50.662 \end{array}$$

Los puntos da latitud y longitud representan las coordenadas de minutos y los decimales representan los segundos, se omitieron los grados para que no resultaran demasiado grandes los números y ya que estos no cambian en el mapa y no presentan relevancia para este caso particular

Entonces se puede resolver el sistema de referenciacion con la ayuda de Matlab para la coordenada X en el mapa.

$$\begin{bmatrix} 15.14 & 48.656 & 1 \\ 15.12 & 50.056 & 1 \\ 12.133 & 50.662 & 1 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 230 \\ 249 \\ 2774 \end{bmatrix}$$

```
>> a=[15.14 48.656 1;15.12 50.056 1;12.133 50.662 1]
```

```
a =
```

```
15.1400    48.6560    1.0000
15.1200    50.0560    1.0000
12.1330    50.6620    1.0000
```

```
>> b=[230;249;2774]
```

```
b =
```

```
230
249
2774
```

```
>> x=a\b
```

```
x =
```

```
1.0e+004 *
-0.0845
0.0001
1.2951
```

Numeric format: longG		Size: 3	by 1
	1		
1	-845.025517545711		
2	1.49963546363127		
3	12950.7200725236		

$$a = -845.025517545711$$

Entonces $b = 1.49963546363127$

$$c = 12950.7200725236$$

Con el mismo procedimiento para la coordenada Y.

```
>> a=[15.14 48.656 1;15.12 50.056 1;12.133 50.662 1]
```

a =

```
15.1400    48.6560    1.0000
15.1200    50.0560    1.0000
12.1330    50.6620    1.0000
```

```
>> b=[486;1670;2186]
```

b =

```
486
1670
2186
```

```
>> x=a\b
```

x =

```
1.0e+004 *
-0.0001
0.0846
-4.0644
```

$$a' = -1.17419082519445$$

Entonces $b' = 845.697511559642$

$$c' = -40644.4808733525$$

El código para la aplicación quedaría

```

    CPoint    CProyecto_Tesis2007Doc::Referenciar(float    Cx,
float Cy)
{
CPoint Resultado;
    int temp;
    float      A = -845.03,
              B = 1.4996,
              C = 12951;

    float      A' = -1.1742,
              B' = 845.7,
              C' = -40644;

    Cx = Cx/1000;
    Cy = Cy/1000;

    temp = A*Cx+B*Cy+C;
    temp = temp & 0xffff;
    Resultado.x = temp;
    if(temp > m_img.Width())
        goto salida_invalida;

    temp = A'*Cx+B'*Cy+C';
    temp = temp & 0xffff;
    if(temp > m_img.Height())
        goto salida_invalida;

    Resultado.y = temp;
    return Resultado;

```

En este punto ya convertimos entre coordenadas del GPS a su respectiva coordenada XY en el mapa. De esta manera ya se puede representar un punto GPS en nuestro mapa.

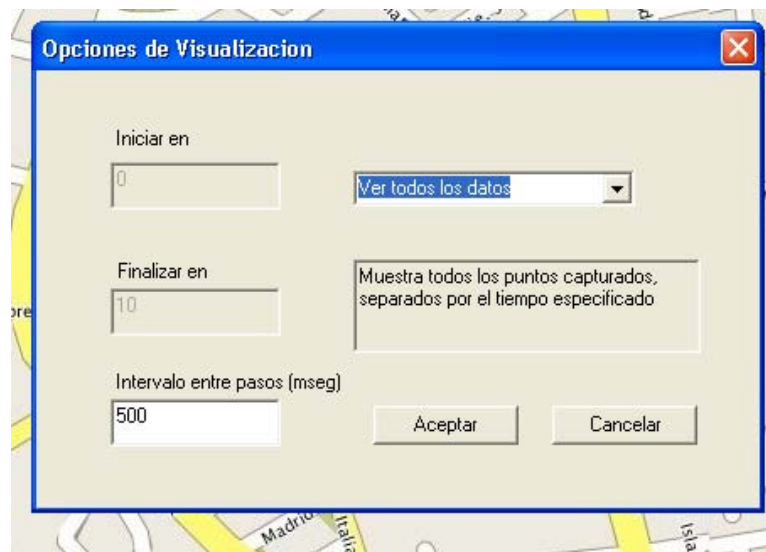
4.10.2 Visualización

La visualización corresponde a la representación de un punto con coordenadas del GPS en el mapa, en este punto se desarrolla un icono para mostrar dicho punto, uno como el mostrado a continuación:



Figura 29: visualización en software

También la visualización comprende la especificación del tiempo entre un punto y otro para su representación animada.



Aquí por ejemplo se especifica 500mseg entre muestras.

También se incluye botones para controlar la secuencia, estos son PLAY, PAUSA Y STOP. Como los mostrados a continuación



Los demás botones en orden de izquierda a derecha son

- Abrir: Abre un recorrido
- Guardar: Guarda un recorrido
- Ayuda: Implementado como “acerca de”.
- Zoom mas: También se puede hacer zoom con la tecla ‘+’
- Zoom menos: También se puede alejar la imagen con la tecla ‘-’
- Transferir: Busca y extrae datos de la tarjeta electrónica.
- Ver recorrido: Muestra el recorrido completo de una sola ves.
- Ver animación: Muestra el recorrido en forma animada
- 1:1: Resetea el zoom
- Redibujar: Limpia la imagen borrando los iconos desplegados.

4.11 Sistemas de almacenamiento de archivos y exportación en archivos de texto tabulados.

Para el manejo de archivos utilizamos una denominación *.dath, que es la abreviación de “datos de hardware”, el nombre utilizado es escogido en forma arbitraria sin ninguna razón mas que el propio nombre.

4.11.1 Guardar un registro

Al abrir un registro este queda cargado en la memoria del PC, en una variable especialmente destinada. Este registro se puede abrir desde un archivo o al leer la tarjeta electrónica se crea automáticamente. Una ves cargado el archivo en la memoria del PC, queda disponible para ser guardado y archivado como el usuario lo requiera.

El archivo se crea utilizando la clase CFile que viene con la Microsoft Foundation Class (MFC) disponible con Visual C++. El procedimiento es muy

sencillo, primero se abre un cuadro de dialogo “Guardar como” y se crea el archivo con la ubicación y nombre especificado en Guardar como.

```
CFileDialog  Abre_Archivo  (  FALSE,  NULL,  NULL,
OFN_HIDEREADONLY, szFilter, NULL);
    if (Abre_Archivo.DoModal() != IDOK)
        return ;

    CString path;
    path = Abre_Archivo.GetPathName () ;

    path += ".dath";
    CFile f( path, CFile::modeCreate | CFile::modeWrite
);
    f.Write (gps_data,32768);
    f.Close ();
```

4.11.2 Abrir un registro previamente guardado.

Para abrir un registro almacenado se utiliza también la clase CFile. Se abre el archivo en modo solo lectura de la siguiente forma.

```
char  BASED_CODE  szFilter[] = "  Archivos  datos  de
hardware (*.dath)|*.dath|)";
    CFileDialog  Abre_Archivo  (  TRUE,  NULL,  NULL,
OFN_HIDEREADONLY, szFilter, NULL);
    if (Abre_Archivo.DoModal() != IDOK)
        return ;

    CString path;
    path = Abre_Archivo.GetPathName () ;

    CFile f( path, CFile::modeRead );
    f.Read (gps_data,32768);
    f.Close ();
```

4.11.3 Exportar un archivo de texto tabulado

El objetivo del archivo de texto tabulado es entregar la información en forma de tabla, de manera que sea fácil para el usuario comprender las muestras almacenadas por la tarjeta.

Para generar un archivo de texto se debe seleccionar: Archivo, exportar archivo de texto, con lo anterior el programa formatea la información binaria de la tarjeta y genera el archivo el que es almacenado en la ubicación seleccionada por el usuario.

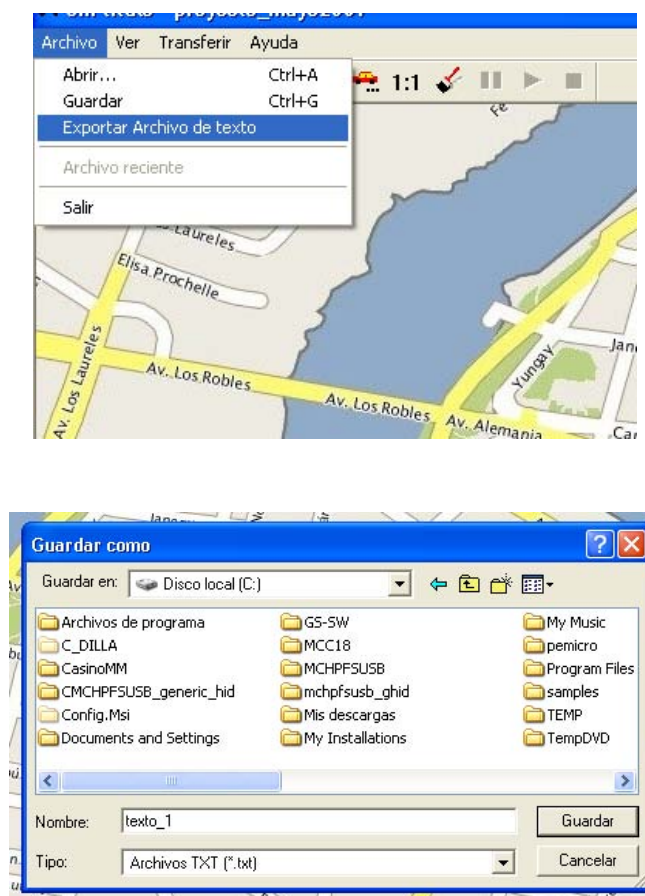
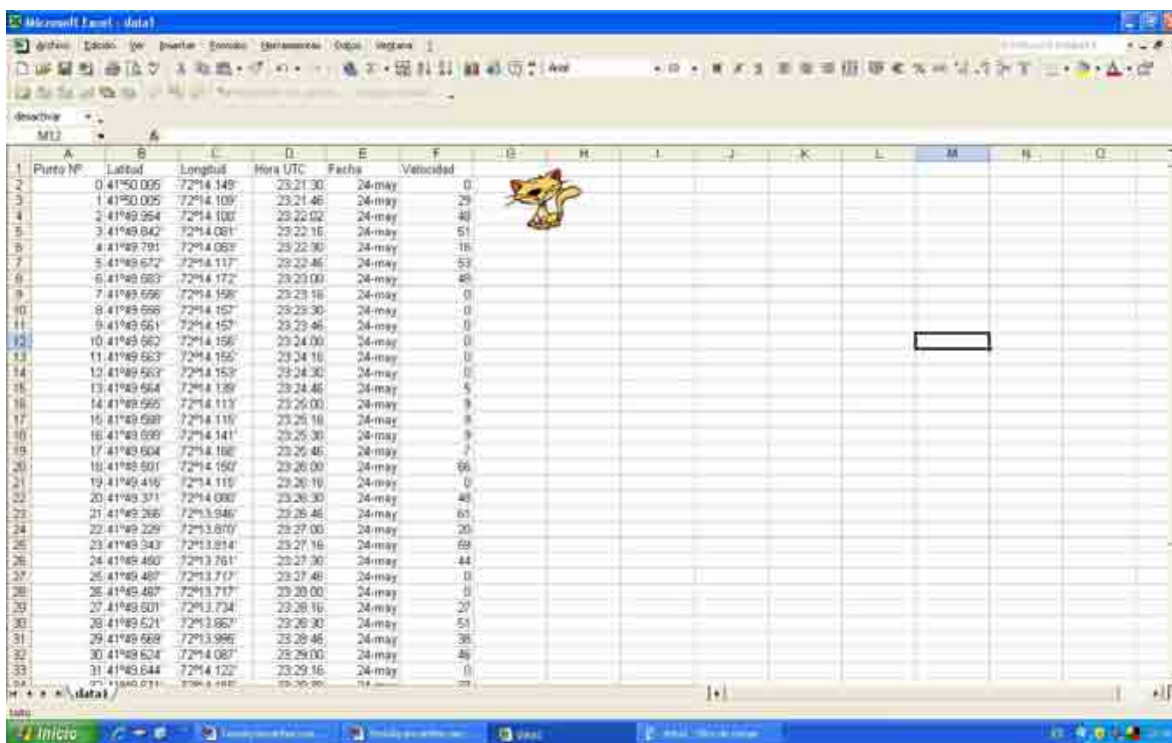


Figura 30: *guardar recorrido.*

El archivo de texto puede visualizarse con el block de notas de la siguiente manera.

texto_1.txt - Bloc de notas						
Archivo Edición Formato Ver Ayuda						
Punto N°	Latitud	Longitud	Hora UTC	Fecha	velocidad	
00000	39°50.005'	73°14.149'	22:21:30	24-05	000	
00001	39°50.005'	73°14.109'	22:21:46	24-05	029	
00002	39°49.954'	73°14.100'	22:22:02	24-05	048	
00003	39°49.842'	73°14.081'	22:22:16	24-05	051	
00004	39°49.791'	73°14.083'	22:22:30	24-05	016	
00005	39°49.672'	73°14.117'	22:22:46	24-05	053	
00006	39°49.583'	73°14.172'	22:23:00	24-05	048	
00007	39°49.556'	73°14.158'	22:23:16	24-05	000	
00008	39°49.558'	73°14.157'	22:23:30	24-05	000	
00009	39°49.561'	73°14.157'	22:23:46	24-05	000	
00010	39°49.562'	73°14.156'	22:24:00	24-05	000	
00011	39°49.563'	73°14.155'	22:24:16	24-05	000	
00012	39°49.563'	73°14.153'	22:24:30	24-05	000	
00013	39°49.564'	73°14.139'	22:24:46	24-05	005	
00014	39°49.565'	73°14.113'	22:25:00	24-05	009	
00015	39°49.588'	73°14.115'	22:25:16	24-05	009	
00016	39°49.599'	73°14.141'	22:25:30	24-05	009	
00017	39°49.604'	73°14.168'	22:25:46	24-05	007	
00018	39°49.501'	73°14.150'	22:26:00	24-05	066	
00019	39°49.416'	73°14.115'	22:26:16	24-05	000	
00020	39°49.371'	73°14.080'	22:26:30	24-05	048	
00021	39°49.266'	73°13.946'	22:26:46	24-05	061	
00022	39°49.229'	73°13.870'	22:27:00	24-05	020	
00023	39°49.343'	73°13.814'	22:27:16	24-05	059	
00024	39°49.450'	73°13.761'	22:27:30	24-05	044	
00025	39°49.487'	73°13.717'	22:27:46	24-05	000	

O también con Excel



Microsoft Excel - data1						
Archivo Edición Formato Herramientas Datos Ventana						
Punto N°	Latitud	Longitud	Hora UTC	Fecha	Velocidad	
1	0.4190.005	72°14.149'	23:21:30	24-may	0	
2	1.4190.005	72°14.109'	23:21:46	24-may	29	
3	2.4190.954	72°14.100'	23:22:02	24-may	40	
4	3.4190.842	72°14.081'	23:22:16	24-may	51	
5	4.4190.791	72°14.083'	23:22:30	24-may	16	
6	5.4190.672	72°14.117'	23:22:46	24-may	53	
7	6.4190.583	72°14.172'	23:23:00	24-may	48	
8	7.4190.556	72°14.158'	23:23:16	24-may	0	
9	8.4190.558	72°14.157'	23:23:30	24-may	0	
10	9.4190.561	72°14.157'	23:23:46	24-may	0	
11	10.4190.562	72°14.156'	23:24:00	24-may	0	
12	11.4190.563	72°14.155'	23:24:16	24-may	0	
13	12.4190.563	72°14.153'	23:24:30	24-may	0	
14	13.4190.564	72°14.139'	23:24:46	24-may	5	
15	14.4190.565	72°14.113'	23:25:00	24-may	9	
16	15.4190.599	72°14.115'	23:25:16	24-may	8	
17	16.4190.604	72°14.141'	23:25:30	24-may	9	
18	17.4190.501	72°14.150'	23:26:00	24-may	66	
19	18.4190.416	72°14.115'	23:26:16	24-may	0	
20	19.4190.371	72°14.080'	23:26:30	24-may	40	
21	20.4190.266	72°13.946'	23:26:46	24-may	61	
22	21.4190.229	72°13.870'	23:27:00	24-may	20	
23	22.4190.343	72°13.814'	23:27:16	24-may	69	
24	23.4190.450	72°13.761'	23:27:30	24-may	44	
25	24.4190.487	72°13.717'	23:27:46	24-may	0	
26	25.4190.000	72°13.717'	23:28:00	24-may	0	
27	26.4190.001	72°13.734'	23:28:16	24-may	27	
28	27.4190.521	72°13.662'	23:28:30	24-may	54	
29	28.4190.669	72°13.996'	23:28:46	24-may	38	
30	29.4190.624	72°14.087'	23:29:00	24-may	46	
31	30.4190.644	72°14.122'	23:29:16	24-may	0	
32	31.4190.011	72°14.142'	23:29:30	24-may	29	

4.12 Resultados

A continuación se presentara fotografías de la unidad terminada y en funcionamiento, además de una demostración en las calles de la ciudad de valdivia acompañados por nuestro profesor patrocinante Sr. Néstor Fierro M.



Figura 31: *Vista general de la unidad*

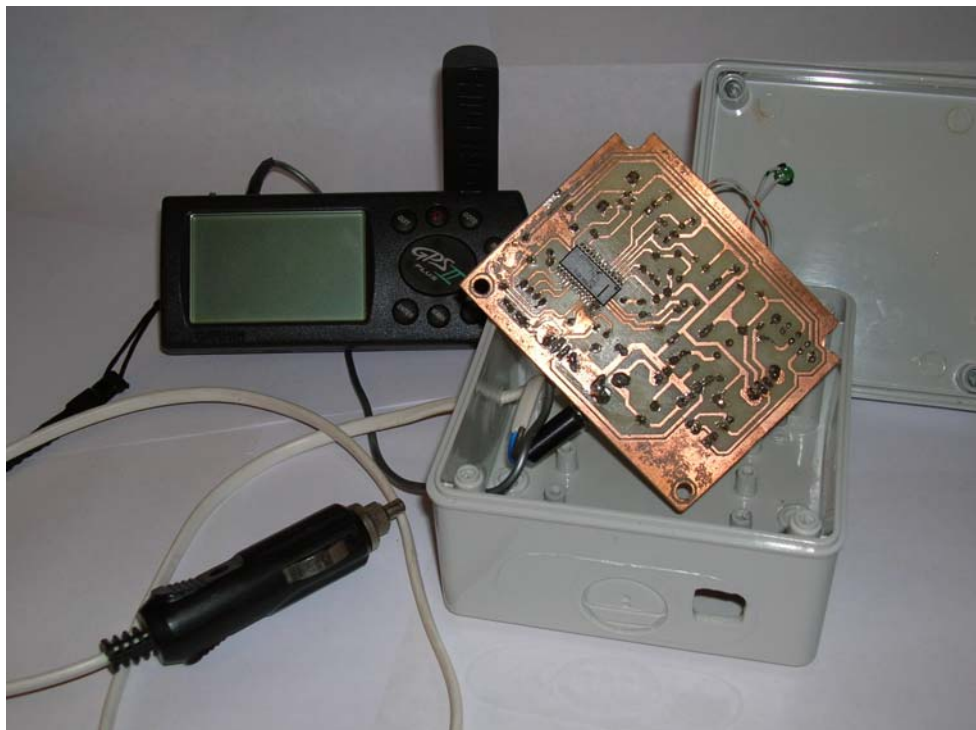


Figura 32: *Vista de la tarjeta*



Figura 33: *Vista interna*



Figura 34: Vista de componentes

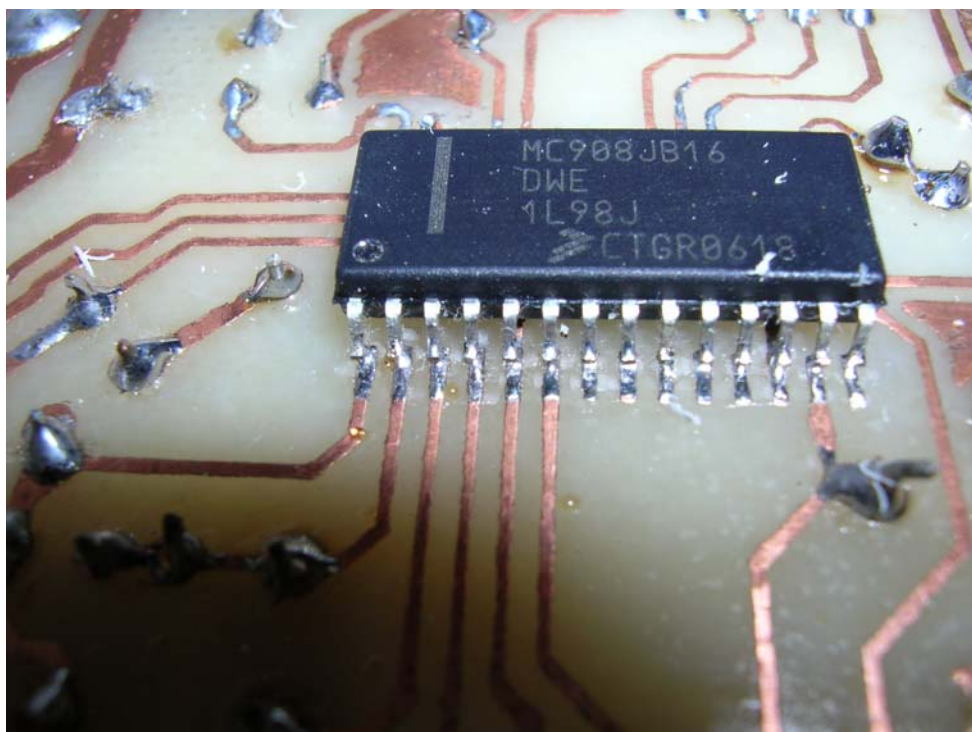


Figura 35: Vista de soldadura SMD.

Como resultado final, se obtuvo el prototipo para la bitácora electrónica, con el cual se realizaron varias pruebas de funcionamiento en la ciudad de Valdivia, una de estas se realizó en compañía del Sr. Néstor Fierro. A continuación desglosaremos algunos de estos recorridos.



Figura 36: *Bitácora electrónica*

En la figura anterior vemos el prototipo funcionando en la capital de la región de los Ríos. Ahora desplegaremos el recorrido realizado.

El recorrido se realizó el jueves 11 de octubre y comprendió las calles Havervek, Santiago Bueras, tomando por Último General Lagos para ingresar finalmente al Campus Miraflores, este recorrido físicamente correspondió al desplazamiento entre el hogar Huacho Copihue y el Instituto de Electricidad y Electrónica. Ahora mostraremos cómo la bitácora electrónica capturó y desplegó gráficamente esta información.

dd - Bloc de notas					
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	
NºPts.	Latitud	Longitud	Hora	Fecha	Velocidad km/Hr
00000	41°50.010'	72°14.152'	22:29:04	11-10	000
00001	41°50.003'	72°14.151'	22:29:14	11-10	001
00002	41°49.993'	72°14.158'	22:29:24	11-10	003
00003	41°49.993'	72°14.158'	22:29:34	11-10	000
00004	41°49.993'	72°14.158'	22:29:44	11-10	000
00005	41°49.993'	72°14.158'	22:29:54	11-10	000
00006	41°49.984'	72°14.172'	22:30:04	11-10	014
00007	41°49.973'	72°14.186'	22:30:14	11-10	009
00008	41°49.974'	72°14.187'	22:30:24	11-10	000
00009	41°49.969'	72°14.198'	22:30:34	11-10	014
00010	41°49.942'	72°14.228'	22:30:44	11-10	024
00011	41°49.910'	72°14.251'	22:30:54	11-10	014
00012	41°49.897'	72°14.264'	22:31:04	11-10	022
00013	41°49.860'	72°14.304'	22:31:14	11-10	037
00014	41°49.820'	72°14.348'	22:31:24	11-10	029
00015	41°49.801'	72°14.401'	22:31:34	11-10	029
00016	41°49.793'	72°14.435'	22:31:44	11-10	000
00017	41°49.793'	72°14.435'	22:31:54	11-10	000
00018	41°49.790'	72°14.451'	22:32:04	11-10	018
00019	41°49.779'	72°14.509'	22:32:14	11-10	037
00020	41°49.761'	72°14.581'	22:32:24	11-10	037
00021	41°49.744'	72°14.655'	22:32:34	11-10	038
00022	41°49.728'	72°14.729'	22:32:44	11-10	037
00023	41°49.713'	72°14.785'	22:32:54	11-10	018
00024	41°49.712'	72°14.792'	22:33:04	11-10	007
00025	41°49.704'	72°14.828'	22:33:14	11-10	024
00026	41°49.688'	72°14.896'	22:33:24	11-10	038
00027	41°49.672'	72°14.961'	22:33:34	11-10	024
00028	41°49.656'	72°15.025'	22:33:44	11-10	029
00029	41°49.656'	72°15.034'	22:33:54	11-10	005
00030	41°49.696'	72°15.040'	22:34:04	11-10	035
00031	41°49.759'	72°15.044'	22:34:14	11-10	042
00032	41°49.826'	72°15.056'	22:34:24	11-10	040
00033	41°49.889'	72°15.065'	22:34:34	11-10	042
00034	41°49.950'	72°15.078'	22:34:44	11-10	038
00035	41°49.982'	72°15.077'	22:34:54	11-10	011
00036	41°49.984'	72°15.064'	22:35:04	11-10	000
00037	41°49.986'	72°15.049'	22:35:14	11-10	012
00038	41°49.996'	72°15.018'	22:35:24	11-10	022
00039	41°50.012'	72°14.959'	22:35:34	11-10	035
00040	41°50.031'	72°14.885'	22:35:44	11-10	040
00041	41°50.035'	72°14.805'	22:35:54	11-10	037
00042	41°50.018'	72°14.775'	22:36:04	11-10	018
00043	41°49.989'	72°14.737'	22:36:14	11-10	031
00044	41°49.955'	72°14.696'	22:36:24	11-10	022
00045	41°49.935'	72°14.658'	22:36:34	11-10	020
00046	41°49.919'	72°14.641'	22:36:44	11-10	012
00047	41°49.925'	72°14.627'	22:36:54	11-10	011
00048	41°49.930'	72°14.630'	22:37:04	11-10	000
00049	41°49.930'	72°14.630'	22:37:14	11-10	000

Figura 37: Datos capturados por bitácora electrónica

La forma mas clara de recibir esta información es la siguiente:

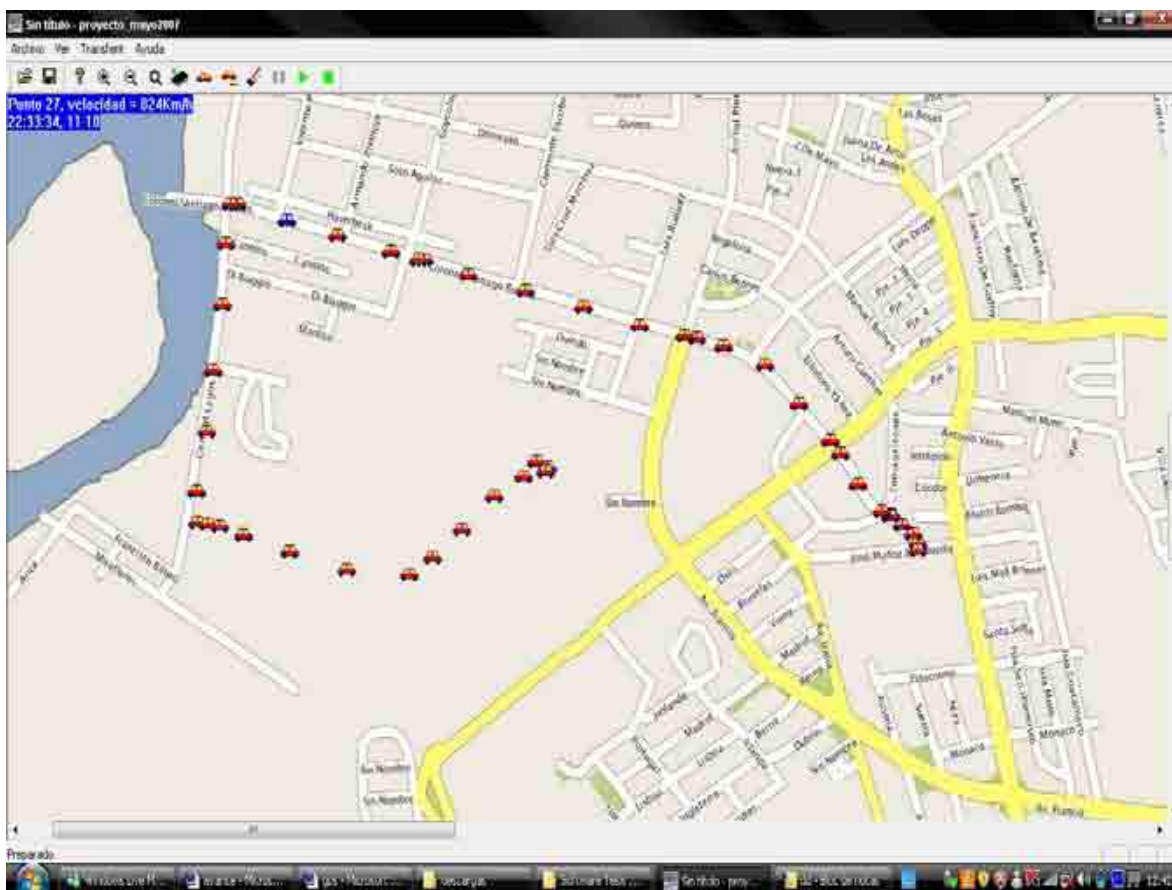


Figura 38: *software registro GPS.*

En la imagen se ve el recorrido descrito anteriormente, todos los datos de posición adquiridos por la bitácora electrónica, son entregados gráficamente mediante el software diseñado especialmente para este propósito.

Ahora entregaremos, el recorrido realizado en el automóvil del Profesor Nestor Fierro. Este comprendió varias calles por el sector regional de Valdivia y comenzó en el instituto de Electricidad y Electrónica siendo en este mismo lugar donde termino el recorrido.

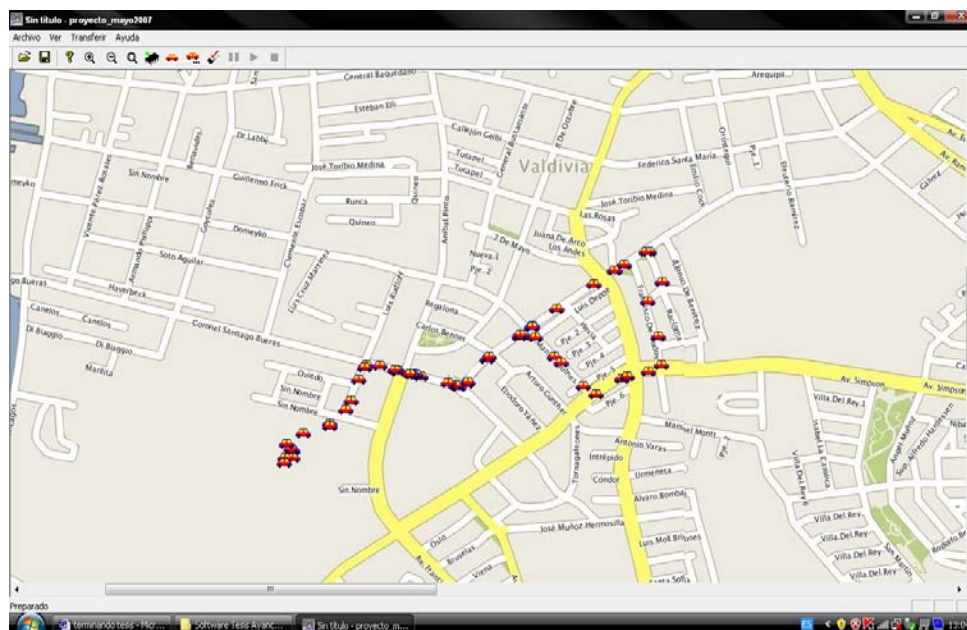


Figura 39: Recorrido 12-10-2007 Sr. Nestor Fierro

4.13 Evaluación financiera del desarrollo y producción de Bitácora Electrónica

En este apartado detallaremos los costos asociados, al desarrollo de la parte práctica de este proyecto, primero analizaremos los costos que fueron absorbidos para el prototipo y en un segundo punto los posibles gastos que se tendrían para una producción más masiva.

4.13.1 Coste de investigación y desarrollo de Bitácora Electrónica

En este punto, entregaremos un detalle de los costos absorbidos en el desarrollo del prototipo, dando valor a las horas de ingeniería, materiales, pruebas, y mano de obra para la producción de los prototipos. Esto se detallara en la siguiente tabla.

Detalle	Valor
Ingeniería	400000 pesos.
Materiales	230000 pesos
Pruebas controladas	120000 pesos
Mano de Obra	80000 pesos
Total	830000 pesos

Lo anteriormente descrito, son los gastos asociados a la creación y producción de dos prototipos de Bitácora Electrónica y un software registro GPS.

4.13.2Coste de producción

Después del desarrollo, la producción resulta más económica, considerando una ganancia de un 50% por cada equipo terminado.

El valor comercial del producto es de alrededor 350000 pesos, lo cual lo hace totalmente competitivo con productos de similares características

CONCLUSIONES.

Al finalizar nuestra investigación sobre dispositivos de posicionamiento nos damos cuenta de que a pesar de que actualmente están apareciendo nuevos sistemas el que sigue dominando el mercado es el sistema GPS, pues entonces habrá que seguir esperando la consolidación de alguno de los nuevos sistemas para disponer de información mas precisa y sin la dependencia de una nación en particular que lo administra.

Respecto de nuestra implementación electrónica, esta nos dejo muy satisfechos por el funcionamiento final obtenido. Nos dimos cuenta de la potencialidad comercial de un producto enteramente desarrollado por nosotros y del nivel competitivo alcanzado por este en relación a similares dispositivos disponibles en el mercado. Con lo anterior se abre la puerta para futuros proyectos que el mercado demande y de esta manera contribuir al desarrollo tecnológico del país.

Como conclusión final aprendimos a enfrentar un desafío que empezó con solo una idea y que poco a poco fue tomando forma al aplicar una metodología de trabajo y desarrollo. Esto para nosotros es la mayor enseñanza obtenida al finalizar nuestra tesis ya que mayor a cualquier conocimiento técnico que podamos adquirir, esto nos cambia la forma y la mentalidad con que vamos a enfrentar la vida en adelante.

- "Usb Complete 2ª edition", Jan Axelson.
- MC68HC908JB16 Technical Data, de www.freescale.com.
- MSDN, Documentación Microsoft Visual C++, de www.msdn.com.
- Librería de libre distribución "ImageStone", de www.codeproject.com
- www.garmin.com/
- en.wikipedia.org/wiki/GPS
- www.trimble.com/
- www.gps.gov
- www.af.mil
- www.space.com
- www.glonass-center.ru
- www.spaceandtech.com
- www.glonass-ianc.rsa.ru/
- www.cartesia.org
- www.slideshare.net
- www.equilibri.net
- www.locationcontrol.net
- www.speedcomm.es