

Sistema de Posicionamiento Vehicular respaldado por Sensores Inerciales

A. Bahos, R. Molano, V. F. Miram, C. Hernandez

abaos@unicauca.edu.co, rmolanoc@unicauca.edu.co, vmirama@unicauca.edu.co, claudiah@unicauca.edu.co

Facultad de Ingeniería Electronica y Telecomunicaciones
Universidad del Cauca
Popayán, Colombia

Resumen: En este artículo se presenta el proceso de desarrollo de un prototipo de un sistema de posicionamiento vehicular, el cual utiliza sensores inerciales para calcular coordenadas geográficas a partir de datos suministrados por un Sistema de posicionamiento Global (GPS), en ubicaciones donde la conexión con el GPS no es posible. El sistema de respaldo está constituido por una unidad microcontroladora, un giroscopio y un odómetro electrónico, instalados junto al sistema principal de posicionamiento constituido por el receptor GPS, para la comunicación se define una trama de posicionamiento, similar a la proporcionada por el GPS en situaciones donde no se cuenta con línea de vista hacia los satélites. Se muestra el soporte teórico correspondiente a los modelos matemáticos utilizados para describir un movimiento sobre la superficie de la tierra, posteriormente se presenta el diseno modular del sistema y se describen las características generales de los elementos disenados, así como el proceso geométrico que realiza la unidad microcontroladora para determinar una coordenada geográfica. Se demuestra que el uso de sensores inerciales en un sistema de monitoreo vehicular constituye un avance significativo en el problema de rastreo satelital cuando este no es capaz de trabajar correctamente, siempre y cuando está limitado a cortas distancias de seguimiento.

Palabras clave: sistema de monitoreo vehicular, unidad microcontroladora, giroscopio, odómetro, GPS.

Abstract: This article describes the development of a vehicle positioning system prototype, it uses inertial sensors to calculate geographic coordinates from data supplied by a Global Positioning System (GPS) in locations where the GPS connection is not possible. The backup system is constituted by a microcontroller unit, a gyroscope and an electronic odometer, they are installed along the main positioning system, this consists of the GPS receiver, a positioning frame was defined for communicating, it is similar to the frame provided by the GPS in situations where it do not have line of sight to the satellites. The corresponding theoretical support to the mathematical models used to describe a movement on the surface of the earth is shown. Subsequently, the modular system design, the general characteristics of the design elements, and the geometric process carried out by the microcontroller unit to determine a geographic coordinate are presented. The results show that the use of inertial sensors in a vehicle monitoring system is a significant advance in the satellite tracking problem when this is not able to work properly, although this is limited by short distances tracking.

Keywords: vehicle monitoring system, microcontroller unit, gyroscope, odometer, GPS.

1 Introducción

La mayora de los sistemas de posicionamiento vehicular existentes, hacen uso de los Sistemas Globales de Navegación Satelitales como el GPS (*Global Position System*) para determinar su ubicación geográfica. Los dispositivos existentes basados en GPS no permiten realizar un monitoreo constante, debido a la necesidad de conexión permanente con los satélites, que se puede ver afectada por la falta de línea de vista con los mismos [1], debido a condiciones atmosféricas, túneles o grandes edificaciones, este factor genera pérdida de información e incertidumbre respecto a la posición del vehículo; por lo que implementar un sistema de respaldo al GPS es importante y para ciertos sectores de la sociedad es imprescindible.

Debido a esta necesidad se genera una solución práctica para proporcionar respaldo al sistema GPS, construyendo un dispositivo basado en sensores inerciales que permita mantener un seguimiento adecuado de vehículos en tiempo real, y sea empleado en un Sistema de Monitoreo Vehicular. Para el desarrollo de este proyecto se utiliza un enfoque sistemático y secuencial, el cual contempla varias fases: se inicia con un marco teórico, en donde se describen algunas tecnologías que soportan sistemas de este tipo y la base científica y conceptual; posteriormente

se plantea un diseno general del SMV, la experimentación y pruebas del sistema. Teniendo en cuenta la metodología el artículo sigue la siguiente estructura: En la sección 2 se presentan los conceptos teóricos necesarios para abordar el proyecto, en la sección 3 se describe el diseno del SMV y los dispositivos construidos. Posteriormente en la sección 4 se describe el proceso de validación y pruebas para finalmente presentar las conclusiones del trabajo en la sección 5.

2 Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Aunque los Servicios Basados en Localización (LBS, *Location-based Services*) se han implementado y utilizado, y son parte integral en el campo de las comunicaciones móviles hace ya varios años, no existe hasta el momento una definición o terminología diferenciada para ellos, esto se evidencia cuando, por ejemplo, los términos LBS, Servicios de Reconocimiento de Ubicación (LAS, *Location-awareness Service*), Servicios de Localización Relacionados (LRS, *Location-related service*) y Servicios Ubicación (LCS, *LoCation Services*) a menudo se utilizan indistintamente. Una razón para este dilema es el hecho de que todas estas se basen en tecnologías afines o que las características y apariencias de tales servicios han sido determinadas por

las diferentes comunidades, en especial el sector de las telecomunicaciones y el área de la computación ubicua [1].

Entre las varias definiciones usadas por los diferentes organismos y asociaciones de regulación, normalización o destinadas a proporcionar especificaciones en el sector de las telecomunicaciones, se pueden destacar algunas: el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP, *3rd Generation Partnership Project*) define a los LBS como “un servicio que utiliza la información de ubicación disponible en un terminal para determinar la georreferenciación de un usuario determinado (persona u objetos)” [2]; Kirsi Virrantaus los define “como los servicios que utilizan la capacidad de determinar dinámicamente y transmitir la ubicación de personas dentro de una red móvil por medio de sus terminales” [3]. Así, en el contexto de dichas definiciones, los LBS reflejan la convergencia de tres importantes tecnologías: las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (NTIC, *New Information and Communication Technologies*) como los sistemas de telecomunicaciones móviles y los dispositivos móviles; Internet y los Sistemas de Información Geográfica (GIS, *Geographic Information System*) con bases de datos espaciales [4].

Si bien la asociación 3GPP distingue estrictamente entre los LBS y los Servicios de Ubicación, estos últimos se refieren exclusivamente a la localización de personas y objetos y a la elaboración de datos de localización para la disposición de terceros. Un Servicio de Ubicación no se preocupa por el tratamiento de datos de localización, en el sentido de la filtración o la selección de la información de lo que se ubica o por realizar otras medidas de mayor complejidad (como si lo hacen los LBS); sólo es responsable de la generación y la entrega de los datos de localización. Sin embargo, con esta función, los servicios de ubicación contribuyen esencialmente a la operación de LBS y pueden considerarse como un subservicio importante de ellos [2]. Para evitar ambigüedad y para efectos de ilustración en el presente documento, se tendrá como una definición de LBS al conjunto de aplicaciones que incorporan a la información de posición y ubicación geoespacial otros datos relativos al entorno, con el fin de proporcionar un servicio de valor añadido al usuario; dichos servicios nacen de la convergencia de Internet, las comunicaciones inalámbricas y las tecnologías de posicionamiento, los cuales tienen entera relación con tecnologías y sistemas en continuo desarrollo [5].

2.2. Sensores Inerciales

La necesidad de estudiar, medir, predecir y gobernar cualquier tipo de movimiento ha permitido que se desarrollen nuevos y mejores dispositivos tecnológicos en el área de la electrónica. Aceleración, vibración, golpe (choque, shock), velocidad, inclinación y rotación son movimientos fundamentales que los sistemas electrónicos modernos buscan detectar y medir en todo momento para tener un control pleno sobre el objeto que desea gobernar o interpretar; no obstante, realmente todos son manifestaciones diferentes de una aceleración durante períodos de tiempo distintos. En este artículo se describen dos tecnologías que permiten medir de manera muy

aproximada ciertos tipos de aceleraciones y movimientos, el giroscopio y el odómetro electrónico.

2.2.1. Giroscopio

Un giroscopio mide la velocidad angular, transformando las fuerzas generadas por un movimiento angular en una señal eléctrica proporcional a ella. Muchos basan su funcionamiento en el principio del giroscopio resonador o de estructura vibrante como se muestra en la Figura 1, este emplea el efecto Coriolis que aparece cuando a las masas del giroscopio que se encuentran en movimiento constante se les aplica un movimiento angular, por lo que se le conoce como giroscopio de vibración de Coriolis. Esta variación es cuantificada por una capacitancia y procesada para generar una salida eléctrica que puede ser interpretada en unidades de $^{\circ}/s$.

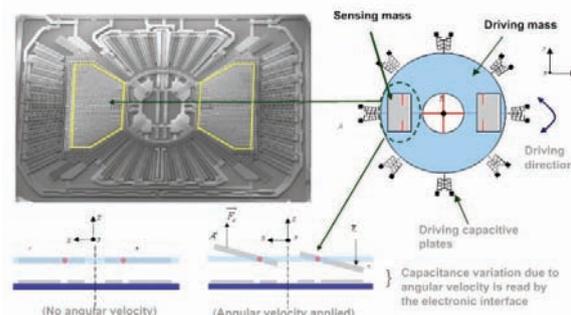


Figura 1: Funcionamiento interno del giroscopio. Tomado de [6]

Los ejes de rotación de un giroscopio se han determinado de acuerdo a la navegación aeronáutica, los ángulos de giro determinan la terna: guiñada (yaw), de cabeceo (pitch) y de alabeo (roll), según el giro sea sobre el eje Z, el Y o el X respectivamente.

2.2.2. Odómetro Electrónico

Un Odómetro es un dispositivo que permite calcular la distancia recorrida entre dos puntos haciendo uso de una rueda que gira sobre la superficie que se desea medir, tal distancia se obtiene como el producto de la cantidad de vueltas que da la rueda y el perímetro de la misma.

Históricamente los odómetros utilizados han sido de tipo mecánico con elaborados sistemas de engranajes; con el apoyo de la electrónica se han desarrollado en la actualidad novedosos dispositivos, que permiten contar las vueltas de la rueda haciendo uso de sensores electrónicos para obtener la información de manera digital, ejemplos de esta clase son los que se instalan en las ruedas de las bicicletas cuyos sensores son de tipo magnético, tal y como se observa en la Figura 2.



Figura 2: Odómetro electrónico de bicicleta.

2.3. Sistemas de Referencia Geodésicos

Entre los sistemas de referencia geodésicos más empleados en el mundo, se encuentran:

- ITRS (*International Terrestrial Reference System*). El Sistema de Referencia Terrestre Internacional es el sistema más preciso; definido por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS, *International Earth Rotation Service*).
- ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*). Sistema de Referencia Terrestre Europeo de 1989, está basado en el ITRS.
- WGS84 (*World Geodetic System 1984*). Sistema Geodésico Mundial de 1984

WGS84. Es un sistema de referencia global empleado para definir las órbitas radiotransmitidas por los satélites GPS creados por la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DMA, *Defense Mapping Agency*). WGS84 constituye un Sistema Geocéntrico Fijado a la Tierra (ECEF, *Earth-Centered, Earth-Fixed*) elipsoidal y un modelo gravitacional [7].

El WGS84 mostrado en la Figura 3 se define como [8]:

- Origen coincidente con el geocentro, incluyendo océanos y atmósfera (error $\pm 2\text{m}$).
- Eje Z en la dirección del Polo Convencional Terrestre (CTP, *Conventional Terrestrial Pole*), según la definición de la Oficina Internacional de la Hora (BIH, *Bureau International de l'Heure*) para 1984.
- El eje X es la intersección del plano meridiano Greenwich definido por el BIH para 1984 y el plano del ecuador referido al CTP.
- Eje Y perpendicular a los anteriores ejes formando una terna dextrógira.

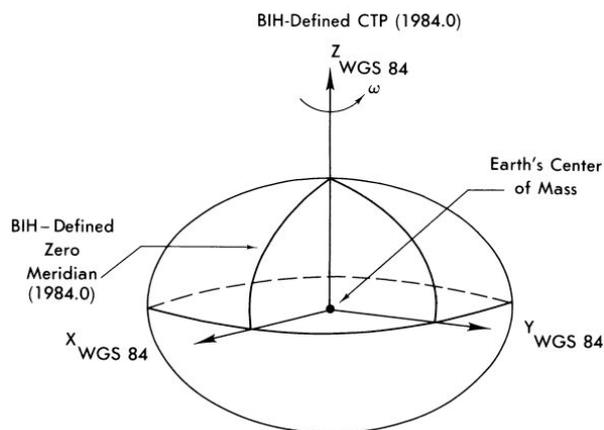


Figura 3: Definición del WGS84 del DoD. Tomado de [8].

Los parámetros del elipsoide de revolución asociada al sistema son:

- Semieje mayor (a) = 6'378.137m
- Semieje menor (b) = 6'356.752,3172m
- Achatamiento (f) = 1/298,257223563

- Constante de gravitación terrestre (GM) = $3,986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$
- Velocidad angular (ω) = $7,29211 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$.

2.4. Microcontroladores

Los microcontroladores son computadores digitales integrados en un chip que cuentan con una unidad de procesamiento central, una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puertos de entrada/salida. A diferencia de los microprocesadores de propósito general, como los que se usan en los computadores, los microcontroladores son unidades autosuficientes y económicas. El funcionamiento de los microcontroladores está determinado por el programa almacenado en su memoria, este puede escribirse en distintos lenguajes de programación (BASIC, C Ensamblador o assembler), los microcontroladores actuales poseen la ventaja de reprogramarse repetidas veces [9]. En el comercio existen una amplia gama de familias de los microcontroladores que depende del fabricante, las características de operación y utilidad; entre las más destacadas se encuentran: Atmel (AVR), Freescale (antes Motorola), Hitachi. LTD., Intel, National Semiconductor, Microchip, NEC, Parallax y Texas Instruments.

3 Diseño

A continuación se describe el proceso de diseño del Sistema de Monitoreo Vehicular.

3.1. Requerimientos del sistema

Se plantea la necesidad de diseñar y desarrollar un Sistema de Monitoreo Vehicular que integre sensores inerciales, GPS, una interfaz de usuario con un sistema de información geográfica y la red GSM/GPRS para monitoreo y rastreo de un vehículo de tal forma que el usuario tenga acceso visual de manera continua a la ubicación de este en un mapa geográfico virtual y en cualquier lugar donde se tenga acceso a Internet. El sistema debe suministrar información de ubicación del vehículo aún en los lugares donde se haya perdido la línea de vista del GPS con los satélites.

Para tal evento se determinan los siguientes requerimientos:

Requerimientos técnicos: El sistema debe construirse en forma modular, contar con un dispositivo receptor de señales satelitales GPS que suministre las coordenadas de ubicación, con los márgenes de error aceptados internacionalmente para dispositivos de uso civil; contar con sensores inerciales que tengan la capacidad de medir las distancias y las direcciones de giro en el momento en que el módulo GPS pierda la línea de vista con los satélites tomando como referencia la última posición de éste, tales mediciones permitirán tener una aproximación real de la nueva posición del vehículo; tener un módulo GSM/GPRS para enviar la información (de forma periódica o por solicitud del usuario) a una base de datos geográfica utilizando el protocolo TCP/IP. Dicha información es usada por un sistema de información geográfica, para indicar un punto de ubicación o

trayectoria de recorrido dentro de un mapa geográfico para el usuario.

Requerimientos de usuario: El sistema debe permitir al usuario monitorear y visualizar desde cualquier dispositivo con acceso a Internet la ubicación o el recorrido del vehículo en un mapa, ya sea éste de tipo urbano o geográfico. El usuario no necesariamente está cerca al vehículo.

3.2. Diseño Modular del Sistema

De acuerdo a los requerimientos especificados en la fase anterior para el diseño y desarrollo del SMV, se considera que éste debe contar con los siguientes módulos:

- Módulo receptor GPS.
- Módulo transmisor GSM/GPRS.
- Módulo de sensores inerciales (giroscopio y odómetro).
- Módulos de procesamiento de datos.
- Módulo de bases de datos.
- Módulo interfaz de usuario.

La Figura 4 muestra el diseño en diagrama de bloques para el SMV según los requerimientos planteados.

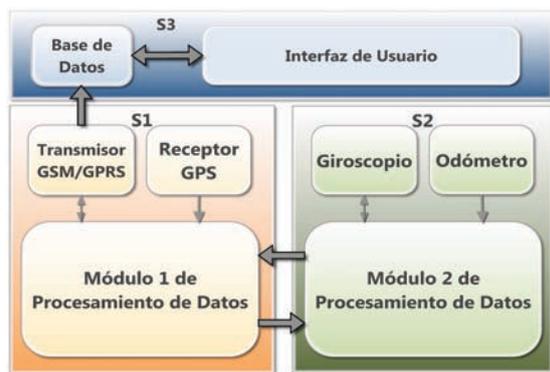


Figura 4: Módulos del SMV.

Los módulos que conforman el SMV pueden ser agrupados en tres subsistemas independientes; el subsistema S1 determina la posición y la velocidad del vehículo mediante el módulo GPS, procesa y transmite los datos al subsistema S3 a través de una red WWAN; el subsistema S2 hace las veces de soporte y respaldo en caso de que el módulo GPS deje de funcionar, para ello se usan tecnologías totalmente diferentes e independientes a ese módulo. Finalmente el subsistema S3 es donde se almacenan de manera definitiva los datos de posición y velocidad del vehículo, y permite mostrar los servicios al usuario final.

3.3. Odómetro Electrónico

El Odómetro Electrónico como sensor inercial del sistema permitirá medir la distancia recorrida por el vehículo una vez el módulo GPS haya perdido la conexión con el sistema satelital, así se complementarán para tener información constante de la posición del vehículo; para ello el dispositivo de odometría medirá las revoluciones de una de sus ruedas que se relacionan con su perímetro, y

de esta manera se obtendrá la distancia recorrida. Ya que no fue posible encontrar en el mercado un dispositivo electrónico de odometría con las características requeridas para el diseño del trabajo, fue necesario diseñar, programar, implementar y probar este dispositivo; para ello se consideraron los siguientes requerimientos:

- Medir de manera precisa cada vuelta dada por la rueda.
- Tener la capacidad de medir revoluciones de hasta 840 RPM [velocidad vehicular de 100 km/h, para vehículos con ruedas de 13' (≈ 33 cm) de radio].
- Tener la capacidad de medir la velocidad instantánea por cada vuelta dada.
- Enviar los datos de distancia recorrida en metros y de velocidad en Km/h. Para lograr dichos requerimientos se diseñó el Odómetro Electrónico mostrado en el diagrama de bloques de la Figura 5.



Figura 5: Diseño del Odómetro Electrónico.

El diseño del odómetro se realizó para determinar la distancia recorrida por un objeto y la velocidad a la cual lo hace. Para tal fin se utilizó un sensor de efecto Hall, cuyo propósito es detectar el paso de un campo magnético y generar un nivel de voltaje proporcional al mismo. Este nivel de voltaje es comparado con un nivel de referencia cercano a los 2.5V (para valores de entrada de 5V), ya que el sensor en estado de reposo toma este valor, tal como se muestra en la Figura 6, por lo tanto cualquier perturbación ocasiona que éste nivel de voltaje varíe dependiendo del campo que detecte, aumenta su valor si detecta un sur magnético o lo disminuye si por el contrario detecta un norte.

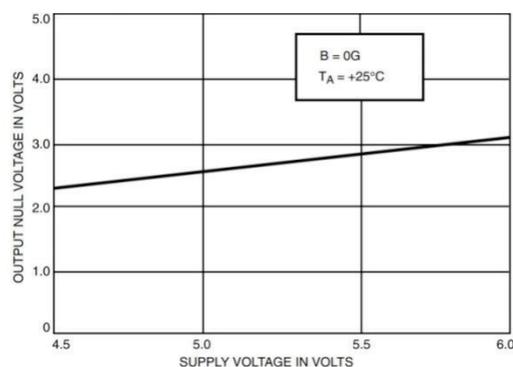


Figura 6: Nivel de voltaje de salida en función de voltaje de alimentación sin campo magnético del sensor de efecto Hall. Tomado de [10].

El comparador hace parte de la circuitería interna de un MCU de 8 bits, encargado de detectar la diferencia de voltajes y generar una interrupción. El salto de esta interrupción es aprovechado para inicializar un contador interno que permite determinar el tiempo hasta que ocurra una nueva interrupción, de ésta forma se logra calcular el tiempo de giro de la rueda.

El cálculo de la distancia se realiza de forma sencilla, solo basta con incrementar una variable con el valor del perímetro de la rueda por cada interrupción que se perciba. Es necesario aclarar que ésta variable se inicializa con cada activación del odómetro. El envío de información se realiza por medio del protocolo de comunicación serie RS232 a una velocidad de 19.200 bps, esta velocidad es establecida de acuerdo con la frecuencia del reloj con la que trabaja el MCU y con el mínimo factor de error que ésta presente.

Al emplear una frecuencia de reloj de 4Mhz se tiene un tiempo de instrucción de 1µs tal como se observa en la ecuación 1, por lo tanto cada proceso será múltiplo de cada instrucción.

$$T_{inst} = \frac{4}{4Mhz} = 1\mu s \quad (1)$$

3.4. Unidad Microcontroladora

En este módulo se efectúa el cálculo de la velocidad del móvil, para ello debe recibir la información del tiempo que tarda en hacer cada giro, de esa manera se tiene que $v = d / t$, en este caso $d = 1,945m$ es siempre constante ya que es el perímetro de la rueda, así se tiene que:

$$v = \frac{1,945m}{t} \quad (2)$$

En la Figura 7, se muestra el diagrama de flujo de esta unidad.

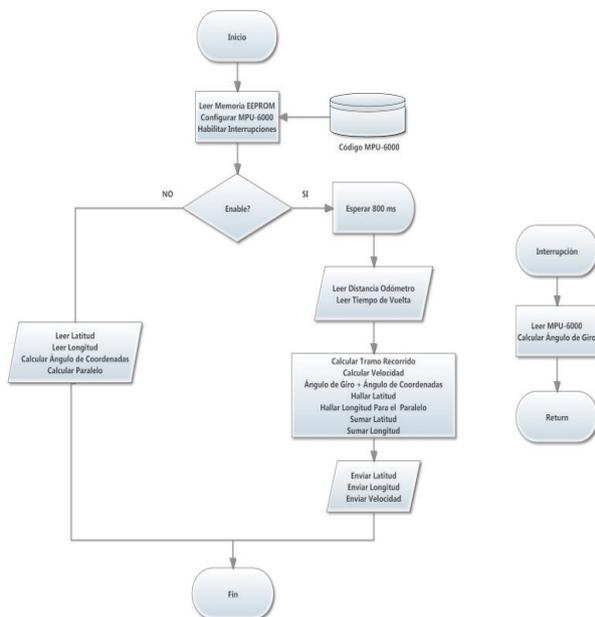


Figura 7: Diagrama de flujo de datos del microcontrolador.

Inicialmente se configura el sentido de giro del giroscopio, dextrógiro o levógiro, y también los valores de offset de calibración. Se habilitan las interrupciones en espera de un ángulo, son necesarios por lo menos 2 datos de latitud y longitud, para calcular un ángulo de coordenadas que indique la dirección del movimiento sobre el globo terráqueo, éste ángulo junto con el último dato de latitud y longitud serán el punto de partida para realizar la conversión de movimiento a coordenadas geográficas, en la Figura 8 se aprecia éste proceso.

Los puntos P1 y P2 son datos válidos de latitud y longitud geográficas del GPS, el punto P3 corresponde a un punto calculado por los sensores. Inicialmente se calcula el ángulo 'A' que forman los puntos P1 y P2 con respecto al paralelo o línea de longitud geodésica, internamente a éste ángulo se le incrementa el obtenido por el giroscopio 'C' y se activa el odómetro para que calcule la distancia a partir del último punto, si la siguiente coordenada que llega desde el GPS no es válida entonces se toma la distancia calculada por el odómetro y se descompone en sus componentes E y N, éstos 'Trozos' de latitud y longitud geográficas se suman al último punto calculado.

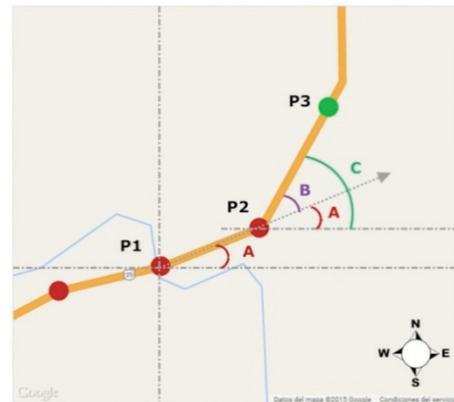


Figura 8: Transición del GPS a Sensores Inerciales. Adaptada de Google Maps.

Los sensores inerciales siempre están trabajando a la par del GPS.

Para la conversión de distancia a latitud geográfica se utiliza el meridiano de la tierra que corresponde a 39°0940.652; 76m aproximadamente, calculado según los parámetros de la elipsoide de revolución del sistema de referencia global WGS84, éste número divide a 360 que serían los grados de la circunferencia del meridiano, lo cual genera $8,98 \times 10^{-6}$ grados/m; éste valor es multiplicado por la distancia que se calcula sobre el eje coordenado N.

Para calcular la longitud geográfica, primero se calcula la línea del paralelo sobre el cual se encuentra el vehículo, para este cálculo se emplea el coseno de la latitud geográfica multiplicado por la circunferencia del ecuador, equivalente a 40'007.501,6m aproximadamente, tal como se observa en la Figura 9 y dividido entre 360°. Éste número se multiplica por la distancia que se calcula sobre el eje coordenado E, éste cálculo se realiza ya que la línea de los paralelos de la tierra disminuyen su longitud a medida que se acercan a los polos. En la siguiente figura se analiza la transformación del vector posición a coordenadas geográficas en una medición hecha por el odómetro en el sistema de coordenadas NED.

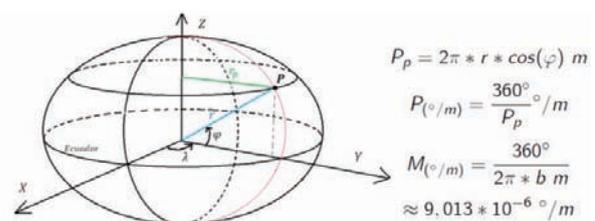


Figura 9: Obtención del paralelo y el meridiano de posición.

En la Figura 10, se muestran los puntos de coordenadas E3 y N3 que se logran calcular aplicando funciones trigonométricas de las ecuaciones 3 y 4 respectivamente..

$$E = \overline{P_2P_3} * \text{Cos}(C) * (\text{Paralelo } ^\circ/m) \quad (3)$$

$$N = \overline{P_2P_3} * \text{Sen}(C) * (8,98 * 10^{-6} \text{ } ^\circ/m) \quad (4)$$

Dónde:

$\overline{P_2P_3}$: es la distancia en metros calculada por el odómetro.

C: el ángulo medido por el giroscopio.

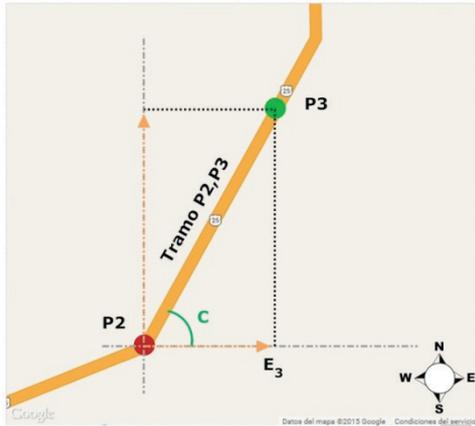


Figura 10: Descomposición del Vector de Movimiento en el plano de coordenadas NED. Adaptada de Google Maps.

3.5. Validación

Para el proceso de validación se instaló el dispositivo en un vehículo, específicamente sobre la mordaza del freno delantero del vehículo, en la parte interna de la rueda se fijó un elemento magnético a una distancia de 3mm del sensor Hall, como lo muestra la Figura 11.



Figura 11: Instalación del dispositivo.

La verificación de las distancias y los valores de coordenadas calculadas se hizo por comparación de estas magnitudes con las de Google Earth, debido a que es una herramienta libre con alta robustez y fiabilidad. El margen de error de las distancias y las coordenadas suministradas por este Subsistema y las establecidas en Google Earth siempre estuvo por debajo de los 6m para distancias inferiores a los 4.000m.

La Figura 12 muestra un ejemplo de las pruebas realizadas, en las que se introdujeron los valores de latitud y longitud calculadas por los dispositivos mencionados, a

una marca de Google Earth y se midió la distancia desde el punto de intersección entre el ecuador y el meridiano cero.

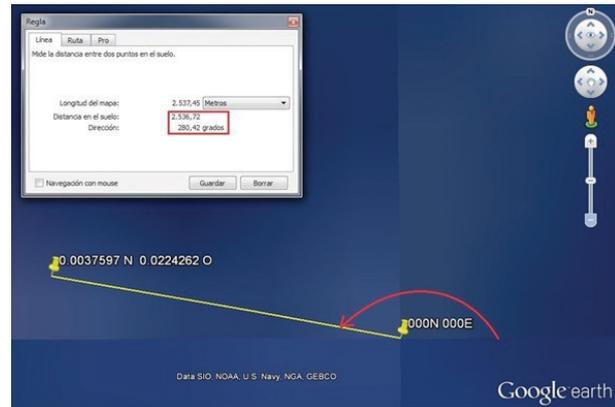


Figura 12: Coordenadas, distancia y ángulo medidos en Google Earth.

Para este caso, se apuntó el dispositivo en la dirección 170, 4682° medido desde el eje E y se hicieron mediciones en ese sentido, partiendo desde un origen de coordenadas (0N; 0E); los datos calculados por los dispositivos se muestran en la Figura 13; la primera columna muestra los datos de latitud, la segunda, la distancia recorrida, la tercera los valores de longitud geográfica y la cuarta el ángulo medido desde el eje E.

PIC2	0.0022725	1534.5943	-0.0135524	170.4682
PIC2	0.0023187	1565.7135	-0.0138286	170.4682
PIC2	0.0023650	1596.8325	-0.0141048	170.4682
PIC2	0.0024113	1627.9518	-0.0143810	170.4682
PIC2	0.0024576	1659.0710	-0.0146573	170.4682
PIC2	0.0025039	1690.1900	-0.0149335	170.4682
PIC2	0.0025473	1719.3642	-0.0151924	170.4682
PIC2	0.0025849	1744.6486	-0.0154169	170.4682
PIC2	0.0026312	1775.7676	-0.0156931	170.4682
PIC2	0.0026573	1793.2720	-0.0158485	170.4682
PIC2	0.0026920	1816.6116	-0.0160556	170.4682
PIC2	0.0027383	1847.7306	-0.0163318	170.4682
PIC2	0.0027846	1878.8498	-0.0166081	170.4682
PIC2	0.0028280	1908.0242	-0.0168670	170.4682
PIC2	0.0028743	1939.1432	-0.0171432	170.4682
PIC2	0.0029206	1970.2624	-0.0174194	170.4682
PIC2	0.0029669	2001.3814	-0.0176957	170.4682
PIC2	0.0030132	2032.5006	-0.0179719	170.4682
PIC2	0.0030595	2063.6208	-0.0182481	170.4682
PIC2	0.0031058	2094.7418	-0.0185244	170.4682
PIC2	0.0031521	2125.8630	-0.0188006	170.4682
PIC2	0.0031984	2156.9840	-0.0190768	170.4682
PIC2	0.0032447	2188.1052	-0.0193531	170.4682
PIC2	0.0032881	2217.2810	-0.0196120	170.4682
PIC2	0.0033315	2246.4570	-0.0198710	170.4682
PIC2	0.0033720	2273.6882	-0.0201127	170.4682
PIC2	0.0034154	2302.8640	-0.0203717	170.4682
PIC2	0.0034617	2333.9852	-0.0206479	170.4682
PIC2	0.0035080	2365.1062	-0.0209242	170.4682
PIC2	0.0035543	2396.2272	-0.0212004	170.4682
PIC2	0.0036006	2427.3486	-0.0214766	170.4682
PIC2	0.0036440	2456.5246	-0.0217356	170.4682
PIC2	0.0036816	2481.8102	-0.0219601	170.4682
PIC2	0.0037250	2510.9866	-0.0222190	170.4682
PIC2	0.0037597	2534.3272	-0.0224262	170.4682

Figura 13: Coordenadas, distancia y ángulos en el eje E y N.

Se puede apreciar el funcionamiento de los dispositivos al trazar el recorrido del vehículo empleando los mapas de Google Maps tal y como se aprecia en la Figura 14; se denotan los dos puntos iniciales (enviados por el GPS) a partir de los cuales los dispositivos calculan los siguientes. El recorrido completo demarca una manzana de un barrio de la ciudad de Popayán; los errores mostrados con respecto a las calles se deben a la deriva del giroscopio.

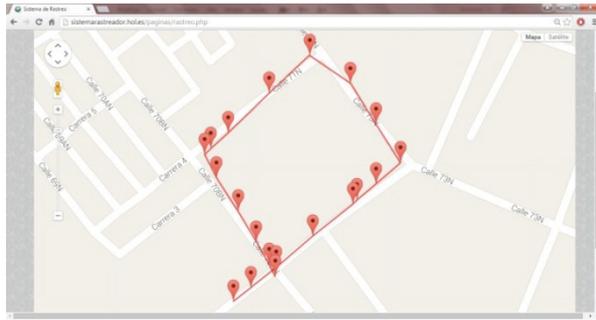


Figura 14: Visualización de las coordenadas en Google Earth.

4. Conclusiones

La integración de la tecnología de los sensores inerciales con la del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), permite un avance significativo en el problema de rastreo satelital cuando éstos fallan o no tienen suficiente cobertura en una determinada región.

Es posible diseñar y desarrollar un LBS para vehículos a pequeña escala, de gran cobertura geográfica, de manera económica y con altos niveles de precisión integrando tecnología de sensores inerciales, microcontroladores y de software.

Dispositivos electrónicos como el odómetro, acelerómetro y giroscopio, que permiten la medición de distancia y movimiento, pueden ser fácilmente adaptados y configurados para determinar la posición geográfica en algún sistema de referencia.

Sensores inerciales como acelerómetros y giroscopios no pueden ser utilizados para mediciones confiables de largas distancias sin un sistema de respaldo, debido a la generación de errores que se acumulan conforme aumenta el tiempo.

La tecnología de sensores de efecto Hall y de microcontroladores proporciona buenos elementos que permiten el diseño y fabricación de odómetros de gran precisión, reducido tamaño, bajo costo y digitalización de la información.

Agradecimientos

A la Universidad del Cauca, por brindar el soporte para el desarrollo de este trabajo, específicamente al Grupo de Radio e Inalámbricas de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Un agradecimiento

especial al ingeniero Víctor Manuel Quintero Flórez por su paciencia, tiempo y dedicación.

Referencias bibliográficas

- [1] Küpper, "Location-based services: fundamentals and operation". John Wiley & Sons, 2005.
- [2] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Network architecture, ETSI Standard TS 123 271, 2004.
- [3] K. Virrantaus et al, "Developing GIS-supported location-based services," in Web Information Systems Engineering, 2001. Proceedings of the Second International Conference on, vol. 2, pp. 66–75, 2001.
- [4] S. Steiniger, "Foundations of location based services lesson 1cartouche 1- lecture notes on lbs, v. 1.0."
- [5] J. Corredera and U. P. de Madrid. Consejo social, "TSSI: tecnologías y servicios para la sociedad de la información". Consejo Social, Universidad Politécnica de Madrid, 2005.
- [6] R. Colin Johnson, "Gyroscopes adding up to next commodity MEMS," 2010. [Online]. Available: <http://www.memsjournal.com/2010/08/gyroscopes-adding-up-to-next-commodity-mems.html#more>.
- [7] SITOP, "Sistemas de referencia y de coordenadas." [Online]. Available: http://www.sitopcar.es/modulos/descargas/manuales/Topografia_Sistemas_Referencia_y_Coordenadas.pdf.
- [8] Department of Defense, "World Geodetic System 1984," National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). Standardization Document, no. NGA.STND.0036_1.0.0_WGS84, pp. 2:1-2;3:8-9, 2014.
- [9] M. T. Torriti, "Tutorial Microcontroladores PIC," Pontificia Universidad Católica de Chile, no. 1.0, p. 3, 2007.
- [10] I. Allegro MicroSystems, "3503 Ratiometric, Linear Hall-Effect Sensors," Data Sheet Unknown, 1999.