



Implementación de un sistema no invasivo para rastreabilidad de ganado bovino

Jorman Alejandro Siachoque Munevar

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2021

Implementación de un sistema no invasivo para rastreabilidad de ganado bovino

Jorman Alejandro Siachoque Munevar

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Director (a):

Msc. Angela Viviana Peña Puerto

Línea de Investigación:

Electrónica Digital, Comunicaciones y Procesamiento de datos

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2021

(Dedicatoria o lema)

Eres una mujer que simplemente me llena de orgullo, te amo y no va haber manera de devolverte tanto que me has ofrecido. Esta tesis es un logro más que llevo a cabo, y sin lugar a dudas ha sido en gran parte gracias a ti; no sé en donde me encontraría de no ser por tus ayudas, tu compañía, y tu amor.

Te doy mis sinceras gracias, amada madre.

Agradecimientos

A DIOS por permitirme desarrollar este proyecto. También le agradezco a mi madre Marcela Munevar por su apoyo incondicional y credibilidad puesta en mi durante todos los días de mi vida.

De antemano agradecerle al ingeniero Jorge Orlando Bareño Quintero y a la Ingeniera Angela Viviana Peña Puerto por sus asesorías y aportes para lograr cumplir las metas propuestas.

Resumen

El objetivo de este trabajo de grado se orientó a la ubicación geográfica de ganado bovino en tiempo real, utilizando un sistema no invasivo de monitoreo, herramientas de hardware y software para capturar información de la ubicación, recopilación de la información en una base de datos y envío de datos a través de una red GSM a un teléfono móvil. La aplicación de estas herramientas tecnológicas son seleccionadas buscando el mejoramiento del manejo de los hatos ganaderos en el país.

Para el desarrollo del sistema, inicialmente se realizó un análisis de los requerimientos, tales como área de cobertura, costos, accesibilidad y tecnologías aplicadas al monitoreo de ganado bovino, para el diseño y construcción de un prototipo se utilizaron herramientas de hardware y software que permitan llevar un registro de geolocalización y almacenamiento en una base de datos.

El sistema de rastreabilidad fue capaz de hacer envío de datos de geolocalización a la plataforma ThingSpeak en donde se llevó un control del animal dentro y fuera de las fronteras del predio, reportando por llamada y mensaje de texto al teléfono móvil el momento en que el animal abandona el cerco.

Palabras clave: No invasivo, GSM, Geolocalización, monitoreo, ganado bovino

Abstract

The objective of this work was oriented to the geographic location of the bovine in real time, using a non-invasive monitoring system, hardware and software tools to capture location information, compile the information in a database and send data via a GSM network to a mobile phone. The application of these technological tools are selected seeking to improve the management of cattle herds in the country.

For the development of the system, an analysis of the requirements was initially carried out, such as coverage area, costs, accessibility and technologies applied to the monitoring of cattle, for the design and construction of a prototype, hardware and software tools were used to keep a record of geolocation and storage in a database.

The traceability system was able to send geolocation data to the ThingSpeak platform where a control of the animal was carried out inside and outside the borders of the property, reporting by call and text message to the mobile phone the moment in which the animal leave the fence.

Keywords: Not invasive, GSM, Monitoring, cattle

Contenido

	Pág.
Resumen	VIII
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XV
Introducción	17
1. Marco teórico	20
1.1 Ganadería extensiva	21
1.1.1 Sistemas de rastreabilidad de ganado bovino	21
1.1.2 Dispositivos para rastreabilidad	22
1.2 Telecontrol	25
1.2.1 Telefonía celular	26
1.2.2 Redes de telefonía móvil de 2G	28
1.2.3 Servicio SMS	30
1.2.4 Sistema de posicionamiento global (GPS)	34
1.2.5 Microcontroladores	36
2. Desarrollo metodológico	38
2.1 Estructura del prototipo	40
2.2 Análisis y requerimientos del sistema de rastreabilidad	40
2.2.1 Selección de microcontrolador	40
2.2.2 Modulo GPS	41
2.2.3 Selección de red inalámbrica	44
2.2.4 Delimitación de la zona de monitoreo	45
2.3 Programación del sistema	47
2.4 Implementación del sistema	51
2.4.1 Diseño del circuito	52
2.5 Visualización y base de datos	63
2.5.1 Recepción y visualización de base de datos	63
3. Pruebas del prototipo	65
4. Conclusiones y recomendaciones	74
4.1 Conclusiones	74
4.2 Recomendaciones	75
A. Anexo: Base de datos	76

Bibliografía77

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Bolo Ruminal.....	23
Figura 1-2: Orejera electrónica	23
Figura 1-3: Chip inyectable.....	24
Figura 1-4: Collar de localización	25
Figura 1-5: Estructura celular por células	27
Figura 1-6: Configuración de celdas telefonía celular	28
Figura 1-7: Arquitectura red GSM.....	29
Figura 1-8: Estructura del servicio SMS.....	31
Figura 1-9: Servicios básicos SM MO Y SM MT	31
Figura 1-10: Representación gráfica del sistema de satélites artificiales NAVSTAR.....	34
Figura 1-11: Representación esquemática de un microcontrolador	37
Figura 2-1: Arquitectura del dispositivo.....	38
Figura 2-2: Metodología propuesta.....	39
Figura 2-3: Microcontrolador Microchip 18f2550.....	41
Figura 2-4: Modulo GPS L80R	42
Figura 2-5: Modulo GPS NEO 6M V2	43
Figura 2-6: Modulo SIM800L	45
Figura 2-7: Coordenadas del predio para el sistema de monitoreo.....	46
Figura 2-8: Puntos cardinales del predio	46
Figura 2-9: Diagrama general del sistema	47
Figura 2-10: Configuración puerto COMPIM.....	48
Figura 2-11: Monitoreo de datos virtual terminal.....	49
Figura 2-12: Diagrama de flujo	51
Figura 2-13: Referencia del circuito para la entrada VBAT	52
Figura 2-14: Circuito de referencia para la fuente de alimentación	53
Figura 2-15: Modulo encendido / apagado usando transistor	54
Figura 2-16: Modulo encendido apagado mediante botón.	54
Figura 2-17: Conexión de las interfaces seriales	56
Figura 2-18: Circuito pines SIM-CARD.	57
Figura 2-19: Tarjeta de desarrollo del módulo SIM800L.	57
Figura 2-20: Conexión módulo GSM SIM800L a la aplicación ThingSpeak	58
Figura 2-21: Asignación de pines módulo GPS NEO 6M.....	59
Figura 2-22: Configuración del puerto serial del pc.....	60
Figura 2-23: Trama completa que entrega el modulo GPS.....	61

Figura 2-24: Modulo GPS NEO 6M 0-001	62
Figura 2-25: Batería de polímero de litio de 7V a 3800 mAh.	62
Figura 3-1: Ensamble general del dispositivo de rastreo GPS.....	65
Figura 3-2: Dispositivo de rastreo en carcasa de protección	66
Figura 3-2: Dispositivo de rastreo implantado en el bovino	66
Figura 3-3: Visualización de captura de pantalla de la llamada de alarma.....	67
Figura 3-4: visualización pantallazo mensaje de texto.....	68
Figura 3-5: Activación de alarma OCCIDENTE aplicación ThingSpeak.....	68
Figura 3-6: Visualización mensaje de alarma vía Twitter.....	68
Figura 3-7: Visualización pantallazo mensaje de texto ALARMA ZONA ORIENTE	69
Figura 3-8: Activación de alarma ORIENTE aplicación ThingSpeak.....	70
Figura 3-9: Visualización mensaje de alarma vía Twitter.....	70
Figura 3-10: Visualización pantallazo mensaje de texto ALARMA ZONA NORTE	71
Figura 3-11: Activación de alarma NORTE aplicación ThingSpeak	71
Figura 3-12: Visualización mensaje de alarma vía Twitter.....	72
Figura 3-13: visualización pantallazo mensaje de texto ALARMA ZONA SUR	72
Figura 3-14: Activación de alarma SUR aplicación ThingSpeak.....	73
Figura 3-15: Visualización mensaje de alarma vía Twitter.....	73

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Comparación de los módulos GPS	43
Tabla 2-2: Definición de pines de la interfaz SIM.	56
Tabla 2-3: Pines del módulo GPS NEO 6M.....	60

Introducción

Actualmente las tecnologías están abarcando todos los campos de la economía, generando una constante innovación y progreso. Cada vez es más común encontrar ambientes interconectados que buscan mayor viabilidad en el desarrollo de procesos.

El “internet de las cosas” es una tecnología que constituye un cambio radical en la calidad de vida de las personas a la sociedad, ofrece una gran cantidad de nuevas oportunidades de acceso a datos de manera remota. Uno de los fines que se persigue al momento de implementar un nuevo dispositivo electrónico es que este esté conectado otros dispositivos. Creando así redes de información y control que solucionen o mitiguen problemas o errores y brinden beneficios a sus usuarios.

Este tipo de tecnologías se están desplazando a sectores en los cuales no se percibía su necesidad, como lo es el sector pecuario, en el cual aún sigue teniendo un manejo mínimo de aplicación de tecnología, por tanto, se requiere la implementación de nuevas estrategias de crecimiento para lograr una mayor competitividad a nivel mundial, mejoramiento de la producción y manejo de la ganadería.

La ganadería bovina es uno de los sectores productivos de mayor importancia en el país y debe ser observado con más detenimiento, ya que representa una de las principales actividades económicas del país. Datos del instituto colombiano agropecuario [ICA] informó que en el 2020(Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, s. f.), hay una población de 28.245.262 cabezas de ganado bovino, lo cual lo convierte en el subsector de mayor importancia economía en el país.

Estudios previos en la Fundación Universidad del Norte muestran que el nivel del sector pecuario en el país, hay tareas que aún se siguen haciendo de manera rudimentaria. Un ejemplo de estas tareas es el monitoreo y control de los animales de granja, bovinos, ovinos, porcinos, entre otros. En la mayoría de estos hatos esta tarea se realiza por

inspección visual dando lugar a errores y dando pie a posibles robos de estos animales.(Silva, s. f.)

De acuerdo con los datos del Sistema de Información Estadístico, Delincuencial, Contravencional y Operativo de la Policía Nacional (SIEDCO) en el primer cuatrimestre del año 2019 se presentaron 1216 casos de hurto y pérdida de ganado debido a diversas causas, entre las cuales se encuentra la desorientación en zona de pastoreo y la falta de información sobre la ubicación en tiempo real del animal.(Cifras de la Policía Nacional revelan caída de abigeato en lo corrido de 2019 | CONtexto ganadero | Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia, s. f.)

Esto muestra que los cuidados no son suficientes, siempre existe la posibilidad de que los bovinos se extravíen en el momento menos esperado. Ahora las tecnologías de rastreo son un mercado que se encuentra en constante crecimiento, motivo por el cual se crea una necesidad de buscar productos o servicios de bajo costo de carácter no invasivo que permitan evitar el robo o pérdida en el sector pecuario.

Basados en los altos niveles de pérdida o desaparición de ganado y con el fin de disminuir las enfermedades producidas por los dispositivos invasivos de ubicación a largo plazo, se plantea el desarrollo de un sistema no invasivo para rastreabilidad de ganado bovino por GPS que enviara datos de geolocalización y alarma por medio una red GSM al celular.

Para llevar a cabo este proyecto, se siguieron los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Implementar un sistema no invasivo para rastreabilidad de ganado bovino usando aplicaciones móviles.

Objetivo específicos

- Selección de la tecnología para el monitoreo de ganado bovino.
- Implementar un sistema electrónico de monitoreo en una zona seleccionada y delimitada.

- Elaborar una base de datos y de visualización de la información suministrada con el dispositivo implantado en el animal.
- Realizar pruebas de funcionamiento y puesta a punto del sistema.

1. Marco teórico

La presente propuesta de estudio muestra la implementación de un sistema electrónico para el posicionamiento y rastreo de ganado bovino usando la tecnología GPS y transmisión de información a través de una red GSM/GPRS a un teléfono móvil, este tipo de tecnología se caracteriza por ser no invasiva, y resulta interesante en cuanto a la facilidad de uso, ya que cualquier persona que posea un dispositivo electrónico con esta tecnología podrá tener datos de posición, control fronterizo y seguridad de los bovinos en un predio. Entre otras cosas, permitirá analizar la distribución de reproductores en lotes de difícil acceso, estudiar preferencias de pasturas, evaluar y prevenir la propagación de enfermedades, adicional a esto no habrá necesidad de adquirir dispositivos especiales de lectura o intervenir con los microchips subcutáneos implantados generando estrés y poniendo en riesgo la integridad del animal.

En el marco de la producción y comercio de productos agropecuarios, la industria pecuaria colombiana enfrenta retos importantes debido al aumento en el intercambio comercial, la aparición y transmisión de enfermedades, el constante crecimiento de consumidores con mayores demandas y más conscientes de la calidad de los alimentos y la forma en que se producen, generando desafíos a los sistemas de sanidad agropecuarios e inocuidad de los alimentos. Enfrentar estos desafiantes escenarios hace necesario que se desarrollen nuevas estrategias encaminadas a la implementación de herramientas que generen una producción más eficiente asegurando productos de óptima calidad.

Convencido del enorme potencial de la actividad pecuaria del país, la rastreabilidad es una herramienta esencial que puede apoyar a Colombia a fortalecer sus sistemas nacionales de sanidad agropecuaria.

1.1 Ganadería extensiva

La ganadería extensiva en los sistemas de producción ganadera consiste en la explotación animal con fines de producción, para su aprovechamiento. Este sistema aprovecha de manera más eficientemente los recursos de las zonas de pastoreo, el manejo de tierras y el ciclo natural de las mismas y ayuda a la reforestación en forma eficiente y natural (Díaz et al., 2013). Desde el punto de vista ecológico es un sistema que ha evolucionado y en Suramérica ha contribuido a la conformación de paisajes de alto valor ecológico y de gran biodiversidad, pero altamente antropizado. Actualmente se encuentra en declive perjudicando a comunidades enteras y toda una fauna asociada a la ganadería extensiva. Algo que es importante recalcar es que este sistema conserva razas nativas las cuales son mucho más adaptadas a los cambios climáticos y a las enfermedades resistentes a los antibióticos cosa que no pasa con las razas industriales, lo cual la convierte en un sistema vital en la producción pecuaria (*Ganadería extensiva*, 2014).

1.1.1 Sistemas de rastreabilidad de ganado bovino

Cada vez es mayor el interés por la implementación de sistemas de rastreabilidad en la producción agrícola y pecuaria que sean utilizados como herramientas para capacidad de seguimiento, gestión de la calidad en la industria de alimentos y diferenciación de mercados de alto valor. Las autoridades sanitarias también la han utilizado como elemento clave para la vigilancia y el control sanitario.

La rastreabilidad no es algo nuevo y remonta sus orígenes a tiempos antiguos, hoy en día ha cobrado mayor relevancia ya que es utilizada como herramienta de pertenencia o propiedad y control de seguimiento, como consecuencia de las distintas crisis sanitarias, episodios de enfermedades y la continua pérdida y robo de animales, lo cual conllevó grandes repercusiones sobre el comercio y la industria del sector pecuario. Todas estas

circunstancias hacen que la rastreabilidad sea una herramienta importante para lograr un control más eficiente y mejorar los tiempos de respuesta (Díaz et al., 2013).

Ante esta situación es necesario mejorar los sistemas existentes, haciéndolos no invasivos y con un enfoque integral y global, considerando la responsabilidad de los actores, la modernización del sector pecuario, y el uso del fundamento científico en la toma de decisiones con una mayor transparencia e información al consumidor. La rastreabilidad es entonces una herramienta para la mejora de los sistemas de sanidad agropecuaria que contribuye con la protección al consumidor, facilitan el comercio y la inocuidad de los alimentos.

Adoptar estas condiciones representara desafíos importantes para los ganaderos pues se tendrán que realizar transformaciones en los todos modelos de producción con una mayor coordinación, implicaciones tecnológicas y mayor inversión, pero a largo plazo será una implementación con una visión práctica y viable a nivel económico y técnico.

Hoy en día la evolución del internet de las cosas (IoT) es un medio de comunicación internacional de gran relevancia debido a la evolución tecnológica de dispositivos capaces de conectarse entre sí y presentar información a través de internet.

En el sector pecuario se ha establecido actualmente el uso de tecnología RFID (identificación por radiofrecuencia) para identificación animal y collares de localización y monitorización para ganado utilizando tecnología 2G.

1.1.2 Dispositivos para rastreabilidad

En sector pecuario se ha establecido el uso de tecnología RFID (identificación por radiofrecuencia) para identificación animal y collares de localización y monitorización. Actualmente se pueden encontrar en el mercado los siguientes productos para rastreabilidad para ganado:

- **Bolo Ruminal**

El bolo ruminal es una cápsula de cerámica de 68 mm de largo X 21 mm de ancho, que tiene un peso de 75 gr, que contiene un o microchip de 32mm Sistema HDX pasivo solo lectura y es utilizado para la identificación de rumiantes, se administra a los animales por

vía oral, mediante un cómodo aplicador. Funciona a una temperatura de -25°C a $+85^{\circ}\text{C}$ y no le afectan las radiaciones electromagnéticas, funciona a una frecuencia de 134,2 kHz y tiene un rango de lectura de 1 metro según la configuración usada en lector o antena. Este bolo queda retenido de manera permanente, en el interior del segundo estómago o retículo de los rumiantes, durante toda la vida del animal, sin producir efectos negativos sobre la salud, rendimientos productivos, en la ingestión, digestibilidad de los alimentos.

Figura 1-1: Bolo Ruminal



Fuente: (Datamars Colombia, s. f.)

- **Chapetas electrónicas**

Las chapetas u orejeras o caravanas electrónicas se utilizan para la identificación individual de ganado Vacuno y Búfalos. Este un sistema de dos piezas: bandera o visual y botón con chip, están fabricados con material termoplástico de alta flexibilidad e inviolable. El botón contiene un transponder de 32 mm. El número del chip no puede ser modificado y es único en el mundo. Tiene un diámetro de 25mm- 30 mm y un peso de 5,7 g - 11 gr, funciona a una frecuencia de trabajo de 134,2 kHz y tienen un rango de lectura de 25 mm a 50 cm.

Figura 1-2: Orejera electrónica



Fuente:(Datamars Colombia, s. f.)

- **Chip inyectable**

El chip tiene el tamaño de un grano de arroz, 13,3 x 2,12 mm, está recubierto por una cápsula de vidrio, no requiere baterías y contiene un único código de identificación en el mundo el cual es inmodificable o manipulable. El chip viene con una jeringa esterilizada para realizar una sola aplicación. El chip puede ser leído inmediatamente de la aplicación ya sea que este estático o en movimiento. Tiene un peso de 0.114 gr y funciona en un rango de frecuencia de 134,2 kHz su rango de lectura es de 30 cm.

Figura 1-3: Chip inyectable



Fuente: (*Datamars Colombia*, s. f.)

La orejera electrónica, el chip inyectable y el bolo ruminal, son dispositivos que funcionan con la tecnología RFID, almacenan información del animal y son productos activados por radiofrecuencia y se puede tanto grabar como borrar información.

Collar de localización para monitorización de ganado bovino

El collar inteligente proporciona, además de la localización en tiempo real, el nivel de actividad. Los collares se comunican con el servidor a través de 2G el servidor, seguro y privado, recopila y analiza la información procedente de cada animal y notifica al ganadero cualquier incidencia detectada a través de un PC, móvil o tablet los ganaderos están informados. Reciben notificaciones y pueden gestionar sus rebaños. Un sistema totalmente autónomo e independiente reduciendo así problemas habituales de búsqueda

con los tiempos y gastos que esto conlleva. Trabaja en un rango de frecuencia de LTE band B1 / B3 / B8 / B5/ B20 / B28 (*Ixorigue*, s. f.).

A nivel mundial ha crecido el interés por desarrollar dispositivos capaces de monitorear inalámbricamente el comportamiento de los animales. Actualmente en Colombia no hay un producto elaborado y desarrollado que supla las necesidades del sector pecuario, que sea no invasivo y que tengan la capacidad de transmitir datos. Sin embargo, universidades como la Universidad Santo Tomas de Aquino han planteado nuevas estrategias tecnológicas por medio de las redes inalámbricas como lo muestra en el artículo “Monitoreo en la ganadería bovina a través de redes GSM/GPRS “el cual trabaja con Arduino y usa arquitectura de redes de telefonía celular y transmisión de información (Somoyar, s. f.).

Figura 1-4: Collar de localización



Fuente: (*Ixorigue*, s. f.)

1.2 Telecontrol

El acceso inalámbrico en los últimos años se ha expandido. Esto se debe al estilo de vida actual y la relación con la necesidad de mantener conectividad y una óptima tasa de transmisión continua con redes locales o internet y servicios de voz y datos de forma constante. Especialmente en lugares donde no se puede tener un acceso a las redes cableadas.

Las redes inalámbricas ofrecen compatibilidad con las redes cableadas ya existentes y son de fácil instalación reduciendo costos y siendo de fácil administrar con una gran

capacidad de atravesar barreras físicas, utilizando redes celulares y satélites para dar un cumplimiento al requerimiento de intercambio de información determinado por el usuario. El control remoto, también llamado “telecontrol”, consiste en la conexión de estaciones físicamente distribuidas a uno o más sistemas de control centrales para el monitoreo y control de procesos. Las redes celulares es una de ellas la cual permite el acceso de información abarcando una gran área de cobertura y estando presente para el usuario en el instante que lo genere en todo lugar y momento.

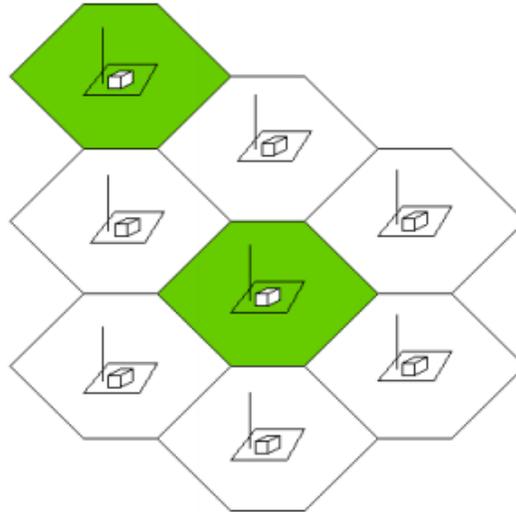
Transmitir datos y digitalizar la señal ha sido un logro de las redes y la telefonía, ya que fue posible él envió de mensajes y llamadas entre dos terminales, ofreciendo paquetes de transmisión de menos peso a mucho más altas velocidades, la cual es ideal para aplicaciones que por su movilidad requieran facilidades de control a distancia (*aa3_siemens_telecontrol.pdf*, s. f.).

1.2.1 Telefonía celular

La telefonía celular ha evolucionado muy rápidamente permitiendo en el mismo instante de acción transmitir datos sin imponer restricciones en cuanto a ubicación y desplazamiento. Este sistema de comunicación telefónica inalámbrica convierte sonidos en señales electromagnéticas, que viajan a través del aire, y son recibidas y transformadas nuevamente en mensajes a través de antenas repetidoras o vía satélite. La comunicación se realiza por ondas de radio en estaciones transmisoras-receptoras en una red llamada estación base y una serie de centrales telefónicas de conmutación inalámbrica obviando la necesidad de emplear conexiones físicas a través de cables.

Un teléfono celular es un dispositivo dual, utiliza una frecuencia para hablar, y una segunda frecuencia aparte para escuchar. Un teléfono puede utilizar 1664 canales. Estos teléfonos también operan con “células” y se pueden alternar la célula a medida que el teléfono es desplazado, abarcan un área comprendido entre 1.5 y 5 Km dentro de las cuales existen varias estaciones repetidoras que trabajan con una determinada frecuencia que debe ser diferente de la célula circundante.(Inzaurrealde, s. f.-a)

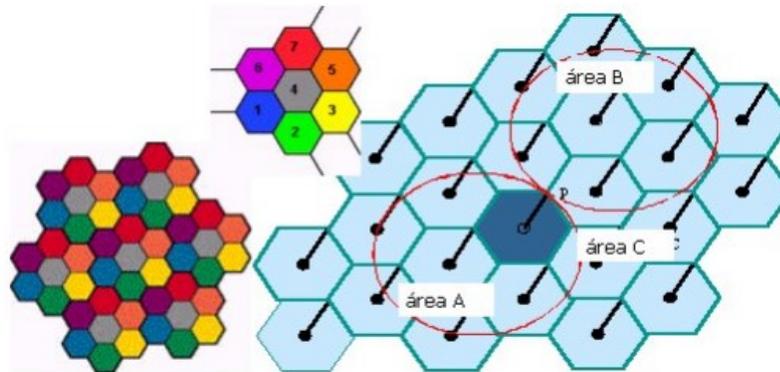
Las frecuencias de transmisión y recepción de cada canal de voz están separadas por 45 MHz. Cada portador también tiene 21 canales de datos para usar, y está dividida en pequeñas células de alrededor de 26 km², que permiten extender la frecuencia en toda la ciudad permitiendo que millones de usuarios tengan servicio en una área extensa sin ningún problema. En la figura 1-5 se puede observar la estructura celular por células.

Figura 1-5: Estructura celular por células

Fuente:(Inzaurrealde, s. f.-b)

Cada estación base tienen un grupo de frecuencias de recepción y transmisión propias y utilizan transmisores de bajo poder, Como el número de frecuencias es limitado es posible utilizar las mismas frecuencias en otras células que no sean adyacentes para evitar interferencias entre ellas, haciendo posible que miles de personas puedan usar el teléfono de manera simultánea. El tamaño de las células puede variar de acuerdo con el lugar en que se encuentre y la separación entre estaciones base en zonas urbanas está entre 1 a 3 km., aunque puede llegar a más de 35 km en zonas rurales. En zonas densamente pobladas o áreas con muchos obstáculos, las células pueden concentrarse en distancias cada vez menores.

Las frecuencias de transmisión y recepción de cada canal de voz están separadas por 45 MHz, cada portador también tiene 21 canales de datos para usar en otras actividades. En un sistema análogo, cada celda utiliza un séptimo de los canales de voz disponibles, es decir, una celda, más las seis celdas que la rodean en un arreglo hexagonal, de manera que cada celda tenga un grupo único de frecuencias y no presente interferencia entre células adyacentes, esta configuración se muestra en la figura 1-6:

Figura 1-6: Configuración de celdas telefonía celular

Puede observarse un grupo de células numerado en la parte superior.

Fuente: (Inzaurrealde, s. f.-b)

1.2.2 Redes de telefonía móvil de 2G

En sus inicios las redes de telefonía usaban bandas de frecuencias de 900MHz, 1800 y 1900 MHz, con el tiempo, se agregó la banda de frecuencia de 850 MHz. Algunos rangos de frecuencia 2G coincidieron con las bandas de 1G lo cual hizo que esta tecnología fuera obsoleta. El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y se emplea en los sistemas de telefonía celular actuales. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System por Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136) y CDMA (Code Division Multiple Access). Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información por voz más altas, pero limitados en comunicación de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares, como datos, fax y SMS (Short Message Service). La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. Estos protocolos son comúnmente llamados GSM "Group Special mobile" (Grupo Especial Móvil) o también Sistema Global para la Comunicaciones Móviles, tiene cuatro versiones principales: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900. En la mayor parte del mundo, a excepción de Estados Unidos, Canadá y América Latina se GSM-900 y GSM-1800, en estos últimos lugares se utilizó principalmente las bandas GSM-850 y GSM-1900.

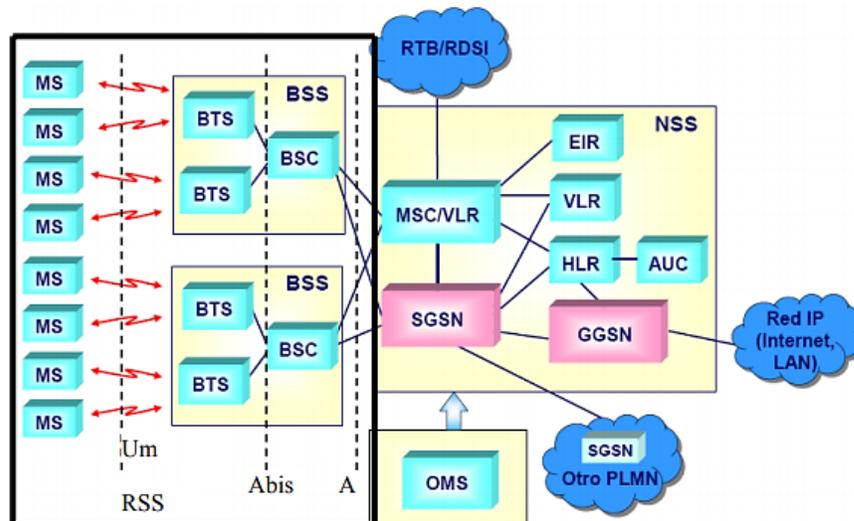
GSM estándar usa de forma más eficiente el espectro de radiofrecuencia (RF) en comparación con las redes celulares anteriores a esta versión y ofrece una mejor seguridad de la transmisión, reduce el costo de terminales e infraestructura. Existe control de llamadas, mensajería corta SMS y ofrece un rango de velocidades de transmisión, desde 300 bps hasta 19.6 kbps.

Esta tecnología emplea una combinación de TDMA y FDMA entre estaciones en un par de canales de radio de frecuencia duplex, con baja lupulización de frecuencia entre canales, TDMA se utiliza para información digital codificada, por lo que GSM es un sistema diseñado para utilizar señales digitales, así como también, canales de voz digitales, lo que permite un moderado nivel de seguridad. (PFC%2F4+Red+GSM.pdf, s. f.)

▪ Arquitectura Red GSM

La arquitectura 2G se pueden subdividir en cuatro partes: la primera es la estación móvil (MS), la segunda es la estación base (BSS) luego sigue el Subsistema de conmutación y red (NSS) y finalmente el subsistemas de soporte y operación (OSS), en la figura 1-7 se pueden observar las subdivisiones de la red GSM.

Figura 1-7: Arquitectura red GSM



Fuente: (PFC%2F4+Red+GSM.pdf, s. f.)

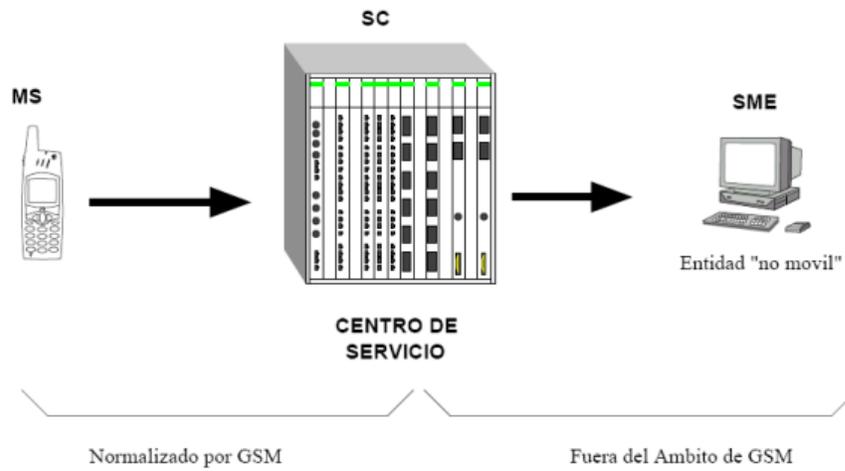
El subsistema de Radio (RSS) es el encargado de cubrir la comunicación de la estación móvil (MS) y la estación base (BTS). Um interfaz de radio entre las dos subestaciones. El subsistema de estaciones base (BSS), consta de BTS (Base Transceiver Station): emisor, receptor y antena y se encarga de procesar los canales (interfaz Um) y BSC (Base Station Controller): Handover que mapea canales de radio sobre canales terrestres y logra comunicación con BTS por medio de interfaz Abis por medio de canales de 16Kbits/, también logra comunicación con MSC a través de interfaz A con canales de 4Kbits/s.

El subsistema (NSS, Network and Switching Subsystem) es el encargado de hacer la conmutación, interconexión con otras redes, gestión de movilidad, y llevar un control del todo el sistema. Está constituido por: MSC (Mobile Services Switching Center), Centro de conmutación, GMSC (Gateway Mobile Services Switching Center). Conexión a más redes, Base de datos HLR y VLR (Visitor Location Register), EIR (Equipment identity Register (*PFC%2F4+Red+GSM.pdf*, s. f.).

1.2.3 Servicio SMS

Es un servicio disponible en los teléfonos móviles y fue creado dentro Sistema global para Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile communications, GSM), permite transferir mensajes de texto entre estaciones móviles (MS) y entidad (SME), a través de un centro de servicios (SC). El servicio final es una comunicación de extremo-extremo entre la estación móvil (MS) y la entidad (SME), en el caso de envío de un mensaje entre dos móviles, ambas partes son estaciones móviles. Cuando se envía un mensaje para solicitar algún tipo de servicio de valor añadido, un extremo es una estación móvil y la otra es un servidor que atiende las peticiones. En la figura 1-8 se muestra la estructura del servicio SMS.

Figura 1-8: Estructura del servicio SMS

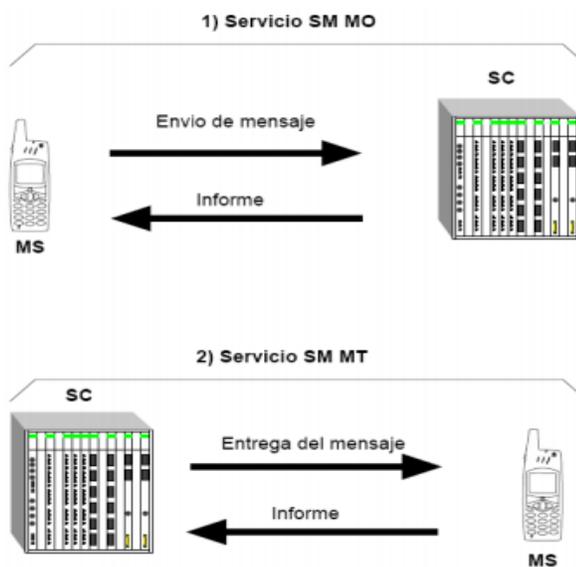


Fuente: (PFC%2F4+Red+GSM.pdf, s. f.)

SM MT (Short Message Mobile Terminated Point—to-Point). Entrega de un mensaje desde el SC hasta una MS.

SM MO (Short Message Mobile Originated Point-to-Point). Envió de un mensaje desde una MS hasta un SC.

Figura 1-9: Servicios básicos SM MO Y SM MT



Fuente:(PFC%2F4+Red+GSM.pdf, s. f.)

▪ **Arquitectura**

La arquitectura de la red para el servicio SMS incluye:

- MS: Estación móvil servicio SMS.
- MSC: Centro de conmutación
- SMS—GMSC: MSC servicio de mensajes cortos (Service SM MT).
- SMS—IWMSC: MSC de interconexión PLMN y el SC (Service SM MO)
- SC: Centro de Servicio.
- HLR, VLR.

▪ **Comandos AT**

Los comandos AT (attention) son instrucciones entre el hombre y un módem en un lenguaje codificado, fueron desarrollados en 1977 por Dennis Hayes como un interfaz de comunicación con un módem con el objetivo de configurarlo y darle instrucciones, como marcar un número de teléfono. Más adelante, las compañías Microcomm y US Robotics desarrollaron y expandieron los comandos hasta universalizarlos.

Inicialmente, el objetivo de los comandos AT era la comunicación con módems, pero la telefonía móvil GSM la adoptó como estándar para comunicarse con sus terminales, de manera que todos los teléfonos móviles GSM poseen comandos AT específicos que sirven de interfaz para configurar y dar instrucciones a los terminales. Estas instrucciones pueden encontrarse en la documentación técnica de los terminales GSM y permite realizar llamadas de datos o de voz, hacer envío de mensajes SMS.

Cada vez que el módem recibe un comando, lo procesa y devuelve un resultado, que normalmente es una cadena ASCII, salvo que se indique lo contrario. Los comandos AT con cadenas ASCII que comienzan por los caracteres AT y terminan con un retorno de carro (LF). Al estar la comunicación en ASCII, es posible utilizar el terminal de comunicaciones desde el PC para poder entrar al módem, ya sea para configurarlo o para hacer pruebas o para establecer una comunicación con otro modem.

Los módems GSM permiten el intercambio de datos con otro módem y utilizando los comandos AT originales. Son como pequeños teléfonos móviles, que incluyen su propia tarjeta SIM para funcionar y permiten gestionar la base de datos de teléfonos, la lista de los mensajes SMS recibidos, enviar mensajes SMS y configurar de parámetros (PFC%2F4+Red+GSM.pdf, s. f.).

▪ **Módem GSM**

Actualmente existe un sinfín de aplicaciones y servicios basados en basados en mensajes cortos. Además de ser utilizados para establecer comunicación entre dos, ahora es posible ofrecer servicios como:

- Elecciones mediante SMS.
- Suscripción a servicios de información.
- Informe de riesgo o averías en equipos.
- Servicios de soporte.
- Alarmas

Estos servicios requieren software y hardware diseñados para acceso a los servicios SMS y que se pueden programar de la siguiente manera:

1. Los teléfonos se pueden conectar al PC y mediante un software acceder a los datos de agenda, tarjeta SIM, así como enviar y recibir mensajes SMS. El problema de esta solución es que no es abierta, y los fabricantes de los teléfonos no proporcionan suficiente información para poder realizar aplicaciones lo cual hace necesario aplicar ingeniería inversa para poder trabajar con ellos.
2. Aplicación de módem GSM: Mediante un módem GSM es posible conectar cualquier sistema digital a la red GSM, esto resulta muy útil ya que no sólo es posible enviar mensajes SMS sino que también transmitir. Existen dos tipos de módems, según la aplicación que se quiera realizar.
 - a. Módems para PCB: Son módems de tamaño reducido (como una tarjeta de memoria) y están listos para ser incorporados dentro de un circuito impreso y permiten desarrollar un hardware específico y que no depende de un PC.

- b. Módems para PC: son bastante pequeños y tienen un conector DB9 hembra para conectarse al computador a través de un cable serial. Son útiles para enviar un SMS cualquier PC.

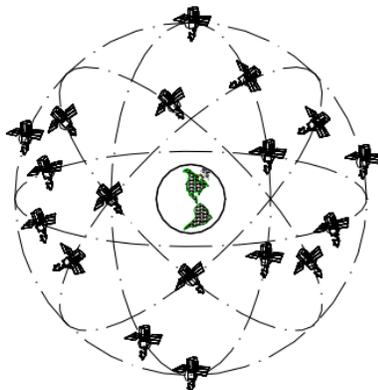
Beneficios red GSM:

- SIM (Subscriber Identification Module) portabilidad del número y actualizaciones remotas inalámbricas.
- Comunicación inalámbrica
- Autenticación del Terminal y la encriptación de datos de la red GSM tiene comunicación confidencial entre los dos terminales de comunicación (*PFC%2F4+Red+GSM.pdf*, s. f.).

1.2.4 Sistema de posicionamiento global (GPS)

El sistema de posicionamiento global, G.P.S, es un sistema mundial de navegación desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Actualmente este sistema consta de 24 satélites artificiales con sus respectivas estaciones en tierra. Este sistema es capaz de proporcionar información las 24 horas del día los 7 días de la semana sin importar las condiciones climáticas. A continuación, en la figura 1-10 se observa la representación gráfica del sistema de satélites artificiales

Figura 1-10: Representación gráfica del sistema de satélites artificiales NAVSTAR



Fuente: (*11-Topografía-Plana-CAP10.pdf*, s. f.)

El sistema de posicionamiento global por satélite o GPS, toma la medición de distancias a partir de señales de radio, las cuales son transmitidas por un grupo de satélites artificiales cuya órbita se conoce con precisión, captadas y codificadas por receptores ubicados donde se desea determinar la posición. Las órbitas de los satélites GPS están inclinadas respecto al ecuador de la Tierra en alrededor de 55° (*11-Topografía-Plana-CAP10.pdf*, s. f.).

▪ **Segmento Espacial**

Los satélites de la constelación NAVSTAR están a una altura de 20180 Km y tiene una inclinación con respecto al plano de 55° . Tiene la capacidad de transmitir dos señales de radio, L1 con una frecuencia de 1.575,43 MHz y una segunda señal L2 1.227, 6 MHz. La señal L1 es la encargada de modular con dos códigos de ruido pseudoaleatorios (Pseudo Random Noise, PRN), y es llamado Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS) o código P o protegido. La señal L2 es la encargada de modular el código p. Los satélites transmiten a los receptores información en un paquete de información repetitivo de cinco diferentes bloques con duración de 30 segundos. Bloque 1 parámetro de correlación de tiempo, bloque 2 y 3 información orbital precisa, bloque 4 y 5 información orbital aproximada. La separación de las órbitas es de 60° y el periodo de los satélites es de 11h 58 m y el sistema está diseñado de tan manera que sobre cualquier punto de la superficie terrestre se van al menos 4 satélites. (*sistema_de_posicionamiento_global.pdf*, s. f.)

▪ **Segmento de control**

El segmento de control GPS consiste en una red global de estaciones terrestres que rastrean y monitorean los satélites GPS, analiza las señales emitidas realiza análisis actualiza todos los datos de los elementos y mensajes de navegación y las correlaciones de reloj de los satélites, envía comandos y datos a la constelación.

El segmento de control operacional actual (OCS) tiene una estación maestra y una estación maestra alternativa, 11 antenas de comando y 16 sitios de monitoreo que se ubican estratégicamente cercanas al plano ecuatorial (*GPS.gov: Segmento de control*, s. f.).

▪ **Segmento de Usuario**

Está formado por receptores GPS que sintonizan las señales emitidas por los satélites y las registran, decodifican el mensaje de navegación y miden el retardo de la señal. Calculan la posición tomando la velocidad de la luz y el tiempo que dura el viaje de la señal así logra obtener las pseudodistancias entre cada uno de los satélites y el receptor en cualquier tiempo que así lo requiera. (sistema_de_posicionamiento_global.pdf, s. f.)

1.2.5 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, cuenta con un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU) y es capaz de ejecutar órdenes grabadas en su memoria. Son dispositivos totalmente autónomos y su funcionamiento está determinado por el programa almacenado en su memoria, los microcontroladores pueden emplear palabras de cuatro bits y funcionar a velocidad de reloj con frecuencias 4 kHz con un consumo de potencia mínimo. Estos dispositivos son ampliamente utilizados en sistemas embebidos para el control de máquinas, en aplicaciones industriales de automatización y robótica, tiene la capacidad de mantenerse a la espera de un evento por lo cual el consumo de energía en estado de reposo puede ser de nanowatts lo cual lo hace idóneo para aplicaciones con batería de larga duración.

▪ **Características de los microcontroladores**

- Entrada RESET: Inicia el chip en el momento deseado para volver a inicio
- RELOJ: ejecuta el programa, usa un cristal de cuarzo o circuito LC
- RC: Alimentación microcontrolador
- Procesador central: CPU del microcontrolador.
- Memoria de programa: Guarda el programa a ejecutar puede ser ROM, EPROM, EEPROM.
- Memoria RAM: Memoria de trabajo.

- Registros hardware: Internos del procesador y los registros usados para controlar los dispositivos externos.
- Puertos de E/S: Conectividad manejo de dispositivos de salida y lectura dispositivos de entrada.
- Contadores y divisores: Son utilizados cuando se requiere control de tiempo (*PFC%2F3+Microcontroladores.pdf*, s. f.).

A continuación, en la figura 1-11 se muestra la representación en bloques de un microcontrolador.

Figura 1-11: Representación esquemática de un microcontrolador



Fuente: (*PFC%2F3+Microcontroladores.pdf*,

s. f.)

2. Desarrollo metodológico

Este proyecto se desarrolla en función de necesidades detectadas en el sector pecuario colombiano. A continuación, se describe el paso a paso detallado que se sigue para su desarrollo.

El dispositivo inalámbrico que se diseñó, establece la comunicación por medio de redes GSM de un teléfono celular, como se puede observar en la figura 2-1. Consta de un microcontrolador, módulo GSM/GPRS, modulo GPS y fuente de alimentación. El mecanismo tendrá la capacidad de enviar datos geolocalización y alarma a través de redes de telefonía móvil, y permitirá la visualización de datos.

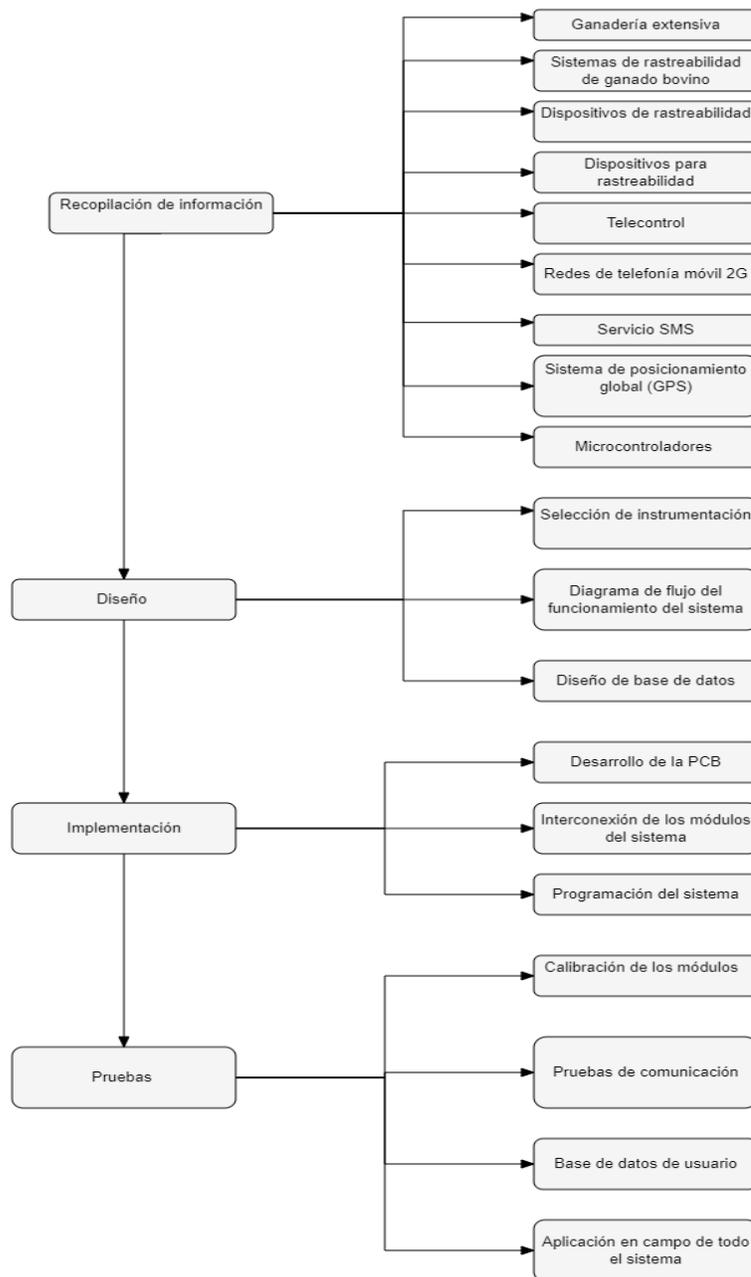
Figura 2-1: Arquitectura del dispositivo



Fuente: Autor

A continuación, en la Figura 2-2, se presenta la metodología empleada para el desarrollo del prototipo.

Figura 2-2: Metodología propuesta



Fuente: Autor

2.1 Estructura del prototipo

El dispositivo que se desarrolló, tiene como principal función recolectar datos de geolocalización, procesarlos y transmitirlos través de una red GSM/GPRS a un teléfono móvil.

El prototipo requiere una fuente de energía capaz de mantener el dispositivo funcional, un módulo (GPS) que se encarga de recolectar datos y un módulo GSM/ GPRS que envía los datos al teléfono celular. Teniendo en cuenta lo mencionado se tiene claro que una de las variables a monitorear es el posicionamiento geográfico. Otro aspecto de gran importancia para el prototipo es emitir y recibir señales de forma inalámbrica, para así lograr establecer una comunicación entre los dispositivos de rastreo y recepción. Cada dato recolectado debe ser procesado por lo cual es necesario un microcontrolador que tenga control total del circuito.

2.2 Análisis y requerimientos del sistema de rastreabilidad

En el diseño del prototipo es de vital importancia escoger elementos prácticos de costos asequibles y con características técnicas idóneas, con base a esto se realiza una relación entre elementos de fácil acceso comercialmente, su ficha técnica y su costo.

2.2.1 Selección de microcontrolador

Al momento de elegir el microcontrolador, se debe tener en cuenta que sea un dispositivo con capacidad de funcionamiento, eficiente y que sea de fácil comercialización. Actualmente existen diferentes familias de microcontroladores como Atmel, Microchip, Rabbit, Freescale, Texas instrument y existen en gamas de 8bit, 16bit y 32bit. De estas familias de microcontroladores la más asequible en el mercado nacional son Microchip. Todas las marcas mencionadas soportan el prototipo a diseñar, pero en este caso se trabaja con la familia Microchip ya que son dispositivos de fácil acceso y de bajo costo,

siendo muy utilizados en cuanto a la codificación para establecer 54 funciones específicas y debido a que son muy empleados y se puede encontrar una gran cantidad de información referente a su codificación

El dispositivo elegido para trabajar es el microcontrolador PIC18f2550, el cual pertenece a la familia "PIC18 MCU". Tiene características de memoria de programa, memoria RAM, memoria EPROM, 4 puertos de Entradas/Salidas, número de canales analógicos y tipos de puertos de comunicación, todo esto ha hecho de este uno de los dispositivos más utilizados para diversas aplicaciones siendo ideal para la conexión de módulos GPS y módulos encargados de transmisión de datos inalámbricamente. Este PIC sea ha trabajado previamente en la academia, lo cual lo convierte en un dispositivo de confianza(*PFC%2F3+Microcontroladores.pdf*, s. f.). En la figura 2-3 se observa el microcontrolador con referencia 18f3550.

Figura 2-3: Microcontrolador Microchip 18f2550



Fuente:(*PIC18F2550 DIP28*, s. f.)

2.2.2 Modulo GPS

La selección del GPS tiene tres variables, costo, tamaño, y fácil comercialización.

- **Modulo GPS L80-R**

El GPS L80-R es un módulo altamente compacto viene con una antena de parche de (15.0 mm × 15.0 mm × 4.0 mm) adopta un encapsulado el cual permite que permite soldar de manera sencilla. Su antena integrada el L80-R tiene un rendimiento excepcional tanto en la adquisición como en el seguimiento logrando un mejor rendimiento. La L80-R logra el cumple ampliamente con todos los estándar industriales y

la convierte en un elemento de alta confiabilidad garantizando que pueda calcular y predecir las órbitas automáticamente usando los datos de efemérides almacenados en la memoria RAM interna, posee 66 canales de búsqueda y 22 canales de seguimiento simultáneos, por lo que el L80-R puede fijar la posición rápidamente incluso en niveles de señal interiores con bajo consumo de energía. (TARJETA-L80-R.pdf, s. f.)

Figura 2-4: Modulo GPS L80R



Fuente (TARJETA L80-R - Sigma Electrónica, s. f.)

▪ Módulos NEO-6M

Receptores GPS NEO 6M son dispositivos receptores flexibles con motor de posicionamiento integrado de alto rendimiento y de precio asequible. Ofrece numerosas opciones de conectividad, tiene una arquitectura compacta con opciones de conectividad en una miniatura de (16mm x 12,2mm x 2,4 mm).sus opciones de alimentación y memoria hacen que el MUDULO GS NEO 6M sea ideal para dispositivos móviles que funcional con baterías con limitaciones de espacio y en medios hostiles. El motor de posicionamiento u-blox 6 de 50 canales cuenta con tiempo de recuperación de menos de 1 segundo y el motor de adquisición cuenta con dos millones de correlaciones cada una capaz de realizar búsquedas masivas de espacio de tiempo/frecuencia en paralelo, lo cual lo convierte en un dispositivo con una alta taza búsqueda que le permite encontrar satélites al instante. El diseño innovador de este dispositivo suprime todas las fuentes de interferencia y evita todos los efectos que producen trayectos múltiples, dando como resultado un excelente rendimiento de navegación de los receptores incluso en entornos altamente desafiantes..(NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf, s. f.)

Figura 2-5: Modulo GPS NEO 6M V2

Fuente (*Módulo GPS NEO-6M V2*, s. f.)

En la tabla 2-1, se hace la comparación de los módulos GPS de costo y tamaño y fácil comercialización mencionaron anteriormente.

Tabla 2-1: Comparación de los módulos GPS

MODULO GPS	COSTO	CARACTERISTICAS	COMERCIALIZACION
TARJETA GPS L80-R	\$ 39.900,00	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidad: 165dBm rastreo, 148dBm adquisición - 66 canales de adquisición, 22 de rastreo - Sin memoria externa 	Disponibilidad en la ciudad de Bogotá envió 4 días hábiles
MODULO GPS NEO-6M V2	\$ 38.000,00	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidad: 165dBm rastreo, 148dBm adquisición - 66 canales de adquisición, 22 de rastreo - EPROM para guardar datos de configuración 	Disponibilidad en la ciudad de Sogamoso y Tunja tienda Ferretronica

Fuente: El autor

En el cuadro anterior se observa de color azul el modulo GPS que se eligió es el NEO-6M V2, el cual es más eficiente en comparación al módulo GPS L80-R, cumpliendo con

las funciones necesarias para dar un trabajo óptimo y efectuando todos los requerimientos necesarios para el prototipo a diseñar. Adicional a esto en la ciudad de Sogamoso y Tunja es de mayor comercialización.

2.2.3 Selección de red inalámbrica

En la selección se pretende analizar el costo que pueda representar el dispositivo y la facilidad de transmisión de la información a internet. Las tecnologías a poner a prueba para ser analizadas serán las WIFI, GSM/GPRS.

▪ Tecnologías WI-FI

Los estándares IEEE y los de la industria de las telecomunicaciones para las comunicaciones inalámbricas de datos abarcan las capas física y de enlace de datos. La tecnología LAN inalámbrica (WLAN) conocida como (Wi-Fi) la certifica la IEEE 802.11 y utiliza un sistema por contienda o no determinista con un proceso de acceso múltiple por detección de portadora y prevención de colisiones para acceder a los medios. Operan en la banda de 2.4 GHz ya que está disponible universalmente, y con una velocidad de aproximada de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s respectivamente. En la actualidad WI-FI tiene una tasa de transmisión alta de datos, por lo cual es común que este en todos los aparatos electrónicos bien sea por conectividad entre ellos o a internet. WI-FI garantiza seguridad en las redes como el WEP, el WPA, o el WPA2 que codifican la información para proteger confidencialidad en la comunicación de los dispositivos inalámbricos.

▪ Tecnologías GSM/ GPRS

El sistema de 2 y 2.5 Generación tiene como fin la transmisión de paquetes vía radio sobre el sistema GSM la cual posee una tasa de transmisión de 40 Kbps hasta 115 Kbps y es empleado en los sistemas de telefonía celular actuales. Esta tecnología es ideal para el prototipo a diseñar ya que no requiere de altas tasas de transmisión de datos y puedes ser implementada sin ningún tipo de complejidad.

Se analizan las tecnologías mencionadas y se determina que cualquiera de estas tecnologías es óptima para el prototipo a diseñar. Dado esto es necesario analizar las características técnicas ya que son dispositivos que se encuentran en el mercado y su uso es confiable. Al analizar la tecnología WI-FI se observa que tiene una tasa alta de transmisión de 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s y las tecnología GSM/GPRS tiene también una tasa de datos de alrededor de 40Kbit/s hasta los 115Kbit/s; según las características técnicas observadas WI-FI es el medio más eficiente pero como los datos a transmitir no son tan grandes no es necesaria una alta tasa de transmisión, por lo cual es mucho más viable y eficiente para el prototipo la tecnología GSM/GPRS ya que la red ya está implementada y la cobertura depende totalmente de empresas de telefónica móvil como CLARO, TIGO y MOVISTAR.

El módulo GSM/GPRS que se utiliza es el módulo SIM800L el cual tiene un costo asequible y es de fácil comercialización. A continuación, en la figura 2-6 se visualiza el módulo SIM800L.

Figura 2-6: Modulo SIM800L



Fuente: (*Módulo SIM800L GSM / GPRS*, s. f.)

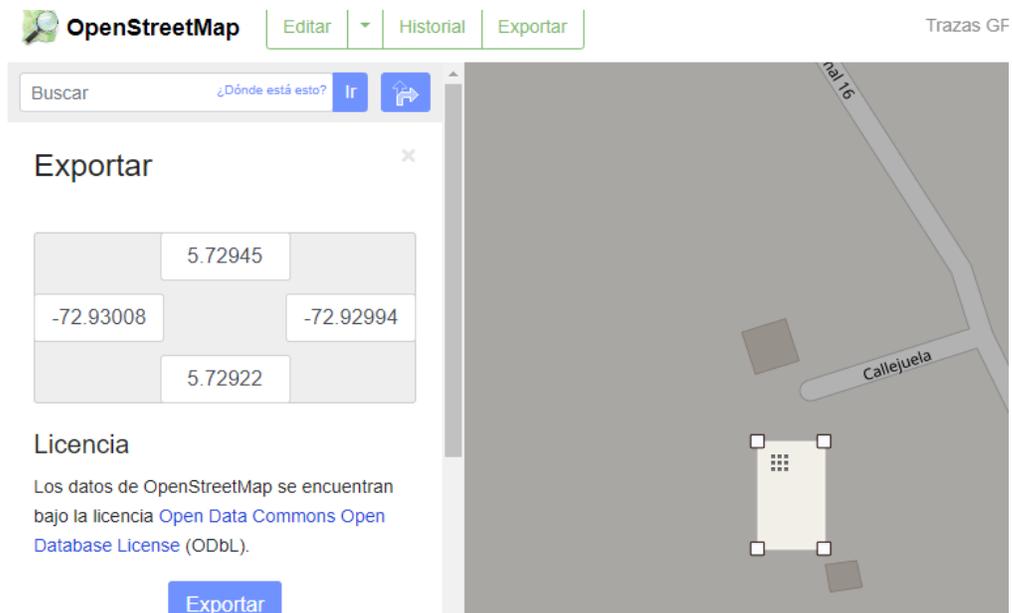
2.2.4 Delimitación de la zona de monitoreo

El sistema de monitoreo se instala en un predio ubicado en el municipio de Sogamoso, Boyacá por su facilidad de acceso para realizar las pruebas. A continuación, se describe el predio, se encuentra ubicado en las coordenadas $5^{\circ}43'45.27''N$, $72^{\circ}55'48.07''O$ en la figura 2-7 se muestran las medidas aproximadas que delimitan la propiedad.

Figura 2-7: Coordenadas del predio para el sistema de monitoreo

Fuente: EARTH. Predio ubicado en el municipio de Sogamoso, Boyacá

El predio tiene un área aproximada de 55.02 metros cuadrados y un perímetro de 182.77 metros. Las medidas del predio en el cual se aplicará el sistema de rastreo son proporcionadas por la herramienta de Google Earth pro. En la figura 2-8 se utilizó la herramienta OpenStreetMap para obtener los puntos cardinales del predio.

Figura 2-8: Puntos cardinales del predio

Fuente: OpenStreetMap predio ubicado en el municipio de Sogamoso, Boyaca

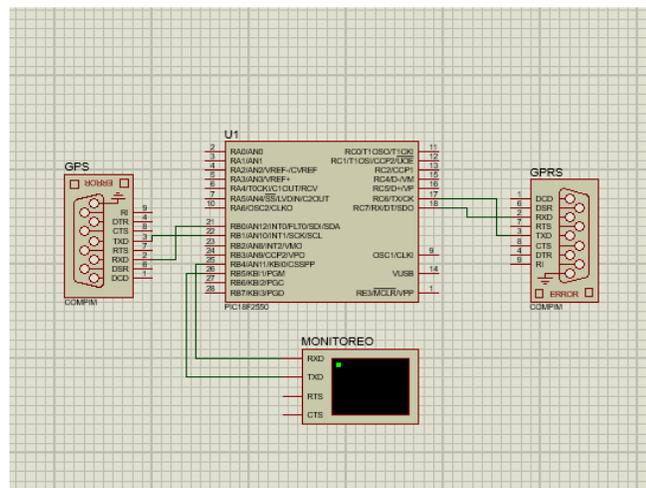
2.3 Programación del sistema

El sistema construido se basa en sistemas embebidos con dispositivos electrónicos de uso específico controlados por un microcontrolador PIC18F2550 interconectados mediante el protocolo de comunicación serial RS232, a continuación se describirá el proceso de programación desde el microcontrolador hacia los dos dispositivos externos GPRS y modem GSM.

Como se mencionó anteriormente se basa en comunicación serial y requiere de muy pocos componentes externos lo que nos lleva a la presentación del siguiente diagrama esquemático general.

A continuación, se presenta el diagrama esquemático general del sistema realizando la simulación en el software Proteus, se presentan dos puertos COM virtuales llamados COMPIM que con ayuda de una tarjeta de conversión de protocolo SERIAL a USB permite conectar directamente el GPS y el modem GSM al simulador. También se inserta otro terminal que sirve como monitor para verificar lo que se está enviando y recibiendo a los módulos. A continuación, en la figura 2-9 se observa el diagrama general del sistema

Figura 2-9: Diagrama general del sistema



Fuente: Simulador Proteus

Se presentan 3 módulos de componente serial que parten desde el microcontrolador cada uno con una función determinada.

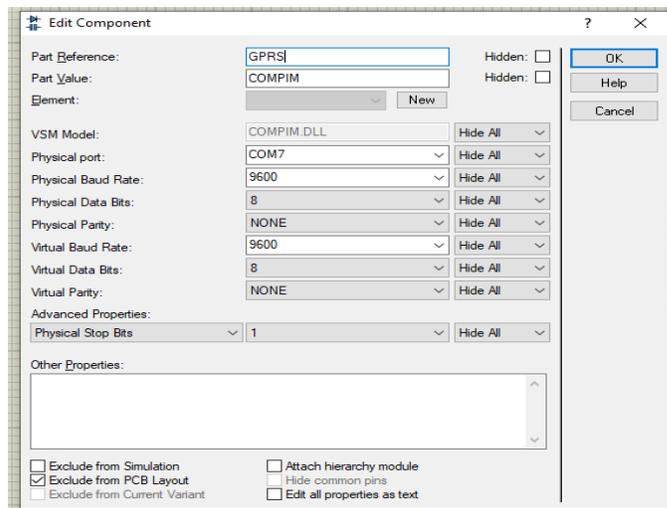
El primero nombrado como GPS se conecta al pin RB0=RX y RB1=TX del PIC denominado COM 2 dentro del software, este será encargado de recibir de forma permanente la información proveniente del módulo en mención para luego procesar internamente la trama de datos internamente ya que es extensa y requiere de tomar únicamente la información necesaria como se explica más adelante en el apartado **“Pruebas GPS mediante software Hyperterminal”**.

El segundo nombrado como GPRS se conecta al pin RC7=RX y RC6=TX y es el encargado de conectorizar el modem GSM y realizar también la comunicación GPRS a THING SPEAK, el modem no está información de forma permanente por ese motivo se realiza la conexión a estos puertos que permiten utilizar la interrupción de puerto serial del microcontrolador y así evitar pérdidas de información y bloqueos del sistema

El tercer puerto serial programado en el microcontrolador se utilizó como monitor de datos para verificar el óptimo funcionamiento de las tramas enviadas y recibidas hacia cada uno de los dispositivos.

A continuación, se presenta el diagrama esquemático general en la figura 2-10 del sistema realizando la simulación en el software Proteus, se presentan dos puertos COM virtuales llamados COMPIM que con ayuda de una tarjeta de conversión de protocolo SERIAL a USB permite conectar directamente el GPS Y el modem GSM al simulador.

Figura 2-10: Configuración puerto COMPIM



Fuente: Autor

Hasta aquí se ha nombrado que la configuración del dispositivo GPRS se realiza mediante comandos AT enviados a través del microcontrolador, a continuación, se describen los comandos utilizados para establecer la conexión y enviar el mensaje al software ThingSpeak.

Rutina de datos de establecimiento de conexión GPRS

ATE0 => Quitar eco del sistema

AT => Verificar que responda bien

AT+CIPSHUT => desactivar conexiones GPRS

AT+CIPMUX=0 => Comando configura el dispositivo para una conexión IP única o múltiple 0=única

AT+CGATT=1 => enlazar conexión

AT+CSTT="internet.movistar.com.co","movistar","movistar" => comando configura el APN, nombre de usuario y contraseña.

AT+CIICR => realizar una conexión inalámbrica con GPRS O CSD

AT+CIFSR => Obtener IP local

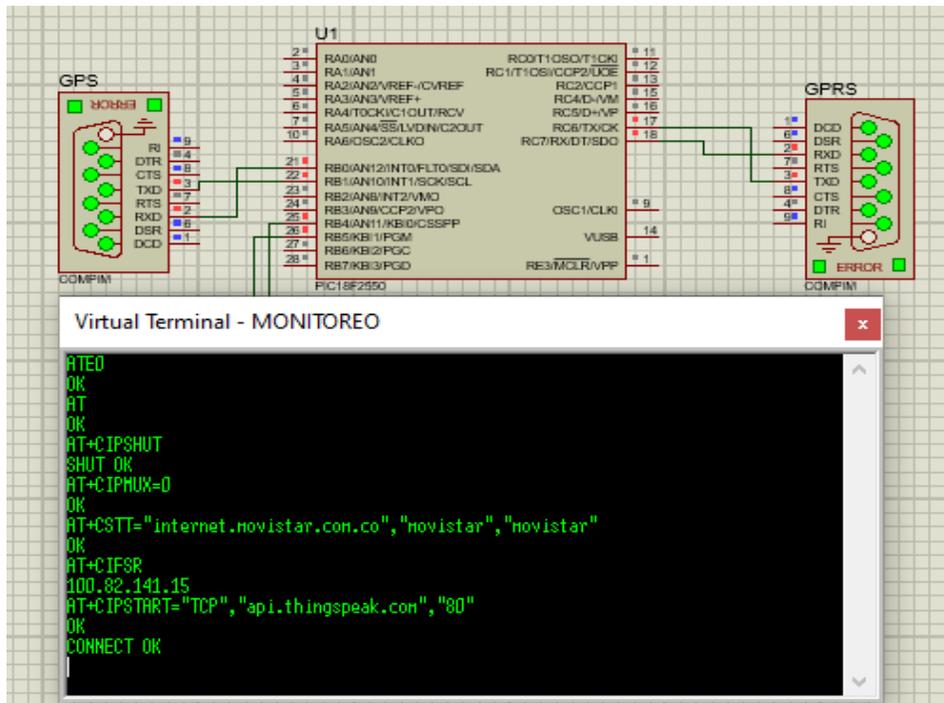
AT+CIPSTART="TCP","api.thingspeak.com","80" => Indicar tipo de conexión, url o dirección IP y puerto a realizar conexión

AT+CIPSEND => envía datos a través de una conexión TCP O UDP

GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=UM1WXGALX2RSI4TL&field1=0

En la figura 2-11 se presenta la rutina de configuración con las respectivas respuestas enviadas por el modem y el servidor.

Figura 2-11: Monitoreo de datos virtual terminal.



Fuente: Virtual terminal

Adicional a los comandos AT presentados anteriormente se presentan otros comandos utilizados mediante la programación tanto para realizar la llamada al usuario como para el mensaje de texto.

Comandos AT utilizados para la realización de la llamada telefónica

ATD3215334995; => Realizar llamada al número escrito.

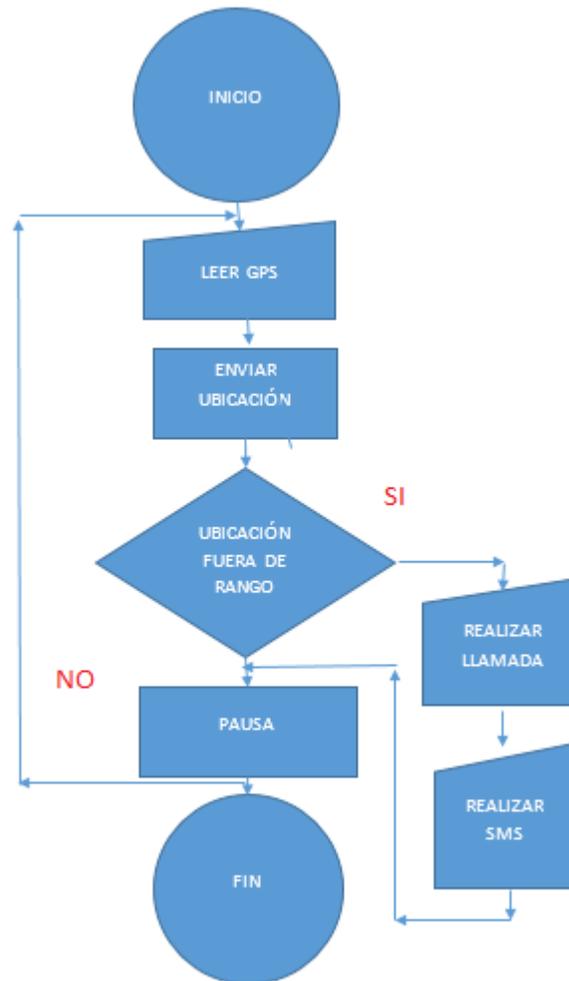
ATH => Colgar La llamada.

Comandos AT utilizados para la realización del mensaje de texto

AT+CMGF=1 (activar modo texto);

AT+CMGS="+57xxxxxxxxxx".145 (145, formato internacional, # celular)

Para describir mejor el sistema se presenta el diagrama de flujo del microcontrolador de la figura 2-12.

Figura 2-12: Diagrama de flujo

Fuente: Autor

2.4 Implementación del sistema

Teniendo en cuenta las características del predio el sistema requiere los siguientes elementos. En la sección 2.2 se especificó los elementos a utilizar:

Microcontrolador

Modulo GPS y antena.

Antena GSM SIM800L.

Bateria

2.4.1 Diseño del circuito

Para realizar el diseño del circuito electrónico se procedió a realizarse por subdivisiones; las cuales se probaron e implementaron de manera individual, con el objetivo de llevar a cabo un desarrollo más ordenado. Una vez todas las secciones fueron probadas y organizadas, se procedió hacer el ensamble general del circuito.

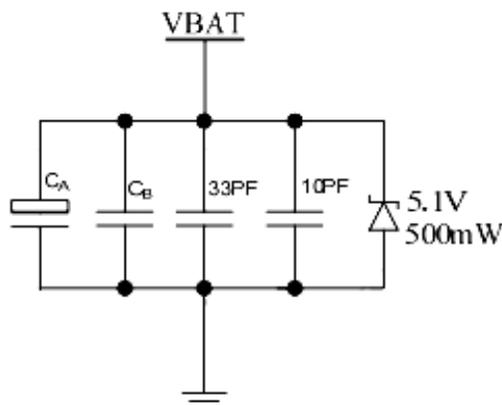
▪ Pruebas del módulo GSM/GPRS

Características de alimentación del modulo

El rango de la fuente de alimentación de SIM800L es clave en el diseño de los terminales del módulo GSM. El voltaje de trabajo del módulo oscila entre 3.4 V a 4.4 V, el voltaje recomendado es de 4 V. La caída de voltaje no debe pasar del voltaje mínimo de trabajo el cual en el módulo es de 2 A. Para la entrada VBAT se recomienda un condensador de desviación de 100uF.

El aumento de los capacitores de 33pF y 10 pF puede eliminar la interferencia de alta frecuencia. Se recomienda un diodo Zener de 5.1 V / 500 mW, el diodo evita que el chip se dañe por el aumento de voltaje. Los condensadores y el diodo se deben colocar lo más cercano posible del pin de entrada VBAT. En la figura 2-13 se observa la representación del circuito para la entrada VBAT.

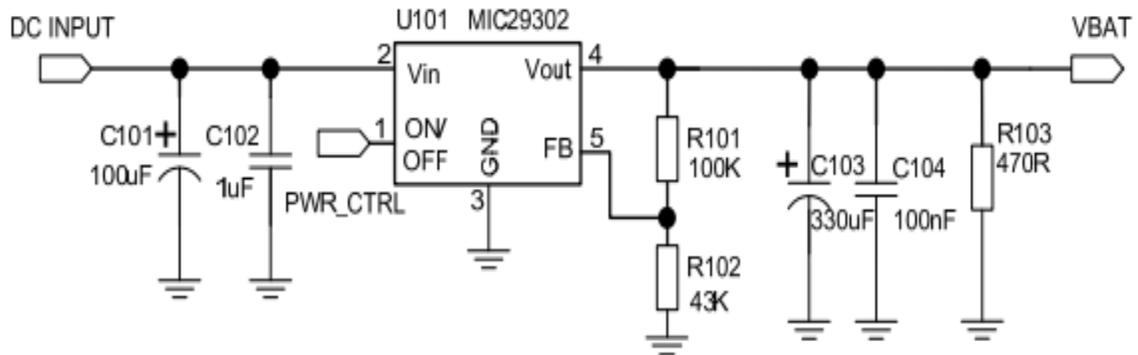
Figura 2-13: Referencia del circuito para la entrada VBAT



Fuente: (*Datasheet_SIM800L.pdf*, s. f.)

En la figura 2-14 se hace referencia de la fuente de alimentación de entrada +5 V. La salida está diseñada para un suministro de 4.1V.

Figura 2-14: Circuito de referencia para la fuente de alimentación



Fuente: (*Datasheet_SIM800L.pdf*, s. f.)

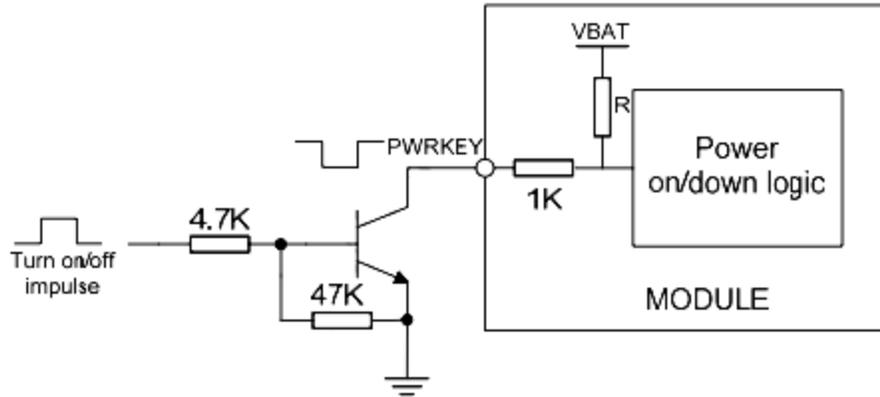
Pin de fuente de alimentación

El pin1 y el pin2 son entradas VBAT, los pines 2, 43, 44, 45, son GND de la fuente de alimentación, el pin VRTC es la fuente de alimentación del circuito RLC. El VDD_EXT tiene una salida de 2.8 V cuando el modulo está en modo de operación normal.

El rango de alimentación oscila entre los 3.3 V a 4.4 V. Se debe asegurar que la tensión de entrada nunca debe estar por debajo de 3,3 V, incluso cuando el consumo de corriente aumenta a 2 A en la ráfaga de transmisión. Si el voltaje de la alimentación llegara a caer por debajo de los 3 V el módulo muy seguramente se apagara de forma automática. Las trazas de la PCB del VBAT deben ser lo suficientemente anchas (al menos de 60 mm) para disminuir las caídas de voltaje en la ráfaga de trasmisión.

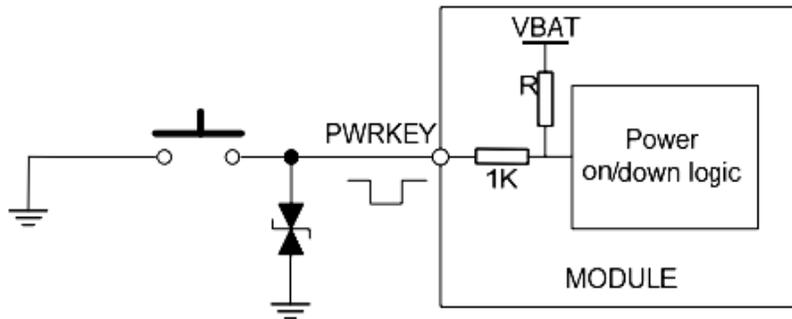
Escenarios de encendido y apagado

El módulo se activará por medio del pin PWRKEY durante al menos 1 segundo. Este pin ya ha subido el VBAT en el módulo interno, por lo que no es necesario el PULL UP interno. En la Figura 2-15 se hace una referencia simple del circuito.

Figura 2-15: Modulo encendido / apagado usando transistor

Fuente: (*Datasheet_SIM800L.pdf*, s. f.)

En la figura 2-16 de igual manera se hace una referencia simple de modulo encendido y apagado usando transistor.

Figura 2-16: Modulo encendido apagado mediante botón.

Fuente:(*Datasheet_SIM800L.pdf*, s. f.)

Apagado SIM800L

- Procedimiento de apagado normal: apague el SIM800L mediante el pin PWRKEY.
- Procedimiento normal de apagado: Apague el SIM800L mediante el comando AT "AT+CPOWD=I".

- Procedimiento de apagado anormal: Apagado automático por sobrevoltaje o bajo voltaje.
- Apagado anormal: Apagado automático por sobre temperatura o baja temperatura.

Apagadar el modulo SIM800L con comandos AT

Es posible apagar el modulo usando el comando AT "AT+CPOWD=1". Este procedimiento cierra la sesión de la red permitiendo que el software entre en estado seguro y guarde datos antes de que se apague por completo. Antes de completar el procedimiento de apagado, el modulo enviara URC:

APAGADO NORMAL: Comandos AT no ejecutables RTC modo activo, es posible dar la opción modo apagado a través del pin STATUS, estado actual nivel.

Interfaz serial:

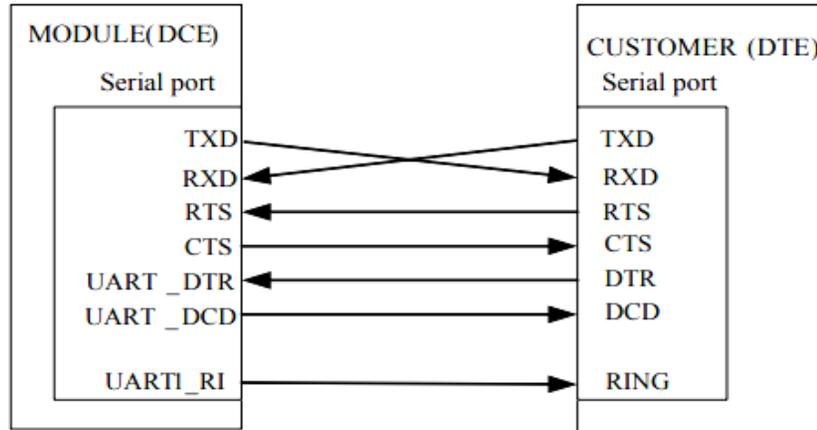
El módulo dos puertos serie: UART y Debug Port.

Diseño DCE (Data Communication Equipment), conexión tradicional DCE-DTE (equipo terminal de datos). Función autobauding velocidad de transmisión de 4800 bps a 115200 bps.

Puerto UART:

- TXD: Envío de datos a RXD de DTE.
- RXD: Recepción de datos TXD de DTE.
- RTS: Solicitudes para enviar.
- CTS: Despejar para enviar.
- DTR: DTE informa que está listo DCE iniciar modulo
- RI (Ring Indicator): Indicador de llamada o mensaje (señal de salida para informar al DTE).
- DCD (Data Carrier Detection): Detección de portadores de datos (enlace de comunicación configurado).

En la figura 2-17 se hace referencia a las conexiones de las interfaces seriales

Figura 2-17: Conexión de las interfaces seriales

Fuente: (Datasheet_SIM800L.pdf, s. f.)

Interfaz de tarjeta SIM

La interfaz SIM cumple con las especificaciones GSM fase 1 y fase 2 para tarjeta SIM rápida de 64 Kbps. Admite tarjetas SIM de 1.8V y 3V.

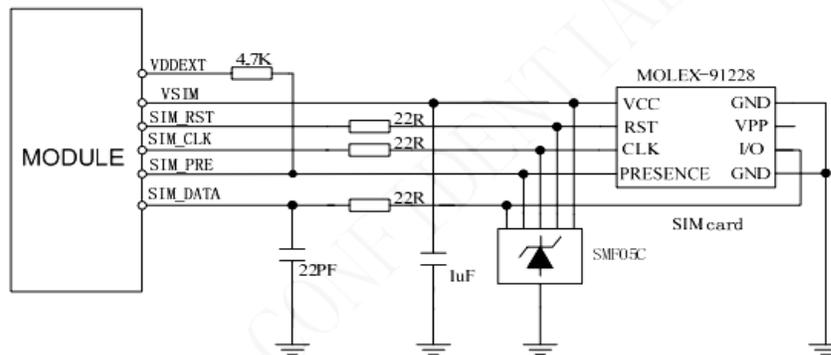
La interfaz SIM se alimenta desde un regulador interno en el módulo.

Tabla 2-2: Definición de pines de la interfaz SIM.

Pin name	Pin number	Function
VSIM	16	Voltage supply for SIM card. Support 1.8V or 3V SIM card
SIM_DATA	14	SIM data input/output
SIM_CLK	55	SIM clock
SIM_RST	15	SIM reset
SIM_PRE	54	SIM card detection

Fuente (Datasheet_SIM800L.pdf, s. f.)

Circuito referencia tarjeta SIM 8 pines, visualización Figura 2-18

Figura 2-18: Circuito pines SIM-CARD.

Fuente:(*Datasheet_SIM800L.pdf*, s. f.)

El comando AT “ AT+CDDT” se usa para habilitar o deshabilitar SIM función de detección de tarjetas. Se utilizó una tarjeta de desarrollo que tiene un circuito SIM con conexiones necesarias para la ubicación de la antena de transmisión y recepción. De este modo el módulo se presta para hacer pruebas de funcionamiento en el laboratorio. En la Figura 2-19 se podrá ver el perfil físico del módulo

Figura 2-19: Tarjeta de desarrollo del módulo SIM800L.

Fuente:Autor

Dada las especificaciones se procede a realizar el montaje sugerido por el fabricante para se procede a programar los pines GND, VBAT, NETLIGHT, POWERKEY y STATUS. Lo demás pines del dispositivo no son requeridos en el diseño del prototipo.

Al momento de hacer la verificación del módulo se utiliza el puerto UART del módulo para ser conectado al computador por comunicación serial. En este caso se emplea el programa YAT para conectar el modulo con el PC y establecer comunicación. Una vez la

conexión es exitosa se procede a emplear los comandos AT para programar el modulo y enviar indicaciones con su respectivo funcionamiento

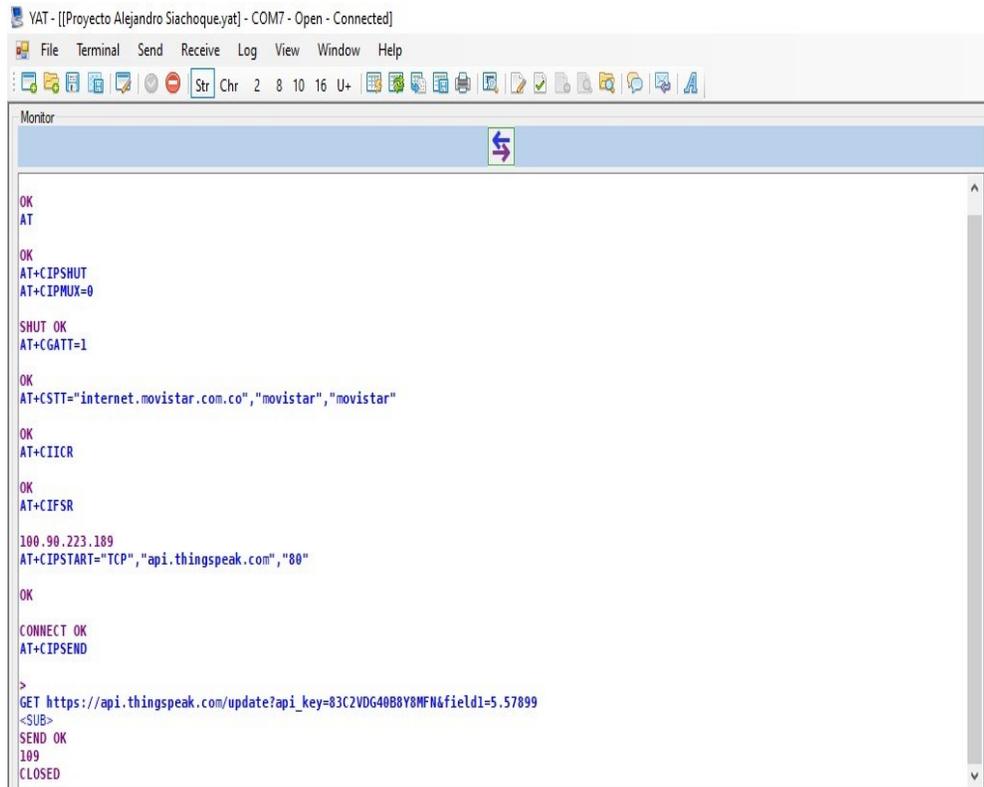
Se realizan pruebas en la transmisión de mensaje de texto cortos desde el módulo SIM800L al teléfono móvil. Para esto es necesario utilizar el comando AT+CMGF=1 el cual es configurado en el modo texto y se procede a enviar el comando.

Con ayuda del comando AT+CMGF=1 se configura el modo texto, luego se responde con un OK y se envía el comando AT+CMGS="Numero Celular en el cual se debe indicar el número de celular al cual va a llegar el mensaje desde el modulo, inmediatamente el sistema dará la opción mensaje a enviar.

Pruebas modem GPRS para enviar los datos a ThingSpeak

Se utiliza el software YAT para establecer conexión del módulo SIM800L a la aplicación en línea ThingSpeak en la figura 2-20 se muestra como se realiza una conexión exitosa.

Figura 2-20: Conexión módulo GSM SIM800L a la aplicación ThingSpeak



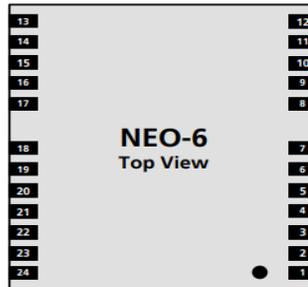
```
YAT - [[Proyecto Alejandro Siachoque.yat] - COM7 - Open - Connected]
File Terminal Send Receive Log View Window Help
Chr 2 8 10 16 U+
Monitor
OK
AT
OK
AT+CIPSHUT
AT+CIPMUX=0
SHUT OK
AT+CGATT=1
OK
AT+CSTT="internet.movistar.com.co","movistar","movistar"
OK
AT+CIICR
OK
AT+CIFSR
100.90.223.189
AT+CIPSTART="TCP","api.thingspeak.com","80"
OK
CONNECT OK
AT+CIPSEND
>
GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=83C2VDG40B8Y8NFN&field1=5.57899
<SUB>
SEND OK
109
CLOSED
```

Fuente: Autor

▪ Pruebas del módulo GPS

EL modulo GPS NEO 6MV2 incluye su antena cerámica para colocarse directamente sobre el PCB, por lo que viene listo para operar sin más accesorios. Este módulo puede funcionar con un voltaje de alimentación en el rango de 3V a 5V, mientras que las señales que entran y salen del módulo son de 3.3V. El módulo está equipado con una almohadilla de paso de 2,4 mm de 24 pines que se conecta a su plataforma de aplicación. En la figura 2-21 se podrá observar la asignación de los de pines del módulo GPS NEO 6M.

Figura 2-21: Asignación de pines módulo GPS NEO 6M



Fuente:(*NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf*, s. f.)

Se empleó los pines VCC, V_BCKP, GND, y el puerto UART para la comunicación serial, la antena viene integrada la modulo.

VCC: Se encarga de suministrar a los pines BB, RF, E / S, LNA, al circuito de detección de antena y sistema de protección a corto. Se debe tener especial cuidado en la carga del VCC ya que pueden tener variaciones por la carga del procesador o el número de satélites rastreados o por la tasa de adquisición de satélites.

El pin V_BCKP se encarga de suministrar energía para el domino RTC esta tensión puede ser variable y oscilar entre el 1.5 V a 4.3.

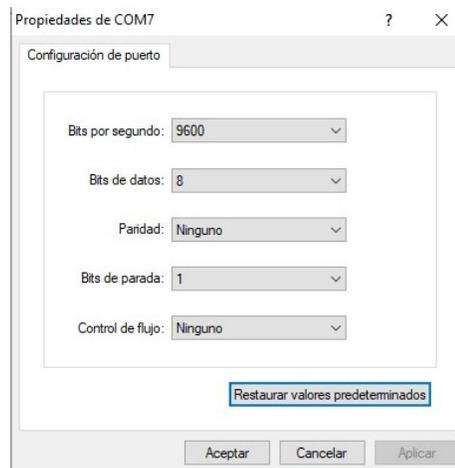
En la tabla 2-3 se puede apreciar la distribución de pines del módulo GPS NEO 6M

Tabla 2-3: Pines del módulo GPS NEO 6M

No	Module	Name	I/O	Description
1	All	Reserved	I	Reserved
2	All	SS_N	I	SPI Slave Select
3	All	TIMEPULSE	O	Timepulse (1PPS)
4	All	EXTINT0	I	External Interrupt Pin
5	All	USB_DM	I/O	USB Data
6	All	USB_DP	I/O	USB Data
7	All	VDDUSB	I	USB Supply
8	All	Reserved		See Hardware Integration Manual Pin 8 and 9 must be connected together.
9	All	VCC_RF	O	Output Voltage RF section Pin 8 and 9 must be connected together.
10	All	GND	I	Ground
11	All	RF_IN	I	GPS signal input
12	All	GND	I	Ground
13	All	GND	I	Ground
14	All	MOSI/CFG_COM0	O/I	SPI MOSI / Configuration Pin. Leave open if not used.
15	All	MISO/CFG_COM1	I	SPI MISO / Configuration Pin. Leave open if not used.
16	All	CFG_GPS0/SCK	I	Power Mode Configuration Pin / SPI Clock. Leave open if not used.
17	All	Reserved	I	Reserved
18	All	SDA2	I/O	DDC Data
19	All	SCL2	I/O	DDC Clock
20	All	TxD1	O	Serial Port 1
21	All	RxD1	I	Serial Port 1
22	All	V_BCKP	I	Backup voltage supply
23	All	VCC	I	Supply voltage
24	All	GND	I	Ground

Fuente: *(NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf, s. f.)*

Para lograr una mejor validación para los pines TTFF, RTC es necesario suministrar energía a la memoria SRAM en el dominio de RTC, que contiene toda información GPS necesaria para la puesta en marcha. A continuación, en la figura 2-22 se muestra la configuración del puerto serial del pc para realizar pruebas de funcionamiento del GPS.

Figura 2-22: Configuración del puerto serial del pc

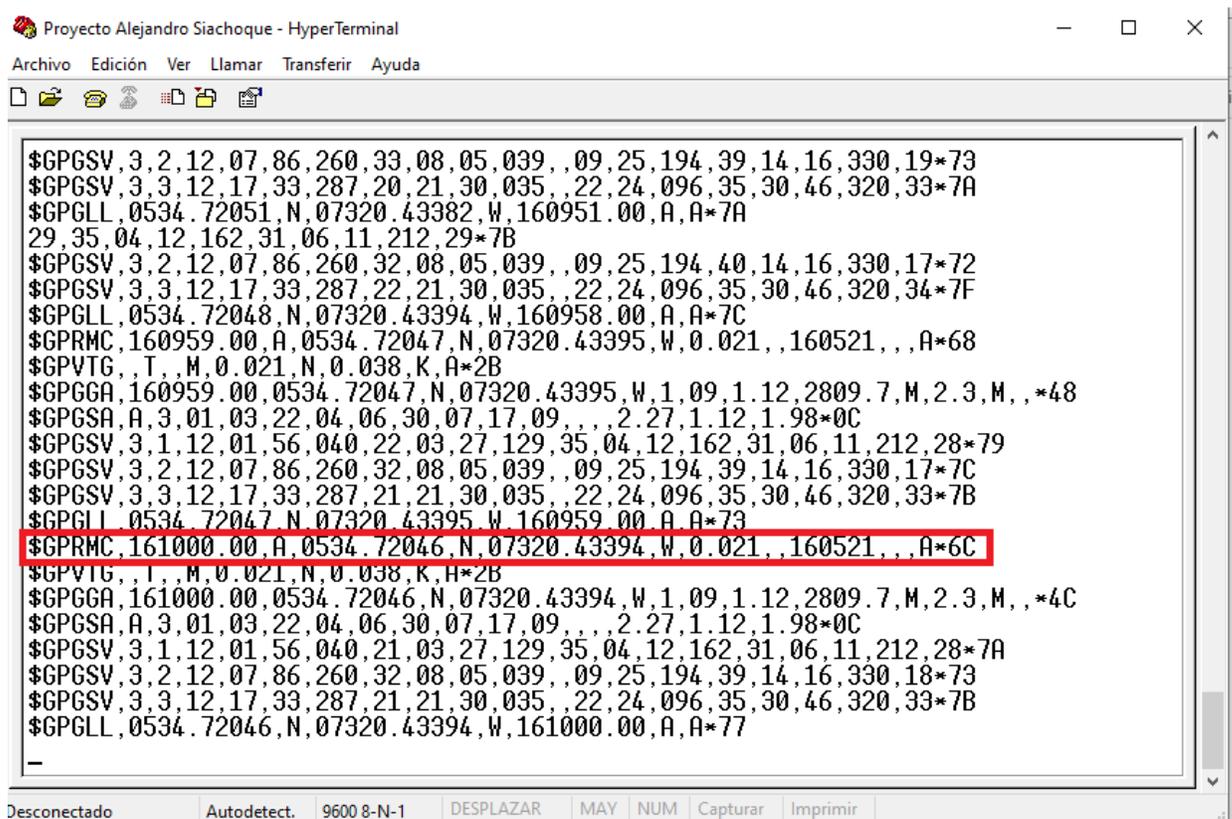
Fuente: Autor

Pruebas GPS mediante software Hyperterminal.

Una vez configurado el GPS por comands AT Se puede detallar en la figura 2-23 la trama completa que entrega el módulo de la cual únicamente se utilizan las líneas.

```
$GPRMC,161000.00,A,0534.72046,N,07320.43394,W,0.021,,160521,,A*6C
```

Figura 2-23: Trama completa que entrega el modulo GPS



```

Proyecto Alejandro Siachoque - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
$GPGSV,3,2,12,07,86,260,33,08,05,039,,09,25,194,39,14,16,330,19*73
$GPGSV,3,3,12,17,33,287,20,21,30,035,,22,24,096,35,30,46,320,33*7A
$GPGLL,0534.72051,N,07320.43382,W,160951.00,A,A*7A
29,35,04,12,162,31,06,11,212,29*7B
$GPGSV,3,2,12,07,86,260,32,08,05,039,,09,25,194,40,14,16,330,17*72
$GPGSV,3,3,12,17,33,287,22,21,30,035,,22,24,096,35,30,46,320,34*7F
$GPGLL,0534.72048,N,07320.43394,W,160958.00,A,A*7C
$GPRMC,160959.00,A,0534.72047,N,07320.43395,W,0.021,,160521,,A*68
$GPVTG,,T,,M,0.021,N,0.038,K,A*2B
$GPGGA,160959.00,0534.72047,N,07320.43395,W,1,09,1.12,2809.7,M,2.3,M,,*48
$GPGSA,A,3,01,03,22,04,06,30,07,17,09,,2,27,1,12,1,98*0C
$GPGSV,3,1,12,01,56,040,22,03,27,129,35,04,12,162,31,06,11,212,28*79
$GPGSV,3,2,12,07,86,260,32,08,05,039,,09,25,194,39,14,16,330,17*7C
$GPGSV,3,3,12,17,33,287,21,21,30,035,,22,24,096,35,30,46,320,33*7B
$GPGLL,0534.72047,N,07320.43395,W,160959.00,A,A*73
$GPRMC,161000.00,A,0534.72046,N,07320.43394,W,0.021,,160521,,A*6C
$GPVTG,,T,,M,0.021,N,0.038,K,A*2B
$GPGGA,161000.00,0534.72046,N,07320.43394,W,1,09,1.12,2809.7,M,2.3,M,,*4C
$GPGSA,A,3,01,03,22,04,06,30,07,17,09,,2,27,1,12,1,98*0C
$GPGSV,3,1,12,01,56,040,21,03,27,129,35,04,12,162,31,06,11,212,28*7A
$GPGSV,3,2,12,07,86,260,32,08,05,039,,09,25,194,39,14,16,330,18*73
$GPGSV,3,3,12,17,33,287,21,21,30,035,,22,24,096,35,30,46,320,33*7B
$GPGLL,0534.72046,N,07320.43394,W,161000.00,A,A*77

```

Fuente: Autor

La trama \$GPRMC indica el tipo de dato que se está captando, en la línea de lectura cada dato va separado por comas lo cual es de vital importancia al momento de realizar la programación. El carácter 161000.00 está indicando la hora en coordenadas universales es decir se tiene 16 horas ,10 minutos y 0 segundos, el GPS tiene un reloj de alta fidelidad al cual se le ajustara la zona horaria donde se encuentre. A o V indica el

estado de nuestra conexión GPS si es activa (A) o sin señal (V) en este caso se observa que ya está activa.

La trama de ubicación 0534.72046,N,07320.43394,W está indicando la ubicación en latitud y longitud y finalmente la trama 160521 indica la fecha en formato DD/MM/AA. En la Figura 2-24 se puede observar la representación del módulo GPS 6M -001.

Figura 2-24: Modulo GPS NEO 6M 0-001



Fuente: Autor

▪ Fuente de voltaje

Para la fuente de voltaje se requieren un voltaje de 3.8 V para alimentar todo el circuito, para lo cual se utiliza una batería de polímero de litio de 7 V a 3800 mAh. En la figura 2-25 se observa la batería y accesorios cargador regulador. El sistema de carga se realiza con un cargador normal de 5 V a 1 A.

Figura 2-25: Batería de polímero de litio de 7V a 3800 mAh.



Fuente: Autor

El consumo del dispositivo en funcionamiento promedio será así:

- GPS NEO 6M: 15 mAh
- GSM SIM800L: 25 mAh
- Microcontrolador PIC18f2550: 30 mAh

Lo cual quiere decir que el dispositivo consume en una hora 70 mA y la batería es de 3800 mAh. Dado esto el dispositivo funcionará en promedio 54,2 horas, 2 días aproximadamente.

La duración de la batería podría variar por varias razones:

- Si el GPS se demora en conectar el dispositivo consumirá más.
- Si el dispositivo sale de las fronteras del predio y realiza la llamada y el envío de mensaje de texto el dispositivo consumirá más.

Si se programa el sistema para enviar con un intervalo más largo se puede optimizar el consumo de batería ya que estaría leyendo con menos frecuencia y el envío de datos será menor.

2.5 Visualización y base de datos

Después de recopilar de manera exitosa los datos del sistema de rastreabilidad se realiza el proceso de análisis de la información.

2.5.1 Recepción y visualización de base de datos

Actualmente existen métodos para la recepción de datos como lo son las aplicaciones AppInventor, Java o bases de datos en línea. No obstante, se decide utilizar ThingSpeak la plataforma de Mathworks para el Internet de las Cosas.

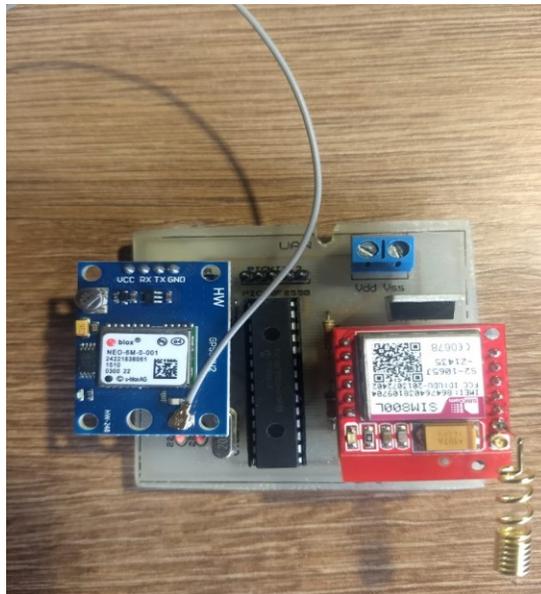
ThingSpeak es una plataforma de aplicaciones diseñada para conectar personas con objetos. Se caracteriza por ser una plataforma Open Source con una API que permite almacenar datos desde cualquier parte del mundo usando protocolos HTTP sobre internet o via LAN. ThingSpeak permite que el módulo GPS envíe datos a la nube donde se almacenan de forma predeterminada en un canal privado. Una vez que los datos están en un canal ThingSpeak puedes analizarlos y visualizarlos, calcular nuevos datos o interactuar con las redes sociales, servicios web y otros dispositivos. En el anexo A se encuentra la base de datos generada a través de la aplicación ThingSpeak por medio del canal privado que se generó donde fue asignado el número de campos que están representadas como field1: OCCIDENTE, field2: ORIENTE, field3: NORTE, field4: SUR. Cada uno de estos campos (field) están configurado con los puntos cardinales de la zona correspondiente del predio, en las reacciones de cada campo colocando condiciones (de mayor que) y corre cada vez que esta condición se cumpla activando la alarma en cada zona, registrando un informe de latitud y longitud de cada una de las entradas.

3. Pruebas del prototipo

A continuación, se muestra el sistema no invasivo para rastreabilidad de ganado bovino mediante GPS y transmisión de información a través de una red GSM/GPRS a un teléfono móvil.

En la figura 3-1 se observa el prototipo terminado el cual está compuesto por un microcontrolador pic184550, módulo GPS NEO 6M001, módulo (GSM/GPRS) SIM800L, antena GSM/GPRS.

Figura 3-1: Ensamble general del dispositivo de rastreo GPS



Fuente: Autor

Figura 3-2: Dispositivo de rastreo en carcasa de protección

Fuente: Autor

Una vez se obtuvo el prototipo se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento. En la figura 3-2 se observa la acomodación del dispositivo en el cuello del animal el cual está asegurada por una correa con hebilla que se ajusta al movimiento del animal, evitando así la pérdida del dispositivo.

Figura 3-3: Dispositivo de rastreo implantado en el bovino

Fuente: Autor

Se realizaron cuatro pruebas cada una correspondiente a los límites de la cerca del predio con el fin de verificar los resultados esperados de geolocalización. Los resultados del dispositivo serán enviados directamente a la plataforma ThingSpeak donde se crea una base de datos.

Adicional a esto el dispositivo realiza una llamada y envía un mensaje de texto al celular del propietario, informando el límite por el cual el animal ha salido del predio. Este mensaje de alarma también puede ser visualizado vía Twitter.

Prueba inicial del dispositivo en la zona occidental del predio

Se procedió a dirigir el animal hasta el punto de manera que pasara la frontera occidental del predio, inmediatamente el dispositivo activó la ALARMA ZONA OCCIDENTAL y realiza la llamada, enviando un mensaje de texto al celular del propietario como se observa en las figuras 3-3 y 3-4.

Figura 3-4: Visualización de captura de pantalla de la llamada de alarma.



Fuente: Autor

Figura 3-5: visualización pantallazo mensaje de texto

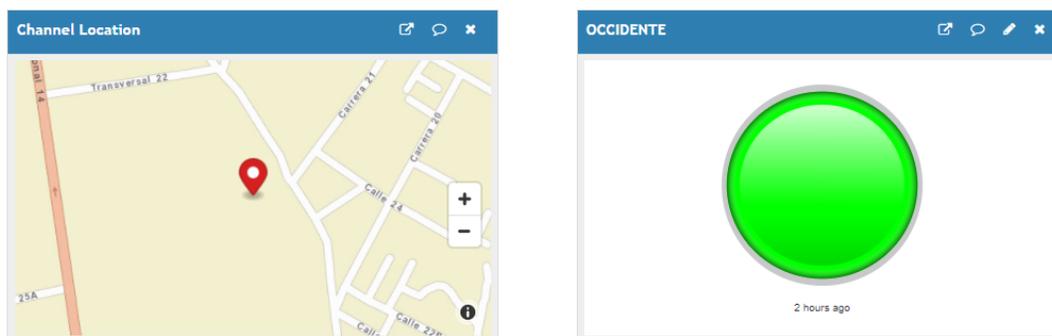
Fuente: Autor

En la aplicación ThingSpeak también se puede observar el activador de lámpara activo OCCIDENTE y enviara una notificación de alarma a Twitter como se muestra en la figura 3-5 y figura 3-6. Todos estos datos serán almacenados en la base de datos generada por la aplicación.

Figura 3-6: Activación de alarma OCCIDENTE aplicación ThingSpeak

Channel Stats

Created: 22 days ago
Last entry: about 2 hours ago
Entries: 63



Fuente: (IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things, s. f.)

Figura 3-7: Visualización mensaje de alarma vía Twitter.



Fuente: (*Inicio / Twitter*, s. f.)

Segunda prueba del dispositivo en la zona oriental del predio

Se procedió a dirigir el animal hasta el punto que pasara la frontera oriental del predio, inmediatamente el dispositivo activó la ALARMA ZONA ORIENTE y realiza la llamada y envío de mensaje de texto al celular del propietario como se observa en las figura 3-7.

Figura 3-8: Visualización pantallazo mensaje de texto ALARMA ZONA ORIENTE



Fuente: Autor

En la aplicación ThingSpeak también se puede observar el activador de lámpara activo ORIENTE y envía una notificación de alarma a Twitter, como se muestra en las figuras 3-8. y 3-9 Todos estos datos serán almacenados en la base de datos generada por la aplicación.

Figura 3-9: Activación de alarma ORIENTE aplicación ThingSpeak



Fuente: Autor

Figura 3-10: Visualización mensaje de alarma vía Twitter



Fuente: Autor

Tercera Prueba del dispositivo en la zona norte del predio

Se procedió a dirigir el animal hasta el punto que pasara la frontera norte del predio inmediatamente el dispositivo activó la ALARMA ZONA NORTE y realiza la llamada y envío de mensaje de texto al celular del propietario como se observa en la figura 3-10 y figura 3-11.

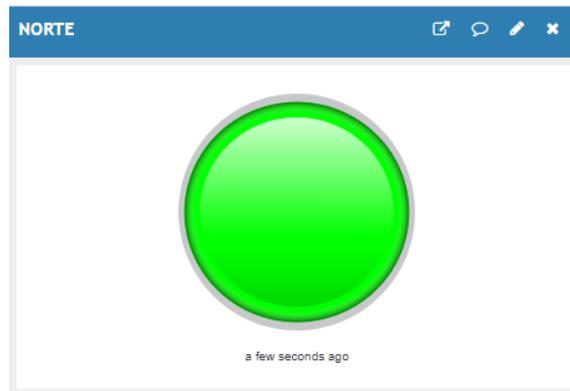
Figura 3-11: Visualización pantallazo mensaje de texto ALARMA ZONA NORTE



Fuente: Autor

En la aplicación ThingSpeak también se puede observar el activador de lámpara activo NORTE y envío de una notificación de alarma a Twitter, como se muestra en la figura 3-11 y figura 3-12. Todos estos datos serán almacenados en la base de datos generada por la aplicación.

Figura 3-12: Activación de alarma NORTE aplicación ThingSpeak



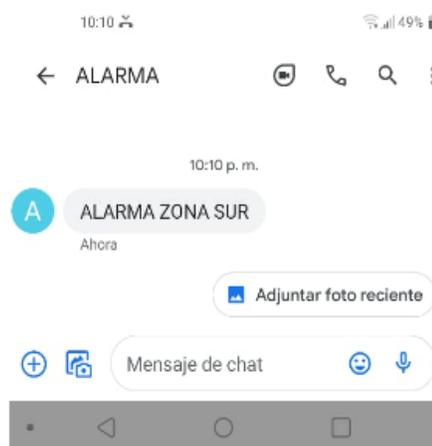
Fuente: Autor

Figura 3-13: Visualización mensaje de alarma vía Twitter

Fuente: Autor

Cuarta prueba del dispositivo en la zona sur del predio

Se procedió a dirigir el animal hasta el punto que pasara la frontera sur del predio inmediatamente el dispositivo activó la ALARMA ZONA SUR y realiza la llamada y envío de mensaje de texto al celular del propietario como se observa en la figura 3-13.

Figura 3-14: visualización pantallazo mensaje de texto ALARMA ZONA SUR

Fuente: Autor

En la aplicación ThingSpeak también se puede observar el activador de lámpara activo SUR y envío de una notificación de alarma a Twitter, como se muestra en la figura 3-14 y figura 3-15. Todos estos datos serán almacenados en la base de datos generada por la aplicación.

Figura 3-15: Activación de alarma SUR aplicación ThingSpeak



Fuente: Autor

Figura 3-16: Visualización mensaje de alarma vía Twitter



Fuente: Autor

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Al generar una investigación más precisa del actual estado de la ganadería bovina en el país, se encontraron notables falencias en cuanto a la optimización tecnológica aplicada a los procesos, y aunque este proyecto fue netamente guiado hacia la rastreabilidad se concluye que no es la única problemática que el sector pecuario tiene. Dicho esto se concluye que es de vital importancia aplicar de manera inmediata nuevas tecnologías que fortalezcan el sector pecuario del país.

El sistema de rastreabilidad se cumplió a cabalidad, logrando que el dispositivo sea capaz de hacer envío de datos de geolocalización a la plataforma ThingSpeak en donde se llevó un control del animal dentro y fuera de las fronteras del predio, reportando por llamada y mensaje de texto al teléfono móvil el momento en que el animal abandona el cerco.

La precisión del dispositivo puede variar y depende del satélite al cual esté conectado, se observaron errores entre 1 metro y 5 metros. Adicionalmente en algunos casos el dispositivo GPS tarda un poco en conectarse y se evidencia que se conecta más rápido en unos satélites que en otros. La cobertura del GPS es a nivel nacional ya que es satelital y ayuda ya que el país se encuentra en la zona Ecuatorial y la cobertura de la red GSM depende totalmente de los operadores de telefonía móvil.

Este tipo de procesos de gestión de ganadería inteligente impulsaran la transformación digital del sector pecuario y el medio rural, estableciendo procesos de orden y control que minimicen la intervención manual en tareas de escaso valor añadido. Adaptando los ritmos de las vacas al del ganadero y no al contrario.

4.2 Recomendaciones

A partir de la investigación y para trabajos futuros es necesarios que se haga un cambio en la batería ya que el sistema necesita un constante envío de datos lo que hace que el consumo sea elevado y su funcionamiento aproximadamente de dos días. La recomendación es que sistema de alimentación puede adoptar el uso de un panel solar el cual garantizara que el sistema este activo por mucho más tiempo.

La aplicación ThingSpeak presenta limitaciones frente a almacenamiento debido a que la plataforma reinicia todos los datos cada 6 meses y porque se usa la versión gratuita, por esta razón se recomienda para trabajos futuros utilizar la versión paga o plataformas de mayor almacenamiento que permitan analizar y procesar los datos recopilados, que detecte patrones he intente predecir alertas. Además, que permita generar información de valor, como datos comparativos y de análisis de resultados.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede generar una empresa de base tecnológica que desarrolle sistemas de monitoreo para ganado bovino ya que en el mercado colombiano no se encuentran un dispositivo de carácter no invasivo para la rastreabilidad de la manera en que se planteó en este documento.

A. Anexo: Base de datos

feeds (10) - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

Desde Access Desde web Desde texto De otras fuentes Conexiones existentes Actualizar todo Conexiones Actualizar todo Propiedades Editar vínculos Ordenar Filtro Avanzadas Texto en columnas Relleno rápido Quitar duplicad

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	created_at			field2	OCCIDENTE	ORIENTE	NORTE	SUR	latitude	longitude
2	12/05/2021	1:16:21	-5	1	5.72971					
3	12/05/2021	1:17:30	-5	2	5.7295					
4	12/05/2021	1:20:41	-5	3	5.7298					
5	12/05/2021	1:23:22	-5	4		5.72925				
6	12/05/2021	1:25:14	-5	5		5.72925				
7	12/05/2021	1:25:43	-5	6		5.7292				
8	12/05/2021	1:26:37	-5	7		5.72925				
9	12/05/2021	1:27:26	-5	8	5.7295					
10	12/05/2021	1:28:40	-5	9		5.72925				
11	12/05/2021	1:35:40	-5	10			-72.9296			
12	12/05/2021	1:36:36	-5	11			-72.9297			
13	12/05/2021	1:37:05	-5	12			-72.92945			
14	12/05/2021	1:40:12	-5	13		5.72925				
15	12/05/2021	1:40:55	-5	14		5.72929				
16	12/05/2021	1:41:29	-5	15		5.72925				
17	12/05/2021	1:42:11	-5	16			-72.9296			
18	12/05/2021	1:44:10	-5	17				-72.92982		
19	12/05/2021	1:44:37	-5	18				-72.9298		
20	12/05/2021	1:52:17	-5	19					5.729669	-72.929966
21	12/05/2021	1:54:00	-5	20					5.728768	-72.929452
22	12/05/2021	1:57:39	-5	21					5.729064	-72.92894
23	12/05/2021	1:58:25	-5	22		5.72926				
24	12/05/2021	10:25:27	-5	23				-72.92958		
25	12/05/2021	10:27:19	-5	24		5.72925				
26	12/05/2021	10:28:03	-5	25				-72.92982		
27	12/05/2021	16:07:18	-5	26				-72.92982		
28	12/05/2021	17:19:21	-5	27	5.72938	5.72914	-72.93016			
29	12/05/2021	17:20:37	-5	28	5.72938	5.72917	-72.93016			
30	12/05/2021	17:21:11	-5	29	5.72939					
31	12/05/2021	17:23:24	-5	30	5.72939	5.72919	-72.93018			
32	12/05/2021	17:27:20	-5	31	5.72938	5.72914	-72.93018			
33	12/05/2021	17:28:24	-5	32	5.72938	5.72914	-72.92999	-72.93018		
34	12/05/2021	17:29:01	-5	33	5.72939	5.72914	-72.92999	-72.93018		
35	12/05/2021	17:29:30	-5	34	5.72939	5.72914	-72.92999	-72.93018		
36	12/05/2021	17:30:04	-5	35	5.72938	5.72915	-72.92999	-72.93018		

Bibliografía

11-Topografía-Plana-CAP10.pdf. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2021, de <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/11-Topografi%CC%81a-Plana-CAP10.pdf>

Aa3_siemens_telecontrol.pdf. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2021, de https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/aa3_siemens_telecontrol.pdf

Cifras de la Policía Nacional revelan caída de abigeato en lo corrido de 2019 | CONtexto ganadero | Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://www.contextoganadero.com/regiones/cifras-de-la-policia-nacional-revelan-caida-de-abigeato-en-lo-corrido-de-2019>

Datamars Colombia. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2021, de <https://www.datamarscolombia.com/BoloRumial.aspx>

Datasheet_SIM800L.pdf. (s. f.). Recuperado 13 de mayo de 2021, de https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_SIM800L.pdf

Díaz, A., Calvo, B., & Trelles, S. (2013). *La rastreabilidad del ganado bovino: La experiencia de Costa Rica una decisión estratégica y sostenible*.

Ganadería extensiva. (2014, octubre 29). <http://www.ganaderiaextensiva.org/la-ganaderia-extensiva/>

GPS.gov: Segmento de control. (s. f.). Recuperado 19 de mayo de 2021, de <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>

Inicio / Twitter. (s. f.). Twitter. Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://twitter.com/home>

Instituto Colombiano Agropecuario—ICA. (s. f.). Recuperado 15 de mayo de 2021, de <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx>

Inzaurrealde, M. (s. f.-a). *Telefonía Celular*. 46.

Inzaurrealde, M. (s. f.-b). *Telefonía Celular*. 46.

IoT Analytics—ThingSpeak Internet of Things. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://thingspeak.com/>

Ixorigue. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2021, de <https://www.ixorigue.com/>

Módulo GPS NEO-6M V2. (s. f.). Ferretrónica. Recuperado 4 de mayo de 2021, de <https://ferretronica.com/products/modulo-gps-neo-6m-v2>

Módulo SIM800L GSM / GPRS. (s. f.). Ferretrónica. Recuperado 11 de mayo de 2021, de <https://ferretronica.com/products/modulo-sim800l-gsm-gprs>

NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2021, de [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf)

PFC%2F3+Microcontroladores.pdf. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2021, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F3+Microcontroladores.pdf>

PFC%2F4+Red+GSM.pdf. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2021, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F4+Red+GSM.pdf>

PIC18F2550 DIP28. (s. f.). Ferretrónica. Recuperado 17 de mayo de 2021, de <https://ferretronica.com/products/microcontrolador-pic18f2550>

Silva, C. J. B. (s. f.). *PROTOTIPO DE COLLAR DE MONITOREO PARA GANADO USANDO TECNOLOGÍA LPWAN.* 26.

Sistema_de_posicionamiento_global.pdf. (s. f.). Recuperado 14 de mayo de 2021, de http://www3.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/geodesia/metadatos/sistema_de_posicionamiento_global.pdf

Somoyar, J. A. R. (s. f.). *MONITOREO EN LA GANADERIA BOVINA A TRAVÉS DE REDES GSM/GPRS.* 108.

TARJETA L80-R - Sigma Electrónica. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2021, de <https://www.sigmaelectronica.net/producto/tarjeta-l80-r/>

TARJETA-L80-R.pdf. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2021, de <https://www.sigmaelectronica.net/wp-content/uploads/2020/10/TARJETA-L80-R.pdf>