

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**Diseño de un prototipo de sistema de monitoreo de la
ubicación geográfica y temperatura a través de la red
celular GSM de un camión de carga refrigerada**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Alejandro Antunes
para optar al título de
Ingeniero Electricista.

Caracas, noviembre de 2020

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**Diseño de un prototipo de sistema de monitoreo de la
ubicación geográfica y temperatura a través de la red
celular GSM de un camión de carga refrigerada**

TUTOR ACADÉMICO: Profesor José Alonso

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Alejandro Antunes para optar
al título de Ingeniero Electricista.

Caracas, noviembre 2020

A todas la personas que me ayudaron a llegar a este punto en mi vida, en especial a los profesores de la UCV que me ayudaron a pesar de las dificultades para seguir venciendo las sombras.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos mis amigos, familiares y compañeros que me apoyaron en este último paso. A mi familia, mi madre, padre y hermanos por darme todo el apoyo diario ayudándome en todo lo que pudieran. A Meilin por darme todo el apoyo y energía necesaria para continuar en todo. A Adrian por responderme todas las preguntas por tontas que fueran. A la profesora Arocha por responderme todas la consultas que le hice en la universidad y en este proyecto. Al profe Alonso, Brandon, Marco, Natalia, Ricardo, Daniel y Victor que me ayudaron a comprender conceptos que no tenía internalizados. A Dualidad que hizo que la escuela de eléctrica no fuera tan imposible, a Ariana y Mora por ser los mejores compañeros de estudios.

Carlos, Arturo, Miguel, Victor, todos mis amigos de la HG que siempre estarán en todos los momentos, Grupito HG FTW.

Alejandro Antunes Jiménez

Diseño de un prototipo de sistema de monitoreo de la ubicación geográfica y temperatura a través de la red celular GSM de un camión de carga refrigerada

Tutor Académico: José Alonso. Tesis. Caracas, Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Mención Electrónica. Año 2020

Palabras Claves: GSM, GPS, GNSS, monitoreo, temperatura, tracking, tracking de vehículos, tracking de camiones.

Resumen.- La necesidad de tener un sistema de monitoreo de camiones fue el origen de este proyecto para conocer tanto la ubicación como la temperatura de la carga que transporta. Para lograrlo se realizó una investigación donde se describen los conceptos básicos de GNSS, de equipos de medición de temperatura compatibles con dispositivos electrónicos y técnicas de programación de microcontroladores. Todo esto para lograr el diseño del equipo final escogiendo entre varios módulos investigados, seleccionando la tarjeta de desarrollo A9G de Ai-thinker para conectarse a la red GNSS, el sensor de temperatura AM2301 y la tarjeta de desarrollo TTGO T-Call SIM8001 para la red GSM y como microcontrolador principal ya que consta de un ESP32. Desarrollando el software adecuado usando FreeRTOS se logró diseñar el prototipo. Se demostró mediante la verificación que el sensor de temperatura es suficientemente efectivo para realizar las mediciones, el módulo GNSS ser lo suficientemente exacto para dar la ubicación tanto en estático como en movimiento y el módulo GSM adecuado para el envío de los datos, además de poder organizar los datos, el flujo del programa y comunicar óptimamente los equipos mediante el ESP32 por puerto serial.

ÍNDICE GENERAL

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE GENERAL	VIII
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABLAS	XIV
LISTA DE ACRÓNIMOS	XVI
INTRODUCCIÓN	1
MARCO REFERENCIAL	3
1.1. Planteamiento del Problema	3
1.2. Justificación	4
1.3. Objetivos	4
1.4. Alcance y limitaciones	5
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Sistema global de navegación por satélite	6
2.1.1. Global Positioning System	7
2.1.2. GLONASS	8
2.1.3. BeiDou	9
2.1.4. Galileo	10
2.2. Sistema Global de Comunicaciones Móviles	10

2.2.1.	2G - GPRS	12
2.2.2.	3G	13
2.3.	Temperatura	14
2.3.1.	Medición de temperatura	15
2.3.2.	Termómetro de resistencia	15
2.3.3.	Termistores	16
2.3.4.	Sensores de temperatura de semiconductor	17
2.3.5.	Termopares	18
2.3.6.	Pirómetros de radiación	21
2.3.7.	Circuitos galvanométricos, potenciómetro y digital	22
2.3.8.	Sensores de temperatura capacitivos	24
2.4.	Técnicas de programación de microcontroladores	24
2.4.1.	Super-loop	25
2.4.2.	Foreground/background	25
2.4.3.	Cola de funciones	26
2.4.4.	RTOS	26
2.4.5.	FreeRTOS	27
2.5.	Comunicación entre dispositivos electrónicos	27
2.5.1.	Comunicación serial	28
2.5.2.	I2C	28
2.5.3.	SPI	29
2.5.4.	Comandos AT	30
2.5.5.	1-Wire	30
SELECCIÓN DE COMPONENTES		32
3.1.	Descripción breve del prototipo	32

3.2.	Medidores de temperatura	33
3.2.1.	Medidor de temperatura digital DS18S20	33
3.2.2.	Medidor de temperatura digital LM35	33
3.2.3.	Medidor de temperatura digital LMx35	34
3.2.4.	Medidor de temperatura digital SHT1x	34
3.2.5.	Medidor de temperatura digital AM2301	35
3.3.	Módulos GSM y GNSS	35
3.3.1.	Localizador GPS Pre-GO 9T	35
3.3.2.	Adafruit FONA	36
3.3.3.	KEYESTUDIO SIM5320E	36
3.3.4.	Módulo A9G	36
3.3.5.	Particle Boron	37
3.3.6.	Geekstory 4G GPS Module	37
3.3.7.	TTGO T-Call SIM800l	37
3.4.	Selección de componentes	38
3.4.1.	Selección del medidor de temperatura	38
3.4.2.	Selección del módulo GNSS	39
3.4.3.	Selección del módulo GSM	40
DESCRIPCIÓN DEL MODELO		42
4.1.	Descripción del sistema	42
4.2.	Descripción del software	44
4.2.1.	Obtención de datos GPS/BDS	45
4.2.2.	Medición de temperatura	48
4.2.3.	Envío de datos	49

PRUEBAS EXPERIMENTALES	53
5.1. Verificación del funcionamiento	53
5.2. Prueba 1	55
5.3. Prueba 2	58
5.4. Prueba 3	60
5.5. Prueba 4	62
5.6. Prueba 5	64
5.7. Prueba 6	67
5.8. Prueba 7	71
5.9. Prueba 8	75
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS	85

LISTA DE FIGURAS

2.1. Estructura de la red GSM.	11
2.2. Estructura de la red GPRS.	13
2.3. Estructura de la red 3G.	14
2.4. Efecto Peltier (a) y efecto Thomson (b).	19
2.5. Circuitos galvanométrico y potenciométrico.	23
2.6. Circuito digital de múltiples sensores.	24
3.1. Diagrama araña de comparación de medidores de temperatura. . .	39
3.2. Diagrama araña de comparación de módulos GNSS.	40
3.3. Diagrama araña de comparación de módulos GSM.	41
4.1. Diagrama de bloques del sistema.	44
5.1. Resultados de la posición en la prueba 1.	57
5.2. Datos registrados en thingspeak en la prueba 1.	58
5.3. Resultados de la posición en la prueba 2.	60
5.4. Resultados de la posición en la prueba 3.	62
5.5. Resultados de la posición en la prueba 4.	64
5.6. Resultados del tracking en la prueba 5.	66
5.7. Resultados de los datos subidos a thingspeak de la prueba 5. . . .	66
5.8. Resultados de la posición en la prueba 6 completo.	68
5.9. Resultados de la posición en la prueba 6, parte derecha.	69
5.10. Resultados de la posición en la prueba 6, parte izquierda.	70

5.11. Parte de los datos subidos a thingspeak de la prueba 6.	70
5.12. Mensajes de textos recibidos con los datos de temperatura y de localización geográfica.	71
5.13. Resultados de la posición en la prueba 7 completo.	73
5.14. Resultados de la posición en la prueba 7, parte izquierda.	74
5.15. Resultados de la posición en la prueba 7, parte derecha.	75
5.16. Resultados de la posición en la prueba 8 completo.	77
5.17. Resultados de la posición en la prueba 8, parte derecha.	78
5.18. Resultados de la posición en la prueba 8, parte izquierda.	79

LISTA DE TABLAS

5.1. Resultados prueba 1.	56
5.2. Resultados prueba 2.	59
5.3. Resultados prueba 3.	61
5.4. Resultados prueba 4.	63
5.5. Resultados prueba 5.	65
5.6. Resultados prueba 6.	68
5.7. Resultados prueba 7.	73
5.8. Resultados prueba 8.	76

LISTA DE CÓDIGOS

4.1. Código para la organización de datos GNSS.	46
4.2. Código para la organización de datos del sensor de temperatura .	49
4.3. Código para encender del SIM800l	50

LISTA DE ACRÓNIMOS

3GPP: 3rd Generation Partnership Project o Proyecto Asociación de Tercera Generación.

A/D: Analógico a Digital.

API: Application Programming Interface o Interfaz de Programación de Aplicaciones

AT: Attention Command o Comando AT.

BDS: BeiDou.

GLONASS: Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema o Sistema de Navegación Global por Satélite.

GNSS: Global Navigation Satellite System o Sistema Global de Navegación por Satélite.

IC: Circuito Integrado.

NMEA: National Marine Electronics Association o Asociación Nacional de Electrónica Marina.

NTC: Negative Temperature Coefficient o Coeficiente de Temperatura Negativo.

PRN: Pseudorandom code o Códigos de Ruido Pseudoaleatorio.

PTC: Positive Temperature Coefficient o Coeficiente de Temperatura Positivo

RTI: Rutinas de Tratamiento de Interrupción.

RTOS: Real Time Operative System o Sistema Operativo en Tiempo Real.

SI: Sistema Internacional.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos de las últimas décadas en los vehículos han permitido desarrollar distintos aspectos en ellos, como lo es la mejora de las capacidades de transporte de los mismos. Entre estas mejoras se encuentran: la cantidad de carga que pueden transportar, la manera en que se asegura la carga durante el trayecto o cual es el camino recorrido del vehículo con la carga desde el inicio hasta el punto de entrega. Varios desarrollos se realizaron con el propósito de contrarrestar los problemas que presentaba el cargamento durante los trayectos, otros se enfocaban en monitorear las actividades realizadas durante el recorrido, como el estado de la carga o ubicación del vehículo, aunque esto dependía principalmente de la ética del conductor al reportar esta información.

A su vez, los desarrollos tecnológicos llevaron a la carrera espacial, la cual produjo la creación de satélites que orbitan al planeta. A medida que se desarrollaron los satélites llegó un punto donde se planteó la solución para navegación a través de los mismos, llegando al sistema de posicionamiento global (GPS) que aunque inicialmente tuvo fines militares, se permitió acceso al público con el paso del tiempo volviendo el sistema global de navegación por satélites más usado [1].

Las telecomunicaciones fueron evolucionando llevando a la creación del sistema global para comunicaciones móviles (GSM), un estándar creado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) creado en 1991 que partiendo de redes celulares analógicas fue incluyendo distintas mejoras como el servicio general de paquetes vía radio (GPRS) o la tasa de datos mejoradas para la evolución del GSM (EDGE) que causaron que se volviera el estándar de comunicación a nivel global [2].

En los últimos años ha resultado interesante que con todos los avances los vehículos no presentaran la capacidad de monitorear remotamente ciertas características incluyendo su ubicación geográfica, estado de la carga (si es vehículo de transporte) o señales de alarma frente a ciertos eventos. Este trabajo presenta una alternativa ante los vehículos que no tienen una manera de indicar su posición geográfica, añadiendo además la capacidad de comunicación mediante la red GSM.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1. Planteamiento del Problema

Los vehículos de carga siempre han sido utilizados para transportar distintos elementos, entre estos elementos se encuentran los que necesitan estar refrigerados, por lo tanto, se conocen como vehículos de carga refrigerada. Estos vehículos si están en constante uso y no presentan un mantenimiento adecuado pudieran fallar; las fallas pueden ocurrir en la unidad de refrigeración que poseen dichos automóviles, y existe la posibilidad de que dañe la carga.

A su vez, debido a la situación en que se encuentra el país especialmente referente a la seguridad en las autopistas, carreteras y distintas vías públicas resulta importante poseer una manera de tener la localización geográfica del vehículo periódicamente. Por lo tanto, destacaría tener un sistema de alertas de ciertas actividades que no deberían ocurrir, como indicar si la puerta trasera del vehículo se ha abierto sin llegar al destino.

Por lo tanto, surge la necesidad de tener un sistema con la capacidad de realizar mediciones de temperatura, además de alertar remotamente que la temperatura medida no se encuentra entre unos límites aceptables, con la capacidad de transmitir o almacenar la ubicación geográfica periódicamente y también mandar alertas frente a ciertos eventos.

1.2. Justificación

Un sistema de monitoreo que pueda alertar sobre la temperatura que posee su carga refrigerada, con la capacidad de tener un registro que incluya estas mediciones junto a la ruta que recorrió resulta interesante debido a los inconvenientes actuales en el país con respecto al tema de la seguridad. Existe una variedad de hardware de bajo costo que se puede integrar para formar el sistema descrito, lo cual pudiera presentarse como una alternativa ante distintos servicios que solo ofrecen localización por costos elevados. Además, si el sistema cuenta con acceso a la red GSM podrá transmitir la información necesaria para monitorear el camión por esta vía, tanto por internet como por mensaje de texto.

Además, implementar el sistema junto a un equipo con acceso a la red GSM permite transmitir la información directamente a un dispositivo celular; aparte de que pueden tener acceso a internet para enviar la información.

1.3. Objetivos

Objetivo general

- Diseñar un prototipo de sistema de monitoreo para la ubicación geográfica y temperatura a través de la red celular GSM de un camión con carga refrigerada.

Objetivos específicos

- Documentar las formas más empleadas de medición de temperatura.
- Seleccionar el sensor de temperatura a utilizar.
- Documentar los módulos de ubicación geográfica GPS mas empleados.

- Seleccionar el módulo GPS para utilizar en el proyecto.
- Documentar los distintos módulos de comunicación GSM mas utilizados.
- Seleccionar el módulo GSM a utilizar en el proyecto.
- Diseñar el hardware del prototipo para la verificación.
- Desarrollar el software.
- Verificar el sistema con el prototipo diseñado.

1.4. Alcance y limitaciones

El presente trabajo contempla el diseño de un prototipo de sistema de monitoreo. Por lo tanto, no se contempla una aplicación práctica del sistema a nivel comercial, es decir, no se implemento física o mecánicamente en un vehículo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hablará sobre conceptos básicos como lo son la navegación por satélite, el sistema global de comunicaciones móviles, medición de temperatura, técnicas de programación de microcontroladores y la comunicación entre dispositivos electrónicos.

2.1. Sistema global de navegación por satélite

Los sistemas globales de navegación por satélite (en inglés Global Navigation Satellite System o por sus siglas GNSS) son sistemas que permiten obtener la posición de un receptor en cualquier parte del mundo. Para obtener esta información lo hacen mediante una constelación de satélites que analizan los tiempos de respuesta de la señal junto al campo visual de cada satélite para poder dar (normalmente) latitud, longitud y altura.

Existen varios GNSS creados por distintos países, entre ellos se encuentra el Global Positioning System (GPS o en español Sistema de Posicionamiento Global) que fue creado en Estados Unidos en 1960 y mejorado con el tiempo, el GLONASS (del ruso Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema o en español Sistema de Navegación Global por Satélite) iniciado en 1980 por el gobierno ruso, Galileo es el GNSS de la Unión Europea que debido a que sus inicios fueron en el año 2000 todavía no cubre todo el planeta aunque ya está casi completo y por último está Běidǒu Wèixīng Dǎoháng Xìtǎng o Sistema de Navegación por Satélite Beidou

es la opción que ofrece el gobierno Chino para posicionamiento global. También existen en desarrollo el NaviC (Navigation with Indian Constellation o en español Navegación en la Constelación India) por parte de la India y Quasi-Zenith por parte de Japón, pero ofrecen una cobertura limitada ya que no tienen todavía suficientes satélites en órbita para cubrir todo el planeta.

2.1.1. Global Positioning System

El sistema de posicionamiento global es un servicio que ofrece información sobre posicionamiento, navegación y cronometría desarrollado por el gobierno de Estados Unidos. Consta de tres segmentos: segmento espacial, segmento de control y segmento del usuario.

El segmento espacial está compuesto por constelaciones de satélites transmitiendo señales de radio a los usuarios, asegurando tener activos 24 satélites operacionales 95 % del tiempo [3]. Estos satélites se encuentran en una órbita media de La Tierra a aproximadamente 20200 km de altura.

El segmento de control consiste en una red de edificios que monitorean, analizan datos y envían comandos a los satélites en órbita. Estos edificios son una estación de control maestro y su estación alternativa, 11 antenas de comando y control y 16 estaciones de monitoreo.

El segmento del usuario consiste en los dispositivos que reciben las señales de los satélites y las procesa para obtener los datos necesarios. Este segmento ha ido incrementando su número de usuarios desde que fue abierto al público.

La constelación GPS puede transmitir en tres frecuencias diferentes de la banda L de radiofrecuencia estas son las bandas L1, L2 y L5. Las frecuencias para cada caso son las siguientes:

- L1: 1575.42 MHz: Esta portadora se utiliza para proporcionar el código de Adquisición Aproximada (C/A o en inglés Coarse Acquisition) y los códigos de cifrado de Precisión P (Y). También se utiliza para transmitir la señal L1C (L1 Civil) y los códigos militares (M).
- L2: 1227.60 MHz: Esta señal se utiliza para transportar el código P (Y), así como la señal L2C y códigos militares en los satélites del Bloque IIR-M y satélites posteriores.
- L5: 1176.45 MHz: Se está proponiendo esta señal GPS para uso civil como una señal de Salvaguardia de Vida (SoL).

La señal GPS se estructura en tres partes: una señal portadora, uno o más códigos de ruido pseudoaleatorio y el mensaje de navegación. La portadora es una onda senoidal de la banda L1, L2 o L5, los códigos PRN (Pseudorandom code en inglés) son los que permiten distinguir a cada satélite entre ellos mediante la técnica de código de acceso de división múltiple. El mensaje de navegación transmite la fecha, hora, estado del satélite e información sobre el estado y posición de satélites cercanos [4].

2.1.2. GLONASS

El sistema GLONASS emplea un conjunto de satélites que orbitan sobre la superficie terrestre, y que recibe el nombre de Constelación de Satélites. La constelación de satélites que usa el sistema GLONASS consta de 31 satélites (24 en activo, 3 satélites de repuesto, 2 en mantenimiento, uno en servicio y otro en pruebas) para el inicio del año 2019. Aunque los satélites se comenzaron a poner en órbita en el año 1982, no empezó a ser funcional hasta 1996, consiguiendo la cobertura de todo el territorio de Rusia a partir del año 2007. En la actualidad cubren todo el mundo, siendo su utilización de acceso libre. Rusia sigue actualizando

su constelación de satélites, con el modelo de tercera generación GLONASS-K.

Con un solo satélite no se puede conocer la posición, se necesitará al menos tres satélites de la constelación, para poder realizar una triangulación de señales y conocer con mayor exactitud la posición. El funcionamiento es el siguiente: cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor; luego, obteniendo información de al menos dos satélites más, queda determinada una circunferencia que resulta cuando se interceptan las esferas en algún punto en la cual se encuentra el receptor.

Para además conocer la altitud de dicho punto, es necesario disponer de un satélite más. En resumen, se requieren como mínimo cuatro satélites para la navegación tridimensional (que incluye la altitud) y sólo tres satélites para la navegación bidimensional (sin altitud) sobre la superficie terrestre [5].

2.1.3. BeiDou

El sistema de navegación por satélite de China que rápidamente se ha expandido en el mundo debido a que es de libre acceso. Consta de tres segmentos iguales al GPS con los mismos fundamentos. Actualmente, casi tiene cobertura global con una precisión de 10 metros en horizontal y vertical [6], esperando volverse global para finales del año 2020 alcanzando una precisión de centímetros [7].

La señal de BeiDou empieza en la estación de control maestra de donde se envían señales de consulta a los usuarios a través de los dos satélites activos, cuando los receptores reciben estas señales devuelven una respuesta a ambos satélites. La estación maestra recibe las señales de respuesta enviadas por los receptores desde los dos satélites y calculan la posición 2D del usuario en función del diferencial de tiempo entre las dos señales. La posición 2D obtenida es comparada con un mapa

territorial digitalizado, que se encuentra almacenado en la base de datos de este sistema de posicionamiento que da como resultado la posición 3D del receptor o usuario, luego esta posición es enviada a través de los satélites que utilizan una comunicación cifrada [8].

2.1.4. Galileo

El GNSS de la Unión Europea se llama Galileo. Ofrece los mismos servicios que los otros sistemas, pero centrado principalmente en países europeos. Tiene la capacidad de complementarse con el GPS en caso que el usuario no pueda comunicarse con otros satélites de Galileo y ofreciendo una precisión de 1 metro [9].

Galileo funciona en las bandas de frecuencia L1 (1575.42 MHz), E5a (1176.45 MHz), E5b (1207.14 MHz), E6 (1278.75 MHz) y E5ab (1191.795 MHz) [10]. Galileo destaca por su alta precisión y rango de cobertura con respecto a los otros GNSS.

2.2. Sistema Global de Comunicaciones Móviles

El Sistema Global de Comunicaciones Móviles, conocido como GSM por sus siglas en inglés (Global System For Mobile Communication), es el sistema de comunicaciones móviles más usado a nivel mundial [11]. Inició como un sistema analógico, pero se cambió a digital avanzando con la tecnología y ha ido mejorando y ampliándose progresivamente. Las frecuencias que usa varían según la generación, pero van desde 700 MHz hasta 2600 MHz, la última generación (5G) se espera que llegue hasta los 300 GHz [12].

La estructura básica de la red GSM consta de 3 subsistemas principales: sistema de estación radiobase (RBS, BTS, BSC), centro de conmutación (NSS o núcleo) y el sistema soporte de operación (OSS). Usando la figura 2.1 se procederá

a explicar brevemente como funciona la red GSM. La estación móvil (MS) se comunica con la radio base que puede comunicarse mediante antenas con una radio base de control, las radiobases conectadas a la radio base de control integran el sistema BSS. Este subsistema se conecta con el núcleo, específicamente al centro conmutador móvil (MSC) que lo conforma junto al registro de localización local (HLR), el registro de localización de visitas (VLR), el equipo de registro de identidad (EIR), el centro de autenticación (AuC) y el Gateway MSC (GMSC) que se encarga del alternar las funciones de envío, recepción y procesamiento de datos. Por último, el gateway también se encarga de enlazar la red telefónica pública (PSTN) y la red digital de servicios integrados (ISDN) que son servicios telefónicos fijos. Todo este sistema se encuentra distribuido en varios grupos o clusters que agrupan a varios usuarios[13, p. 60].

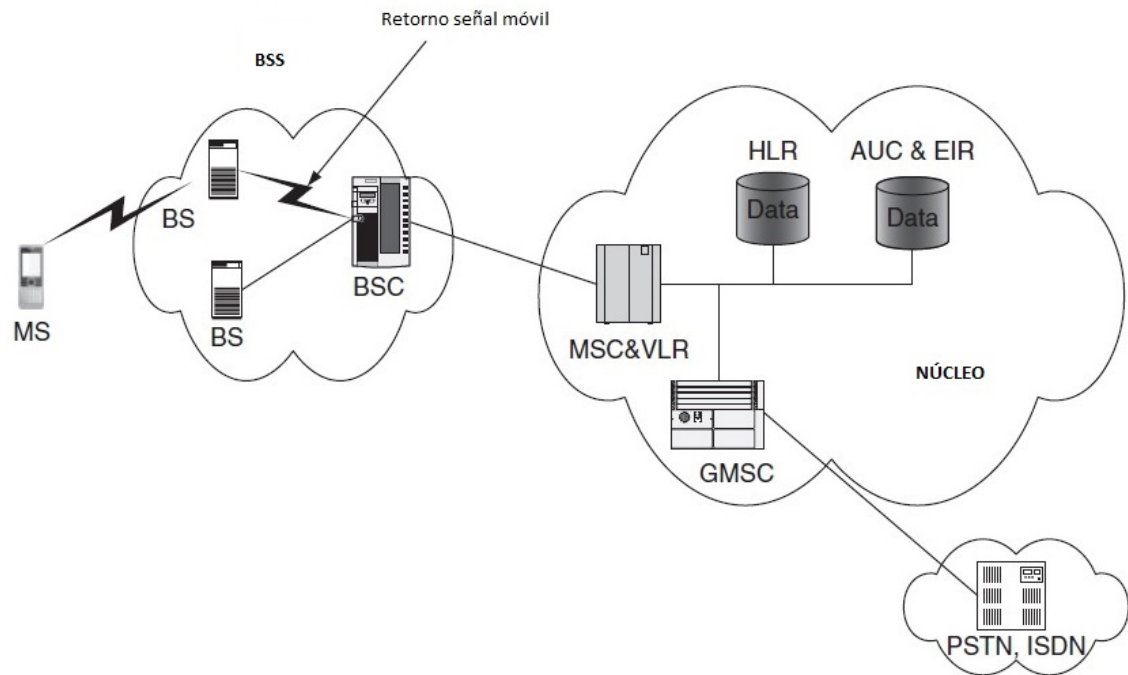


Figura 2.1. Estructura de la red GSM.

GSM se considera, por su velocidad de transmisión y otras características, un

estándar de segunda generación (2G). Su extensión a 3G se denomina UMTS y difiere en su mayor velocidad de transmisión (RAN), el uso de una arquitectura de red ligeramente distinta y sobre todo en el empleo de diferentes protocolos de radio (W-CDMA).

2.2.1. 2G - GPRS

La segunda generación del GSM presenta el cambio de analógico a digital, trabajando en las bandas entre 850 - 1900 MHz y permitiendo por CDMA (acceso múltiple por división de código) en 825 -849 MHz permitiendo voz digital, envío de mensajes cortos (SMS), entre otros. Esta generación presentó unas mejoras que llevaron a la creación del General Packet Radio Service (GPRS) que establecía una red de conmutación por paquetes, que actuaba solo cuando un usuario lo solicitaba y no estaba constantemente activa (como ocurría en la generación anterior) liberando recursos en la red [14, p. 103].

El GPRS le agrega al sistema dos nuevos nodos: el nodo del gateway de soporte GPRS (GGNS) y Nodo de servicio de soporte de GPRS(SGSN). El primero redirige los mensajes a la estación móvil y el segundo da el contexto de movilidad para estaciones móviles conectadas y codifica el tráfico de paquetes. Ambos sistemas se conocen como GSN. En la figura 2.2 se aprecia la nueva estructura del sistema.

El GPRS requiere que se conecte a la red de paquetes de datos, lo cual se realiza primero por la radiobase y luego conectándose al sistema GSN; una vez conectado puede recibir mensajes y enviarlos, pero para transferir datos debe usar el protocolo de paquetes de datos (PDP). Para poder establecer un contexto PDP se debe de haber conectado a la red GPRS y se debe de tener un IP (fija o dinámica) luego el MS debe de definir el contexto y enviarlo, luego el SGSN verifica y envía la solicitud al GGSN que acepta la solicitud y permite la conexión a los paquetes. [14, p. 104 - 108].

La interfaz que conecta la BSS con la SGSN se denomina Gb basada en la conexión Frame Relay o por enlace directo. La interfaz Gi es mediante la cual el GGSN accede a las redes de datos externos usando protocolos como IPv4, IPv6 o X.25. La interfaz que conecta al GSN y SGSN se llama Gn, lo realiza por medio de una red troncal Intra-PLMN, donde se usa el protocolo GTP (GPRS Tunneling Protocol) el cual lleva datos de usuario y señalización [15, p. 74 - 75].

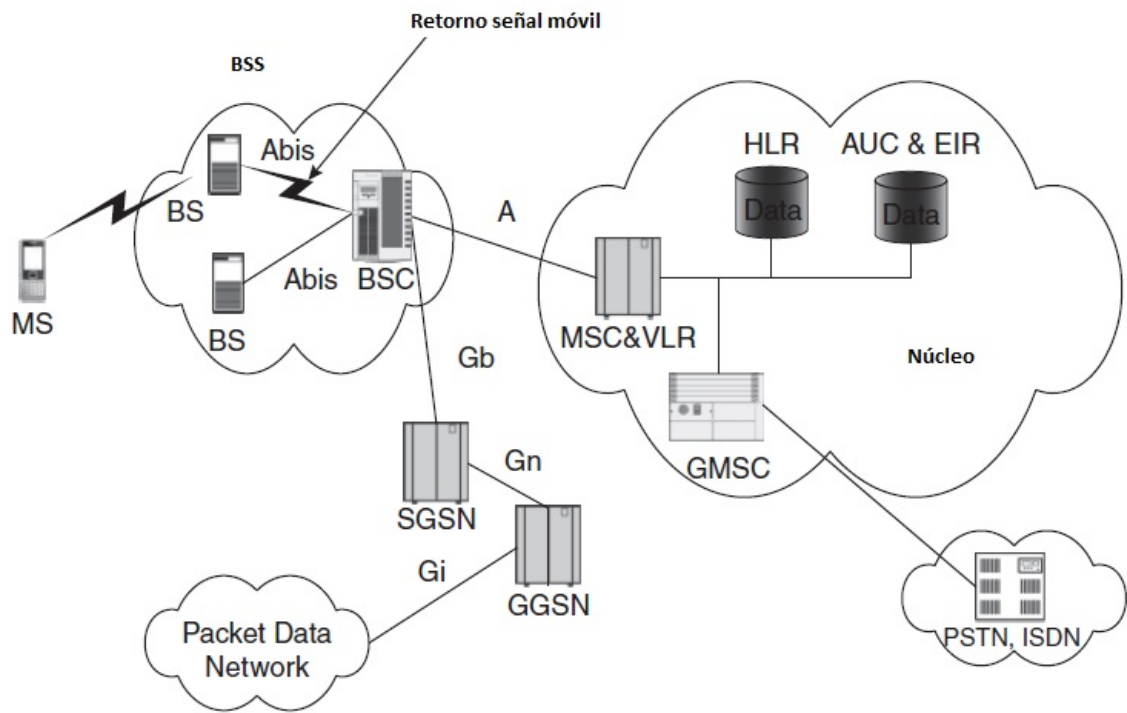


Figura 2.2. Estructura de la red GPRS.

2.2.2. 3G

La tercera generación apareció en 1999 bajo el nombre de Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) ofreciendo retrocompatibilidad con las versiones anteriores, es decir, puede usar tanto 2G como 3G. La estructura de la red es similar, la estación móvil pasa a llamarse equipo de usuario (User Equipment

en inglés o UE), la radiobase se denomina UTRA o UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access) y la radiobase de control pasa a ser las RNC (Radio Network Controller) con subsistemas llamados nodos B (NB). Esto se puede observar en la figura 2.3.

La UMTS se diferencia a las versiones anteriores en que separa el plano del usuario con el plano de control, a la red de radio de la red de transporte y a la red de acceso de la red del núcleo.

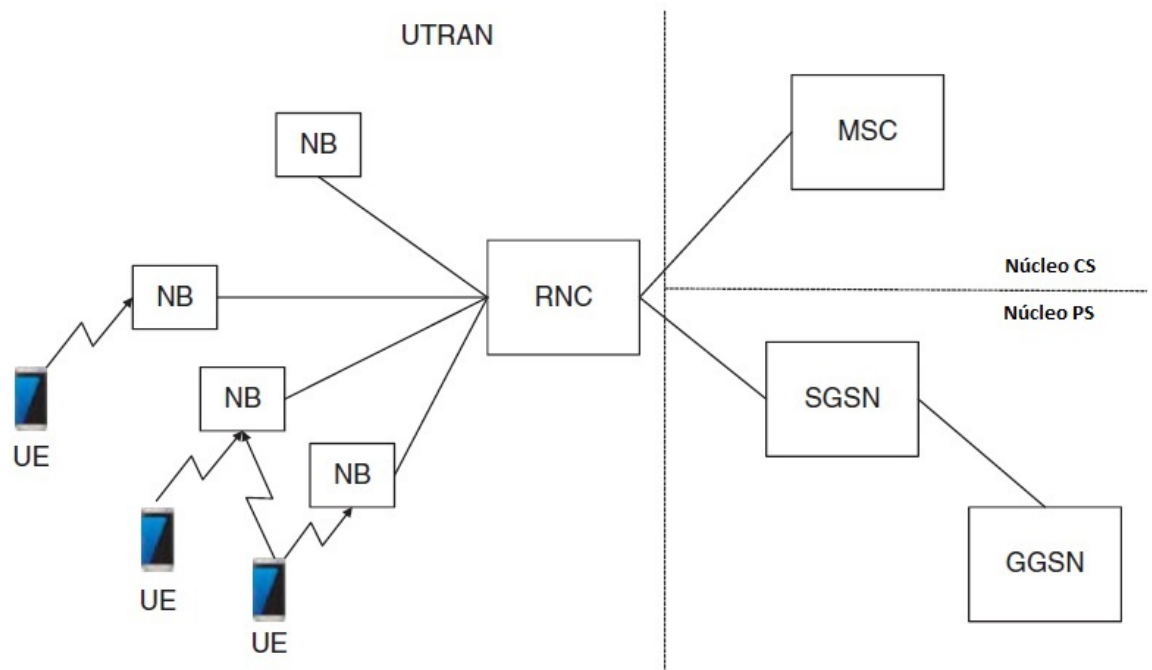


Figura 2.3. Estructura de la red 3G.

2.3. Temperatura

La temperatura es una propiedad de un sistema que en muchos casos resulta indispensable conocer su magnitud, por lo que se presentan diversos equipos que son compatibles con dispositivos electrónicos para lograr obtener esta información.

2.3.1. Medición de temperatura

“Existen diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y que son utilizados para medirla:

- Variaciones en el volumen o estado en los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- Variaciones de resistencia de un conductor.
- Variaciones de resistencia de un semiconductor.
- La f.e.m creada en la unión de dos metales distintos.
- Intensidad en la radiación total emitida por el cuerpo.
- Otros fenómenos como la velocidad del sonido de un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, entre otros.

Por lo tanto, la medición de temperatura se puede realizar mediante: termómetros de vidrio, termómetros bi metálicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termómetros de resistencia, termopares, pirómetros de radiación, termómetros ultrasónicos y termómetros de cristal de cuarzo"[16, p. 235].

2.3.2. Termómetro de resistencia

La medición de temperatura mediante sondas de resistencia depende de la variación de la resistencia en función de la temperatura, la cual es propia del elemento de detección, por lo que con la variación de tensión que se presente por el cambio de la resistencia se puede determinar la temperatura. “El elemento consiste, generalmente, en un arrollamiento de un hilo muy fino del conductor adecuado

bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se denomina 'coeficiente de temperatura de resistencia' que expresa, a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura"[16, p. 240]. La relación existente entre estos factores se define en la siguiente expresión lineal:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (2.1)$$

En la que:

R_0 = resistencia en Ohmios a 0 °C.

R_t = resistencia en Ohmios a t °C.

α = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0 °C y 100 °C es de 0,0038500 $\Omega/\frac{\Omega}{^\circ C}$ en la Escala Práctica de Temperaturas Internacional (IPITS-68).

Δt la desviación de la temperatura respecto a T_0 ($\Delta t = T - T_0$).

2.3.3. Termistores

Los termistores son dispositivos semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan variaciones rápidas y grandes para los cambios relativamente pequeños de temperatura, por lo que pueden usar estos cambios para medir un nivel de

tensión y determinar la temperatura. “Se fabrican con óxido de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros materiales, y están encapsulados en sondas y discos”[16, p. 251].

Los termistores se clasifican en NTC (Negative Temperature Coefficient - coeficiente de temperatura negativo) y PTC (Positive Temperature Coefficient - coeficiente de temperatura positivo). La relación entre el termistor y la temperatura viene dada por:

$$R_t = R_0 e^{\beta(\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0})} \quad (2.2)$$

R_t = resistencia en Ohm a la temperatura absoluta T_t

R_0 = resistencia en Ohm a la temperatura absoluta de referencia T_0

β = constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas

2.3.4. Sensores de temperatura de semiconductor

El sensor de temperatura de semiconductor dispone de funciones de transferencia que son proporcionales a la temperatura en K, °C o °F. Se basan en el cambio de tensión en la unión p-n con respecto a la temperatura ambiente pero esto depende también de la geometría de la unión y la densidad de corriente. En la mayor parte de las aplicaciones, la señal de salida alimenta un comparador o un convertidor A/D para convertir los datos de temperatura a un formato digital.

“Los sensores desarrollados en este campo son analógicos y digitales con tensión de salida proporcional a la temperatura absoluta o a la temperatura en °C

o °F, sensibilidad $10 \frac{mV}{^{\circ}C}$ y una exactitud de $\pm 1 ^{\circ}C$ dentro del intervalo $-55 ^{\circ}C$ a $150 ^{\circ}C$. Hay analógicos con corriente de salida proporcional a la temperatura absoluta y sensibilidad de $1 \frac{A}{^{\circ}C}$ a $3 \frac{A}{^{\circ}C}$ y termostatos de $-40 ^{\circ}C$ a $+125 ^{\circ}C$.

Un sensor de temperatura de silicio es un circuito integrado (IC) que puede contener un circuito de procesamiento de la señal que se encargue de la compensación de la unión fría o de la linealización dentro del mismo IC"[16, p. 253]. Al ser equipos pequeños, precisos y baratos posee otros usos como lo son:

- Sensor de temperatura de dos hilos.
- Transmisor de corriente de 4-20 mA c.c.
- Convertidores multicanal de temperatura a señal digital.
- Convertidores de temperatura a frecuencia.

También existen los sensores de estado sólido que usan el mismo principio y son equipos pequeños que dan una corriente proporcional a la temperatura en un rango de $-55 ^{\circ}C$ hasta $150 ^{\circ}C$. Destacan por su linealidad y precisión, por lo que tienden a usarse en sistema de control en computadores personales. Para lograr alcanzar un rango mayor usan diodos logrando un rango de $-271 ^{\circ}C$ a $202 ^{\circ}C$ y pueden tener una tolerancia de $0,05 ^{\circ}C$ cuando están bien calibrados [17, p. 578].

2.3.5. Termopares

El termopar se basa en un efecto descubierto por Seebeck en 1821 donde la circulación de una corriente en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura. La circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados (efecto Peltier en 1834) “que causa la liberación

o absorción de calor de la unión de los metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson (año 1854), que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas"[16, p. 254-255].

En la figura 2.4 se puede apreciar el efecto Peltier donde “en una cruz térmica formada por la unión en su centro de dos metales distintos se hace pasar una corriente en uno u otro sentido, con el interruptor K2 abierto. Después de cada paso de corriente se abre K1 (desconectándose la alimentación) y se cierra K2 leyendo en el galvanómetro la f.e.m. creada, que es proporcional a la temperatura alcanzada por la cruz térmica en cada caso[16, p. 255].

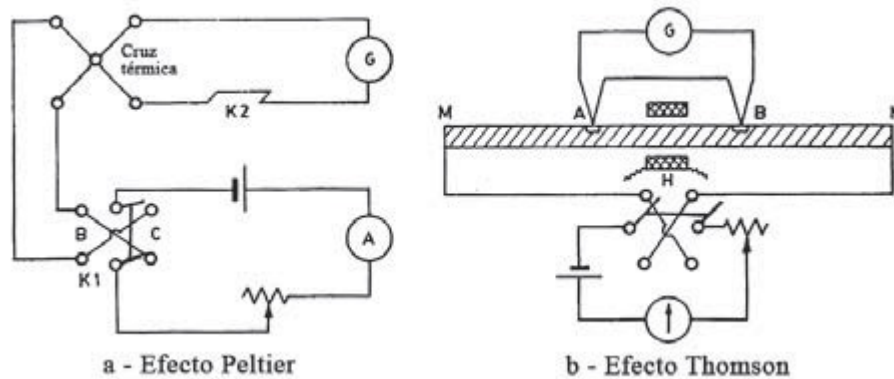


Figura 2.4. Efecto Peltier (a) y efecto Thomson (b).

El efecto Thomson también se puede observar en la figura 2.4 “formado por una barra metálica MN, con un termopar diferencial AB aislado y una bobina H para calentamiento eléctrico centrada con relación a AB"[16, p. 255]. Cuando se calienta la bobina esto afectará a A o a B, creando una diferencia de temperatura entre ellos; posteriormente, “si se hace pasar una corriente por la barra MN, se notará un aumento o disminución de la temperatura diferencial con el efecto contrario si se invierte la corriente"[16, p. 255].

Para evitar que el calentamiento que se puede producir por el paso de corriente en el termopar se debe hacer mínimo su valor al momento de la medición. “Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales:

1. *Ley del circuito homogéneo.* En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
2. *Ley de los metales intermedios.* Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.
3. *Ley de las temperaturas sucesivas.* La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T1 y T3 es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T1 y T2, y de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T2 y T3.

Por estas leyes, se hace evidente que en el circuito se desarrolla una pequeña tensión continua, proporcional a la temperatura de la unión de medida, siempre que haya una diferencia de temperaturas con la unión de referencia. Los valores de esta f.e.m. están tabulados en tablas de conversión con la unión de referencia a 0 °C "[16, p. 255-256]. Algunos termopares son: tipo E, tipo T, tipo J, tipo K, tipo R, tipo S, tipo B, tipo N, tipo C, tipo D, tipo G, tipo L, y tipo U.

2.3.6. Pirómetros de radiación

Estos dispositivos se basan en la ley de Stefan-Boltzmann, que indica “que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta (Kelvin) del cuerpo, es decir:

$$W = K \times T^4 \quad (2.3)$$

Siendo:

W = intensidad de energía radiante.

K = constante Stefan-Boltzmann.

T = temperatura absoluta de riesgo.

El coeficiente de emisión o emisividad de un cuerpo es la relación entre la energía radiante emitida por un cuerpo y la de un cuerpo negro que se encuentra a la misma temperatura y en las mismas condiciones de servicio.

Un cuerpo negro es aquel que absorbe totalmente las radiaciones que recibe y es también un perfecto emisor. Su emisividad es la unidad. Los cuerpos cuyo coeficiente de emisión es menor que la unidad se conoce como cuerpos opacos.

La energía que radia el cuerpo negro es función de su temperatura absoluta. [...]. Un pirómetro de radiación calibrado para condiciones de cuerpo negro indicará una baja temperatura del cuerpo que enfoca si éste se encuentra en el exterior.

La emisividad depende mucho del estado de la superficie del cuerpo emisor. El pirómetro dirigido sobre una superficie incandescente no nos dará su verdadera temperatura si la superficie no es perfectamente negra, es decir, que absorba absolutamente todas las radiaciones y no refleje ninguna. En los casos generales, es preciso hacer una corrección de la temperatura leída (temperatura de brillo S) para tener en cuenta el valor de absorción o emisión de la superficie "[16, p. 299-300].

2.3.7. Circuitos galvanométricos, potenciómetrico y digital

“El circuito galvanométrico se basa en la desviación de una bobina situada entre dos polos de un imán permanente, al pasar la corriente del elemento primario a través de ellos. El paso de esta corriente produce un campo magnético que se opone al del imán permanente, y la bobina móvil gira hasta que el par magnético correspondiente es equilibrado por el par de tensión del muelle.

Una aguja indicadora, que está unida rígidamente a la bobina móvil, se desplaza a lo largo de una escala graduada, calibrada en las unidades de medida. Las variaciones de temperatura pueden influir en la resistencia eléctrica del circuito de medida, y para anularlas se utiliza una resistencia de coeficiente de temperatura negativo (NTC), llamada resistencia de compensación. Asimismo, los cables de conexión al termopar pueden variar de resistencia con la temperatura y afectar a la exactitud de la medida"[16, p. 295-296]. El circuito potenciométrico está representado en la figura 2.5 junto al circuito galvanométrico.

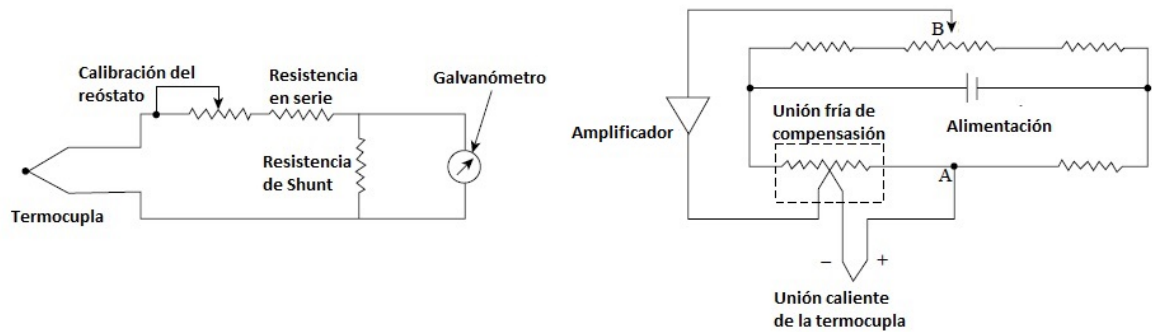


Figura 2.5. Circuitos galvanométrico y potenciométrico.

“Al agregar un microprocesador (figura 2.6) se puede obtener, por hardware o software, circuitos potenciométricos de diferentes características así como transmisores ‘inteligentes’ preparados para la medida automática de la temperatura con diferentes tipos de termopares o señales en mV, con compensación de temperatura de la unión fría, con rutinas de autodiagnóstico, con linealización de la señal de salida de 4-20 mA c.c., y con aislamiento galvánico entre la entrada y la salida (lo que permite la conexión a tierra del sensor con una protección elevada contra ruidos)”[16, p. 295-296].

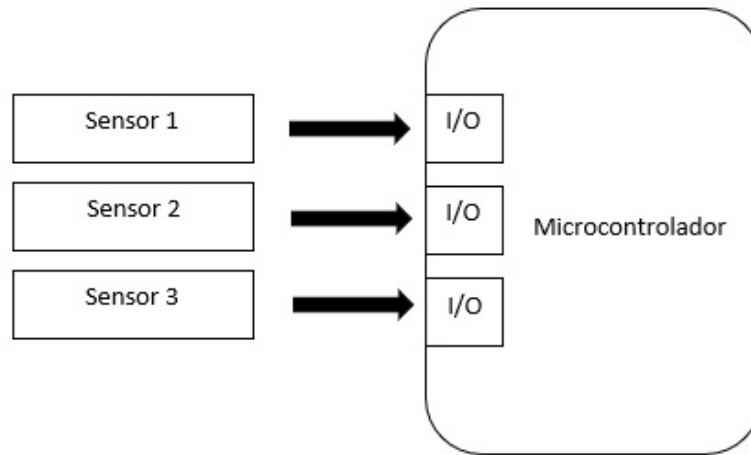


Figura 2.6. Circuito digital de múltiples sensores.

2.3.8. Sensores de temperatura capacitivos

Este tipo de sensores usan transductores electrónicos para generar una señal de salida cuando cualquier tipo de material entra en su área de detección sin necesidad de entrar en contacto. Usan el principio de un capacitor en cuanto a la diferencia de potencial que existe entre dos elementos que tiene un espacio entre ellos.

2.4. Técnicas de programación de microcontroladores

Los microcontroladores son dispositivos que permiten procesar información y tomar decisiones en base a ella, pero para poder realizar esto se debe programar previamente el mismo. Para programarlo se debe tener en cuenta si será un sistema guiado por eventos o uno guiado por tiempo.

El sistema guiado por eventos se caracteriza por una serie de funciones que se tienden a activar por eventos externos, por lo que las funciones se activan

de manera asíncrona según los eventos detectados por pooling o interrupción. Un sistema guiado por tiempo activará sus funciones sincrónicamente según el tiempo que transcurre que determina por un temporizador que se interrumpe con periodicidad conocida denominada tick. Por lo tanto, de aquí se desprenden arquitecturas básicas de programación como el super-loop, foreground/background, cola de funciones y RTOS [19].

2.4.1. Super-loop

El super-loop consiste en un único bucle o ciclo infinito que analiza los estados de las entradas y salidas y realizando las funciones correspondientes en cada caso. Tiende a ser la más simple, sin interrupciones y sin datos globales compartidos. Esta arquitectura tiende a tener problemas con los tiempos de respuesta por ser un único ciclo, lo cual también puede traer problemas si los eventos no ocurren como se espera en la estructura del código [19].

2.4.2. Foreground/background

Esta arquitectura se basa en el super-loop pero con interrupciones, las cuales se activan según las entradas o salidas del microcontrolador, teniendo cada interrupción un nivel jerárquico. En foreground se atienden las ramas por las rutinas de tratamiento de interrupción que son activadas por las entradas o salidas del dispositivo; tienden a realizar únicamente acciones de leer y escribir. Background se caracteriza por ser un bucle infinito que realiza las acciones no críticas a tiempo junto al procesamiento de datos en cola usando variables globales. Ambas pueden presentar retrasos por como se encuentra la prioridad de una acción respecto a otra [19].

2.4.3. Cola de funciones

Las colas de funciones usan foreground/background para administrar cuando se envía datos por colas trabajando con los atributos que estos métodos tienen, pero sumándole un cierto orden o ventaja con la presencia de las colas [19].

2.4.4. RTOS

Los Sistemas Operativos en Tiempo Real (Real Time Operative System o RTOS) que como su nombre lo dice es un sistema operativo que realiza las distintas actividades asignadas en tiempo real. Este método se tiende a usar de distintas formas como lo son basadas en prioridades, como RTOS cooperativo o sin multitasking preventivo y RTOS expropiativo o con multitasking preventivo.

El RTOS basado en prioridades puede ser usado con foreground/background con el primero constando en las prioridades en interrupciones, pero comunicándose y manejando el flujo del programa por características del RTOS como los semáforos; en background se asignan prioridades a tareas que harán las actividades requeridas pudiendo usar variables globales para comunicarse entre ellas tiende a dejar el background principal (main) sin ninguna acción. El RTOS permite que las tareas se ejecuten según su prioridad, pero dando la sensación que ocurren en tiempo real y simultáneamente ya que conmuta entre las tareas.

El RTOS cooperativo consiste en que las tareas cedan el control al kernel del RTOS para que conmute la tarea cuando terminen o por una llamada al sistema, si no llegara a haber una tarea de mayor prioridad en ese momento seguirá con la ejecución de la misma tarea; este método permite incluso esperar que lleguen datos por cola o por un evento y en dicho tiempo la tarea queda bloqueada permitiendo que se ejecute otra en este periodo. En el RTOS expropiativo las excepciones disparan la conmutación de tareas y en los eventos se interrumpe la

tarea guardando su contexto en el kernel para luego guardar o mandar por cola los datos y conmutar las tareas [19].

2.4.5. FreeRTOS

FreeRTOS es una marca registrada cuyas siglas significan Sistema Operativo en Tiempo Real (Free Real Time Operative System) Gratuito. Este sistema operativo fue creado por un trabajo en conjunto de distintas compañías y está pensado para microcontroladores y microprocesadores pequeños. Entre sus ventajas se encuentran ofrecer soluciones independientes y únicas para distintas arquitecturas y herramientas de desarrollo, tiene un consumo mínimo de ROM, RAM y procesamiento, fácil de interactuar con otros servicios RTOS como OpenRTOS o SafeRTOS brindando mayor seguridad y compatibilidad, contiene ejemplos para todos sus puertos junto a documentación suficiente y un foro para la comunidad, entre otros.

Una de sus características es la variedad de API (Application Programming Interface o en español Interfaz de Programación de Aplicaciones) que deja a disposición de sus usuarios numerosas herramientas de programación [20].

2.5. Comunicación entre dispositivos electrónicos

Un sistema electrónico con varios dispositivos requiere que se comuniquen entre ellos, por lo que se debe de establecer un protocolo de comunicación entre ellos. Para esto existen diversas alternativas como lo son la comunicación serial, el I2C, el SPI y 1-Wire.

2.5.1. Comunicación serial

Este método de comunicación envía los datos un bit a la vez por una línea de comunicación hasta el receptor, tiende a ser usado en envío de datos de largas distancias o para las tasas de transferencias bajas. La comunicación serial requiere 4 parámetros:

- La velocidad de transmisión en baudios.
- El número de bits que codifican un caracter.
- La selección del bit de paridad.
- La cantidad de bits de parada.

El envío de datos comienza por un bit de inicio, después vienen los paquetes que llevan cada caracter, luego el bit de paridad (si se seleccionó) y por último el bit de parada. La transmisión la hace desde el bit menos significativo al más significativo. Hay varios estándares en comunicación serial como lo son RS-232, RS-449, RS-422, RS-423, entre otros. El elemento que es vital en la comunicación serial es el UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) que se encarga de la recepción y transmisión de todos los datos [21].

2.5.2. I2C

I2C o I²C (circuito inter-integrado o inter-integrated circuit) es protocolo de comunicación serial y un puerto, el cual define la trama de datos y conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos. El puerto consta de 2 cables denominados SDA (Serial Data) y SCL (Serial Clock) que permiten hasta 127 esclavos con velocidades de 100, 400 y 1000 kbits/s. este protocolo destaca porque

siempre envía un byte de información y siempre devuelve una confirmación de recepción, además de poder enviar tramas con mayor cantidad de bits otorgando la capacidad de enviar mensajes más complejos.

I2C consta de un maestro que controla la línea SCL iniciando y deteniendo las comunicaciones entre los dispositivos, también el maestro se encarga de enviar los bits de dirección (7 bits), generar el bit de lectura o escritura, enviar 8 bits de dirección de memoria, transmitir los 8 bits de los datos, confirmar la recepción de datos y obtener la confirmación de la no recepción de datos. Los esclavos se encargan de enviar la información en paquetes de 8 bits y de enviar la confirmación de recepción de datos [22].

2.5.3. SPI

La Interfaz Periférica Serial (Serial Peripheral Interface) es un bus de datos usado para comunicar microcontroladores con periféricos como tarjetas SD, sensores, entre otros. Es un protocolo síncrono full duplex usando el estándar maestro-esclavo que requiere cuatro líneas de transmisión:

- Master out slave in (MOSI): línea que envía información del maestro al esclavo.
- Master in slave out (MISO): línea que lleva los bits del esclavo al maestro.
- Clock (CLK): línea del maestro que sincroniza los equipos.
- Slave select (SS): línea que se encarga de seleccionar y/o activar un esclavo.

Este protocolo permite tener solo un maestro con múltiples esclavos. los cuales pueden estar en serie o paralelo. En el primer caso la entrada del MOSI del primer esclavo se conecta al maestro y en los siguientes esclavos se conectan al esclavo

anterior. En el paralelo se conectan el MOSI y los MISO directamente con el maestro debiendo añadirle una selección de esclavo para cada uno de ellos.

Algunas ventajas presentes en el SPI son: tiene comunicación full duplex, posee altas velocidades de transmisión de datos que se pueden configurar por software, no está limitada a trabajar con palabras de 8 bits, entre otras [23].

2.5.4. Comandos AT

Los Comandos AT (Attention Command en inglés) o Comandos Hayes son un set de instrucciones que permiten interactuar fácilmente con un dispositivo que sea compatible con ellos. Fueron originalmente desarrollados por Hayes Micro-computer Company pensado para módems, pero luego fueron usados en el área de telecomunicaciones expandiendo el set de instrucciones y con esto sus aplicaciones. Esta expansión se debió a la 3GPP (3rd Generation Partnership Project o Proyecto Asociación de Tercera Generación) que fijó los estándares y protocolos para la red 3G y dentro de estos protocolos se implementaron los comandos AT. El documento donde los usuarios pueden ver los comandos AT se llama 3GPP TS 27.007, 27.005 [24].

2.5.5. 1-Wire

Es un protocolo serial que usa una sola línea de datos y una línea aterrada. Basado en la estructura de maestro-esclavo, un maestro se comunica por la línea con los esclavos que estén conectados a ella, cada esclavo tiene su ID de 64 bits, aunque otras familias también usan esos bits para identificar el equipo y su funcionalidad. Lo que destaca de este protocolo es que los dispositivos pueden alimentarse por la línea de comunicación, no necesitan una conexión para alimentación (aunque es recomendable usarla en algunos casos). El protocolo trabaja con niveles de tensión en la línea de datos, y si se desconecta o no alcanza

el nivel de tensión necesario el esclavo entra en un estado de deep sleep (sueño profundo) y cuando vuelve la tensión reinician sus actividades [26].

CAPÍTULO III

SELECCIÓN DE COMPONENTES

En este capítulo se describen algunos equipos compatibles con GNSS, GSM y el sensor de temperatura. Posteriormente se seleccionaron los equipos para el prototipo.

3.1. Descripción breve del prototipo

El prototipo que se diseñó integra módulos GNSS, GSM y un sensor de temperatura para lograr crear un sistema capaz de monitorear la temperatura, la posición geográfica y transmitir estos datos mediante la red GSM. La carga refrigerada de los camiones pensados para usar este equipo no está definida, por lo tanto, se abarca un rango entre -30 °C hasta 40 °C que puede cubrir distintas aplicaciones.

El medidor de temperatura debe poder leer este rango de temperatura con una tolerancia de 2 o 3 cifras significativas debido a que puede ser usado en múltiples casos. Para monitorear la posición del camión y la temperatura de su carga basta con las capacidades que tiene la red 2G (mensaje de texto), aunque si usa las redes posteriores le otorgaría acceso a internet, con lo que se puede enviar la misma información a servidores u otros lugares de almacenamiento de datos.

3.2. Medidores de temperatura

Para realizar la medición de temperatura se compararon diversos equipos que son compatibles con dispositivos electrónicos que posean un rango que abarque al menos entre -30°C hasta 40°C .

3.2.1. Medidor de temperatura digital DS18S20

El termómetro digital DS18B20 tiene la capacidad de indicar la temperatura en grados Celsius en 9 o 12 bits, además incluye una función de alarma con puntos programables no volátiles. El dispositivo se conecta mediante un bus de un cable (1-Wire Bus) el cual solo necesita un cable para transmitir los datos, una tierra para la comunicación central con un microprocesador y una conexión para la alimentación. Una de sus ventajas es que se puede alimentar por la línea de datos, por lo que no necesita alimentación externa aunque en ciertos casos trae problemas en la comunicación con ciertos equipos [27]. Su precio en promedio es de 3 USD.

El equipo tiene la capacidad de medir temperaturas en un rango de -55°C hasta $+125^{\circ}\text{C}$ con una tolerancia de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ en el intervalo entre -10°C hasta $+85^{\circ}\text{C}$, una tolerancia de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ para el rango de -30°C hasta 100°C y una tolerancia máxima de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ en el rango completo, aunque se puede calibrar hasta $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ en intervalos de -5°C hasta 55°C [27].

3.2.2. Medidor de temperatura digital LM35

Los sensores LM35 son circuitos integrados capaces de medir temperatura con una salida lineal de voltaje proporcional a la temperatura en grados Celsius. Tiene un rango de -55°C hasta 150°C con tolerancia de $\pm \frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ en modo básico

(temperatura ambiente) y en rango completo típica de $\pm \frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$, pero con tolerancia máxima de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Consume solo $60\ \mu\text{A}$ por lo que lo hace práctico para servir junto a microprocesadores; también posee tres pines para realizar las conexiones pertinentes [28]. Su precio en promedio es de 2 USD.

3.2.3. Medidor de temperatura digital LMx35

Los sensores de precisión de temperatura de la serie LMx35 son circuitos integrados que operan como 2 diodos zener consumiendo desde $400\ \mu\text{A}$ hasta 10 mA sin tener un cambio significativo en el rendimiento. Los modelos LM135 operan desde -55°C hasta 150°C , en cambio los LM335 van desde -40°C hasta 100°C ; poseen una tolerancia máxima de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ y típica a temperatura ambiente de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Toda la familia posee tres pines de conexión [29]. El precio en promedio del LM135 es de 2 USD y del LM335 es de 1,5 USD.

3.2.4. Medidor de temperatura digital SHT1x

La familia SHT1x (SHT10, SHT11 y SHT15) integra sensores y procesamiento de señal en un equipo compacto con salida digital calibrada. Posee un sensor capacitivo para la humedad y para la temperatura usa un sensor de banda prohibida. Ambos sensores vienen acoplados con un convertidor analógico digital de 14 bits, garantizando una estabilidad con la tecnología CMOSens. El rango para la medición de temperatura es desde -40°C hasta 125°C con tolerancia típica entre $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ hasta $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y tolerancia máxima de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ a rango completo y de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ en el intervalo entre -30°C hasta 70°C . Esta familia posee de 3 a 4 pines de conexión [30]. Su precio en promedio es de 20 USD.

3.2.5. Medidor de temperatura digital AM2301

El medidor AM2301 incluye un sensor de temperatura de alta precisión junto a un sensor de humedad capacitivo y es capaz de dar los datos de manera digital. Posee un recubrimiento de plástico sencillo que permite la salida de sus únicos 3 pines de conexión para alimentar, referencia y transmitir los datos del equipo, pudiendo trabajar con una alimentación de entre 3 V hasta 5 V. El rango de la humedad va desde 0 % hasta 99 % con una tolerancia de ± 3 % a 25 °C. El rango de la temperatura se encuentra entre -40 °C hasta 80 °C con una tolerancia máxima de ± 1 °C y una de $\pm 0,3$ °C entre 0 °C hasta 60 °C. La interfaz serial consta de una línea que transmite un bus de un total de 40 bits dividiendo la información de la temperatura y la humedad en dos grupos de 8 bits para cada uno, enviándolos por intervalos de tiempos predeterminados[31]. Su precio promedio es de 5 USD.

3.3. Módulos GSM y GNSS

Los módulos más actualizados que se conectan a la red celular GSM tienden a traer junto a ellos la capacidad de conectarse a un GNSS, por lo que a continuación se presentan equipos que en una sola tarjeta de desarrollo pueden conectarse a ambas redes y, también equipos que solo tienen acceso a una de ellas. Para la red GSM se consideraron equipos desde 2G hasta 4G ya que todos son capaces de cumplir los requerimientos; para la GNSS se consideraron Galileo, BDS, GLONASS y GPS, siendo este último indispensable para la selección.

3.3.1. Localizador GPS Pre-GO 9T

Este módulo permite conectarse a las redes GNSS como Glonass, GPS, BeiDou y Galileo además incluye un compás y una antena externa, permitiendo una

precisión de nano segundos poniéndolo a la par de las velocidades de 5G; para esto usa el chip de u-blox ZED-F9P/T. Para la comunicación se usa I2C o por puerto serial. [32]. Tiene un precio promedio de 300 USD.

3.3.2. Adafruit FONA

Este módulo desarrollado por Adafruit incluye el chip de SimCom SIM5320A, el cual permite el acceso a redes GSM de las bandas de 2G y 3G además de poder recibir información de GPS para la geolocalización. También permite comunicarse mediante puerto serial por comandos AT para un fácil uso de sus capacidades, los cuales se pueden enviar por puerto serial desde el puerto USB que incluye la tarjeta de desarrollo [33]. Su precio promedio es de 40 USD.

3.3.3. KEYESTUDIO SIM5320E

Una tarjeta de desarrollo que ofrece conexión a las redes GSM (3G y GPRS) junto a GPS. Para el acceso a las redes usa el chip SIM5320E que se encarga de realizar la comunicación con estas. Para su alimentación requiere de 5 V y 1 A para el funcionamiento óptimo, la cual se puede suministrar por el puerto USB que tiene incorporado un puerto serial de nivel TTL. En total consta de 8 pines [34]. Su precio promedio es de 50 USD.

3.3.4. Módulo A9G

El módulo A9G es una tarjeta de desarrollo de Ai-Thinker que posee la capacidad de acceder a la red GSM en las bandas de GPRS. A su vez, tiene la capacidad de obtener datos por GPS o BDS (BeiDou) y entregarlos en formato NMEA. Puede trabajar mediante comandos AT que son enviados al puerto serial. Soporta envío de mensajes y llamadas y su tarjeta de desarrollo trae incluido un

micrófono; también trae un slot para colocar una memoria micro SD. Se puede alimentar por puerto USB o por alimentación externa entre 3,5 V y 4,2 V con un consumo de hasta 2 A cuando está activo el GPS. La tarjeta de desarrollo tiene 30 pines [35]. El equipo tiene un precio promedio de 7 USD.

3.3.5. Particle Boron

Este módulo es una tarjeta de desarrollo de Particle que integra distintas capacidades entre ellas bluetooth, LTE y GSM (2G y 3G), pudiendo acceder a ellos por su chip principal nRF52840. La tarjeta de desarrollo consta de 30 pines, posee un UART, es compatible con I2C y SPI; además, tiene una alimentación de 3,3 V a 3,6 V por puerto USB y hasta 4,4 V por batería con picos de consumo de corriente de hasta 1,8 A. Se debe tener cuidado con la compatibilidad LTE ya que no acepta la de todos los países [36]. Su precio promedio es de 60 USD.

3.3.6. Geekstory 4G GPS Module

El módulo presentado por Geekstory es uno que permite acceso a redes GSM 4G, 3G y 2G, además de incluir acceso a GNSS y poder usarse con dispositivos como un Raspberry Pi. Para lograr estas conexiones utiliza el chip SIM7100A. Permite comunicarse por puerto serial con otros dispositivos, pero necesita usarse un módulo FT232 USB en el UART para lograrlo. La tarjeta de desarrollo posee 18 pines en total, y requiere una alimentación de 3,3 V hasta 5 V [37]. Su precio promedio es de 25 USD.

3.3.7. TTGO T-Call SIM800L

Este es una tarjeta de desarrollo de Xinyuan-LilyGO, que incluye un ESP32 Wrover B de Espressif que tiene capacidades de wifi, bluetooth, dos núcleos, entre

otros. Además, tiene ya conectado el módulo de ESP32 el chip SIM800l que se puede conectar a la red 2G, incluyendo capacidades GPRS para poder interactuar con la red celular. Trabaja a tensiones entre 2,7 V hasta 3,6 V consumiendo 2 A cuando el módulo GSM está activo, y cuando no tiende a consumir 120 mA. La tarjeta de desarrollo posee 36 pines de conexión y un puerto USB tipo C, permitiendo ser operado por comandos AT (tanto el ESP32 como el SIM800l) que reciba por UART (UART 0 para el ESP32 y pines 26 y 27 para el SIM800l) [38]. Tiene un precio promedio de 15 USD.

3.4. Selección de componentes

Para la selección del medidor de temperatura se tomará en cuenta que posean un rango que cubra el intervalo entre -30 °C hasta 40 °C, una tolerancia máxima de 1 °C, con un límite de precio de 10 USD, la disponibilidad de cada uno de los equipos y los que necesiten el menor número de conexiones.

Determinando cual módulo GNSS se usará, se compararon los equipos teniendo en cuenta si se conecta a la red GPS (indispensable); si posee la capacidad de conectarse a Galileo, BDS o GLONASS sería un beneficio, pero no indispensable; teniendo un límite de precio de 25 USD y la disponibilidad.

En la selección del módulo GSM se compararon los módulos que posean esta capacidad teniendo en cuenta si son compatibles con 2G, GPRS, 3G y 4G (con 2G como requisito mínimo), precio límite de 15 USD y la disponibilidad.

3.4.1. Selección del medidor de temperatura

Comparando los distintos sensores como se aprecia en la figura 3.1, varios módulos superan el rango de temperatura requerido siendo el LM35 el de mayor rango; aunque para todo el intervalo la tolerancia máxima es igual en todos los

equipos; todos menos la serie SHT1x encuentran a un precio menor del estimado; el sensor DS18S20 se puede conseguir pero el AM2301 se encuentra disponible en su totalidad; por ultimo, todos los módulos poseen 3 pines de conexión. Por lo tanto, el equipo seleccionado es el que cumple los requerimientos mínimos, este es el sensor AM2301.

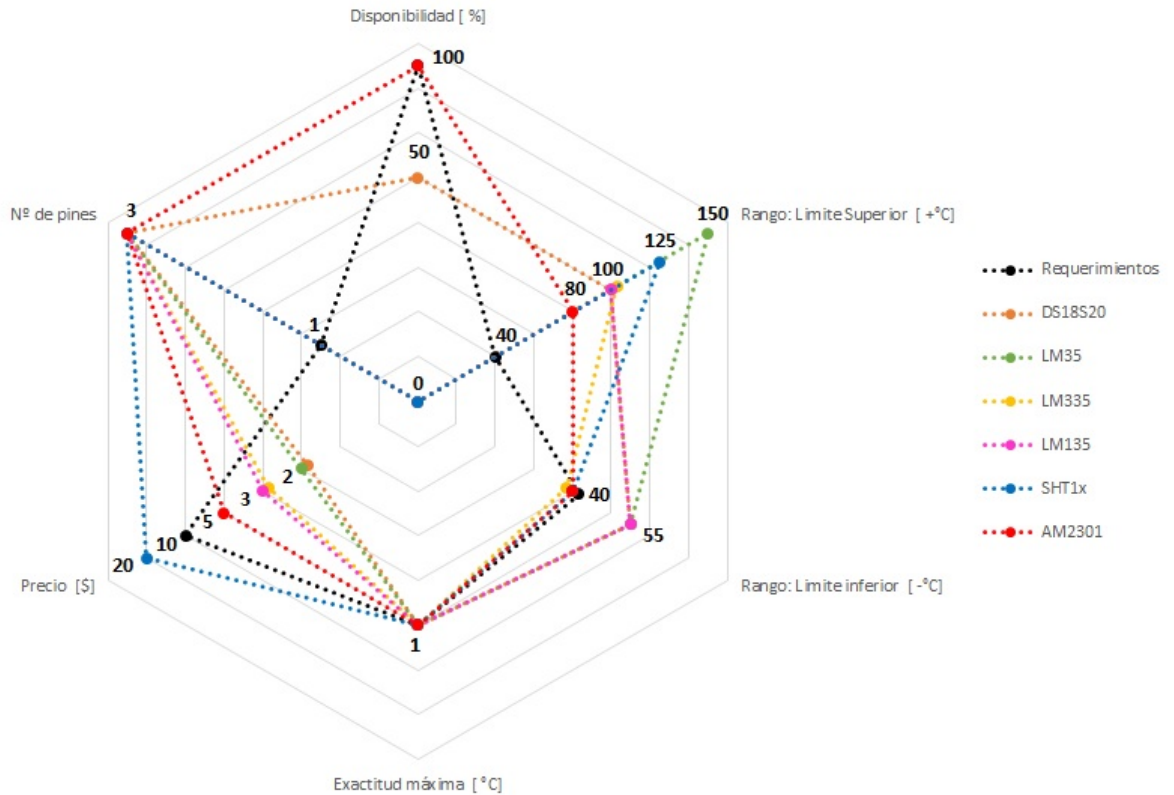


Figura 3.1. Diagrama araña de comparación de medidores de temperatura.

3.4.2. Selección del módulo GNSS

Observando la figura 3.2 todos los equipos menos el Geekstory 4G GPS tienen acceso a la red GPS, ya que este se conecta a la red GLONASS. El equipo Pre-Go 9T tiene acceso a todas las redes, mientras que el KEYESTUDIO SIM5320E solo tiene acceso al GPS y el A9G tiene acceso a GPS y Beidou. Viendo el precio de

los equipos solo entra en el intervalo el A9G, los otros exceden el costo. Revisando la disponibilidad, solo se encuentra disponible el A9G. Por lo tanto, el único que cumple todos los requisitos es el A9G de Ai-Thinker, el cual es el módulo GNSS seleccionado.

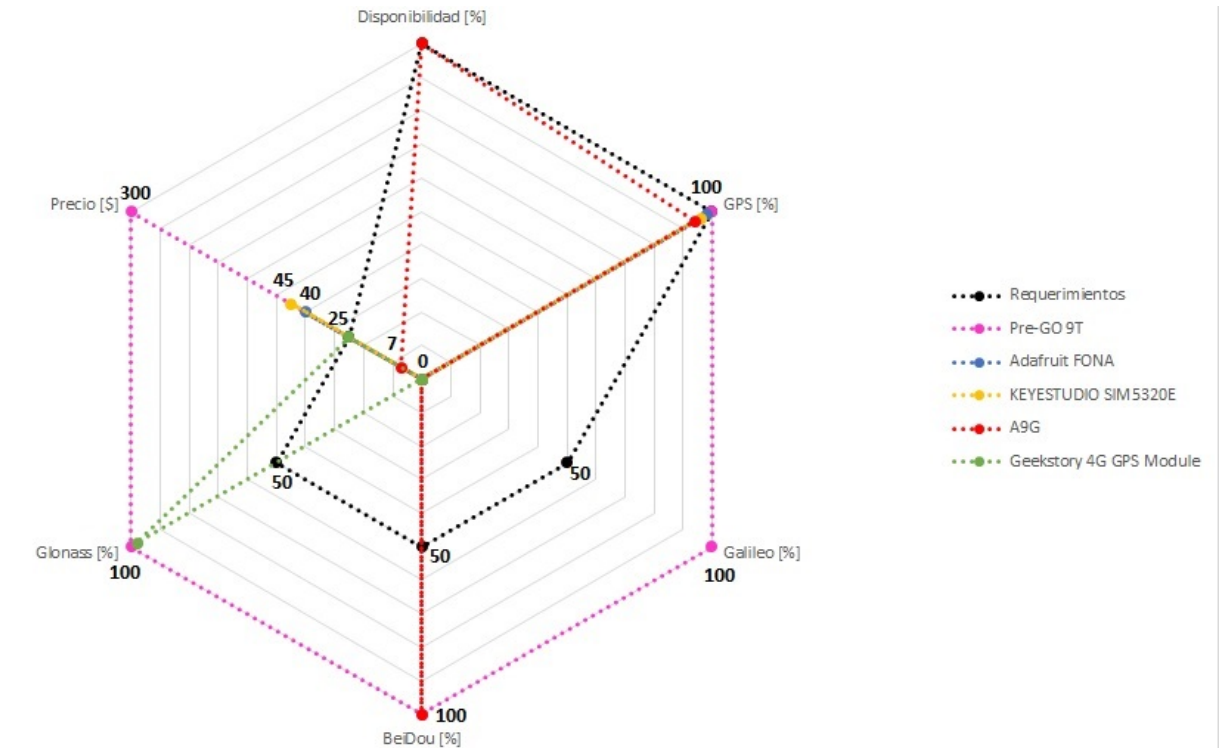


Figura 3.2. Diagrama araña de comparación de módulos GNSS.

3.4.3. Selección del módulo GSM

Al detallar la figura 3.3 se debe tener en cuenta que los requerimientos mínimos fijan un precio de 25 USD y que tenga red 2G, si posee GPRS, 3G o 4G serviría, pero excede los requerimientos. Con esto en cuenta, se detalla que todos son compatibles con la red 2G, todos menos el Adafruit FONA y el Boron tiene acceso a GPRS, todos menos el A9G y el SIM800l pueden conectarse a la red 3G y únicamente el Geekstory 4G GPS puede conectarse a 4G. Observando el precio,

los únicos equipos que cumplen son el Geekstory 4G GPS, el A9G y el TTGO T-Call SIM800L. Los equipos disponibles son el A9G y el TTGO T-Call SIM800L. Por lo tanto, una igualdad entre el módulo A9G y el TTGO T-call SIM800L, ya que son los equipos que cumplen todos los requerimientos, pero debido a que este último presenta un microcontrolador muy potente como lo es el ESP32 que permitiría integrar el sensor de temperatura y el módulo GNSS debido a que el A9G puede servir mediante comandos AT por conexiones en su puerto serial, entonces se escogerá el módulo TTGO T-call SIM800L.

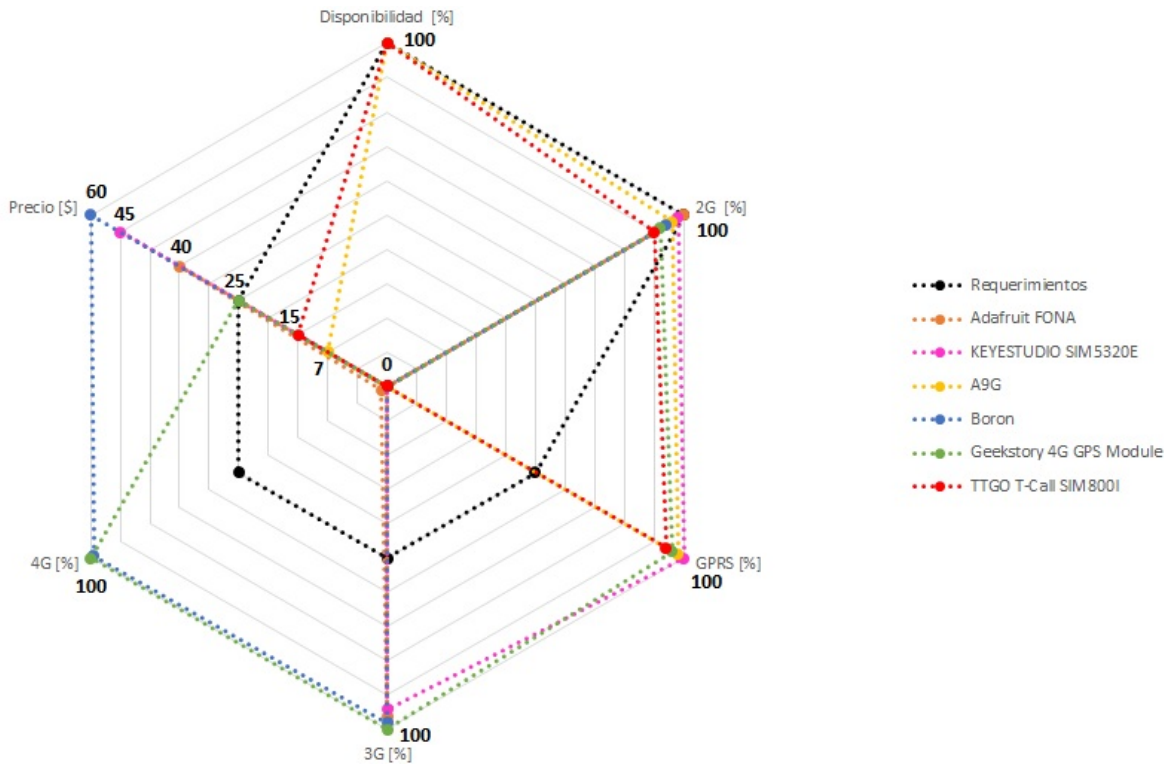


Figura 3.3. Diagrama araña de comparación de módulos GSM.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En este capítulo se explica como funciona el sistema y describe la manera en que está dispuesto el software para lograrlo.

4.1. Descripción del sistema

Partiendo de la premisa que todo el sistema va en un vehículo se debe tener en cuenta que la batería que tienen es de 12 V, por lo tanto hay que usar un convertidor de tensión DC-DC, teniendo a disposición el convertidor ajustable LM2596 (el cual posee una eficiencia en potencia mayor al 90 %) para alimentar tanto la tarjeta de desarrollo TTGO T-Call SIM800l como el A9G; se deben usar 2 convertidores porque estas tarjetas presentan picos de corriente de hasta 2 A, y convertidor DC-DC suministra hasta 3 A.

El ESP32 actuará como el microcontrolador principal del sistema, usando FreeRTOS debido a la variedad de ventajas que posee, haciéndolo ideal para organizar el flujo del sistema. Para encender el módulo A9G hay dos opciones: si se alimenta con 4,2 V en el pin VBAT, el ESP32 debe de estar conectado al pin power key del A9G y darle la señal de inicio; la otra opción es alimentar con 5 V en el pin VUSB, lo cual encenderá directamente el equipo sin necesidad de señal por el power key. Será usada la segunda configuración. Para alimentar la tarjeta de desarrollo TTGO T-call SIM800l se conecta los 5 V de salida de un convertidor LM2596 en el pin 5 V de la tarjeta. El SIM800l está conectado directamente en la

tarjeta de desarrollo con el ESP32 pero se debe prender igualmente mediante el pin de power key (PWR KEY) conectado al pin 4. El sensor de temperatura AM2301 necesita ir alimentado con los 3,3 V del ESP32 para responder en ese nivel de tensión y la línea de datos va conectada a un pin de entrada/salida (configurado como entrada) del microcontrolador principal. Los pines 27 y 26 del ESP32 están conectados internamente con el SIM800l en sus contactos de transmisión y recepción respectivamente, por lo que se les asigna al UART 1 estos puertos en el ESP32; por otro lado, el UART 2 se conecta con el puerto serial del módulo A9G, este último tiene su puerto para conectar la antena GPS. El sensor de la puerta va a ser una entrada binaria con resistencia de pull-up por lo que solo necesita estar conectado a un pin de entrada/salida (configurado como entrada) del ESP32, que debe monitorear su estado en todo momento. En forma más detallada se puede apreciar el diagrama de bloques del sistema en la figura 4.1.

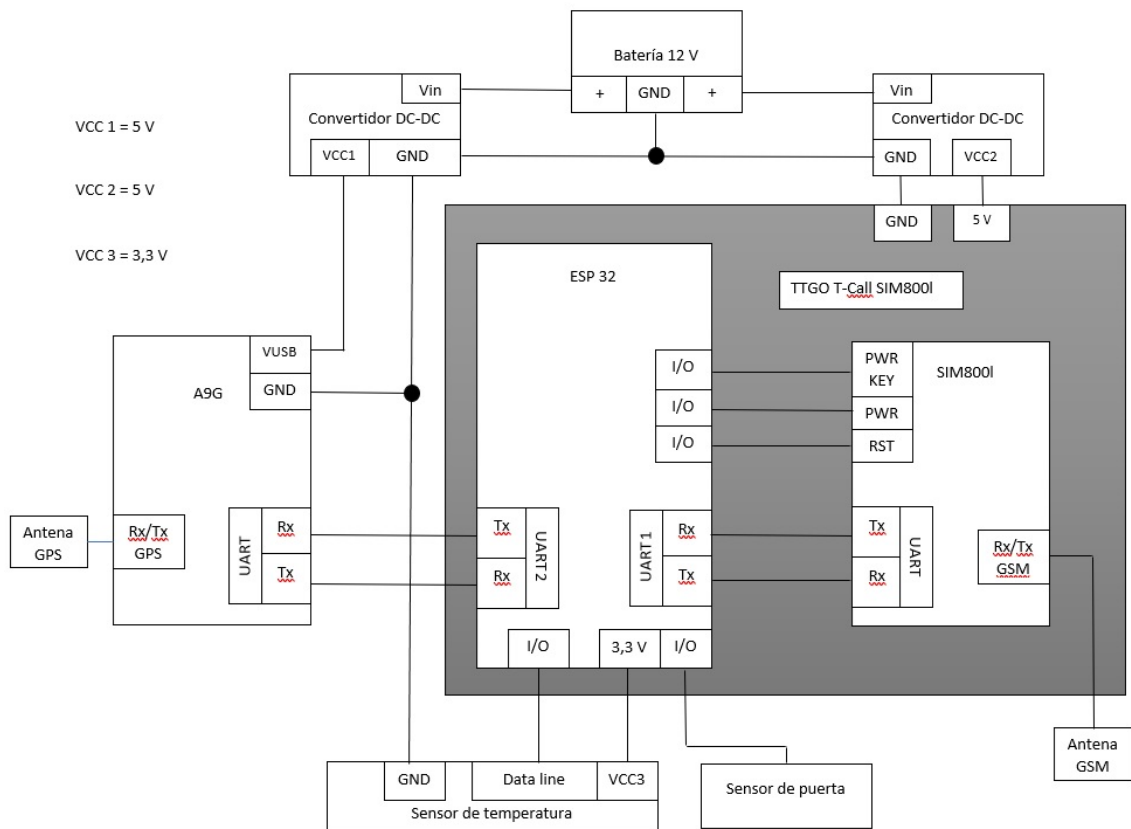


Figura 4.1. Diagrama de bloques del sistema.

4.2. Descripción del software

El software se divide en tres tareas principales las cuales son: medir temperatura, pedir los datos de posicionamiento global y enviar toda esta información. Aprovechando las ventajas del sistema operativo (FreeRTOS) la medición de temperatura y la obtención de datos de posicionamiento ocurren en simultáneo. Cuando se empiece a mandar los datos, las 3 tareas se harán simultáneamente. El software está dispuesto para que en la tarea de medir temperatura obtenga 16 datos haciendo un promedio cíclico con cada dato que obtiene cada 3 segundos enviándolos por cola y al llegar al 16vo dato envía una de las señales de sincronismo para activar la transmisión de datos. El FreeRTOS se usa en conjunto a las

herramientas del ESP-IDF, las cuales son necesarias para la compilación del ESP32; todo se trabaja en lenguaje de programación C desde el IDE Eclipse. Por otro lado, se darán los comandos AT al A9G por vía serial para prender el GPS/BDS y pedir los datos una vez se conecte, luego se organizarán enviándolos por cola cada uno y cuando tenga 10 datos dará la otra señal de sincronismo. En caso de que no se pueda conectar con el sensor de temperatura o con el A9G después de 10 intentos dará la señal de sincronismo y se enviará por cola la señal de error.

Cuando ambas señales de sincronismo estén activas, iniciará la tarea de mandar los datos y empezará a prender el SIM800l, luego a configurarlo para mandar la información, primero por mensaje de texto y posteriormente por GPRS a thingspeak; como el equipo va a estar encendido al mismo tiempo que el carro, no hace falta apagarlo con código, al apagar el carro se apagará el equipo. Thingspeak es una plataforma de Internet de las Cosas (IoT) de análisis que permite registrar, visualizar y analizar datos en tiempo real en la nube. Mientras está en este proceso de envío de información sigue pidiendo los datos de la temperatura y de la posición gracias al sistema operativo en tiempo real que permite realizar distintas acciones al mismo tiempo. Ambas señales de sincronismo también pueden ser dadas si la puerta se abre, y el equipo mandará la información que tenga momentos antes de mandar el mensaje después de configurar el SIM800l.

4.2.1. Obtención de datos GPS/BDS

La tarea de obtención de datos de posicionamiento global consiste en una máquina de estados que la primera vez que se ejecuta declara y configura variables, además envía un comando AT para reiniciar el módulo A9G en caso que se encuentre prendido. Seguido de esto la máquina envía en cada estado:

- AT: Envía el comando básico AT para que responda AT OK verificando que el dispositivo está encendido y se puede establecer comunicación con el mismo.
- AT+GPS=1: el segundo comando que envía para activar la comunicación con la red GNSS, a la cual debe responder AT+GPS=1 OK.
- AT+GPSRD=1 el tercer comando que envía solicita que empiece a transmitir por puerto serial los datos que recibe la antena GNSS, debe responder AT+GPSRD=1 OK.

Estos datos vienen en formato NMEA (National Marine Electronics Association) ya que es el estándar para esta clase de información, por lo tanto, hay que organizar los datos que llegan para que sean legibles.

Para cada envío de un comando se verifica que la respuesta sea la indicada para proseguir, pero en el caso de AT+GPSRD=1, luego de enviarlo, empieza directamente a organizar los datos que van llegando sin comprobar su respuesta. El string que contiene los datos contiene varias "oraciones" que empiezan por el carácter \$, las cuales son usados para dividir el string y tener acceso a cada oración por separado. Entre estas oraciones existe una que tiene el mínimo de datos recomendados (por la NMEA) para el posicionamiento global indicando la ubicación, el tiempo y la velocidad. Esta oración se conoce como RMC (Recommended minimum). Entonces, se empieza a dividir y guardar los datos que contiene la oración RMC con la siguiente máquina de estados:

```

1 for (int i = 0; i < 9; i++){
2     GPS_data->stage = i;
3     switch (GPS_data->stage){
4         case time_utc:
5             //Se guardan los datos del tiempo en la variable adecuada
6             break;

```

```

7  case Active:
8  //Se guardan el caracter que indica la conexion con la red
9  break;
10 case Latitude:
11 //Se guarda la latitud
12 break;
13 case Latitude_dir:
14 //Se guarda la direccion (Norte o Sur) de la latitud
15 break;
16 case Longitude:
17 //Se guarda la longitud
18 break;
19 case Longitude_dir:
20 //Se guarda la dirección (Este u Oeste) de la longitud
21 break;
22 case Nspeed:
23 //Se guarda la velocidad
24 break;
25 case Ndate:
26 //Se guarda la fecha
27 break;}}

```

CÓDIGO 4.1. Código para la organización de datos GNSS.

La antena GNSS recibe la latitud y la longitud en el formato *ddmm,mmmm* donde *d* representan los grados (o degree) y *m* representa los minutos. Para un manejo más sencillo de esta información se transforman los minutos a grados dividiéndolos por 60 y luego se les sumará a los grados para tener la latitud y la longitud en el formato único de grados.

Estos datos ya organizados se envían por cola a la tarea que mandará los datos; cuando tenga 10 oraciones organizadas, transmitirá la señal de sincronismo para poder iniciar dicha tarea.

En caso de no responder correctamente algún comando AT, incluyendo los casos en que no hay respuesta del módulo A9G, el equipo seguirá intentándolo hasta que al décimo intento infructuoso cambiará el estado de la variable de alarma y lo enviará por cola para después dar la señal de sincronismo. Luego enviará el comando AT+RST=1 para reiniciarlo.

4.2.2. Medición de temperatura

Para medir la temperatura se debe tener en cuenta que el sensor AM2301 toma mediciones cada 2 segundos, pero el software lo interrogará cada 3 segundos por seguridad. Para poder comunicarse con este sensor el pin de datos que se conecta desde la tarjeta de desarrollo TTGO T-call SIM800l se configura, temporalmente, como open-drain poniendo en un nivel lógico alto, luego se activa el multiplexor para evitar que se ejecute otra tarea hasta recibir todos los datos del sensor de temperatura evitando posibles errores. Para recibir los datos correctamente se sigue la secuencia según lo indica el manual ([31]) con los tiempos de espera adecuados para que los empiece la comunicación.

Cuando se tienen los datos se procede a organizar la información que llegó en binario transformándolo a decimal. Después, se le adiciona a un promedio cíclico el cual suma los valores anteriores con el nuevo y el resultado lo divide entre 16 para enviarlo por cola y dar la señal de sincronismo; este valor se considera aceptable por el tiempo que tarda en realizar las lecturas como para tener un valor promedio que puede evitar picos de lecturas erróneas. El valor de este promedio (después de las primeras 16 lecturas) es comparado con unos límites predeterminados para dar una señal de alarma si llega a sobrepasarlo. Además, si el sensor no respondiera correctamente o ni siquiera respondiera en los tiempos de espera correspondientes el intentará 10 veces lograr la comunicación, de lo contrario activará banderas de alarma, las enviará por cola y dará la señal de sincronismo para enviar los datos.

El código para organizar los datos que llegan del sensor es el siguiente:

```
1 for (int i = 0; i < 16; i++) {
2     //Esperar 3 segundos para que el sensor tome la medición
3     vTaskDelay(3000 / portTICK_PERIOD_MS);
4     //Usar la funcion que se comunica con el sensor
5     if (leerDHT(DHTpin, &humedad, &decimal_hum, &temperatura, &
6         decimal_temp, &signo_temp, &hum1, &temp1) == ESP_OK) {
7         //Guardar el valor de la humedad en un struct con los datos
8         Thum.Humedad[i] = (float) (hum1 + decimal_hum) / 10;
9         //Guardar el valor de la temperatura en un struct con los datos
10        Thum.Temperatura3[i] = (float) (temp1 + decimal_temp) / 10;
11        //Realizar el promedio
12        for (int j = 0; j < 16; j++) {
13            prom_hum += Thum.Humedad[j];
14            prom_temp += Thum.Temperatura[j];
15        }
16        //Guardar el promedio
17        Thum.Prom_hum = prom_hum / 16;
18        Thum.Prom_temp = prom_temp / 16;
19        //Enviar por cola los datos
20        xQueueOverwrite(xQueue_temp, &Thum); }
```

CÓDIGO 4.2. Código para la organización de datos del sensor de temperatura

4.2.3. Envío de datos

La tarea que envía de datos inicialmente espera la señal de sincronismo de las otras dos tareas. Inmediatamente después, envía el comando AT+CPOWD=1 para apagar el SIM800l en la primera vuelta en caso de que estuviera prendido, luego se prende el mismo equipo. Para encender el módulo SIM800l se debe mantener tanto el pin de reset (RST) como el de power (PWR) en nivel lógico alto, y luego variar el estado del pin power key (PWR KEY) para iniciarlo; luego

se le debe dar un tiempo para que se active y establezca comunicación con la radio base. El código para iniciar el SIM800l es el siguiente:

```
1  gpio_set_level(SIM800l_PWR, 1);
2  gpio_set_level(SIM800l_RST, 1);
3  gpio_set_level(SIM800l_PWR_KEY, 1);
4  vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS);
5  gpio_set_level(SIM800l_PWR_KEY, 0);
6  vTaskDelay(1000 / portTICK_PERIOD_MS);
7  gpio_set_level(SIM800l_PWR_KEY, 1);
8  vTaskDelay(7000 / portTICK_PERIOD_MS);
9
```

CÓDIGO 4.3. Código para encender del SIM800l

Posteriormente, solicita los datos que llegaron a la cola de los datos GNSS y los datos del sensor de temperatura. Simultáneamente, el programa está revisando el estado del pin conectado al sensor de la puerta, y si se abre entonces los datos los guardara en la memoria flash del ESP32. También escribirá en la memoria flash si la temperatura supera unos límites predeterminados. Posteriormente, mediante comandos AT se configurará el SIM800l para que envíe mensajes usando formato de mensaje de texto, luego enviará los mensajes correspondientes según los datos que llegaron por cola. Para el envío de mensajes se usarán los siguientes comandos:

- AT+CMGF=1: Para configurar que se enviaran mensajes de texto.
- AT+CPAS: Para verificar que se encuentra conectado a la radio base si responde +CPAS: 0.
- AT+CMGS="*"para enviar el mensaje de texto suplantando el * por el número destinatario.

Una vez termine de mandar los mensajes sin ningún inconveniente que conlleve a apagar el SIM800l, iniciará la configuración para conectarse a la red GPRS.

Cuando se conecte correctamente enviará los datos de temperatura, humedad y posición geográfica a thingspeak. Por último, se reinician las variables y se verifica que no se desconectó de la red GPRS o se apagara en el transcurso de la tarea, en caso de ser así, se activa una bandera para reiniciarlo en el siguiente ciclo. Cuando inicie el siguiente ciclo la señal de sincronismo ya debe estar activada. Para lograr la activación y comunicación con a la red GPRS se deben usar los siguientes comandos:

- AT+CFUN=1: este comando activa las funcionalidades del SIM800l.
- AT+CSTT="internet.movistar.ve","","": Para conectarse a la red de datos móviles de movistar, ya que fue la operadora usada en las pruebas.
- AT+CHCR: para activar el GPRS del SIM800l.
- AT+CGREG?: para verificar si se logra conectar a la red GPRS si responde +CGREG: 0,1.
- AT+CIFSR: para obtener la dirección IP asignada y verificar nuevamente que tiene acceso a internet mediante GPRS.

Si todos los comandos anteriores respondieron correctamente, se tienen que usar los siguientes para establecer una conexión con el servidor de thingspeak para enviar los datos mediante GPRS:

- AT+CIPSTART="TCP","api.thingspeak.com","80": para crear un socket TCP con thingspeak.
- AT+CIPSEND=: para indicar la cantidad de caracteres que se proseguirán a enviar, los cantidad se sustituyen por el *. Luego que responda se debe enviar GET `https://api.thingspeak.com/update?api_key=*&field*=`

***, sustituyendo * por la API Key del usuario, ** por el campo sobre el cual se quiere escribir y *** por el valor a subir. También se puede usar POST.

CAPÍTULO V

PRUEBAS EXPERIMENTALES

En este capítulo se describen las pruebas realizadas, se muestran los resultados y análisis de dichas pruebas.

5.1. Verificación del funcionamiento

Para realizar las pruebas del sistema y constatar que los datos de temperatura obtenidos son válidos se usó el equipo VE-DS18B20, un termómetro digital que mide temperaturas entre $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ calibrado para tener una tolerancia de $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el intervalo de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para determinar la posición geográfica en las pruebas estáticas, se buscaron las coordenadas que define Google Maps, las cuales son latitud 10,509476 y longitud -66,904057; el signo menos en la longitud significa que está en la dirección Oeste. La humedad es registrada por el equipo y enviada por mensaje de texto y por GPRS, pero no se consideró importante para este proyecto por lo que se omitió de los análisis. La longitud en todas las tablas de este capítulo aparecerán sin el signo negativo porque en todos los datos registrados indica explícitamente que es dirección Oeste; también la latitud indica explícitamente que es dirección Norte. Además, los mensajes de texto recibidos cuando se conectaba a la red GNSS siempre indicaban la fecha y hora correctas. La temperatura a medir en las pruebas es temperatura ambiente al no poseer una unidad refrigerada, fijando un rango válido entre $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $29\text{ }^{\circ}\text{C}$; en caso de salir de estos límites el equipo manda la señal de alerta. El

camión, al no tener una carga específica, se asume que la misma puede soportar al menos 1 °C de diferencia respecto al valor de referencia del termómetro digital con el AM2301 sin verse afectada.

Hay que tener en cuenta en todo momento que la antena GSM al operar en 2G debe encontrarse en un área que sea compatible con esta red, además, debe ubicarse en un lugar abierto para poder conectarse sin inconvenientes. A su vez, la antena GNSS siempre debe evitar estar en un lugar bloqueado por objetos cercanos, ya que esto puede impedir que se conecte a la constelación de satélites GNSS inutilizando el módulo.

Se debe mencionar que la precisión del GPS en condiciones óptimas es de 3 metros en horizontal y 5 metros en vertical [39], Beidou es igual de precisa [7], pero se debe tener en cuenta los efectos atmosféricos que pueden presentar junto al rebote de la señal en estructuras cercanas ya que pueden generar errores en las mediciones. Por lo tanto, las mediciones de las pruebas estáticas se espera que estén dentro de un radio de 75 m de la posición actual, la cual está representada con una estrella roja en las siguientes figuras en del capítulo 5, considerando esta distancia lo suficientemente cercana para conocer la ubicación con el equipo en uso. Dichas figuras representan la localización geográfica con los datos obtenidos ingresándolos con el formato correcto en la página web <https://www.gpsvisualizer.com> la cual tiene distintas herramientas gratuitas para manejar datos de geolocalización.

Para las pruebas en donde se realizan el tracking de un vehículo, el prototipo se colocó dentro del mismo, en la parte posterior a los asientos traseros, ya que en ese lugar puede conectarse a la red GNSS y la red GSM sin inconvenientes, si estaba en la parte anterior de los asientos no lograba conectarse en todas las oportunidades.

5.2. Prueba 1

Para la primera prueba se dejó el prototipo funcionando por 30 minutos con el equipo estático registrando todas las mediciones realizadas de posición y temperatura, estos datos se pueden ver en la tabla 5.1. Comparando los rangos de tolerancia de las mediciones del sensor AM2301 con el VE-DS18B20, se observa que el 96 % de ellas se interceptan, lo que equivale a 23 de 24 mediciones dando valores válidos; el caso que no se intercepta tiene un error absoluto de 0,6 °C la cual es una diferencia aceptable para la carga asumida. Al no superar los límites de temperatura no envió la señal de alerta; tampoco se envió la alerta por la puerta ya que no fue abierta durante la prueba. El envío de datos se hizo aproximadamente cada 90 segundos, aunque esto varía según la conexión con la red GSM y el tiempo de respuesta de thingspeak.

Realizando la comparación de la posición actual del equipo con respecto a los datos obtenidos como se ve en la figura 5.1, queda claro que hay un margen de error en las lecturas del módulo GNSS. Independientemente del error presente, los datos obtenidos son aceptables ya que 100 % las mediciones están en el radio de 75 m, dando lecturas válidas. En la figura 5.2 se puede ver como quedaron registrados los datos en thingspeak, aunque para el momento la temperatura no enviaba por GPRS la parte decimal, pero si era enviada por mensaje de texto.

Tabla 5.1. Resultados prueba 1.

Latitud [°]	Longitud [°]	Temperatura AM2301 [°C]	Temperatura VE-DS18B20 [°C]
10,509080	66,904480	$26,4 \pm 0,3$	$26,3 \pm 0,1$
10,509175	66,904083	$26,7 \pm 0,3$	$26,7 \pm 0,1$
10,509298	66,904091	$26,9 \pm 0,3$	$26,8 \pm 0,1$
10,509031	66,904251	$27,0 \pm 0,3$	$26,9 \pm 0,1$
10,509171	66,904259	$27,2 \pm 0,3$	$27,2 \pm 0,1$
10,509073	66,904305	$27,4 \pm 0,3$	$27,4 \pm 0,1$
10,509580	66,904213	$26,9 \pm 0,3$	$27,0 \pm 0,1$
10,509104	66,904274	$26,8 \pm 0,3$	$26,8 \pm 0,1$
10,509080	66,904434	$27,0 \pm 0,3$	$26,9 \pm 0,1$
10,509140	66,904465	$26,9 \pm 0,3$	$27,5 \pm 0,1$
10,509957	66,904427	$26,9 \pm 0,3$	$26,9 \pm 0,1$
10,509915	66,904289	$27,0 \pm 0,3$	$27,0 \pm 0,1$
10,509015	66,904312	$27,1 \pm 0,3$	$27,2 \pm 0,1$
10,509899	66,904388	$27,1 \pm 0,3$	$27,1 \pm 0,1$
10,509171	66,904442	$27,1 \pm 0,3$	$27,0 \pm 0,1$
10,509883	66,904488	$27,3 \pm 0,3$	$27,2 \pm 0,1$
10,509859	66,904503	$27,3 \pm 0,3$	$27,3 \pm 0,1$
10,509011	66,904366	$27,3 \pm 0,3$	$27,3 \pm 0,1$
10,509922	66,904526	$27,1 \pm 0,3$	$27,1 \pm 0,1$
10,509985	66,904434	$27,3 \pm 0,3$	$27,2 \pm 0,1$
10,509821	66,904617	$27,2 \pm 0,3$	$27,2 \pm 0,1$
10,509747	66,904480	$27,2 \pm 0,3$	$27,1 \pm 0,1$
10,509162	66,904289	$27,1 \pm 0,3$	$27,1 \pm 0,1$
10,509125	66,904480	$27,1 \pm 0,3$	$27,0 \pm 0,1$

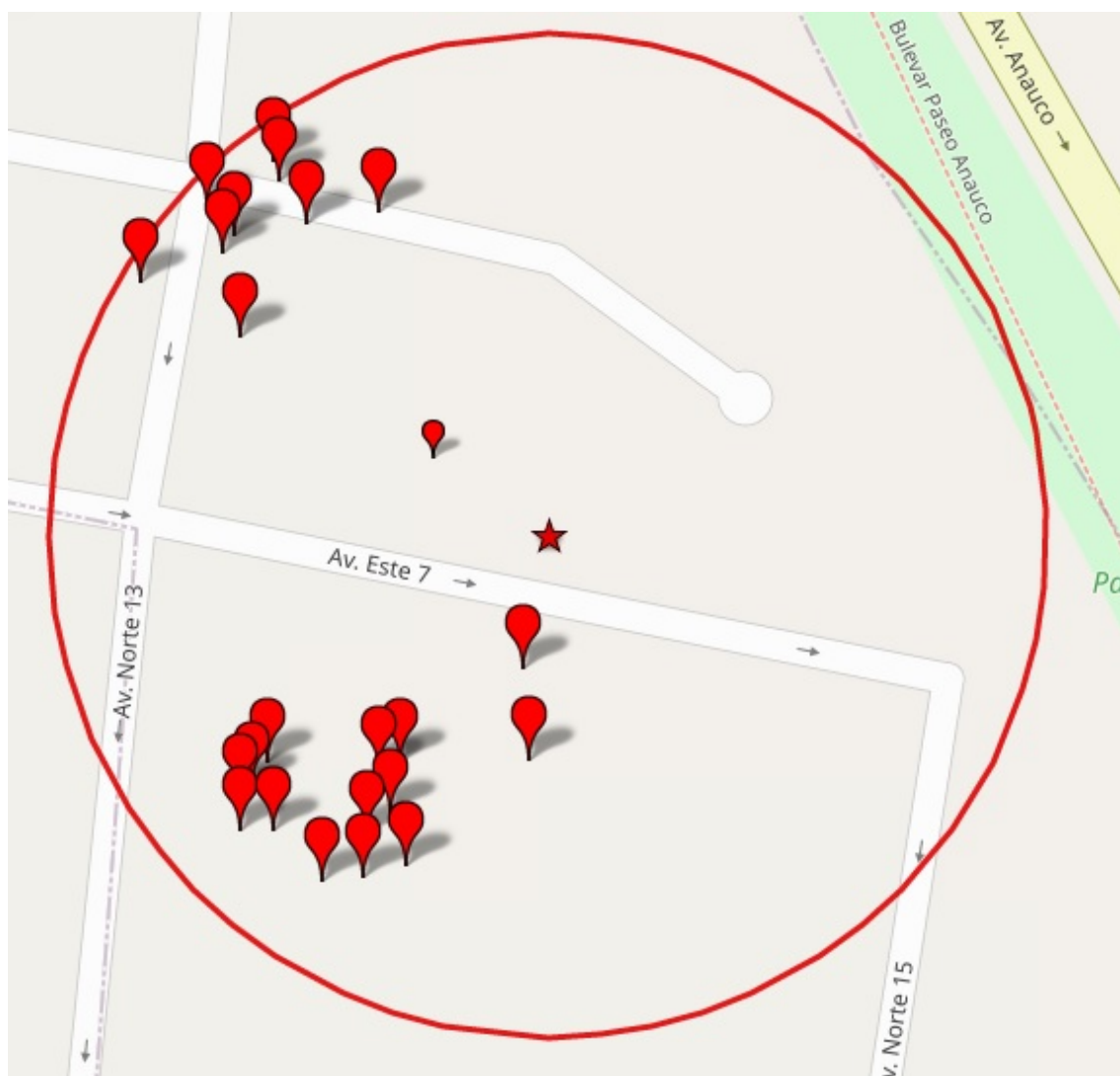


Figura 5.1. Resultados de la posición en la prueba 1.

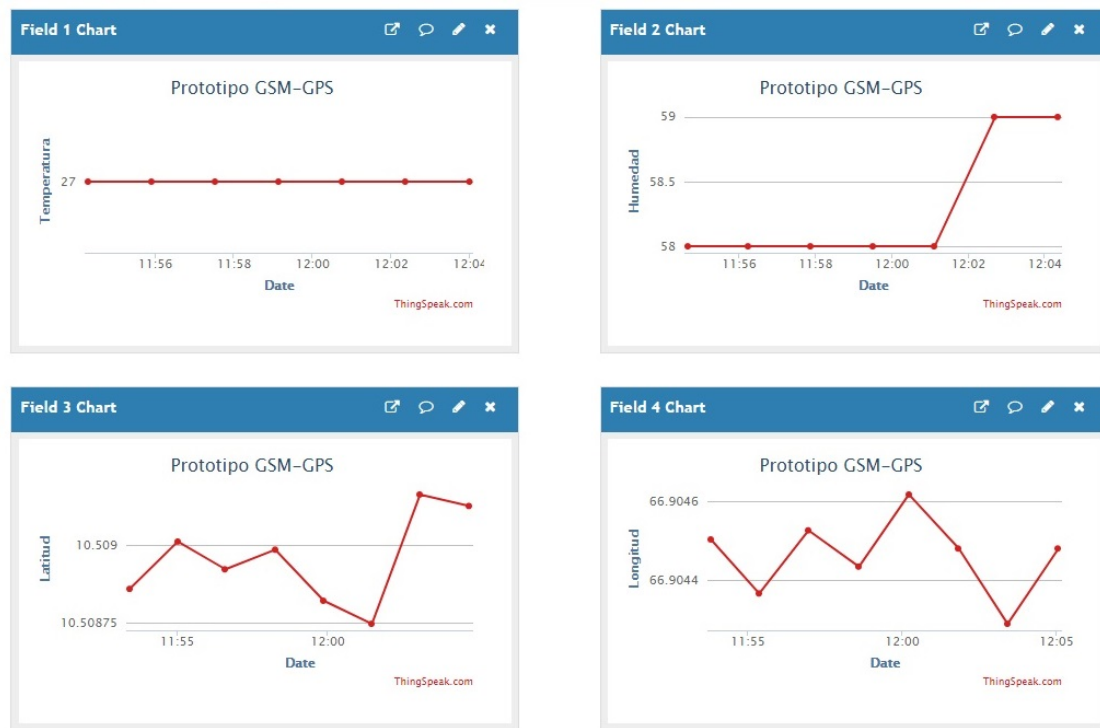


Figura 5.2. Datos registrados en thingspeak en la prueba 1.

5.3. Prueba 2

En la segunda prueba el equipo estuvo en la misma posición por 3 horas, donde a pesar de que la transmisión de la información es aproximadamente cada minuto con treinta segundos, se registraron en un intervalo de 15 minutos y se presentan en la tabla 5.2. Comparando los datos obtenidos del sensor AM2301 con el equipo de verificación se puede ver que los intervalos se interceptan en 11 mediciones, que representan el 84,62 % de las 13 mediciones realizadas. En los casos contrarios, en promedio, la temperatura tiene un error absoluto de 0,55 °C lo cual no afecta a la carga asumida. En este caso sí se probó activar la señal de la puerta, la cual respondió correctamente enviando una alerta por mensaje de texto y por GPRS a thingspeak. La alerta de temperatura también se activó correctamente cuando

registró una temperatura mayor a 29 °C.

Observando la figura 5.3 se puede ver que los datos respecto a la posición geográfica en donde 6 mediciones están dentro de los 75 m, por lo que el 54 % restante de las mediciones están a mayores distancias. Hay 3 mediciones que están en a una distancia entre 100 m y 75 m, dos mediciones que están entre 125 m y 100 m, una a aproximadamente a 150 m y la otra medición (la segunda de la tabla) a aproximadamente 625 m de la posición actual. Esta última muestra que el equipo puede presentar picos de lecturas incorrectas que distan mucho de la ubicación real. Todas las mediciones que se encuentran fuera de los 75 m pudieron ser afectadas por el rebote de la señal en los edificios cercanos o las condiciones atmosféricas al momento de las mediciones.

Tabla 5.2. Resultados prueba 2.

Latitud [°]	Longitud [°]	Temperatura AM2301 [°C]	Temperatura VE-DS18B20 [°C]
10,509140	66,903336	29,0 ± 0,3	29,6 ± 0,1
10,511625	66,908897	28,5 ± 0,3	28,6 ± 0,1
10,508955	66,905304	28,9 ± 0,3	28,9 ± 0,1
10,509073	66,904388	29,2 ± 0,3	29,2 ± 0,1
10,509421	66,904816	29,4 ± 0,3	29,3 ± 0,1
10,509294	66,903809	29,5 ± 0,3	29,4 ± 0,1
10,508991	66,904404	27,8 ± 0,3	28,0 ± 0,1
10,509070	66,904610	27,7 ± 0,3	28,2 ± 0,1
10,509011	66,904877	27,6 ± 0,3	27,7 ± 0,1
10,509202	66,904861	27,3 ± 0,3	27,4 ± 0,1
10,509085	66,905090	27,4 ± 0,3	27,4 ± 0,1
10,509070	66,904574	27,1 ± 0,3	27,0 ± 0,1
10,509011	66,903909	26,9 ± 0,3	26,9 ± 0,1

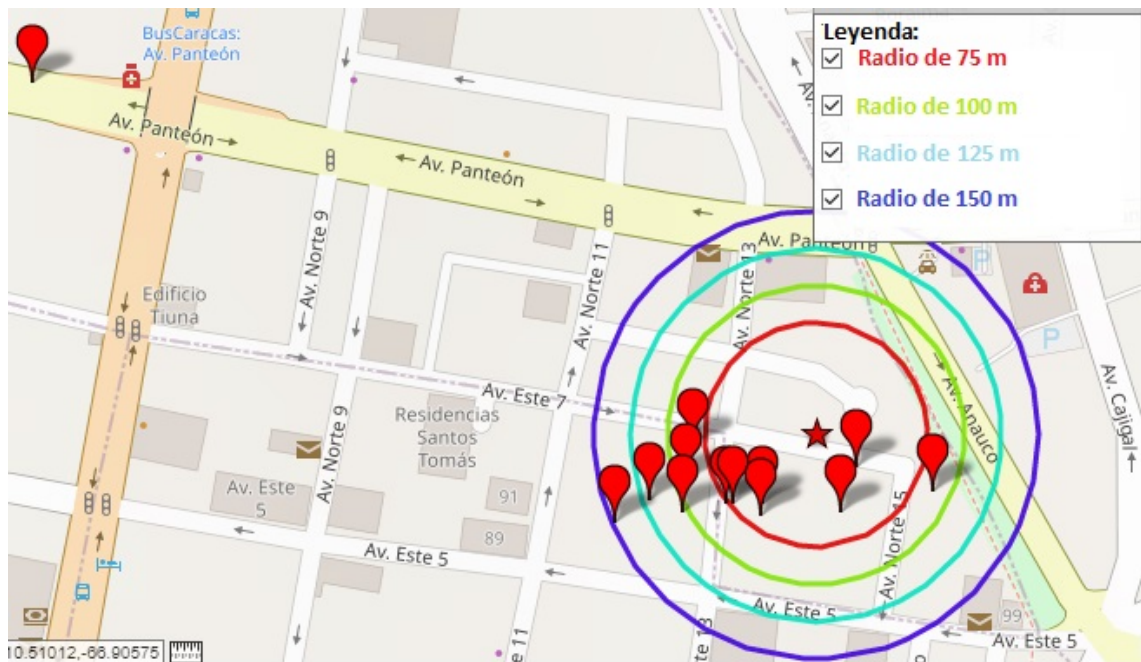


Figura 5.3. Resultados de la posición en la prueba 2.

5.4. Prueba 3

La prueba 3 tuvo una duración de 5 horas con el equipo estático registrando los datos cada 20 minutos, estos se pueden ver en la tabla 5.3. Comparando la temperatura medida por el AM2301 y el VE-DS18B20 se observa que los intervalos de tolerancia de ambas mediciones se interceptan en 93,75 %, lo que equivale a 15 mediciones de 16. La medición de temperatura que no entró en los rangos válidos tiene un error absoluto de 0,5 °C, por lo que la carga asumida no presentará ningún inconveniente con esa variación. Las alertas por la puerta abierta y por superar el límite de temperatura respondieron correctamente en todos los casos respectivos. En la figura 5.4 se ven los datos de la posición, donde 7 mediciones están dentro del radio de 75 m, 8 lecturas están entre 100 m y 75 m y una aproximadamente

a 100 m.

Tabla 5.3. Resultados prueba 3.

Latitud [°]	Longitud [°]	Temperatura AM2301 [°C]	Temperatura VE-DS18B20 [°C]
10,509710	66,904007	25,7 ± 0,3	25,7 ± 0,1
10,509267	66,904358	25,6 ± 0,3	25,7 ± 0,1
10,509113	66,904572	25,6 ± 0,3	25,6 ± 0,1
10,509625	66,904068	26,4 ± 0,3	26,4 ± 0,1
10,509149	66,904823	25,9 ± 0,3	26,0 ± 0,1
10,509227	66,904594	27,0 ± 0,3	27,1 ± 0,1
10,509104	66,904770	26,6 ± 0,3	26,8 ± 0,1
10,509033	66,904541	27,0 ± 0,3	26,9 ± 0,1
10,509078	66,904785	27,0 ± 0,3	26,8 ± 0,1
10,509193	66,904976	27,7 ± 0,3	27,5 ± 0,1
10,509190	66,904747	27,8 ± 0,3	28,0 ± 0,1
10,509062	66,904854	27,7 ± 0,3	28,1 ± 0,1
10,509830	66,904694	28,3 ± 0,3	28,1 ± 0,1
10,509948	66,904297	28,4 ± 0,3	28,4 ± 0,1
10,509171	66,904716	28,6 ± 0,3	29,1 ± 0,1
10,509220	66,904724	29,1 ± 0,3	29,0 ± 0,1



Figura 5.4. Resultados de la posición en la prueba 3.

5.5. Prueba 4

Para la prueba 4 se dejó el equipo estático 12 horas obteniendo los datos que fueron registrados cada 30 minutos como se ve en la tabla 5.4. Las alertas por temperatura y por la puerta abierta fueron enviadas correctamente en los casos respectivos. Los mediciones de temperatura del equipo VE-DS18B20 y del sensor AM2301 se interceptan en 22 casos (88 %). Las lecturas que no se interceptan tienen un error absoluto en promedio de 0,56 °C, lo cual no afectaría a la carga asumida.

En la figura 5.5 se ven las posiciones registradas, obteniendo 68 % de los resultados en la zona interna de 75 m, lo que representa 17 mediciones; 4 lecturas están entre 100 m y 75 m, 1 se encuentra entre 125 m y los 100 y 3 se encuentran a aproximadamente 300 m de la posición actual.

Tabla 5.4. Resultados prueba 4.

Latitud [°]	Longitud [°]	Temperatura AM2301 [°C]	Temperatura VE-DS18B20 [°C]
10,508563	66,906815	25,1 ± 0,3	25,0 ± 0,1
10,510154	66,903664	24,8 ± 0,3	24,9 ± 0,1
10,509468	66,904221	25,7 ± 0,3	25,4 ± 0,1
10,507490	66,907074	26,0 ± 0,3	25,5 ± 0,1
10,509187	66,904526	26,3 ± 0,3	26,2 ± 0,1
10,509334	66,904251	26,9 ± 0,3	26,9 ± 0,1
10,509187	66,904404	28,1 ± 0,3	28,1 ± 0,1
10,509233	66,904366	28,0 ± 0,3	27,9 ± 0,1
10,509517	66,904648	28,5 ± 0,3	28,5 ± 0,1
10,509422	66,904652	28,3 ± 0,3	28,2 ± 0,1
10,508220	66,906567	28,9 ± 0,3	28,3 ± 0,1
10,509922	66,904434	29,3 ± 0,3	29,2 ± 0,1
10,509354	66,904742	30,2 ± 0,3	30,0 ± 0,1
10,509245	66,904480	29,4 ± 0,3	29,5 ± 0,1
10,509760	66,904450	29,0 ± 0,3	29,1 ± 0,1
10,509212	66,904312	28,2 ± 0,3	28,2 ± 0,1
10,509091	66,904846	27,3 ± 0,3	27,9 ± 0,1
10,509122	66,904503	26,5 ± 0,3	26,7 ± 0,1
10,509984	66,904587	26,0 ± 0,3	25,9 ± 0,1
10,509345	66,904526	25,5 ± 0,3	25,6 ± 0,1
10,509225	66,904411	25,2 ± 0,3	25,0 ± 0,1
10,509225	66,904457	25,2 ± 0,3	25,0 ± 0,1
10,509153	66,904228	24,7 ± 0,3	24,9 ± 0,1
10,509937	66,904933	24,5 ± 0,3	24,7 ± 0,1
10,509170	66,904510	24,9 ± 0,3	24,8 ± 0,1



Figura 5.5. Resultados de la posición en la prueba 4.

5.6. Prueba 5

En esta prueba se realizó el tracking de un vehículo particular. En la figura 5.6 se pueden observar los resultados de la posición de la misma, en ella, la línea roja indica el camino recorrido, la estrella amarilla señala la posición inicial, la estrella verde la posición final y las señalizaciones rojas indican la posición registrada por el prototipo. Los datos fueron enviados aproximadamente cada 1 minuto con 30 segundos. Todas las mediciones de posición corresponden correctamente al trayecto realizado; las 3 medidas seguidas se deben a congestionamiento vehicular que ocasionaron un retraso para llegar al punto final, logrando poder registrar esa

cantidad de datos. Por lo tanto, todas las mediciones registradas se consideran correctas.

En la tabla 5.5 se pueden ver los resultados obtenidos de la medición de temperatura y de posición geográfica. Se debe acotar que antes de iniciar el prototipo se encontró bajo el sol por aproximadamente 15 minutos en la zona trasera interna del vehículo. De las 6 mediciones realizadas, 5 se encuentran en los intervalos válidos (83,33 %) y solo uno no lo es presentando un error absoluto de 0,5 °C, valor que es aceptable para la carga asumida.

En la figura 5.7 se aprecian los datos subidos a thingspeak por GPRS en el trayecto realizado, comprobando que sí se pudo conectar a esta red. A su vez, envió correctamente todos los datos por mensaje de texto. La señal de alarma por puerta abierta se activó y fue enviada correctamente en los casos que ocurrió. La alerta por pasar los límites de la temperatura estuvo activa en todas las mediciones ya que superó el límite de 29 °C.

Tabla 5.5. Resultados prueba 5.

Latitud [°]	Longitud [°]	Temperatura AM2301 [°C]	Temperatura VE-DS18B20 [°C]
10,504967	66,887817	45,0 ± 0,3	45,3 ± 0,1
10,504771	66,893806	44,4 ± 0,3	44,5 ± 0,1
10,505988	66,903839	43,5 ± 0,3	43,0 ± 0,1
10,506211	66,905083	42,1 ± 0,3	41,9 ± 0,1
10,506224	66,905960	40,9 ± 0,3	40,9 ± 0,1
10,509425	66,904239	39,8 ± 0,3	39,9 ± 0,1

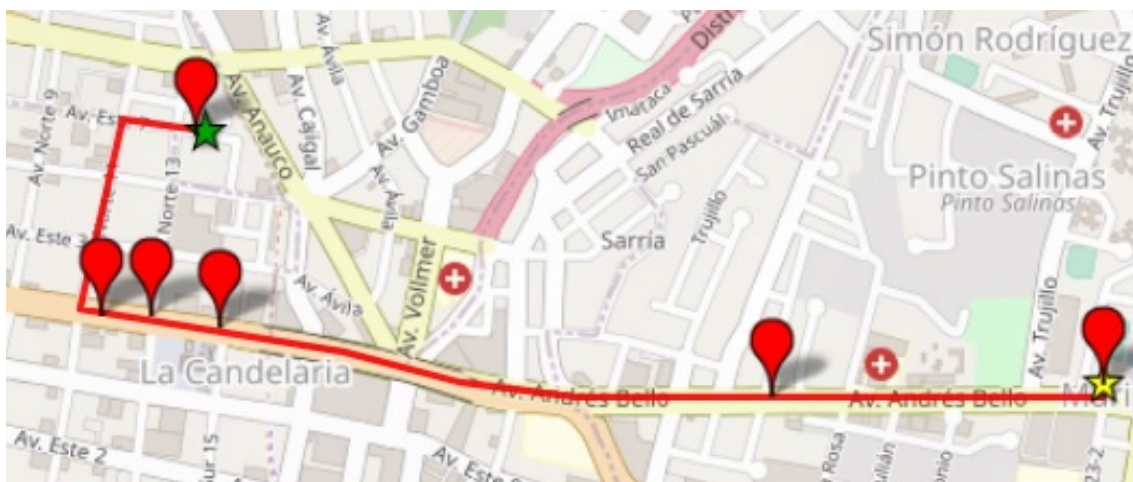


Figura 5.6. Resultados del tracking en la prueba 5.

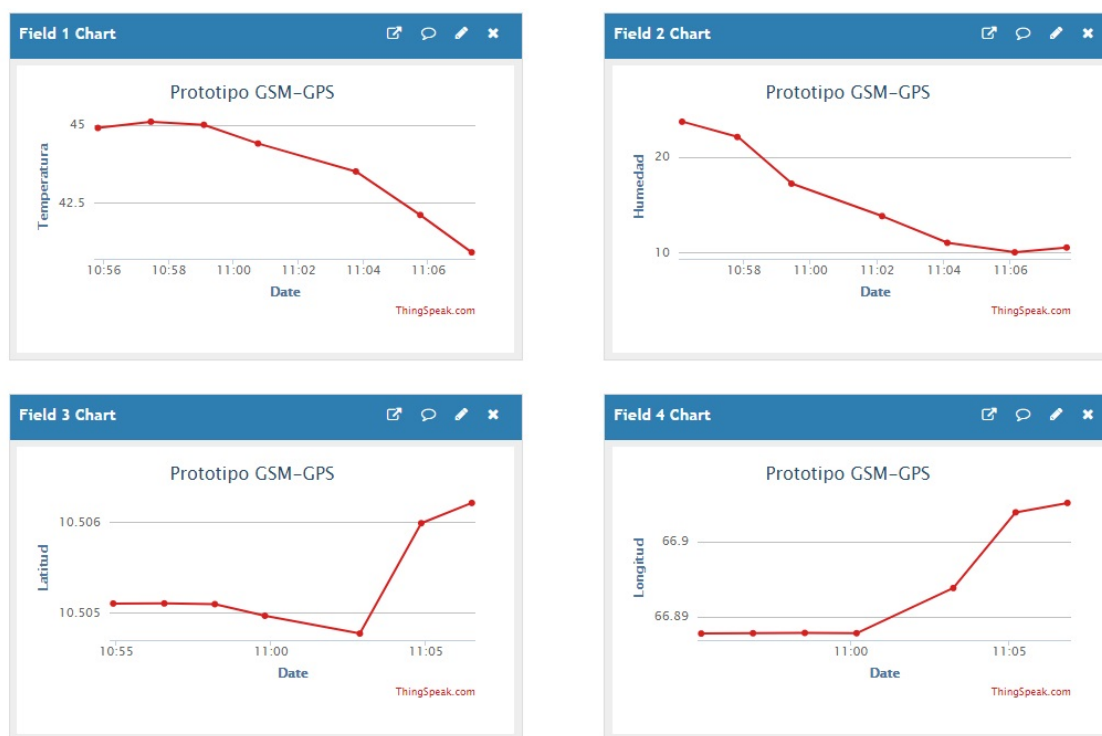


Figura 5.7. Resultados de los datos subidos a thingspeak de la prueba 5.

5.7. Prueba 6

En esta prueba se verificó el funcionamiento del equipo haciendo tracking a un vehículo que partió de un lugar techado donde el sol no lo tocaba. En la tabla 5.6 están las mediciones registradas por el equipo en el trayecto. En la figura 5.8 están graficados los datos de posición con el trayecto hecho representados por la línea roja y la línea azul; hay dos porque se retornó por el canal contrario en ciertas avenidas y colocando color distinto se busca diferenciar cuando se circuló por cada zona. Las señalizaciones rojas son las mediciones de posición registrada y el amarillo es el punto de partida y de llegada del recorrido. En esta medición se buscó una mayor precisión solicitando 8 cifras significativas tanto como para la longitud como para la latitud. Las figuras 5.9 y 5.10 son un acercamiento en las zonas de interés de la figura 5.8, en ellas se puede comprobar que los puntos registrados son válidos ya que se ubican correctamente en las calles y avenidas recorridas. El espacio central de la figura 5.8 no tiene ninguna señalización, esto se debe a que las conexiones con la red GPRS a veces fallan provocando que el equipo se quede esperando respuesta de la radio base o del servidor de thingspeak al enviar los datos, por ende, retrasando el envío de los mismos hasta tener respuesta.

De la tabla 5.6 se aprecia que se realizaron 17 mediciones en total. Los datos de temperatura poseen 14 valores que interceptan las mediciones entre el sensor AM2301 y el VE-DS18B20 (82,35 %), con solo 3 valores que no se interceptan con un error absoluto en promedio de 0,43 °C, valor que no tendría consecuencias en la carga asumida ya que no es un error mayor a 1 °C. En consecuencia, los valores recogidos por el sensor AM2301 son considerados válidos.

En la figura 5.11 están los datos subidos a thingspeak mediante GPRS, comprobando que se logró la conexión a la red; además, se pudo verificar en el teléfono de destino que la información llega correctamente (ver figura 5.12). Los datos

fueron enviados aproximadamente cada 1 minuto con 30 segundos (sin contar la zona donde no se recibieron datos). La señal de alarma por puerta abierta no fue activada en el trayecto por lo que no hay ningún registro ni por mensaje de texto como en thingspeak. La alerta por pasar los límites de la temperatura estuvo activa en los casos correspondientes al superar el límite de 29 °C.

Tabla 5.6. Resultados prueba 6.

Latitud [°]	Longitud [°]	Temperatura AM2301 [°C]	Temperatura VE-DS18B20 [°C]
10.50902129	66.90353842	26,7 ± 0,3	26,7 ± 0,1
10.49417686	66.86186218	35,3 ± 0,3	35,0 ± 0,1
10.49759483	66.85915375	37,5 ± 0,3	37,0 ± 0,1
10.49775505	66.85531616	37,5 ± 0,3	37,1 ± 0,1
10.49659348	66.85258484	37,9 ± 0,3	37,6 ± 0,1
10.49470997	66.85237122	37,7 ± 0,3	37,7 ± 0,1
10.49358368	66.85194397	37,2 ± 0,3	37,5 ± 0,1
10.49030972	66.85106659	37,2 ± 0,3	37,3 ± 0,1
10.49062634	66.85501862	36,6 ± 0,3	37,0 ± 0,1
10.49105644	66.85873413	36,2 ± 0,3	36,5 ± 0,1
10.50600529	66.90361023	36,7 ± 0,3	36,6 ± 0,1
10.50617313	66.90558624	37,6 ± 0,3	37,5 ± 0,1
10.50692368	66.91013336	39,1 ± 0,3	39,0 ± 0,1
10.50734138	66.91277313	41,0 ± 0,3	41,1 ± 0,1
10.50884819	66.91574860	43,5 ± 0,3	43,2 ± 0,1
10.51119709	66.91310883	45,0 ± 0,3	44,9 ± 0,1
10.51076152	66.90516967	44,7 ± 0,3	44,8 ± 0,1

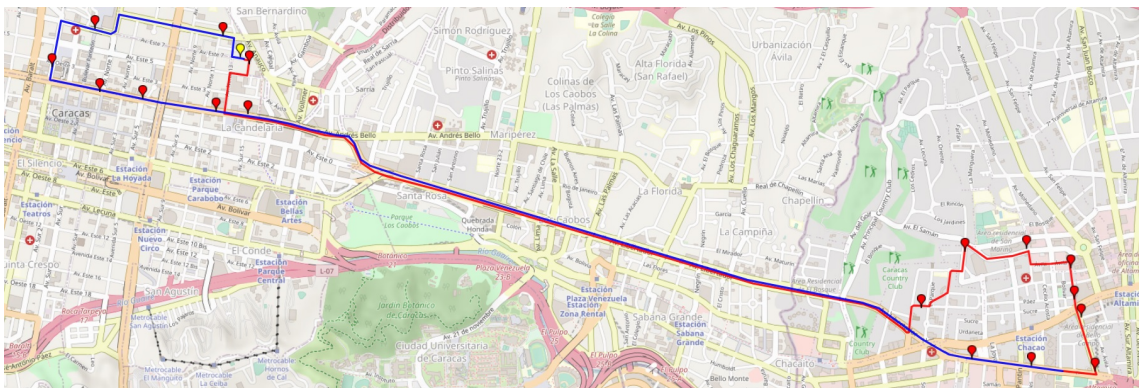


Figura 5.8. Resultados de la posición en la prueba 6 completo.

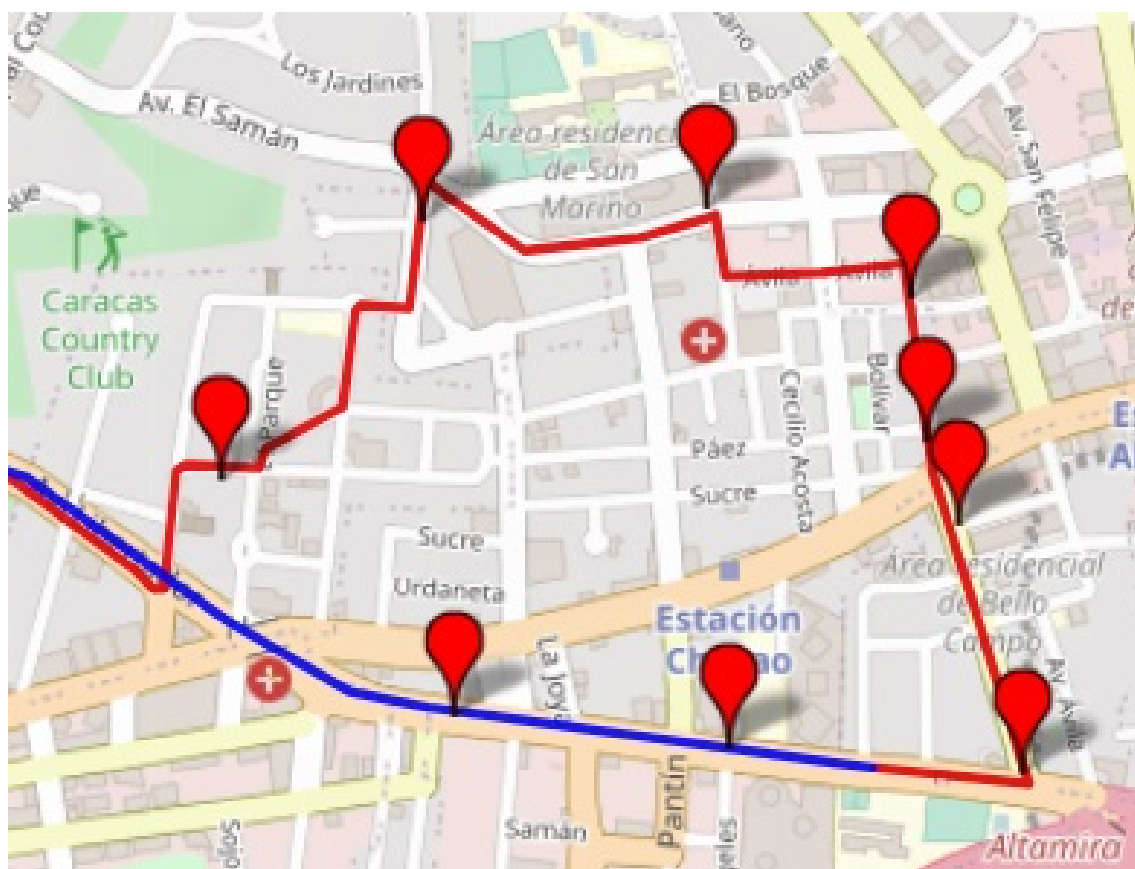


Figura 5.9. Resultados de la posición en la prueba 6, parte derecha.

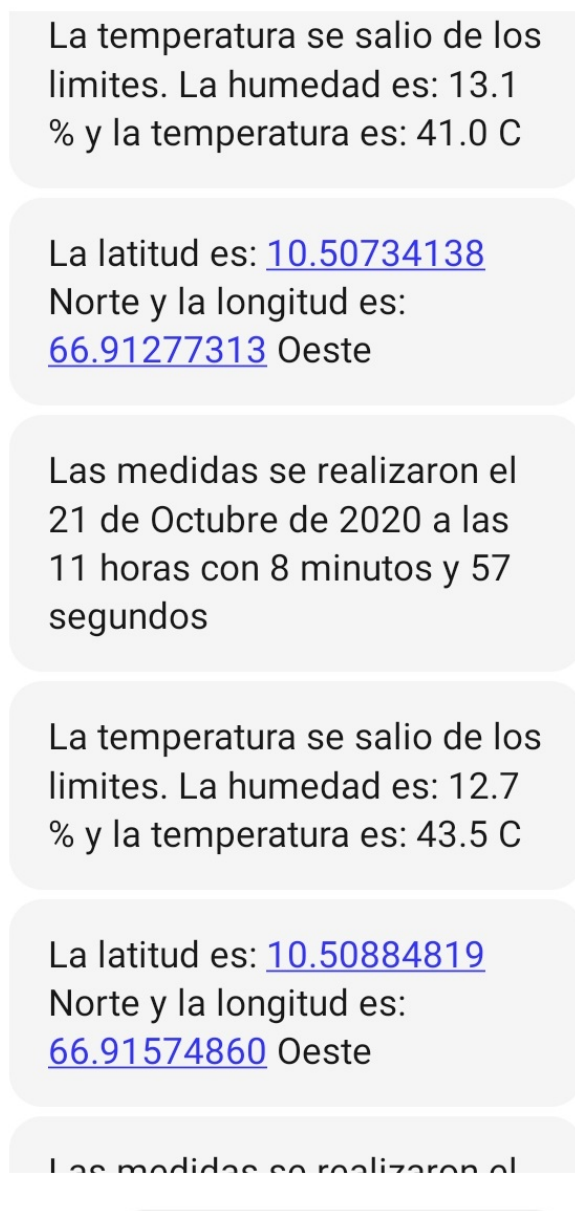


Figura 5.12. Mensajes de textos recibidos con los datos de temperatura y de localización geográfica.

5.8. Prueba 7

La prueba 7 comprobó el funcionamiento del prototipo haciendo tracking a un vehículo particular, el cual partió de un lugar techado. La tabla 5.7 contiene

las 10 mediciones registradas por el equipo en el trayecto. En la figura 5.13 se aprecian graficados los datos de posición con el trayecto hecho representados por la línea roja, las señalizaciones rojas son las mediciones de posición registradas, la señalización amarilla es el punto de partida y la señalización verde el punto final del recorrido. Nuevamente, se registraron los datos de la latitud y longitud con 8 cifras significativas. Las figuras 5.14 y 5.15 presentan las zonas de interés de la figura 5.13 con un acercamiento; se puede constatar que las primeras dos señalizaciones rojas no están sobre el trayecto directamente, aunque se encuentren relativamente cerca de ella, luego el trayecto se vuelve a perder la conexión por un tramo. Posteriormente, los siguientes puntos registrados son correctos ya que están sobre el trayecto recorrido.

Queda claro que nuevamente la conexión con la radio base puede ser un problema en ciertas regiones causando un retraso en el equipo, esto puede causar la pérdida de datos, como se ve en la tercera medición de la tabla 5.7, donde la latitud no fue reportada por GPRS. Por mensaje de texto no se pudo acceder a la totalidad de los reportes ya que el almacenamiento del mismo los suplanta por mensajes más recientes. Por lo tanto, el equipo puede presentar imprecisión en ciertas zonas por parte del GPS por rebotes de señal o condiciones atmosféricas, además, la transmisión de datos se puede ver afectada al usar la red GPRS; pero normalmente tiende a funcionar bien. como se ve en la mayor parte del trayecto.

Las mediciones de temperatura, de las 10 realizadas, 9 de ellas se encuentran en rangos válidos, la única medición fuera de rango tiene un error absoluto de 0,7 °C, el cual no afectaría a la carga asumida. Con un 90 % de mediciones válidas, se aceptan los resultados del medidor de temperatura.

El envío de datos fue de aproximadamente 1 minuto con 30 segundos (sin contar el tramo donde no se recibieron datos), con respuestas correctas tanto para el sensor de la puerta como las alertas de temperatura en las distintas

oportunidades que se debían activar.

Tabla 5.7. Resultados prueba 7.

Latitud [°]	Longitud [°]	Temperatura AM2301 [°C]	Temperatura VE-DS18B20 [°C]
10,50885201	66,90441132	28,6 ± 0,3	27,9 ± 0,1
10.50711632	66.90563202	27,3 ± 0,3	27,5 ± 0,1
10.50508881	?	27,0 ± 0,3	27,0 ± 0,1
10.49088478	66.86454010	26,9 ± 0,3	27,1 ± 0,1
10.48943806	66.86612701	27,3 ± 0,3	27,6 ± 0,1
10.48435497	66.86405182	27,3 ± 0,3	27,4 ± 0,1
10.48135853	66.86088562	26,7 ± 0,3	26,7 ± 0,1
10.47853470	66.85769653	27,3 ± 0,3	27,3 ± 0,1
10.48242538	66.84544263	27,0 ± 0,3	27,3 ± 0,1
10.48508367	66.85344062	27,1 ± 0,3	27,2 ± 0,1

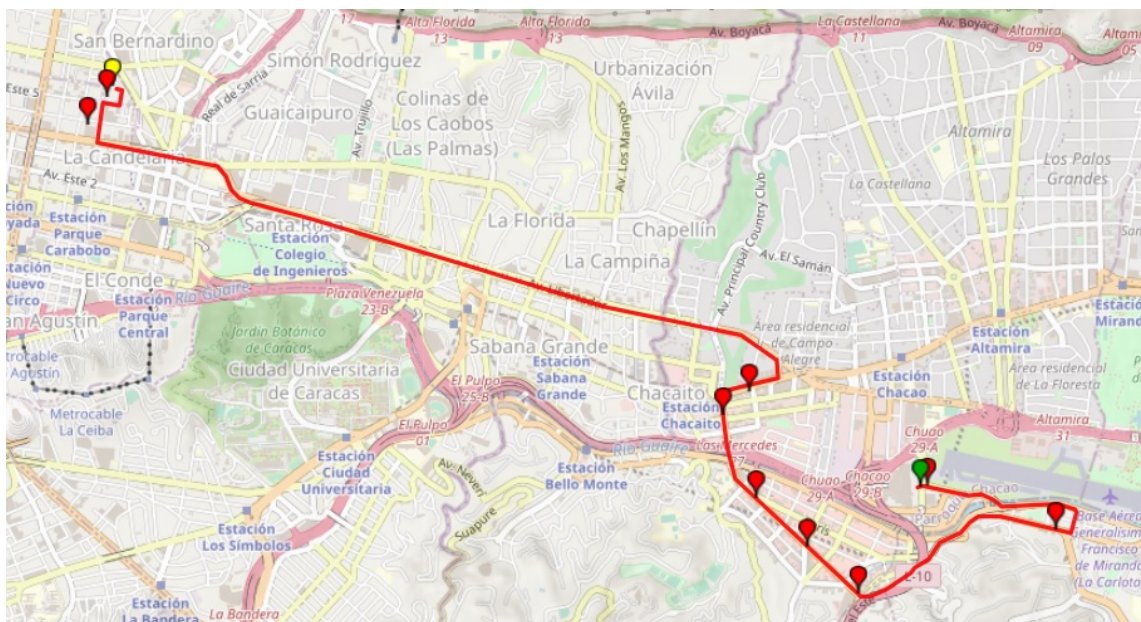


Figura 5.13. Resultados de la posición en la prueba 7 completo.

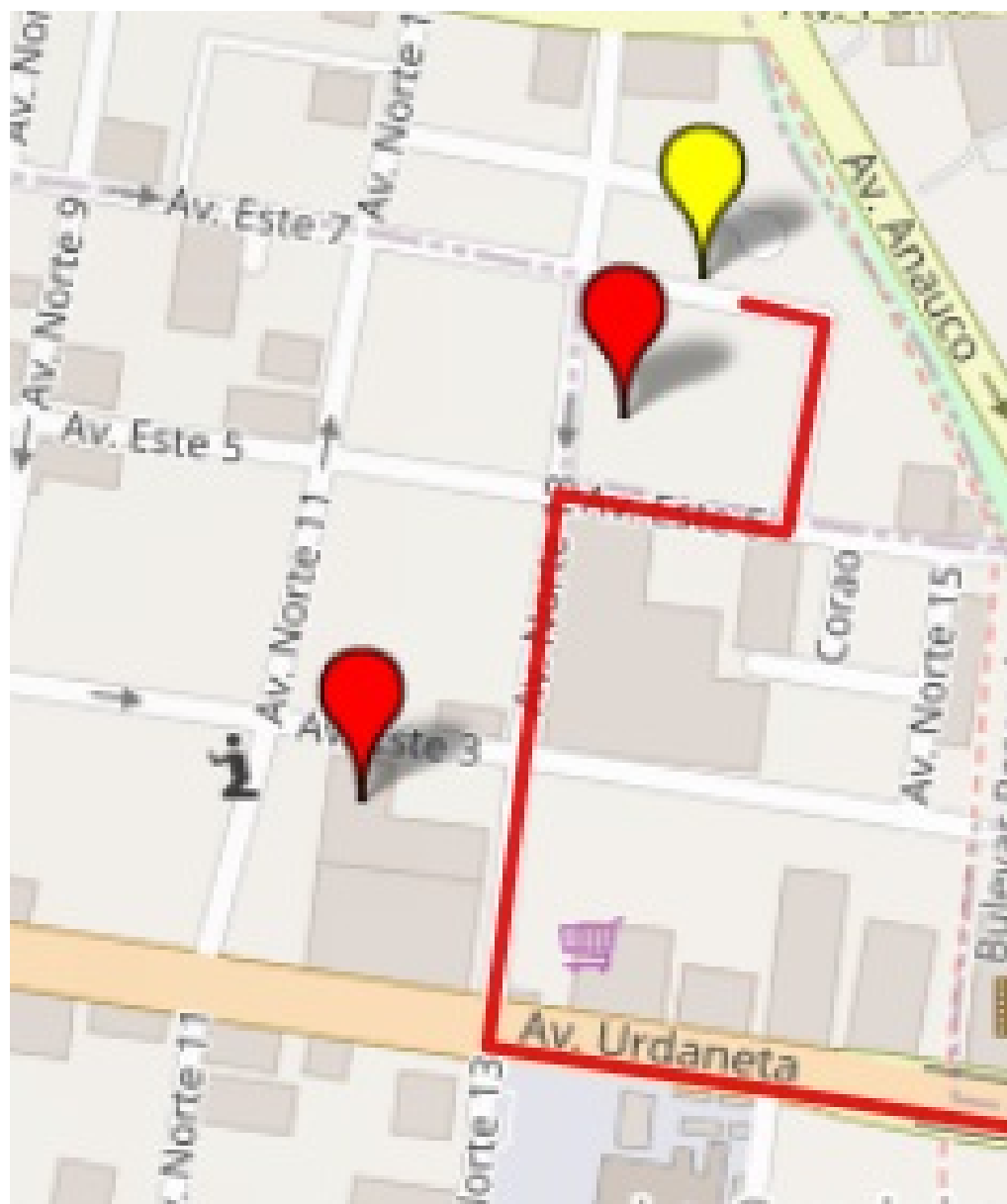


Figura 5.14. Resultados de la posición en la prueba 7, parte izquierda.

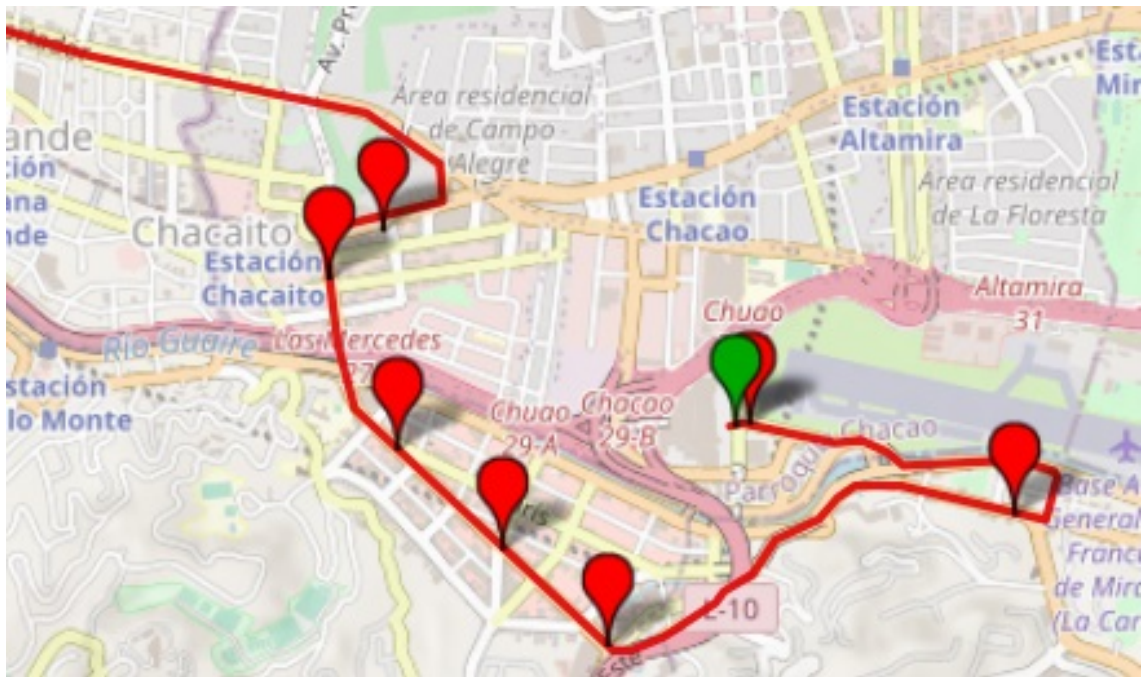


Figura 5.15. Resultados de la posición en la prueba 7, parte derecha.

5.9. Prueba 8

La prueba 8 consistió en realizar el tracking de un vehículo particular que partía de un lugar donde el sol le llegaba directamente. En la tabla 5.8 se pueden ver las 18 mediciones realizadas. En la figura 5.16 se ve el trayecto recorrido donde la ruta son las líneas rojas y azules (es el mismo recorrido, pero se colocan dos colores para evitar confusión en las intercepciones), las señalizaciones rojas son los puntos reportados por el prototipo, la señalización amarilla es la posición inicial y la señalización verde es la posición final. Las figuras 5.17 y 5.18 son acercamientos en las zonas de interés de la figura 5.16. En la tabla 5.8 para la primera medición no se logró establecer conexión con la red GNSS, por lo que no se registraron estos datos. Las señalizaciones que se aprecian en la figura 5.17 se ven correctamente indicando posiciones válidas en el recorrido, menos una que se desvía ligeramente del camino. Otra vez, la conexión se pierde en la misma región,

pero al recuperarse la conexión se ve (figura 5.18) que la penúltima medición está en el camino correcto, pero la última tiene un ligero error. En general, el reporte de la posición fue válido y son mediciones aceptables.

Las mediciones de temperatura tuvieron un 83,33 % de valores dentro de los rangos válidos, lo que equivale a 15 mediciones. Las alertas de temperatura se activaron correctamente en todas las mediciones registradas. El error absoluto de los valores no válidos es, en promedio, de 0,56 °C, lo cual no afecta a la carga asumida, por lo que las mediciones obtenidas por el prototipo son aceptadas.

Los datos se enviaron aproximadamente cada 1 minuto con 30 segundos (sin contar el tramo donde no se recibieron datos), no se recibieron alertas de puerta abierta ya que no se abrió la puerta en todo el camino. Se recibieron correctamente los datos tanto por mensaje de texto como en thingspeak vía GPRS.

Tabla 5.8. Resultados prueba 8.

Latitud [°]	Longitud [°]	Temperatura AM2301 [°C]	Temperatura VE-DS18B20 [°C]
?	?	$31,9 \pm 0,3$	$26,7 \pm 0,1$
10.48465824	66.85810852	$34,0 \pm 0,3$	$34,9 \pm 0,1$
10.46875477	66.86161804	$32,3 \pm 0,3$	$32,3 \pm 0,1$
10.46734619	66.86674500	$30,9 \pm 0,3$	$31,2 \pm 0,1$
10.47249031	66.87221527	$32,1 \pm 0,3$	$32,0 \pm 0,1$
10.47039127	66.86888123	$31,6 \pm 0,3$	$31,5 \pm 0,1$
10.47349834	66.87336731	$30,7 \pm 0,3$	$30,5 \pm 0,1$
10.47734356	66.87357330	$30,7 \pm 0,3$	$30,3 \pm 0,1$
10.47717476	66.86995697	$30,5 \pm 0,3$	$30,2 \pm 0,1$
10.48034191	66.86533356	$30,6 \pm 0,3$	$30,2 \pm 0,1$
10.48304462	66.86472321	$30,7 \pm 0,3$	$30,7 \pm 0,1$
10.48113155	66.85935974	$30,6 \pm 0,3$	$30,6 \pm 0,1$
10.48483658	66.86326599	$31,0 \pm 0,3$	$31,3 \pm 0,1$
10.47937202	66.85864258	$30,9 \pm 0,3$	$31,0 \pm 0,1$
10.48375988	66.85650635	$30,7 \pm 0,3$	$30,5 \pm 0,1$
10.49071980	66.85694885	$30,6 \pm 0,3$	$30,5 \pm 0,1$
10.50639153	66.90602875	$30,7 \pm 0,3$	$30,6 \pm 0,1$
10.50931358	66.90460968	$30,1 \pm 0,3$	$30,3 \pm 0,1$

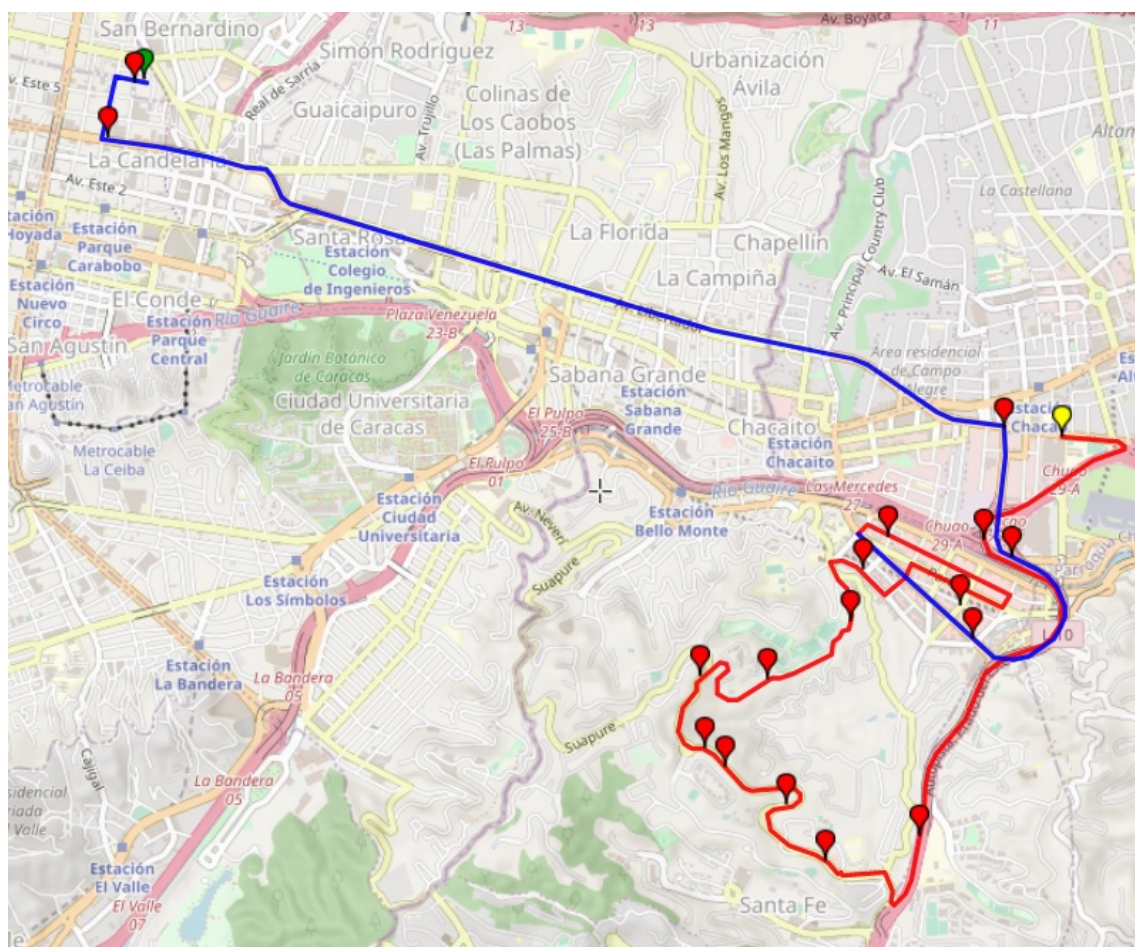


Figura 5.16. Resultados de la posición en la prueba 8 completo.



Figura 5.17. Resultados de la posición en la prueba 8, parte derecha.

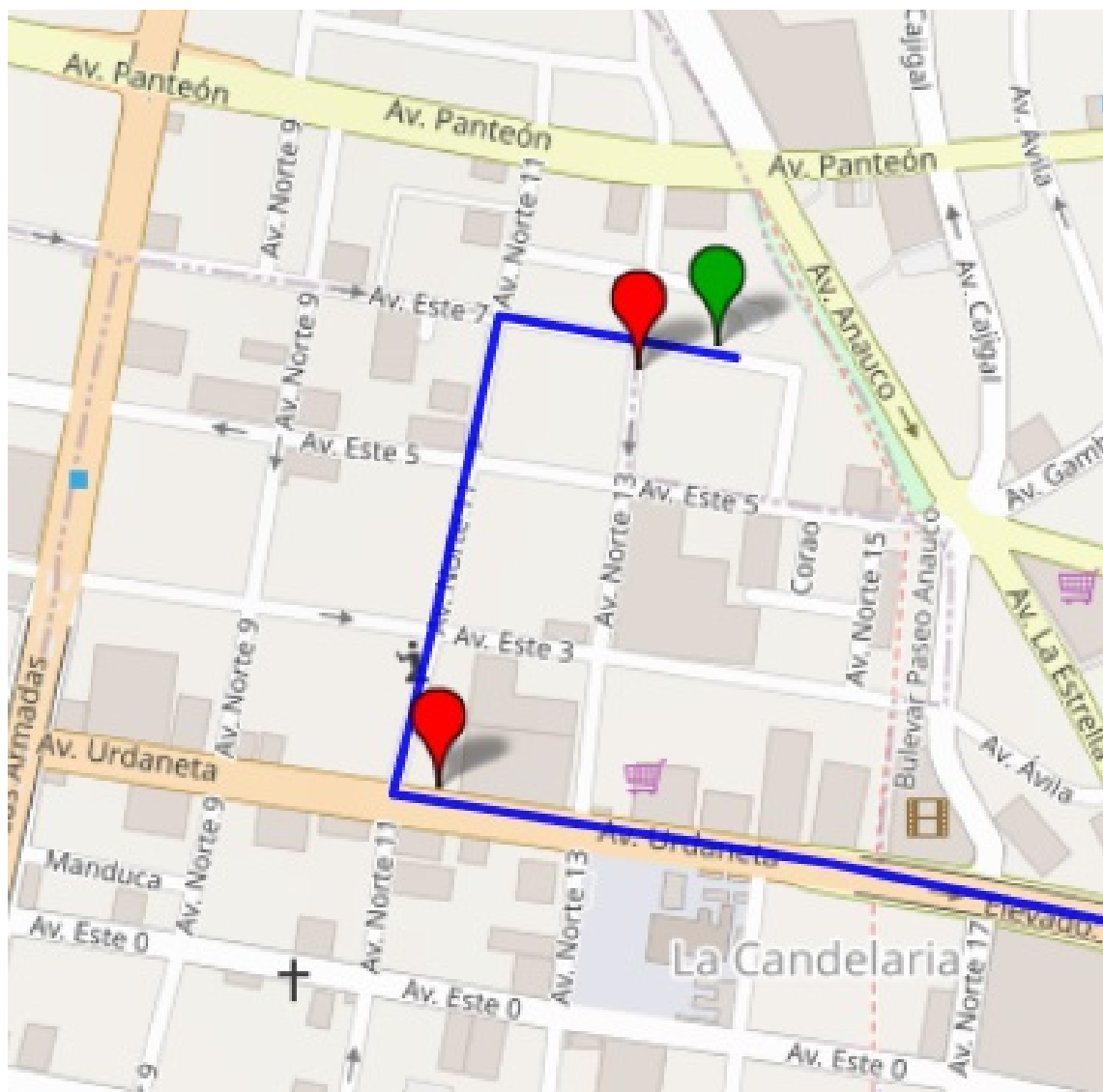


Figura 5.18. Resultados de la posición en la prueba 8, parte izquierda.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Mediante la obtención de información a través de los equipos de geolocalización, sensores de temperatura electrónicos y equipos compatibles con la red GSM, como los usados en este proyecto, se comprobó que se pueden integrar hardware que se ajuste a la calidad buscada para crear un equipo con estas capacidades. Además, la gran variedad de hardware en el mercado permite que se pueda crear el mismo sistema con distintos equipos.

Con los equipos seleccionados, integrar el hardware requirió entender como se comporta el equipo, cuales son los pines, como se configuran los pines por software, los niveles lógicos y de tensión en los que trabajan y conocer como las antenas GNSS y GSM podían recibir y enviar los datos sin problemas. A nivel de software se debió realizar una investigación exhaustiva a pesar de tener conocimientos sobre el ESP32 y su programación. Muchas de las capacidades que posee el equipo que fueron usadas para su correcto funcionamiento se debió buscar documentación para su correcta aplicación. Siempre se mantuvo un ensayo y error para entender como el software guiaba al hardware para actuar en los distintos escenarios. Aprovechando sin lugar a dudas las ventajas de trabajar con un sistema operativo como el FreeRTOS ayudó a la integración de los módulos, permitiendo el paso de datos entre las distintas tareas, así como fijar el flujo del programa.

Para el momento de realizar las pruebas, el consumo de saldo para mensajes de texto es mayor que el envío de datos por GPRS, por lo que se debe tener en cuenta

cual medio se va a usar frecuentemente para la transmisión de la información y la periodicidad de la misma, ya que cambiando el intervalo de tiempo del envío de datos puede aumentar el tiempo que el equipo puede seguir funcionando sin interrupciones.

El diseño del equipo planteado para cubrir los requisitos comprobó ser adecuado y eficiente con un error que se ajusta a el hardware usado; es decir, a pesar de los errores propios que conlleva el uso de equipos GNSS, los cuales son provocados por rebote de señal en estructuras cercanas o por refracción atmosférica, se le adiciona la ganancia de la antena usada, la cual requiere estar sin obstrucciones cercanas para conectarse a la constelación de satélites. El prototipo probó que para aplicaciones que requieren una mayor precisión no es el indicado, aunque igualmente puede ser usado para tener una referencia válida ya que en las pruebas estáticas demostró que tiende a estar en un radio menor a 100 m de la posición del equipo, y en las pruebas de tracking fue fiel al trayecto que recorrió el vehículo en la la gran mayoría de los casos. Además, se demostró que el equipo es mas efectivo en movimiento que cuando no lo está, dando mejores resultados de posición geográfica al desplazarse.

Por otro lado está la temperatura, de la cual el sensor demostró que en la mayoría de las pruebas tuvo mediciones dentro de los intervalos esperados, además que los casos que no se cumplían no tenía, en promedio, un error absoluto mayor a 0,7 °C; también, presentó entre todas las pruebas un 88,17 % de valores válidos dentro de rangos de verificación. Aunque, para cargas refrigeradas que no permitan esta variación se debe buscar otro sensor de temperatura. En cuanto al envío de datos, el equipo GSM se comportó correctamente por lo general, aunque hay regiones donde no puede conectarse a la red GPRS, lo cual es un problema para el monitoreo. Independientemente, en la gran mayoría de los casos y a pesar de no estar utilizando la tecnología más moderna, se pudo transmitir los datos

registrados, tanto de posición como de temperatura, sin inconvenientes.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

Si se desea trabajar con los equipos seleccionados, se recomienda diseñar únicamente con el módulo A9G, realizando la investigación respecto a su programación, sus API, puertos y todo lo necesario para conectarse a la red GSM y GPS mientras se comunica con el sensor AM2301. De esta manera se simplifica el equipo necesario, pero a nivel de software cambiará totalmente el equipo.

Aprovechando las características que trae el módulo SIM800l se pudiera habilitar una sección que se encargue de leer los mensajes que reciba y en estos mensajes que pudiera contener cambios en la configuración del equipo o que realice ciertas acciones como reiniciarse, apagarse o cambiar los límites de temperatura aceptables. Incluso pudiera solicitar y enviar el saldo que le queda a la línea del equipo.

Para tener mejor referencia en cuanto a la posición, se pudiera crear un registro de distintas localizaciones como municipios o parroquias para cuando reciba los datos de posición los compare con el registro y envíe también esta información.

Tomando en cuenta que la red 2G es posible que desaparezca en el corto plazo, se puede buscar otros equipos que sean al menos compatibles con la red 3G, de esta manera se puede enviar la información a una mayor velocidad ya que esta tecnología lo permite al ser más actualizada.

El módulo GNSS puede no tener la ganancia necesaria para atravesar ciertos obstáculos en el camino para conectarse con la constelación de satélites, por lo que se pudiera buscar un módulo más eficiente. También se puede buscar un equipo que se conecte a más GNSS, no solo a GPS, permitiendo tener acceso a varias constelaciones al mismo tiempo. Incluso se puede buscar un módulo GNSS con una antena con mayor ganancia para tener una mejor precisión en la ubicación. Además, se recomienda usar todas las herramientas que ofrece www.gpsvisualizer.com para el manejo de datos de localización geográfica.

REFERENCIAS

- [1] R. Nelson, “The global positioning system - a national resource.” Consultado en: <https://www.atcourses.com/2013/05/20/the-global-positioning-system-a-national-resource/>, 2013, fecha de consulta: 14-01-2020.
- [2] C. Villagómez, “Gsm: Global system for mobile communications,” Consultado en: <https://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles/>, 2017, fecha de consulta: 14-01-2020.
- [3] N. C. O. for Space-Based Positioning Navigation and Timing, “Space segment,” Consultado en: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>, 2020, fecha de consulta: 06-05-2020.
- [4] C. Duarte, “Estructura de señales gps,” Consultado en: <http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=350>, 2016, fecha de consulta: 06-05-2020.
- [5] AristaSur, “Que es el sistema de posicionamiento glonass,” Consultado en: <https://www.aristasur.com/contenido/que-es-el-sistema-de-posicionamiento-glonass>, 2019, fecha de consulta: 07-05-2020.
- [6] B. N. S. System, “System,” Consultado en: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>, s.f., fecha de consulta: 07-05-2020.
- [7] I. González, “Beidou: así es el gps chino que te sigue con una precisión de centímetros,” Consultado en: <https://www.elespanol.com/omicrono/>

- tecnologia/20200107/beidou-gps-chino-precision-centimetros-jamas-vista/455954717_0.html, 2020, fecha de consulta: 18-06-2020.
- [8] J. C. García, “¿qué es beidou?” Consultado en: <https://gpstotal.org/es/que-es-beidou>, 2020, fecha de consulta: 07-05-2020.
- [9] I. González, “Así es galileo, el gps europeo que localiza mejor que el que has usado siempre,” Consultado en: https://www.elespanol.com/omicron/tecnologia/20200117/galileo-gps-europeo-localiza-mejor-usado-siempre/460204804_0.html, 2020, fecha de consulta: 07-05-2020.
- [10] J. C. García, “¿qué es galileo?” Consultado en: <https://gpstotal.org/es/que-es-galileo>, 2020, fecha de consulta: 07-05-2020.
- [11] L. Blasco, “Cuáles son las diferencias entre e, gprs, 3g, 4g, 5g y esas otras redes a las que se conecta tu celular (y cómo te afectan tu conexión a internet),” Consultado en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37247130>, 2016, fecha de consulta: 08-05-2020.
- [12] E. de Expertos, “Evolución de la red de comunicación móvil, del 1g al 5g,” Consultado en: <https://www.universidadviu.com/evolucion-la-red-comunicacion-movil-del-1g-al-5g/>, Universidad Internacional de Valencia, 2018, fecha de consulta: 08-05-2020.
- [13] A. Kukshkin, *Introduction to Mobile Network Engineering*, 1st ed. West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2018, ch. Capítulo 7, pp. 59–102.
- [14] —, *Introduction to Mobile Network Engineering*, 1st ed. West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2018, ch. Capítulo 8, pp. 103–120.
- [15] F. Prieto, *Tramisión de imágenes de vídeo mediante servicios web XML sobre J2ME*, 1st ed. Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2007, ch. Capítulo 3, pp. 63–82.

- [16] A. Creus, *Instrumentación Industrial*, 8th ed. México D.F., México: Alfaomega grupo editor, 2011, ch. Capitulo 6, pp. 235–316.
- [17] B. Liptak, *Instrument Engineers Handbook Process Measurement and Analysis Volume 1*, 4th ed. Washinton D.C., Estados Unidos: CRC Press, 2003, ch. Capitulo 4, pp. 561–708.
- [18] L. Precision, “Capacitive sensor operation and optimization (how capacitive sensors work and how to use them effectively),” Consultado en: <https://www.lionprecision.com/capacitive-sensor-operation-and-optimization-how-capacitive-sensors-work-and-how-to-use-t>. Lion Precision, 2012, fecha de consulta: 20-02-2020.
- [19] J. M. M. Cuadros, *Modelos de programación de software empotrado Programación de sistemas y dispositivos*. Madrid, España: Creative Commons, 2003, ch. Capitulo 6.
- [20] FreeRTOS, “The freertos kernel,” Consultado en: <https://www.freertos.org/RTOS.html>, s.f., fecha de consulta: 20-04-2020.
- [21] N. Instruments, “Serial port communication,” Consultado en: <https://cnx.org/contents/ul3tl2dl@1/Serial-Port-Communication>, 2008, fecha de consulta: 01-06-2020.
- [22] R. Estrada, “I2c ? puerto, introducción, trama y protocolo,” Consultado en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/>, 2017, fecha de consulta: 02-06-2020.
- [23] K. Navarro, “¿cómo funciona el protocolo spi?” Consultado en: <http://panamahitek.com/como-funciona-el-protocolo-spi/>, 2014, fecha de consulta: 02-06-2020.

- [24] Gumstix, “Gumstix pre-go 9p/t gnss receiver boards,” Consultado en: <https://www.mouser.com/new/gumstix/gumstix-pre-go-9p-9t-boards/>, 2020, fecha de consulta: 22-04-2020.
- [25] 3GPP, *3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network and Terminals; AT command set for User Equipment (UE) (Release 16)*, 3GPP, 2020.
- [26] Maxim, Consultado en: <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/1796.html>, Maxim Integrated Products, Inc., 2007, fecha de consulta: 15-06-2020.
- [27] —, *DS 18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer*, Maxim Integrated Products, Inc., 2019.
- [28] T. Instruments, *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*, Texas Instruments Incorporated, Dallas, Texas, 2015.
- [29] T. I. Incorporated, *LMx35, LMx35A Precision Temperature Sensors*, Texas Instruments Incorporated, Dallas, Texas, 2015.
- [30] Sensiron, *Datasheet SHT1x*, Sensiron, Westlake Village, USA, 2008.
- [31] AOsong, *Temperature and humidity module AM2301 Product Manual*, AOsong, s.f.
- [32] Gumstix, “Gumstix pre-go 9p/t gnss receiver boards,” Consultado en: <https://www.mouser.com/new/gumstix/gumstix-pre-go-9p-9t-boards/>, 2020, fecha de consulta: 22-04-2020.
- [33] L. Ada, *Adafruit FONA 3G Cellular + GPS Breakout*, Adafruit, 2019.
- [34] SIMCom, *SIMCom Module & EVB KIT Introduction*, SIMCom, 2018.
- [35] Ai-Thinker, *A9G GPRS/GSM+GPS/BDS Module*, Ai-Thinker, 2017.

- [36] Particle, *Boron Datasheet (v002)*, Particle, 2020.
- [37] Geekstory, “Geekstory 4g gps gsm gprs module sim7100a development board 5-18v lte wcdma gnss b2 b4 b15 + gps antenna for arduino raspberry pi window linux,” Consultado en: <https://www.amazon.com.au/SIM7100A-Development-Antenna-Raspberry-Geekstory/dp/B078Y7D6RX>, s.f., fecha de consulta: 27-04-2020.
- [38] Lewis_he, “Lilygo t call sim800l,” Consultado en: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/LilyGo-T-Call-SIM800L>, 2019, fecha de consulta: 27-04-2020.
- [39] Gabri, “La precisión del gps ¿cómo funciona y cuáles son sus errores?” Consultado en: <https://acolita.com/la-precision-del-gps-como-funciona-y-cuales-son-sus-errores/>, 2018, fecha de consulta: 18-06-2020.