

**SISTEMA PROTOTIPO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS
MEDIANTE GPS Y SENSORES INERCIALES CON SOPORTE
EN LA RED GSM/GPRS**



Universidad
del Cauca

Monografía presentada para optar al Título de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones

Audemar Baos Ortega
Robinson Molano Chará

Director: Ing. Víctor Fabián Miramá Pérez

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Departamento de Telecomunicaciones

Grupo de Radio e InAlámbricas-GRIAL

Línea de Investigación: Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Radio

Popayán, Febrero de 2015

Agradecimientos

*A Dios por su infinito amor en Cristo Jesús.
A mi Familia: Mi madre, mis hermanas y mi abuela por
su paciencia e incondicional apoyo.*

*A Dios.
A mis padres quienes me dieron todo su apoyo para sacar
este proyecto adelante. Mi hermana, mi novia, mis
amigos y familiares.*

Tabla de Contenido

1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. SERVICIOS BASADOS EN LOCALIZACIÓN (LBS)	3
1.2. TECNOLOGÍAS ASOCIADAS A LOS LBS	5
1.2.1. <i>Tecnologías de Posicionamiento</i>	5
1.2.1.1. Posicionamiento Satelital	5
1.2.1.2. Posicionamiento Celular	10
1.2.1.3. Posicionamiento en Interiores	11
1.2.2. <i>Tecnologías de transmisión de datos</i>	12
1.2.2.1. GSM	13
1.2.2.2. GPRS	14
1.2.3. <i>Tecnologías de almacenamiento, procesamiento y uso de información geográfica</i>	15
1.2.3.1. Bases de Datos Geográficas (BDG)	15
1.2.3.2. Sistemas de Información Geográfica (GIS)	15
1.2.3.3. Servidores de Mapas de Internet (IMS)	15
1.2.3.4. Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS)	16
1.3. SISTEMAS DE REFERENCIA Y DE COORDENADAS	16
1.3.1. <i>Sistemas de referencia</i>	16
1.3.2. <i>Sistemas de coordenadas</i>	18
1.3.2.1. Sistema de Coordenadas ECI	18
1.3.2.2. Sistema de Coordenadas ECEF	18
1.3.2.3. Sistema de Coordena LGV	19
1.3.2.4. Sistema de Coordenadas <i>Body</i>	20
1.4. SENSORES INERCIALES	20
1.4.1. <i>Sistemas Micro Electromecánicos</i>	21
1.4.1.1. Acelerómetro	21
1.4.1.2. Giroscopio	22
1.4.2. <i>Odómetro Electrónico</i>	22
1.5. MICROCONTROLADORES Y SISTEMAS EMBEBIDOS	23
1.5.1. <i>Microcontroladores</i>	23
1.5.2. <i>Arduino</i>	24
1.5.3. <i>FPGA</i>	25
2. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA PROTOTIPO	27
2.1. FASE DE ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	28
2.1.1. <i>Determinación de los Requerimientos</i>	28
2.1.2. <i>Diagrama de casos de usos</i>	28



2.2.	FASE DE DISEÑO	29
2.2.1.	<i>Diseño Modular del Sistema</i>	29
2.2.2.	<i>Diagrama de Flujo de Datos del Sistema</i>	30
2.2.3.	<i>Diseño específico de los Módulos</i>	31
2.2.4.	<i>Diseño del Subsistema S2</i>	31
2.2.4.1.	Módulo de Sensores Inerciales	31
2.2.4.2.	Módulo 2 de Procesamiento de Datos	39
2.2.5.	<i>Diseño del Subsistema S1</i>	43
2.2.5.1.	Módulo Receptor del GPS	43
2.2.5.2.	Módulo Transmisor GSM/GPRS	45
2.2.5.3.	Módulo 1 de Procesamiento de Datos	47
2.2.6.	<i>Diseño del Subsistema S3</i>	48
2.2.6.1.	Módulo Base de Datos	48
2.2.6.2.	Módulo Interfaz de Usuario	49
2.2.7.	<i>Definición del Plan de Pruebas</i>	50
2.3.	FASE DE DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA	51
2.3.1.	<i>Desarrollo y Validación del Subsistema S2</i>	51
2.3.1.1.	Configuración y Obtención de Datos del Sensor MEMS	51
2.3.1.2.	Fabricación, Programación y Validación del Odómetro Electrónico	53
2.3.1.3.	Programación y Armado de la Trama Módulo 2 de procesamiento de Datos	58
2.3.2.	<i>Desarrollo y Validación del Subsistema S1</i>	59
2.3.2.1.	Conexión Satelital y Obtención de Trama del Módulo Receptor GPS	59
2.3.2.2.	Configuración y Conexión al Servidor del Transmisor GSM/GPRS	61
2.3.2.3.	Programación del Módulo 1 de procesamiento de Datos	61
2.3.3.	<i>Desarrollo y Validación del Subsistema S3</i>	62
2.3.3.1.	Programación y Elaboración de Tablas en la Base de Datos	62
2.3.3.2.	Programación y Obtención de Mapas en la Interfaz de Usuario	63
3.	PRUEBA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
3.1.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA S2	65
3.2.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA S1	67
3.3.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA S3	69
3.4.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES DEL HARDWARE	70
4.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	73
4.1.	Conclusiones	73
4.2.	Trabajos Futuros	74
A.	Software Utilizado	79
A.1.	CCS Compiler	79
A.2.	PICKIT2	80
A.3.	Wireshark	80
A.4.	HyperTerminal	81
A.5.	Adobe DreamWeaver	82



A.6. L ^A T _E X	82
A.7. T _E Xstudio	83
A.8. Eagle	83
A.9. SmartDraw	84
B. Fabricación de PCB	85
B.1. Materiales	85
B.2. Papel Fotosensible	85
B.3. Diseño del Negativo	86
B.4. Sensibilizado del Material	86
B.5. Revelado de la Placa	87
B.6. Eliminador	87
B.7. Limpieza	88
B.8. Circuito Terminado	88

Lista de Figuras

1.1. Tecnologías que componen una LBS	4
1.2. Arquitectura típica de un LBS	5
1.3. Constitución de un Sistema de Navegación por Satélite	7
1.4. Constelación del GPS	7
1.5. Posicionamiento con GPS	8
1.6. Error de la Trilateración Circular	9
1.7. Posicionamiento por RF-LPS	12
1.8. Arquitectura de GSM	13
1.9. Arquitectura de GPRS	14
1.10. Definición del sistema WGS84 de DoD	18
1.11. Sistema de Coordenadas ECI y ECEF	19
1.12. Sistema de Coordenadas NED, ECI y ECEF	20
1.13. Sistema de Coordenadas <i>Body</i>	20
1.14. Dispositivos de tipo MEMS	21
1.15. Acelerómetro de tipo capacitivo	22
1.16. Gisroscopio de estructura vibrante MEMS	22
1.17. Odómetro Electrónico	23
1.18. Estructura General de un Microcontrolador	24
1.19. Tarjeta Arduino comercial	24
1.20. FPGA de tipo comercial	25
2.1. Modelo Lineal Secuencial	27
2.2. Diagrama de casos de uso de la interfaz de usuario	29
2.3. Diseño en Módulos del SMV	29
2.4. Diagrama de Flujo de datos del Sistema	30
2.5. Sensor Inercial IMU MPU-6000 TM	31
2.6. Diagrama en Bloques del MPU-6000 TM	33
2.7. Secuencia de procesamiento del MPU-6000 TM	33
2.8. Secuencia de ángulo de Euler (123)	35
2.9. Diseño del Odómetro Electrónico	36
2.10. Característica del sensor de efecto Hall	36
2.11. Diagrama de Flujo del Odómetro	37
2.12. Diagrama Circuitual del Odómetro	38
2.13. Placa PCB del Odómetro	38
2.14. Microcontrolador	40
2.15. Diagrama de flujo del Subsistema 2	41
2.16. Transición del GPS a Sensores Inerciales	42
2.17. Obtención del paralelo y el meridiano de posición	42



2.18. Descomposición del Vector de Movimiento en el plano de coordenadas NED	43
2.19. Módulo Receptor GPS, modelo TK-1315LA	44
2.20. Módulo GSM/GPRS SIM900	46
2.21. Diagrama de flujo de configuración del SIM900	47
2.22. Diagrama de flujo de datos del Módulo 1 de Procesamiento de Datos	48
2.23. Diseño de la interfaz de usuario para ingresar nombre y contraseña	50
2.24. Diseño de la interfaz de usuario para visualizar posición del vehículo	50
2.25. Extracción de los datos del sensor MPU-600 TM en código C	52
2.26. Giro Positivo del Giroscopio	52
2.27. Ángulos medidos del Giroscopio	53
2.28. Etapas de construcción del Odómetro Electrónico	54
2.29. Programa de cálculo de distancia y tiempo de giro del Odómetro electrónico	54
2.30. Trama enviada por el Odómetro	54
2.31. Distancia y tiempo calculados por el Odómetro Electrónico	55
2.32. Prueba 1 de Medición de Distancia	56
2.33. Prueba 2 de medición de velocidad	56
2.34. Prueba 3 de medición de velocidad	57
2.35. Código en C para el cálculo de velocidad y coordenadas	58
2.36. Código en C para cálculo de meridianos, paralelos y el ángulo de referencia	59
2.37. Datos de trama del Módulo 2 de Procesamiento de Datos	59
2.38. Tramas Recibidas por el GPS	59
2.39. Satélites enganchados con el GPS	60
2.40. Niveles de señal de los satélites con los que puede conectarse el receptor GPS	60
2.41. Secuencia de inicio y respuestas del SIM-900	61
2.42. Datos de posición del Módulo 1	61
2.43. Creación de la base de datos y tablas	62
2.44. Tabla de usuarios y de posición	62
2.45. Página Web Inicio de Sesión	63
2.46. Página Web servicio de Rastreo	63
3.1. Coordenadas y distancia en el eje <i>E</i> en Google Earth	65
3.2. Coordenadas, distancia y ángulos en el eje <i>E</i> en el Subsistema S2	66
3.3. Coordenadas, distancia y ángulos en el eje <i>E</i> y <i>N</i> en el Subsistema S2	66
3.4. Coordenadas, distancia y ángulo medidos en Google Earth	67
3.5. Mensaje de conexión Servidor MYSQL	67
3.6. Mensaje de Solicitud de conexión hacia MYSQL	68
3.7. Mensaje de Envío de información hacia MYSQL	68
3.8. Verificación de la información guardada en MYSQL	69
3.9. Prueba de recorrido almacenado en la Base de datos	69
3.10. Visualización de las coordenadas en la Interfaz de Usuario	70
3.11. Dispositivo terminado	71
A.1. Logo CCS	79
A.2. Interfaz de Programación CCS	79
A.3. Logo PICKit 2	80
A.4. Interfaz de PICKit 2	80
A.5. Logo Wireshark	80
A.6. Interfaz de Wireshark	81



A.7. Logo HyperTerminal	81
A.8. Interfaz de HyperTerminal	81
A.9. Logo Dreamweaver	82
A.10. Interfaz de DreamWeaver	82
A.11. Logo L ^A T _E X	82
A.12. Logo T _E Xstudio	83
A.13. Interfaz de TeXstudio	83
A.14. Logo de Eagle	83
A.15. Interfaz de Eagle	84
A.16. Logo de SmartDraw	84
A.17. Interfaz de Eagle	84
B.1. Materiales	85
B.2. Pegado del Papel Fotosensible	86
B.3. Diseño Negativo	86
B.4. Sensibilizado	87
B.5. Ataque del Percloruro Férrico	87
B.6. Químico Eliminador	88
B.7. Limpieza de la placa	88
B.8. Circuito Odómetro Electrónico	89
B.9. Circuito del Módulo 1 y 2 de Procesamiento de Datos	89

Lista de Tablas

- 2.1. Especificaciones técnicas del sensor inercial IMU MPU-6000TM 32
- 2.2. Selección de la velocidad de TX del Odómetro 37
- 2.3. Características técnicas de la familia PIC16F y PIC18F de Microchip Technology Inc 39
- 2.4. Especificaciones técnicas del PIC 18F2550 40
- 2.5. Especificaciones técnicas del Módulo Receptos GPS modelo TK-1315LA 44
- 2.6. Formato Trama RMC del GPS 45
- 2.7. Características técnicas del módulo SIM900 de Libelium 46
- 2.8. Plan de pruebas del sistema 51

- 3.1. Características técnicas del dispositivo final 71

Lista de Acrónimos

AoA,	Método de Ángulo de Llegada (Angle of Arrival)
BIH,	Oficina Internacional de la Hora (Bureau International de l'Heure)
BS,	Estación Base (Base Station)
BSC,	Controladores de la Estaciones Base (Base Station Controller)
BSS,	Subsistema de Estaciones Base (Base Station Subsystem)
BTS,	Estación Base Transceptora (Base Transceiver Station)
Cell-Id,	Identificación por Celda (Cell Identification)
CEP,	Probabilidad de Error Circular (Circular Error Probability)
CNSS,	Sistema Satelital de Navegación COMPASS (COMPASS Navigation Satellite System)
CPU,	Unidades de Procesamiento Central (Central Processing Unit)
CTP,	Polo Convencional Terrestre (Conventional Terrestrial Pole)
DMA,	Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (Defense Mapping Agency)
DMP,	Procesador Digital de Movimiento (Digital Motion Processor)



DoA,	Método de Dirección de Llegada (Direction of Arrival)
DoP,	Dilución de la Precisión (Dilution of Precision)
DSP,	Procesador Digital de Señales (Digital Signal Processor)
ECEF,	Sistema Cartesiano Geocéntrico (Earth Centered Earth Fixed)
ECEF,	Sistema Geocéntrico Fijado a la Tierra (Earth-Centered, Earth-Fixed)
ECI,	Sistema de Coordenadas Inercial Geocéntrico (Earth-Center Inertial)
EEPROM,	Memoria de Sólo-Lectura Programable y Borrable Eléctricamente (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
ETRS89,	Sistema de Referencia Terrestre Europeo de 1989 (European Terrestrial Reference System 1989)
ETSI,	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (European Telecommunications Standards Institute)
FCC,	Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission)
FIFO,	First Input, First Output
FPGA,	Arreglos de Compuertas Programables en Campo (Field Programmable Gate Array)
GIS,	Sistemas de Información Geográfica (Geographic Information System)
GLONASS,	Sistema Satelital de Navegación Global (GLOBAL NAVIGATION Satellite System)
GNSS,	Sistemas Globales de Navegación por Satélite (Global Navigation Satellite Systems)
3GPP,	Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3rd Generation Partnership Project)



GPRMC,	Especificación de Datos de GPS Mínima Recomendada (Recommended Minimum Specific GPS/Transit data)
GPRS,	Servicio General de Paquetes Radio, o vía Radio (General Packet Radio Service)
GPS,	Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System)
GSN,	Nodos de Soporte GPRS (GPRS Support Nodes)
HLR,	Registro de Ubicación de Base (Home Location Register)
HTML,	Hyper-Text Markup Language
I2C,	Inter-Circuitos Integrados (Inter-Integrated Circuit)
IMS,	Servidores de Mapas de Internet (Internet Map Server)
IMU,	Unidad de Medición Inercial (Inertial Measurement Unit)
IR,	Radiación Infrarroja (Infrared Radiation)
IRNSS,	Sistema Satelital de Navegación Regional de la India (Indian Regional Navigation Satellite System)
ITRS,	Sistema de Referencia Terrestre Internacional (International Terrestrial Reference System)
ITS,	Sistemas de Transporte Inteligentes (Intelligent Transportation Systems)
LAS,	Servicios de Reconocimiento de Ubicación (Location-awareness Service)
LBS,	Servicios Basados en Localización (Location-based Services)
LCS,	Servicios Ubicación (LoCation Services)



LGV,	Sistema de Coordenadas Vertical Geodésica Local (Local Geodtic Vertical)
LOS,	Línea de Visión Directa (Line Of Sight)
LRS,	Servicios de Localización Relacionados (Location-related service)
MEMS,	Sistemas Micro Electromecánicos (Microelectromechanical Systems)
MEO,	Orbita Media Terrestre (Medium Earth Orbit)
MF,	Método de Huella Multitrayecto (Multipath Fingerprint)
MSC,	Centro de Conmutación Móvil (Mobile Switching Center)
NMEA,	National Marine Electronics Association
NTIC,	Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación
OGC,	Open Geospatial Consortium
OMS,	Subsistema de Operación y Mantenimiento (Operation and Maintenance Subsystem)
PCB,	Tarjeta de Circuito Impreso (Printed Circuit Board)
PDN,	Paquetes de Datos o Red Pública de Datos (Packet Data Network or Packet data network)
QZSS,	Sistema por Satélite Cuasi-Cenital (Quasi-Zenith Satellite System)
RF- LPS,	Sistemas de Localización y Posicionamiento por RadioFrecuencia (RadioFrequency - Location and Positioning Systems)
RFID,	Identificación por Radio-Frecuencia (Radio Frequency IDentification)
RSS,	Potencia de la Señal Recibida (Received Signal Strength)



RSSI,	Intensidad de Señal Recibida (Received Signal Strength Indicator)
RTCM,	Protocolo de comunicación de la Comisión Técnica de Radio para el Servicio Marítimo (Radio Technical Commission for Maritime Services)
SGSN,	GNS de Servicio (Serving GSN)
SIM,	Módulo de Identificación del Suscriptor o abonado (subscriber identity module)
SMV	Sistemas de Monitoreo Vehicular
SONAR,	Navegación por Sonido (Sound Navigation And Ranging)
SPI,	Interfaz de Periféricos Serie (Serial Peripheral Interface)
TDoA,	Método de Diferencia en el Tiempo de Llegada (Time Difference of Arrival)
ToA,	Método de Tiempo de Llegada (Time of Arrival)
UART,	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal (Universal Asynchronous Receiver-Transmitte)
UWB,	Banda Ultra-Ancha (Ultra-Wide Band)
VLR,	Registro de Localización de Visitantes (Visitor Location Register)
WGS- 84,	Sistema Geodésico Mundial de 1984 (World Geodetic System 1984)
WLAN,	Redes Inalámbricas de Área Local (Wireless Local Area Networks)
WPAN,	Redes Inalámbricas de Área Personal (Wireless Personal Area Networks)
WWAN,	Redes Inalámbricas de Área Amplia (Wireless Wide Area Network)

Introducción

El avance de la tecnología y la constante evolución de esta han cambiado significativamente la forma en que interactúan los seres humanos y su visión del mundo. Cada día las personas exigen mayores prestaciones y mayor eficiencia a los sistemas de comunicaciones, electrónicos, informáticos, de transporte, así como también a las nuevas tecnologías, para satisfacer sus necesidades y mejorar su calidad de vida. Específicamente en los últimos años, los sistemas de comunicaciones inalámbricos han evolucionado de tal manera, que han sido fundamentales y trascendentales en la búsqueda continua por mejorar la calidad de vida de los seres humanos.

De manera particular, en la última década los medios de transporte, ya sean terrestres, marítimos o aéreos, han visto en los sistemas de comunicaciones inalámbricos la solución a muchos de los problemas que han estado presentes desde sus orígenes, entre ellos, la imposibilidad de comunicación constante entre los vehículos y un sistema de mando central, la dificultad para un monitoreo y control continuo a los distintos subsistemas que componen un vehículo o la incertidumbre de conocer la posición geográfica exacta de los vehículos en un determinado momento.

Existe la necesidad del sector transporte por encontrar la solución más adecuada que les permita el rastreo y la ubicación constante de sus vehículos en tiempo real y de manera remota. Los dispositivos existentes basados en GPS y los de mayor uso, no permiten realizar un monitoreo constante, debido a la necesidad de conexión permanente con los satélites que se puede ver afectada por la pérdida de línea de visión con los mismos, éste factor genera pérdida de información e incertidumbre respecto a la posición del vehículo, por lo que implementar un sistema de soporte al GPS se hace necesario y, para ciertos sectores de la sociedad, imprescindible.

En el presente trabajo de grado se plantea una posible solución empleando tecnologías de Sensores Inerciales que permitan determinar la posición geográfica en el momento que los sistemas GPS no estén disponibles. Se propone un sistema prototipo para efectuar un monitoreo constante y preciso de los vehículos, alternativo a los actuales sistemas presentes en el mercado. Para alcanzar tal propósito el proyecto se basa en un enfoque sistemático y secuencial para su desarrollo, 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 diseño general, su desarrollo, experimentación y pruebas de validación; finalmente se hacen un análisis objetivo de los resultados obtenidos.

En el último capítulo se presentan las conclusiones del proyecto y se proponen algunos trabajos futuros en esta misma línea investigativa.

Capítulo 1

Marco Teórico

1.1. Servicios Basados en Localización (LBS)

Aunque los Servicios Basados en Localización (LBS, *Location-based Services*) se han implementado y utilizado y son ya 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 podría ser 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*) tales como los sistemas de telecomunicaciones móviles y los dispositivos móviles, la Internet y los Sistemas de Información Geográfica (GIS, *Geographic Information System*) con bases de datos espaciales [4]; tal y como se observa en la figura 1.1. Tales servicios están muy ligados a conceptos emergentes como los Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS, *Intelligent Transportation Systems*) y a las tecnologías de posicionamiento.

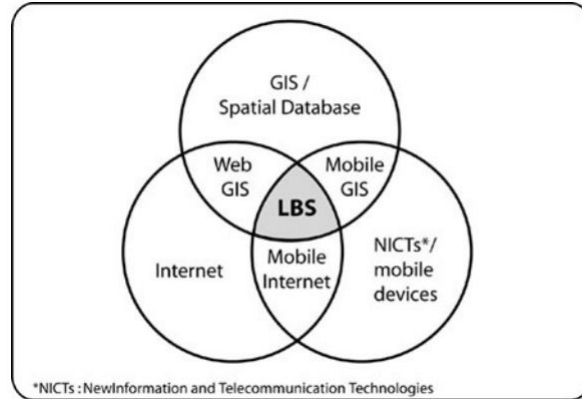


Figura 1.1: LBS como una intersección de tecnologías. Tomado de [4]

Si bien la asociación 3GPP distingue estrictamente entre los LBS y los *Servicios de Ubicación*, estos últimos se refiere 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 [1]. 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 tales como los ITS y los GIS* [5].

Un LBS se puede dividir en tres capas: la capa de datos, la capa lógica y la capa de visualización [6]. La plataforma software de YDreams que ofrece este tipo de servicios revela la arquitectura típica de los LBS mostrada en la figura 1.2; la capa de datos se compone de cuatro tipos de información: la localización del usuario u objeto, mapas base, información de carreteras y los servicios ofrecidos. La capa lógica está conformada por varios módulos: el módulo de GeoCodificación utiliza la información de la base de datos de carreteras para convertir las direcciones en coordenadas geográficas, el componente de GeoCodificación Inversa utiliza la información de la base de datos de carreteras para convertir coordenadas geográficas en direcciones, el generador de Mapas Raster crea el mapa en formato raster dadas las coordenadas geográficas, tamaño de imagen y la fuente de la misma; la Calculadora de Rutas ofrece la ruta entre dos puntos geográficos, el generador de Imágenes de Ruta dibuja la ruta con lo que podrá ser superpuesta sobre la cartografía base; el constructor de imágenes permite la combinación de diversas capas de imágenes como consecuencia de la anterior información. La capa de presentación o de visualización es la conexión entre los LBS y el usuario [7].

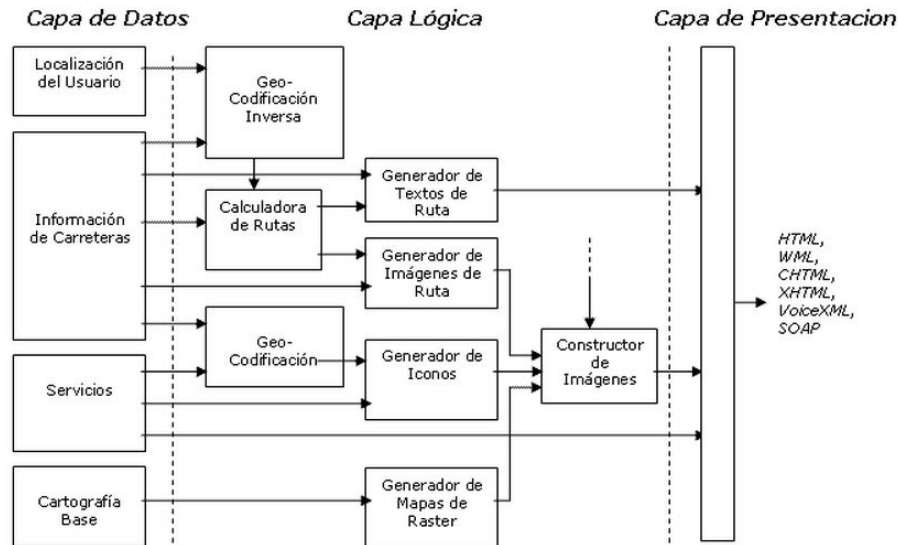


Figura 1.2: Arquitectura típica de un LBS. Tomado de [7].

1.2. Tecnologías Asociadas a los LBS

1.2.1. Tecnologías de Posicionamiento

Las tecnologías de posicionamiento surgen como un avance significativo y necesario de los Sistemas de Navegación, cuya preocupación inicial fue permitir de manera segura, confiable y directa el transporte marítimo, terrestre y aéreo. Es importante hacer énfasis en que lo primero que debe hacer un LBS es encontrar la posición del usuario, para ello se han adaptado y mejorado distintos sistemas y/o desarrollado nuevas tecnologías de posicionamiento en el marco de los sistemas y redes inalámbricas; las redes inalámbricas más comunes hoy en día se pueden clasificar de dos maneras [4]: la primera se hace de acuerdo con el rango o cobertura geográfica de la red, que está determinada por el propósito de dicha red y por las limitaciones físicas de las ondas de radio; la segunda clasificación se hace según la topología de las redes, si la red se compone de una infraestructura de nodos fijos o son “Ad-Hoc”. En esta sección se tendrá como clasificación a la primera y se describirán como redes usadas para determinar la ubicación de un usuario o dispositivo móvil. Se mencionan como sistemas y redes de posicionamiento y geolocalización a los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS, *Global Navigation Satellite Systems*), las Redes Inalámbricas de Área Amplia (WWAN, *Wireless Wide Area Network*), las Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN, *Wireless Local Area Networks*) y las Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN, *Wireless Personal Area Networks*).

1.2.1.1. Posicionamiento Satelital

Para hablar del posicionamiento satelital es necesario referirse a los GNSS, acrónimo que concierne al conjunto de tecnologías de sistemas pasivos de navegación basados en satélites emisores de radiofrecuencias, que proporcionan un marco de referencia espacio-temporal con cobertura global, independiente de las condiciones atmosféricas, de forma continua en cualquier

lugar de la tierra, y disponible para cualquier número de usuarios [8]; tales sistemas están formados por una constelación de satélites artificiales que transmiten señales a diferentes receptores localizados en cualquier parte del mundo. Estos sistemas son utilizados principalmente para determinar las coordenadas geodésicas¹ y la altitud de un sitio u objeto como resultado de la recepción simultánea de señales provenientes de varios satélites con fines hidrográficos, agrícolas, militares, de investigación científica, navegación, transporte, entre otros. GNSS abarca varias tecnologías y constelaciones satelitales, la más conocida y difundida por su gran utilización es la estadounidense, denominada: Sistema de Posicionamiento Global (GPS, *Global Positioning System*); no obstante, en la actualidad existen tanto de forma combinada como aislada otras tecnologías disponibles tales como el Sistema Satelital de Navegación Global (GLONASS, *GLObal NAVigation Satellite System*) de Rusia y en su etapa de ejecución, el nuevo sistema europeo GALILEO². Otros sistemas de navegación satelitales que actualmente se encuentran en desarrollo y que podrían ser usados como sistemas de posicionamiento, son el Sistema Satelital de Navegación COMPASS (CNSS, *COMPASS Navigation Satellite System*), conocido también como sistema BeiDou de la República Popular China, el Sistema por Satélite Cuasi-Cenital (QZSS, *Quasi-Zenith Satellite System*) de Japón y el Sistema Satelital de Navegación Regional de la India (IRNSS, *Indian Regional Navigation Satellite System*).

El funcionamiento de cualquier sistema de posicionamiento satelital involucra tres segmentos claramente definidos y que se relacionan entre sí [10]

- **Segmento Espacial:** Este segmento está compuesto por la constelación de satélites que orbitan la Tierra, aquí se encuentran los satélites de navegación y los de comunicación, los primeros se comunican con el usuario prestándole un servicio; los segundos se comunican con el Segmento de Control.
- **Segmento de Control:** Formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen y administran los datos de los satélites; este segmento es complejo en su definición, siendo propio de cada país o coalición de países, sus funciones son garantizar las prestaciones del sistema mediante un monitoreo constante del segmento espacial y aplicar correcciones de posición orbital y temporal a los satélites, enviando información de sincronización de relojes atómicos y correcciones de posicionamiento de órbitas a los distintos satélites.
- **Segmento de Usuario:** Este segmento se compone de los equipos GNSS que reciben las señales del Segmento Espacial, quien se ve enteramente beneficiado por todo el sistema.

La figura 1.3 ilustra los segmentos mencionados:

Puesto que todos los GNSS se basan en los mismos principios físicos para su funcionamiento, y ya que el más extendido y de mayor uso a nivel global es el GPS, a continuación se hace una breve descripción de éste y de cómo se obtiene la posición con dicho sistema. El GPS es un GNSS mundial que emplea al menos tres satélites que rodean la Tierra en órbitas conocidas para fijar la posición de una unidad móvil. En la actualidad existe una constelación de satélites que

¹Un Sistema de Coordenadas Geodésicas o Sistema de Coordenadas Elipsóidicas (o elipsoidales), es un sistema de coordenadas en el que la posición es especificada por la latitud geodésica, la longitud geodésica y (en los casos tridimensionales) la altitud elipsóidica [9]

²www.gsa.europa.eu/galileo/why-galileo
www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/Galileo_a_constellation_of_30_navigation_satellites. Último acceso 12/11/2014

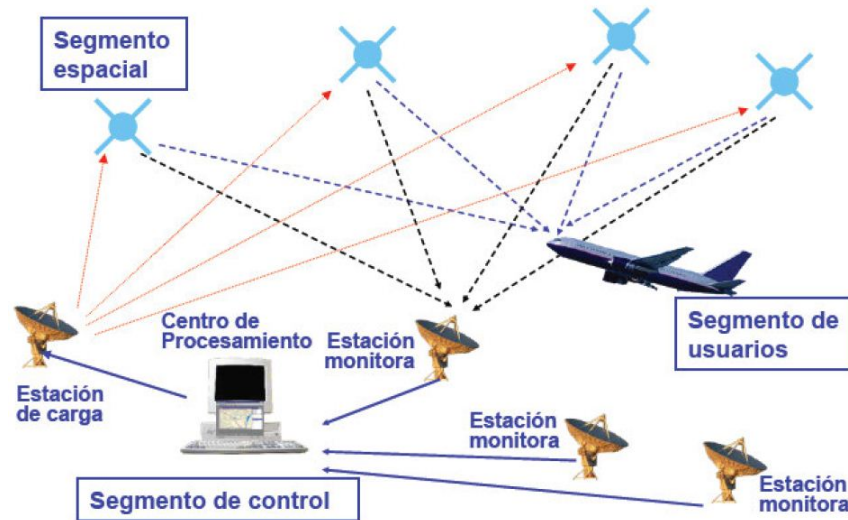


Figura 1.3: Componentes de un sistema GNSS. Tomado de [10].

permite realizar este proceso denominada constelación NAVSTAR³, formada por 24 satélites activos más cuatro de reserva y mantenida por el gobierno estadounidense; éstos giran alrededor de la tierra en seis órbitas diferentes con cuatro satélites por órbita (véase figura 1.4). GPS es un sistema de Orbita Media Terrestre (MEO, *Medium Earth Orbit*) típico, con una altitud de órbita aproximada de 20.200 kilómetros con respecto al nivel medio del mar, cada satélite repite la misma trayectoria terrestre cada día sidéreo (tiempo que tarda la Tierra en hacer un giro de 360°) [1].

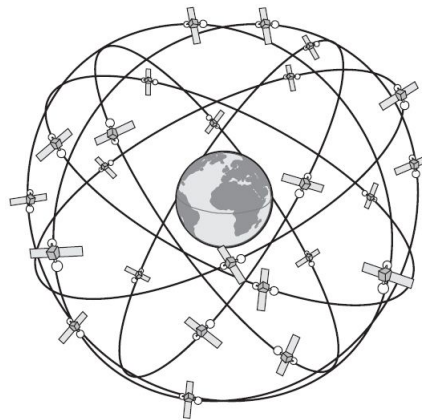


Figura 1.4: Constelación del GPS. Tomado de [1].

³Comúnmente se identifica 'NAVSTAR' como el acrónimo de "Navigation Signal Timing And Ranging" o de "Navigation Satellite Timing and Ranging"; al parecer TRW Corporation., habría definido un sistema de navegación para el cual 'NAVSTAR' sería el acrónimo de NAVigation System Timing And Ranging. Sin embargo Bradford W. Parkinson explicó que su equipo de la Oficina Conjunta del Programa consideró el término porque "simplemente es un nombre que suena agradable." [11]

Posicionamiento con GPS:

El posicionamiento con GPS básicamente consta de tres pasos: identificación de satélites, medición de distancia y cálculo de la posición. En el primer paso, el receptor debe identificar los satélites que serán utilizados para las mediciones, comúnmente el número de satélites en el horizonte visible del receptor es entre 5 y 10; en este paso existen dos procedimientos denominados *arranque en caliente* o *arranque en frío*, esto si el receptor dispone de información acerca de su última posición o por el contrario no la tiene, respectivamente; de todos los satélites identificados de esta manera, el receptor selecciona un subconjunto de al menos cuatro satélites que se consideran confiables para las mediciones, esta selección depende de la geometría entre cada satélite y el receptor que se puede cuantificar por medio de la Dilución de la Precisión (DoP, *Dilution of Precision*).

La medición de la distancia con GPS se muestra en la figura 1.5, estas mediciones de alcance deben realizarse al menos con cuatro satélites (figura 1.5(a)), tres para la obtención de la posición en 3D (figura 1.5(b)) y uno para la sincronización de tiempo entre los satélites y el receptor. El método matemático para la medición que se aplica es la lateración circular, método que requiere de sincronización de tiempos muy precisos, conocido también como *trilateración circular* [1] (o esférica) por hacer uso de tres satélites (tres lados) para definir la posición.

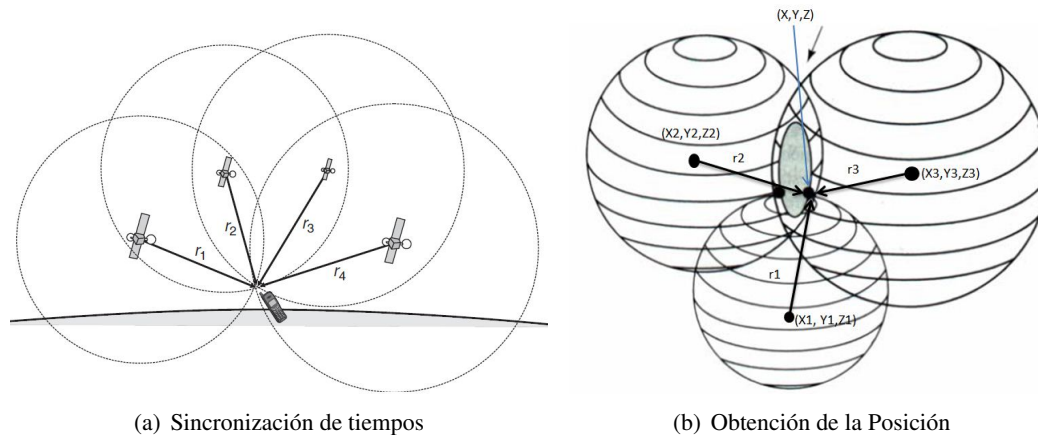


Figura 1.5: Posicionamiento con GPS. Tomado de [1]

Los receptores GPS están equipados con relojes de cristal de cuarzo de bajo costo, estos sufren un desvío considerable respecto a los relojes atómicos (muy precisos) de los satélites; una solución para compensar el desplazamiento de tiempo resultante, es modelar como una incógnita adicional ϵ al sistema de ecuaciones dadas en la ecuación 1.1, obteniendo así la ecuación 1.2, se necesitan como consecuencia, cuatro ecuaciones y por lo tanto cuatro mediciones de distancia con el fin de lograr una solución [1]. Sin embargo, este método se basa en la suposición de que el desplazamiento de tiempo en un receptor tiene la misma cantidad para todos los satélites, que requiere que todos los satélites funcionen perfectamente sincronizados

$$r_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2} \quad (1.1)$$

Donde $r_i = P_i + \epsilon$, así

$$(P_i + \epsilon)^2 = (X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2, \quad (1.2)$$



X_i, Y_i, Z_i	Son las coordenadas del i -ésimo satélite.
x, y, z	Son las coordenadas de la posición a definir.
r_i	Es la distancia desde la posición a definir hasta el i -ésimo satélite.
P_i	Es la pseudodistancia observada y desviada de la r_i real debido a sincronización de relojes, refracción y propagación multitrayecto.
$\epsilon = c(-\delta_R)$	Donde c es la velocidad de la luz y δ_R es el desplazamiento de tiempo (error del reloj receptor respecto al de los satélites).

Adicionalmente, las tres esferas de la figura 1.5(b) no se intersectan en un punto preciso, pero abarcan un volumen de cierto tamaño, que depende del grado de precisión de las mediciones en las distancias. La figura 1.6 muestra el potencial de error que resulta en las mediciones imprecisas vistas en 2D, un eje ortogonal a ella determinará el espacio volumétrico de error en la intersección de las esferas de la figura 1.5(b).

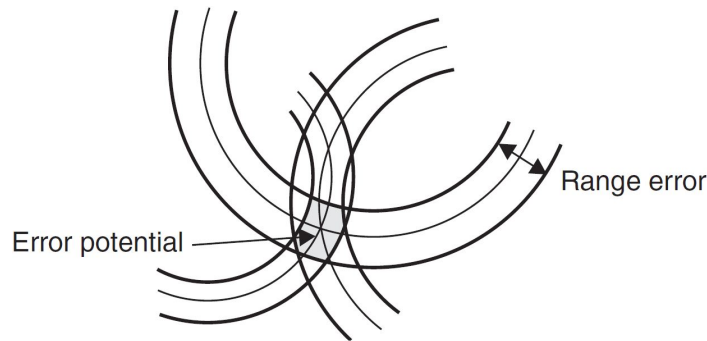


Figura 1.6: Error Potencial de la Trilateración Circular. Tomado de [1].

Por lo tanto, el sistema de ecuaciones especificadas en 1.1 y 1.2 en la mayoría de los casos es inconsistente y no tiene solución única; no obstante, para alcanzar un resultado se pueden utilizar diferentes enfoques matemáticos, por ejemplo, aplicar un proceso iterativo de los mínimos cuadrados con el fin de aproximar la solución de una manera escalonada [1] y así conseguir una muy buena medición de la distancia.

Para el cálculo de la posición se debe considerar que las distancias medidas con los satélites son en realidad pseudodistancias que difieren de las verdaderas distancias geométricas por errores mencionados, estos en su mayoría debidos a la refracción ionosférica que provoca retrasos en las señales del satélite; en consecuencia, la pseudodistancia será la distancia observada menos una sumatoria de errores como lo muestra la ecuación 1.3; las coordenadas de cada satélite determinadas por el receptor durante el enlace dadas sus efemérides⁴ también están afectadas por errores, puesto que las órbitas surgen de mediciones y extrapolaciones, esto se muestra en la ecuación 1.4. En consecuencia, la ecuación 1.2 se transforma en la ecuación 1.5.

$$P_i = P_{obs} - \Sigma\delta \quad (1.3)$$

$$X_i = X_{iT} - \delta_{iX} \quad (1.4)$$

$$(P_{obs} + \Sigma\delta + \epsilon)^2 = (X_{iT} - \delta_{iX} - x)^2 + (Y_{iT} - \delta_{iY} - y)^2 + (Z_{iT} - \delta_{iZ} - z)^2 \quad (1.5)$$

Después del ajuste de mínimos cuadrados, la posición del receptor se da en el Sistema Cartesiano Geocéntrico (ECEF, *Earth Centered Earth Fixed*) finalmente la posición por lo general

⁴Conjunto de parámetros y Elementos Keplerianos que permiten calcular la órbita de cada satélite y su posición dentro de la misma, es decir, sus coordenadas [12].



se convierte en un sistema de coordenadas elipsoidal basado en Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS- 84, *World Geodetic System 1984*).

1.2.1.2. Posicionamiento Celular

A finales de los 90's el gobierno de los Estados Unidos, a través de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, *Federal Communications Commission*), impuso un plazo a las compañías de telefonía móvil para que cumplieren con servicios de localización, dando así apertura a la aplicación de LBS. Distintos métodos de posicionamiento se han desarrollado desde entonces que difieren en el grado de exactitud de la posición y en la complejidad de los mecanismos de control requeridos en las redes de acceso y en las terminales. Las técnicas o métodos de localización que pueden usarse para determinar la ubicación de un teléfono celular sin necesidad de un GPS u otro dispositivo extra, haciendo uso de los datos del proveedor de servicios de telefonía, pueden clasificarse por [5]:

Identificación por celda (Cell-Id, *Cell Identification*): En este método, la posición se obtiene directamente en función de la identidad de la celda o punto de acceso que da cobertura al área en el que se encuentra el terminal móvil; es el método más sencillo e inmediato, hace uso del parámetro TA (*Timing Advance*) que es el procedimiento por el cual una BS es capaz de calcular la distancia a la que se encuentra una MS del propio nodo (o viceversa); es el más utilizado por los operadores de telefonía móvil GSM.

Método de Ángulo de Llegada (AoA, *Angle of Arrival*, o DoA, *Direction of Arrival*): Este método utiliza arreglos de antenas⁵ para determinar el ángulo de la señal incidente. Si un terminal que transmite una señal está en la Línea de Visión Directa (LOS, *Line Of Sight*), la antena en arreglo puede conocer de qué dirección viene la señal, midiendo la diferencia de fase con las otras antenas del arreglo o la densidad espectral de potencia (mediante algoritmos de Conformación Digital de Haz o "*digital beamforming*"). Para conocer la posición del dispositivo es necesaria al menos una segunda estimación del ángulo procedente de otra antena. La segunda antena localizará al terminal, y sus datos se compararán con los de la primera estación, para después calcular la posición del usuario mediante trigonometría [14].

Método basado en la Potencia de la Señal Recibida (RSS, *Received Signal Strength*): Se basa en la pérdida de potencia que la señal sufre debido al medio de propagación; el método utiliza una medida del Indicador de Intensidad de Señal Recibida (RSSI, *Received Signal Strength Indicator*), que recoge la potencia con la que llega la señal procedente del dispositivo móvil que se desea localizar a la estación receptora. Para calcular la posición es necesario realizar el mismo proceso con tres estaciones, esto con el fin de realizar un proceso de trilateración a partir de los datos obtenidos.

Método de Huella Multitrayecto (MF, *Multipath Fingerprint*): Esta técnica aprovecha una de las perturbaciones más molestas a la hora de localizar un terminal móvil: las señales multitrayecto; esta técnica caracteriza las señales que llegan desde diferentes localizaciones. Para ello, el operador debe enviar unidades de prueba a distintos lugares con el fin de que las estaciones base graben las huellas multitrayecto y creen una base de datos para efectuar comparaciones. Por ejemplo, si se levanta un nuevo edificio la huella multitrayecto variará y tendrá que ser regrabada.

⁵Un arreglo es una agrupación de antenas idénticas, todas ellas alimentadas desde terminales comunes, que radian o reciben por tanto de modo conjunto y se comportan como una única antena con un diagrama de radiación propio [13].



Método de Tiempo de Llegada (ToA, *Time of Arrival*): Esta técnica se basa en la medición del tiempo de llegada de una señal transmitida por un terminal móvil a diferentes estaciones base; para efectuar el cálculo, una posibilidad es medir el tiempo de ida y vuelta de la señal, de esta manera la distancia recorrida por la señal se calcula como producto del tiempo empleado en llegar a la BS y la velocidad de la luz. Mediante ToA para obtener una precisión aceptable en el cálculo de la posición de un terminal es necesario efectuar medidas al menos respecto a tres estaciones base. Las medidas permiten trazar circunferencias con centro en cada una de las BS, dando su intersección como resultado el punto donde se encuentra el terminal que se desea localizar [15]. Posteriormente se transmiten al servidor de localización, que realiza los cálculos y corrige los errores utilizando métodos matemáticos.

Método de Diferencia en el Tiempo de Llegada (TDoA, *Time Difference of Arrival*): Al igual que en el caso anterior, este método es muy preciso y muy utilizado en los actuales sistemas de posicionamiento celular; TDoA emplea la diferencia entre los tiempos de llegada de la señal procedente del terminal móvil a distintos pares de estaciones base para calcular la posición [15]; el lugar geométrico de la posición para cada ecuación define una hipérbola en vez de la circunferencia de casos anteriores.

1.2.1.3. Posicionamiento en Interiores

El continuo y acelerado crecimiento en los sistemas inalámbricos de los últimos años y la baja de los costos en éstos, han propiciado la investigación y el desarrollo de este tipo de tecnologías y más aún, de los Sistemas de Localización y Posicionamiento por RadioFrecuencia (RF- LPS, *RadioFrequency - Location and Positioning Systems*) como parte de los LBS en interiores. A continuación se hace una breve descripción de las tecnologías más utilizadas para determinar el posicionamiento al interior de edificaciones y construcciones.

Infrarrojos (IR): La Radiación Infrarroja o radiación IR (*Infrared Radiation*) es un tipo de radiación electromagnética que se encuentra aproximadamente entre los $700nm$ y $300\mu m$. Entre sus numerosas aplicaciones (visión nocturna, termografía, meteorología, climatología, espectroscopia, etc.), la tecnología IR se utilizan como tecnología de proximidad más que de localización dado su limitado alcance (entre 5 y 10 metros máximo) [16]. Ya que la longitud de onda de las señales IR es muy pequeña en comparación con el tamaño de los obstáculos que se pueden encontrar en el interior de un edificio, éstas se reflejan en los mismos sin atravesarlos, dificultando la utilización de estas señales entre dos o más habitaciones.

Ultrasonido (US): Los sistemas de localización basados en US o SONAR (*Sound Navigation and Ranging*), están siendo cada vez más comunes entre los sistemas de localización en entornos interiores. La baja velocidad de propagación de las señales ($340m/s$ promedio) permiten realizar medidas precisas de los parámetros temporales de la señal US utilizando relojes de baja frecuencia caracterizándose por alcanzar precisiones de centímetros en la localización de un dispositivo móvil [17]. Debido a que las señales US no se propagan a través de las paredes u otros obstáculos, la infraestructura del sistema de localización inalámbrica por US deber ser instalada en cada habitación en la que se pretenda localizar; además, los factores ambientales tales como la humedad y la temperatura suponen cambios en la velocidad de propagación de las señales US [16].

Visión Artificial: La Visión Artificial, o visión por computador, es un subcampo de la inteligencia artificial. El propósito de esta tecnología es programar un computador para que entienda una escena o las características de una imagen, tratando de emular con una cámara la visión de

un ojo humano. Uno de los campos de aplicación de la visión artificial es localizar y guiar a personas o robots en entornos de interior utilizando las imágenes como métrica de localización en el diseño de estos sistemas [18]. En particular, estos sistemas de localización necesitan de información sobre la geometría y métricas del entorno mediante mapas de ocupación, mapas topológicos o incluso secuencias de imágenes [16].

Sistemas de Localización y Posicionamiento por Radiofrecuencia (RF- LPS): Respecto a la utilización de la tecnología de RF, numerosos investigadores optan por sistemas de comunicación de datos ya presentes en muchos entornos (principalmente WLAN y Bluetooth); la tecnología ZigBee es asimismo una alternativa debido a su bajo consumo y diseño orientado a redes de sensores inalámbricos [19], sin embargo dichas tecnologías no usan señales de radio propiamente dichas, se encuentran en el rango de las microondas del espectro electromagnético. Por otro lado, la Banda Ultra-Ancha (UWB, *Ultra-Wide Band*) de radio fue específicamente desarrollada para el posicionamiento [18], y es de las tecnologías más precisas, se logran buenas precisiones con errores inferiores a 1m en áreas despejadas o con visibilidad directa entre emisor y receptor [19]; sin embargo, los requisitos de sincronización de los sensores mediante cableado, y su elevado costo restringen su uso para localización. También se encuentra la tecnología de Identificación por Radio-Frecuencia (RFID, *Radio Frequency IDentification*), en la que un conjunto de etiquetas transmiten, periódicamente o por petición, una señal de radiofrecuencia con un código de identificación individual.

Los sistemas RF-LPS se caracterizan básicamente porque las técnicas y métricas para determinar la posición de un objeto son las mismas que para los sistemas celulares, básicamente las más utilizadas son la RSS, ToA y AoA [16]; la figura 1.7 muestra de manera general un sistema RF-LPS.

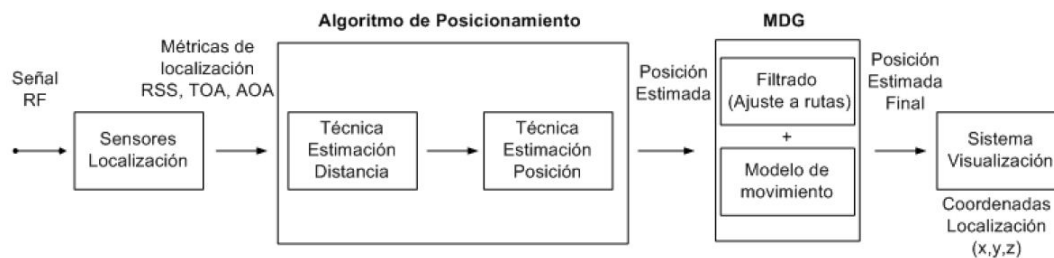


Figura 1.7: Diagrama de Posicionamiento por RF-LPS. Tomado de [16].

1.2.2. Tecnologías de transmisión de datos

Son varias las tecnologías que soportan los LBS o que están asociadas a ellos. Es posible establecer la posición de un objeto o persona de manera bastante precisa con cualquiera de las tecnologías mencionadas, es necesario ahora que esta información de alguna manera llegue a quien interese, pues no siempre a quien se localiza y determina su posición es el usuario final; para tal propósito dicha información debe ser convertida en datos y encontrar el medio de transporte más adecuado para que llegue hasta donde se le requiera.



1.2.2.1. GSM

GSM es una típica red WWAN conocido como estándar de segunda generación (2G), su principal diferencia respecto a la primera generación de teléfonos móviles es que las comunicaciones son totalmente digitales; su arquitectura básicamente se compone de dos partes principales: la red de acceso y la red de núcleo. El sistema GSM consta de varias redes de acceso, las cuales están interconectadas a la red de núcleo, quien permite la interoperabilidad con las redes telefónicas externas, por ejemplo RDSI; en GSM la red de acceso se denomina Subsistema de Estaciones Base (BSS, *Base Station Subsystem*), y la red central se denota Subsistema de Conmutación y Gestion (SMSS). La arquitectura resultante se representa en la figura 1.8.

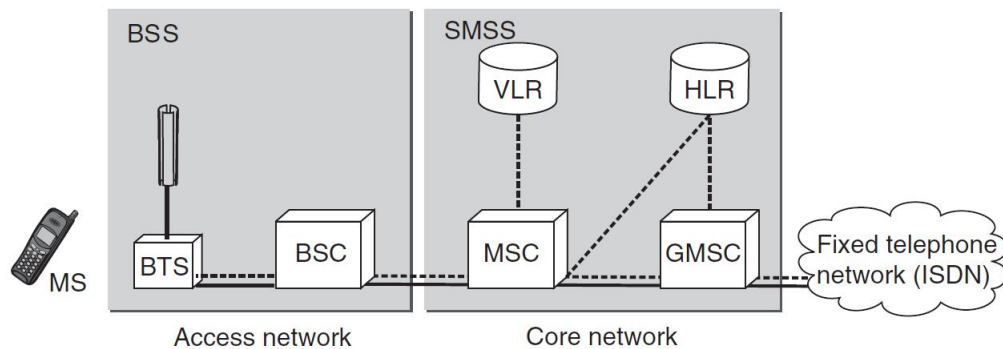


Figura 1.8: Arquitectura de GSM. Tomado de [1]

El BSS es responsable de la supervisión y el control de la interfaz de radio. Consta de dos componentes diferentes, Estación Base Transceptora (BTS, *Base Transceiver Station*) y los Controladores de la Estaciones Base (BSC, *Base Station Controller*). BTS es el término oficial para “Estación Base” (BS, *Base Station*) en GSM y por lo tanto contiene el transmisor y el equipo receptor, así como una antena. Un objetivo importante en el diseño de las estaciones base es que fuesen tan simples y económicas como era posible, por ello están equipados sólo con recursos muy limitados para la señal y el procesamiento del protocolo. La mayor parte del trabajo, como la asignación y liberación de los canales en la interfaz de aire, se realiza por el BSC, además es responsable del control y la ejecución de traspaso, función necesaria para mantener una conexión por conmutación de circuitos si el usuario se mueve entre estaciones base [1]; cada BSC controla varias estaciones base, que están conectados al BSC a través de líneas fijas cableadas o sistemas de enlace de radio.

El SMSS es una red fija de nodos de conmutación y bases de datos para establecer conexiones desde y hacia el MS y para su mantenimiento. Los componentes de conmutación son el Centro de Conmutación Móvil (MSC, *Mobile Switching Center*) y la Gateway MSC (GMSC), el primero se conecta con un número determinado de BSC de la red, mientras que el GMSC es la interfaz de conexión entre una red GSM y una red pública externa; por lo tanto, el MSC es responsable de servir a una región geográfica limitada, que está dada por todas las estaciones base conectadas al MSC sobre sus BSC; por otra parte, el GMSC es más bien un componente central que puede servir a una red GSM por completo [1]. GMSC y MSC están conectados a un Registro de Ubicación de Base (HLR, *Home Location Register*) y un Registro de Localización de Visitantes (VLR, *Visitor Location Register*) respectivamente, que almacenan la información de ubicación de cada suscriptor; la gestión y administración de la red se hace por medio de un Subsistema

de Operación y Mantenimiento (OMS, *Operation and Maintenance Subsystem*) (no mostrado en la figura 1.8), que apoya la administración y la operación comercial, gestión de seguridad, configuración de red y la gestión del rendimiento, así como tareas de mantenimiento [20].

1.2.2.2. GPRS

GSM fue diseñado inicialmente para ofrecer servicios de voz, los cuales, por su propia naturaleza son de conmutación de circuitos. En este tipo de circuitos se asignan canales dedicados entre nodos de conmutación en la red fija, así como entre el terminal y la estación base en la interfaz de radio, que están reservados para uso exclusivo mientras dura la conexión. Sin embargo, dada la necesidad de introducir servicios de conmutación de paquetes a finales de los 90's, los sistemas GSM clásicos se extendieron al Servicio General de Paquetes Radio, o vía Radio (GPRS, *General Packet Radio Service*); en este tipo de redes los datos se segmenta en varios paquetes, ya sea de tamaño fijo o variable, que se pasa a través de la red independientemente uno de otro; los canales entre nodos de conmutación sólo se asignan por el tiempo que se tarda en transferir un paquete y se liberan inmediatamente después [1]. GPRS utiliza los componentes de las redes GSM en la mayor medida posible, especialmente la infraestructura de las BSS (costosas y ya establecidas), a éste se le adicionaron un número de nuevos protocolos para permitir la transmisión de ráfagas de datos cortas sobre la interfaz radio, de este modo se reutiliza el hardware de GSM en buena medida. Sin embargo, para la parte de red fija fue necesario construir una segunda red de nuevos componentes que trabajasen en paralelo con la SMSS existente [20]; tales componentes se muestran en la figura 1.9.

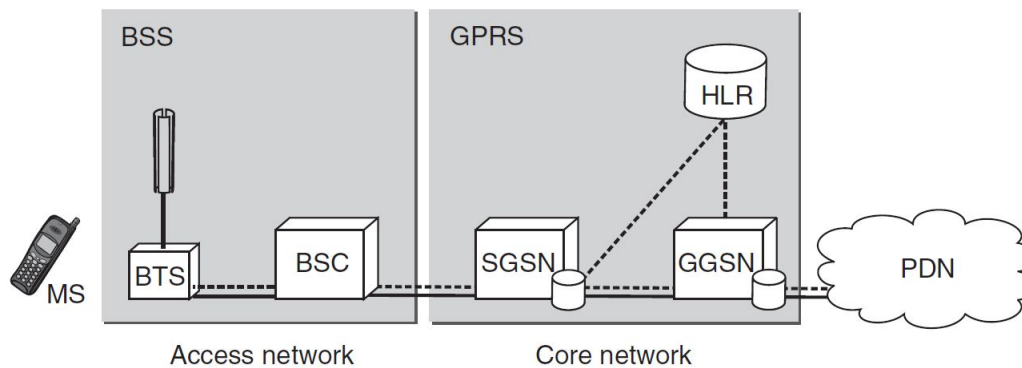


Figura 1.9: Arquitectura de GPRS. Tomado de [1]

Básicamente, la red central GPRS es una red basada en IP compuesto por un número de enrutadores para entregar paquetes entre una red externa de Paquetes de Datos o Red Pública de Datos (PDN, *Packet Data Network*) y un BSS [1]. GPRS se ha especificado para la interoperabilidad con redes X.25 e Internet (aunque casi todos los operadores hoy se soportan en acceso a Internet solamente). Los enrutadores se denominan Nodos de Soporte GPRS (GSN, *GPRS Support Nodes*) y son análogas a las MSC, difieren de los enrutadores convencionales ya que proporcionan mejores mecanismos para soporte de movilidad, además, son responsables de contar los paquetes basado en el volumen de carga. Existen dos tipos diferentes de GSN: el Gateway GSN (GGSN) es la contraparte de la GMSC de conmutación de circuitos y es responsable de la interconexión de la red de núcleo GPRS con una PDN externa. El GSN de Servicio (SGSN, *Serving*



GSN) es la contraparte de la MSC en la conmutación de circuitos y por consiguiente opera en una región geográfica limitada definida por el conjunto de estaciones base conectadas a él. Dependiendo de la configuración respectiva, una red puede contener varios GGSN, lo que significa que un SGSN no está asignado a un GGSN fijo ya que puede entregar y recibir paquetes desde y hacia diferentes GGSN [21].

1.2.3. Tecnologías de almacenamiento, procesamiento y uso de información geográfica

Otras tecnologías que soportan a los LBS son los sistemas que hacen uso de datos e información geográficos.

1.2.3.1. Bases de Datos Geográficas (BDG)

Las BDG hace parte de la capa de datos los LBS, mostrada en la figura 1.2; son una colección de datos que se han organizados de tal manera que sirvan para ser utilizados en otras aplicaciones tales como los GIS y permitan el almacenamiento estructurado de la información y su recuperación de manera selectiva confiable y eficiente, acorde a criterios espaciales para la gestión de la información geográfica [22]; en lo LBS, específicamente es la capa lógica que hace uso de tales datos para hacerlos visibles al usuario en la capa de presentación.

1.2.3.2. Sistemas de Información Geográfica (GIS)

Los GIS hacen parte de las NTIC y es una de las bases fundamentales de los LBS como se evidencia en la figura 1.3. Generalmente a los GIS se les interpreta erróneamente como una mera herramienta geográfica para la producción de mapas, no obstante de manera general se define a los GIS como sistemas donde “*se almacenan datos geográficos, se recuperan y combinan estos para crear nuevas representaciones del espacio geográfico; proporciona herramientas para el análisis espacial y realiza simulaciones para ayudar a los usuarios expertos a organizar su trabajo en muchas áreas, incluyendo la administración pública, las redes de transporte, aplicaciones militares, y los sistemas de información ambiental*” [1], así los GIS debe entenderse como un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar, representar y desplegar en todas su formas datos georreferenciados [23].

1.2.3.3. Servidores de Mapas de Internet (IMS)

Los IMS (*Internet Map Server*) permiten que los datos y la información que proporcionan tecnologías como las BDG y/o los GIS puedan ser utilizadas por cualquier usuario en cualquier lugar donde se tenga acceso a la red. Los IMS son servicios web que proporcionan cartografía en formato digital, basados en estándares desarrollados por el OGC (*Open Geospatial Consortium*), y que está siendo adoptado por los organismos responsables de producción de cartografía de todo el mundo [24] permitiendo a un usuario interactuar con información geográfica en forma dinámica por medio de un navegador web.



1.2.3.4. Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS)

Desde la década de los 70's los países con ciudades densamente pobladas y de mucho tráfico han visto la necesidad de incluir las nuevas tecnologías para permitir mejorar la movilidad, seguridad y eficiencia en sus sistemas de transportes, así surgió el concepto de ITS, definido por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*) como la aplicación de las TIC en los sistemas de gestión, infraestructura y medios de transporte. El término incluye los sistemas de comunicaciones que se utilizan entre la infraestructura de transporte y medios multimodales, como también, los sistemas de comunicaciones utilizados en los medios de transporte entre sí [25]. El concepto igualmente abarca tecnologías que permitan la ubicación y rastreo de los vehículos, y contempla el transporte aéreo, marítimo, terrestre y fluvial.

1.3. Sistemas de Referencia y de Coordenadas

Para lograr determinar la posición de un punto sobre la tierra, es necesario emplear un sistema de coordenadas que permita expresarla, respecto a un determinado sistema de referencia que muestre su origen y orientación.

1.3.1. Sistemas de referencia

Con base en el concepto de la física del movimiento, que lo define como el cambio con el tiempo de la posición espacial de un cuerpo, la posición de éste es una posición relativa, definida con relación a otros cuerpos, pues el concepto de 'posición absoluta', que sería la posición de un cuerpo en un "espacio absoluto" sin ninguna referencia a los otros cuerpos, carece de sentido; en consecuencia, se denomina **sistema de referencia** al *conjunto de cuerpos que permanecen en reposo relativo y que se utilizan como referencia para estudiar el movimiento de otros cuerpos* [26]. En Geodesia⁶ son necesarios, o se definen, dos tipos de sistemas de referencia:

- Sistemas de referencia terrestres
- Sistemas de referencia espaciales,

Los primeros, también denominados fijos a la Tierra, se utilizan para determinar coordenadas de puntos sobre la superficie terrestre o en sus proximidades; en consecuencia, al igual que la Tierra, están en continua rotación. En este tipo de sistemas de referencia no se cumplen las ecuaciones del movimiento de Newton al aparecer aceleraciones rotacionales (centrífuga y de Coriolis⁷). Por ello reciben el nombre de sistemas *no inerciales*. Estos sistemas asignan dos coordenadas para los desplazamientos planimétricos sobre la superficie terrestre y una tercera para definir la separación respecto a ésta.

Los sistemas de referencia fijos al espacio o *inerciales* son más apropiados para definir la situación y el movimiento de objetos externos a la Tierra como las estrellas, los planetas y de forma especial, los satélites artificiales; por ser sistemas libres de aceleración permiten efectuar cálculos empleando, sin modificaciones, la formulación newtoniana.

⁶Geodesia es la ciencia de medir y representar la figura y el campo de gravedad terrestre y de otros cuerpos celestes, así como su variación en el tiempo [27].

⁷La fuerza de coriolis es la que rige la dirección de los vientos y las borrascas.



Es necesario que ambos tipos de sistemas, con movimientos relativos entre ellos, estén perfectamente relacionados geoméricamente y en el tiempo, de allí la necesidad que existe en geodesia de mantener una base de tiempos precisa. La materialización física de los sistemas de referencia que constituye un **marco de referencia** se establece dando coordenadas a una serie de puntos geoméricos convenientemente establecidos en dicho sistema de referencia[28].

Los sistemas que están referidos a la Tierra se les denominan *sistemas de referencia geodésicos*, los cuales generalmente determinan una primera aproximación teórica de la Tierra a una elipsoide.

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 y mantenido 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 creado 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 [29].

El WGS84 mostrado en la figura 1.10 se define como sigue [30]:

- Origen coincidente con el geocentro, incluyendo océanos y atmósfera (error $\pm 2m$).
- 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.

Cuyos parámetros de la elipsoide de revolución asociada al sistema son:

$$\begin{aligned} \text{Semieje mayor } (a) &= 6'378.137m \\ \text{Semieje menor } (b) &= 6'356.752,3172m \\ \text{achatamiento } (f) &= 1/298,257223563 \\ \text{Constante de gravitación terrestre } (GM) &= 3,986004418 \times 10^{14} m^3/s^2 \\ \text{Velocidad angular } (\omega) &= 7,29211 \times 10^{-5} rad/s \end{aligned}$$

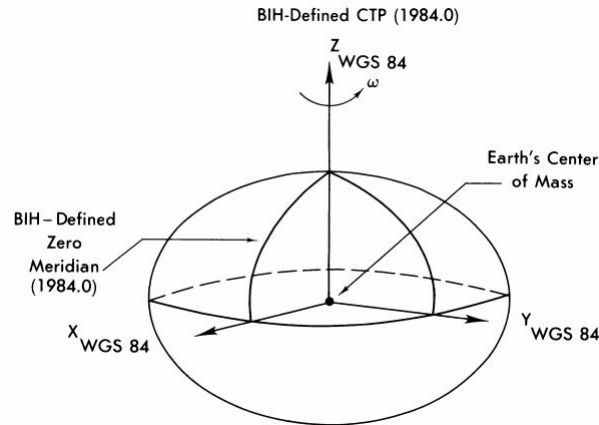


Figura 1.10: Definición del WGS84 del DoD. Tomado de [30].

1.3.2. Sistemas de coordenadas

Para realizar mediciones de posición y desplazamiento en un sistema de referencia, es preciso definir un sistema de coordenadas de algún tipo, y un origen. Un sistema de coordenadas es una creación artificial para permitir la definición analítica de un objeto o de un fenómeno; existen múltiples opciones para definir analíticamente la situación geométrica de un elemento y por tanto, es posible elegir entre diferentes sistemas de coordenadas. Ya que el espacio en el que vivimos es tridimensional, es necesario especificar tres cantidades por separado para determinar la posición de un punto con respecto al origen escogido. Existen varios sistemas de coordenadas fundamentales, estos sistemas por lo general son ortogonales, dextrógiros y cartesianos.

Entre los múltiples y casi infinitos sistemas de coordenadas que puedan existir, para el presente trabajo de grado se mencionan los siguientes:

1.3.2.1. Sistema de Coordenadas Inercial Geocéntrico (ECI, *Earth-Center Inertial*)

La terna del sistema hace coincidir su punto de origen con el centro de la masa terrestre y no se somete a rotación angular. El eje X se dirige hacia el equinoccio vernal y el eje Z se hace coincidir con el eje de rotación de la tierra, mientras que el eje Y es ortogonal a los dos anteriores, completando la terna dextrógira. La posición de un punto se expresa como un vector de coordenadas $[x^i \ y^i \ z^i]$, donde el superíndice i indica la terna ECI [31].

No obstante, en el sentido estricto, el sistema no es realmente inercial, pues se desprecia el movimiento de la tierra en torno al sol y el movimiento propio de éste respecto a las estrellas.

1.3.2.2. Sistema de Coordenadas ECEF

Es un sistema de referencia con el mismo origen que el sistema ECI, pero que rota con la tierra, donde el eje Z coincide con su eje de rotación, el eje X coincide siempre con el meridiano de Greenwich a la altura del ecuador, y el eje Y completa la terna dextrógira. Debido a la rotación que experimenta este sistema, es *no inercial*, lo que, como se dijo en la sección 1.3.1, dará origen a fuerzas aparentes actuando sobre un movimiento dado, análogamente a ECI, la posición



de un punto relativo al sistema de coordenadas ECEF se expresa como el vector $[x^e \ y^e \ z^e]$. Como se mencionó, por ser el sistema de coordenadas adoptado por el WGS84, el Sistema de Posicionamiento Global provee sus datos de posición y velocidad en estas coordenadas [31][30]. La figura 1.11 muestra la posición de los sistemas de coordenadas ECI y ECEF en la elipsoide.

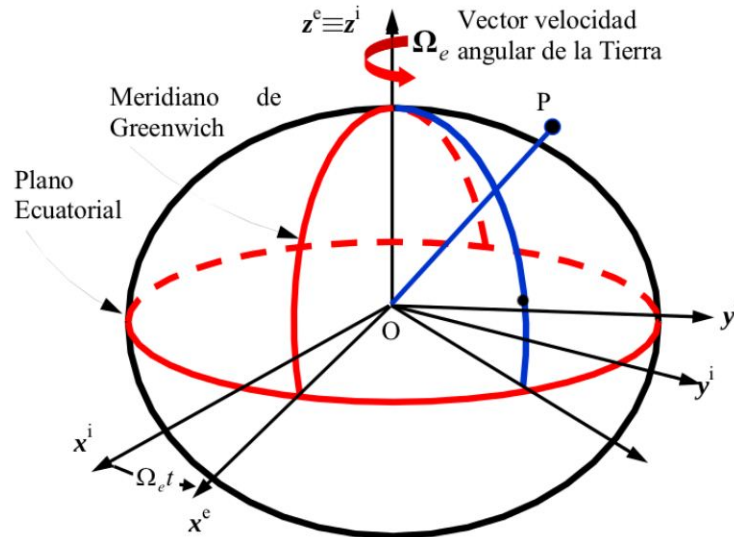


Figura 1.11: Sistemas de Coordenadas ECI y ECEF. Tomado de [31].

En donde $\Omega_e t$ representa la la distancia angular del sistema de coordenadas *no inercial* ECEF con respecto al sistema *inercial* ECI en un determinado tiempo t .

1.3.2.3. Sistema de Coordenadas Vertical Geodésica Local (LGV, *Local Geodtic Vertical*)

El sistema de coordenadas LGV tienen su base (más no su punto de origen) en el centro de gravedad de la tierra, su eje Z apunta hacia afuera (“Up”), o bien hacia adentro (“Down”), de forma paralela a la vertical geodésica local, mientras que los ejes X y Y forman un plano tangente local al elipsoide de referencia en el punto donde se encuentra la proyección de la posición del punto de localización. La dirección de los ejes debe ser tal de completar una terna derecha. Se desprenden dos ternas: la geográfica ‘ g ’ y la de nivel ‘ l ’. La primera es también conocida como terna NED (*North-East-Down*) dado que el eje X apunta hacia el Norte, el eje Y hacia el Este y el eje Z hacia el centro de gravedad de la Tierra; por el contrario, en la segunda terna el eje X apunta hacia el Este mientras que el eje y apunta hacia el Norte, el eje Z completa la terna derecha dextrógira, conocida como terna ENU (*East-North-Up*). La posición de un punto viene dada por su latitud, longitud y altura geodésica $[\Phi \ \lambda \ h]$ [32].

La figura 1.12 representa al sistema de coordenadas NED con el sistema de coordenadas elipsoidales ECEF.

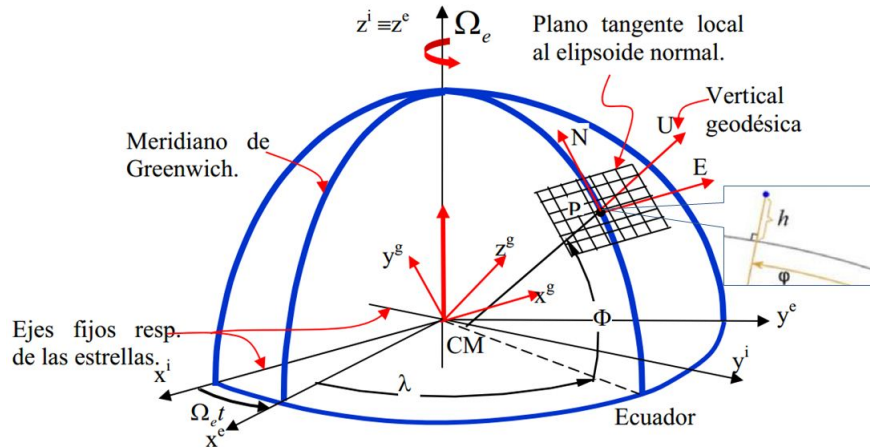


Figura 1.12: Sistema de Coordenadas NED, ECI y ECEF. Adaptado de [33].

1.3.2.4. Sistema de Coordenadas *Body*

Este sistema de coordenadas es normalmente utilizado en los sistemas de navegación inercial *strapdown*⁸ en los que los ejes coinciden con el centro de masas de un vehículo. Si bien los ejes de la terna del cuerpo pueden ser arbitrarios, estos suelen ser elegidos conforme a los planos de simetría del vehículo y/o a sus condiciones de desplazamiento nominal. La figura 1.13 representa

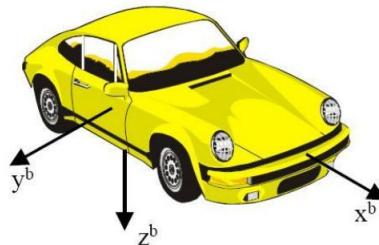


Figura 1.13: Sistema de Coordenadas *Body*. Tomado de [34].

un sistema de coordenadas *Body* para un automóvil. La posición de un punto en el sistema está representado por la terna $[x^b \ y^b \ z^b]$; regularmente el eje x^b apunta en dirección del avance del vehículo (o su “nariz”), el eje z^b apunta hacia “abajo” y el eje y^b completa la terna positiva.

1.4. Sensores Inerciales

La necesidad de estudiar, medir y, de mayor interés, 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

⁸El sistema strap-down es una simplificación mecánica del método “gimbaled”, en el sistema strap-down, los sensores inerciales esta rígidamente montados sobre un fuselaje y giran con él y no flotantes como en el “gimbaled”.

todo momento para tener un control pleno sobre el objeto que desea gobernar o interpretar, realmente todos son manifestaciones diferentes de una aceleración durante períodos de tiempo distintos. En el presente trabajo de grado se describen dos tecnologías que permiten medir de manera muy aproximada ciertos tipos de aceleraciones y movimientos.

1.4.1. Sistemas Micro Electromecánicos

Los avances en el campo de los semiconductores están dando lugar a circuitos integrados con características tridimensionales e incluso con piezas móviles. Una primera definición general para este tipo de dispositivos es que *se tratan de sistemas embebidos y especializados en miniatura que involucran uno o más componentes o estructuras micromaquinadas que actúan como sensores o actuadores para habilitar funciones en un nivel superior dentro de la estructura de sistemas más complejo* [35].

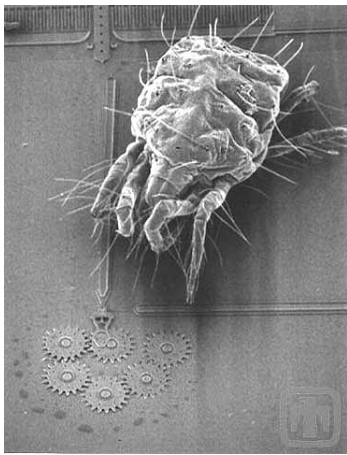


Figura 1.14: Relación de tamaños entre un ácaro y un dispositivo MEMS. Tomado de [36].

Esta tecnología, que se les conoce en los Estados Unidos como Sistemas Micro Electromecánicos (MEMS, *Microelectromechanical Systems*), pueden dar solución a muchos problemas que un microprocesador más el software no estarían en la capacidad de resolver. La tecnología de sensores ha hecho progresos significativos debido a los MEMS cuyas dimensiones se encuentran en el orden de los μm , basados principalmente en estructuras de silicio y que tienen un cierto grado de integración con circuitos electrónicos desarrollados en este mismo material [35], la figura 1.14 muestra una relación de tamaños entre un ácaro y un sistema de engranajes MEMS.

La complejidad y el rendimiento avanzado de los sensores MEMS han ido evolucionando con las diferentes generaciones de sensores; entre los más destacados se encuentra la Unidad de Medición Inercial (IMU, *Inertial Measurement Unit*), que consiste en un dispositivo electrónico que mide e informa acerca de la velocidad, orientación, fuerzas gravitacionales de un aparato, usando una combinación de acelerómetros y giróscopos.

A continuación se describen algunos MEMS de tipo comercial más utilizados, y se analizará su posible uso para el presente trabajo de grado.

1.4.1.1. Acelerómetro

El acelerómetro, como su nombre lo indica, mide la aceleración de un objeto al que va unido, esta medida la realiza respecto de una masa inercial interna anclada a un punto fijo que se mueve libremente en el eje de medición, generando variaciones a las paredes capacitivas del dispositivo. Cuando una aceleración actúa, toda esta masa se desplaza respecto a su posición de origen y crea un desequilibrio en la capacitancia, que se mide y da información de la aceleración que está actuando en ese eje; normalmente la unidad de medida en la salida es en g 's donde $1g$ representa el valor de la aceleración gravitacional ($\approx 9,8m/s^2$). La figura 1.15 muestra la estructura interna de un tipo de acelerómetro MEMS.

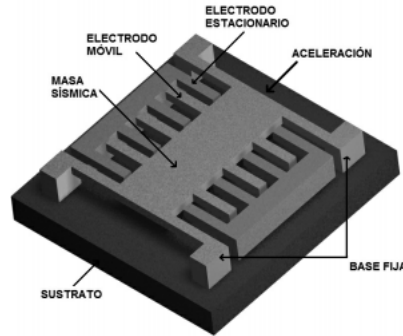


Figura 1.15: Acelerómetro de tipo capacitivo. Tomado de [37].

1.4.1.2. 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 (figura 1.16(a)), basado en el efecto Coriolis que aparece cuando se gira en forma de variaciones en la resonancia, 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 interpretadas en unidades de $^{\circ}/s$.

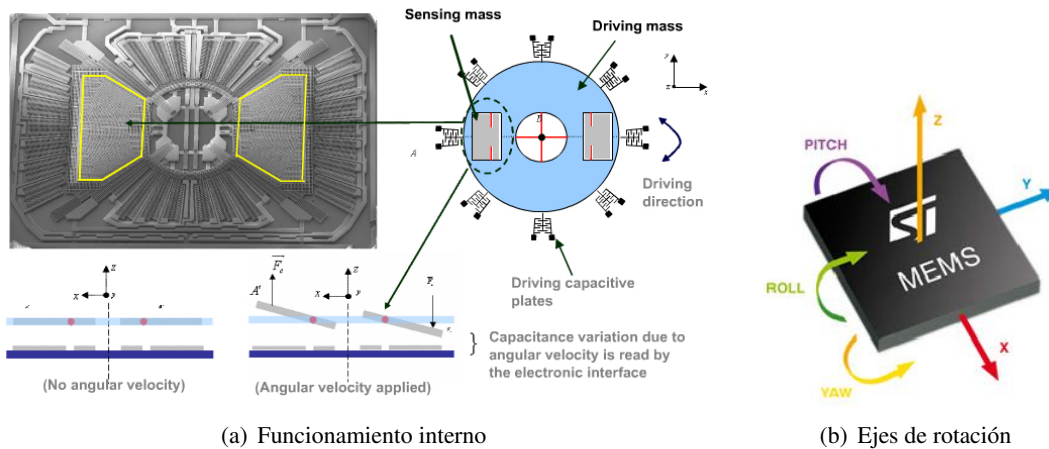


Figura 1.16: Giroscopio de estructura vibrante MEMS. Tomado de [38]

Los ejes de rotación de un giroscopio se han determinado de acuerdo a la navegación aeronáutica, como se ve en la figura 1.16(b); 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.

1.4.2. 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 electrónico y obtener la información de manera digital, un odómetro de esta clase es, por ejemplo, los que se instalan en las ruedas de las bicicletas cuyos sensores son de tipo magnético, tal y como se observa en la figura 1.17.



Figura 1.17: Odómetro electrónico de bicicleta.

Un odómetro electrónico es también un sensor inercial [39], ya que si se hace uso de un control de tiempos, no sólo es posible determinar la distancia recorrida, sino la velocidad. En el presente trabajo de grado se muestra un odómetro electrónico digital que permite hacer cálculos tanto de distancia como de velocidad, desarrollado por los autores.

1.5. Microcontroladores y Sistemas Embebidos

Un sistema embebido, también conocido como sistema empotrado, es una combinación de hardware, software y, eventualmente, componentes mecánicos diseñados para realizar una función específica. La característica principal es que emplea para ello uno o varias Unidades de Procesamiento Central (CPU, *Central Processing Unit*) en formato microprocesador, microcontrolador o Procesador Digital de Señales (DSP, *Digital Signal Processor*) lo que le permite aportar “inteligencia” al sistema anfitrión al que ayuda a gobernar y del que forma parte [40]. A continuación se describen de manera general algunas de las tecnologías más usadas en la actualidad.

1.5.1. Microcontroladores

Los microcontroladores son computadores digitales integrados en un chip que cuentan con una CPU, 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 PC, 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 posean la ventaja de reprogramarse repetidas veces [41].

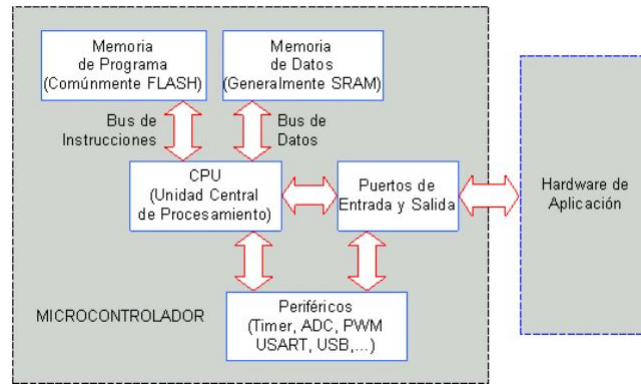


Figura 1.18: Estructura general de un Microcontrolador. Tomado de [42].

La figura 1.18 representa la estructura general de un microcontrolador y sus componentes internos. Existen una amplia gama de familias de los microcontroladores en el comercio que, entre otras, 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.

1.5.2. Arduino

Dentro de los Sistemas Embebidos, muy característicos son los dispositivos Arduino que se usan como Sistemas de Control. Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basado en hardware y software de uso fácil, está dirigido a cualquier persona que hace proyectos interactivos.

Basado en la línea de microcontroladores Atmel AVR de 8 bits, la configuración de sus pines analógicos, digitales y otros, se convirtió en una innovación que ha llegado a ser un estándar de la industria. Es una plataforma de desarrollo sólida, tanto para expertos en hardware como para principiantes. El verdadero avance tecnológico de Arduino no está realmente en el hardware, sino en el software. Si bien hay muchas otras plataformas que ofrecen una funcionalidad similar, el Arduino ha logrado, abarcar los complejos y desordenados detalles de la programación de microcontroladores en un paquete fácil de usar. La figura 1.19 muestra una tarjeta de Arduino de tipo comercial.

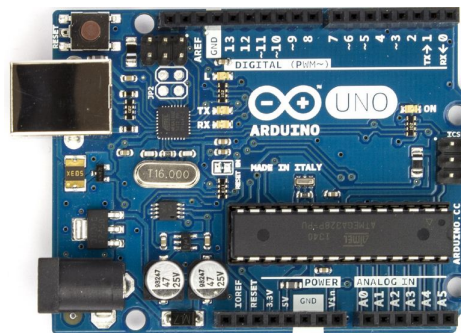
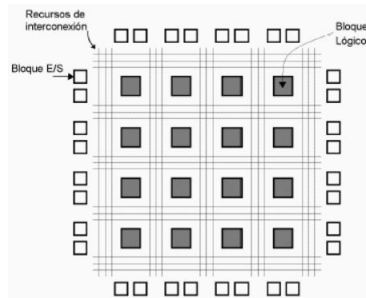


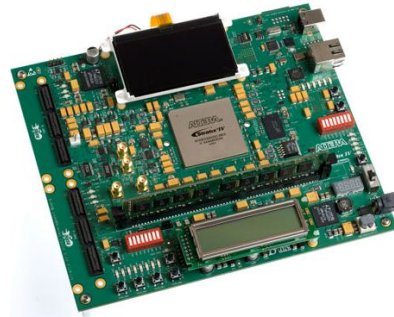
Figura 1.19: Tarjeta Arduino UNO comercial. Tomado de www.arduino.cc.

1.5.3. FPGA

Los Arreglos de Compuertas Programables en Campo (FPGA, *Field Programmable Gate Array*) son circuitos lógicos programables directamente por el usuario, los cuales están interconectados entre sí y con celdas de entrada/salida mediante canales de conexión verticales y horizontales, tal como muestra la figura 1.20(a) En general, se puede decir que posee una estructura bastante regular, aunque el bloque lógico y la arquitectura de rutado varía de un fabricante a otro [43]; la figura 1.20(b) muestra la tarjeta de proyectos Stratix IV E FPGA de Altera®.



(a) Arquitectura básica de una FPGA.



(b) Tarjeta Stratix IV E FPGA de Altera®.

Figura 1.20: FPGA de tipo comercial. Tomado de [43] y www.altera.com

La FPGA posee un bloque lógico que consta de una parte combinacional, que permite implementar funciones lógicas booleanas, más una parte secuencial que permite sincronizar la salida con una señal de reloj externa e implementar registros, de esta manera puede ser usada para proyectos complejos de electrónica de control.

De este tipo de tarjetas existen múltiples tecnologías y fabricantes, entre otras, las más conocidas por su amplio uso son: RASPBERRY PI, BeagleBone y LaunchPad de Texas Instruments, pcDuino, Tessel y Wiring Hardware. Al comparar estas tarjetas con su microcontrolador, son de gran tamaño, pero de múltiples funcionalidades y gran capacidad.

Capítulo 2

Diseño y Desarrollo del Sistema Prototipo

En este capítulo se presenta la metodología para el desarrollo del Sistema Prototipo⁹ de Monitoreo de Vehículos mediante GPS y Sensores Inerciales con Soporte en la Red GSM/GPRS (En adelante: SMV, Sistema de Monitoreo Vehicular). En general las metodologías presentan un enfoque sistemático secuencial para el desarrollo de software, pero puede ser fácilmente adaptado para el desarrollo conjunto de software y hardware, y de proyectos en general. Dadas las necesidades de desarrollar un proyecto que involucra a ambos (tanto software como hardware), la metodología seleccionada es del tipo estructurada y no orientada a objetos, esto es, las divisiones de los procesos que intervienen en el sistema a desarrollar se hace según su complejidad y no según su funcionalidad [45].

En este sentido, la metodología presentada en este trabajo de grado es el Modelo Lineal Secuencial, también llamado “ciclo de vida clásico” o “modelo en cascada”, el cual sugiere un enfoque sistemático y secuencial de varias fases o etapas para el desarrollo de sistemas [46], mostrado en la figura 2.1.

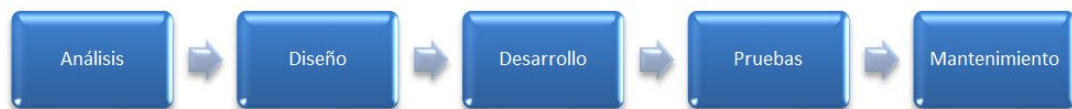


Figura 2.1: Modelo Lineal Secuencial. Adaptado de [46].

A continuación se describen cada una de las fases del Modelo Lineal Secuencial. Las dos últimas etapas del modelo (pruebas y validación, entrega y mantenimiento), se detallarán en el siguiente capítulo.

⁹Se define como prototipo al *desarrollo de la versión preliminar de un sistema (...)* que permite la investigación de determinados aspectos de este sistema (...). El propósito de un prototipo es obtener la información necesaria tan rápidamente como sea posible, utilizando para ello el mínimo de recursos o inversiones, por lo tanto, es habitual que se concentre en ciertos aspectos del desarrollo del sistema e ignore otros. [44]



2.1. Fase de Análisis de Requerimientos

El presente trabajo detalla los procesos de implementación de un sistema prototipo que permita el monitoreo de vehículos mediante un sistema global de navegación satelital, como el GPS, y Sensores Inerciales, basándose en una tecnología de transmisión de datos inalámbrica lo suficientemente extendida en una región geográfica, tal como el GSM/GPRS. El SMV se orienta a la integración de tres tecnología aparentemente disociadas: los GNSS, los Sensores Inerciales y las NTIC para alcanzar un fin común: el monitoreo constante de un vehículo por parte de un usuario en grandes extensiones geográficas.

2.1.1. Determinación de los Requerimientos

Se plantea la necesidad de diseñar y desarrollar un SMV que integre Sensores Inerciales, GPS, una interfaz de usuario con GIS .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 la red de internet. El sistema tendrá la capacidad de 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 SMV contará con varios módulos para su funcionamiento: 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; Sensores Inerciales que tengan la capacidad de medir las distancias y las direcciones de giro en el momento en que el módulos 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; un módulo GSM/GPRS tendrá como función enviar esa información (de forma periódica o por solicitud del usuario) por medio de esta red haciendo uso del protocolo TCP/IP a una BDG, desde donde se captura para ser usada por un GIS en el que se hace totalmente visible como un punto de ubicación o trayectoria de recorrido dentro de un mapa geográfico por parte de usuario.
- **Requerimientos de usuario:** El SMV, permitirá 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, desde un IMS y/o GIS. El usuario no necesariamente estará cerca al vehículo, el SMV debe permitir el monitoreo del vehículo de manera remota.

2.1.2. Diagrama de casos de uso

En el diagrama mostrado en la figura 2.2 se estipulan los requerimientos que definen el alcance del desarrollo del sistema. Asimismo como la forma en que el sistema debe responder a la interacción con el usuario.

El administrador ingresa a los usuarios nuevos con un nombre y una contraseña, éstos podrán iniciar sesión en una aplicación web donde tendrán acceso a la información de posición, velocidad y visualización en mapas geográficos del estado de su vehículo.

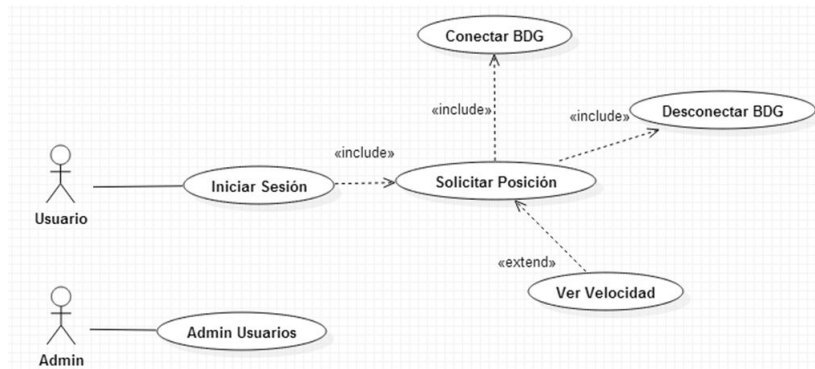


Figura 2.2: Diagrama de casos de uso de la interfaz de usuario.

2.2. Fase de Diseño

2.2.1. Diseño Modular del Sistema

Con 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 2.3 muestra el diseño en diagrama de bloques para el SMV según los requerimientos planteados.

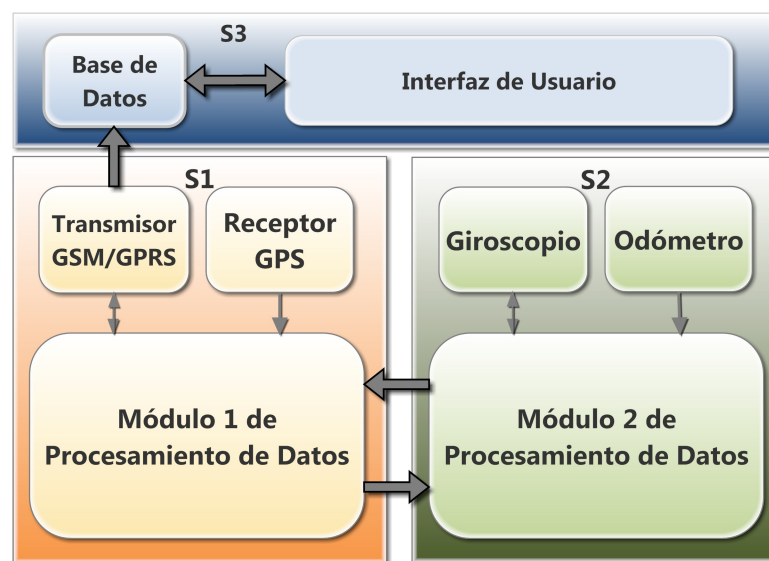


Figura 2.3: Diseño en Módulos del SMV.

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 almacenarán de manera definitiva los datos de posición y velocidad del vehículo, y se mostrarán los servicios al usuario final.

2.2.2. Diagrama de Flujo de Datos del Sistema

La figura 2.4 ilustra el diagrama de flujo de datos del SMV, representa la secuencia lógica de los datos y la información desde cada uno de los módulos del sistema hasta el almacenamiento de la información en la Base de datos. Originalmente los dispositivos se activan y se inician para generar información de posicionamiento, si hay datos fiables (tramas válidas) del módulo receptor GPS, el módulo GSM/GPRS se conectará al servidor y enviará datos de velocidad y posición geográfica que se almacenarán en la Base de Datos. Por otro lado, si los datos del GPS no son válidos (contienen errores o no están disponibles), se reactiva el subsistema S2, se leen y procesan los datos de los sensores inerciales calculando posición y velocidad, esta información se envía al subsistema S1 para ser enviada por el módulo GSM/GPRS al servidor donde se almacenarán en la Base de Datos.

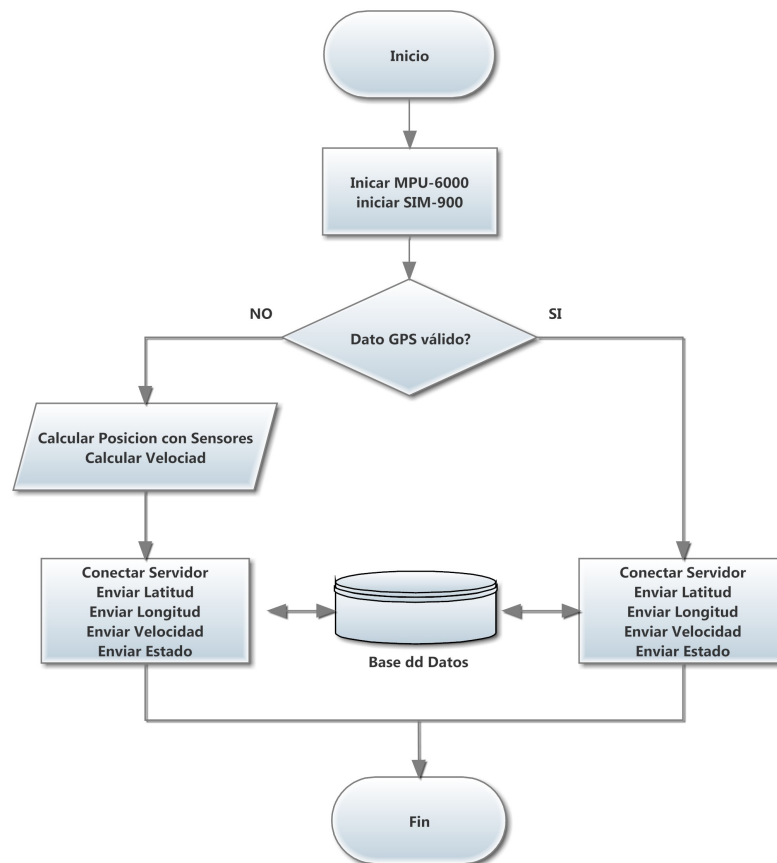


Figura 2.4: Diagrama de flujo de datos del Sistema.



Una vez sea almacenada la información correcta en la Base de Datos, el usuario puede hacer uso de ella por medio de la interfaz gráfica.

2.2.3. Diseño específico de los Módulos

El diseño y desarrollo del SMV, para alcanzar los requerimientos técnicos y de usuario, se basa en el uso y adaptación de dispositivos y sistemas tecnológicos ya existentes en el mercado. A continuación se describe la elección de los componentes electrónicos y de software correspondientes a cada módulo del diseño general del sistema; tal elección en la mayoría de los casos responde a criterios limitados en costo, disponibilidad y especificaciones tecnológicas, sin embargo se aclara que el diseño y desarrollo del SMV planteado en el presente trabajo de grado está delimitado sólo por las tecnologías que componen a un LBS descritas en el capítulo uno y que están presentes en cada uno de los módulos y subsistemas de este diseño, y no por los dispositivos específicos que los integran.

2.2.4. Diseño del Subsistema S2

El subsistema S2 ilustrado en la figura 2.3 se compone por dos módulos claramente definidos: El Módulo de Sensores Inerciales (giroscopio y odómetro) y el Módulo 2 de Procesamiento de Datos, a continuación se detalla su diseño.

2.2.4.1. Módulo de Sensores Inerciales

El Módulo de Sensores Inerciales está compuesto por dos tipos de tecnologías: MEMS y de Odometría; los elementos que componen este módulo se muestran en la figura 2.3 como Giroscopio y Odómetro. Ambos operan de manera independiente situados en diferentes zonas dentro del vehículo alejados uno del otro. A continuación se describen tales dispositivos.

Sensores MEMS

El dispositivo de Sensores MEMS de la figura 2.5 es de tipo comercial e integra un acelerómetro y giroscopio de gran precisión, los criterios de selección son los mismos usados para el módulo GPS (sección 2.2.5.1), por ello se escogió la *IMU Motion Processing UnitsTM MPU – 6000TM*, de la compañía InvenSense. Inc., pero montado sobre una placa electrónica Arduino modelo GY-521 mostrado en la figura 2.5. El acelerómetro y giroscopio que posee son de tipo triaxiales y de bajo costo, especialmente teniendo en cuenta el hecho de que combina estos dos tipos de MEMS.



Figura 2.5: Sensor Inercial IMU MPU-6000TM. Tomado de www.arduino.cc

Las características técnicas de la IMU se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Especificaciones técnicas del sensor inercial IMU MPU-6000TM

Especificación Técnica		Unidades
Dimensiones		2,1 x 1,6 x 0,3 cm
Ejes		X, Y, Z
Protocolos de comunicación		SPI, I ² C
Tamaño trama de información		16 bits por cada eje
Acelerómetro	Rango de aceleración	±2, ±4, ±8, ±16g
	Densidad espectral de potencia	400 $\mu g\sqrt{Hz}$
	Taza de datos de salida	4–1.000 Hz
Giroscopio	Rango de giro	±250, ±500, ±1,000, ±2,000°/s
	Taza de densidad espectral de ruido	0,005 °/s/ \sqrt{Hz}
	Tasa de datos de salida	4–8.000 Hz
Tasa de muestreo		200 Hz
Voltaje de operación		3V–5V

El sensor inercial se comunica directamente con el Módulo 2 de Procesamiento de Datos mediante el protocolo Interfaz de Periféricos Serie (SPI, *Serial Peripheral Interface*), criterio de mayor peso para la elección de este dispositivo por ser el tipo de comunicación más veloz en la transferencia de datos comparada con el protocolo Inter-Circuitos Integrados (I²C, *Inter-Integrated Circuit*).

Pese a que con los datos de aceleración de un móvil fácilmente es posible calcular la posición de éste mediante un proceso de doble integración (ecuaciones de la Cinemática), en el diseño que se muestra en el presente trabajo de grado no se hace uso de los datos entregados por el acelerómetro, ello se debe al error acumulativo que se obtiene por este tipo de sensores debido al error de deslizamiento inherente a los acelerómetros, trayendo como consecuencia que al realizar la doble integración (para obtener primero la velocidad y posteriormente la posición), se obtenga un error que se irá acumulando con el tiempo, con lo que la posición estimada distará notablemente de la posición real; las medidas sólo son fiables durante un breve periodo de tiempo. En este sentido, de la IMU sólo se hará uso del giroscopio, con el cual se obtendrá la dirección y el ángulo de giro del vehículo; esta información es completada con la emitida por el Odómetro Electrónico y así obtener una coordenada de posición muy aproximada a la real.

Este dispositivo combina los tres ejes del giroscopio con los tres ejes del acelerómetro, incluye un Procesador Digital de Movimiento (DMP, *Digital Motion Processor*). El giroscopio es capaz de medir hasta 2.000 grados por segundo y transmitirlos a una velocidad de 1Mhz empleando el protocolo de comunicación SPI. En la figura 2.6 se presenta el diagrama en bloques del MPU- 6000.

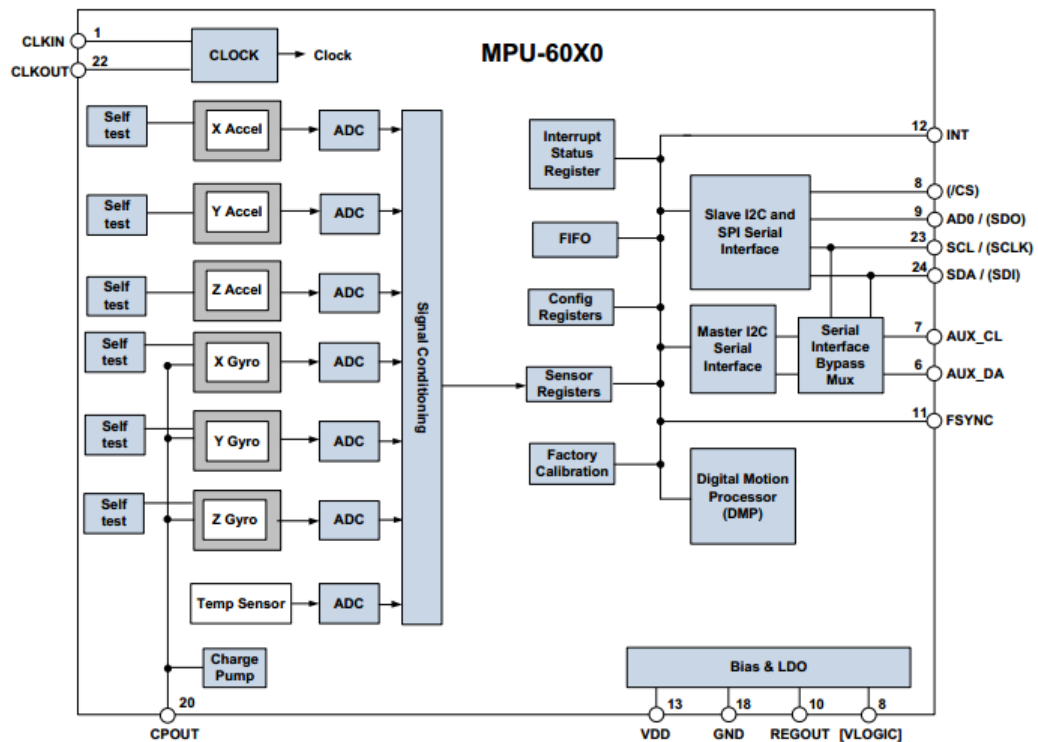


Figura 2.6: Diagrama en Bloques del MPU-6000TM. Tomado de [47]

Como se observa en la figura 2.6, el MPU-6000TM posee un procesador digital de movimiento (DMP), que debe ser configurado y programado para que integre la señal correspondiente al movimiento angular proveniente del giroscopio y se pueda determinar el ángulo de giro, el registro FIFO (*First Input, First Output*), es un registro de tamaño variable, en donde se almacenan todos los cálculos realizados por el DMP. La compañía InvenSense proporciona el código de programación de la DMP, es un código de 3.600 bytes, con algunos campos modificables que se pueden editar dependiendo de los requerimientos. También cuenta con un registro de estado de interrupción que se activa cada 5 ms, indicando que hay nuevos datos en el registro FIFO.

La secuencia de procesamiento de la información se puede apreciar en la siguiente figura.

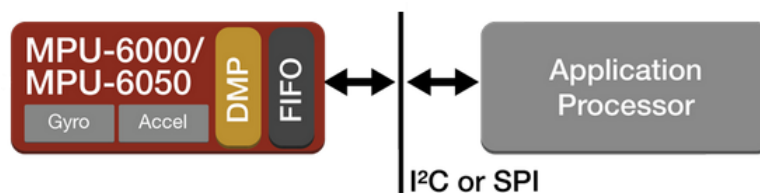


Figura 2.7: Secuencia de procesamiento del MPU-6000TM. Tomado de [47]

Una de las características del DMP es que los cálculos que realiza los guarda como cuaterniones en el registro FIFO.

Los cuaterniones son números hipercomplejos de la forma $a + bi + cj + dk$, donde a, b, c, d son números reales y las tres unidades imaginarias i, j, k tienen cuadrado igual a -1 , fueron desarrollados para describir un punto en el espacio tridimensional, de forma similar a como los

números complejos describen puntos del plano [48]. Se denotan como:

$$q = q_0 + q_1 + q_2 + q_3 \quad (2.1)$$

La utilización de cuaterniones permite representar una rotación de forma más compacta (4 números) que con una matriz ortogonal (9 números), es robusto a errores de redondeo en la concatenación de rotaciones.

Una característica de los cuaterniones es que también se puede representar una rotación con una matriz de rotación [49], tal como:

$$\begin{pmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2q_1q_2 + 2q_0q_3 & 2q_1q_3 - 2q_0q_2 \\ 2q_1q_2 - 2q_0q_3 & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2q_2q_3 + 2q_0q_1 \\ 2q_1q_3 + 2q_0q_2 & 2q_2q_3 - 2q_0q_1 & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

La complejidad de los cuaterniones nos lleva a buscar un método que nos permita extraer del cuaternion el ángulo de dirección, para tal proceso se emplea la matriz de rotación de Euler, que consiste en una matriz generada a partir de la multiplicación de matrices de movimiento de los ejes coordenados (X, Y, Z) tal como:

$$R_x(\phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi) & \text{sen}(\phi) \\ 0 & -\text{sen}(\phi) & \cos(\phi) \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

$$R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\text{sen}(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

$$R_z(\psi) = \begin{pmatrix} \cos(\psi) & \text{sen}(\psi) & 0 \\ -\text{sen}(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Se debe tener en cuenta la secuencia de rotación para posteriormente realizar la multiplicación, para éste caso se empleará la secuencia (123) mostrado en la figura 2.8, lo cual indica que la multiplicación de debe realizar $R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi)$. Esta configuración de rotación se debe guardar en la DMP del dispositivo, para que realice los cálculos correctamente. Una vez hecha la multiplicación se tiene la matriz de rotación:

$$R(\phi, \theta, \psi) = \begin{pmatrix} c(\theta)c(\psi) & c(\theta)s(\psi) & -s(\theta) \\ s(\phi)s(\theta)c(\psi) - c(\phi)s(\psi) & s(\phi)s(\theta)c(\psi) + c(\phi)c(\psi) & c(\theta)s(\phi) \\ c(\phi)s(\theta)c(\psi) + s(\phi)s(\psi) & c(\phi)s(\theta)s(\psi) - s(\phi)c(\psi) & c(\theta)c(\phi) \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

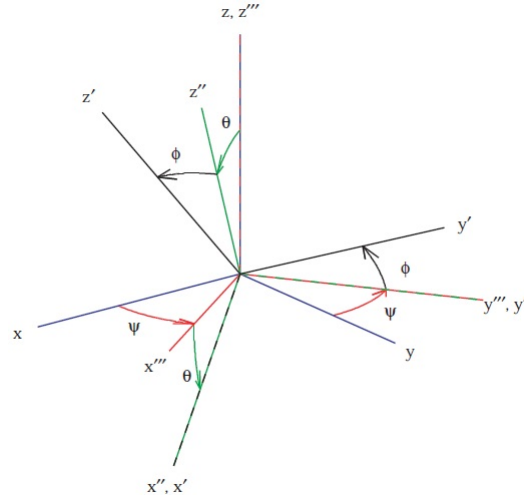


Figura 2.8: Secuencia de ángulo de Euler (123)

La matriz de rotación de cuaterniones y la matriz de rotación de Euler están estrechamente relacionadas, por lo tanto, la solución de una es equivalente a la solución de la otra. Como ψ es el ángulo que se requiere, la solución para éste será:

De la Matriz de Rotación de Euler:

$$\psi = \arctan\left(\frac{r_{12}}{r_{11}}\right) \quad (2.7)$$

Por lo tanto de la Matriz de Rotación de Cuaterniones:

$$\psi = \arctan\left(\frac{2q_1q_2 + 2q_0q_3}{q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2}\right) \quad (2.8)$$

De esta manera se logra extraer del cuaternion el ángulo de dirección. Todo éste proceso matemático se lleva a cabo en el módulo 2 de procesamiento de datos.

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 presente trabajo de grado, fue necesario diseñar, programar, implementar y probar este dispositivo; para ello se tuvo a consideración los siguientes requerimientos:

- Deberá medir de manera precisa cada vuelta dada por la rueda.
- Deberá tener la capacidad de medir revoluciones de hasta 840 RPM [velocidad vehicular de 100 km/h, para vehículos con ruedas de 13' ($\approx 33cm$) de radio].

- Debe tener la capacidad de medir la velocidad instantánea por cada vuelta dada.
- Debe 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 2.9

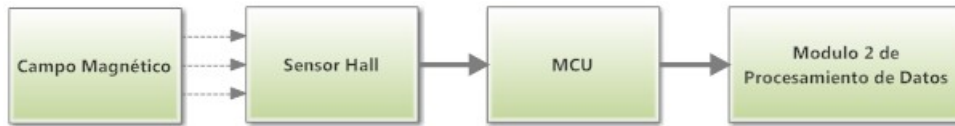


Figura 2.9: Diseño del Odómetro Electrónico.

El diseño del odómetro se hizo con el fin de 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 gráfica 2.10, por lo tanto cualquier perturbación ocasionará que éste nivel de voltaje varíe dependiendo del campo que detecte, aumentará su valor si detecta un sur magnético o lo disminuirá si por el contrario detecta un norte.

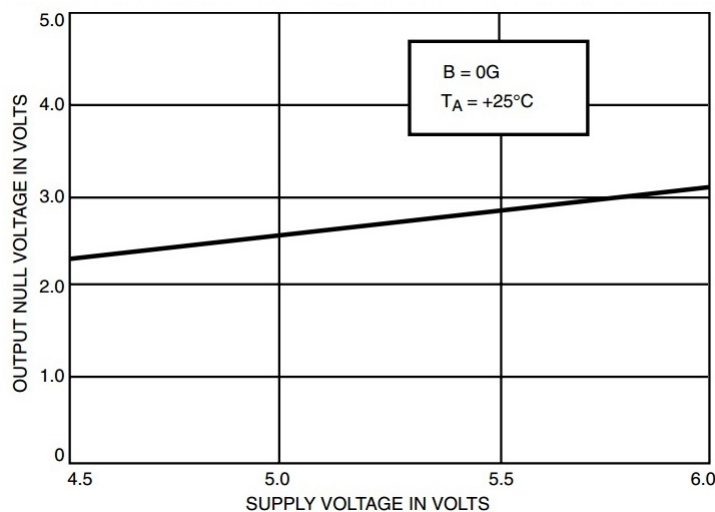


Figura 2.10: Nivel de voltaje de salida en función de voltaje de alimentación sin campo magnético del sensor de efecto Hall. Tomado de [50]

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 siguiente diagrama de flujo representa la secuencia lógica del proceso descrito:

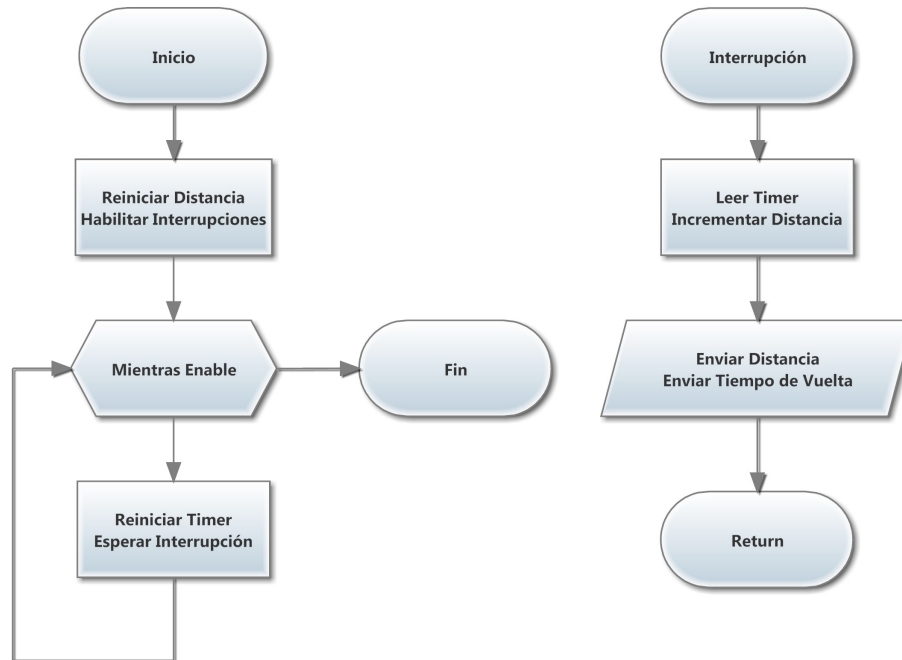


Figura 2.11: Diagrama de Flujo del Odómetro. Autores

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 1μ seg tal como se observa en el resultado 2.9, por lo tanto cada proceso será múltiplo de cada instrucción.

$$T_{inst} = \frac{4}{4Mhz} = 1useg \quad (2.9)$$

En la siguiente tabla se analiza los criterios de selección para la velocidad de transmisión:

Tabla 2.2: Selección de la velocidad de TX del Odómetro

Velocidad de TX (bps)	Tiempo de Bit (useg)	Tiempo de Bit Procesado (useg)	Velocidad de TX Procesada(bps)	Error (%)
9.600	104,166	104	9.615	0,156
19.200	52,083	52	19.230	0,156
38.400	26,041	26	38.461	0,158
57.600	17,361	17	58.823	2,123

De la tabla 2.2 se puede apreciar que para los valores de 9.600 bps y 19.200 bps se presenta el mismo porcentaje de error, teniendo en cuenta que se requiere una comunicación en el menor tiempo posible, se opta por emplear la velocidad de transmisión de 19.200 bps.

La trama enviada se forma a partir de los 4 bytes que conforman un número decimal en formato

float, según el estándar IEEE [51] para números flotantes, a ésta trama se le antepone el signo \$ o (0x24) para identificar el comienzo de la misma.

La figura 2.12 presenta el diagrama circuital diseñado para la construcción del odómetro electrónico.

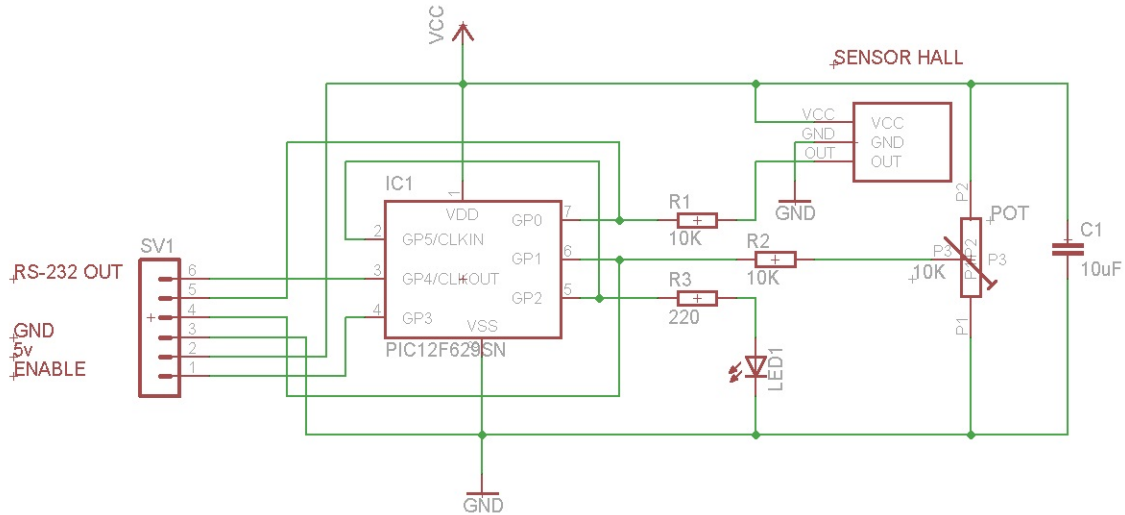


Figura 2.12: Diagrama Circuital del Odómetro

En el dispositivo se emplea un potenciómetro encargado de controlar el voltaje de referencia, con el cual se establece la sensibilidad del mismo, también se implementó un pin de enable/disable con el que se controla el reinicio de la distancia.

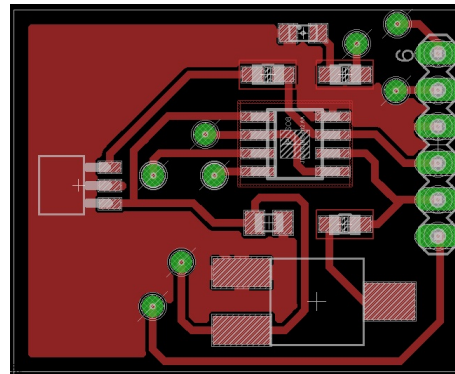


Figura 2.13: Placa PCB del Odómetro

La Tarjeta de Circuito Impreso (PCB, *Printed Circuit Board*) diseñada es de 3cm x 3cm para ser montada en la mordaza del freno delantero del vehículo. Como se observa el sensor de efecto hall se encuentra hacia un lado de la placa, esto con el fin de minimizar los efectos del campo magnético sobre los demás componentes, al generarse pequeñas corrientes que puedan interferir con el normal funcionamiento.

La tecnología de Sensores Inerciales del tipo MEMS, especialmente los IMU que han tenido gran auge y desarrollo en la aplicación de múltiples sistemas y dispositivos en los últimos años, no han sido suficientemente aplicados y usados como sistemas integrados a módulos GPS para



respaldo de éstos en LBS, en ese sentido, el presente trabajo de grado puede ser considerado un referente técnico y bibliográfico para estudios y/o aplicaciones futuras de esta misma línea investigativa.

2.2.4.2. Módulo 2 de Procesamiento de Datos

Los módulos 1 y 2 de procesamiento de datos que se muestran en la figura 2.3 como componentes de los subsistemas S1 y S2 respectivamente, son quienes manipulan y procesan toda la información de éstos subsistemas; es la Unidad Central de Procesamiento de datos de los dispositivos hardware del sistema.

De la gama de posibilidades existentes de la tecnología moderna para sistemas de control electrónicos, mostrados en la sección 1.5, dada la importancia del tamaño como criterio de selección en los dispositivos hardware, se descartó la posibilidad de utilizar tarjetas de proyectos de Sistemas Embebidos por ser voluminosas. El dispositivo para el Procesamiento de Datos elegido fue un microcontrolador de Microchip Technology Inc, de la gama PIC; tal elección fundamentalmente se hizo por el conocimiento de los autores en este tipo de microcontroladores. La tabla comparativa 2.3 muestra las características técnicas de dos de las múltiples familias de Microchip más utilizadas.

Tabla 2.3: Características técnicas de la familia PIC16F y PIC18F de Microchip Technology Inc

PIC	Memoria de Programa Bytes	ERPOM Bytes	RAM Bytes	N° de pines E/S	Oscilador interno	N° de Canales A/D	Comunicación digital	Timers	Encapsulado
PIC16F628	2 k	128	224	16	4 MHz	0	1-A/E/USART	2 de 8bits 1 de 16bits	18 pines PDIP
PIC16F88	4 k	256	368	16	Hasta 8MHz	7	1-A/E/USART 1-SSP(SPI/I2C)	2 de 8bits 1 de 16bits	18 pines PDIP
PIC16F877A	8 k	256	368	33	NO	8	1-A/E/USART 1-MSP(SPI/I2C)	2 de 8bits 1 de 16bits	40 pines PDIP (0,6 in)
PIC16F887	8 k	256	368	36	Hasta 8 MHz	14	1-A/E/USART 1-MSP(SPI/I2C)	2 de 8bits 1 de 16bits	40 pines PDIP (0,6 in)
PIC18F2550 ^a USB 2.0	32 k	256	2048	24	Hasta 8 MHz	10	1-A/E/USART 1-MSP(SPI/I2C)	1 de 8 bits 3 de 16 bits	28 pines PDIP
PIC18F4550 ^b USB2.0	32 k	256	2048	35	Hasta 8MHz	13	1-A/E/USART 1-MSP(SPI/I2C)	1 de 8 bits 3 de 16 bits	40 pines PDIP

^aMáxima frecuencia de operación: 48 MHZ

^bMáxima frecuencia de operación: 48 MHZ

A los criterios de selección nombrados en la sección 2.2.5.1, se añaden los siguientes: Máxima frecuencia de transmisión de datos, alta capacidad de memoria ROM y encapsulado de montaje superficial. las características del dispositivo microcontrolador que alcanzaron tales criterios fueron las del PIC18F2550 de montaje superficial mostrado en la figura 2.14. La tabla muestra las características técnicas de este dispositivo.

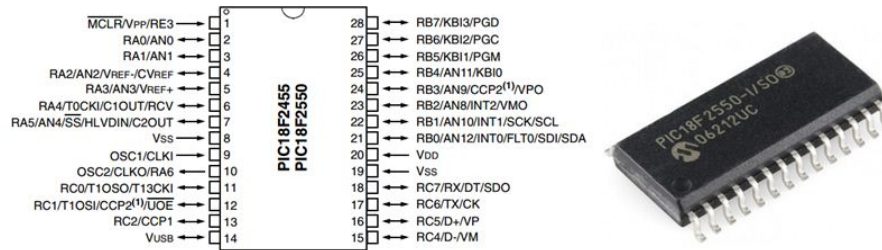


Figura 2.14: Microcontrolador PIC18F2550. Tomado de www.microchip.com

La tabla 2.4 describe las especificaciones de este microcontrolador.

Tabla 2.4: Especificaciones técnicas del PIC 18F2550

Especificación Técnica	Unidades
Nivel de Voltaje	2.5 - 5 V
Memoria de Programa	32KB
Memoria de Programa (Instructions)	16.384 Bytes
Memoria de Datos	2.048 Bytes
Puertos I/O	24
Frecuencia Oscilador Max	48 MHz
Corriente de Periféricos	25 mA
Comunicaciones	SPI, I2C, UART

Este módulo es el encargado de fusionar las señales provenientes del odómetro y del giroscopio para determinar el desplazamiento y la dirección del mismo. Al mismo tiempo, procesa los valores de latitud y longitud provenientes del módulo 1. Aquí se lleva a cabo la conversión de datos de movimiento a coordenadas geográficas, éste módulo es requerido solo cuando la señal de GPS no esté disponible.

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 $v = \frac{d}{t}$, en este caso $d = 1,945m$ es siempre constante ya que es el perímetro de la rueda, así se tiene que:

$$v = \frac{1,945m}{t} \quad (2.10)$$

A continuación se muestra el diagrama de flujo del módulo 2.

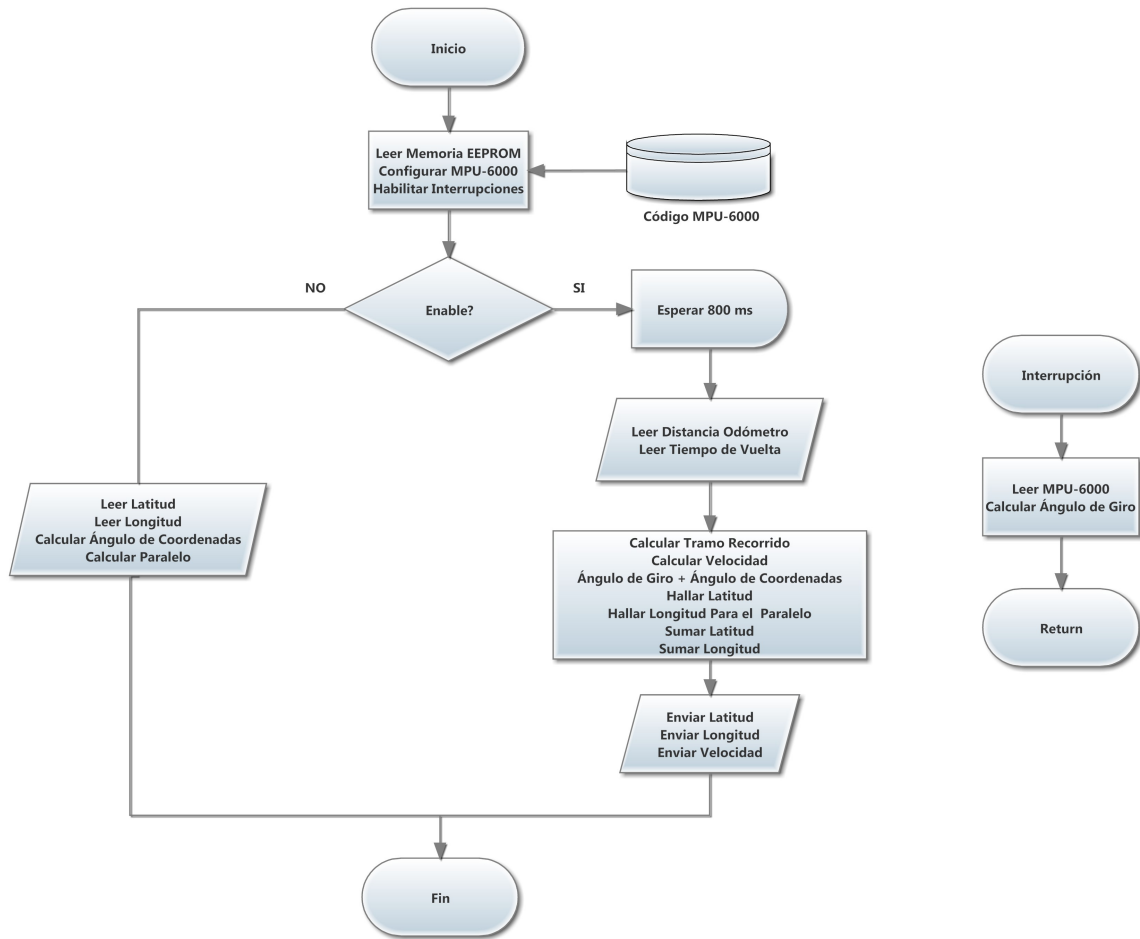


Figura 2.15: Diagrama de flujo del Subsistema 2

Inicialmente se carga el código de la DMP mencionado en la sección 2.2.4.1 que se encuentra guardado en una memoria Memoria de Sólo-Lectura Programable y Borrable Eléctricamente (EEPROM, *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*), con éste código se configura la velocidad con que ocurran las interrupciones así como también el sentido de giro, dextrógiro o levógiro, y también los valores de offset de calibración. Una vez se termina con la configuración del DMP, se habilitan las interrupciones en espera de un ángulo.

Si el módulo 2 no es requerido, simplemente recibe los datos de latitud y longitud válidos que envía el módulo 1, 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 2.16 se aprecia éste proceso.

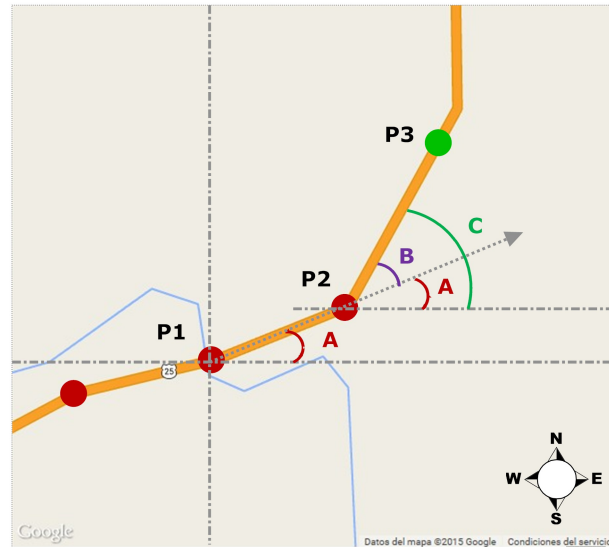


Figura 2.16: Transición del GPS a Sensores Inerciales. Adaptada de Google Maps

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.

Los sensores inerciales siempre están trabajando a la par del GPS, esperando la solicitud del módulo 1 para calcular la trama y enviarla, el tiempo entre envío de tramas es de 800m, semejante al comportamiento del GPS.

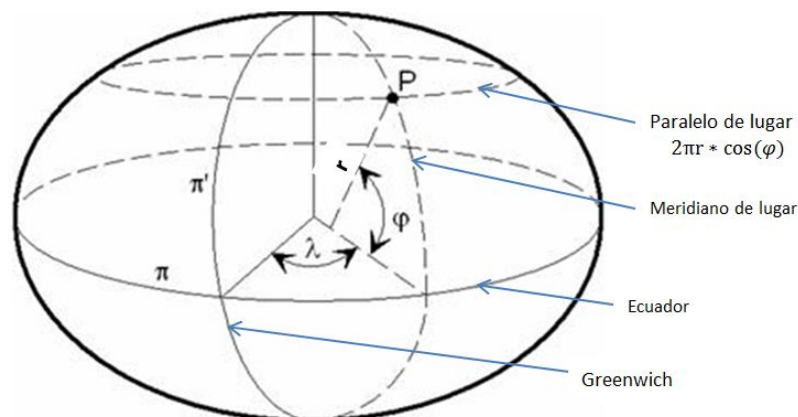


Figura 2.17: Obtención del paralelo y el meridiano de posición. Adaptado de Internet

Para la conversión de distancia a latitud geográfica se utiliza el meridiano de la tierra que corresponde a $39'940,652,76m$ aproximadamente, calculado según los parámetros de la elipsoide de revolución del sistema de referencia global WGS84(sección 1.3.1), éste número divide a 360

que serían los grados de la circunferencia del meridiano, lo cual genera $8,98 \times 10^{-6} / m$; 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 $40'075016m$ aproximadamente, tal como se observa en la figura 2.17 y dividido entre 360° . Éste número es multiplicado por la distancia que se calcula sobre el eje coordenado E . éste cálculo se realiza ya que la línea del 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.

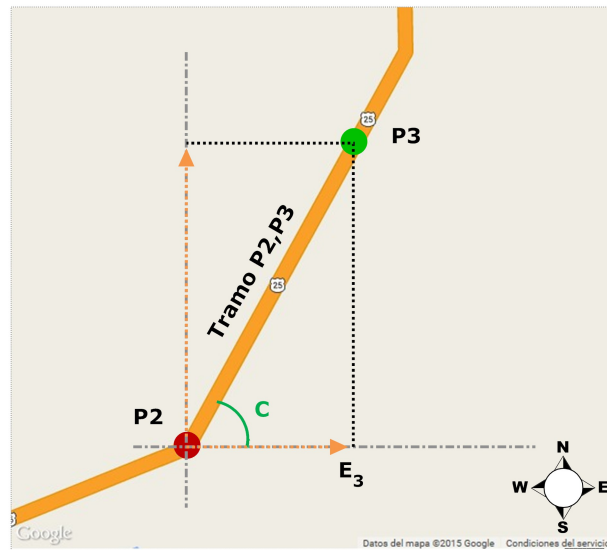


Figura 2.18: Descomposición del Vector de Movimiento en el plano de coordenadas NED.
Adaptada de Google Maps

De la figura 2.18, los puntos de coordenadas E_3 y N_3 se logran calcular aplicando funciones trigonométricas de las ecuaciones 2.11 y 2.12 respectivamente.

$$E = \overline{P_2P_3} * \cos(C) * (\text{Paralelo } ^\circ / m) \quad (2.11)$$

$$N = \overline{P_2P_3} * \sen(C) * (8,98 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ / m) \quad (2.12)$$

Donde:

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

C : el ángulo medido por el giroscopio.

2.2.5. Diseño del Subsistema S1

2.2.5.1. Módulo Receptor del GPS

Este módulo hace uso de la tecnología de posicionamiento basado en los GNSS; además de las razones mencionadas en la sección 1.2.1.1, el SMV presenta un diseño con tecnología GPS por

ser de fácil acceso, bajo costo y de muy alta precisión para el uso civil. Posee un receptor GPS comercial muy pequeño, requerimiento necesario ya que el hardware del sistema debe ocupar el menor espacio posible dentro del vehículo. Los criterios para la selección del dispositivo son el tamaño, precisión, velocidad de transmisión de datos, protocolo de comunicación, costo y fabricante, en ese orden de prioridades; por esto se seleccionó el módulo receptor GPS modelo TK-1315LA de la compañía San Jose Technology, Inc, mostrado en la figura 2.19.



Figura 2.19: Módulo Receptor GPS, modelo TK-1315LA

La tabla 2.5 describe las características técnicas del módulo receptor GPS

Tabla 2.5: Especificaciones técnicas del Módulo Receptos GPS modelo TK-1315LA

Especificación Técnica		Unidades
Dimensiones		42,5 x 14 x 7,1 mm
Precisión de la Posición		3m CEP ^a
Sensibilidad		-159 dBm
Tasa de Baudios		4,800/9,600/38,400/57,600/115,200 bps. Ajustables
Protocolos de comunicación	Satélites	NMEA0183 ^b V3.00, RTCM ^c
	Otros dispositivos	UART ^d @ 3,3 V
Tipo de trama de salida		GGA, RMC, GSV, GSA, VTG
Frecuencia de recepción		1575,42 MHz, banda L1
Tiempo de conexión ^e	Arranque en frio	38 s
	Arranque en caliente	<5 s
Velocidad máxima		515 m/s
Altitud máxima		18 km
Voltaje de operación		3,3 V \pm 5 %
Consumo de corriente		53 mA

^aProbabilidad de Error Circular (CEP, *Circular Error Probability*), medida de precisión definida como el radio de un círculo en el cual se encontrará el 50 % de los valores.

^bProtocolo de comunicación de instrumentos marítimos y receptores GPS de la National Marine Electronics Association (NMEA)

^cProtocolo de comunicación de la Comisión Técnica de Radio para el Servicio Marítimo (RTCM, *Radio Technical Commission for Maritime Services*)

^dEl Transmisor-Receptor Asíncrono Universal (UART, *Universal Asynchronous Receiver-Transmitte*) es un microchip que se utiliza para comunicar los datos como una serie de bits

^eSección 1.2.1.1: Posicionamiento con GPS

La velocidad de transmisión de datos seleccionada es 115.200 bps (máxima) ya que el vehículo estará en constante movimiento y los datos de posición cambian constantemente; la trama elegida es la Especificación de Datos de GPS Mínima Recomendada (GPRMC, *Recommended Minimum Specific GPS/Transit data*) puesto que contiene los datos de información requerido para el proyecto.



La trama seleccionada corresponde a la RMC (Recommended Minimum), la cual tiene el siguiente formato:

\$GPRMC,123519,A,4807,038,N,01131,000,E,022,4,084,4,230394,003,1,W*6A

Donde:

Tabla 2.6: Formato Trama RMC del GPS

123519	Es la hora 12:35:19 en formato UTC
A	Estado A=activo o V=Invalido
4807.038,N	Latitud 48 deg 07.038Ñ
01131.000,E	Longitud 11 deg 31.000É
022.4	Velocidad sobre la tierra en nudos
084.4	Ángulo de curso
230394	Fecha - 23 de Marzo 1994
003.1,W	Variación Magnética
*6A	checksum

Los datos que se extraen de la trama son, latitud, longitud, estado y velocidad. La velocidad de transmisión configurada es de 115200 bps, corresponde a la máxima soportada por el dispositivo, el envío de información lo realiza cada segundo. Dependiendo de las condiciones climáticas o de lo nublado que se encuentre el cielo, éste dispositivo puede llegar a demorarse hasta 1 min en engancharse con los satélites.

2.2.5.2. Módulo Transmisor GSM/GPRS

El Módulo Transmisor GSM/GPRS hace parte de las Tecnologías de Transmisión de Datos (sección 1.2.2) que soportan a los LBS, los criterios de selección de un dispositivo que cumpliera los requerimientos ya mencionados se hicieron mucho más específicos dado al difícil acceso a tecnología hardware moderna y la limitada posibilidad de escoger tecnologías WWAN de amplia cobertura en el país. Se adicionan como criterios a los anteriores: Módulo de comunicación inalámbrica de tecnología GSM/GPRS (por ser la red de mayor extensión y cobertura en Colombia), protocolo de comunicación CTP/IP, hardware con posibilidad de montaje en placa, soporte para Módulo de Identificación del Suscriptor o abonado (SIM, *subscriber identity module*).

De uso comercial (en el exterior) se encontró al módulo SIM900 de cuatro bandas de frecuencias GSM/GPRS del Fabricante SIMCom Wireless Solutions Co.,Ltd¹⁰. como dispositivo elemental en una placa de la compañía Libelium¹¹ quien fabrica tecnología de hardware para la implementación de redes inalámbricas, mostrado en la figura 2.20, este módulo cumple los criterios técnicos del presente trabajo de grado.

Las características técnicas del dispositivo se describen en la tabla 2.7

El transmisor está compuesto por un módulo SIM900 cuya configuración se realiza por medio de comandos AT, la sintaxis de estos comandos siempre antepone las letras AT seguidas por la instrucción. El protocolo de comunicación que emplea el dispositivo es el RS-232 a una

¹⁰www.sim.com/wm

¹¹www.libelium.com



Figura 2.20: Módulo GSM/GPRS SIM900. Tomado de www.cooking-hacks.com

Tabla 2.7: Características técnicas del módulo SIM900 de Libelium

Especificación Técnica	Unidades
Bandas	850/900/1800/1900Mhz
GPRS Clase	10.08 multi-slot
	Estación móvil B
Norma GSM fase 2/2 +	Clase 4 (2 W @ 850/900 MHz)
	Clase 1 (1 W @ 1800/1900 MHz)
Comandos AT de control	GSM 07.07, 07.05 y Comandos AT SIMCOM mejorados
Voltaje de alimentación	3,2 V - 4,8 V
Corriente	50 μ A
GPRS Clase 10	Max. 85,6 kbps (enlace descendente)
Protocolos	TCP/UDP
	FTP/HTTP
Comunicación	serie
Sensibilidad	-109 dBm
Antena externa	0 dBi

velocidad de 115.200 bps. En la figura 2.21 se presenta el diagrama de flujo de la configuración y conexión del dispositivo con un servidor.

El comando AT0 elimina el ‘eco’ que produce el dispositivo al enviar los comandos, CIPMODE =1, envía automáticamente los datos al conectarse con un servidor.

CGATT espera a que el dispositivo se enganche con la red GSM. Una vez está enganchado se ingresa el APN dependiendo del operador con el que se esté realizando la conexión, los comandos son:

CSTT que carga el APN con su respectiva contraseña, CIICR se engancha con la red GPRS y CIFSR solicita una dirección IP.

La parte de conexión con el servidor solo emplea dos comandos, CIPSHUT que cierra cualquier conexión establecida y CIPSTART que inicia una conexión del tipo TCP hacia un servidor por el puerto señalado.

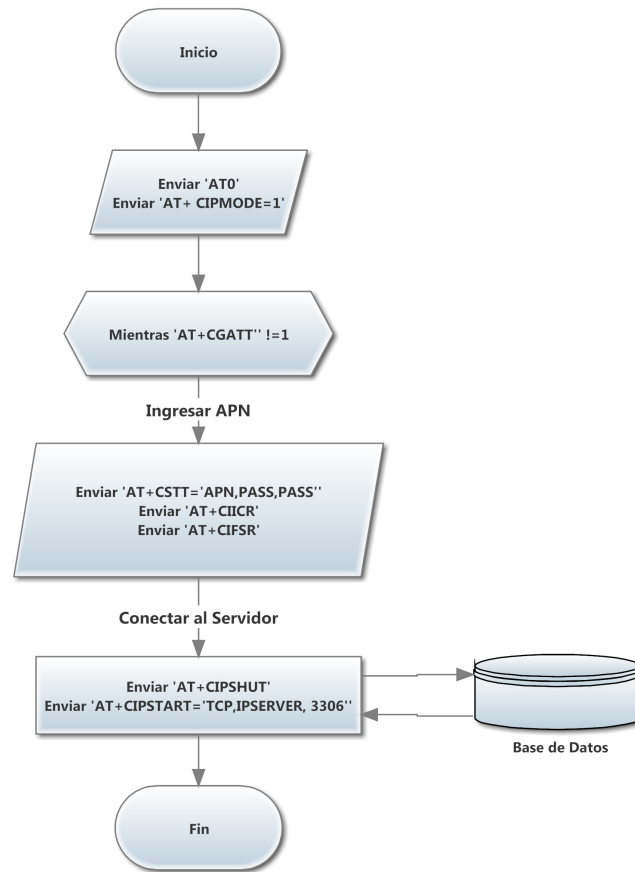


Figura 2.21: Diagrama de flujo de configuración del SIM900. Autores

2.2.5.3. Módulo 1 de Procesamiento de Datos

Éste módulo es el encargado de extraer la trama RMC del GPS y verificar su validez, también establece una conexión por medio del módulo GSM/GPRS con un servidor en el que se encuentra montada una base de datos. En éste módulo se lleva a cabo el proceso de verificación de tramas y envío de información hacia Internet.

La figura 2.22 muestra el diagrama de flujo del módulo 1.

Se inicia con la configuración del SIM-900, en donde se ingresa el APN, se engancha con la red GSM y se solicita una dirección IP, luego se lee la trama RMC proveniente del GPS y se verifica el campo 'estado' para comprobar la validez de la trama, si la trama es válida, envía los datos de latitud y longitud hacia el módulo 2 para que realice los cálculos de posicionamiento, posteriormente se conecta con el servidor y envía los datos de latitud, longitud, estado y el nombre de usuario que se le haya asignado al dispositivo, esto para identificar los datos de posicionamiento de cada usuario.

Si la trama RMC no es válida, solicita al módulo 2 la latitud, longitud y velocidad calculada, para enviarlos hacia la base de datos.

La solicitud de datos de posicionamiento se realiza cada 10 seg, esto con el fin de ahorrar costos en el envío consecutivo de tramas.

Para el proceso de autenticación con la base de datos, se emplea una función sha1, requerida

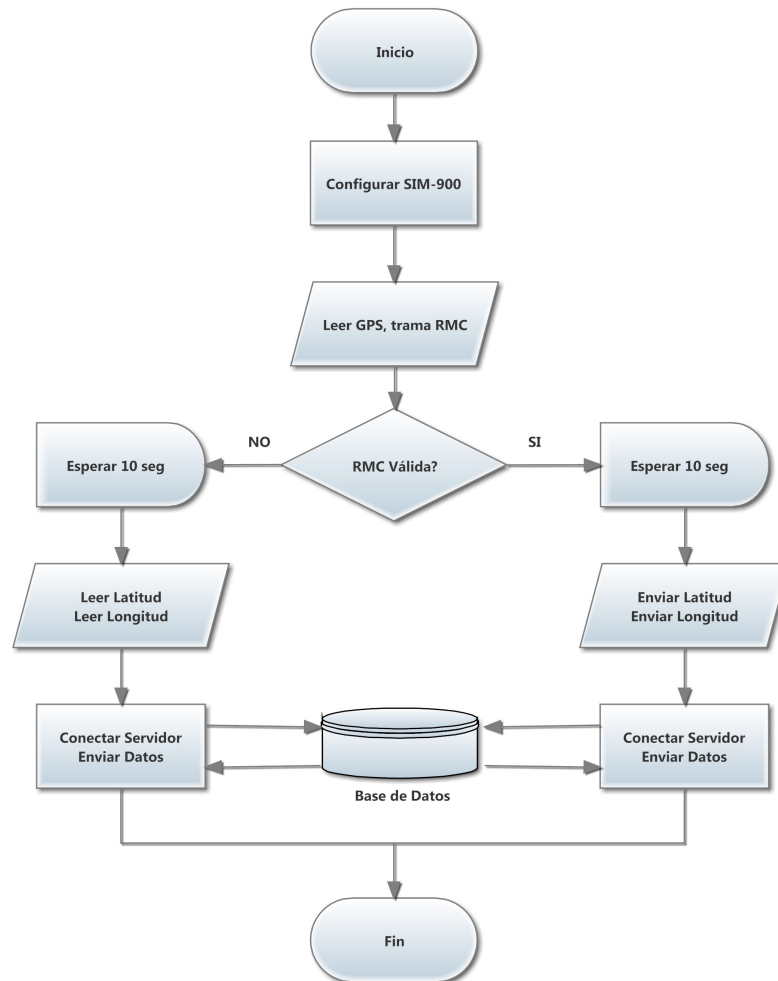


Figura 2.22: Diagrama de flujo de datos del Módulo 1 de Procesamiento de Datos.

para codificar la contraseña necesaria para acceder al servidor mysql, esta función hace parte del protocolo de seguridad del servidor. En el momento en que el SIM-900 se conecta con el servidor, éste le envía una clave codificada, que debe ser concatenada con la contraseña y codificada por medio de la función sha1. Una vez se tiene la clave codificada se reenvía hacia el servidor para poder ser autenticados y poder enviar los datos. El formato de codificación de la contraseña es el siguiente:

$SHA1(\text{password}) \text{ XOR } SHA1(\text{"20-bytes random data from server"} \text{ <concat> } SHA1(SHA1(\text{password})))$

2.2.6. Diseño del Subsistema S3

2.2.6.1. Módulo Base de Datos

el almacenamiento de la información geográfica emitida por el los subsistemas S1 y S2 se hace en un banco de datos de tipo dinámica (es posible leer, escribir, borrar, etc). Puesto que los datos almacenados sólo contendrán información de posicionamiento y velocidad de un móvil,



este banco de datos puede ser considerada una BDG.

Entre los diferentes tipos de bases de sistema de gestión de bases de datos, para el presente trabajo de grado se escogió *MySQL*[®] de Oracle Corporation, por la facilidad y experiencia de uso y por ser software de código abierto. Las características más relevantes que posee son [52]:



- velocidad y robustez.
- Soporta gran cantidad de tipos de datos para las columnas.
- Gran portabilidad entre sistemas, puede trabajar en distintas plataformas y sistemas operativos.
- Flexible sistema de contraseñas (passwords) y gestión de usuarios, con un muy buen nivel de seguridad en los datos.
- El servidor soporta mensajes de error en distintos idiomas
- Bajo costo en requerimientos para la elaboración de bases de datos, ya que debido a su bajo consumo puede ser ejecutado en una máquina con escasos recursos sin ningún problema.
- Facilidad de configuración e instalación.
- Baja probabilidad de corromper datos, incluso si los errores no se producen en el propio gestor, sino en el sistema en el que está.
- Conectividad y seguridad

Para este proyecto se hace necesario la utilización de dos tablas de datos contenidas en una base de datos previamente creada, una de ellas para guardar los usuarios con su determinada contraseña, la otra estará encargada de almacenar las posiciones para un determinado usuario

2.2.6.2. Módulo Interfaz de Usuario

En este módulo se hace uso de un Servidor de Mapas de Internet quien proporcionará mapas, imágenes y herramientas de ubicación geográfica para que el usuario final pueda visualizar una posición geográfica específica. Ya que la gran mayoría de este tipo de servidores tienen un costo para su utilización, por su gratuidad y facilidad se hará uso de los mapas de Google Maps, además éste proporciona un script que facilita el manejo de sus mapas.

La interfaz se ha diseñado para que el usuario ingrese un nombre y una contraseña personal en una primera interfaz, cuyo diseño se muestra en la figura 2.23, previamente el administrador ha guardado en la base de datos el registro de cada uno de los usuarios.



Figura 2.23: Diseño de la interfaz de usuario para ingresar nombre y contraseña. Autores

Una vez ingrese correctamente sus datos, el usuario tendrá la posibilidad de visualizar, según opciones de posición, velocidad rango de fecha y recorrido de su vehículo en un mapa de tipo urbano o satelital en una nueva interfaz que el sistema le desplegará, parecida a la diseñada en la figura 2.24.

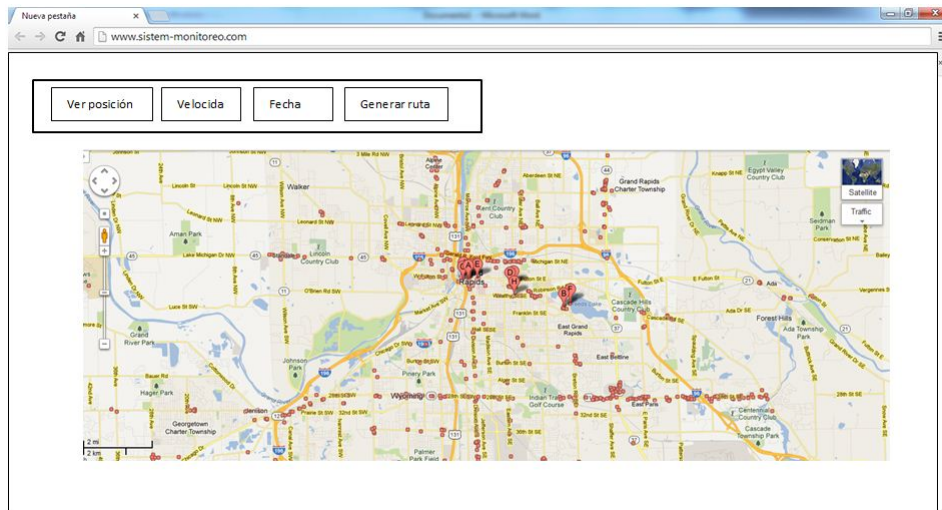


Figura 2.24: Diseño de la interfaz de usuario para visualizar posición del vehículo. Autores

2.2.7. Definición del Plan de Pruebas

El plan de pruebas desarrollado según la metodología secuencial se describe en la tabla 2.8; para la validación del sistema se ha elaborado de acuerdo al diseño de cada uno de los subsistemas, por lo que se probará cada uno de ellos de manera independiente, al final se realizarán pruebas de manera general a todo sistema.



Tabla 2.8: Plan de pruebas del sistema

	Alcance de la Prueba	Tipo de prueba	Criterios de salida	Otros aspectos
Subsistema S2	Verificar que las distancias y los valores de las coordenadas calculadas en el subsistema son verídicos y muy aproximados a la de los sistemas comerciales y/o públicos que prestan un servicio de ubicación geográfica.	Prueba de exactitud	Trama de posicionamiento y velocidad válida	Se compara con mapas y zonas de Google Earth
Subsistema S1	Comprobar que el subsistema se conecta al servidor preestablecido y envía los datos correctamente a éste; se hace verificación si la información llega correctamente a la base de datos.	Prueba de conexión	Llegada al servidor de la trama completa y que se guarde correcta mete en la base de datos	Se capturan las tramas y se analizan con Wireshark
Subsistema S3	Ingreso a la interfaz de usuario de forma válida y segura. Extracción y visualización de la información de coordenadas geográficas de la base de datos en un mapa. Verificar si se corresponde con posiciones de coordenadas en mapas cartográficos de la zona o región.	Prueba de seguridad y exactitud	Marcación de la ruta y visualización en el mapa	Ninguna

2.3. Fase de Desarrollo y Validación del Sistema

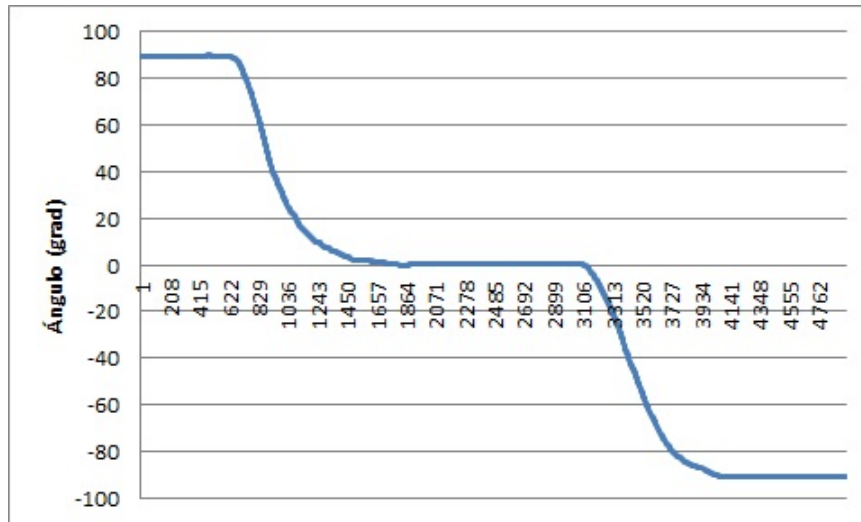
En esta sección se describe el proceso de desarrollo de cada uno de los módulos del sistema siguiendo el diseño establecido en la sección 2.2.

2.3.1. Desarrollo y Validación del Subsistema S2

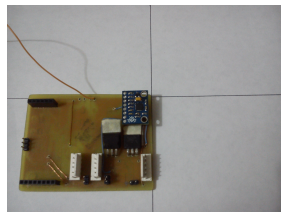
2.3.1.1. Configuración y Obtención de Datos del Sensor MEMS

la extracción de los datos del sensor MEMS almacenados en el registro FIFO, según se describió en la sección 2.2.4.1 (diagrama de bloques figura 2.6) se hace mediante los comando de código C del programa mostrados en la figura 2.25.

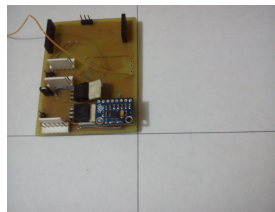
90grad.



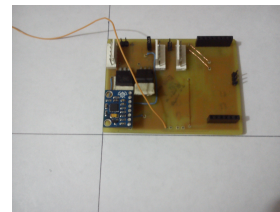
(a) Giro Negativo del Giroscopio



(b) Sensor en zona Negativa



(c) Sensor en Cero



(d) Sensor en zona Positiva

Figura 2.27: Ángulos medidos del Giroscopio

Como se observa en 2.27(a), el dispositivo se inicia con un valor de ángulo de $-90grad$ y el sensor en la posición de 2.27(b), se realiza un giro negativo o en el sentido de las manecillas del reloj y se llega hasta 2.27(c). El giro del dispositivo se realizó de tal forma que cubriera $90grad$, en ésta posición, se observa en 2.27(a) que se mantiene estable en $0grad$, hasta que se inicia de nuevamente un giro de $90grad$, ahora en la posición 2.27(d), el dispositivo se estabiliza en $90grad$ hasta que halla otro movimiento.

Con el análisis anterior se logro comprobar que éste dispositivo presenta una gran estabilidad y muy poca deriva,¹² por lo que se puede utilizar como dispositivo de orientación.

2.3.1.2. Fabricación, Programación y Validación del Odómetro Electrónico

A continuación se muestran algunos apartes del proceso de construcción del odómetro electrónico diseñado en la sección 2.2.4.1.

Por comodidad, costo y aprovechamiento de espacio, se utilizaron elementos de montaje superficial para su construcción como se observa en la figura 2.28, para efectuar pruebas, se instaló el dispositivo sobre la mordaza del freno delantero del vehículo, en la parte interna de la rueda se

¹²Incremento progresivo del ángulo en estado de reposo a medida que aumenta el tiempo.

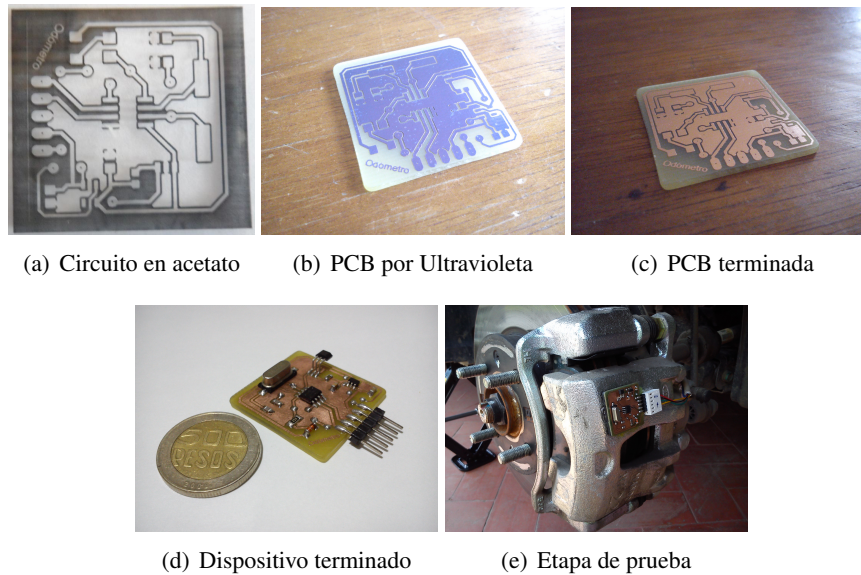


Figura 2.28: Etapas de construcción del Odómetro Electrónico

fijó un elemento magnético a una distancia de $3mm$ del sensor Hall.

La figura 2.29 representa un fragmento del código de programación utilizado en el odómetro; se puede verificar el aumento de la distancia en $1,95m$ (perímetro de la rueda) cada vez que la rueda hace un giro, así mismo calcula el tiempo que tardó en hacerlo.

```

20 #INT_EXT
21 void EXT_isr(void)
22 {
23     timer=get_timer1(); //toma valor del Timer1
24     set_timer1(0); //Reinicia el Timer (desborde cada 131.07ms)
25     metros.Val+=1.945; //Incrementa la Variable metros en 1.945
26     time_rev.Val=(float)(cont*0.13107)+(timer*0.000002); //Calcula el tiempo de Giro
27     cont=0; //Limpia contador de desbordes del timer
28     putc('$'); //Envia inicio de Trama
29     putc(metros.LB);
30     putc(metros.HB); //Envia deitancia en formato float
31     putc(metros.MB);
32     putc(metros.UB);
33     putc(time_rev.LB);
34     putc(time_rev.HB); //Envia tiempo en formato float
35     putc(time_rev.MB);
36     putc(time_rev.UB);
37 }

```

Figura 2.29: Programa de cálculo de distancia y tiempo de giro del Odómetro electrónico

En la figura 2.30 Se aprecia una trama enviada por el odómetro, el primer byte corresponde al inicio de trama, los siguientes 4 bytes son de la distancia medida en metros y los últimos 4 bytes hacen parte del tiempo de revolución de la rueda en mili-segundos.

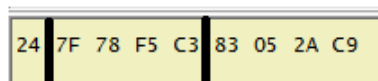


Figura 2.30: Trama enviada por el Odómetro



Los valores de distancia recorrida y tiempo de revolución de la rueda enviados por el odómetro electrónico cada vez que se efectúa un giro se verifican en la figura 2.31.

Dis	1.945 m	Tiempo	0.000 seg
Dis	3.890 m	Tiempo	0.422 seg
Dis	5.835 m	Tiempo	0.681 seg
Dis	7.780 m	Tiempo	0.664 seg
Dis	9.725 m	Tiempo	0.656 seg
Dis	11.670 m	Tiempo	0.679 seg
Dis	13.615 m	Tiempo	0.678 seg
Dis	15.559 m	Tiempo	0.678 seg
Dis	17.504 m	Tiempo	0.668 seg
Dis	19.449 m	Tiempo	0.667 seg

Figura 2.31: Distancia y tiempo calculados por el Odómetro Electrónico

Estos valores son enviados al Módulo 2 de Procesamiento de datos, con los cuales efectuará las operaciones mencionadas en su diseño; con los valores de tiempo se ha calculado la velocidad del vehículo, con lo cual es posible hacer pruebas de validación.

Para validar el funcionamiento del odómetro, se hicieron medidas en campo abierto con el sensor montado sobre el soporte de la rueda del vehículo. Se trazó una distancia de 200 m como referencia para verificar el margen de error de la medida del dispositivo, también se utilizó el velocímetro del vehículo para verificar la velocidad marcada por el dispositivo. El no contar con equipos de laboratorio ni con otra clase de dispositivos que permitan hacer mediciones de éste tipo, se considera factible hacer uso de los propios sensores del vehículo para tener una referencia de medición, lo mas aproximadamente posible a un escenario real. Lo anterior se considera viable puesto que éste tipo de sensores son calibrados con equipos de laboratorio de alta tecnología antes de ser puestos en el mercado.

La herramienta usada para medir la distancia real recorrida por el vehículo es una cinta métrica cuyo margen de error de medida es de $\pm 2mm$ por cada 20 m. El velocímetro del vehículo, de tipo analógico posee un margen de error de medición de $\pm 10K/h$. Para calcular el margen de error de medida del odómetro, se ha procedido de la siguiente manera:

- **Margen de error de medida en medición de la distancia:** El odómetro realiza el cálculo de la distancia con cada revolución de la rueda, cuyo recorrido es equivalente a la longitud de su perímetro. Este valor será el margen de error de medida en al origen y al final del recorrido, ello se debe a que no se tiene certeza de un punto en el perímetro de la rueda en el origen del movimiento ni tampoco al detenerse; para un perímetro de 1,95 m se tiene entonces que el margen de error de medida del odómetro es de

$$\pm 1,95m \pm 1,95m = \pm 3,9m$$

- **Margen de error de medida en medición de la velocidad:** Como ya se ha mencionado, el odómetro calcula la velocidad con el valor del perímetro de la rueda y el tiempo de giro, el error en la medida del tiempo con el microcontrolador del dispositivo es del orden de los μs y el del perímetro es de $\pm 1mm$, se tiene entonces que el margen de error de medida de la velocidad es considerablemente bajo, por lo cual es posible despreciarlo.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Dis	1.9 m	Vel	0.0 K/h
Dis	3.8 m	Vel	0.0 K/h
Dis	5.8 m	Vel	0.0 K/h
Dis	7.7 m	Vel	5.1 K/h
Dis	9.7 m	Vel	5.9 K/h
Dis	13.6 m	Vel	9.2 K/h
Dis	17.5 m	Vel	12.7 K/h
Dis	21.3 m	Vel	11.8 K/h
Dis	25.2 m	Vel	10.9 K/h
Dis	29.1 m	Vel	14.1 K/h
Dis	35.0 m	Vel	16.4 K/h
Dis	40.8 m	Vel	16.4 K/h
Dis	46.6 m	Vel	16.2 K/h
Dis	52.5 m	Vel	16.1 K/h
Dis	58.3 m	Vel	15.8 K/h
Dis	64.1 m	Vel	15.6 K/h
Dis	70.0 m	Vel	15.4 K/h
Dis	75.8 m	Vel	15.5 K/h
Dis	81.6 m	Vel	15.3 K/h
Dis	87.5 m	Vel	15.1 K/h
Dis	93.3 m	Vel	15.2 K/h
Dis	99.1 m	Vel	15.3 K/h
Dis	105.0 m	Vel	13.4 K/h

(a) Medidas del Odómetro



(b) Medidas del velocímetro

Figura 2.32: Prueba 1 de Medición de Distancia

En la figura 2.32(a) se presenta la distancia total recorrida por el vehículo y calculada por el odómetro, en 2.32(b) se muestra el valor de distancia real para el mismo recorrido. Se observa que el error absoluto en la medida del odómetro es de aproximadamente 1m, por lo cual el margen de error absoluto total para éste recorrido será:

$$E_{Total} = \pm E_{odometro} \pm E_{absoluto} \mp E_{Real} \quad (2.13)$$

$$E_{Total} = \pm 3,9m \pm 1m \mp 2mm = \pm 4,88m \quad (2.14)$$

$$E_{Total} = \pm 4,88m \quad (2.15)$$

Por lo que, el valor de la medida del recorrido total calculado por el odómetro en esta prueba es

$$105,0m \pm 4,88m$$

Dis	1.9 m	Vel	0.0 K/h
Dis	3.8 m	Vel	0.0 K/h
Dis	7.7 m	Vel	10.5 K/h
Dis	11.6 m	Vel	14.3 K/h
Dis	17.5 m	Vel	16.0 K/h
Dis	23.3 m	Vel	16.7 K/h
Dis	29.1 m	Vel	21.0 K/h
Dis	36.9 m	Vel	26.0 K/h
Dis	46.6 m	Vel	29.6 K/h
Dis	56.4 m	Vel	29.1 K/h
Dis	66.1 m	Vel	31.1 K/h
Dis	75.8 m	Vel	32.3 K/h
Dis	85.5 m	Vel	33.4 K/h
Dis	95.3 m	Vel	34.9 K/h
Dis	106.9 m	Vel	37.0 K/h
Dis	118.6 m	Vel	39.1 K/h
Dis	130.3 m	Vel	41.2 K/h
Dis	143.9 m	Vel	43.3 K/h
Dis	157.5 m	Vel	45.0 K/h
Dis	171.1 m	Vel	46.4 K/h
Dis	184.7 m	Vel	47.3 K/h
Dis	198.3 m	Vel	48.6 K/h
Dis	213.9 m	Vel	49.7 K/h
Dis	229.5 m	Vel	51.0 K/h

(a) Medidas del Odómetro



(b) Medida del velocímetro

Figura 2.33: Prueba 2 de medición de velocidad



En la imagen de la figura 2.33 se observa la comparación de las mediciones de velocidad entre el odómetro y el velocímetro del vehículo. La figura 2.33(a) muestra los valores de distancia y velocidad medidas por el odómetro iniciando desde un estado de reposo aumentando progresivamente hasta alcanzar una velocidad máxima de $51km/h$, recorriendo una distancia de $229,5m$, simultáneamente el velocímetro del vehículo, mostrado en 2.33(b), ha marcado una velocidad máxima de aproximadamente $51km/h$ para el mismo recorrido, para este caso se tiene un error absoluto de aproximadamente cero, no obstante ya que el dispositivo de medición posee un error de medida de $\pm 10k/h$, se tiene que la velocidad medida por el odómetro está dentro del margen de error.

Se puede verificar que al calcular la velocidad promedio del recorrido y haciendo el producto de ésta con el tiempo total de envío de los datos (un dato cada segundo) se obtiene una aproximación real de la distancia recorrida:

$$d = \bar{v} * t$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} * t$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^{24} v_i}{24} * 24s = 224,2m \pm 4,88m$$

Esto verifica que el odómetro calcula posición y velocidad con grandes aproximaciones a los valores reales

Dis	1.9 m	Vel	0.0 K/h
Dis	3.8 m	Vel	0.0 K/h
Dis	5.8 m	Vel	0.0 K/h
Dis	9.7 m	Vel	11.2 K/h
Dis	13.6 m	Vel	13.3 K/h
Dis	19.4 m	Vel	19.9 K/h
Dis	27.2 m	Vel	24.8 K/h
Dis	35.0 m	Vel	28.8 K/h
Dis	44.7 m	Vel	33.8 K/h
Dis	56.4 m	Vel	36.2 K/h
Dis	68.0 m	Vel	39.4 K/h
Dis	79.7 m	Vel	40.9 K/h
Dis	93.3 m	Vel	44.1 K/h
Dis	106.9 m	Vel	47.5 K/h
Dis	122.5 m	Vel	51.1 K/h
Dis	138.0 m	Vel	54.5 K/h
Dis	155.6 m	Vel	58.1 K/h
Dis	173.1 m	Vel	61.5 K/h
Dis	192.5 m	Vel	64.8 K/h
Dis	212.0 m	Vel	67.9 K/h
Dis	231.4 m	Vel	69.1 K/h
Dis	250.9 m	Vel	69.3 K/h

(a) Medidas del Odómetro



(b) Medidas del Velocímetro

Figura 2.34: Prueba 3 de medición de velocidad

Las imágenes mostradas en la figura 2.3.1.2 muestran el valor de velocidad medido por el odómetro (figura 2.34(a)) y el velocímetro del vehículo (figura 2.34(b)) para una distancia recorrida de $250,9m$, igualmente que en el caso anterior, los cálculos efectuados por el odómetro ($69,3km/h$), se encuentran dentro de la incertidumbre de medición del velocímetro.

Dado que éstas mediciones se generan del correcto conteo de las revoluciones, una buena medición de la distancia a gran velocidad indicarían que el dispositivo está detectando correctamente

los pulsos de cada vuelta, lo cual revela que para cualquier cantidad de pruebas se tendrían valores válidos de distancia y velocidad, y dado que estas mediciones serán usados para obtener puntos de coordenada geográficas, la validación del dispositivo se alcanza con la correcta medición o gran aproximación de tales magnitudes. Al ser comparados los márgenes de error con los aceptados intencionalmente para mediciones con GPS (2 - 5 m) se evidencia una gran aproximación y exactitud. Por lo anterior el odómetro es apto para unidades de longitud y velocidad en el sistema a desarrollar.

2.3.1.3. Programación y Armado de la Trama Módulo 2 de procesamiento de Datos

La programación de este Módulo, en lenguaje C, se hizo según el diseño descrito en la sección 2.2.4.2.

Apartes del código se muestran en la figura 2.35. Se observa que los datos enviados por el odómetro (figura 2.29 y 2.30) se recibe en formato float en 8 variables (líneas 77 a 84), con la información de tiempos de giro de la rueda es posible aplicar la ecuación 2.10 y calcular la velocidad, como lo indica la línea 86. Puesto que los datos de perímetro y tiempo están dados en metros y segundos, respectivamente, se hace la conversión en la línea 87 a k/h .

```
76 while(fgetc(ODOMETRO)!='$'); //espera inicio de trama
77 distancia.LB=fgetc(ODOMETRO);
78 distancia.HB=fgetc(ODOMETRO);
79 distancia.MB=fgetc(ODOMETRO); //Recibe distancia en formato float
80 distancia UB=fgetc(ODOMETRO);
81 tiempo.LB=fgetc(ODOMETRO);
82 tiempo.HB=fgetc(ODOMETRO); //Recibe tiempo en formato float
83 tiempo.MB=fgetc(ODOMETRO);
84 tiempo UB=fgetc(ODOMETRO);
85
86 velocidad.Val=(float)1.945/tiempo.Val; //Calcula velocidad m/s
87 velocidad.Val*=3.6; //Calcula velocidad K/h
88 tramo.Val=distancia.Val - disant.Val; //Calcula tramo recorrido
89 disant.Val=distancia.Val;
90 angle.Val=yaw.Val-aux_angle.Val; //Calcula ángulo girado
91 aux_angle.Val=yaw.Val;
92
93 theta.Val+=angle.Val; //Incrementa el ángulo de Coordenadas
94
95 latant.Val=(sin(theta.Val))*(tramo.Val)*(0.000009); //Calcula tramo Latitud
96 latitud.Val+=lant.Val; //Incrementa tramo a Latitud
97 longant.Val=(cos(theta.Val))*(tramo.Val)*(conslong.Val); //Calcula tramo Longitud
98 longitud.Val+=longant.Val; //Incrementa tramo a Longitud
```

Figura 2.35: Código en C para cálculo de velocidad y puntos de coordenadas con información suministrada por el Odómetro Electrónico

Las líneas de código 88 y 93 calculan el tramo recorrido y la adición del ángulo según se describió en la sección 2.2.4.2. La línea 95 aplica la ecuación 2.12 para hallar la descomposición del tramo en el eje N , el valor obtenido se suma al suministrado por el GPS obteniendo así el valor de la latitud geográfica. Este mismo procedimiento se hace para el cálculo de la longitud geográfica aplicando la ecuación 2.11 según se evidencia en las líneas 97 y 98.

Los cálculos matemáticos requeridos para obtener los valores de ángulos y distancia con la información del GPS que se describió en la sección 2.2.4.2 para el diagrama 2.16, se efectúan en las líneas de código 159 a 167 de la figura



```

159     theta.Val=atan2(latitud.Val-latant.Val,longitud.Val-longant.Val);
160     theta.Val=(float)theta.Val*0.017453292;// pasa a radianes
161
162     latant.Val=latitud.Val; //prepara punto anterior de latitud
163     longant.Val=longitud.Val; //prepara punto anterior de longitud
164
165     angle.Val=yaw.Val-aux_angle.Val; //Calcula giro
166     aux_angle.Val=yaw.Val;
167     disant.Val=0.0; //Reinicia distancia
168
169     auxlat.Val=(float)latitud.Val*3.141592;
170     auxlat.Val=(float)auxlat.Val/180;// rad
171     conslong.Val=40075016*cos(auxlat.Val);//Calcula paralelo
172     conslong.Val=(float)conslong.Val/360;
173     conslong.Val=(float)1/conslong.Val; //Calcula Grad/metro
    
```

Figura 2.36: Código en C para cálculo de meridianos, paralelos y el ángulo de referencia

las líneas subsiguientes calculan los meridianos y paralelos hacer la relación de grado por unidad de longitud (en metros)

En la figura 2.37 se evidencian los valores de latitud y longitud geográficas calculadas por este módulo a partir del dato de longitud y ángulo suministradas por el odómetro y adicionadas a un valor de referencia del GPS.

Lat 1.2433336 Lng -77.2141 Dis 3178.144 m Ang 31.50

Figura 2.37: Datos de trama del Módulo 2 de Procesamiento de Datos

2.3.2. Desarrollo y Validación del Subsistema S1

2.3.2.1. Conexión Satelital y Obtención de Trama del Módulo Receptor GPS

Para comprobar el funcionamiento y envío de las tramas del GPS, se utilizó el software GPSToLocatorUtility, en el se pueden visualizar todas las tramas que recibe el GPS e incluso los satélites a los cuales está *enganchado*, en la figura 2.38 se pueden visualizar todos los formatos de tramas.

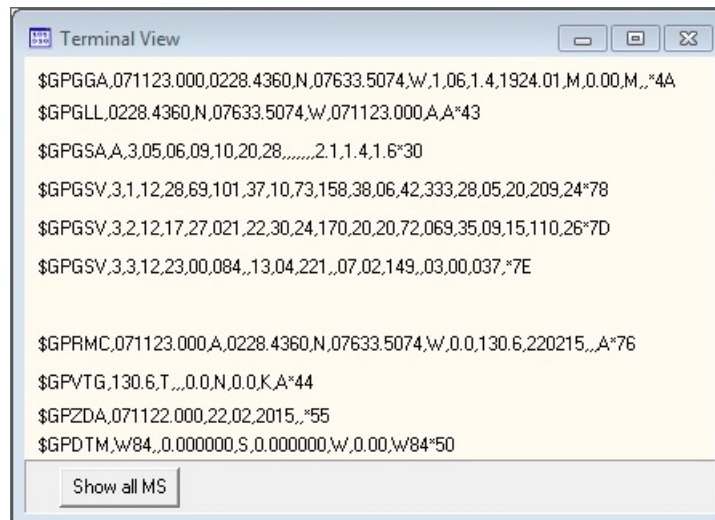


Figura 2.38: Tramas Recibidas por el GPS

El *enganche* con los satélites depende de la línea de vista que tenga el receptor GPS con ellos, a modo de ejemplo en la figura 2.40 se pueden visualizar tres satélites a los cuales el receptor de ha *enganchado*.

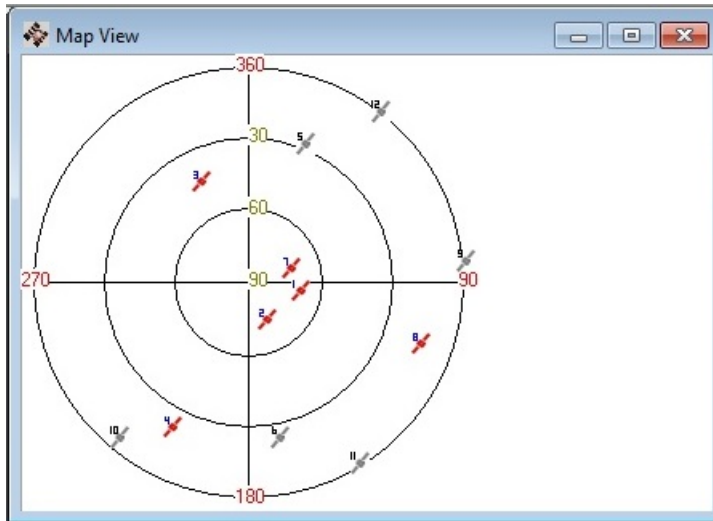


Figura 2.39: Satélites enganchados con el GPS

Es posible determinar el nivel de señal y la validez del satélite con el que se ha *enganchado*, la gráfica de la figura muestra los niveles de SNR recibidos por 6 satélites con los que podría conectarse para recibir información de posicionamiento, se observa que hay información adicional como el azimuth, la elevación y de si se puede o no usar para calcular la posición de manera confiable.

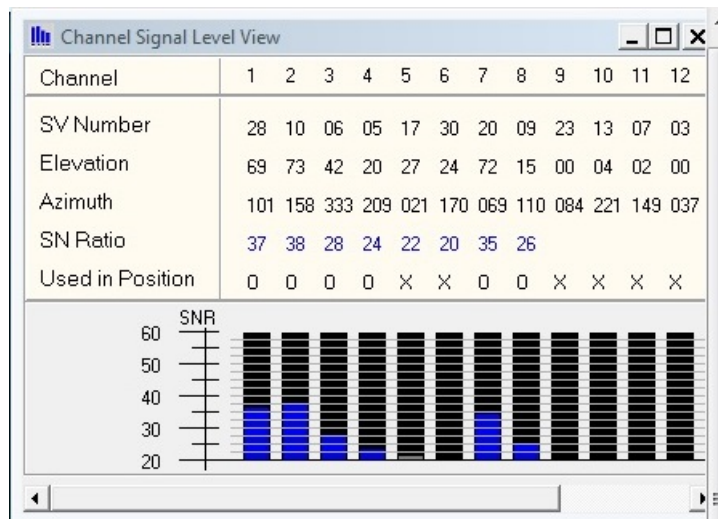


Figura 2.40: Niveles de señal de los satélites con los que puede conectarse el receptor GPS

Éstas pruebas se consideran suficientes para determinar el correcto funcionamiento del GPS, solo basta con esperar 45 segundos para que empiece a enviar información válida, dependiendo de las condiciones climáticas puede llegar a tardar hasta 1 min.



2.3.2.2. Configuración y Conexión al Servidor del Transmisor GSM/GPRS

Este módulo se valida al conseguir una conexión eficiente con el servidor, para ellos se envía una secuencia de comandos AT para parametrizar el módem SIM900 y se conecte al servidor.

La figura 2.41 muestra la secuencia de inicio y respuestas por parte del dispositivo SIM-900.

```
AT+CGATT?  
+CGATT: 1  
OK  
AT+CSTT="INTERNET.MOVISTAR.COM.CO", "MOVISTAR", "MOVISTAR"  
OK  
AT+CIICR  
OK  
AT+CIFSR  
186.171.202.78  
AT+CIPSTART="TCP", "186.146.158.114", "23"  
OK  
CONNECT  
Hola SIM-900  
CLOSED
```

Figura 2.41: Secuencia de inicio y respuestas del SIM-900

Como se visualiza en la figura, el comando CGATT? Se repite hasta que es igual a 1, esto indica que se ha conectado a la red GSM. Es posible ver que la dirección de IP asignada es de tipo pública permitiendo de esa manera conectarse al servidor, quien le responde con un *Hola SIM-900*.

El dispositivo, una vez conectado al servidor, se convertirá en el puente entre el Módulo 1 de Procesamiento de Datos y el subsistema S3.

2.3.2.3. Programación del Módulo 1 de procesamiento de Datos

Este módulo tomará las tramas del GPS y analizará si son válidas para enviarlas a subsistema S3, de lo contrario las solicitará al subsistema S2. La figura 2.42 muestra datos de latitud, longitud y estado extraídos de la trama RMC del receptor GPS por este módulo, el estado indicará si el receptor tiene o no conexión con satélites (V o A), de esa manera el Módulo 1 determinará si la trama es válida o no.

```
Lat 2.4744202 Lng 76.5584000 Estado V  
Lat 2.4744202 Lng 76.5584000 Estado V  
Lat 2.4744202 Lng 76.5584000 Estado V  
Lat 2.4744202 Lng 76.5584000 Estado V  
Lat 2.4744202 Lng 76.5584000 Estado V  
Lat 2.4738720 Lng 76.5584384 Estado A  
Lat 2.4738752 Lng 76.5584256 Estado A  
Lat 2.4738752 Lng 76.5584256 Estado A  
Lat 2.4738752 Lng 76.5584256 Estado A  
Lat 2.4738752 Lng 76.5584256 Estado A  
Lat 2.4738752 Lng 76.5584256 Estado A
```

Figura 2.42: Datos de posición geográfica del GPS obtenidas por el Módulo 1

Para este ejemplo se observa que los 5 primeros datos de información de coordenadas son inválidos, en ese caso el Módulo 1 deberá hacer la solicitud al Módulo 2 para que éste envíe datos válidos de latitud y longitud geográficas; a partir del dato 6 de la figura, el receptor GPS se ha conectado y recibe tramas de posición validas, aquí entonces el Módulo 1 interrumpe la conexión con el Módulo 2 y reenvía los nuevos datos del receptor GPS al subsistema S3.

2.3.3. Desarrollo y Validación del Subsistema S3

2.3.3.1. Programación y Elaboración de Tablas en la Base de Datos

Todo la información de latitud y longitud geográficas, velocidad del móvil, fecha de envío y de si tal información proviene del receptor GPS o los Sensores Inerciales se almacenan en una única base de datos diseñada para este propósito.

en la figura se muestra que la base de datos ha sido creada con el nombre 'localizador'. Esta base de datos contiene dos tablas: una denominada 'posicion' y la otra 'usuarios'.

```
corresponds to your MySQL
ases' at line 1
mysql> show databases;
+-----+
| Database |
+-----+
| information_schema |
| localizador |
| mysql |
| test |
+-----+
4 rows in set (0.00 sec)

mysql> use localizador
Database changed
mysql> show tables;
+-----+
| Tables_in_localizador |
+-----+
| posicion |
| usuarios |
+-----+
2 rows in set (0.00 sec)

mysql>
```

Figura 2.43: Creación de la base de datos y tablas

En la tabla de usuarios se almacenará su identificación, nombre y contraseña, datos necesarios para lograr acceder al sistema. En la tabla de posición estará guardada toda la información del vehículo de posicionamiento, velocidad, fecha de llegada y estado de la información, tal y como se aprecia en la figura

```
C:\Program Files\MySQL\MySQL Server 5.1\bin\mysql.exe
mysql> select * from usuarios;
+----+-----+-----+
| id | usuario | pass |
+----+-----+-----+
| 1 | admin | 1234 |
+----+-----+-----+
1 row in set (0.00 sec)

mysql> select * from posicion;
+----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id | usuario | latitud | longitud | velocidad | fecha | estado |
+----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | admin | 2.3475282 | -76.347652 | 30.07 | 2015-02-22 02:56:15 | A |
+----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
1 row in set (0.00 sec)

mysql>
```

Figura 2.44: Tabla de usuarios y de posición

de esta manera el módulo de bases de datos queda completamente validado.

2.3.3.2. Programación y Obtención de Mapas en la Interfaz de Usuario

Se desarrolló una página web cuyo proceso inicial es desplegar una ventana para autenticación de usuarios (figura 2.45), una vez establecida la conexión con el servidor, se accederá a todos los datos de posicionamiento relacionada con su vehículo: Se podrá seleccionar por año, mes, día y hora el trayecto que desee visualizar en el mapa; tendrá la opción de hacer seguimiento al vehículo en tiempo real y verificar la velocidad a la cual se está moviendo, esta interfaz es mostrada en la figura 2.46. A continuación se muestra el inicio de sesión de la página web y el mapa que se emplea para hacer seguimiento.



Figura 2.45: Página Web Inicio de Sesión

para el desarrollo de esta interfaz de usuario fue necesario hacer uso de tres lenguajes de programación: PHP (*Hypertext Pre-Processor*) para la conexión con la base de datos, HTML (*Hyper-Text Markup Language*) para el diseño de la página web y JavaScript para cargar los mapas de Google

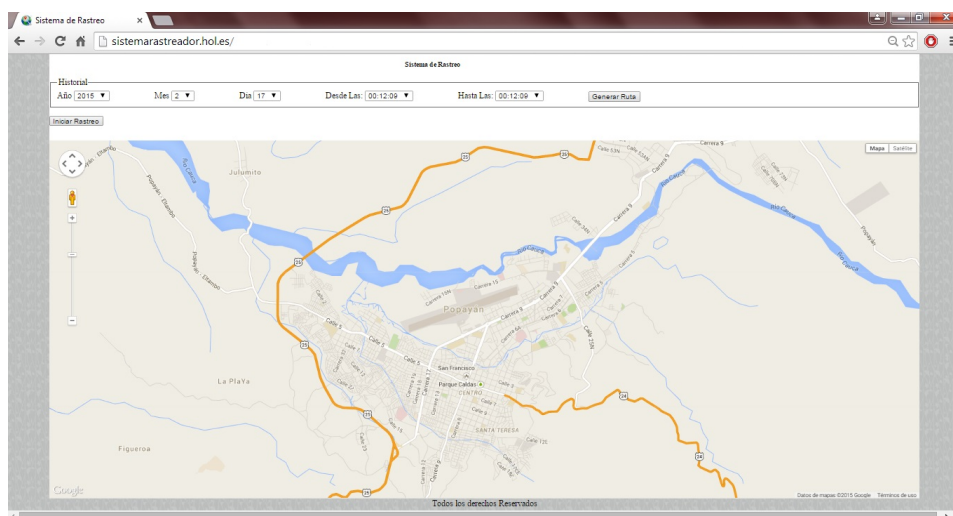


Figura 2.46: Página Web servicio de Rastreo

Capítulo 3

Pruebas y Análisis de Resultados

En este capítulo se lleva a cabo el plan de pruebas de la sección 2.2.4, su ejecución de manera secuencial según la metodología planteada permitirá validar el sistema. Se describen las pruebas y los resultados obtenidos en cada fase del plan, permitiendo de esta manera alcanzar los objetivos planteados en el Anteproyecto del presente trabajo de grado.

3.1. Pruebas y Análisis del Funcionamiento del Subsistema S2

La verificación de las distancias y los valores de coordenadas calculadas se hizo por comparación de estas magnitudes con las de Google Earth, esto por la gratuidad, robustez y fiabilidad de sus mapas y herramientas.

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 3.1 muestra un ejemplo de las pruebas realizadas, en las que se introdujeron los valores de latitud y longitud calculadas por el Subsistema S2 a una marca de Google Earth y de midió la distancia desde el punto de intersección entre el ecuador y el meridiano cero.

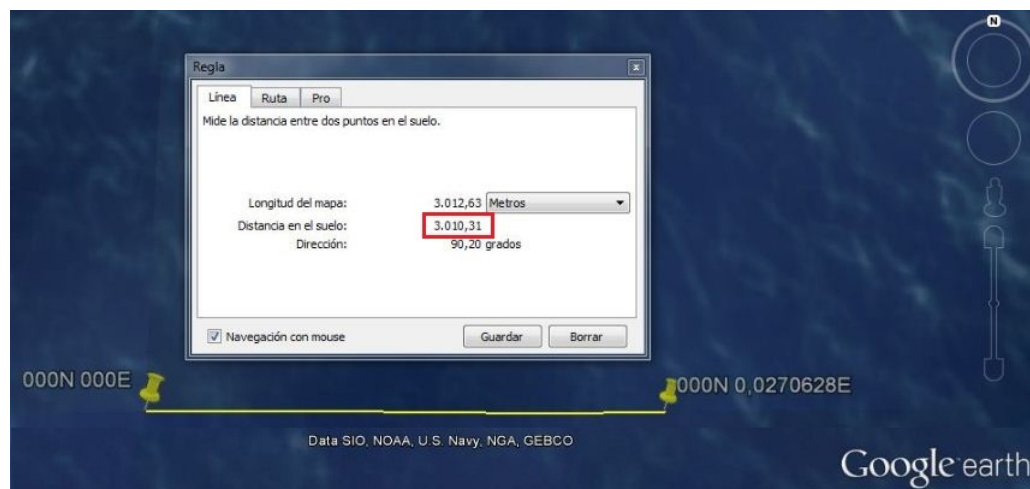


Figura 3.1: Coordenadas y distancia en el eje E en Google Earth

para este caso, se apuntó el dispositivo en la dirección este y se hicieron mediciones en ese sentido partiendo desde un origen de coordenadas (0N, 0E), sin giros hacia el eje N, los datos obtenidos por el subsistema son los mostrados en la figura 3.2; 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	0.000000	2009.1612	0.0180824	0.0000
PIC2	0.000000	2034.4456	0.0183100	0.0000
PIC2	0.000000	2065.5656	0.0185901	0.0000
PIC2	0.000000	2096.6868	0.0188701	0.0000
PIC2	0.000000	2127.8078	0.0191502	0.0000
PIC2	0.000000	2156.9840	0.0194128	0.0000
PIC2	0.000000	2187.2698	0.0196404	0.0000
PIC2	0.000000	2213.3908	0.0199205	0.0000
PIC2	0.000000	2242.5670	0.0201831	0.0000
PIC2	0.000000	2267.8528	0.0204106	0.0000
PIC2	0.000000	2298.9740	0.0206907	0.0000
PIC2	0.000000	2330.0950	0.0209708	0.0000
PIC2	0.000000	2361.2160	0.0212509	0.0000
PIC2	0.000000	2392.3372	0.0215310	0.0000
PIC2	0.000000	2423.4582	0.0218111	0.0000
PIC2	0.000000	2452.6246	0.0220737	0.0000
PIC2	0.000000	2477.9202	0.0223012	0.0000
PIC2	0.000000	2509.0412	0.0225813	0.0000
PIC2	0.000000	2540.1622	0.0228614	0.0000
PIC2	0.000000	2571.2836	0.0231415	0.0000
PIC2	0.000000	2602.4046	0.0234216	0.0000
PIC2	0.000000	2633.5258	0.0237017	0.0000
PIC2	0.000000	2662.7020	0.0239643	0.0000
PIC2	0.000000	2687.9876	0.0241919	0.0000
PIC2	0.000000	2719.1088	0.0244719	0.0000
PIC2	0.000000	2750.2298	0.0247520	0.0000
PIC2	0.000000	2777.4608	0.0249971	0.0000
PIC2	0.000000	2804.6916	0.0252422	0.0000
PIC2	0.000000	2835.8128	0.0255223	0.0000
PIC2	0.000000	2866.9338	0.0258024	0.0000
PIC2	0.000000	2898.0550	0.0260825	0.0000
PIC2	0.000000	2925.2860	0.0263275	0.0000
PIC2	0.000000	2952.5170	0.0265726	0.0000
PIC2	0.000000	2979.7478	0.0268177	0.0000
PIC2	0.000000	3006.9788	0.0270628	0.0000

Figura 3.2: Coordenadas, distancia y ángulos en el eje *E* en el Subsistema S2

Al comparar los resultados obtenidos, se observa en la figura 3.1 que se han recorrido 3,010, 32m en la dirección Oeste-este, valor que es muy cercano a los 3,006, 97m calculados por el subsistema. Además se evidencia que el ángulo es igual a cero.

Otro ejemplo de las pruebas realizadas análogo a las anteriores, es el mostrado en la figura 3.3. Estos son valores enviados por el subsistema S2, en el que se desplaza un móvil con un ángulo de 170, 4682° medido desde el eje *E*, recorriendo una distancia total de 2,534, 3272m.

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 3.3: Coordenadas, distancia y ángulos en el eje *E* y *N* en el Subsistema S2



La figura 3.4 muestra el recorrido del móvil anterior, alcanzando una distancia de 2,532, 52m con ángulo de -300° . Se evidencia que los márgenes de error del subsistema S2 son muy bajos comparado con las distancias y valores geográficos medidos.

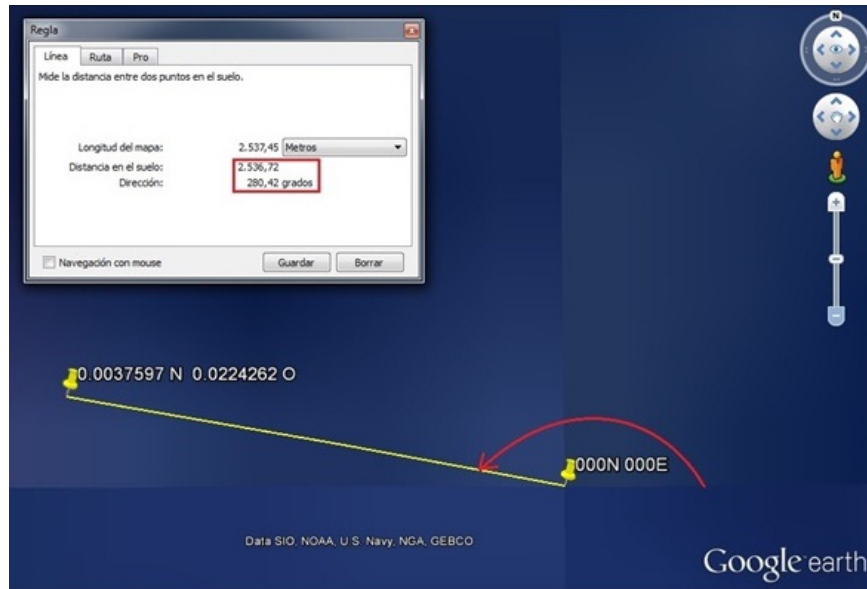


Figura 3.4: Coordenadas, distancia y ángulo medidos en Google Earth

3.2. Pruebas y Análisis del Funcionamiento del Subsistema S1

El funcionamiento del módulo 1 se valida con la conexión a la base de datos, al igual que el modulo GSM/GPRS, ya que es el encargado de establecer ésta conexión. lo primero que se analiza es la conexión con el servidor, en donde se recibe la clave secreta, se procesa y se envía de vuelta con la contraseña, una vez establecida la conexión se envían los datos de posicionamiento. En la figura 3.5 se observa el paquete de conexión que envía el servidor.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
6085	22:20:12.251451000	192.168.0.27	181.237.16.252	MySQL	124	Server Greeting proto=10 version=5.0.24a-community-nt
6113	22:20:14.952176000	181.237.16.252	192.168.0.27	MySQL	128	Login Request user=root db=localizador
6114	22:20:14.952964000	192.168.0.27	181.237.16.252	MySQL	65	Response OK
6126	22:20:16.550965000	181.237.16.252	192.168.0.27	MySQL	196	Request Query
6127	22:20:16.564441000	192.168.0.27	181.237.16.252	MySQL	65	Response OK
6141	22:20:17.872042000	181.237.16.252	192.168.0.27	MySQL	60	Request Quit


```

Frame 6085: 124 bytes on wire (992 bits), 124 bytes captured (992 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Realtek_c3:4a:e4 (00:e0:4c:c3:4a:e4), Dst: scientif_49:5b:e5 (00:22:3a:49:5b:e5)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.27 (192.168.0.27), Dst: 181.237.16.252 (181.237.16.252)
Transmission Control Protocol, Src Port: 3306 (3306), Dst Port: 6767 (6767), Seq: 1, Ack: 1, Len: 70
MySQL Protocol
  Packet Length: 66
  Packet Number: 0
  Server Greeting
    Protocol: 10
    Version: 5.0.24a-community-nt
    Thread ID: 60
    Salt: Eo"V1<'L
  Server Capabilities: 0xa22c
  Server Language: latin1 COLLATE latin1_swedish_ci (8)
  Server Status: 0x0002
  Unused:
    Salt: *-BEs60kkw7H
    
```

0000	00 22 3a 49 5b e5 00 e0	4c c3 4a e4 08 00 45 00	":I[... L.J...E.
0010	00 6e 05 1c 40 00 80 06	6d c1 c0 a8 00 1b b5 ed	.n.@... m.....
0020	10 fc 0c ea 1a 6f cd 66	0c ed 03 68 28 81 50 18	...o.f ...h(CP.
0030	41 a0 9d de 00 00 42 00	00 00 0a 35 2e 30 2e 32	A.....B. ...5.0.2
0040	34 61 2d 63 6f 6d 6d 75	6e 69 74 79 2d 6e 74 00	4a-commu nity-nt.
0050	3c 00 00 00 45 6f 22 56	6c 3c 27 4c 00 2c a2 08	<...Eo"V 1<'L....
0060	02 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 28
0070	28 42 43 73 3e 4f 6b 4b	77 37 46 00	=BEs60kk w7H

Figura 3.5: Mensaje de conexión Servidor MYSQL

lo mas relevante del paquete de datos mostrado en 3.5, son los campos ‘salt’ que contienen la clave secreta. éstos campos llegan por separado, por lo tanto hay que concatenarlos. Una ves se tiene la clave codificada se solicita al servidor una conexión hacia la base de datos en donde se van a registrar las coordenadas procesadas por el módulo 1. En la figura 3.7 se muestra el paquete de solicitud de conexión.

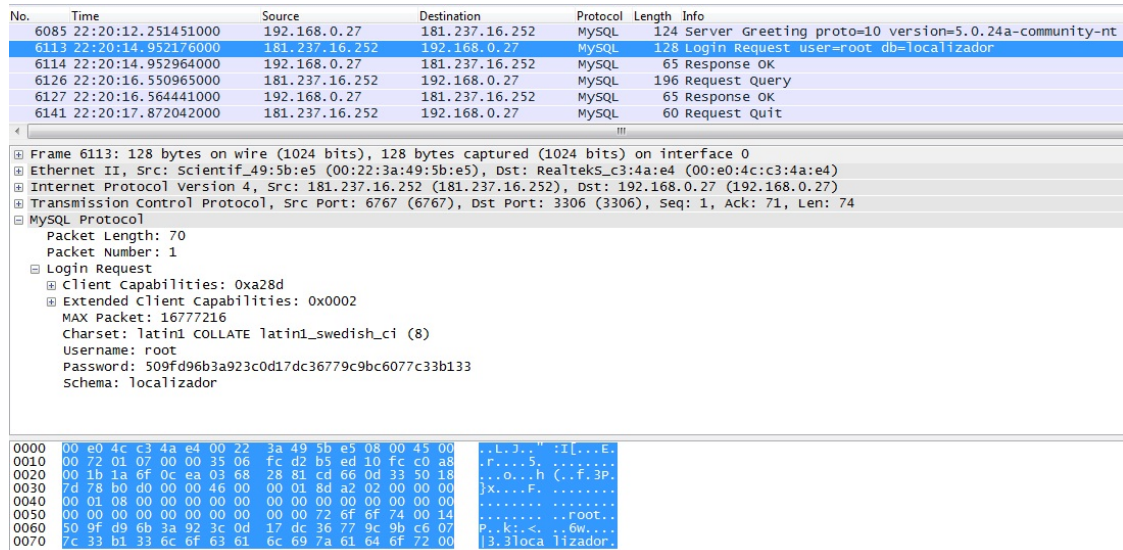


Figura 3.6: Mensaje de Solicitud de conexión hacia MYSQL

como se aprecia en 3.7 el modulo 1 de procesamiento de datos envía el nombre de usuario junto con la clave codificada mas el nombre de la base de datos a la cual se desea conectar. Si el usuario y la clave son correctos, se procede a enviar los datos de posicionamiento junto con un nombre de usuario, necesario para dar un orden en la base de datos. El paquete con los datos enviados por el sistema se muestra a continuación.

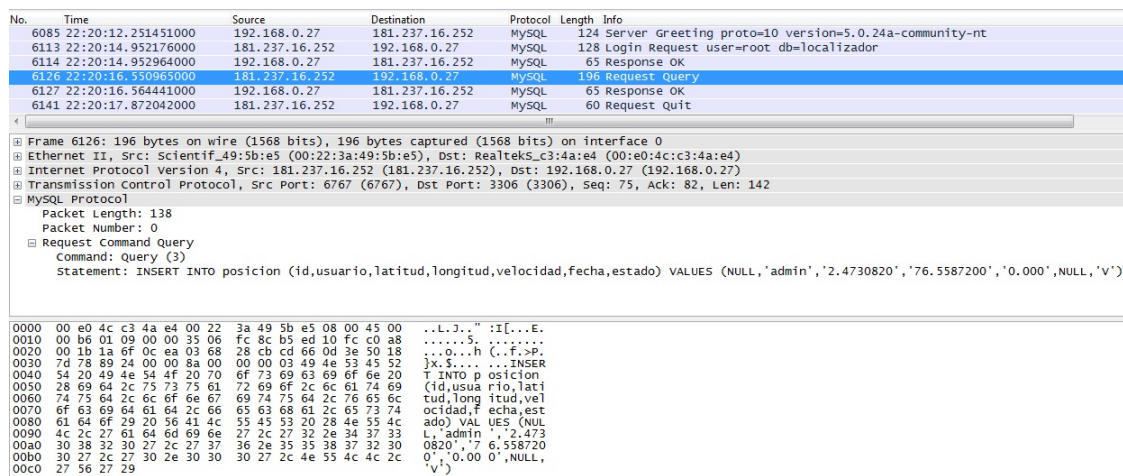


Figura 3.7: Mensaje de Envío de información hacia MYSQL

de 3.7 se pueden apreciar los datos de posicionamiento correspondientes a la latitud, longitud velocidad y estado, los datos NULL corresponden al identificador de los datos y a la fecha que



se carga automáticamente en el servidor.

Una vez enviados los datos, se cierra la conexión con el servidor y se espera hasta que haya otro dato para enviar. Al cargar la base de datos, se debe encontrar registrado el dato enviado, esto se verifica en la figura 3.8, que muestra la información ya almacenada en la base de datos.

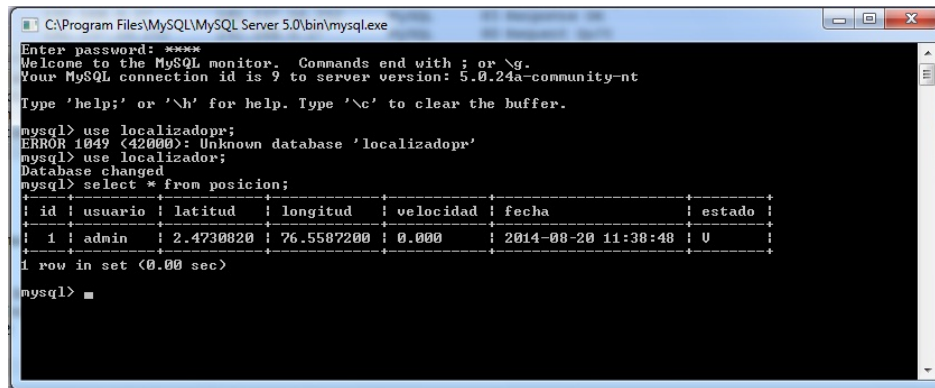


Figura 3.8: Verificación de la información guardada en MYSQL

De ésta manera se verifica el funcionamiento del modulo 1 de procesamiento de datos.

3.3. Pruebas y Análisis del Funcionamiento del Subsistema S3

Para realizar pruebas a la interfaz de usuario se cargaron varios usuarios con información de datos geográficos aleatorios, el sistema responde con altos niveles de seguridad para el ingresar y acceder a su propia información.

La figura 3.9 muestra información de datos geográficos enviados por el sistema a la Base de Datos; los dos primeros son datos enviados por el GPS (Estado 'A'), los siguientes se han enviado por el Subsistema S2 (Estado 'S') después de deshabilitar por software el funcionamiento de GPS simulando así la perdida de conexión con los satélites.

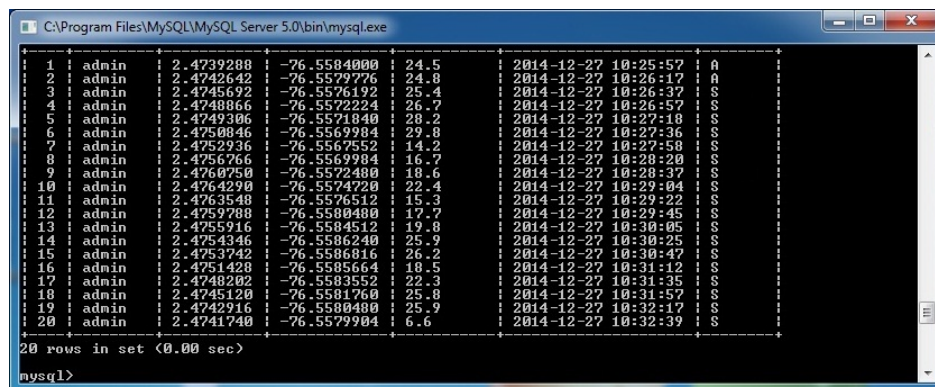


Figura 3.9: Prueba de recorrido almacenado en la Base de datos

La interfaz de usuario es validada al acceder a la Base de Datos y extraer los puntos de coordenadas que se deseen visualizar en el mapa. En la figura 3.10 se puede apreciar el funcionamiento

de la página, al trazar el recorrido del vehículo empleando los mapas de Google Maps de la información almacenada mostrada en la figura 3.9; se aprecian los dos puntos iniciales (enviados por el GPS) a partir de los cuales el sistema calcula 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 debe a la deriva del giroscopio.

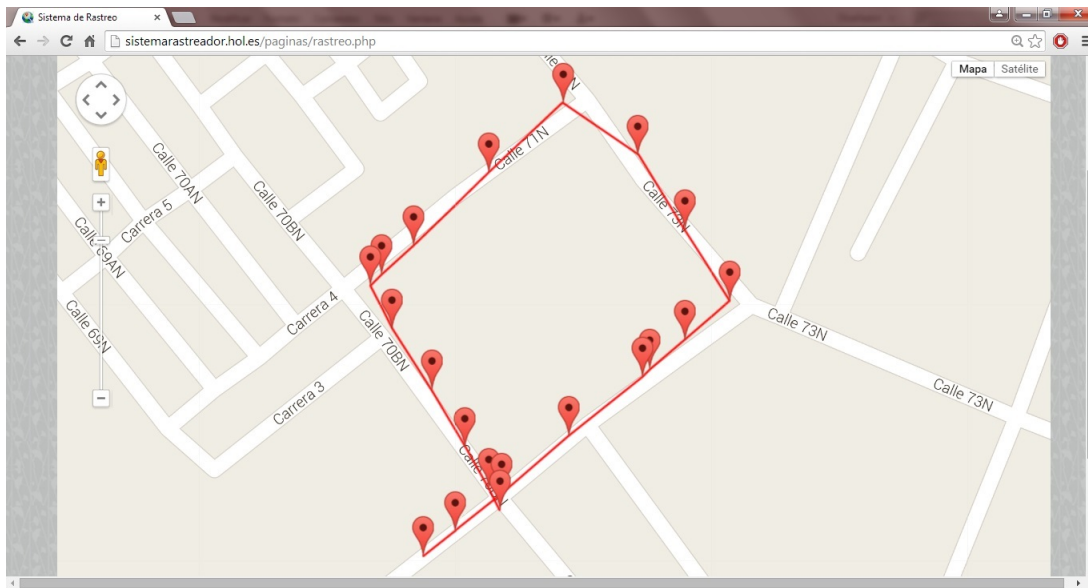
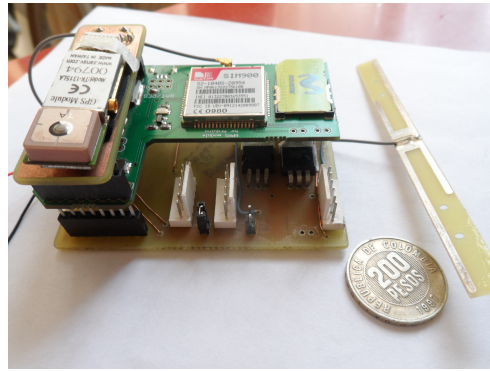


Figura 3.10: Visualización de las coordenadas en la Interfaz de Usuario

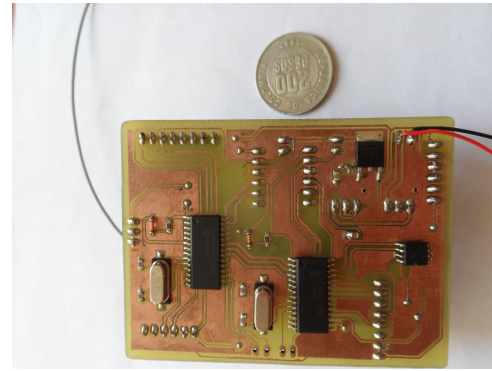
La interfaz de usuario no se había fijado dentro de los objetivos y alcances de este proyecto de grado, sin embargo se vio la necesidad de su construcción dada la obsolescencia de algunas tecnologías que pudieron haber sido utilizadas y la complejidad, por su alto nivel de desarrollo tecnológico, de otras.

3.4. Características Técnicas Generales del Hardware

El dispositivo terminado se observa en la figura 3.11, en la parte superior se han dispuesto los módulos GSM/GPRS y GPS (figura 3.11(a)); la PCB ubicada en la parte inferior del dispositivo contiene los Módulos 1 y 2 de Procesamiento de Datos, tal y como se ve en la figura 3.11(b). Las características técnicas del dispositivo se presentan en la tabla de especificaciones 3.1.



(a) Hardware terminado



(b) Placa inferior del dispositivo

Figura 3.11: Dispositivo terminado

Los márgenes de errores del dispositivo se han calculado de acuerdo a los mediciones realizadas en las pruebas efectuadas en cada uno de los módulos (de manera independiente), así como las efectuadas al sistema final.

Tabla 3.1: Características técnicas del dispositivo final

Especificación Técnica		Unidades
Dimensiones		7,8 x 5,9 x 4,4 cm
Taza de envío de datos		1430 Bytes/10s
Voltaje de operación		9 - 18 V
Corriente de operación		250mA en arranque, 150mA en operación
Sensibilidad GPS		-159dBm
Sensibilidad Tx/Rx GSM/GPRS		-109dBm
Ganancia Antena Tx/Rx GSM/GPRS		0dBi
Margen de error del odómetro		$\pm 2P^a$
Margen de error del giroscopio (medida)		$\pm 0,01^\circ/m$
Precisión de posición del GPS		3m CEP
Precisión de posicionamiento del sistema	Latitud	$Y_N = (T^b \pm 2P) \text{sen}[\theta^c \pm (0,01^\circ/m)(T \pm 2P)]$
	Longitud	$X_N = (T \pm 2P) \text{cos}[\theta \pm (0,01^\circ/m)(T \pm 2P)]$
Protocolo para programación		ICSP ^d
Protocolo de comunicación con el servidor		TCP/IP

^aPerímetro de la rueda.

^bTrayecto recorrido.

^cÁngulo calculado por el sistema.

^dProgramación Serial en Circuito.

Capítulo 4

Conclusiones y Trabajo Futuro

A continuación se describen las conclusiones y las recomendaciones generadas como resultado del desarrollo del presente trabajo de grado, y se plantean proyectos sobre futuras líneas de investigación que pueden desprenderse de éste.

4.1. Conclusiones

- La integración de la tecnología de los Sensores Inerciales con las de GNSS, permite un avance significativo en el problema de rastreo satelital cuando éstos fallan o no tiene suficiente cobertura en una determinada región, al mismo tiempo que abre novedosos caminos de investigación y de aplicaciones técnicas y tecnológicas.
- 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 GPS, GSM/GPRS, Sensores Inerciales, microcontroladores y de Software.
- El diseño del Sistema de Monitoreo de Vehículos desarrollado en el presente trabajo de grado no está limitado (y no tiene porque estarlo) al sistema GPS de la constelación NAVSTAR, tampoco a una red GSM/GPRS; pues tales sistemas pueden ser sustituidos por otros, tales como GLONASS o GALILEO y redes LTE, UMTS, WLAN, etc., respectivamente.
- En el presente trabajo de grado se demostró que los dispositivos microcontroladores pueden ser utilizados de forma sencilla, rápida y económica para acceder a Bases de Datos en sistemas que no requieran gran capacidad de envío de información.
- Con los resultados de las pruebas efectuadas en el odómetro electrónico diseñado e implementado por los autores en el presente trabajo de grado, se lograron errores de medida inferiores a $\pm 4,88m$ en trayectos mayores a los $100m$; este margen de error puede ser reducido de manera proporcional al número de elementos magnéticos dispuestos en la rueda del vehículo.
- Un Sistema Prototipo o comercial de Monitoreo Vehicular, puede ser desarrollado sin limitarse a los dispositivos y módulos utilizados en el presente trabajo de grado.



- Dispositivos electrónicos como el odómetro, acelerómetro y giroscopio, que permiten la medición de distancia y movimiento, puede 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.
- Ante la dificultad de encontrar en el mercado dispositivos de odometría que cumplan con requerimientos de precisión, tamaño, costo y velocidad de transmisión de datos, la tecnología de sensores de efecto Hall y de microcontroladores proporcionan buenos elementos que permiten el diseño y fabricación de odómetros de gran precisión, reducido tamaño, bajo costo y digitalización de la información.
- El sistema desarrollado en el presente trabajo de grado para el monitoreo de vehículos, permite que la CEP (Probabilidad de Error Circular) que determina la posición geográfica de un usuario de GPS, se mantenga dentro de los valores internacionales aceptados para receptores GPS de uso civil, incluso en momentos donde los receptores han perdido comunicación con lo satélites.
- DMP facilita procesos del micro
- La presencia de pendientes profundas en el terreno genera el cálculo de un vector de posición mas extenso en el recorrido del vehículo, en consecuencia se obtienen mediciones de puntos de coordenadas errados; esto podría ser corregido empleando el ángulo de inclinación del giroscopio.

4.2. Trabajos Futuros

Se sugieren para trabajos futuros en esta misma línea de investigación, los siguientes.

- Integración de las redes WPAN, WMAN y WWAN para monitoreo de personas y vehículos en ambientes exteriores e interiores.
- Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de personas y vehículos soportado en redes GNSS, redes WWAN y tecnología MEMS utilizando una única unidad de procesamiento de alta velocidad.
- Desarrollar una aplicación Web o móvil que permita a los usuarios efectuar un control de movilidad, restricción de zonas, alarmas de velocidad, posibles rutas alternas, etc.

Bibliografía

- [1] A. Küpper, *Location-based services: fundamentals and operation*. John Wiley & Sons, 2005.
- [2] ETSI, European Telecommunications Standards Institute., *ETSI TS 123 271 V5.10.0. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Location Services (LCS); Functional description; Stage 2*.
- [3] K. Virrantaus, J. Markkula, A. Garmash, V. Terziyan, J. Veijalainen, A. Katanosov, and H. Tirri, “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, M. Neun, and A. Edwardes, “Foundations of location based services lesson 1 cartouche 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] V. Milián, Y. Pérez, A. Sánchez, and S. Fuentes, “Propuesta de framework para servicios basados en localización en cuba,” in *1er Congreso Iberoamericano de Proyectos, Chile*, 2010.
- [7] Cartesia, “www.cartesia.org/articulo88.html,” *Último acceso 07/01/2015*.
- [8] G. y. C. U. d. C. Laboratorios de Astronomía, ed., *SISTEMAS GNSS: Funcionamiento, Posicionamiento y Precisión.*, Dpto. de Matemáticas. Facultad de Ciencias.
- [9] U. ISO, “19111 (2005): Información geográfica,” *Sistemas de referencia espaciales por coordenadas (ISO 19111: 2003)*.
- [10] D. A. G. Álvarez, *Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)*. Proyecto fin de carrera, UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID, ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR, Enero 2008.
- [11] L. Parks and J. Schwoch, *Down to Earth: Satellite Technologies, Industries, and Cultures*. New Directions in International Studies, Rutgers University Press, 2012. Citado por: Rick W. Sturdevant.
- [12] G. N. Eduardo Huerta, Aldo Mangiaterra, *GPS: Posicionamiento Satelital*. 2005.
- [13] M. S. Castañer, J. L. B. Sanmartín, and L. de Haro Ariet, *Radiación y propagación*. Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones, 2004.



- [14] E. Aranda, A. De la Paz, I. Berberana, and H. González, “Sistemas de localización en redes móviles: el servicio de emergencias 112,” *Comunicaciones de Telefónica I+ D*, no. 21, pp. 117–131, 2001.
- [15] A. M. B. Barbolla, J. M. M. Chaus, and J. R. C. Corredera, *Servicios móviles de localización: Aplicaciones en el sector turístico*. 2003.
- [16] S. F. Arcones, “Posicionamiento 2d5 en interiores mediante comunicaciones inalámbricas rf,” *UNIVERSIDAD DE ALCALÁ. Escuela Politécnica Superior*, pp. 16–28, 2012.
- [17] E. O. Dijk, *Indoor Ultrasonic Position Estimation Using a Single Base Station*. Tesis doctoral, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven: Holanda, Septiembre 2004.
- [18] S. Gezici, Z. Tian, G. B. Biannakis, H. Kobayashi, A. F. Molisch, V. Poor, Z. Sahinoglu, S. Gezici, Z. Tian, G. B. Giannakis, H. Kobayashi, A. F. Molisch, H. V. Poor, and Z. Sahinoglu, “Localization via ultra-wideband radios,” in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, (10.1109/MSP.2005.1458289), pp. 70–84, Julio 2005.
- [19] F. Seco, K. Koutsou, F. Ramos, and A. R. Jiménez, “Localización personal en entornos interiores con tecnología rfid,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 10, no. 3, pp. 313 – 324, 2013.
- [20] J. Eberspächer, H.-J. Vögel, and C. Bettstetter, *System Architecture and Addressing*, ch. 1-2, pp. 29–45. John Wiley & Sons, Ltd, second ed., 27 Septiembre 2001.
- [21] G. Sanders, L. Thorens, M. Reisky, O. Rulik, and S. Deylitz, *GPRS Networks*, ch. 4, pp. i–ix. John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [22] ANLA, “Glosario, geomática,” *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales*, abril 02 2014.
- [23] V. Olaya, *Sistemas de Información Geográfica*. Open Source Geospatial Foundation, noviembre 2011.
- [24] OGC, “www.opengeospatial.org/,” *Último acceso 11/10/2014*.
- [25] InteracTIC, “Intelligent transportation systems -its- en colombia: Estudio cualitativo,” *CINTEL, Centro de Investigación de las Telecomunicaciones*, vol. 5.0, pp. 20 – 25, Diciembre 2010.
- [26] M. M. Gómez and J. O. V. G., “Introducción a la física,” documento de trabajo, Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellin.
- [27] “International association of geodesy (iag),” www.iag-aig.org/. Tomado de: García-Asenjo V. L., Henández L. D. Geodesia, febrero de 2005.
- [28] L. G.-A. V. Emilio Benítez Aguado, “Sistemas de referencia en geodesia,” *Dialnet*, no. 42, pp. 57 – 80, 2001. ISSN 1138-3488.
- [29] SITOP, “Sistemas de referencia y de coordenadas,” *Servicios de Ingeniería TOPográfica y Cartográfica S.L., (SITOP S.L.)*. Servicio de archivo FTP.
- [30] D. O. Defense, “World geodetic system 1984,” *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). Standardization Document*, pp. 2:1–2; 3:8–9, Julio 2014. OFFICE OF GEOMATICS.



- [31] P. T. Bernadí, “Sistema de navegación ins/gps para un cohete suborbital controlado,” *Universidad de Buenos Aires*, pp. 10–13, Marzo 2013. Tesis de Grado de Ingeniería Electrónica.
- [32] E. Grodona, “Sistema de navegación integrada, diseño y comparativa de algoritmos de navegación fuerte y débilmente integrados con gps,” tesis de pregrado, Universidad de Buenos Aires, 2013. FACULTAD DE INGENIERÍA, Departamento de Electrónica.
- [33] A. O. B. Irene Santos Velázquez, “Detección de obstáculos con lidar mediante la técnica de background,” proyecto fin de carrera, UNIVERSIDAD DE SEVILLA, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Julio 2013. Departamneto de Inegeniería de Sistemas y Automática FADA-CATEC.
- [34] A. G. P. S. Ruben Amezcua Paredes, “Sistema de referencia inercial: Análisis de funcionamiento, fundamentos y evolución,” tesis de pregrado, Istituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Electrónica, Unidad Ticoman, Enero 2012.
- [35] UNAM, “Sistemas microelectromecánicos (mems),” *Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería - UNAM*, pp. 3–4. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [36] “Laboratorios nacionales sandia (*Sandia National Laboratories*),” www.sandia.gov/mstc/mems_info/movie_gallery.html. Último acceso 22/05/2014.
- [37] “Universidad veracruzana,” www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol22num2/articulos/microace/index.html. Último acceso 14/03/2015.
- [38] “Mems journal,” www.memsjournal.com/2010/08/gyroscopes-adding-up-to-next-commodity-mems.html. Último acceso 14/03/2015.
- [39] A. C. G. y J. A. M. G. Adrián José Fernández Fernández, Louis Paúl Tomillo, “Sistema de localización gnss para flotas de vehículos, aplicable a vehículos ferroviarios.,” 2007.
- [40] M. A. T. y J. A. M. Nelson Acosta, “Desarrollo de un colector de datos portátil,” *Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*. Facultad de Ciencias Exactas UNICEN. Redimec S.R.L. Tandil, Argentina.
- [41] M. T. Torriti, “Tutorial microcontroladores pic,” *Pontificia Universidad Católica de Chile*, p. 3, Abril 2007.
- [42] E. G. Marcelo Tosini, José Marone, “Arquitectura y organización de un microcontrolador genérico,” in *Taller de Microcontroladores*, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2012. Material de clase Optativa de grado y Curso de Posgrado.
- [43] E. C. Bozich, “Introducción a los dispositivos fpga. análisis y ejemplos de diseño,” cátedra de trabajo final, Universidad Nacional de la Plata, 2005. Departamento de Electrónica.
- [44] Oxford reference Pnline., *Software prototyping*. A dictionary of computing, Oxford Unier-sity Press, 2004. Oxford University Press. Universitat de Barcelona. 28 de Diciembre de 2007.
- [45] D. Cantone, *Implementacion y Debugging*. Manuales users, Mp Ediciones Corporation, 2006.



- [46] H. A. F. Fernández, “Procesos de ingeniería de software,” *Revista Vínculos*, vol. 6, p. 27, Octubre 2009.
- [47] I. Inc, “MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4,” *1197 Borregas Ave, Sunnyvale, CA 94089 U.S.A.*, 2013.
- [48] G. T. del Castillo, “La Representación de Cuaterniones Mediante Rotaciones,” *Universidad Autónoma de Puebla*, 1999.
- [49] J. Diebel, “Representing Attitude: Euler Angles, Unit Quaternions, and Rotation vectors,” *Stanford University*, 2006.
- [50] Allegro, “3503 ratiometric, linear hall-effect sensors,” *Allegro MicroSystems, Inc*, 1999. Data Sheet.
- [51] C. Hecker, “Let’s Get to the (Floating) Point,” *definition six, incorporated*, 1997.
- [52] N. O. Y. N. T. G. Enríquez Toledo Alma, Maldonado Ayala Jesús, “Mysql,” *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*, junio 2014. Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas - CIICAP.

Apéndice A

Software Utilizado

A.1. CCS Compiler

CCS es un compilador desarrollado por Custom Computer Services, Inc. para programación en lenguaje C de toda la gama de microcontroladores PIC de Microchip, facilita la programación de los MCU gracias a la gran variedad de librerías que incorpora.



Figura A.1: Logo CCS. Tomado de www.ccsinfo.com

La imagen de la figura A.2 muestra la interfaz de usuario de la versión 4.1 usada para la programación de los PIC 18F2550 y PIC 12F625SN del presente trabajo de grado.

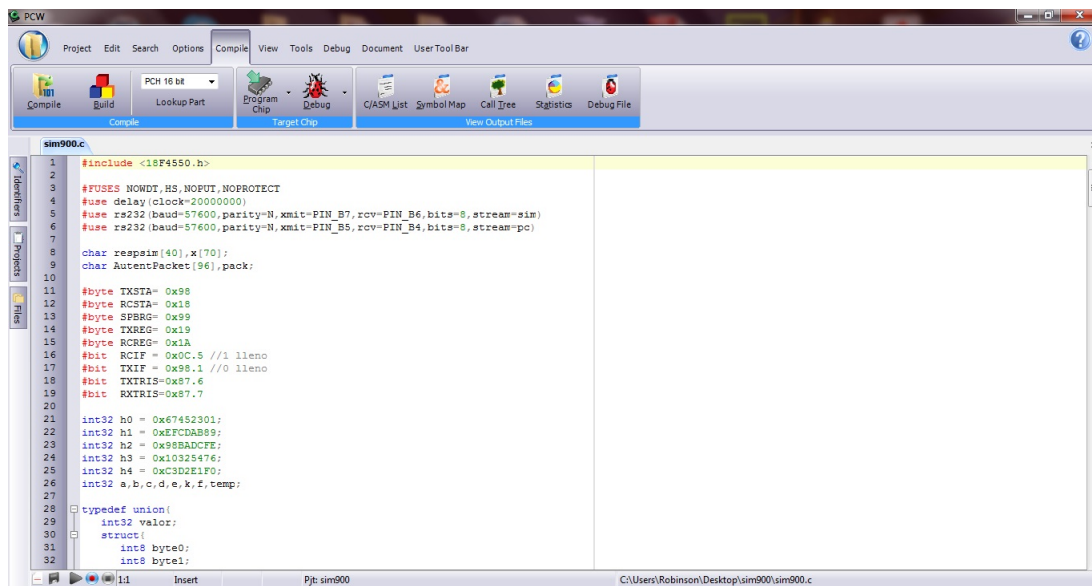


Figura A.2: Interfaz de Programación CCS

A.2. PICKit2

PICKit 2 en su versión más reciente la 2.61, es un programador para microcontroladores PIC desarrollado por Microchip Technology. Se utiliza para programar y microcontroladores, así como EEPROM, programas de depuración. Algunos modelos también cuentan con analizador lógico y osciloscopio de bajas prestaciones.



Figura A.3: Logo PICKit 2. Tomado de www.microchip.com

La imagen de la figura A.4 muestra la interfaz del programa.

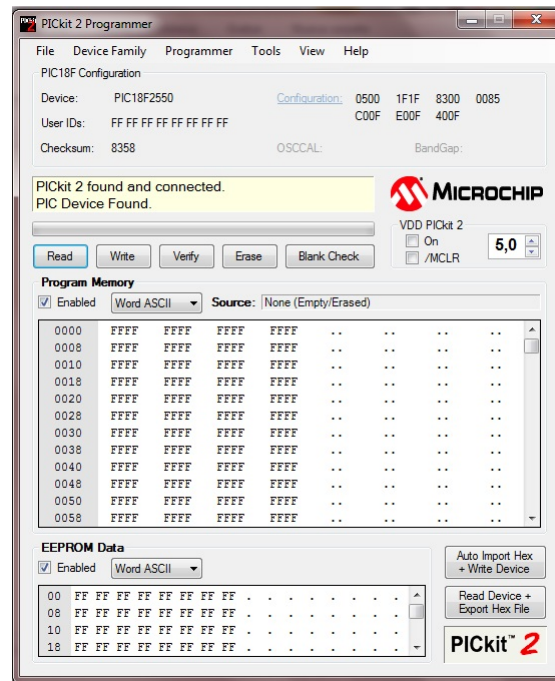


Figura A.4: Interfaz de PICKit 2

A.3. Wireshark

Es un analizador de protocolos utilizado para realizar análisis y solucionar problemas en redes de comunicaciones, para desarrollo de software y protocolos, y como una herramienta didáctica. Cuenta con todas las características estándar de un analizador de protocolos.



Figura A.5: Logo Wireshark. Tomado de www.wireshark.org

Posee con una interfaz gráfica (figura A.6) con múltiples opciones de organización y filtrado de información. Así, permite visualizar todo el tráfico que pasa a través de una red (usualmente una red Ethernet, aunque es compatible con otras).

En el presente trabajo de grado se usó esta herramienta para el análisis del flujo de la información desde el módulo GSM/GPRS al servidor y viceversa, tal y como se muestra en la sección 3.2.

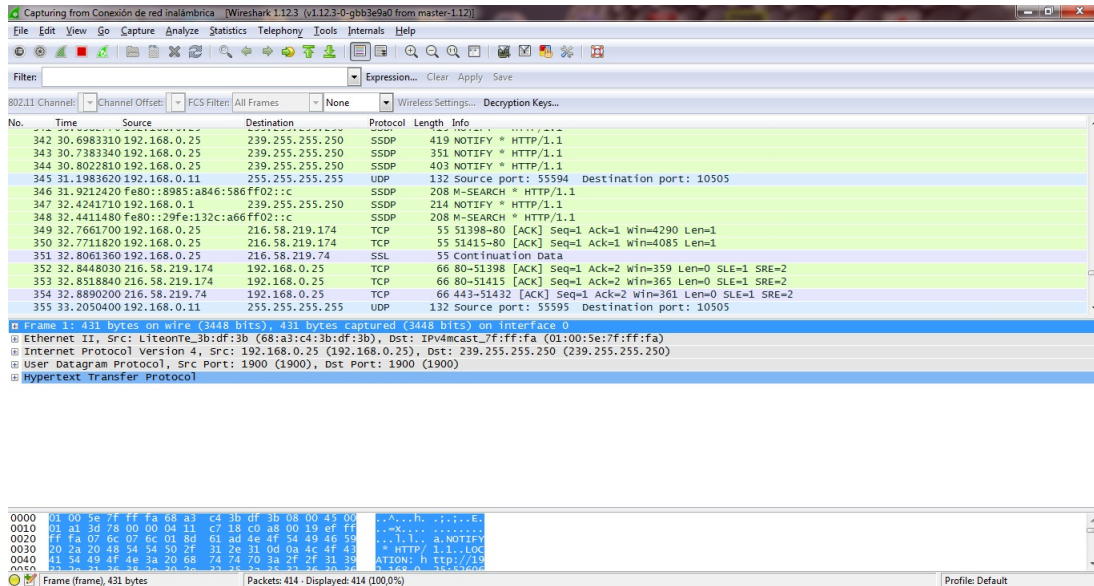


Figura A.6: Interfaz de Wireshark

A.4. HyperTerminal

HyperTerminal puede utilizarse para configurar una conexión de acceso telefónico a otro ordenador a través del módem interno mediante Telnet. Puede ser utilizado también para configurar una conexión de transferencia de datos entre dos equipos (tales como una computadora de escritorio y una computadora portátil) utilizando los puertos serie, y para el control de puerto serie de los dispositivos externos o sistemas tales como: instrumentos científicos, robots, o estaciones de comunicaciones de radio.



Figura A.7: Logo HyperTerminal

En la figura A.8 se muestra la interfaz del programa de la versión 6.3, utilizado en el presente trabajo de grado para visualizar la información transmitida por cada uno de los módulos del sistema.

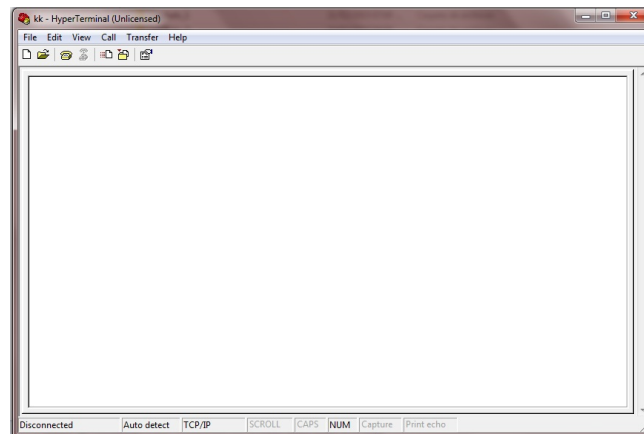


Figura A.8: Interfaz de HyperTerminal

A.5. Adobe DreamWeaver

Adobe Dreamweaver es una aplicación que está destinada a la construcción, diseño y edición de sitios, vídeos y aplicaciones Web basados en estándares.

Creado inicialmente por Macromedia (actualmente producido por Adobe Systems) es uno de los programas más utilizados en el sector del diseño y la programación web por sus funcionalidades, su integración con otras herramientas como Adobe Flash y, recientemente, por su soporte de los estándares del World Wide Web Consortium.

Este software fue utilizado en el presente trabajo para la elaboración de la Interfaz de Usuario diseñada en la sección 2.2.6.2. La figura A.10 muestra la interfaz de trabajo de este programa.



Figura A.9: Logo Dreamweaver. Tomado de www.adobe.com

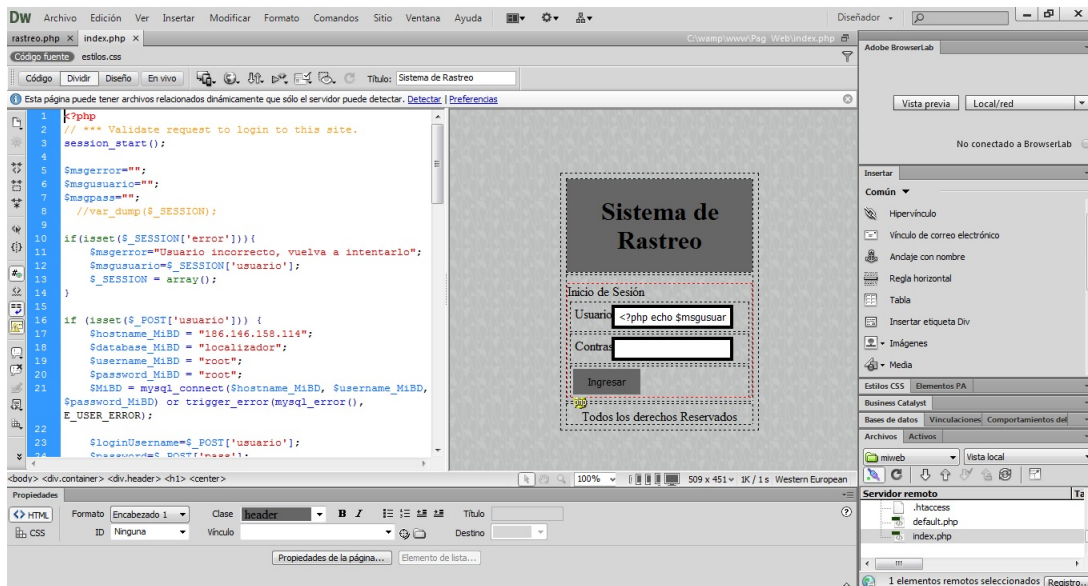


Figura A.10: Interfaz de DreamWeaver

A.6. L^AT_EX

El sistema T_EX es un sofisticado programa para la composición tipográfica de textos *científicos* y es una de las mejores opciones disponibles para la edición de textos con contenido matemático tales como artículos, reportes, libros, etc. T_EX es en la práctica un estándar para publicaciones científicas en áreas como matemática, física, computación, etc. L^AT_EX es un conjunto de macros T_EX preparado por Leslie Lamport. L^AT_EX no es un procesador de de textos, es un lenguaje que permite preparar automáticamente un documento de apariencia estándar y de alta calidad.



Figura A.11: Logo La-TeX. Tomado de www.tex.stackexchange.com/



A.7. T_EXstudio

T_EXstudio es un editor de L^AT_EX de código abierto y Multiplataforma con una interfaz similar a Texmaker. Es un IDE de L^AT_EX que proporciona un soporte moderno de escritura, como la corrección ortográfica interactiva, plegado de código y resaltado de sintaxis.

Originalmente llamado TexMakerX, T_EXstudio se inició como un Fork de Texmaker que trató de extenderlo con características adicionales manteniendo su apariencia. Se ejecuta en Windows, Unix / Linux, BSD, y sistemas Mac OS X.

La figura A.13 muestra la interfaz de la versión 2.8.8 del programa, utilizada en la creación de este documento.



Figura A.12: Logo T_EXstudio. Tomado de www.texstudio.sourceforge.net

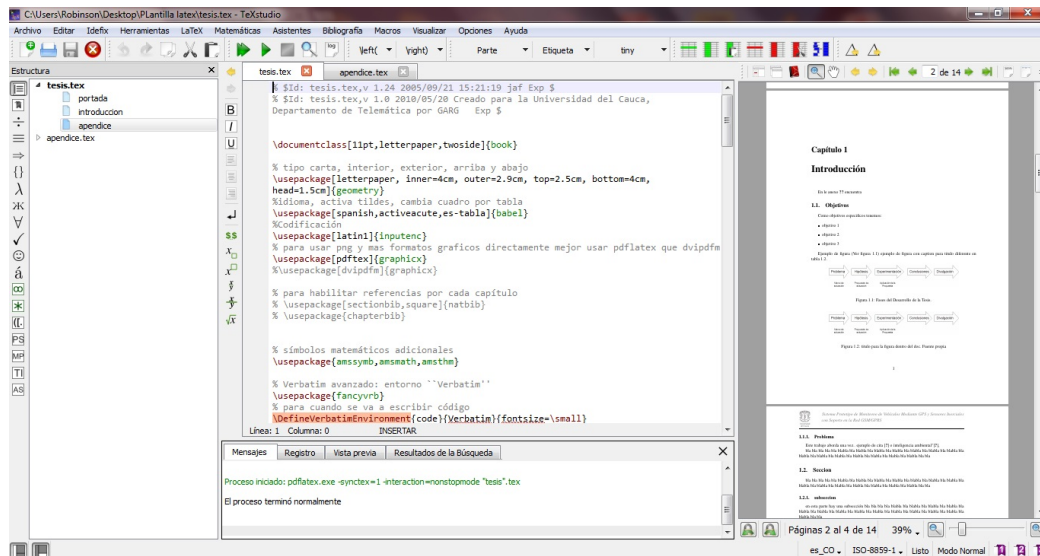


Figura A.13: Interfaz de TeXstudio

A.8. Eagle

EAGLE, (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*) es un programa de diseño de diagramas y PCBs con autoenrutador. Famoso alrededor del mundo de los proyectos electrónicos DiY, debido a que muchas versiones de este programa tienen una licencia Freeware y gran cantidad de bibliotecas de componentes alrededor de la red.

La figura A.15 muestra la interfaz de trabajo de la versión 7.2 del programa, utilizado para el desarrollo del presente trabajo de grado.



Figura A.14: Logo de Eagle. Tomado de www.cadsoft.de

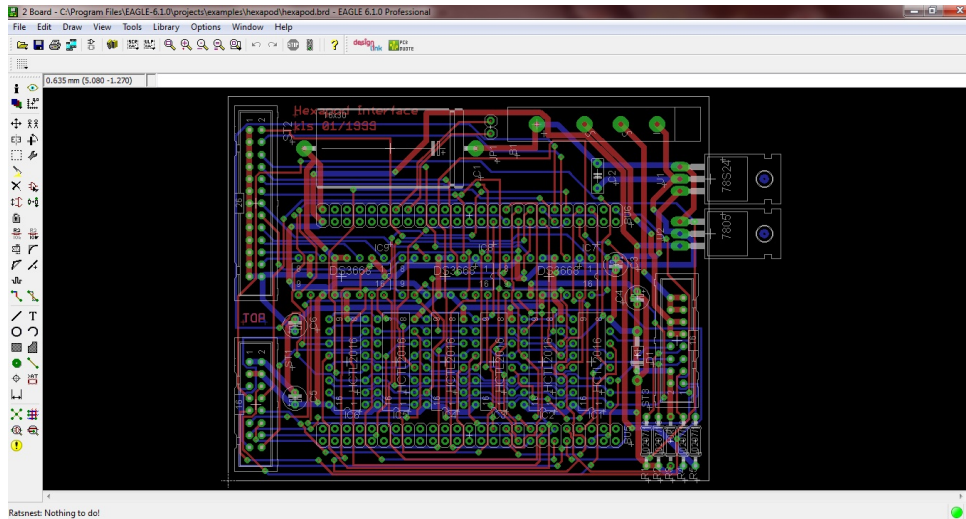


Figura A.15: Interfaz de Eagle

A.9. SmartDraw

SmartDraw es una herramienta de modelado que destaca por su gran variedad de modos de modelado. Desde ingeniería del software a planificación de superficies o terrenos, pasando por los típicos diagramas de flujo, mapas conceptuales y organigramas empresariales. Se trata de una de las herramientas con gran variedad de modelos para el diseño de software, diseño de base de datos, diseño de arquitectura hardware y diagramas de flujo.



Figura A.16: Logo de SmartDraw

La figura A.17 muestra la interfaz del programa para la versión 6.51 con las herramientas disponibles. Para el presente trabajo de grado se usó esta herramienta software en la elaboración de los diagramas de flujo, casos de uso, diagramas de bloques y gráficos.

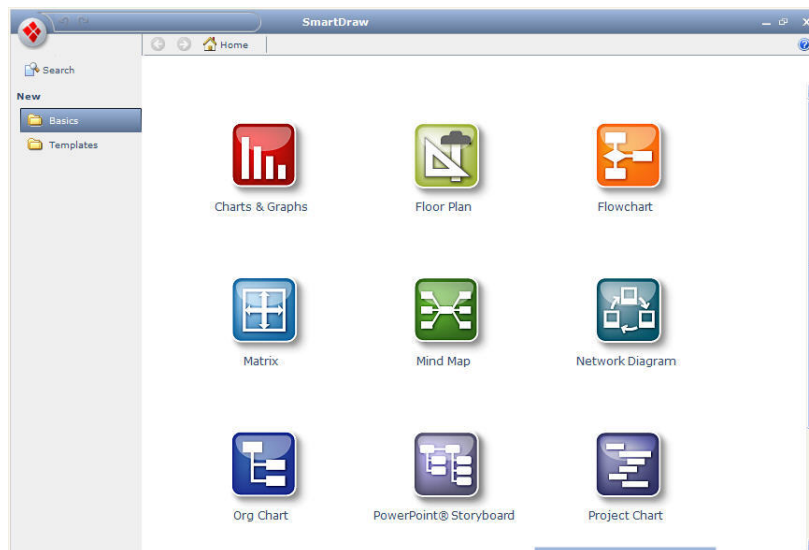


Figura A.17: Interfaz de Eagle

Apéndice B

Fabricación de PCB

B.1. Materiales



Figura B.1: Materiales

Los materiales para la construcción de la placa circuital son los siguientes:

- Placa virgen de fibra de vidrio a la medida del circuito.
- Papel fotosensible.
- Químicos (Eliminador, Revelador).
- Percloruro Férrico.
- Acetato.
- Lámpara UV.

B.2. Papel Fotosensible

El papel fotosensible es un plástico que contiene una película sensible a la luz ultravioleta, se encuentra forrada por dos películas transparentes que la protegen. Para pegarlo al cobre, basta



Figura B.2: Pegado del Papel Fotosensible

con retirar una película con la ayuda de una cinta transparente, asegurándose de que no queden burbujas al momento de pegarlo. Con una pistola de aire caliente o un secador, aplicar calor y presión al plástico para que se adhiera bien al cobre.

B.3. Diseño del Negativo

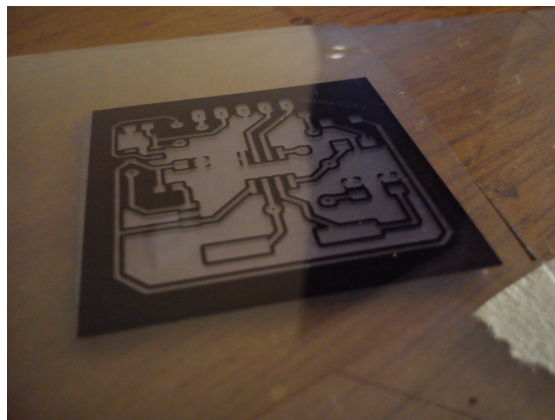


Figura B.3: Diseño Negativo

Se utiliza un acetato para imprimir el diseño previamente hecho en Eagle del circuito, se debe imprimir en negativo, lo que indica que las pistas del circuito quedan transparentes y la parte que se desea eliminar del cobre queda en negro.

B.4. Sensibilizado del Material

Una vez se tiene pegado el plástico sobre la placa y el diseño del circuito en el acetato, se prosigue con el sensibilizado del material. Se coloca el acetato sobre la placa, asegurándose de que quede centrado y se enciende la lámpara UV sobre la placa por 45 segundos.



Figura B.4: Sensibilizado

Cuando el material se sensibiliza se torna un poco mas oscuro como se muestra en B.4, se retira la segunda película transparente del papel y se continua con la aplicación del químico revelador.

B.5. Revelado de la Placa

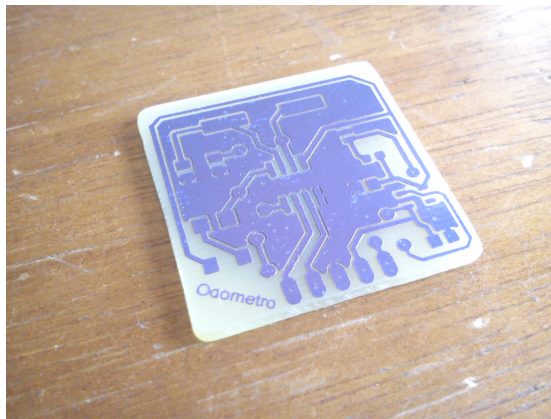


Figura B.5: Ataque del Percloruro Férrico

Cuando se revela la placa, el circuito queda plasmado sobre el cobre, listo para ser atacado por el percloruro férrico.

B.6. Eliminador

El químico eliminador, retira los restos de la película fotosensible de forma fácil.



Figura B.6: Químico Eliminador

B.7. Limpieza



Figura B.7: Limpieza de la placa

Con la ayuda de una esponjilla y agua se limpian los residuos que pueden haber quedado, de igual manera se le da brillo a la placa, culminado así el proceso de fabricación de la misma.

B.8. Circuito Terminado

La figura B.8 muestra el circuito terminado, con sus componentes electrónicos soldados a la placa y listo para poner en funcionamiento.

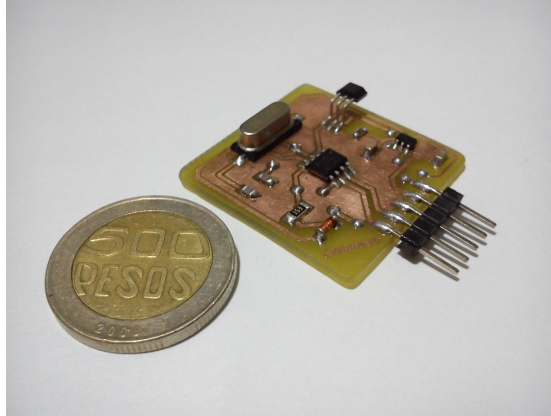


Figura B.8: Circuito Odómetro Electrónico

El proceso de construcción de la PCB para el Módulo 1 y Módulo 2 de procesamiento de datos es el mismo; la figura B.9 muestra la placa terminada con los dispositivos incorporados.

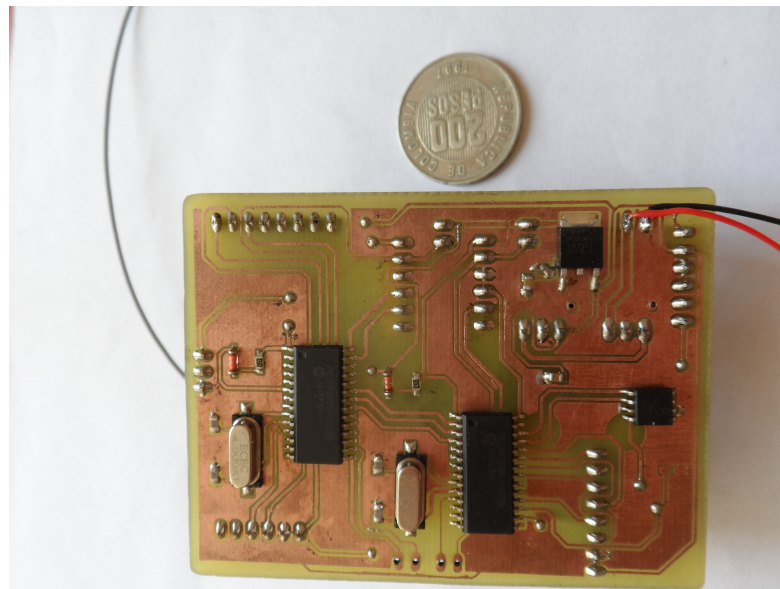


Figura B.9: Circuito del Módulo 1 y 2 de Procesamiento de Datos

