

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

*ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA*

**TELELOCALIZACIÓN Y CAPTURA DE IMÁGENES PARA  
MEJORAR UNA BASE DE DATOS CRIMINALÍSTICA DEL  
ROBO DE VEHÍCULOS EN LA CIUDAD DE LIMA**



**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRONICO**

*PRESENTADO POR*

*HERNANDEZ ORE, RICARDO JAPHET*

*LUDEÑA GUTIERREZ, ABEL GUSTAVO*

*LIMA – PERU*

*AÑO 2015*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por todo lo que nos da y las oportunidades que hemos aprovechado.

A nuestras familias por el apoyo incondicional y todo su amor.

A nuestro asesor, el Ingeniero Gustavo Rosselló, por ser un guía y habernos brindado su apoyo en todo momento.

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	2
ÍNDICE .....	3
LISTA DE FIGURAS .....	6
LISTA DE TABLAS.....	8
CAPITULO I .....	9
<b>1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Introducción.- .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2. Marco Situacional.- .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.1. Problematización.-.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.2. Objetivos.- .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. Importancia.-.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4. Metodología.- .....</b>	<b>14</b>
CAPITULO II .....	16
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Antecedentes.- .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1. Proyectos realizados en el Perú.-.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2. Proyectos realizados en el extranjero.- .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Descripción de las tecnologías de localización .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1. Tecnología GPS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2. Tecnología GSM.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.3. Tecnología GPRS.....</b>	<b>40</b>
<b>2.3. Formato de imagen JPEG.....</b>	<b>54</b>
CAPITULO III .....	58
<b>3. DESCRIPCION DEL HARDWARE ELECTRÓNICO .....</b>	<b>58</b>
<b>3.1. Introducción .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2. Plataforma electrónica.....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.1. Clasificación de las plataformas de desarrollo .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.2. Características de las plataformas de desarrollo .....</b>	<b>60</b>

3.2.3. Elección de la plataforma adecuada .....	62
3.3. Módulo GPS .....	62
3.3.1. Clasificación de los módulos GPS .....	63
3.3.2. Características de los módulos GPS .....	64
3.3.3. Elección del módulo GPS adecuado .....	64
3.4. Módulo GSM/GPRS .....	66
3.4.1. Clasificación de los módulos GPS .....	66
3.4.2. Características de los módulos GSM-GPRS .....	67
3.4.3. Elección del módulo GSM-GPRS adecuado .....	67
3.5. Cámara TTL de transmisión serial .....	69
3.5.1. Clasificación de las cámaras TTL .....	69
3.5.2. Características de las cámaras de transmisión serial .....	71
3.5.3. Elección de la cámara adecuada .....	72
3.6. Sensores .....	73
3.6.1. Clasificación de los sensores .....	73
3.6.2. Elección del sensor adecuado .....	75
3.7. Diagrama de conexión .....	76
CAPITULO IV .....	77
4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA .....	77
4.1. Configuración del router y PC .....	78
4.2. Programación del controlador .....	83
4.3. Programación del servidor .....	86
4.4. Diagrama de flujo del sistema .....	91
4.4.1. Configuración inicial .....	91
4.4.2. Bucle principal del programa .....	92
4.4.3. Subprocesos dentro del bucle principal .....	92
CAPITULO V .....	96
5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	96
5.1. Pruebas por módulos en laboratorio .....	96
5.1.1. Módulo GPS .....	97
5.1.2. Módulo GSM .....	99
5.1.3. Cámara TTL .....	101
5.2. Prueba del dispositivo en el campo .....	104

<b>5.2.1. Prueba sin movimiento (vehículo detenido).....</b>	<b>105</b>
<b>5.2.2. Prueba en movimiento (vehículo en marcha).....</b>	<b>108</b>
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>110</b>
<b>6. CONDICIONES DE OPERACIÓN, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO..</b>	<b>110</b>
<b>6.1. Modo correcto de operación .....</b>	<b>110</b>
<b>6.2. Instalación del dispositivo .....</b>	<b>112</b>
<b>6.3. Normas de seguridad en la instalación.....</b>	<b>116</b>
<b>6.4. Mantenimiento .....</b>	<b>116</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>117</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - 1. Tendencia de robo de vehículos, periodo 2003-2012 .....	11
Figura 1 - 2. Índice de robo de vehículos por departamentos .....	12
Figura 2 - 1. Segmentos fundamentales de la tecnología GPS.....	20
Figura 2 - 2. Constelación de satélites GPS.....	21
Figura 2 - 3. Generaciones de satélites.....	23
Figura 2 - 4. Mapa de las estaciones terrestres .....	24
Figura 2 - 5. Dispositivo GPS para tránsito terrestre .....	25
Figura 2 - 6. Funcionamiento del GPS .....	26
Figura 2 - 7. Cálculo de posición GPS con dos satélites.....	27
Figura 2 - 8. Triangulación de satélites .....	28
Figura 2 - 9. Arquitectura de la red GSM.....	36
Figura 2 - 10. Diferencia entre conmutación por circuitos y conmutación por paquetes .....	40
Figura 2 - 11. Arquitectura del sistema GPRS.....	42
Figura 2 - 12. Arquitectura conjunta GSM GPRS y sus interfaces .....	46
Figura 2 - 13. Esquema de envío y recepción de paquetes de información .....	49
Figura 2 - 14. Terminales GPRS .....	53
Figura 2 - 15. Diferencia entre una imagen comprimida y sin comprimir.....	57
Figura 3 - 1. Módulo electrónico Raspberry Pi .....	60
Figura 3 - 2. Módulo electrónico Arduino R2 .....	60
Figura 3 - 3. Modulo GPS Ublox NEO-6M.....	63
Figura 3 - 4. Módulo M10 Quectel .....	66
Figura 3 - 5. Cámara TTL RS323 SEN 12804.....	70
Figura 3 - 6. Cámara IR TTL RS323 SEN 11610 .....	70
Figura 3 - 7. Cámara TTL RS323 C429-L36 .....	71
Figura 3 - 8. Sensor de fin de carrera.....	73
Figura 3 - 9. Sensor fotoresistivo.....	74
Figura 3 - 10. Sensor de temperatura termistor.....	74
Figura 3 - 11. Sensor de humedad DHT11 .....	74
Figura 3 - 12. Sensor magnético .....	75
Figura 3 - 13. Sensor infrarrojo.....	75
Figura 3 - 14. Diagrama de conexión de los módulos del dispositivo .....	76
Figura 4 - 1. Router TPLINK TD-W8968 .....	78
Figura 4 - 2. Pantalla de inicio de sesión del router TPLINK TD-W8968.....	79
Figura 4 - 3. Enrutamiento de Puertos y números IP .....	80
Figura 4 - 4. Servicio No-IP .....	81

Figura 4 - 5. Configuración de la cuenta No-IP .....	81
Figura 4 - 6. Ventana de descarga del software de asignación de dominio para IP dinámica.....	82
Figura 4 - 7. Software de asignación de dominio para IP dinámica.....	82
Figura 4 - 8. Entorno de programación Arduino, código de ejemplo .....	83
Figura 4 - 9. Botones utilizados en el IDE de Arduino .....	84
Figura 4 - 10. Código de programación java .....	87
Figura 4 - 11. Entorno gráfico de servidor java.....	89
Figura 4 - 12. Recepción de datos de imagen en el servidor .....	89
Figura 4 - 13. Finalización de recepción de datos y creación de la imagen JPEG	90
Figura 4 - 14. Lista de imágenes JPEG almacenadas en el servidor .....	90
Figura 5 - 1. Tramas de datos del módulo GPS .....	97
Figura 5 - 2. Reportes de la trama GLL del módulo GPS después de ser programado .....	99
Figura 5 - 3. Mensajes de inicio del módulo GSM .....	99
Figura 5 - 4. Prueba de comandos del módulo GSM .....	100
Figura 5 - 5. Programación del módulo GSM .....	101
Figura 5 - 6. Datos hexadecimales recibidos de la cámara serial .....	102
Figura 5 - 7. Resultado de la captura de imagen.....	103
Figura 5 - 8. Proyecto integrado para captura y envío de imágenes .....	104
Figura 5 - 9. Inicio del dispositivo integrado .....	105
Figura 5 - 10. Datos hexadecimales enviados desde el dispositivo integrado ...	105
Figura 5 - 11. Envío exitoso de datos de imagen del dispositivo integrado .....	106
Figura 5 - 12. Datos de imagen recibidos en el servidor java .....	106
Figura 5 - 13. Creación de la imagen JPEG en el servidor java .....	107
Figura 5 - 14. Lista de imágenes almacenadas en el servidor java .....	107
Figura 5 - 15. Imagen JPEG como resultados de las pruebas sin movimiento ..	108
Figura 5 - 16. Envío de datos del dispositivo al servidor java en la prueba en movimiento .....	108
Figura 5 - 17. Imagen JPEG como resultados de las pruebas en movimiento ...	109
Figura 6 - 1. Ubicación del dispositivo integrado dentro de un vehículo.....	113
Figura 6 - 2. Ubicación de la cámara TTL RS232 dentro de la cabina de un vehículo .....	114
Figura 6 - 3. Ubicación del sensor magnético dentro de un vehículo .....	114

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2 - 1 Fuentes de error del sistema GPS .....	31
Tabla 2 - 2. Tabla de asignación de marcadores de códigos .....	56
Tabla 3 - 1. Características de los módulos GPS Sirf y Skylab .....	64
Tabla 3 - 2. Características de los módulos SIM900 y SM5100B.....	68
Tabla 5 - 1. Formatos soportados por el módulo GPS .....	98
Tabla 6 - 1. Comparación de temperaturas de los módulos del dispositivo .....	111
Tabla 6 - 2. Voltajes de operación de los módulos que componen el dispositivo integrado .....	111
Tabla 6 - 3. Consumo de corriente de los módulos del dispositivo integrado.....	115



## **CAPITULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO**

#### **1.1. Introducción.-**

El presente proyecto de tesis consiste en la descripción e implementación de un dispositivo de localización de vehículos con conexión serial a una cámara, con la finalidad de capturar imágenes del interior de su cabina y transmitir las a un servidor remoto.

El dispositivo mencionado contempla una plataforma electrónica integrada basada en un microcontrolador, donde se conectará un sensor magnético, una cámara de transmisión serial, un módulo GSM/GPRS y GPS. Se describen así las tecnologías involucradas en este proceso, la forma de transmisión de datos entre los módulos mencionados, sus protocolos y el hardware utilizado.

El receptor de los datos transmitidos será un servidor programado en el lenguaje Java y montado en una desktop. Este servidor tendrá por función convertir los datos en imagen y guardarlos por hora y fecha.

Es así que este proyecto pretende incrementar una base de datos criminalística en la ciudad de Lima, aplicando el uso de este dispositivo.

## **1.2. Marco Situacional.-**

El avance tecnológico en materia de los sistemas de posicionamiento global y comunicaciones móviles, ha hecho posible el desarrollo de diversas soluciones a las necesidades de navegación, comunicación y control. De esta manera nace un sistema integrado, basado en dichas tecnologías, para la ubicación y monitoreo de objetos, personas o vehículos denominado telelocalización, y que; en la presente tesis, tendrá un enfoque netamente orientado hacia el monitoreo y rastreo de vehículos motorizados que cuenten con cabina, describiendo todo lo relacionado al diseño e implementación de un dispositivo AVL (Automatic Vehicle Location - Localización Automática de Vehículos), al cual se le adicionará una cámara infrarroja (IR) para la captura de imágenes.

Este desarrollo pretende incrementar la base de datos criminalística en la provincia con el mayor parque automotor y, donde el robo autos sea un problema. El escenario donde se pretende desarrollar este proyecto es la ciudad de Lima, ya que el mercado automotor se incrementa cada año según cifras estadísticas de la Superintendencia de Registros Públicos (SUNARP) [1] y la delincuencia en el robo de automóviles también crece considerablemente [2].

### **1.2.1. Problematicación.-**

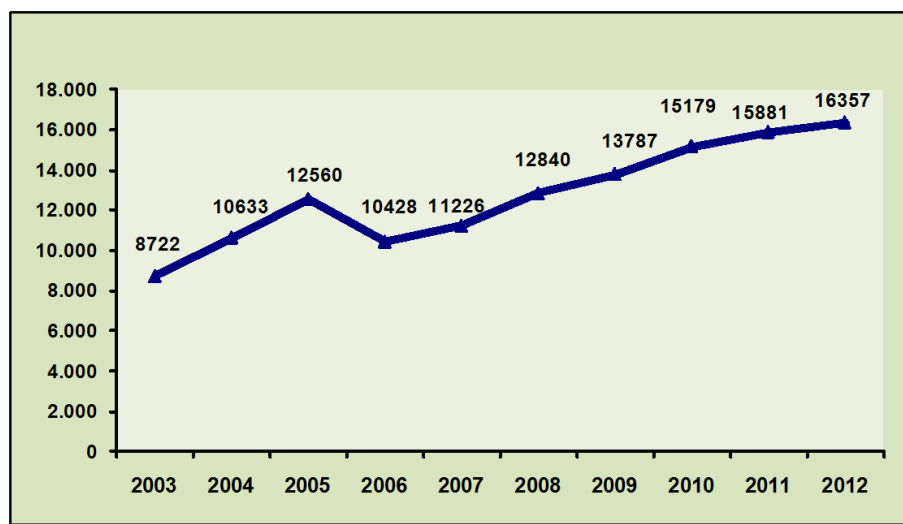
Según las cifras de la División de Robo de Vehículos de la Policía Nacional del Perú (DIROVE) [2], cada día la delincuencia roba un promedio de 20 unidades en los distritos de Lima y Callao. Sólo en los primeros tres meses del 2013 se robaron 1844 autos; en el 2012, fueron robados 1667; y

en el 2011 se hurtaron 1510 unidades. En los últimos tres años, se contrasta que ha aumentado la sustracción de vehículos.

De acuerdo al Anuario Estadístico [2] elaborado por la PNP (Policía Nacional del Perú) en el año 2010; fueron robados a nivel nacional 15,179 vehículos reflejando un crecimiento de 10.10% con relación al año anterior. El mayor número de éstos hechos delictivos ocurrieron en el departamento de Lima, donde fueron denunciados el 46.04% del total de robos con 6,988 vehículos robados.

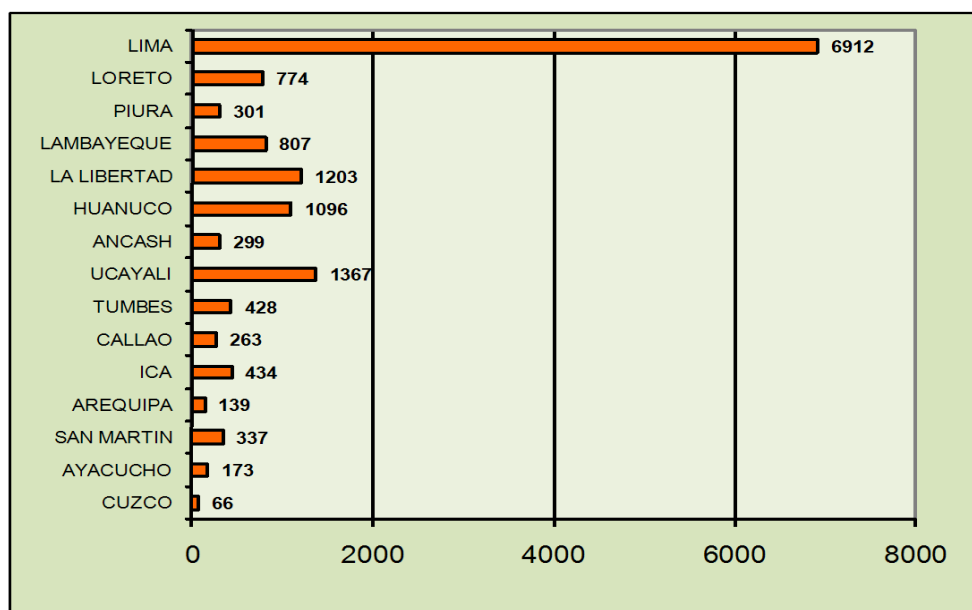
Durante el año 2012 [2] fueron robados a nivel nacional 16,357 vehículos reflejando un crecimiento de 3.00% con relación al año anterior. El mayor número de éstos hechos delictivos ocurrieron en el departamento de Lima, donde fueron denunciados el 42.26% del total de robos con 6,912 vehículos robados, seguido de los departamentos de Ucayali, La Libertad, y Huánuco con 1,367; 1,203; 1,096 casos respectivamente.

En la figura 1-1 se presenta el incremento de robos de vehículos en la ciudad de Lima respecto a otras ciudades del Perú:



**Figura 1 - 1. Tendencia de robo de vehículos, periodo 2003-2012**

Fuente: Anuario Estadístico 2012 de la PNP [2]



**Figura 1 - 2. Índice de robo de vehículos por departamentos**

Fuente: Anuario Estadístico 2012 de la PNP [2]

Según estas cifras estadísticas, en la ciudad de Lima los robos de vehículos son muy frecuentes y se incrementan cada año, donde muchas veces los delincuentes no son identificados o sorprendidos en el momento del robo; y no existe prueba alguna que demuestre el hecho delictivo. Por ello en la presente tesis, se denota esta problemática que afecta a todos los ciudadanos que poseen uno o más automóviles, empresas que poseen flota de vehículos e inclusive, empresas de transporte interprovincial.

Al describir un sistema de monitoreo y localización de vehículos, se refiere a un sistema que permita conocer la ubicación de una unidad en todo momento, y es una herramienta muy útil en la recuperación de un vehículo o vehículos, en caso de robo; sin embargo, estos sistemas convencionales no capturan imágenes, lo cual no permite identificar a los delincuentes y tener una base de datos criminalística más completa y actualizada. Siendo esa la causa por la cual, la autoridad correspondiente no tiene alguna prueba directa y concisa para inculpar y detener a los delincuentes.

### **1.2.2. Objetivos.-**

#### **1.2.2.1. Objetivo general:**

Desarrollar un dispositivo dedicado a la localización de vehículos ubicados en Lima, con reportes de posición por tiempo, añadiendo la captura, almacenamiento y envío de imágenes por evento.

#### **1.2.2.2. Objetivos específicos:**

Desarrollar un dispositivo dedicado a la localización de vehículos ubicados en Lima, con reportes de posición por tiempo, añadiendo la captura, almacenamiento y envío de imágenes por evento.

Capturar, guardar y enviar una imagen del interior del vehículo a un servidor de datos, con el fin de que dicha imagen sirva como referencia en caso de ocurrir un robo.

Presentar nociones sobre la implementación de un servidor de recepción de datos en una PC de escritorio con requerimientos básicos (que se puede tener en una oficina o casa), el cual recibirá las tramas de posición e imagen, enviadas por el dispositivo a desarrollar.

### **1.3. Importancia.-**

A nivel tecnológico, se pretende desarrollar un dispositivo de localización de vehículos mediante coordenadas GPS cuyos reportes serán enviados por la red celular GSM/GPRS, agregando una cámara IR para capturar, almacenar y transmitir imágenes.

Desde el punto de vista de la ingeniería electrónica, el diseño de este dispositivo comprende la implementación de un hardware que permita procesar los datos de ubicación e imagen en base a un microcontrolador.

A nivel social, se pretende que la delincuencia en el robo de vehículos disminuya; ya que, el dispositivo que se describe en esta tesis, proporcionará datos de ubicación de la unidad y captura de imágenes por evento, del interior de la misma; con lo que se espera identificar a los delincuentes, en caso de un robo, e incrementar la base de datos criminalística de la autoridad correspondiente.

#### **1.4. Metodología.-**

El presente documento estará redactado en base al método de investigación descriptiva experimental, dividido en etapas.

- i. La primera etapa consiste en la definición del problema, en la justificación razonable del tema y en el interés que se tiene por este. Se plantean objetivos y alcances que se pretende llegar y profundizar, tomando en cuenta los desafíos que se presenten.
- ii. La segunda etapa consiste en un proceso de búsqueda y recopilación de información. Luego, se realizará una documentación de todo lo investigado con la finalidad de elaborar una base teórica. Esta información se obtendrá de dos maneras:
  - a. A través de fuentes escritas:
    - Libros sobre tecnología en telecomunicaciones móviles y libros de lenguajes de programación, específicamente referidos a los lenguajes C y Java.
    - Manuales y ejemplos de programación con el microcontrolador ATMega328.
    - Manuales de diversos equipos de telelocalización de vehículos.

- Documentación en digital de los módulos que componen el producto (módulo GSM/GPRS, módulo GPS, cámara de transmisión serial TTL, módulo de almacenamiento).
- Documentación de cursos de programación y entrenamientos en los que, los redactores de esta tesis han participado.
- Internet.

b. A través de fuentes experimentales:

- Programación en equipos de rastreo satelital de diversas marcas y modelos.
- Instalación de equipos de rastreo satelital y conocimiento de su funcionamiento.
- Programación en la plataforma Arduino. Horas de entrenamiento en la plataforma como parte de un programa de capacitación.
- Programación en lenguaje Java.
- Desarrollo de proyectos electrónicos para rastreo satelital.
- Desarrollo de proyectos basados en el microcontrolador ATmega328 como complemento de equipos de rastreo satelital.

- iii. La tercera etapa consiste en evaluar la información a través de un análisis crítico para procesar todo lo recopilado, con el fin de obtener un producto confiable y competitivo en el mercado.
- iv. La cuarta etapa es donde se procede a desarrollar el diseño del producto bajo criterios de ingeniería.
- v. La quinta etapa, es la elección de la mejor solución bajo los parámetros de factibilidad económica y tecnológica, para obtener un dispositivo de telelocalización de vehículos con captura de imágenes, como finalidad de este proyecto.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes.-**

Se mencionarán a continuación, proyectos que guardan relación con el presente en cuanto a las tecnologías empleadas, y que fueron realizados tanto en el Perú como en el extranjero.

##### **2.1.1. Proyectos realizados en el Perú.-**

- “Desarrollo de un sistema de ubicación para el seguimiento de unidades móviles”, realizado por Shimabuko [3], donde se expone las diferencias entre el uso de la tecnología celular y satelital para el seguimiento de vehículos y plantea su integración para dicho fin. La diferencia con el presente proyecto es que éste integra una cámara al sistema de seguimiento de vehículos y la tecnología que se emplea para la transmisión de datos es celular.



- "Diseño de sistema integral de seguridad vehicular: seguridad pasiva, seguridad activa y socorro inmediato para conductores y pasajeros de vehículos automotores". Realizado por La Rosa [4], donde plantea diseñar un sistema de alerta y socorro en caso de accidentes vehiculares mediante el envío de mensajes utilizando la tecnología GPS y GSM/GPRS. La diferencia con el presente proyecto es que éste envía imágenes del interior de la cabina del vehículo en caso de robo utilizando también la tecnología GPS y GSM/GPRS.

### **2.1.2. Proyectos realizados en el extranjero.-**

- "Implementación de un sistema de localización para vehículos sin conductor", desarrollado por Godoy [5], donde plantea mejorar la precisión de un GPS convencional que tiene como error, una distancia entre 5 a 10 metros; utilizando el sistema DGPS compuesto, como mínimo, por dos receptores GPS, el cual tendrá un error entre 4 a 8 centímetros de la ubicación real del vehículo. La diferencia con el presente proyecto es que se utiliza la precisión del módulo GPS, para insertar la posición en la imagen que será transmitida por GPRS.
- "Diseño sistémico de una interfaz de localización automática de vehículos" desarrollado por Herrera [6], donde ésta interfaz permite interconectarse con un AVL y almacenar datos para posteriormente visualizarlos en una plataforma web (sitio web donde se permite la comunicación entre un grupo de usuarios que puede ofrecer diversos servicios como foros, chat, archivos, etc.) vía internet y observar la posición de un vehículo. La diferencia con el presente proyecto es que éste posee un software de recepción de datos para guardar las imágenes que transmite el AVL en una ruta específica.
- "Diseño e implementación de un sistema de localización vehicular y gestión de seguridad", desarrollado por Delgado [7], donde plantea el uso de un equipo AVL para realizar la gestión en seguridad mediante el monitoreo y el uso de un software que controla la activación de alarmas. La diferencia con el presente proyecto es que el sistema desarrollado permite, además del monitoreo, la

captura de imágenes mediante la activación de un sensor magnético instalado en la puerta del vehículo; o mediante el envío de un comando a través del software desarrollado.

- "Desarrollo de un sistema de localización de vehículos basado en un sistema de información geográfica", por Moreno Cano [8], donde integra el sistema AVL con una aplicación basada en un sistema de información geográfica llamada Arcview (es un software que permiten elaborar, visualizar, consultar, analizar, modelizar y presentar datos espaciales; es decir, ofrece información georeferenciada) para realizar la gestión de datos relacionada con la localización de vehículos. La diferencia con el presente proyecto es que el sistema AVL desarrollado está integrado con un software que recibe los datos de imagen y lo convierte en archivo con extensión jpeg.

- "Diseño e implementación de un sistema AVL utilizando una red privada de radio...", desarrollado por Blum de la Paz [9], donde plantea el uso del sistema GPS para obtener datos de posición en un vehículo y transmitirlo a una estación central a través de un radio mediante señales RF (radio frecuencia), donde los datos serán procesados por un software para visualizar gráficamente su ubicación. La diferencia con el presente proyecto es que éste utiliza la red celular para transmitir los datos de posición e imagen.

- "Integración del sistema GPS en celulares y el sistema AVL", desarrollado por Sean Barbeau [10]; donde describe la integración del sistema AVL y el GPS de celulares en un sistema denominado TAD (Travel Assistant Device), dispositivo asistente de viaje, empleado en buses para la gestión de flotas y brindar información a los usuarios sobre horas de llegada, localización y paradas. La diferencia con el presente proyecto es que el sistema AVL es empleado para transmitir datos de la captura de una imagen dentro de la cabina de un vehículo, hacia una aplicación instalada en una computadora.

## **2.2. Descripción de las tecnologías de localización**

### **2.2.1. Tecnología GPS**

#### **2.2.1.1. Introducción**

El GPS es un sistema global de navegación satelital (GNSS), nombrado inicialmente como NAVSTAR GPS.

Iniciado en diciembre de 1973, por el DoD [11] (Departamento de Defensa de los Estados Unidos), División Sistema Espacial, que es la entidad encargada de su desarrollo y mantenimiento.

Fue utilizado inicialmente para fines militares pues proporciona información de posicionamiento y tiempo, que puede ser obtenido en cualquier parte del mundo, bajo cualquier condición climática.

El sistema es de una sola vía, los usuarios solo pueden recibir la información de los satélites, y se necesita de un receptor GPS para obtener posicionamiento.

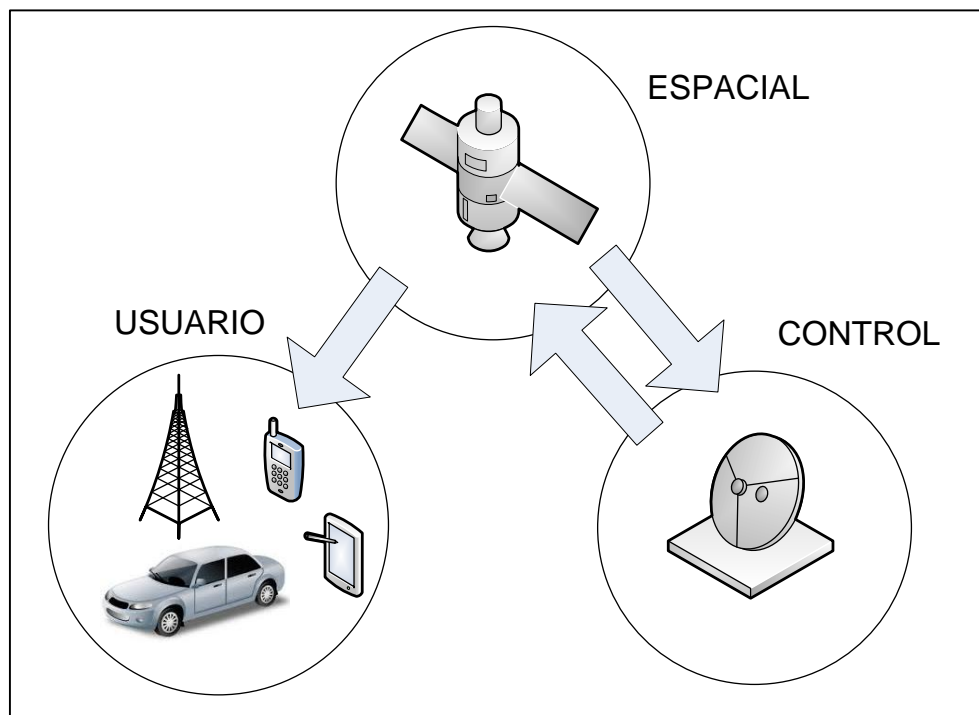
Desde 1995, se garantizó el acceso a los civiles a través de un acuerdo entre el DoD (Department of Defense) y el Departamento de Transporte de los Estados Unidos.

Actualmente tiene múltiples usos que van desde la agricultura hasta la ubicación de personas [11].

#### 2.2.1.2. Segmentos GPS

El sistema GPS está constituido por tres segmentos fundamentales, y son:

- Segmento espacial.
- Segmento de control.
- Segmento de usuario.



**Figura 2 - 1. Segmentos fundamentales de la tecnología GPS**

Fuente: Los autores

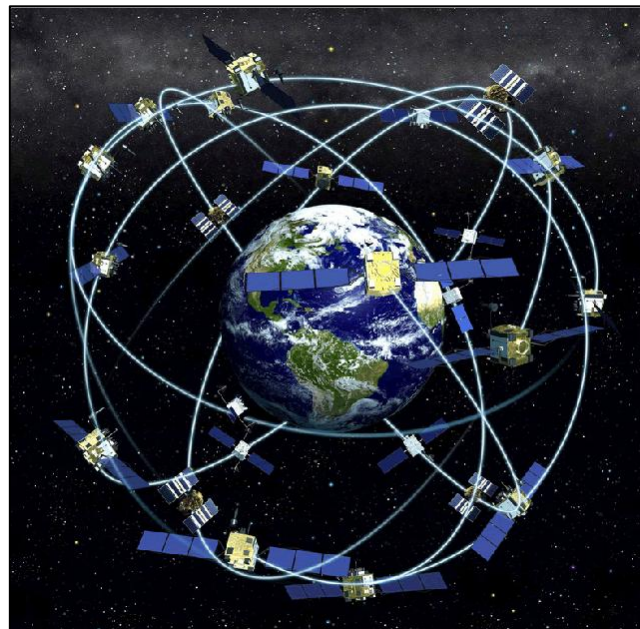
##### i. Segmento espacial

El segmento espacial GPS consta de una constelación de satélites que transmiten señales de radio a los usuarios. Estados Unidos se ha comprometido a mantener la disponibilidad de al menos 24 satélites operativos, el 95% del tiempo [12]. Para garantizar este compromiso actualmente hay 31 satélites GPS operativos.

### **a. Constelación GPS**

Los satélites GPS se encuentran en la órbita media terrestre a una altitud aproximada de 20 200Km sobre la superficie de la Tierra. Cada satélite tiene un periodo de órbita de 12 horas siderales (11 horas, 58 minutos), es decir recorren la Tierra dos veces al día.

Los satélites están distribuidos en seis orbitas, con una inclinación de  $55^\circ$  con respecto del Ecuador. En la figura 2-2 se presenta la constelación de satélites GPS.



**Figura 2 - 2. Constelación de satélites GPS**

Fuente: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio - NASA [13]

### **b. Generaciones GPS**

Los primeros satélites puestos en órbita [12] fueron integrantes del denominado Bloque I, entre los años 1978 y 1985 se pusieron 11 satélites en órbita. Actualmente este bloque ya fue reemplazado en su totalidad.

El Bloque II adicionó varias innovaciones y sustituyó a los satélites del Bloque I. En 1990 se comenzó con el lanzamiento de satélites del Bloque IIA. La A significa “Advanced”. Actualmente quedan 5 satélites operativos de este bloque.

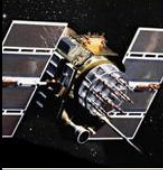

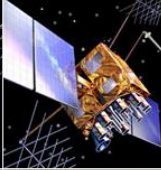
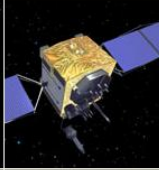
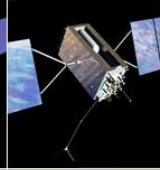
En 1997 fue lanzado el primer satélite del Bloque IIR. La R significa “Replenishment”, estos satélites reemplazaron a los satélites que salían de operación. Actualmente quedan 12 satélites de este bloque.

En el 2005, continuando con las mejoras, se comenzó con el lanzamiento de los satélites del Bloque IIR (M). La M significa “Modernized”. Donde se adicionó una segunda señal civil en la frecuencia L2 y un nuevo código M para uso militar que ayuda a la resistencia contra los bloqueadores GPS. Actualmente hay 7 satélites operando en este bloque.

El tiempo de vida pronosticado para los satélites de los Bloques IIA, IIR y IIR (M) es de 7.5 años. Debido a que la parte electrónica como el combustible utilizado tienden a degradarse en el tiempo.

En el 2010 se comenzó con el lanzamiento de los satélites del Bloque IIF. La F significa “Follow-on”, con importantes mejoras en el sistema de navegación como el aumento de la precisión, la fuerza y calidad de la señal. Se adiciona además una tercera señal civil en la frecuencia L5, así como relojes atómicos avanzados. Estos satélites están diseñados para tener una vida útil de 12 años.

Se tiene previsto, por parte de Estados Unidos, que a partir del 2016 se comience con el lanzamiento de la tercera generación de satélites denominado GPSIII, donde se adicionará una cuarta señal civil en la frecuencia L1 y con un tiempo de vida estimado de 15 años para los satélites de esta nueva generación.

LEGACY SATELLITES		MODERNIZED SATELLITES		
				
BLOCK II A	BLOCK III R	BLOCK III R(M)	BLOCK III F	GPS III
5 operational	12 operational	7 operational	7 operational	Now in production

**Figura 2 - 3. Generaciones de satélites**

Fuente: Información oficial del gobierno de Estados Unidos sobre el sistema GPS [14]

### c. Portadoras, códigos y relojes

Cada satélite transmite señales por radiofrecuencia, compuestas por dos frecuencias portadoras moduladas por dos códigos digitales y un mensaje de navegación.

La frecuencia portadora L1 es generada en 1 575.42 MHz y la frecuencia portadora L2 es generada en 1 227.60 MHz. La longitud de onda para cada portadora es de 19 cm y 24.4 cm respectivamente.

Los 2 códigos GPS son llamados C/A y P. Cada código consiste de un flujo de dígitos binarios, unos y ceros, conocidos como bits. Estos códigos son generados utilizando algoritmos matemáticos.

El código C/A es modulado por la portadora L1 solamente, mientras que el código P es modulado por ambas portadoras L1 y L2. Esta modulación es llamada bifase, debido a que la portadora es desplazada 180 grados, donde el valor del código cambia de ceros a unos o de unos a ceros.

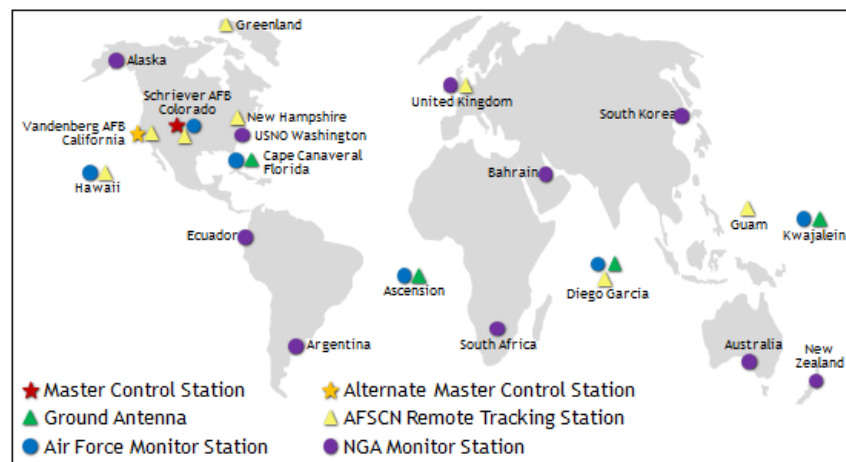
El mensaje de navegación contiene la posición orbital del satélite (conocida como efeméride), y puede contener información adicional referente al segmento espacial.

Los relojes son en realidad osciladores atómicos y son la fuente de la frecuencia patrón que genera las señales GPS, su estabilidad se mide sobre un segundo y representa la dispersión de los valores de la frecuencia de banda.

## ii. Segmento de control

El segmento de control GPS consiste de una red global de estaciones terrestres que realizan un seguimiento de los satélites, corrigiendo los parámetros orbitales de cada satélite y el estado de sus osciladores, enviando la información corregida a los satélites para que éstos puedan transmitirlos a los usuarios.

El segmento de control actualmente incluye una estación de control principal, una estación de control principal de respaldo, 12 antenas de monitoreo y control, y 16 sitios de monitoreo. La ubicación de estas instalaciones se en el siguiente mapa.



**Figura 2 - 4. Mapa de las estaciones terrestres**

Fuente: Información oficial del gobierno de Estados Unidos sobre el sistema GPS [14]



Se utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la altura, posición y velocidad de cada satélite.

Los errores controlados son llamados errores de efemérides, es decir la evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitacionales del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites.

### iii. Segmento de usuario

Conformado por los receptores GPS y todos los dispositivos que hacen uso de la señal de los satélites para el cálculo de posiciones.

Estos instrumentos están integrados esencialmente por una antena y un receptor. La antena está conectada por cable al receptor o en otros casos forman una sola unidad. Las coordenadas que se calculan son respecto al centro radioeléctrico de la antena.

Un receptor de GPS aceptable debe ser capaz de sintonizar al menos cuatro satélites de manera simultánea. En la práctica casi todos los receptores en venta actualmente acceden a más de seis satélites.

Los receptores realizan la función de pasar la frecuencia recibida en la antena a una frecuencia baja para ser manejada por la parte electrónica.



**Figura 2 - 5. Dispositivo GPS para tránsito terrestre**

Fuente: Información oficial del gobierno de Estados Unidos sobre el sistema GPS [14]

Los receptores GPS son de dos tipos: portátiles y fijos. Los portátiles pueden ser tan pequeños como algunos teléfonos celulares o móviles. Los fijos son los que se instalan en automóviles o coches, embarcaciones, aviones, trenes, submarinos o cualquier otro tipo de vehículo.

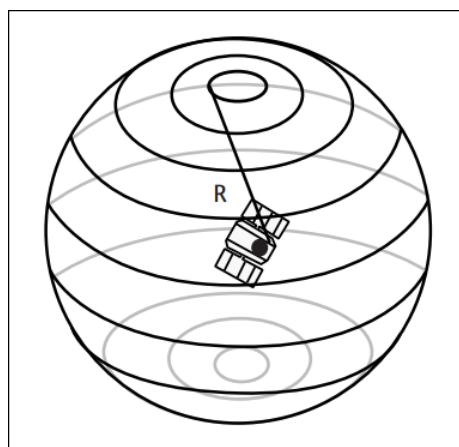
### 2.2.1.3. Funcionamiento del GPS

El funcionamiento del sistema se basa en la triangulación de la posición mediante las señales procedentes de un cierto número de satélites. Esta posición se calcula en tres coordenadas correspondientes a la latitud, longitud y elevación.

En general la idea es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia para ubicaciones en la tierra.

Esto se logra mediante la medición de la distancia desde un punto en la Tierra hacia al menos tres satélites, lo que permite triangular la posición.

Por ejemplo se mide la distancia de un punto al primer satélite y resulta ser de 20 000 Km. Esta posición está limitada a la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es de 20 000 Km.

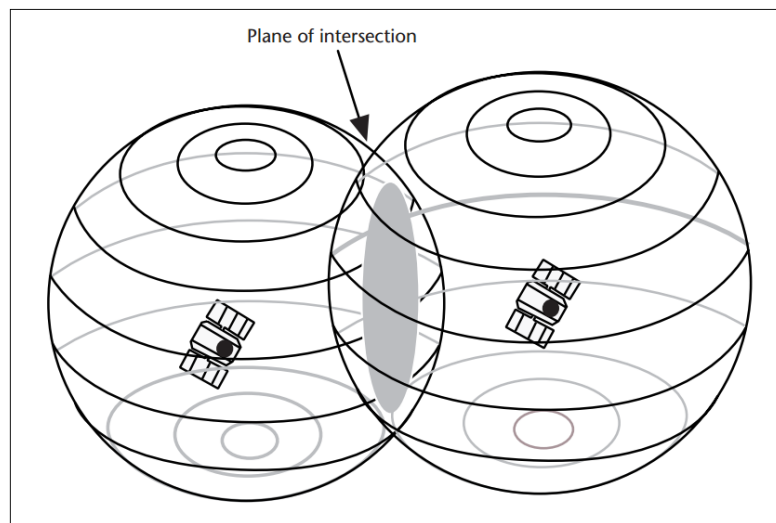


**Figura 2 - 6. Funcionamiento del GPS**

Fuente: Estudio de la localización virtual vía satélite [15]

A continuación se mide la distancia a un segundo satélite y se tiene que está a 25 000 Km del mismo.

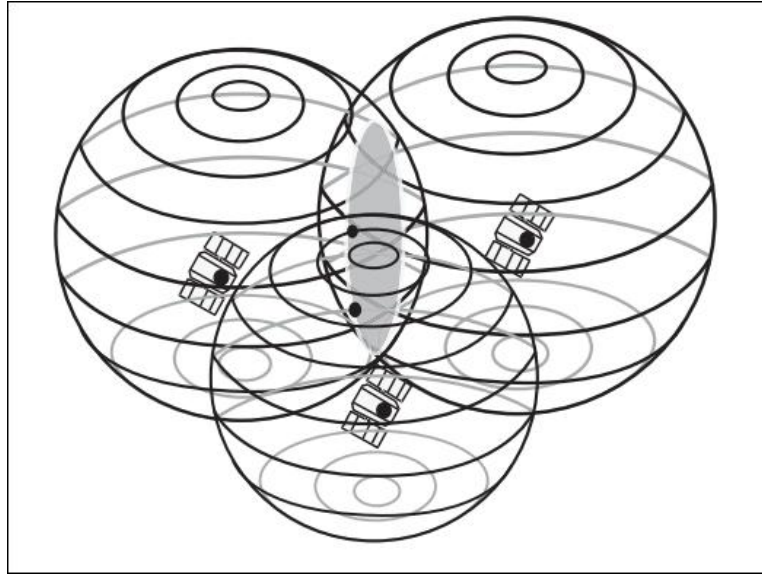
Esto indica que dicho punto no está solamente en la primera esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 25 000 Km del segundo satélite. En otras palabras, está en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.



**Figura 2 - 7. Cálculo de posición GPS con dos satélites**

Fuente: Estudio de la localización virtual vía satélite [15]

Si se mide la distancia a un tercer satélite y se tiene que está a 30 000 Km del mismo, esto limita la posición aún más, a los dos puntos en los cuales la esfera de 30 000 Km corta la circunferencia indicada anteriormente. Se estaría limitando la posición a solo dos puntos posibles.



**Figura 2 - 8. Triangulación de satélites**

Fuente: Estudio de la localización virtual vía satélite [15]

Para decidir cuál de ellos es la posición verdadera, se podría efectuar una nueva medición a un cuarto satélite. Pero normalmente uno de los dos puntos resulta ser muy improbable por su ubicación demasiado lejana de la superficie terrestre y puede ser descartado sin necesidad de mediciones posteriores. Una cuarta medición de todos modos es conveniente para corregir errores.

Se sabe que la posición se calcula a partir de la medición de la distancia de por lo menos tres satélites. Pero para medir la distancia hacia algo que está flotando en algún lugar en el espacio, se mide el tiempo que tarda la señal emitida por el satélite en llegar hasta el receptor GPS.

Se debe tener en cuenta que la velocidad con la que viajan las señales de los satélites, es la velocidad de la luz, alrededor de 300 000 Km/seg.

El tiempo de viaje de la señal, se obtiene luego de la sincronización del receptor GPS y el satélite.

Para obtener la distancia tenemos que realizar un cálculo matemático que se resume a:  $\text{Velocidad} \times \text{Tiempo} = \text{Distancia}$ .

La señal emitida por el satélite es llamado “Código Pseudo Aleatorio”, ya que parece un ruido eléctrico generado por el azar, llegando a ser un código muy complejo.

Dado que cada uno de los satélites tiene su propio y único código, esta complejidad garantiza que el receptor no se confunda de satélite. Esto también garantiza que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia sin interferirse mutuamente.

La medición del tiempo de viaje de la señal GPS es clave, los relojes empleados deben ser exactos, dado que si se mide con un error de un milésimo de segundo, a la velocidad de la luz, ello se traduce a un error de 300 Km.

En los satélites, la medida del tiempo es casi perfecta porque llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión.

Se sabe que el satélite y el receptor GPS deben ser capaces de sincronizarse. Si el receptor tuviera que poseer un reloj atómico esto sería muy costoso; por tal motivo los diseñadores del sistema solucionaron este impedimento realizando una medición satelital adicional.

Dicha medición permitirá al reloj del receptor ajustarse a la hora universal y de esa manera se tiene un reloj atómico en diversos dispositivos de recepción GPS.

Una vez que el receptor aplica dicha corrección al resto de sus mediciones, obtenemos un posicionamiento preciso.

#### **2.2.1.4. Fuentes de error GPS**

Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema, un buen receptor GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles.

En primer lugar se asumió que el cálculo de la distancia a un satélite se daba multiplicando el tiempo de viaje de su señal por la velocidad de la luz. Pero la velocidad de la luz solo es constante en el vacío.

Una señal GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.

Una manera de manejar este error es promediar de manera diaria dicho error llegando a la modelación, pero las condiciones atmosféricas raramente se ajustan a lo previsto.

Otra manera de manejar los errores inducidos por la atmosfera es comparar la velocidad relativa de dos satélites. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y solo es posible en receptores GPS muy avanzados.

Los problemas de la señal GPS no terminan cuando llega a la Tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captadas por un receptor GPS. Los buenos receptores utilizan sistemas de rechazo para minimizar este problema.

Los relojes atómicos utilizados son precisos pero no perfectos, pueden ocurrir minúsculas discrepancias que se transforman en errores de medición del tiempo de las señales. Aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco pueden ser controlados a cada segundo. De esta manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo.

La geometría básica por si misma puede magnificar estos errores mediante un principio denominado dilación geométrica de la precisión. Si el receptor toma satélites que están muy juntos en el cielo, las circunferencias de intersección que definen la posición se cruzarían a ángulos con muy escasa diferencia entre sí, incrementando el margen de error de una posición.

Si el receptor toma satélites que están ampliamente separados, las circunferencias intersectan a ángulos prácticamente rectos y ello minimiza el margen de error.

El mismo concepto de disponibilidad selectiva que emplea el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, introduciendo cierto ruido en los datos del reloj satelital para introducir errores en los cálculos de posición.

Fuentes de Error	Error en metros
Reloj del Satélite	1.5
Errores Orbitales	2.5
Ionosfera	5
Troposfera	0.5
Ruido en el Receptor	0.3
Señal Fantasma	0.6
Disponibilidad Selectiva	30

**Tabla 2 - 1 Fuentes de error del sistema GPS**

Fuente: Estudio de la localización virtual vía satélite [15]

### **2.2.1.5. Aplicaciones del GPS**

El sistema GPS ha permitido a los usuarios de todo el mundo poder desarrollar varias aplicaciones que están presentes en la vida moderna. Las aplicaciones que se describen son solo una pequeña muestra de la creatividad e imaginación humana.

#### **i. Agricultura**

En el pasado, era difícil para los agricultores poder correlacionar las técnicas de producción y el rendimiento con el tipo de terreno, impidiéndoles desarrollar estrategias más eficaces para el tratamiento de los suelos y las plantas. En la actualidad, con la 'agricultura de precisión' es posible aplicar plaguicidas, herbicidas y fertilizantes con mayor precisión y controlar mejor la dispersión de las sustancias químicas. Todo ello redunda en reducciones en los gastos, mayor rendimiento y actividades agrícolas de menor impacto medioambiental.

#### **ii. Aviación**

La navegación permite a las aeronaves volar rutas de mayor demanda, entre puntos perfectamente definidos e independientes de cualquier infraestructura de tierra. Se han expandido los procedimientos para el uso de los servicios del GPS y sus ampliaciones en todas las fases del vuelo. Así ha sido, sobre todo en regiones que carecen de equipos adecuados de asistencia o vigilancia de la navegación basados en tierra.



### **iii. Carreteras y autopista:**

La utilización de tecnología GPS para localizar envíos y predecir el movimiento de la carga ha revolucionado el mundo de la logística con una aplicación conocida como "entrega en tiempo definido." Con la "entrega en tiempo definido," las compañías de transporte por carretera utilizan el GPS para garantizar que las entregas y recepciones se hagan en el tiempo prometido, independientemente de que se trate de distancias cortas o de distintos husos horarios. Cuando se recibe un encargo, un despachador oprime una función del ordenador y aparece en pantalla un listado de camiones con informaciones detalladas sobre la posición exacta de todos. Si un camión lleva retraso, o se desvía de su hoja de ruta marcada, se envía una señal de alarma directamente al despachador.

### **iv. Cronometría:**

La hora sincronizada con precisión es crucial para toda una serie de actividades económicas alrededor del mundo. Los sistemas de comunicación, redes de distribución eléctrica y redes financieras dependen de la hora precisa para sincronizarse y operar con eficiencia. El uso gratuito de la cronometría del GPS ha redundado en ahorros importantes y avances significativos para las compañías que dependen de horas exactas y ha conducido a importantes avances en términos de capacidad.

### **v. Cartografía:**

El GPS apoya con precisión la cartografía y la modelización del mundo físico - desde montañas y ríos, hasta calles, edificios, cables y tuberías de los servicios públicos y otros recursos. Las superficies medidas con el GPS se pueden visualizar en mapas y en sistemas de información geográfica (SIG) que almacenan, manipulan y visualizan los datos geográficos referenciados.

#### **2.2.1.6. Otros sistemas de posicionamiento satelital**

##### **i. GLONASS**

El sistema ruso GLONASS fue desarrollado desde principios de los años 70 por el entonces Ministerio de Defensa Soviético. Es similar en muchos aspectos al GPS y también presenta diferencias.

GLONASS proporciona a los usuarios civiles una precisión, en tiempo real y posicionamiento absoluto, midiendo con código, de unos 60 metros en horizontal y 75 metros en vertical (99,7% de los casos) según el gobierno de la Federación Rusa, no estando prevista ninguna degradación intencional.

El sistema comenzó a operar oficialmente el 24 de septiembre de 1993. Este sistema se compone de 24 satélites, distribuidos en tres planos orbitales con una separación entre sí de 120 grados. Cada satélite gira en una órbita circular a 19 100 Km de altura con respecto de la Tierra y da una vuelta completa a la órbita cada 11 horas con 15 minutos aproximadamente.

Los 24 satélites del sistema GLONASS están distribuidos en sus respectivas orbitas de forma tal que siempre existen entre 4 o 5 de ellos a la vista de los receptores, cubriendo el 97% de toda la superficie terrestre.

Existen actualmente receptores duales que trabajan tanto con el sistema GPS como con el sistema GLONASS.

##### **ii. Galileo**

Dirigido por la Unión Europea y por la Agencia Espacial Europea, la fase de definición del sistema empezó en 1999.

El proyecto Galileo, aún está en desarrollo y se prevé que esté concluido para el año 2020. Está enfocado para el uso civil y estará

formado por una constelación mundial de 30 satélites en órbita terrestre media distribuidos en 3 planos inclinados con un ángulo de  $56^\circ$  hacia el ecuador, a 23222 km de altitud. Se van a distribuir diez satélites alrededor de cada plano y cada uno tardará 14 horas para completar la órbita de la Tierra.

### **iii. Beidou**

Es un proyecto desarrollado por la República Popular China para obtener un sistema de navegación por satélite. "Beidou" es el nombre chino para la constelación de la Osa Mayor. La primera generación, BeiDou-1, ya está operativa desde el 2000 y es un sistema de posicionamiento por satélite local dando servicio a China y a sus países vecinos. La segunda generación, también llamada Compass o BeiDou-2, será un sistema de posicionamiento global con un funcionamiento similar al GPS.

## **2.2.2. Tecnología GSM**

### **2.2.2.1. Introducción**

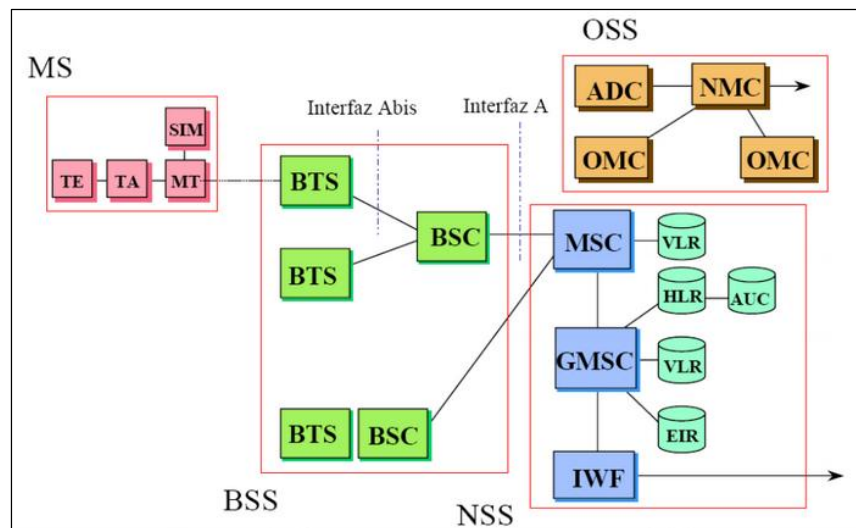
Conocida formalmente como "Group Special Mobile" (GSM, Grupo Especial Móvil) aunque también llamada Global System for Mobile communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles), es un estándar mundial para teléfonos móviles digitales creado por la CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) y posteriormente desarrollado por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) como un estándar para los teléfonos móviles europeos, con la intención de desarrollar una normativa que fuera adoptada mundialmente. El estándar es abierto, no propietario y evolutivo (aún en desarrollo) y es el estándar predominante en Europa, así como el mayoritario en el resto del mundo. GSM difiere de sus antecesores

principalmente en que tanto los canales de voz como las señales son digitales. Para lograr así un moderado nivel de seguridad.

GSM tiene cuatro versiones principales basadas en las bandas: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900. GSM-900 (900 MHz) y GSM-1800 (1,8 GHz) son utilizadas en la mayor parte del mundo, salvo en Estados Unidos, Canadá y el resto de América Latina, lugares en los que se utilizan las bandas de GSM-850 y GSM-1900 (1,9 GHz), ya que en EE.UU. las bandas de 900 y 1800 MHz están ya ocupadas para uso militar. Inicialmente, GSM utilizó la frecuencia de 900 MHz, pero tras su rápida expansión, pronto se saturó el espacio radioeléctrico entorno a esa frecuencia por lo que las redes de telecomunicación pública empezaron a utilizar las frecuencias de 1800 y 1900 MHz, con lo cual es habitual que los equipos móviles de hoy en día sean tribanda.

#### 2.2.2.2. Arquitectura de la red GSM

Todas las redes GSM se pueden dividir en cuatro partes fundamentales y bien diferenciadas:



**Figura 2 - 9. Arquitectura de la red GSM**

Fuente: Universidad de Sevilla [16]

## **i. La Estación Móvil o Mobile Station (MS):**

Consta a su vez de dos elementos básicos, por un lado el terminal o equipo móvil y por otro lado el SIM o “Subscriber Identity Module”. Con respecto a los terminales poco se tiene que decir ya que los hay para todos los gustos, lo que si se tiene que comentar es que la diferencia entre unos y otros radica fundamentalmente en la potencia que tienen que va desde los 20 vatios (generalmente instalados en vehículos) hasta los 2 vatios de los terminales.

El SIM es una pequeña tarjeta inteligente que sirve para identificar las características de un terminal. Esta tarjeta se inserta en el interior del móvil y permite al usuario acceder a todos los servicios que haya disponibles por su operador, sin la tarjeta SIM el terminal no sirve de nada porque no se puede hacer uso de la red. El SIM está protegido por un número de cuatro dígitos que recibe el nombre de PIN o “Personal Identification Number”.

La mayor ventaja de las tarjetas SIM es que proporcionan movilidad al usuario ya que puede cambiar de terminal y llevarse consigo el SIM aunque, en la práctica, en muchas ocasiones no resulta tan sencillo. Una vez que se introduce el PIN en el terminal, el terminal va a ponerse a buscar redes GSM que estén disponibles y va a tratar de validarse en ellas, una vez que la red (generalmente la que se tiene contratada) ha validado el terminal, el teléfono queda registrado en la célula que lo ha validado.

## **ii. La Estación Base o Base Station Subsystem (BSS):**

Sirve para conectar a las estaciones móviles con los NSS, además de encargarse de la transmisión y recepción. Como los MS también constan de dos elementos diferenciados: La “Base Transceiver Station” (BTS) o “Base Station” y la “Base Station Controller” (BSC). La BTS consta de transceptores y antenas usadas en cada célula de la red y que suelen

estar situadas en el centro de la célula, generalmente su potencia de transmisión determinan el tamaño de la célula.

Los BSC se utilizan como controladores de los BTS y tienen como funciones principales las de estar al cargo de los “handovers”, los “frequency hopping” y los controles de las frecuencias de radio de los BTS.

### **iii. El Subsistema de Conmutación y Red o Network and Switching Subsystem (NSS):**

Este sistema se encarga de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red; para poder hacer este trabajo la NSS se divide en siete sistemas diferentes, cada uno con una misión dentro de la red:

- *Mobile Services Switching Center (MSC)*: Es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes.
- *Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC)*: Un gateway es un dispositivo traductor (puede ser software o hardware que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. Bien, la misión del GMSC es esta misma, servir de mediador entre las redes de telefonía fijas y la red GSM.
- *Home Location Registrar (HLR)*: El HLR es una base de datos que contiene información sobre los usuarios conectados a un determinado MSC. Entre la información que almacena el HLR se tiene fundamentalmente la localización del usuario y los servicios a los que tiene acceso. El HRL funciona en unión con en VLR que se presenta a continuación.

- *Visitor Location Registrar (VLR)*: contiene toda la información sobre un usuario necesaria para que dicho usuario acceda a los servicios de red. Forma parte del HLR con quien comparte funcionalidad.
- *Authentication Center (AuC)*: Proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red; también se encarga de soportar funciones de encriptación.
- *Equipment Identity Registrar (EIR)*: También se utiliza para proporcionar seguridad en las redes GSM pero a nivel de equipos válidos. La EIR contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usados en la red. Esta base de datos contiene los “International Mobile Equipment Identity” o IMEI de cada terminal, de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la red.
- *GSM Interworking Unit (GIWU)*: sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

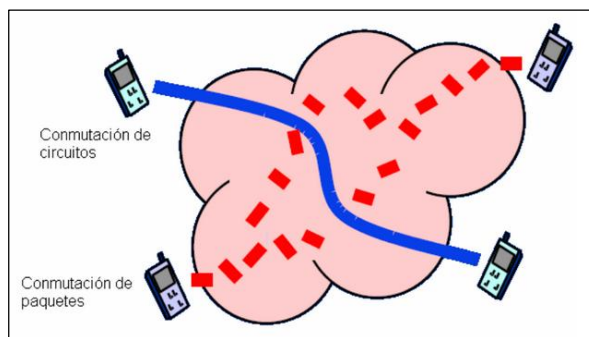
**iv. Los Subsistemas de soporte y Operación o Operation and Support Subsystem (OSS):**

Los OSS se conectan a diferentes NSS y BSC para controlar y monitorear toda la red GSM. La tendencia actual en estos sistemas es que, dado que el número de BSS se está incrementando se pretende delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en los BTS de modo que se reduzcan los costes de mantenimiento del sistema.

### 2.2.3. Tecnología GPRS

#### 2.2.3.1. Introducción

El Sistema General de Paquetes de Datos, GPRS (General Packet Radio Service), es un estándar para el transporte de paquetes de datos que comparte con GSM su rango de frecuencias. Desde el punto de vista de la telefonía móvil fue utilizado para modificar la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos a la conmutación de paquetes.



**Figura 2 - 10. Diferencia entre conmutación por circuitos y conmutación por paquetes**

Fuente: Universidad de Sevilla [17]

Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información y todo el tiempo que esté inactivo podrá ser utilizado por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin el temor de saturar la red, de forma que mientras que en GSM sólo se ocupa un canal de recepción de datos del terminal a la red y otro canal de transmisión de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión, pasando de velocidades de 9,6 Kbps en GSM a 40 Kbps en recepción y 20 Kbps de transmisión en GPRS.



Por otra parte, desde el punto de vista del operador es una forma sencilla de reutilizar la red GSM para la transmisión de datos mediante cambios en la arquitectura de red. La estandarización referente a GPRS se encuentra en el estándar ETSI TS101344 (GSM 03.60).

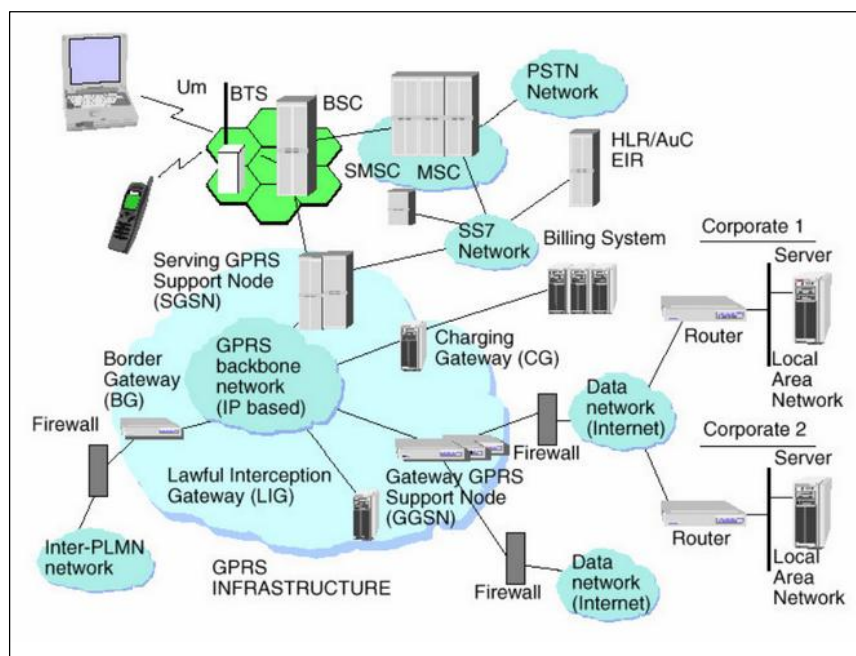
#### **2.2.3.2. Características de GPRS**

Las características principales de GPRS son las siguientes:

- Optimización de los recursos radio.
- Conexión con redes externas de datos (X.25, IP, etc.).
- Introducción la conmutación de paquetes de datos extremo a extremo.
- Para cada contexto activado se define una calidad de servicio determinada.
- Calidad de servicio y tipo de servicio. Se pueden controlar aspectos como el retardo de entrega de los paquetes, el caudal medio y de pico ofertado y la fiabilidad del enlace.
- Tarificación por volumen de datos intercambiados y por calidad de servicio ofertada.
- Coexistencia con el sistema GSM.
- Permite destinar varias ráfagas (slots) a un mismo usuario, lo que permite velocidades de transmisión de pico elevadas.
- Ofrece un gran potencial para la creación de nuevos servicios de valor añadido (Servidores de Internet) ya que la asignación de recursos del enlace ascendente y descendente están absolutamente desacopladas (el enlace ya no es simétrico). Esto permite tratar de modo eficiente aplicaciones que generen tráfico asimétrico.

### 2.2.3.3. Arquitectura del sistema GPRS

La arquitectura del sistema GPRS consta de una serie de componentes que se suman a los ya existentes en la antigua arquitectura GSM. Estos componentes son el GNS, el SGSN y el GGSN.



**Figura 2 - 11. Arquitectura del sistema GPRS**

Fuente: Universidad de Sevilla [17]

- i. **Nodo de Soporte (GNS).** El nodo de soporte GSN de GPRS es el elemento principal de la infraestructura. Existen dos tipos de nodos GSN: unos de entrada (Serving GPRS Support Node, SGSN), que proporcionan conectividad a las BSC de GSM y otros de salida (Gateway GPRS Support Node, GGSN), que interconectan el sistema con redes de datos externas. Estos routers pueden proporcionar la conexión y la intercomunicación con otras redes de datos, pueden administrar la movilidad de los usuarios a través de los registros de GPRS y son capaces de entregar los paquetes de datos a las estaciones móviles, independientemente de su posición. Físicamente los GSN pueden estar integrados en el MSC (Mobile Switching Center) o pueden ser elementos separados de la red.

- ii. **Gateway del Nodo de Soporte GPRS (GGSN).** La GGSN Gateway GPRS Support Node (Gateway del Nodo de Soporte GPRS) es el nodo al que tienen acceso las redes de paquetes de datos externas que utilizan protocolos como IP Internet Protocol (Protocolo Internet) y X.25, y que utilizan direcciones basadas en PDP Packet Data Protocol (Protocolo de Paquete de Datos).

Su misión principal es la conexión del terminal móvil a redes de datos externas para el acceso a sus servicios y aplicaciones basadas en IP: Internet, intranet. Desde el punto de vista de las redes externas, se comporta como un router conectado a una subred, ocultando la infraestructura de red GPRS al resto de redes. Sus funciones son:

- Transferencia de datos de usuario y señalización hacia el backbone GPRS.
- Interconexión con Redes Externas.
- Recogida de información para facturación (CDRs).
- Almacenar información de encaminamiento de los usuarios conectados.
- Recepción de datos de usuario desde redes externas (intranet, Internet) y envío al SGSN que controla el móvil, mediante el protocolo de túnel GTP (GPRS Tunneling Protocol).
- Recepción de paquetes de datos desde el SGSN o BG, eliminación de cabeceras GTP y encaminamiento de los datos de usuario hacia la intranet o Internet.
- Recepción de datos de señalización desde la red de transporte y configuración de la operación correspondiente.

- Recogida de datos sobre la sesión: APN (Access Point Name es el nombre de un punto de acceso para GPRS a configurar en el teléfono móvil para que pueda acceder a Internet), volumen de datos, tiempo de vida del contexto, uso de IPs estáticas/dinámicas para la generación de CDRs.
- Garantizar la privacidad y seguridad para la red de transporte y el terminal. Actúa como un gateway entre redes externas y la red de transporte GPRS.
- Asignación de IPs a los terminales, estáticas o dinámicas.
- Proporcionar los servicios básicos de acceso para el proveedor de servicios de Internet (ISP - Internet Service Provider), y en caso de que exista, al plano de servicios.
- En el traspaso inter-SGSN, dialoga con los SGSNs implicados con el fin de mantener actualizada la información concerniente al contexto activo.

Al igual que en el caso de SGSN, este dispositivo debe poseer redundancia para asegurar el correcto funcionamiento de la red.

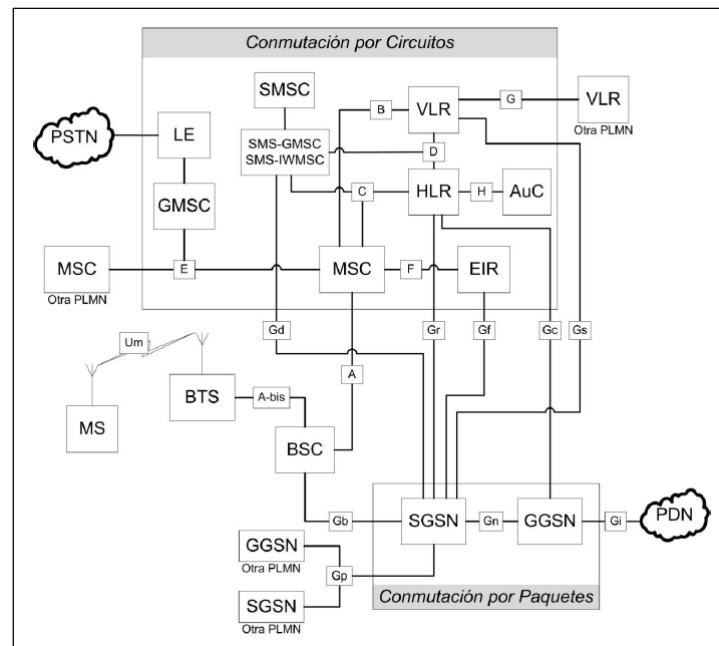
- iii. **Nodo de Soporte para Servicios GPRS (SGSN).** El SGSN Serving GPRS Support Node (Nodo de Soporte para Servicios GPRS) es el nodo que provee los servicios requeridos por una MS. El SGSN establece un contexto para administrar la portabilidad conteniendo la información pertinente a la movilidad y seguridad de la MS, para ello, el SGSN tiene la tarea de encriptar el tráfico orientado a paquetes. El detalle sobre la cantidad de datos (Kbyte o Mbyte), transferidos por el usuario es recolectado por el SGSN para su facturación.

El SGSN y la GGSN pueden ser combinados funcionalmente en el mismo nodo físico o pueden ubicarse en diferentes nodos. Ambos contienen funcionalidades para el enrutamiento IP y pueden ser interconectados con Routers IP.

Se encarga (junto con el GGSN) de realizar la conmutación de paquetes en la red GPRS. Está conectado a la BSC por medio del interfaz Gb y constituye, para el terminal móvil, el punto de acceso al servicio de la red GPRS. Sus funciones son:

- Retransmisión de datos entre el móvil (MS) y el GGSN (en los dos sentidos).
- Gestión del registro y la movilidad de los MS.
- Paging (Aviso). Procedimiento para que el MS pase de estado “reposo” a “activo”, y así poder llevar a cabo el intercambio de datos.
- Recopilación de información para facturación (CDRs) y envío al CG.
- Conversión de IP (red transporte) a SNDCP y LLC empleados entre el SGSN y el MS.

#### 2.2.3.4. Interfaces del sistema GPRS



**Figura 2 - 12. Arquitectura conjunta GSM GPRS y sus interfaces**

Fuente: Universidad Francisco Gavidia [18]

Las interfaces de GPRS fueron nombradas utilizando la letra G en mayúscula más una letra en minúscula. La lista de las interfaces “Gx”, es la siguiente:

- Gb: Interfaz entre el SGSN y el BSS. Proviene de «Base». Transporta el tráfico GPRS y la señalización entre la red GSM (BSS) y la parte GPRS. Servicios de red basados en Frame Relay proveerán el control de flujo para este interfaz.
- Gc: Interfaz entre la GGSN y el HLR. Proviene de “Context”. El GGSN sólo podrá demandar información de localización de un MS a través de éste interfaz.
- Gd: Interfaz entre un SMS-GMSC o SMS-IWMSC y un SGSN. Destinado a proporcionar un uso más eficiente del servicio de SMS.

- Gf: Interfaz entre un SGSN y un EIR. Proviene de "Fraud". Le dará al SGSN acceso a la información de los equipos, principalmente a las listas blanca, negra y gris.
- Gi: Interfaz entre GGSN y una PDN externa. Proviene de Internet. La red GPRS está conectada a una red de datos externa a través de este interfaz. El sistema GPRS puede estar conectado a una variedad de redes de datos, por este motivo el interfaz Gi no es un estándar, sino simplemente un punto de referencia.
- Gn: Interfaz entre dos GSN en la misma PLMN. Proviene de "Node". Interfaz de datos y señalización en el núcleo de la intra-PLMN usando GTP (GPRS Tunneling Protocol) sobre IP.
- Gp: Interfaz entre dos GSN de diferentes PLMN. Proviene de "PLMN". Tiene la misma funcionalidad que el interfaz Gn pero provee además, junto con el BG y el Firewall, todas las funciones necesarias en la relación inter-PLMN, como por ejemplo seguridad y enrutado.
- Gr: Interfaz entre un SGSN y un HLR. Sirve para dar acceso al SGSN a la información del abonado que se encuentra en el HLR, el cual puede estar localizado en una PLMN diferente a la del SGSN.
- Gs: Interfaz entre un SGSN y un VLR. La SGSN puede enviar información de localización a la MSC o recibir una petición de localización desde la MSC a través de este interfaz. La implementación de este interfaz aumenta en gran medida la eficiencia del uso de los recursos radio y de red en la red GSM/GPRS. Este interfaz usa BSSAP.

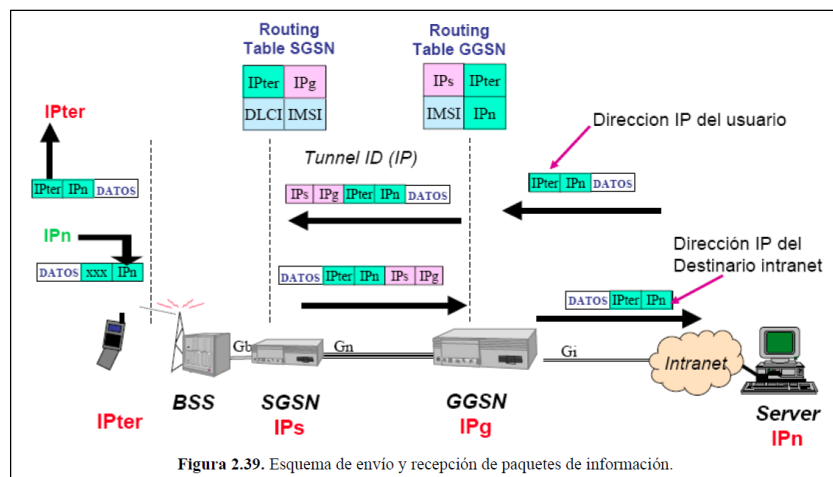
#### **2.2.3.5. Contexto PDP**

Un abonado al servicio GPRS puede disponer de una o más subscripciones para poder acceder a distintas redes externas de datos con diferentes calidades de servicio, siendo el operador de red quien delimita el número máximo. A cada una de estas subscripciones se les denomina en GPRS una dirección de protocolo de datos de paquetes (dirección PDP) o contexto PDP. Un contexto identifica los parámetros que se requieren para una transacción entre una terminal móvil y una red de datos externa.

- El terminal móvil puede soportar múltiples contextos de forma simultánea.
- Una vez activado el contexto se puede enviar y recibir paquetes hacia/desde otras redes de datos (IP o X.25).
- Cada contexto activado consume una dirección IP.
- Para la transferencia de paquetes se usa el concepto de "Tunneling". Para poder hacer "Tunneling" se necesita construir una relación entre el SGSN y GGSN. Esta relación implica la activación de un contexto PDP.



### 2.2.3.6. Transferencia de paquetes de información



**Figura 2 - 13. Esquema de envío y recepción de paquetes de información**

Fuente: Universidad Rovira i Virgili [19]

Una vez se ha realizado la conexión al servicio GPRS por parte del terminal, este posee una dirección IP (IPter). Esta dirección IP es almacenada en las tablas de enrutamiento del SGSN y el GGSN. De la misma forma está almacenada la relación entre la IP del SGSN (IPs) y la IP del GGSN (IPg). Una vez asignadas y almacenadas las direcciones se procede al intercambio de paquetes:

- El usuario establece una conexión con el servidor de Internet (IPn).
- El usuario envía paquetes con dirección de destino IPn a través del interfaz aire y del interfaz Gb.
- Cuando el paquete es recibido por el SGSN, se utiliza la dirección almacenada en las tablas de enrutamiento para obtener la dirección IP del GGSN al que enviar los datos.

- El SGSN encapsula los PDU (Packet Data Unit) y pone la dirección del GGSN correspondiente (IPg) como destino del paquete. Acto seguido lo envía a través del interfaz Gn.
- Cuando el paquete llega al GGSN, este elimina la cabecera y lo envía hacia la red externa a través del interfaz Gi.

#### **2.2.3.7. Tipología de Servicios**

El servicio GPRS pone a disposición de sus usuarios dos tipologías de servicio diferentes:

- Punto a Punto (Point To Point, PTP).
- Punto a Multipunto (Point To Multipoint, PTM).

Un servicio Point To Point es un servicio en el que el usuario envía uno o más paquetes a un único destinatario. Se pueden dar dos clases de servicios punto a punto:

- ConnectionLess Point To Point services (CLNS).
- Connection Oriented Point To Point services (CONS).

Un servicio PTP CLNS es un servicio en el que dos paquetes sucesivos son enviados a la red de forma independiente. Se define como un servicio de datagrama y puede ser útil para soportar aplicaciones bursty (a ráfagas) de tipo no interactivo.

Un servicio PTP CONS es, por el contrario, un servicio en el que se establece una relación lógica entre la fuente y el destinatario de los paquetes, relación que permanece activa durante el tiempo total de la

conexión. El servicio es, por lo tanto, un circuito virtual, es decir, en la fase de set-up de la conexión se establece un recorrido para el routing de los paquetes. Con respecto a una conexión por conmutación de circuito, tiene la diferencia de que los recursos físicos se liberan en cuanto el paquete genérico se ha transmitido, manteniendo la conexión lógica. Las aplicaciones que se adaptan bien a un servicio bearer (portador) de este tipo son aquellas interactivas o transaccionales, en las que se mantiene un diálogo continuo entre las dos entidades en comunicación.

Los servicios PTM, al contrario que los servicios PTP, implican a más de un usuario destinatario y ejecutan el envío de paquetes en base geográfica. Se debe tener en cuenta que estos servicios no pueden implicar, como usuarios destinatarios de paquetes, a los usuarios de las redes interconectadas a la GPRS PLMN, sino sólo a usuarios de móviles.

Se definen tres diferentes servicios PTM:

- PTM – Multicast, en el cual los mensajes son unidireccionales y se entregan en un área geográfica. Los mensajes incluyen un IMG1 (International Mobile Group Identity) que indica al receptor de dónde procede el mensaje. La red no conoce los potenciales receptores de éste y no asegura su entrega.
- PTM – GroupCall, que permite enviar un mensaje unidireccional, bidireccional o multidireccional a un cierto grupo de usuarios dentro de un área geográfica determinada. Al igual que en el caso anterior, el mensaje incluye un IMG1. La red tiene conocimiento de la localización de los miembros activos del grupo, entregando el mensaje sólo en las celdas en las que éstos residen y garantizando la recepción del mismo.
- IP Multicast es un servicio definido como parte del conjunto IP. En IP-M los mensajes son enviados entre los miembros de un grupo IP, que puede ser interno a una PLMN o estar distribuido a través de Internet.

#### **2.2.3.8. Terminales GPRS**

GPRS puede combinar hasta 8 canales para transferir datos, y cada canal puede transferir a una velocidad de 8 a 12 Kbps. Esta tecnología permite desdoblarse la transmisión de voz y datos en diferentes canales que transmiten de forma paralela, permitiendo mantener conversaciones sin cortar la transmisión de datos. Los terminales GPRS cuentan con diversas prestaciones en función del número de canales que utilicen. Debido a esto, se cuenta con terminales 2 + 1 (dos canales para recibir información y un canal para el envío), 3 + 1, 4 + 1, etc.

El uso de GPRS no se limita sólo a los teléfonos móviles o PDAs; existen también tarjetas PCMCIA GPRS para conectar portátiles a Internet, tarjetas para conectar el ordenador de sobremesa, etc. El uso de este tipo de terminales como módem inalámbrico tiene una aplicación inmediata y evidente: se pueden conectar a ordenadores portátiles o de sobremesa como cualquier módem, pero evidentemente con la ventaja de ser inalámbrico.

Igualmente, los terminales GPRS permiten visualizar contenidos y utilizar servicios de Internet directamente en su pantalla reducida, en una evolución continua de convergencia entre el teléfono móvil y los PDA.

Los terminales se pueden clasificar en cinco tipos, en función del uso que le vaya a dar el usuario:

- Teléfonos móviles, que permiten el uso de información escrita o gráfica de forma básica o completa en el caso de los teléfonos inteligentes.
- Terminales tipo agenda electrónica, con funciones mixtas de voz y datos, y pantallas de mayor tamaño y capacidad gráfica que un teléfono móvil.
- Terminales tipo ordenador personal de mano (PDA) con pantalla de mayor formato y gran capacidad gráfica.

- Ordenadores portátiles que utilicen para la conexión inalámbrica un teléfono móvil GPRS.
- Dispositivos diversos con comunicación móvil y funciones especiales como sistemas de navegación para coches y tarjetas de comunicación inalámbrica en máquinas autoservicio.



**Figura 2 - 14. Terminales GPRS**

Fuente: Universidad de Sevilla [17]

La introducción de un servicio de datos por conmutación de paquetes, como es GPRS, no asegura a los usuarios GSM la posibilidad de disfrutar simultáneamente de servicios por conmutación de circuito (voz, datos). Naturalmente el uso compartido de los servicios puede llevar a una degradación de las prestaciones en términos de “throughput” (rendimiento) de la llamada GPRS.

Con este propósito se definen tres clases de servicio en los terminales:

- **Clase A:** las estaciones móviles de este tipo permiten al usuario utilizar tanto una conexión por conmutación de circuito como una por conmutación de paquetes con el máximo throughput (rendimiento) posible. Para ello el terminal necesita dos transmisores y dos

receptores, uno para cada servicio. Estas características hacen que los dispositivos de clase A resulten extremadamente caros.

- **Clase B:** las estaciones móviles de este tipo pueden registrarse tanto en redes GSM como en GPRS simultáneamente pero sólo pueden tener una llamada activa en un momento dado: o una llamada de voz o una conexión de datos. Cuando una llamada de voz termina, la conexión de datos puede volver a iniciarse. La mayoría de teléfonos hoy en día son de esta clase.
- **Clase C:** las estaciones móviles de este tipo no permiten el uso simultáneo de los servicios, por tanto, el usuario que está disfrutando de un servicio no puede utilizar también otro.

## 2.3. Formato de imagen JPEG

Este formato lleva el nombre del grupo que creó este estándar de compresión llamado Joint Photographic Experts Group, y que permite utilizar hasta 16.777.216 colores (24 bits). Es el formato más apropiado para comprimir imágenes fotográficas con gran detalle. Sin embargo, se trata de una compresión con pérdida de información, es decir, al descomprimir la imagen obtenida no veremos exactamente la imagen original.

La compresión de una imagen tiene como objetivo reducir los datos redundantes e irrelevantes de la imagen con la menor pérdida posible para permitir su almacenamiento o transmisión de forma eficiente.

Los métodos de compresión se pueden clasificar en:

- Compresión sin pérdida de información (LOSSLESS).
- Compresión con pérdida de información (LOSSY).

En la codificación sin pérdida se puede transmitir una imagen utilizando compresión sin pérdida de información sobre un protocolo de transmisión con pérdida como UDP. Por el contrario en la compresión con pérdida se puede transmitir una imagen comprimida con pérdida de información sobre un protocolo sin pérdida de datos como TCP.

JPEG al ser un formato del tipo de compresión con pérdida, deberá utilizar el protocolo TCP para la transmisión de datos.

Además de ser un método de compresión, es considerado como un formato de archivo. JPEG es el formato de imagen más común utilizado por las cámaras fotográficas digitales y otros dispositivos de captura de imagen, así como también para el almacenamiento y la transmisión de imágenes fotográficas en la "World Wide Web". Los archivos de este tipo se suelen nombrar con la extensión ".jpg".

Los datos contenidos en una imagen jpeg están normados de acuerdo a la recomendación T.81 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU por sus siglas en inglés), referidos a unos marcadores al inicio y final de los datos que contienen la imagen. Según esta recomendación, los marcadores sirven para identificar varias partes estructurales de los formatos de datos comprimidos. Todos los marcadores son asignados con dos bytes en código hexadecimal: un byte "FF" seguido por otro byte distinto de "0" ó "FF".

En la tabla 2-2 se presenta los distintos marcadores para los diferentes tipos de compresión, elaborado por la ITU.

Code Assignment	Symbol	Description
Start Of Frame markers, non-differential, Huffman coding		
X'FFC0' X'FFC1' X'FFC2' X'FFC3'	SOF <sub>0</sub> SOF <sub>1</sub> SOF <sub>2</sub> SOF <sub>3</sub>	Baseline DCT Extended sequential DCT Progressive DCT Lossless (sequential)
Start Of Frame markers, differential, Huffman coding		
X'FFC5' X'FFC6' X'FFC7'	SOF <sub>5</sub> SOF <sub>6</sub> SOF <sub>7</sub>	Differential sequential DCT Differential progressive DCT Differential lossless (sequential)
Start Of Frame markers, non-differential, arithmetic coding		
X'FFC8' X'FFC9' X'FFCA' X'FFCB'	JPG SOF <sub>9</sub> SOF <sub>10</sub> SOF <sub>11</sub>	Reserved for JPEG extensions Extended sequential DCT Progressive DCT Lossless (sequential)
Start Of Frame markers, differential, arithmetic coding		
X'FFCD' X'FFCE' X'FFCF'	SOF <sub>13</sub> SOF <sub>14</sub> SOF <sub>15</sub>	Differential sequential DCT Differential progressive DCT Differential lossless (sequential)
Huffman table specification		
X'FFC4'	DHT	Define Huffman table(s)
Arithmetic coding conditioning specification		
X'FFCC'	DAC	Define arithmetic coding conditioning(s)
Restart interval termination		
X'FFD0' through X'FFD7'	RST <sub>m</sub> *	Restart with modulo 8 count "m"
Other markers		
X'FFD8' X'FFD9' X'FFDA' X'FFDB' X'FFDC' X'FFDD' X'FFDE' X'FFDF' X'FFE0' through X'FFEF' X'FFF0' through X'FFFD' X'FFFE'	SOI* EOI* SOS DQT DNL DRI DHP EXP APP <sub>n</sub> JPG <sub>n</sub> COM	Start of image End of image Start of scan Define quantization table(s) Define number of lines Define restart interval Define hierarchical progression Expand reference component(s) Reserved for application segments Reserved for JPEG extensions Comment
Reserved markers		
X'FF01' X'FF02' through X'FFBF'	TEM* RES	For temporary private use in arithmetic coding Reserved

**Tabla 2 - 2. Tabla de asignación de marcadores de códigos**

Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT [20]

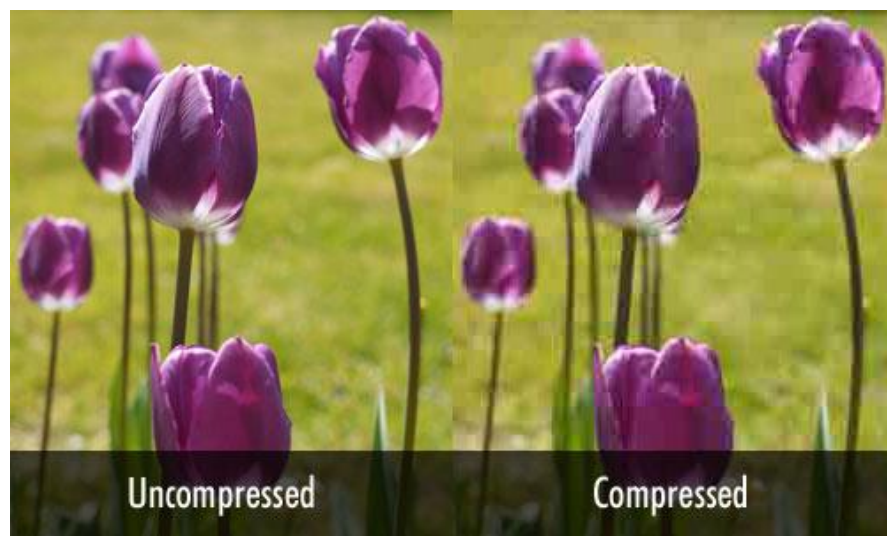
Jpeg al ser del tipo de compresión con pérdida, le corresponde la definición de “otros marcadores” en la tabla, donde especifica que:

- El inicio de la imagen tiene el marcador en código hexadecimal de “FFD8” y su símbolo SOI (start of image por sus siglas en inglés).



- Y el final de la imagen tiene el marcador en código hexadecimal de “FFD9” y su símbolo EOI (end of image por sus siglas en inglés).

El algoritmo de compresión JPEG se basa en dos fenómenos visuales del ojo humano: uno es el hecho de que es mucho más sensible al cambio en la luminancia que en la crominancia; es decir, capta más claramente los cambios de brillo que de color. El otro es que nota con más facilidad pequeños cambios de brillo en zonas homogéneas que en zonas donde la variación es grande; por ejemplo en los bordes de los cuerpos de los objetos.



**Figura 2 - 15. Diferencia entre una imagen comprimida y sin comprimir**

Fuente: Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía - JPEG [20]

La pérdida de calidad cuando se realizan sucesivas compresiones es acumulativa. Esto significa que si se comprime una imagen y se descomprime, se perderá calidad de imagen, pero si se vuelve a comprimir una imagen ya comprimida se obtendrá una pérdida todavía mayor. Cada sucesiva compresión causará pérdidas adicionales de calidad. La compresión con pérdida no es conveniente en imágenes o gráficos que tengan textos, líneas o bordes muy definidos, pero sí para archivos que contengan grandes áreas de colores sólidos.

## **CAPITULO III**

### **3. DESCRIPCION DEL HARDWARE ELECTRÓNICO**

#### **3.1. Introducción**

El proyecto descrito en la presente tesis, consta de cuatro módulos importantes para su funcionamiento; siendo estos una plataforma electrónica de integración, un módulo gps, un módulo gsm/gprs y una cámara de transmisión serial de datos.

Se describe a continuación cómo se clasifican estos módulos, sus características y el criterio de elección de los módulos adecuados para este proyecto. Así mismo, se presenta un diagrama de conexión de todos ellos para explicar su funcionamiento.

## **3.2. Plataforma electrónica**

Las plataformas de desarrollo permiten reducir los tiempos involucrados en el diseño de una solución, aumentando la confiabilidad y velocidad de fabricación de un prototipo y, en ocasiones, transformándose en la base del producto final mismo. Con estas placas, el desarrollador puede concentrarse en afinar las prestaciones del diseño, más que en implementar funcionalidades de bajo nivel, pues éstas ya han sido resueltas por los fabricantes de la plataforma.

Por lo general, estas son placas que integran microcontroladores, circuitos y componentes electrónicos que le proporcionan diversas capacidades básicas, como alimentación de energía o comunicación. De este modo, los desarrolladores ya no necesitan dedicarse a implementar una determinada funcionalidad para un proyecto, sino que simplemente deben elegir la plataforma de desarrollo que funcione con el microcontrolador de su preferencia y que cuente con las prestaciones adecuadas.

### **3.2.1. Clasificación de las plataformas de desarrollo**

Existe una variedad de modelos y versiones de placas de desarrollo, que se diferencian entre sí por las funcionalidades que incorporan. En ese sentido se pueden clasificar de acuerdo al microcontrolador utilizado, velocidad del procesador, memoria disponible, consumo de energía, etc., y la capacidad de incorporar circuitos y puertos para los dispositivos externos (sensores, módems GSM, Bluetooth, etc.)

Se presenta algunas de las plataformas de desarrollo basadas en microcontroladores más utilizadas:

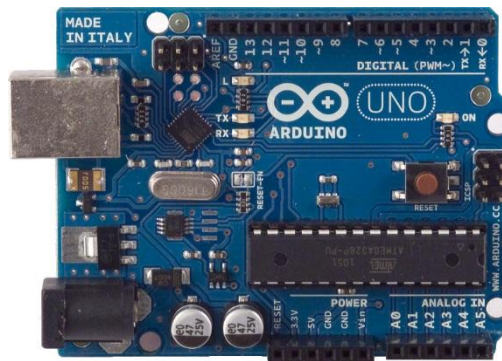
a. Raspberry Pi



**Figura 3 - 1. Módulo electrónico Raspberry Pi**

Fuente: Fundación Raspberry Pi [21]

b. Arduino UNO



**Figura 3 - 2. Módulo electrónico Arduino R2**

Fuente: Comunidad Arduino [22]

### 3.2.2. Características de las plataformas de desarrollo

Se menciona a continuación las principales características de las plataformas indicadas en el punto anterior.

a. Raspberry Pi

- CPU: ARM 1176JZF-S a 700 MHz (familia ARM11)
- Juego de instrucciones: RISC de 32 bits
- Memoria (SDRAM): 512 MB
- Puertos USB 2.0:54 2
- Entradas de vídeo: Conector MIPI CSI que permite instalar un módulo de cámara
- Salidas de vídeo:5 Conector RCA (PAL y NTSC), HDMI
- Salidas de audio:5 Conector de 3.5 mm, HDMI
- Almacenamiento: SD / MMC / ranura para SDIO
- Conectividad de red:5 10/100 Ethernet (RJ-45)
- Periféricos de bajo nivel: 8 x GPIO, SPI, I<sup>2</sup>C, UART60
- Consumo: 700 mA
- Alimentación: 5 V DC
- Dimensiones: 85.60 × 53.98 mm
- Sistemas operativos soportados: GNU/Linux: Debian (Raspbian), Fedora (Pidora), Arch Linux (Arch Linux ARM), Slackware Linux.

b. Arduino UNO R3

- Microcontrolador: Atmel ATmega328
- Voltaje de operación: 5V
- Voltaje de entrada: 7-12V
- Pines i/o digitales: 14
- Pines analógicos: 6
- Consumo: 50 mA
- Memoria flash: 32 KB (ATmega328)
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- Largo: 68.6 mm
- Ancho: 53.4 mm
- Peso: 25 g

### **3.2.3. Elección de la plataforma adecuada**

Se optó por trabajar con la plataforma Arduino para este proyecto, con su microcontrolador ATmega328 de Atmel, ya que cumple los requerimientos necesarios para el manejo de los módulos que se conectarán. Para ello la plataforma posee un puerto de comunicación serial por hardware, y además es posible programar puertos seriales por software para lograr la comunicación con todos los módulos.

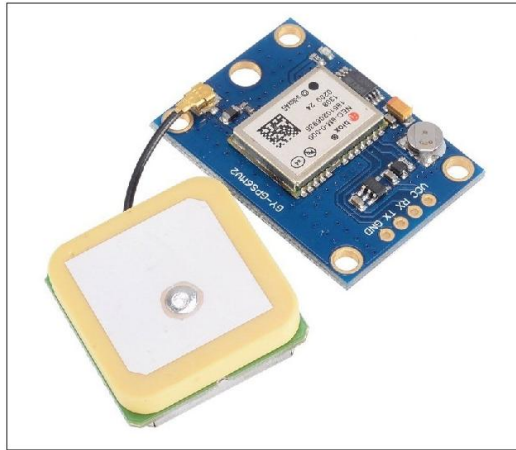
La plataforma Raspberry Pi también cumple con los requerimientos para este proyecto, pero ofrece muchas más funcionalidades que no son necesarias, inclusive hasta un sistema operativo propio.

Otra diferencia entre ambas plataformas para la elección, fue la diferencia de precios y el consumo; siendo esta última de hasta 600 mA.

### **3.3. Módulo GPS**

Es un dispositivo electrónico capaz de recibir la señal de los satélites GPS, decodificarla y transferir los datos de posicionamiento, velocidad y fecha, hacia un controlador, mediante uso de estándares. El estándar más conocido es el NMEA 0183.

Los módulos GPS se caracterizan por ser versátiles, a la hora de diseñar dispositivos en aplicaciones de localización, posicionamiento y control de flotas, especialmente en la integración con módulos GSM-GPRS para el envío y recepción de datos.



**Figura 3 - 3. Modulo GPS Ublox NEO-6M**

Fuente: BotScience [23]

Los componentes principales de un módulo GPS son los siguientes:

- Chip receptor GPS.- Es un circuito integrado encargado de descifrar la señal de los satélites GPS.
- Antena.- Se encarga de amplificar la señal proveniente de los satélites GPS.
- Interfaz de comunicación.- Se encarga de transferir los datos de posicionamiento hacia un controlador, pudiendo ser la comunicación vía serial, USB o Bluetooth.

### **3.3.1. Clasificación de los módulos GPS**

Según la capacidad de recepción de sistemas GNSS, por parte del chip receptor, los módulos pueden clasificarse en:

- Receptor GPS. Capaz de interpretar la señal de la constelación de satélites GPS.
- Receptor GNSS Múltiple.- Capaz de interpretar la señal de las constelaciones GPS y GLONASS.

### 3.3.2. Características de los módulos GPS

Las características principales de los módulos GPS son las siguientes:

- Voltaje de operación.- Nivel de voltaje recomendado para el pleno trabajo del dispositivo. Se mide en Voltios.
- Corriente de operación.- Nivel de corriente consumida en pleno trabajo. Se mide en miliamperios.
- Canales.- Cantidad de slot soportados para el rastreo y adquisición de la señal de los satélites.
- Sensibilidad.- Potencia mínima recibida de un satélite. Se mide en dBm.
- Precisión.- Representa el error en la ubicación. Se mide en metros.
- Temperatura de operación.- Temperatura alcanzada en pleno trabajo. Se mide en grados Celsius.
- Dimensiones.- medidas de largo, ancho y alto del módulo. Se mide en milímetros.

### 3.3.3. Elección del módulo GPS adecuado

Para la elección del módulo GPS se evaluaron 2 modelos de marcas distintas. Ambos poseen antenas integradas y una interfaz serial de nivel TTL. En la tabla 3-1 se presenta las características de los módulos.

		
Marca	SIRF	Skylab
Modelo	SIRF STAR III	SKM53
Voltage de operación	3.3 a 6V	5V
Corriente de operación	38mA	30mA
Canales	20	22
Sensibilidad	-159dBm	-165dBm
Precision	5m	3m
Temperatura de operación	-40 a +80°C	-40 a +85°C
Dimensiones	47.9 X 39.0 X 16mm	18.2 X 18.2 X 4.0mm

**Tabla 3 - 1. Características de los módulos GPS Sirf y Skylab**

Fuente: Los autores



Se tomaron en cuenta 2 aspectos en la elección. El primero fue el tiempo de sincronización con los satélites GPS y el segundo fue la precisión de la posición. Para ambas pruebas se utilizaron 2 Arduino Uno para que controlaran y energizaran cada módulo, además de cumplir la función de interfaz serial hacia una laptop. Cada Arduino fue alimentado por una fuente de poder de 13.8V.

Para la primera prueba ambos módulos fueron colocados en un primer piso de un local con techo de drywall, en el marco de una ventana con vista al cielo, en la ciudad de Lima. El módulo SKM53 de Skylab fue el que obtuvo un menor tiempo de sincronización de 1 minuto, mientras que el módulo SIRF STAR III de SIRF obtuvo un tiempo de 3 minutos. La prueba se realizó 3 veces, obteniendo los mismos resultados.

Para la segunda prueba, luego de la sincronización con los satélites GPS y la visualización de los datos de latitud y longitud vía conexión serial con una laptop, se precedió a comprobar la precisión en metros descrita por las empresas fabricantes, con ayuda de Google Maps. Como resultado ambos módulos cumplieron con el margen de error que describe su precisión.

Como resultado de las 2 pruebas se eligió el módulo SKM53 de Skylab, que además de sus características tiene un bajo precio.

### 3.4. Módulo GSM/GPRS

Un módulo GSM/GPRS incluye lo necesario para conectarse a la red celular con funcionalidades de voz y datos. Se necesita conectar una tarjeta SIM (pre-pago o de contrato) y una antena GSM. Con esto se podrán usar sencillos comandos AT para realizar llamadas telefónicas, envío de SMS, conexión a páginas web, envío de datos vía TCP o UDP.



**Figura 3 - 4. Módulo M10 Quectel**

Fuente: QUECTEL [24]

#### 3.4.1. Clasificación de los módulos GPS

Según se pueda usar simultáneamente GSM y GPRS, es decir, si es posible cursar una llamada de voz en la red GSM, mientras que se reciben y/o envían datos en GPRS, el modulo se puede clasificar en 3 clases:

- Clase A: Permiten el uso simultáneo de GSM y GPRS, sin que haya degradación de la calidad de ninguno de los dos servicios.
- Clase B: Por su parte, monitorean los canales GSM y GPRS a la vez pero no pueden establecer una comunicación simultánea. Es decir, registran tanto GSM como GPRS pero uno de los dos permanece suspendido mientras el otro está activo. GSM tiene la prioridad, por lo que la calidad del servicio GPRS se ve reducida.

- Clase C: No permiten el uso simultáneo de GSM y GPRS y el usuario debe seleccionar el tipo de servicio al que quiere conectarse.



### **3.4.2. Características de los módulos GSM-GPRS**

Las características comunes en los módulos GSM-GPRS son las siguientes:

- Voltaje de operación.- Nivel de voltaje recomendado para el pleno trabajo del dispositivo. Se mide en voltios.
- Corriente de operación.- Nivel de corriente consumida en pleno trabajo. Se mide en miliamperios.
- Potencia de transmisión.- potencia con la cual el modulo emite los datos. Se mide en Watts.
- Clase.- La clase determina si el modulo se puede usar simultáneamente GSM y GPRS.
- Multislot.- Hace referencia a la cantidad de slots que puede utilizar el modulo para subir y para bajar datos.
- Bandas de frecuencia.- Son las frecuencias donde trabaja el modulo.
- Temperatura de operación.- Temperatura alcanzada en pleno trabajo. Se mide en grados Celsius.
- Dimensiones.- medidas de largo, ancho y alto del módulo. Se mide en milímetros.

### **3.4.3. Elección del módulo GSM-GPRS adecuado**

Para la elección del módulo GSM-GPRS se evaluaron 2 modelos de marcas distintas. Ambos poseen antenas externas e interfaz serial de nivel TTL. En la tabla 3-2 se presenta las características de los módulos.

		
Marca	SIMCOM	Spreadtrum
Modelo	SIM900	GSM SM5100B
Voltage de operación	3.4 a 4.5V	3.3 a 4.2V
Corriente de operación	220 a 2000mA	350 a 2000mA
Clase	B	B
Banda de Frecuencias	850 / 900/ 1800 / 1900 MHz	850 / 900/ 1800 / 1900 MHz
Multislot	10	10
Potencia de Transmision	1 y 2W	1 y 2W
Temperatura de operación	-30 a +80°C	-10 a +55°C
Dimensiones	68.6 X 53.4 mm	65.9 X 50.2 mm

**Tabla 3 - 2. Características de los módulos SIM900 y SM5100B**

Fuente: Los autores

Para la elección del módulo GSM-GPRS adecuado, se utilizó dos Arduino Uno para energizar, controlar y programar cada módulo. Se realizaron 2 pruebas, una con los módulos sin movimiento y otra con movimiento. Cada Arduino fue alimentado por una fuente de poder de 13.8V para la primera prueba y una batería de 16.5V para la segunda prueba.

La primera prueba consistió en enviar el siguiente mensaje: “Hola Mundo, desde módulo GSM”, hacia un servidor de escucha desarrollado en el lenguaje de programación Java.

Previamente se configuraron los módulos vía comandos AT con la ayuda de los Arduino. Luego se procedió a colocar la antena externa de 2dBi y una tarjeta SIM de la compañía Claro a cada módulo. Ambos módulos fueron colocados en un primer piso de un local con techo de drywall, ubicado en la ciudad de Lima. Se envió el mensaje cada minuto por un periodo de 2 horas. Ambos módulos pasaron la prueba satisfactoriamente.

La segunda prueba consistió en colocar los módulos en un vehículo en movimiento recorriendo los distritos y calles de lima por un periodo de 2 horas y media, reportando cada minuto el mensaje de la primera prueba.

En esta ocasión se apreció lo siguiente:

- El módulo GSM SM5100B dejaba de enviar datos en lugares donde el módulo SIM900 si lo hacía.
- El módulo GSM SM5100B se calentaba más que el módulo SIM900.

Por tales inconvenientes el módulo GSM SM5100B fue descartado y se eligió el módulo SIM900 para el proyecto.

### **3.5. Cámara TTL de transmisión serial**

Este tipo de cámaras capturan imágenes con compresión en formato JPEG, poseen una resolución máxima de 640x480 pixeles y un puerto serial para la comunicación y transmisión de datos. Para su funcionamiento requiere una serie de comandos en formato hexadecimal, siguiendo una secuencia dada por el fabricante.

#### **3.5.1. Clasificación de las cámaras TTL**

Estas cámaras se clasifican de acuerdo al sensor de imagen que poseen, siendo generalmente CMOS, su resolución, la velocidad de transmisión de los datos que puede llegar hasta 115200 bps (baudios por segundo) y su consumo de corriente.

Además de ello, algunos fabricantes integran sensores de luz y leds infrarrojos para poder capturar imágenes tanto de día como de noche.

En el mercado existen diversos tipos de cámaras de transmisión serial, siendo las más comerciales, las que se presentan a continuación.

a. Cámara SEN-12804



**Figura 3 - 5. Cámara TTL RS323 SEN 12804**

Fuente: Sparkfun [25]

b. Cámara SEN-11610



**Figura 3 - 6. Cámara IR TTL RS323 SEN 11610**

Fuente: Sparkfun [25]

c. Cámara C429-L36



**Figura 3 - 7. Cámara TTL RS323 C429-L36**

Fuente: Sparkfun [25]

### **3.5.2. Características de las cámaras de transmisión serial**

Entre las principales características de las cámaras mencionadas en el punto anterior, se encuentra su tamaño, resolución, sensor de imagen.

a. Cámara SEN-12804

- Tamaño: 36.6 x 32 x 27.6 mm
- Sensor: 2M CMOS
- Resolución: 1600x1200 / 1280x960 / 1024x768 / 800x600 / VGA / QVQAF / 160x120
- Velocidad: 115200 bps
- Consumo: 120 mA
- Voltaje: 5 VDC

b. Cámara SEN-11610.

- Tamaño: 45.6 x 30 x 28 mm
- Sensor: 1/4 OmniVision CMOS
- Resolución: VGA / QVQAF / 160x120

- Velocidad: 38400 bps
- Consumo: 100 mA
- Voltaje: 5 VDC

c. Cámara C429-L36.

- Tamaño: 36.6 x 32 x 32 mm
- Sensor: 1/4 MT9V011 CMOS
- Resolución: VGA / QVQAF / 160x120
- Velocidad: 38400 bps
- Consumo: 80 mA
- Voltaje: 5 VDC

### **3.5.3. Elección de la cámara adecuada**

De acuerdo a las características descritas en el punto anterior, la cámara más adecuada para utilizar en el presente proyecto es la SEN-11610, ya que posee leds infrarrojos que permiten capturar imágenes de noche, su resolución máxima VGA (480x640) con su sensor de imagen OmniVision CMOS permite capturar imágenes claras y su consumo de 100 mA, el cual es un consumo promedio bajo para una cámara de sus características.



### 3.6. Sensores

Los sensores eléctricos, son dispositivos capaces de convertir una magnitud física o química en una magnitud eléctrica. Se consideran magnitudes eléctricas a la corriente, la tensión, las amplitudes de corriente y tensión, la frecuencia, el periodo, la fase o la duración de los impulsos de una oscilación eléctrica, la resistencia, la capacitancia e inductancia.

#### 3.6.1. Clasificación de los sensores

Los sensores se pueden clasificar según la magnitud física o química que tenga que medir o detectar:

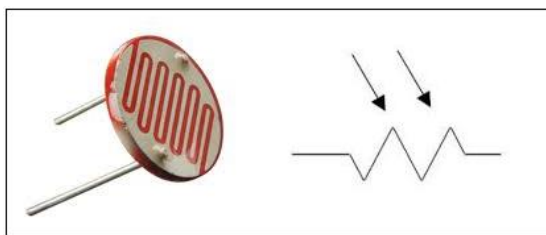
- De contacto: Detectan el final del recorrido o la posición límite de componentes mecánicos. Llamados comúnmente como fines de carrera, se trata de un interruptor que consta de una pieza móvil y de una pieza fija que se llama NA (normalmente abierto), o NC (normalmente cerrado).



**Figura 3 - 8. Sensor de fin de carrera**

Fuente: Electrónica Estudio [26]

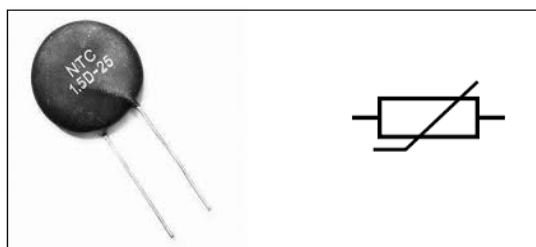
- Ópticos: Detectan la presencia de un objeto que interrumpe el haz de luz que llega al sensor. Los principales sensores ópticos son las fotorresistencias o LDR (Ligth-Dependent Resistor).



**Figura 3 - 9. Sensor fotoresistivo**

Fuente: Electrónica Estudio [26]

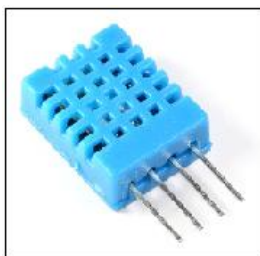
- De Temperatura: Se trata de resistencias cuyo valor asciende con la temperatura (termistor PTC) o bien disminuye con la temperatura (termistor NTC).



**Figura 3 - 10. Sensor de temperatura termistor**

Fuente: Electrónica Estudio [26]

- De humedad: Permite obtener información sobre el grado de concentración de agua que hay en el ambiente o en cierto material.



**Figura 3 - 11. Sensor de humedad DHT11**

Fuente: Electrónica Estudio [26]

- Magnéticos: Detectan los campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas.



**Figura 3 - 12. Sensor magnético**

Fuente: Electrónica Estudio [26]

- Infrarrojo: Detectan la radiación electromagnética, en la banda cuyas frecuencias son muy bajas, que resulta invisible para el ojo humano, pero no para los aparatos electrónicos.



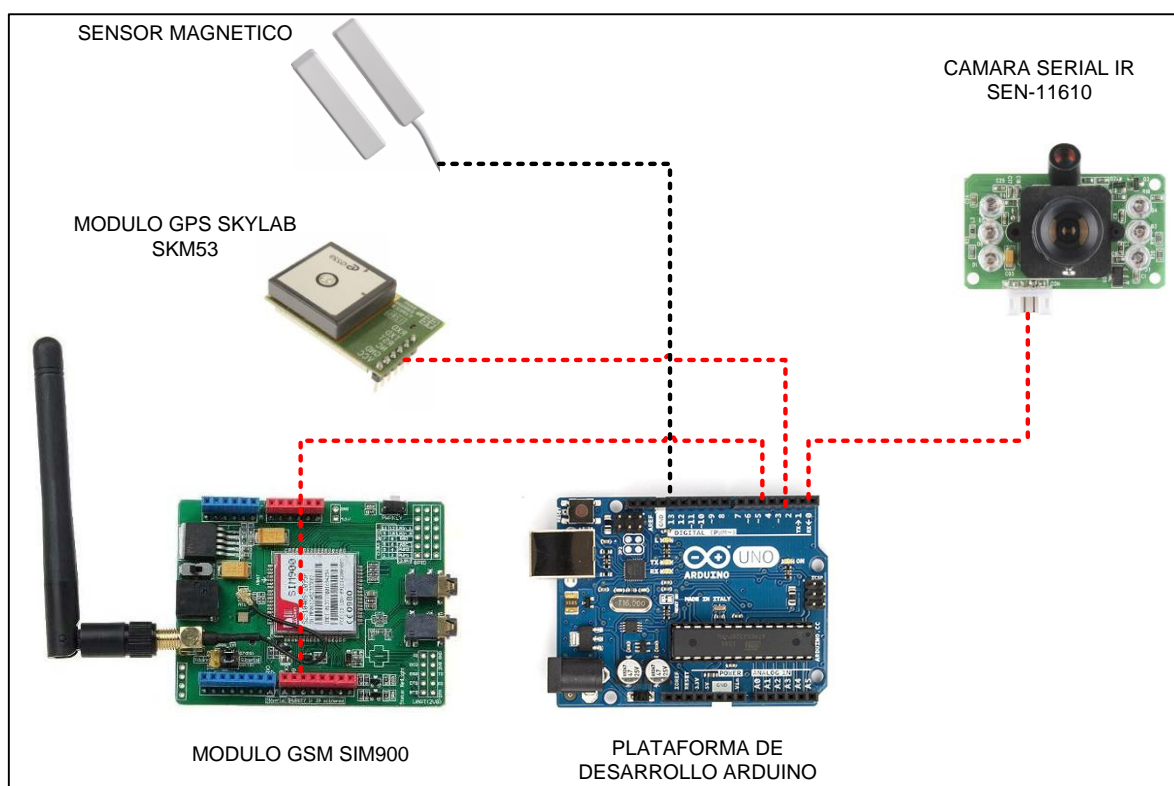
**Figura 3 - 13. Sensor infrarrojo**

Fuente: Electrónica Estudio [26]

### **3.6.2. Elección del sensor adecuado**

Se tuvieron 2 opciones, el fin de carrera y el sensor magnético, que cumplen con la función de detectar la apertura y cierre de la puerta de un vehículo de manera segura. Se descartó el fin de carrera debido a que sería sometido a impactos directos. En cambio el sensor magnético fue elegido por su sencilla instalación y por no sufrir ningún impacto para detectar la apertura y cierre de la puerta del vehículo.

### 3.7. Diagrama de conexión



**Figura 3 - 14. Diagrama de conexión de los módulos del dispositivo**

Fuente: Los autores

## **CAPITULO IV**

### **4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA**

Para realizar la implementación del sistema de localización y captura de imágenes, el primer paso es configurar el router y la PC donde se alojara la aplicación Java que recibirá la posición e imagen enviada por el módulo GSM-GPRS, que a su vez es controlado por el Arduino.

El segundo paso es programar el controlador Arduino, el cual tendrá la función de comunicarse con los otros módulos y sensor el estado de la entrada correspondiente al sensor magnético.

El tercer paso consiste en la programación del aplicativo desarrollado en lenguaje Java. Su función será recibir, procesar y guardar los datos de posición e imagen en carpetas.

A continuación se detalla cada paso y al finalizar se presenta el diagrama del sistema.

#### 4.1. Configuración del router y PC

Para garantizar la funcionalidad del sistema se requiere una CPU con las características que se presentan a continuación:

- Procesador Intel Core i5
- Disco Duro 500GB
- Memoria RAM 4GB DDR3 1333MHz
- Tarjeta de red Ethernet 1x 10/100/1000Base-T RJ-45
- S.O. Windows7

Se debe contar también con acceso a internet.

Se detalla también la configuración del router TPLINK TD-W8968, también se puede usar el router que brinda la compañía prestadora de servicios internet contratada, ya que el proceso es similar en todos los routers.



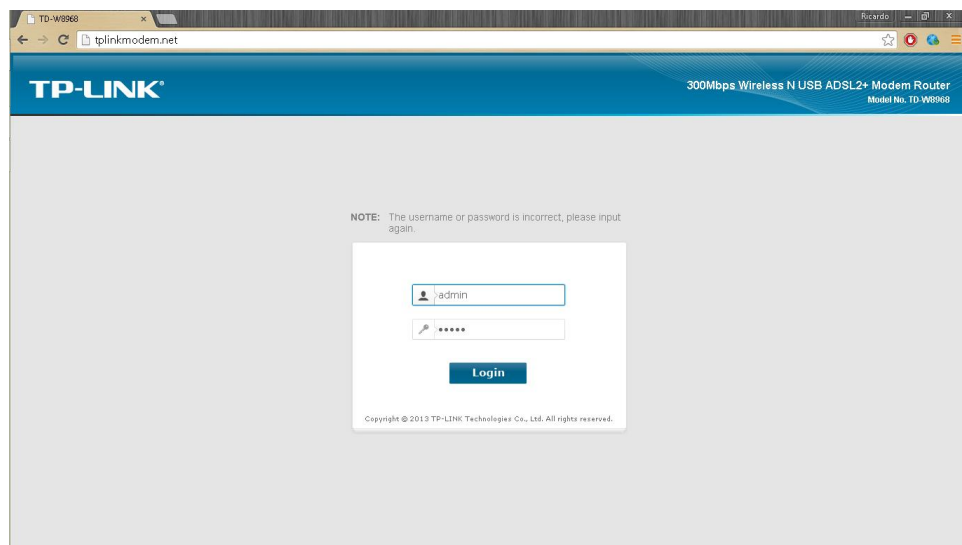
**Figura 4 - 1. Router TPLINK TD-W8968**

Fuente: TP-LINK [27]

El router se configura con ayuda de la CPU a través de la conexión Ethernet.

Se accede al software de configuración del router abriendo un explorador web favorito, en este caso se digita “http://tplinkmodem.net”, este enlace puede variar dependiendo del router utilizado.

Introduciendo los datos de usuario y contraseña se podrá iniciar sesión, dichos datos se pueden encontrar en la base del router o de lo contrario se debe solicitar a la compañía prestadora de servicios de internet.

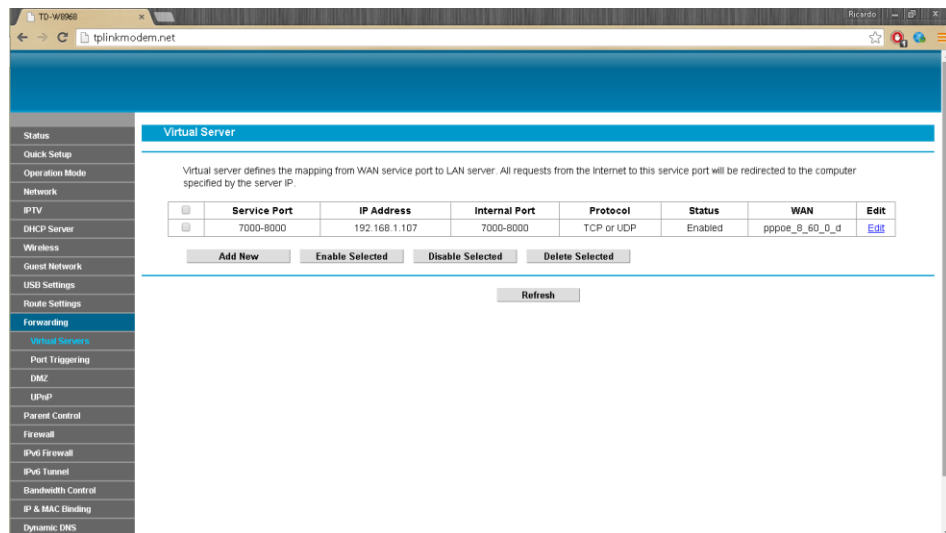


**Figura 4 - 2. Pantalla de inicio de sesión del router TPLINK TD-W8968**

Fuente: Los autores

La configuración consiste en indicarle al router que dirija todo dato que llegue por los puertos 7000 al 8000 de nuestra IP pública hacia la IP de nuestra PC.

El protocolo de transporte a utilizar es UDP y será implementado en la aplicación Java más adelante.



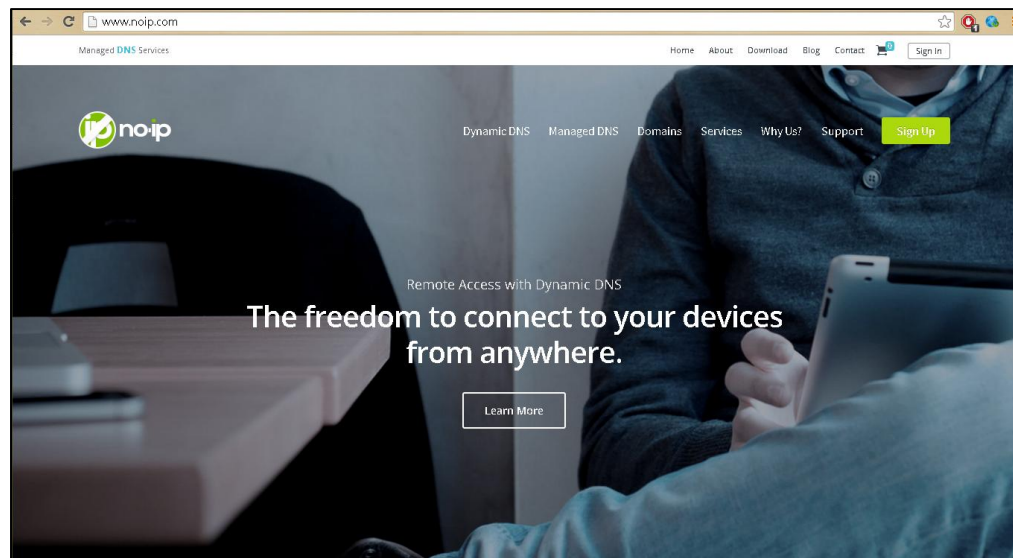
**Figura 4 - 3. Enrutamiento de Puertos y números IP**

Fuente: Los autores

Es necesario tener un servicio de DNS dinámico (DDNS), con el cual se asignará un nombre de dominio de Internet a nuestra IP pública. Esto permitirá la conexión a nuestra PC sin necesidad de cambiar la configuración previa realizada en el router, debido a que la IP brindada es dinámica.

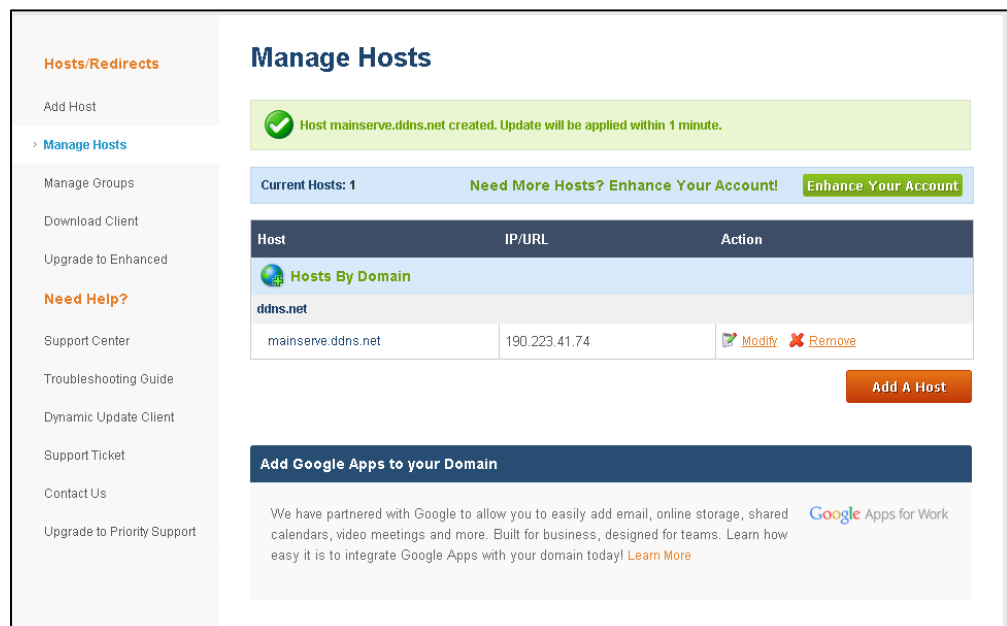
Se utilizó el servicio No-IP, registrando los datos correspondientes para obtener una cuenta. Se podrá escoger un nombre de dominio, para este caso se utilizó “mainserver.ddns.net”.





**Figura 4 - 4. Servicio No-IP**

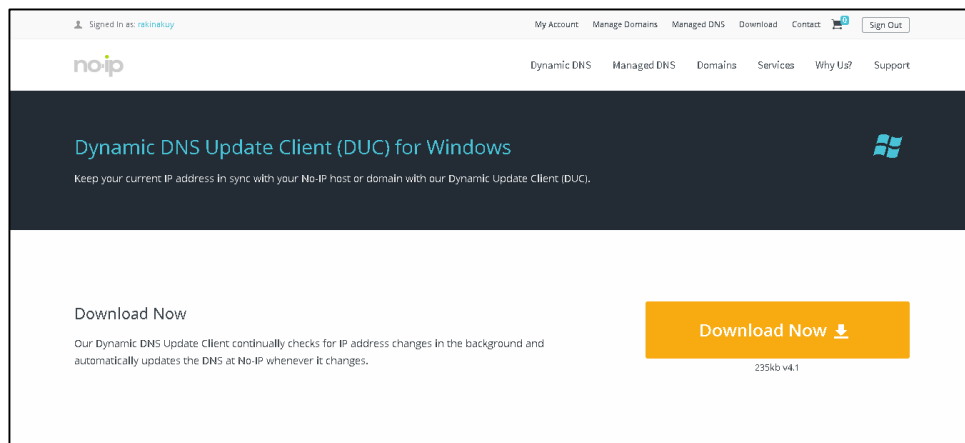
Fuente: No-IP [28]



**Figura 4 - 5. Configuración de la cuenta No-IP**

Fuente: No-IP [28]

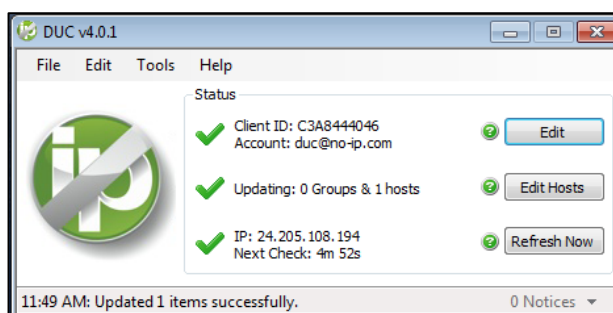
Seguidamente se debe descargar e instalar el software que realizará la acción de asignar el nombre de dominio a nuestra IP dinámica como se comentó anteriormente.



**Figura 4 - 6. Ventana de descarga del software de asignación de dominio para IP dinámica**

Fuente: No-IP [28]

Luego de la instalación ponemos en marcha el software y se tendrá preparada la PC para la recepción de los datos.



**Figura 4 - 7. Software de asignación de dominio para IP dinámica**

Fuente: Los autores

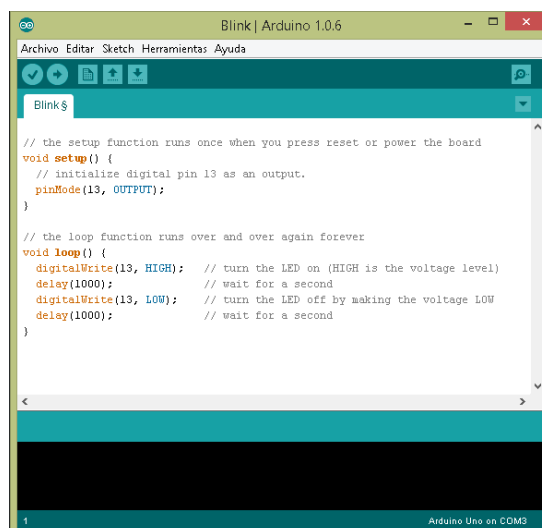
## 4.2. Programación del controlador

La programación del controlador se realiza con el entorno de programación Arduino IDE, el cual está basado en el lenguaje de programación Processing que es similar al lenguaje C.

La estructura básica de programación se divide en la ejecución de dos funciones: `setup()` y `loop()`.

La función `setup()` constituye la preparación del programa y se trata de la primera función que se ejecuta una única vez. Se utiliza para inicializar los modos de trabajo de los pines, o el puerto serie. Debe ser incluido en un programa aunque no haya declaración que ejecutar.

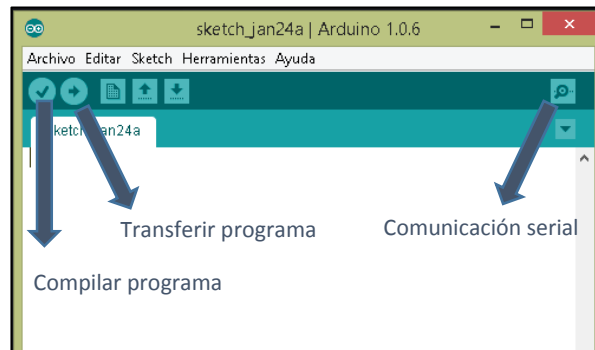
La función `loop()` incluye el código a ser ejecutado continuamente (leyendo las entradas de la placa, salidas, etc.). Después de llamar a `setup()`, la función `loop()` hace precisamente lo que sugiere su nombre, se ejecuta de forma cíclica, lo que posibilita que el programa este respondiendo continuamente ante cualquier evento programado.



**Figura 4 - 8. Entorno de programación Arduino, código de ejemplo**

Fuente: Los autores

Para trabajar con la compilación y transferencia del programa se tienen botones que ayudan a realizar estas tareas, también se cuenta con un botón de visualización y comunicación serial.



**Figura 4 - 9. Botones utilizados en el IDE de Arduino**

Fuente: Los autores

Luego de presentar la parte esencial sobre el manejo del entorno de programación, se detalla la programación del controlador.

Se controlarán 3 módulos electrónicos: módulo GSM, módulo GPS y el módulo de la cámara. Por tanto el controlador debe mantener una comunicación con cada módulo.

El controlador posee solo un puerto de comunicación serial hardware de nivel TTL, que es utilizado para visualizar el estado del controlador, siendo esa la causa por la cual se debe crear 3 puertos de comunicación serial vía software, que funcionarán a través de la librería "SoftwareSerial". Se crearán 3 instancias, que representarán a cada interfaz serial y a cada cual se le asignarán un par de pines de nuestro controlador para la transmisión y recepción de los datos y comandos.

**Función setup().** La función setup() contiene la configuración e inicialización de los módulos GPS y GSM, así como el puerto serial hardware y los pines de entrada y salida.

El puerto serial hardware, en cual tiene la finalidad de mostrar el estado del controlador y los módulos, tiene una velocidad de comunicación de 9600bps.

Para cada interacción del controlador con los módulos también se crearan variables y funciones. Además, como la comunicación serial vía software solo permite la ejecución de un instancia a la vez, se tendrán funciones de apertura y cierre de la comunicación serial por cada módulo.

La configuración del módulo GPS está contenida en la función `setupGps()`, donde a través de comandos AT, se indica que la trama GPS a utilizar es la GPGLL, siendo esta trama la más simple y fácil de manejar ya que proporciona los datos de latitud, longitud y el tiempo. También se configura el tiempo en que el modulo GPS envía la trama GPGLL a través de su puerto serial al controlador, para que este último lo procese y envíe al servidor de datos a través del módulo GSM. La velocidad de comunicación serial de este módulo es de 9600bps.

Para configurar el módulo GSM, primero se debe establecer el pin 9 como salida en el módulo que contiene el microcontrolador, el cual tendrá la tarea de iniciar y apagar vía comando AT el módulo GSM. La función `powerGsm()` hace uso del pin 9 e inicia el módulo, seguidamente la función `connGsm()` realiza la conexión GSM del módulo a la red del operador Claro, que es el operador que se utiliza en este proyecto y de la cual se adquirió una SIMCARD para la transmisión de datos. La velocidad de comunicación serial de este módulo es de 9600bps.

Se declara e inicializa el pin 12 como entrada y en pull-up, para que cumpla la tarea de informar al controlador si el sensor magnético se activó y por ende se realice la acción de captura de imagen. También se configura el pin 13 como salida, para tener un indicador led del estado de la captura de imagen.

**Función loop().** La función loop() contiene la función gps() que se encarga de recibir y enviar la trama de posición hacia el módulo GSM para su envío al servidor de datos. Para lo cual previamente en la función setupGps(), ubicada en setup(), se ha configurado el tiempo de reporte.

**La función statusBotton()** es la encargada de monitorear el estado del sensor magnético, y al activarse el sensor se encarga de realizar la acción de captura de imagen. Previamente se realiza la verificación del estado de conexión a la red GSM.

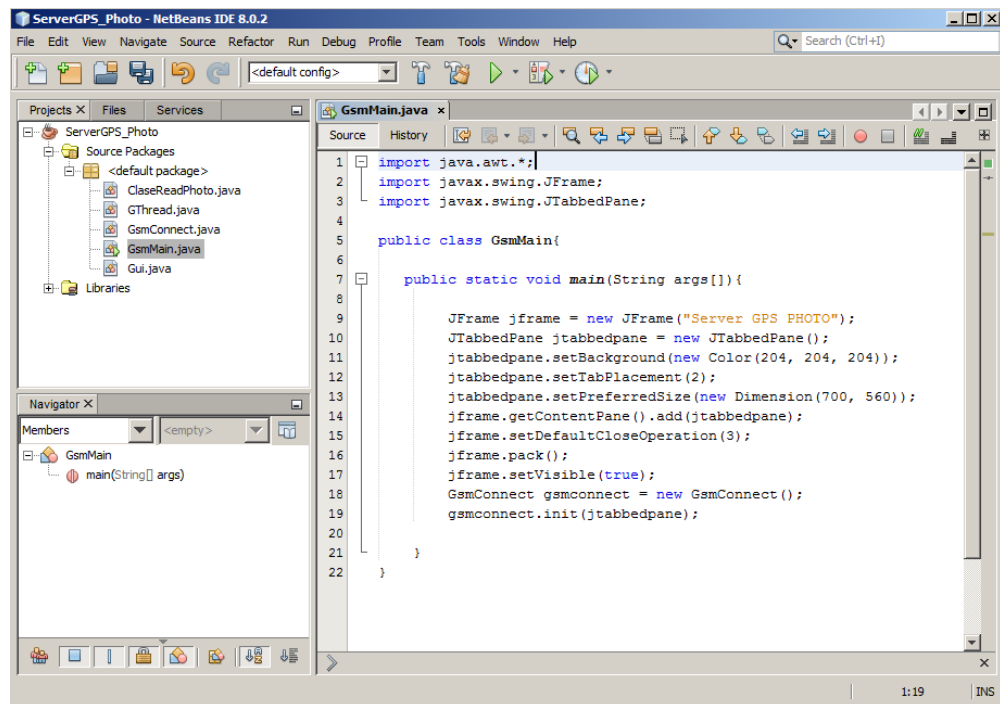
**La función gsmSerialAvailable()** brinda una opción alternativa de accionar la captura de imagen vía el servidor de datos. Para lo cual se envía un comando desde el servidor de datos hacia el dispositivo, siendo recibido por el módulo GSM e interpretado en el código.

Debido que la cantidad de tramas que generan una imagen es extensa, se colocó un índice a cada trama, para que el servidor de datos pudiera armar la imagen de manera ordenada.

### **4.3. Programación del servidor**

Para la programación del servidor de datos se hace uso del software NetBeans 8.0.2 en el cual se desarrolla en lenguaje Java. En este servidor se podrá recibir los datos transmitidos desde el módulo GSM y son generadas por el módulo de la cámara y el modulo GPS. También se realiza la acción de guardado de las imágenes generadas.

En la figura 4-10, se presenta el código de programación de las clases que constituyen el servidor descrito.



**Figura 4 - 10. Código de programación java**

Fuente: Los autores

a. Clase GsmMain.java

Es la clase principal en la cual se instancia el primer “frame”, que es una ventana que permite interactuar con el usuario. Así mismo se instancia el objeto “gsmconnect” de la clase “GsmConnect()”.

b. Clase GsmConnect.java

Es la clase encargada de generar el primer “frame”, donde se puede seleccionar el número IP y puerto de escucha del servidor de datos UDP. Dentro de esta clase se inicia un objeto de la clase “GThread”.

c. Clase GThread.java

En esta clase se crea el objeto “datagrampacket” de la clase “DatagramPacket” que se encarga de escuchar los datos que vienen del módulo GSM. Dentro de esta clase “GThread” también se instancian las clases “Gui.java” y “ClaseReadPhoto.java”.

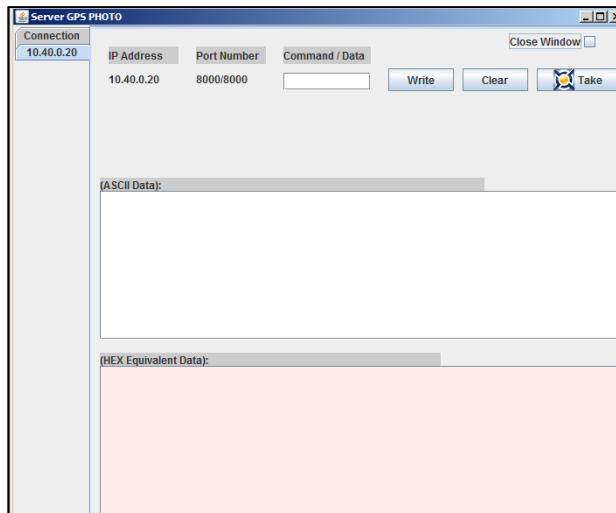
d. Clase ClaseReadPhoto.java

Es la clase encargada de ordenar las tramas que contienen la imagen dentro de un “array string” bidimensional, donde el tamaño del primer “array” es de 410 bytes que es la cantidad máxima de tramas que genera una imagen y el tamaño del segundo “array” que es de 32 bytes y es el tamaño de cada trama. Las imágenes creadas son guardadas en la carpeta ‘res’ y su nombre incluye la hora y la fecha de su creación.

e. Clase Gui.java

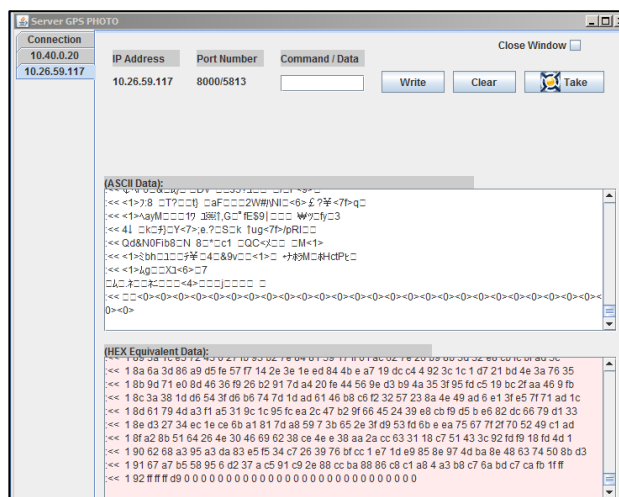
Es la clase donde se observa los datos entrantes, a través de un “frame”, es la interfaz gráfica donde también es posible solicitar la captura de una imagen mediante el botón “Take”. Al presionar dicho botón se envía un comando al controlador que es recibido por el módulo GSM, el controlador reconoce este comando y ejecuta la acción de captura de imagen enviándole los comandos hexadecimales al módulo de la cámara. Así mismo permite enviar otros comandos para realizar pruebas en el controlador.





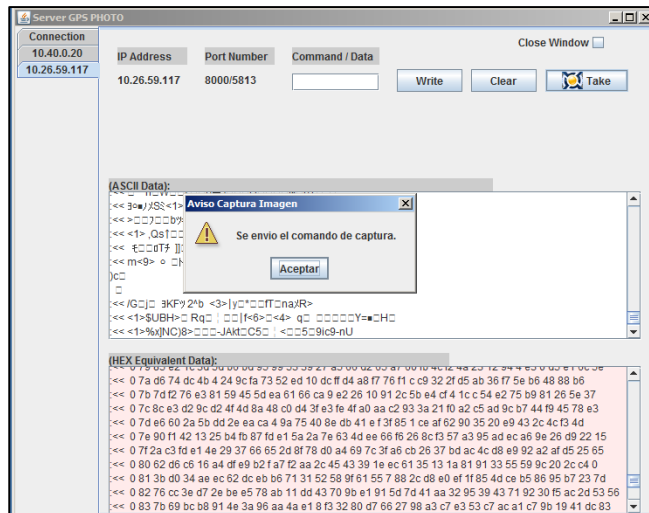
**Figura 4 - 11. Entorno gráfico de servidor java**

Fuente: Los autores



**Figura 4 - 12. Recepción de datos de imagen en el servidor**

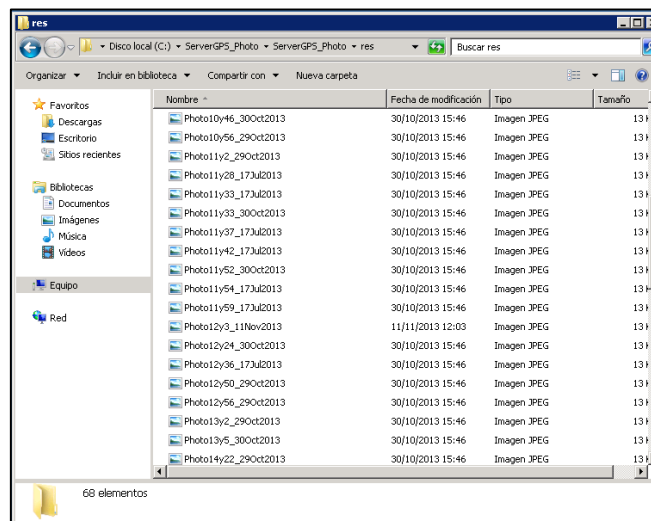
Fuente: Los autores



**Figura 4 - 13. Finalización de recepción de datos y creación de la imagen JPEG**

Fuente: Los autores

Los datos recibidos y convertidos a imagen JPEG, son guardados en la una ruta específica en el ordenador donde se encuentra ejecutando la aplicación del servidor java. En la figura 4-14 se presenta la lista de imágenes guardadas durante las pruebas realizadas.

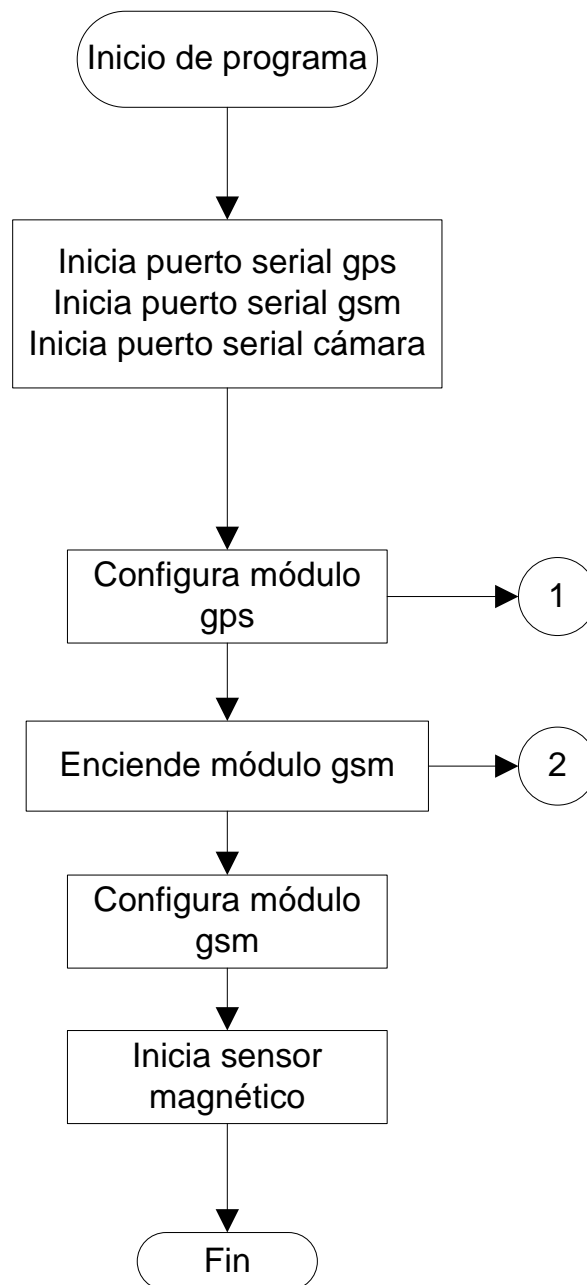


**Figura 4 - 14. Lista de imágenes JPEG almacenadas en el servidor**

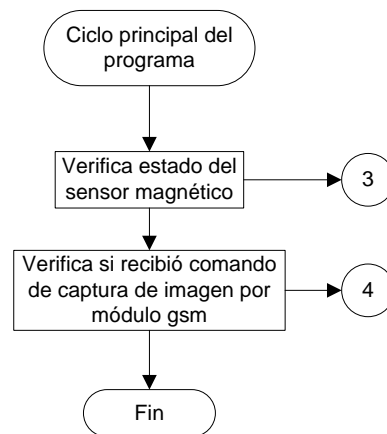
Fuente: Los autores

## 4.4. Diagrama de flujo del sistema

### 4.4.1. Configuración inicial

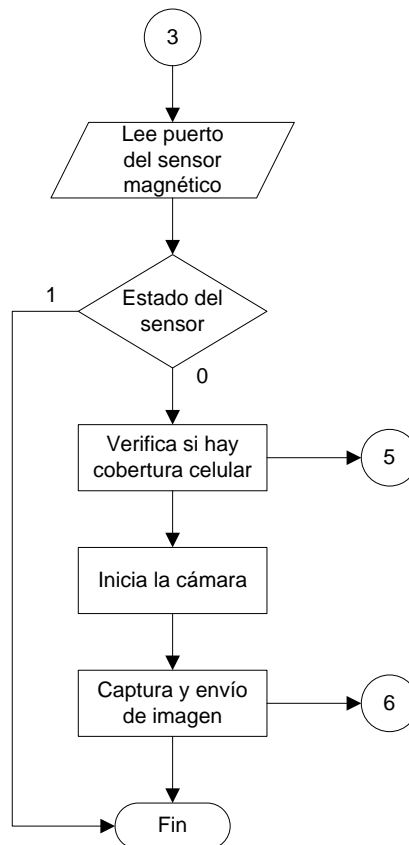


#### 4.4.2. Bucle principal del programa

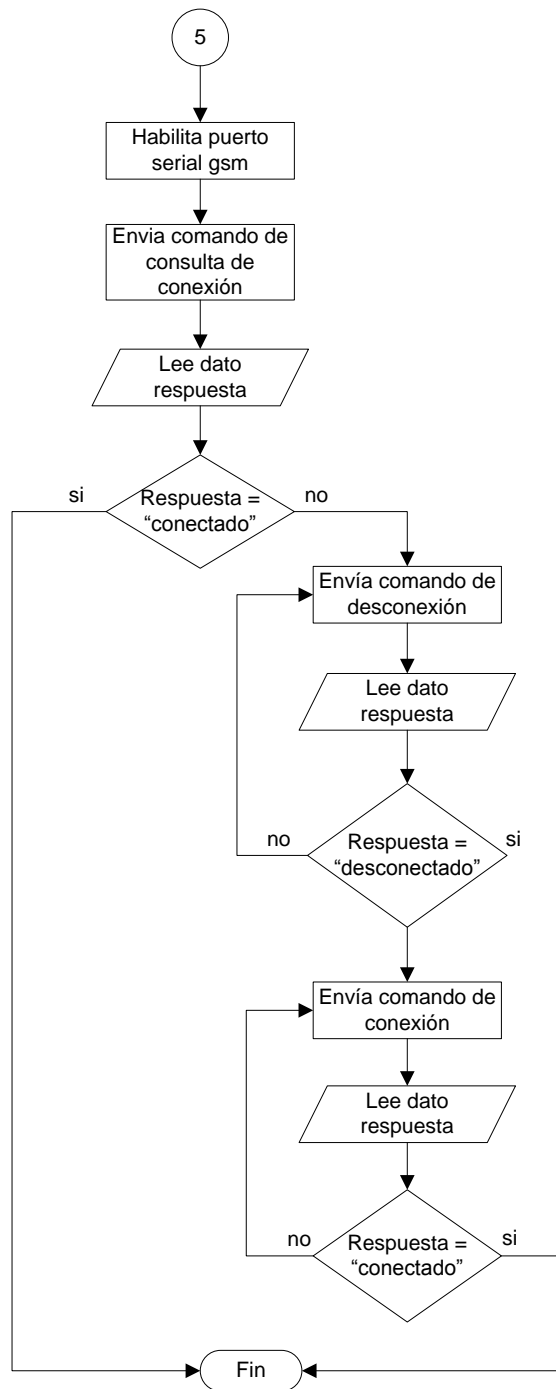


#### 4.4.3. Subprocesos dentro del bucle principal

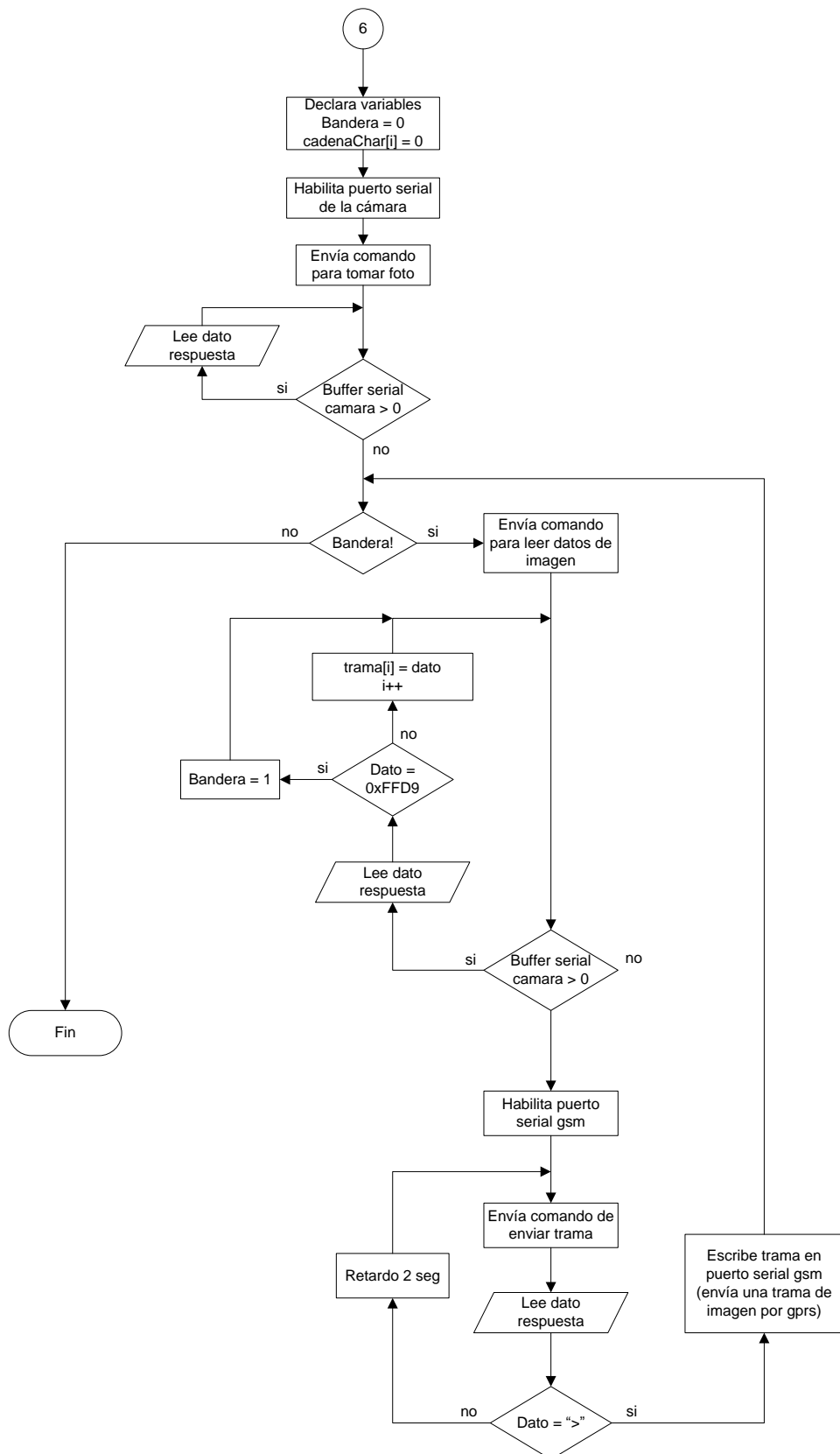
##### 4.4.3.1. Estado del sensor magnético



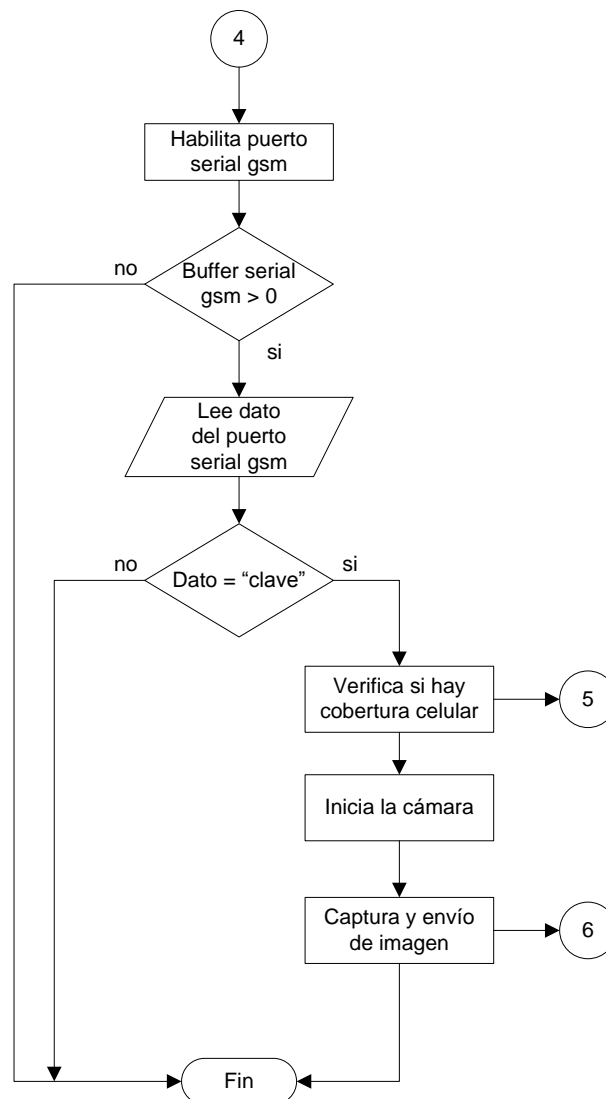
i. Verifica si hay cobertura celular



## ii. Captura y envío de imagen



#### 4.4.3.2. Recepción de comando vía GPRS



## **CAPITULO V**

### **5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

En el presente capítulo se describe todas las pruebas realizadas al dispositivo, detallando el funcionamiento de cada módulo que lo compone, así como también el funcionamiento en conjunto. Las pruebas se realizaron tanto el laboratorio como en el campo con un vehículo en marcha.

#### **5.1. Pruebas por módulos en laboratorio**

Antes de realizar la conexión entre todos los módulos que componen el dispositivo, se probaron independientemente cada uno de ellos para analizar su funcionamiento, programación y velocidad de comunicación serial.



5.1.1. Módulo GPS

Este módulo se comunica a una velocidad de 9600 bps y reporta cuatro de los ocho formatos del protocolo NMEA por defecto, en intervalos de un segundo tal como se presenta en la figura 5-1.

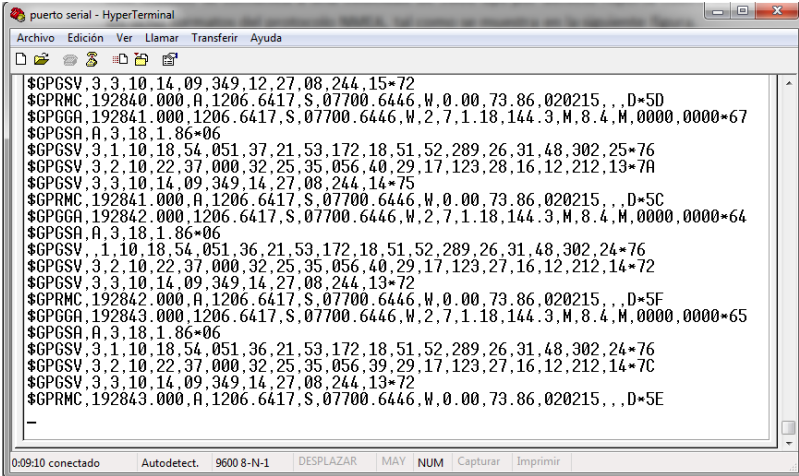


Figura 5 - 1. Tramas de datos del módulo GPS

Fuente: Los autores

En la tabla 5-1 se presentan los formatos soportados por el módulo GPS utilizado (SKM53), así como aquellos que están programados por defecto para reportar.

<b>FORMATO NMEA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>REPORTE POR DEFECTO</b>
GGA	Dato GPS estable	Si
GLL	Posición geográfica – latitud, longitud	No
GSA	Precisión GPS y satélites activos	Si
GSV	Satélites en vista	Si
RMC	Datos GNSS mínimos recomendados	Si
VTG	Curso sobre tierra y velocidad terrestre	No
ZDA	Fecha y tiempo	No
DTM	Datos de referencia	No

**Tabla 5 - 1. Formatos soportados por el módulo GPS**

Fuente: Los autores

Para este proyecto se utilizó el formato GLL del protocolo NMEA ya que solo se necesita el dato de posición (latitud y longitud). Para ello se utilizaron los siguientes comandos:

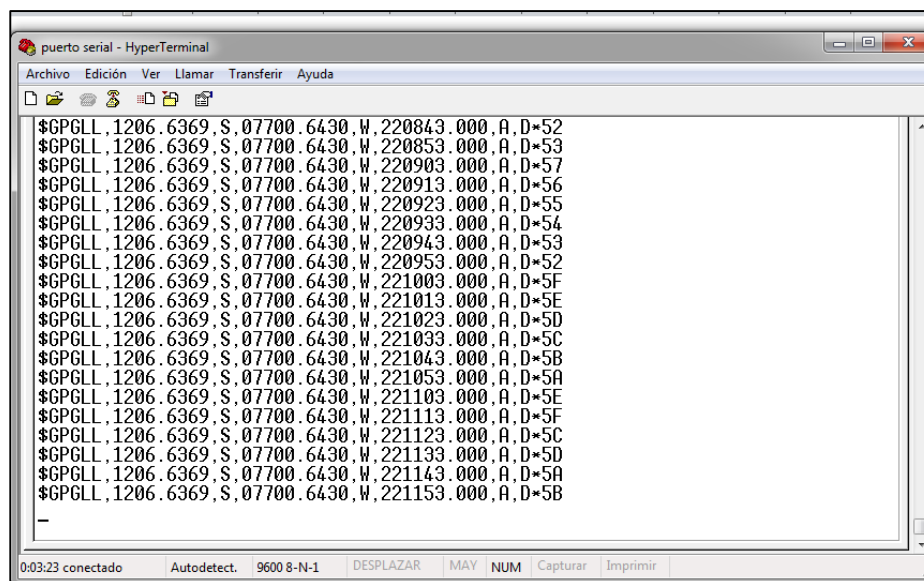
- \$PMTK314,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0\*29

Este comando permite seleccionar el formato GLL para reportar solamente dicho formato en cada intervalo de tiempo.

- \$PMTK300,10000,0,0,0,0\*2C

Este comando permite establecer el intervalo de tiempo de cada reporte. En el presente proyecto fue de cada 10 segundos.

Luego de programar el módulo con los comandos descritos, los reportes sólo generan la trama con el encabezado GLL. En la figura 5-2 se presenta el reporte luego de la programación del módulo GPS.



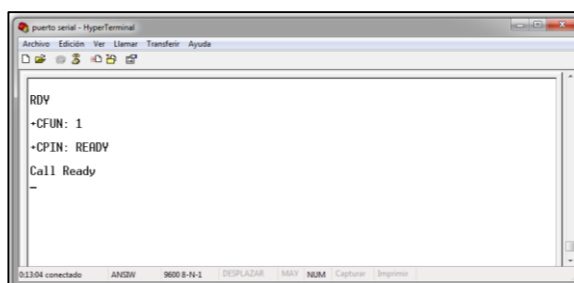
**Figura 5 - 2. Reportes de la trama GLL del módulo GPS después de ser programado**

Fuente: Los autores

Con estas pruebas, se realizó la correcta programación del módulo y el funcionamiento requerido para su integración con los demás módulos.

### 5.1.2. Módulo GSM

Este módulo se comunica a una velocidad de 9600 bps, y al iniciarse aparecen los siguientes mensajes tal como se presentan en la figura 5-3.



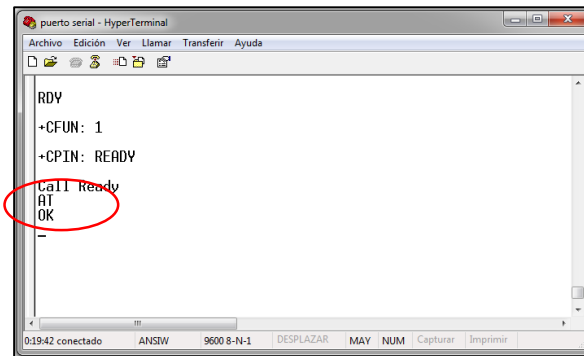
**Figura 5 - 3. Mensajes de inicio del módulo GSM**

Fuente: Los autores

Para comprobar que el módulo responde correctamente se debe escribir es siguiente comando:

- AT

Este comando permite realizar una petición de atención al módulo GSM. El módulo responderá con "OK" si está funcionando correctamente.



**Figura 5 - 4. Prueba de comandos del módulo GSM**

Fuente: Los autores

Así mismo para programar el módulo GSM, se deben ingresar los siguientes comandos:

- AT+CSTT="CLARO.PE"

Comando para establecer el APN (Access Point Name) en el módulo GSM, de acuerdo al operador de la SIM utilizada.

- AT+CIICR

Comando para establecer la comunicación inalámbrica GPRS

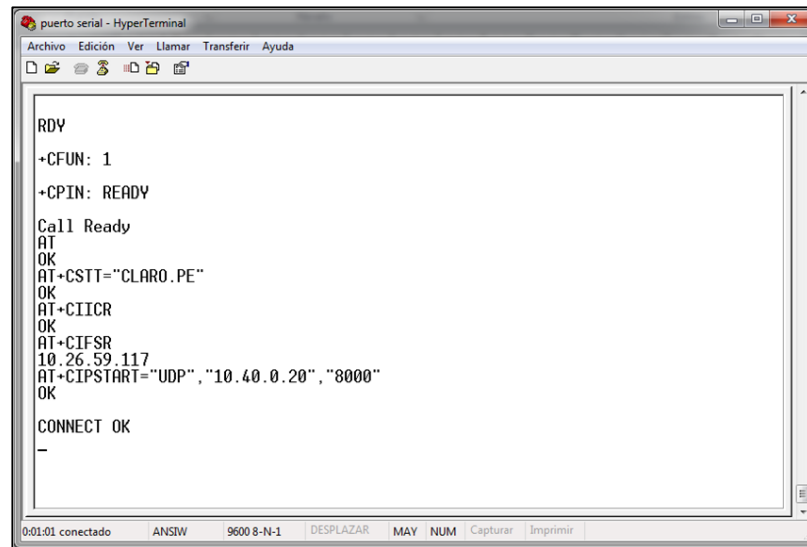
- AT+CIFSR

Comando para obtener el número IP de la SIM.

- AT+CIPSTART="UDP","10.40.0.20","8000"

Comando para iniciar la conexión TCP o UDP, con lo parámetros del servidor y número de puerto.

En la figura 5-5 se presentan las respuestas del módulo GSM a los comandos ingresados durante su programación.



```
RDY
+CFUN: 1
+CPIN: READY
Call Ready
AT
OK
AT+CSTT="CLARO.PE"
OK
AT+CIICR
OK
AT+CIFSR
10.26.59.117
AT+CIPSTART="UDP","10.40.0.20","8000"
OK
CONNECT OK
-
```

**Figura 5 - 5. Programación del módulo GSM**

Fuente: Los autores

Con estas pruebas se demostró el correcto funcionamiento del módulo GSM y los comandos básicos necesarios para la comunicación y transmisión de datos por GPRS.

### 5.1.3. Cámara TTL

La cámara de transmisión serial se comunica a una velocidad de 84000 bps por defecto y para su funcionamiento se deben ingresar unos comandos secuencialmente en código hexadecimal los cuales se describen a continuación.

- 56 00 26 00

Este comando permite reiniciar la cámara, es decir todo el módulo que compone la cámara, antes de iniciar la captura de una imagen.

- 56 00 36 01 00

Este comando permite capturar la imagen en sí, y los datos quedan almacenados en el buffer de la cámara esperando ser leídos.

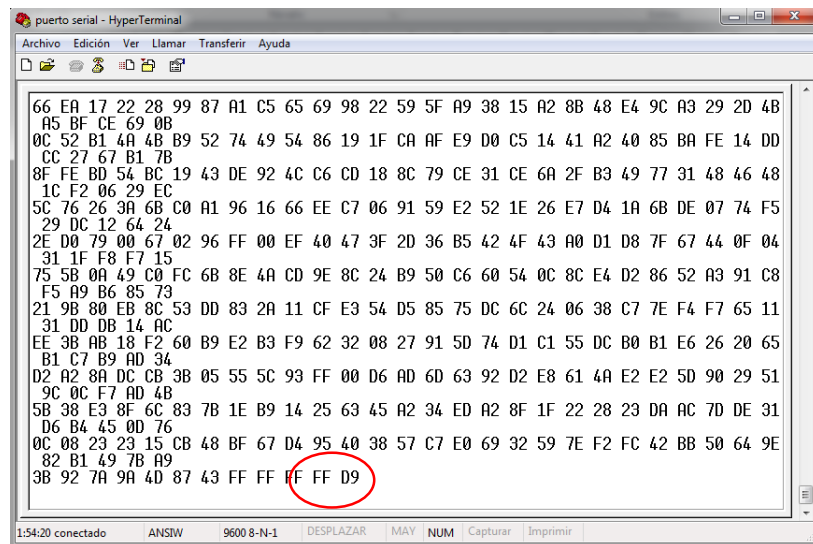
- 56 00 32 0C 00 0A 00 00 MH ML 00 00 00 20 00 XX

Este comando permite leer los datos de la imagen capturada por tramas de acuerdo a los parámetros MH, ML y XX donde:

- MH y ML corresponden a la dirección de memoria del buffer a leer, siendo MH el más significativo y ML el menos significativo.
- XX es el dato de incremento de la dirección de memoria.

Este comando debe ejecutarse continuamente hasta que el último dato recibido sea FF D9 que corresponde al dato final en una imagen en formato JPEG.

En la figura 5-6 se presenta el resultado de esta operación, con los datos recibidos de la cámara y teniendo como último dato el código hexadecimal FF D9.



**Figura 5 - 6. Datos hexadecimales recibidos de la cámara serial**

Fuente: Los autores

Toda la data recibida en código hexadecimal, tal como se presenta en la figura 5-6, corresponde al de una imagen en formato JPEG. Al concatenar toda la data recibida y guardarla en un archivo con extensión “.jpeg” se obtendrá la imagen correspondiente, y se presenta en la figura 5-7.



**Figura 5 - 7. Resultado de la captura de imagen**

Fuente: Los autores

De esta manera se prueba el correcto funcionamiento de la cámara de transmisión serial y la secuencia de comandos que deben ejecutarse para obtener una foto.

Todas las pruebas realizadas individualmente a cada módulo fueron realizadas en un laboratorio en condiciones ideales, y resultaron exitosas en cuanto a la programación, comunicación serial entre cada módulo y transmisión de datos.

## 5.2. Prueba del dispositivo en el campo

En esta etapa de las pruebas, se integraron todos los módulos con la plataforma electrónica de desarrollo, y se programó el microcontrolador de la plataforma para que realice el control de cada módulo de acuerdo a los diagramas de flujo del capítulo anterior.

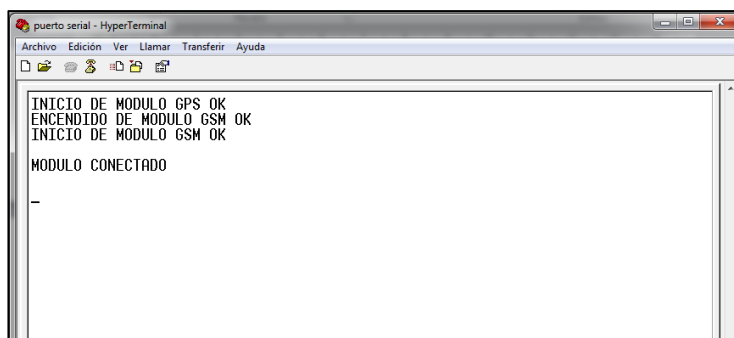


**Figura 5 - 8. Proyecto integrado para captura y envío de imágenes**

Fuente: Los autores

El dispositivo, que es la integración de todos los módulos con la plataforma electrónica de desarrollo, se alimenta con un rango de voltaje de 5 a 20 voltios DC, y está programado para iniciar cada módulo que lo compone secuencialmente mostrando mensajes a través de su puerto serial, conectado a una computadora, hasta que se engancha a la red GSM y permanece en espera de transmitir datos de la captura de una imagen.





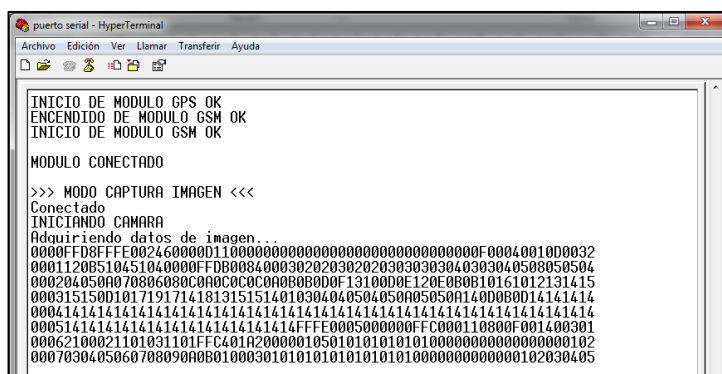
**Figura 5 - 9. Inicio del dispositivo integrado**

Fuente: Los autores

Una vez realizada esta prueba de funcionamiento del dispositivo, se procedió a instalar en un vehículo y a realizar la captura de imágenes en dos casos: prueba sin movimiento y con movimiento.

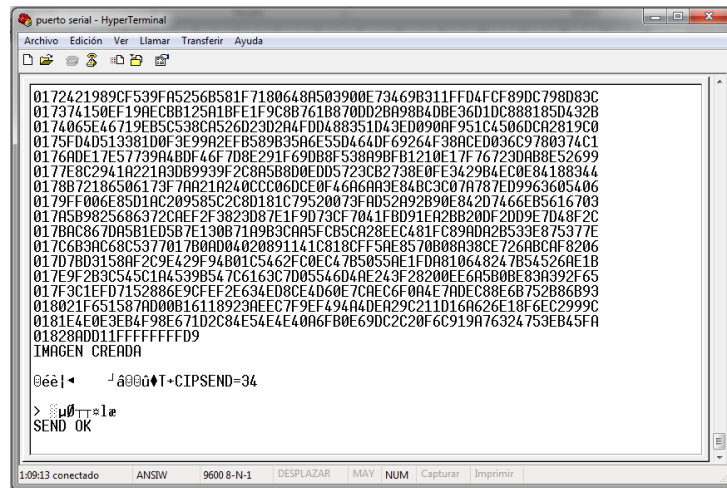
### 5.2.1. Prueba sin movimiento (vehículo detenido)

Esta prueba consistió en realizar captura de imágenes en el interior de un vehículo estando detenido, para lo cual la transmisión de datos siempre estuvo monitoreada por una laptop donde se verificaba la recepción de datos de manera serial y el envío por GPRS.



**Figura 5 - 10. Datos hexadecimales enviados desde el dispositivo integrado**

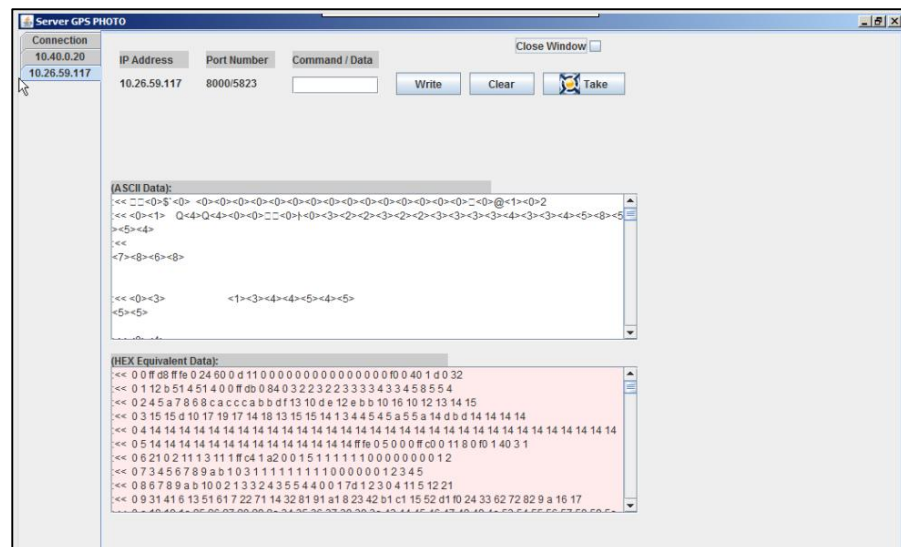
Fuente: Los autores



**Figura 5 - 11. Envío exitoso de datos de imagen del dispositivo integrado**

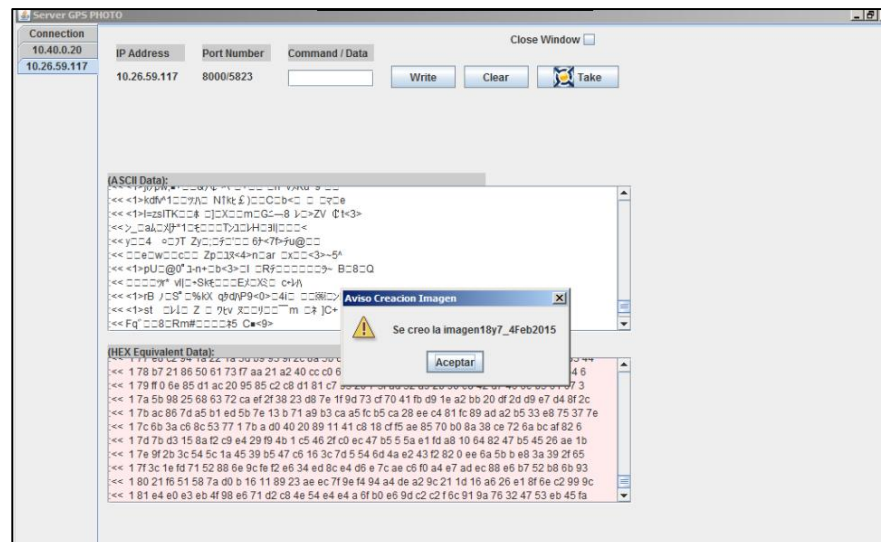
Fuente: Los autores

Así mismo se verificaron los datos recibidos en el servidor.



**Figura 5 - 12. Datos de imagen recibidos en el servidor java**

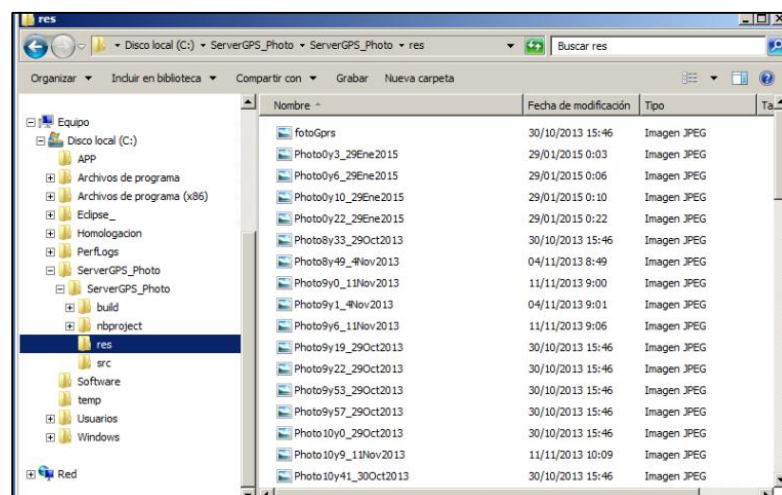
Fuente: Los autores



**Figura 5 - 13. Creación de la imagen JPEG en el servidor java**

Fuente: Los autores

Al finalizar la recepción de datos en el servidor se muestra un mensaje informativo que indica que la imagen ha sido creada. Todas las imágenes creadas se guardan en una carpeta donde el servidor se encuentra instalado.



**Figura 5 - 14. Lista de imágenes almacenadas en el servidor java**

Fuente: Los autores



La programación del servidor, concatena todos los datos recibidos en código hexadecimal y la almacena en un archivo con extensión “.jpeg” la cual es interpretada automáticamente como una imagen.



**Figura 5 - 17. Imagen JPEG como resultados de las pruebas en movimiento**

Fuente: Los autores

De esta manera se realizaron todas las pruebas necesarias del dispositivo, desde las pruebas por módulos para asegurar que todas las partes funcionen correctamente, hasta las pruebas del dispositivo integrado de manera estática y en movimiento, obteniendo los resultados esperados. Es importante mencionar que, el funcionamiento del dispositivo y la transmisión de datos de la imagen al servidor, depende de la cobertura celular del lugar donde se encuentre, ya que si el dispositivo se encuentra en una zona donde no hay cobertura celular permanecerá en un estado de desconexión intentando conectarse continuamente a la red, en ese momento el dispositivo no podrá enviar ni recibir datos.

## **CAPITULO VI**

### **6. CONDICIONES DE OPERACIÓN, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Para obtener la mejor operación del sistema presentamos las pautas a tener en cuenta.

#### **6.1. Modo correcto de operación**

Partiendo de la temperatura de operación de cada módulo electrónico utilizado en este proyecto, en la tabla 6-1 se presenta la comparación de temperaturas.

Modulo	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima
Arduino Uno	-40°C	85°C
GSM	-30°C	80°C
GPS	-40°C	85°C
Cámara	-20°C	60°C

**Tabla 6 - 1. Comparación de temperaturas de los módulos del dispositivo**

Fuente: Los autores

De la tabla 6-1 se concluye que la temperatura de operación mínima a considerar es de -20°C y la temperatura de operación máxima es de 60°C, y además se debe tener en cuenta que el módulo de la cámara es el componente electrónico más sensible al calor.

Tomando ahora los datos de voltaje en la tabla 6-2 se presentan los voltajes de operación de los módulos que componen el dispositivo.

Modulo	Voltaje de Operación	Voltaje Máximo
Arduino Uno	12V	20V
GSM	4.5V	4.5V
GPS	5V	5V
Cámara	5V	5V

**Tabla 6 - 2. Voltajes de operación de los módulos que componen el dispositivo integrado**

Fuente: Los autores

El módulo electrónico de desarrollo será el encargado de alimentar a los demás módulos, motivo por el cual se debe tener en cuenta que el voltaje de alimentación será de 12V, y el voltaje máximo de 20V. Siendo la alimentación una batería de auto, está dentro del rango del voltaje de operación y no se necesita ningún circuito reductor de voltaje.

Un detalle adicional a considerar es que el polvo y el agua pueden llegar a dañar los módulos electrónicos provocando cortocircuito, por tal motivo toda la implementación electrónica debe ir dentro de una caja de plástico.

Resumiendo, para proporcionar un modo correcto de operación, la temperatura donde se localizará el dispositivo no debe sobrepasar el rango de -20°C a 60°C. El voltaje de alimentación no debe sobrepasar los 20V. Y se debe colocar todo el conjunto electrónico dentro de una caja de plástico.

## **6.2. Instalación del dispositivo**

Para realizar una correcta instalación del dispositivo, se necesitan las siguientes herramientas:

- Cúter.
- Cinta aislante.
- Amarras plásticas.
- Multímetro.
- Alicata de punta.

También es necesario lo siguiente:

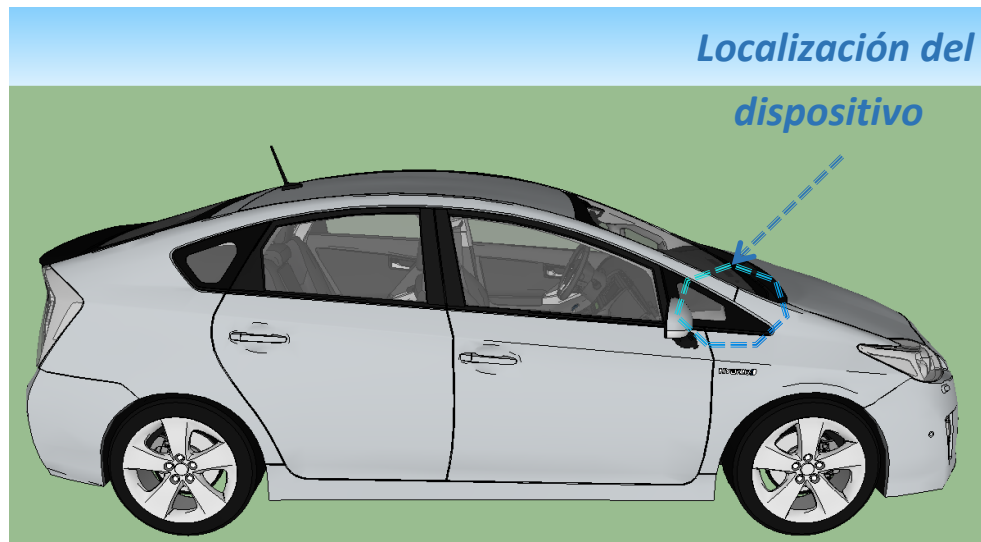
- Dispositivo (Caja de plástico + Controlador + módulo GSM + modulo GPS + módulo de cámara + sensor magnético).
- Porta fusible y fusible de 2.5A.
- Conectores tipo ojal.
- Cable calibre 18 (rojo y negro).

De acuerdo con el modo de operación y la línea de vista clara al cielo que necesita la antena GPS, un buen punto de instalación del dispositivo es en el panel del vehículo. Se colocará cerca a la guantera.



Además se debe mencionar que las antenas GSM y GPS irán dentro de la caja plástica que albergara el dispositivo.

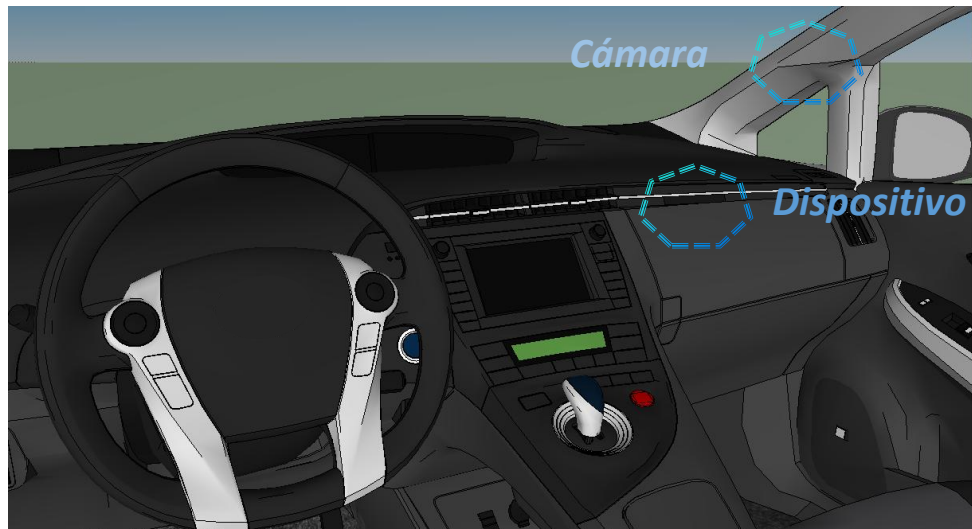
Esta ubicación le dará buena recepción de señal a las 2 antenas debido a que el material del panel de un vehículo es de plástico en la mayoría de los casos.



**Figura 6 - 1. Ubicación del dispositivo integrado dentro de un vehículo**

Fuente: Los autores

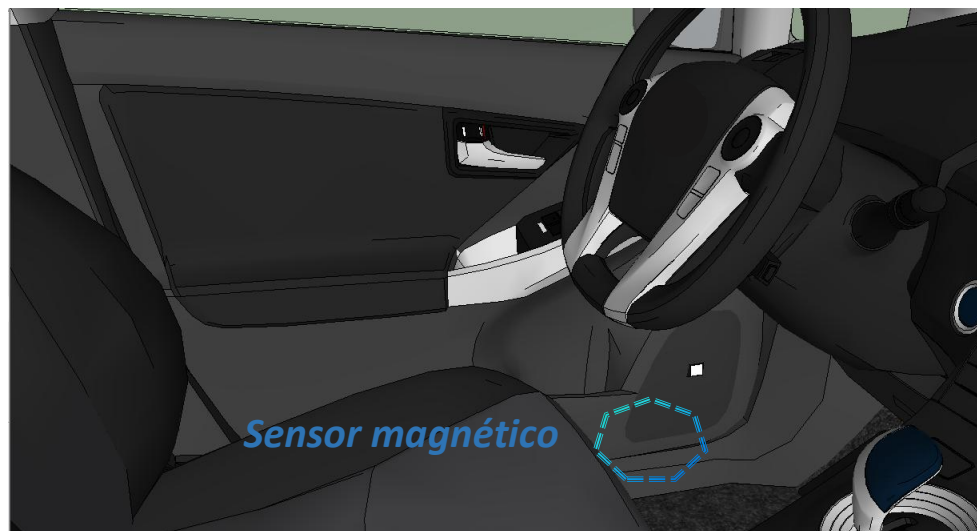
Para fijar la cámara en una toma hacia la puerta del conductor es necesario extender el cable de poder y de datos de la cámara. La cámara debe ir lo más cercano al panel, siendo el vértice derecho un lugar ideal.



**Figura 6 - 2. Ubicación de la cámara TTL RS232 dentro de la cabina de un vehículo**

Fuente: Los autores

El sensor magnético debe ir en la parte inferior de la puerta del conductor, la parte magnética en la puerta y la parte de la bobina dentro del marco interior inferior de la puerta del conductor.



**Figura 6 - 3. Ubicación del sensor magnético dentro de un vehículo**

Fuente: Los autores

En la tabla 6-3 se presenta los consumos de corriente de los módulos que componen el dispositivo integrado.

Modulo	Corriente de operación máxima
Arduino Uno	40mA
GSM	2000mA
GPS	30mA
Cámara	120mA

**Tabla 6 - 3. Consumo de corriente de los módulos del dispositivo integrado**

Fuente: Los autores

De acuerdo a la tabla 6-3 se debe colocar un fusible de 2.5A para proteger los circuitos en caso de cortocircuito o exceso de carga.

Para realizar la conexión de la alimentación se debe tomar el borde positivo de la batería y conectar al cable de poder del dispositivo, con ayuda de un conector tipo ojal. El cable de poder debe tener un calibre de 18AWG que puede resistir hasta 10A. El polo negativo se puede tomar desde la masa del vehículo que se encuentra en todo el chasis. Preferiblemente se debe utilizar un multímetro para comprobar la continuidad.

Para sujetar la caja que contiene los circuitos se debe utilizar amarras plásticas, también se debe proteger la cámara con algún recubrimiento plástico.

### **6.3. Normas de seguridad en la instalación**

Durante la instalación del circuito se debe tener en cuenta las siguientes normas de seguridad:

- Llevar obligatoriamente gafas de seguridad.
- Tener cerca un extintor de dióxido de carbono en perfecto estado.
- No trabajar con las manos húmedas.
- Limpiar adecuadamente la zona de trabajo.
- Toda herramienta de metal deberá tener mango aislante.
- No fumar, comer o beber.

### **6.4. Mantenimiento**

Para realizar el mantenimiento previamente se debe cumplir con las normas de seguridad de la instalación.

Antes de desinstalar la caja que contiene el circuito se debe quitar la alimentación, esto se logra quitando el fusible de protección.

El mantenimiento se da comenzando con la limpieza de la circuitería. Luego se debe probar cada módulo por separado y luego en conjunto, de encontrar alguna anomalía se debe cambiar la parte dañada.

## Bibliografía

- [1] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC., «Transporte Carretero,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/t-carretero.html>. [Último acceso: 2015].
- [2] Policía Nacional del Perú, «Anuario Estadístico PNP 2012,» Lima, 2012.
- [3] C. A. Shimabuko Shimabukuro, «Implementación de un sistema de ubicación y discernimiento entre tecnología celular GSM y satelital para el seguimiento de unidades móviles,» Tesis, Dpto. Ing. Telecom., Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2010.
- [4] K. F. La Rosa Victoria, «Diseño de Sistema Integral de Seguridad Vehicular: Seguridad Pasiva, Seguridad Activa y Socorro inmediato para conductores y pasajeros de vehículos automotores,» Tesis, Dpto. Telecom., Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2012.
- [5] J. Godoy, Milanés Vicente, J. Pérez, J. Villagra y Gonzáles Carlos, «Implementación de un sistema de localización para vehículos sin conductor,» Paper, Dpto. Robótica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2009.
- [6] E. Herrera Rafael, «Diseño Sistémico de una Interfaz de Localización Automática de Vehículos: Caso de Estudio en una Empresa de Comunicaciones,» Tesis Maestría, Dpto. Ing. Mec. Elec., Instituto Politécnico Nacional de Mexico, Mexico DF, 2013.
- [7] E. Delgado Landázuri y I. Hernández Cevallos, «Diseño e implementación de un Sistema de Localización Vehicular y Gestión de Seguridad mediante la monitorización del Sistema de Control de Alarmas utilizando el Módulo NXN GV-331,» Tesis, Dpto. Elec. Telecom., Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, EC., 2012.
- [8] V. Moreno Cano, «Desarrollo de una aplicación de localización automática de vehículos (AVL) basada en el sistema de información geográfica ArcView,» Tesis, Dpto. Ing. Telecom., Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2006.
- [9] D. Aguilar Espinoza, C. Blum de la Paz, F. Mayorga Castro y H. Córdova, «Diseño e implementación de un sistema AVL utilizando una red privada de radio en el casco urbano de la ciudad de Guayaquil,» Tesis, Dpto. Telecom.,

Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2009.

- [10] S. Barbeau, N. Georggi y P. Winters, «Integration of GPS-enabled Mobile Phones and AVL – Personalized Real-time Transit Navigation Information on Your Phone,» Paper, Dp. Transportation, Universidad de Florida del Sur, Tampa, 2009.
- [11] U.S. Department of Defense, «U.S. Department of Defense,» Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.defense.gov/about/#history>.
- [12] E. Huerta, A. Mangiaterra y G. Noguera, GPS Posicionamiento Satelital, 1 ed., Rosario: Editorial de la Universidad Nacional de Rosario, 2005.
- [13] Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA., «NASA, Personas y Tecnología,» Abril 2015. [En línea]. Available: <http://spaceplace.nasa.gov/gps/sp/>.
- [14] U.S. Air Force; National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, «GPS.gov, Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics,» Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>.
- [15] E. G. Ramirez, «Estudio de la Localización Virtual por Satélite,» Nuevo León, México, 2011.
- [16] J. L. López Vásquez, «El Radioenlace en la Red de Acceso GSM,» Tesis, Dpto. Telecom., Universidad de Sevilla, Sevilla, 2012.
- [17] F. Prieto Donate, «Transmisión de imágenes de video mediante Servicios Web XML sobre J2ME,» Tesis, Dpto. Ing. Sis. Autom., Universidad de Sevilla, Sevilla, 2007.
- [18] J. A. Díaz Pocasangre, F. A. Escobar Manzano y F. A. Caramutti Ríos, «Estudio y Planeación para la migración de una red de telefonía móvil de segunda generación, a una red de tercera generación en El Salvador,» Tesis, Dpto. Ing. Telecom., Universidad Francisco Gavidia, San Salvador, 2009.
- [19] Á. Ruano Fernández, «Despliegue de un sistema de telefonía móvil GSM/GPRS en Tarragona,» Tesis, Dpto. Ing. Elect., Universidad Rovira Virgili, Tarragona, ESP., 2007.
- [20] Union Internacional de Telecomunicaciones, «Codificación de imágenes fijas basadas en la Recomendación UIT-T T.81 (JPEG-1) mediante un codificador aritmético alternativo,» Recomendación UIT-T T.851, Ginebra, 2009.

- [21] Fundación Raspberry Pi, «Raspberry Pi,» Abril 2015. [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>.
- [22] Comunidad Arduino, «Arduino,» Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.arduino.cc/>.
- [23] BOTSCIENCE, «BOUTSCIENCE Soluciones en Open Hardware,» Abril 2013. [En línea]. Available: <http://botscience.net>.
- [24] QUECTEL, 2015. [En línea]. Available: <http://www.quectel.com/es>.
- [25] S. Electronics, 2015. [En línea]. Available: <http://www.sparkfun.com>.
- [26] Electrónica Estudio, «Ingeniería Electrónica y Proyectos PICmicro,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.electronicaestudio.com/sensores.htm>.
- [27] T.-L. Technologies, 2014. [En línea]. Available: <http://www.tp-link.es>.
- [28] No-IP, 2015. [En línea]. Available: <http://www.noip.com>.