

MONITOREO EN LA GANADERIA BOVINA A TRAVÉS DE REDES GSM/GPRS

JAVIER ANDRES RUIZ SOMOYAR

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO

FACULTAD DE INGENIERIA (PREGRADO)

PROGRAMA DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES

MEDELLÍN (ANTIOQUIA), SEMESTRE X – 2016

MONITOREO EN LA GANADERIA BOVINA A TRAVÉS DE REDES GSM/GPRS

JAVIER ANDRES RUIZ SOMOYAR

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniería de telecomunicaciones

MAURICIO VELÁSQUEZ MONTOYA

Especialización Tecnológica en Sistemas Automáticos de Control.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO

FACULTAD DE INGENIERIA (PREGRADO)

PROGRAMA DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES

MEDELLÍN (ANTIOQUIA), SEMESTRE X – 2016

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado a DIOS, y a mis padres Eloy Antonio Ruiz Hoyos y María Clemencia Somoyar Ordosgoitia.

JAVIER ANDRES RUIZ SOMOYAR

Agradecimiento

Le agradezco primeramente a DIOS por permitirme desarrollar este proyecto y por las habilidades que me dio para el manejo correcto del mismo. También les agradezco a mis padres Eloy Antonio Ruiz Hoyos y María Clemencia Somoyar Ordosgoitia por el apoyo y credibilidad que han tenido en todos los aspectos de mi vida.

También doy gracias a todos aquellos profesores que hicieron parte de mi formación profesionales, y los cuales aportaron el conocimiento y la sabiduría que contempla sus debidas formaciones. Por ultimo quiero dar gracias a todas aquellas personas que han depositado su confianza en mí y fueron un apoyo durante todo este proceso.

Tabla de contenido

1. MONITOREO EN LA GANADERIA BOVINA A TRAVÉS DE REDES GSM/GPRS.....	¡Error! Marcador no definido.3
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	¡Error! Marcador no definido.3
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.3
1.3. OBJETIVOS.....	¡Error! Marcador no definido.6
1.3.1.Objetivo general.	¡Error! Marcador no definido.6
1.3.2.Objetivos especificos.....	¡Error! Marcador no definido.6
2. MARCO REFERENCIAL.....	18
2.1. 18MARCO TEORICO.....	18
2.1.1. Actualidad de la ganaderia bovina en Colombia.	18
2.2.1.1. <i>Participación económica de la ganadería bovina</i>	¡Error! Marcador no definido.0
2.2.1.2. <i>Uso de tierras y praderas</i>	..¡Error! Marcador no definido.1
2.2.1.3. <i>Enfermedades que afectan la ganadería bovina</i>	¡Error! Marcador no definido.4
2.1.2. Sistemas de trazabilidad ganadera.....	¡Error! Marcador no definido.7
2.1.3. Estado del arte en el monitoreo inalambrico de la ganaderia bovina.	¡Error! Marcador no definido.8
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	3¡Error! Marcador no definido.
2.2.1. Redes de telefonía móvil de 2G y 2.5G.....	3¡Error! Marcador no definido.
2.2.1.1. <i>Red GSM o de segunda generación (2G)</i>	3¡Error! Marcador no definido.
2.2.1.1.1. <i>Arquitectura de la red GSM</i>	33
2.2.1.1.2. <i>Servicio SMS</i>	35
2.2.1.1.2. <i>Comandos AT</i>	36
2.2.1.2. <i>Red GPRS (2.5G)</i>	37
2.2.1.2.1. <i>Arquitectura de la red GPRS</i>	38
2.2.1.2.2. <i>GPRS está basado en conmutación de paquetes</i>	40
2.2.2.Sistema de posicionamiento global (GPS).	41
2.2.2.1. <i>Segmento espacial</i>	4¡Error! Marcador no definido.
2.2.2.2. <i>Segmento de control</i>	43
2.2.2.3. <i>Segmento de usuario</i>	43
2.2.3.Microcontrolador.	44
2.2.3.1. <i>Características de los microcontroladores</i>	44
2.2.3.1. <i>Proceso de desarrollo</i>	46
2.2.4.Sensore y transductores.	46
2.3. MARCO LEGAL.....	48
3. METODO.	48
3.1. HIPOTESIS Y MEDICION DE VARIABLES.....	48

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL UTILIZADO	49
3.3. UNIVERSO Y MUESTRAS	49
3.3.1.Universo.	49
3.3.2.Muestras.	49
3.4. INSTRUMENTOS DE MEDICION	50
3.5. PROCEDIMIENTO	51
4. ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO	52
4.1. SELECCIÓN DE ELEMENTO.....	5¡Error! Marcador no definido.
4.1.1.Selección microcontrolador.....	53
4.1.2.Selección de dispositivo de red inalámbrica.	53
4.1.2.1. <i>Tecnología ZigBee</i>	54
4.1.2.2. <i>Tecnología Wi-Fi</i>	54
4.1.2.3. <i>Tecnología GSM/GPRS</i>	55
4.1.3.Selección de sensores.	56
4.1.3.1. <i>Selección del sensor de temperatura</i>	56
4.1.3.2. <i>Selección del sensor de ritmo cardiaco</i>	57
4.1.4.Selección del modulo GPS.	58
4.2. DISEÑO DELCIRCUITO	59
4.2.1.Prueba módulo GSM/GPRS.....	59
4.2.1.1. <i>Características de alimentación del módulo</i>	59
4.2.1.2. <i>Disminuir el suministro caída de tensión</i>	60
4.2.1.3. <i>Escenarios de encendido y apagado</i>	6¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.4. <i>Apagado</i>	63
4.2.1.4.1. <i>Apagar módulo utilizando el pin PWRKEY</i>	63
4.2.1.4.2. <i>Apagar el modulo usando el comando AT</i>	64
4.2.1.4.3. <i>Apagado automático por bajo voltaje o alto voltaje</i>	64
4.2.1.5. <i>Interfaz serial</i>	65
4.2.1.6. <i>Indicador del estado de la red</i>	66
4.2.1.7. <i>Indicativo del estado de operación</i>	67
4.2.1.8. <i>Interfaz de SIM CARD</i>	68
4.2.1.9. <i>Interfaz de antena</i>	69
4.2.2.Prueba sensor de temperatura.....	77
4.2.3.Sensor de pulso o ritmo cardiaco.....	80
4.2.4.Prueba modulo GPS.	86
4.2.5.Fuente de voltajeFuente de voltaje.....	91
4.3. DISEÑO DE LA PCB O PLANO ESQUEMATICO	93
4.4. SOFTWARE.....	95
5. RESULTADOS.....	101
6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	103
REFERENCIAS	104

Lista de Tablas

Tabla 1. Inventario bovino nacional FEDEGAN.....	15
Tabla 2. Producción de carne de bovino por países (1998-2008).....	18
Tabla 3. Superficie total y aprovechamiento de la tierra– Total Nacional Colombia 2005.....	22
Tabla 4. Definición de pines de la interfaz UART.	66
Tabla 5. Estado de trabajo de NETLIGHT.....	67
Tabla 6. Definición de pines de la interfaz SIM.	68
Tabla 7. Definición de pines de la interfaz de antena.	69
Tabla 8. Especificaciones técnicas de la ANTENA JCG015	70
Tabla 9. Variables y funciones de las mismas en el sensor de pulso.	86
Tabla 10. Estructura de un mensaje NMEA.	90
Tabla 11. Estructura del mensaje basado en RMC.	91

Lista de Figuras

Figura 1. Animales identificados a febrero del 2015 por Identifica...	1
¡Error! Marcador no definido.	
Figura 2. Participación de la Ganadería en el PIBI	21
Figura 3. Orejera electrónica.....	29
Figura 4. Microchip inyectable Global Ident.	30
Figura 5. Bolo intrarruminal.	30
Figura 6. Arquitectura de la red GSM.....	31
Figura 7. Estructura del servicio SMS.....	35
Figura 8. Servicios básicos SM MO y SM MT.	36
Figura 9. Arquitectura red GPRS.	39
Figura 10. Constelación de satélites..	2
¡Error! Marcador no definido.	
Figura 12. Arquitectura general del diseño experimental..	8
¡Error! Marcador no definido.	
Figura 13. Onda de voltaje durante la transmisión.....	51
Figura 14. Referencia del circuito para la entrada VBAT.....	60
Figura 15. Representación circuito para disminuir caída de tensión..	61
Figura 16. Encendido del módulo utilizando circuito de activación..	61
Figura 17. Encendido del módulo usando un pulsador.....	63
Figura 18. Circuito de referencia de NETLIGHT..	67
Figura 19. Referencia del circuito para el pin STATUS..	68
Figura 20. Referencia del circuito de los pines de la SIM-CARD..	69
Figura 21. Referencia del circuito de RF..	69
Figura 22. Diseño físico de la ANTENA JCG015.....	71
Figura 23. Tarjeta de desarrollo del módulo QUECTEL M95...	71
Figura 24. Montaje del módulo M95.....	72
Figura 25. Prueba de llamada por medio de comandos AT.....	73
Figura 26. Resultado de la prueba de llamada por medio de comandos AT.....	73
Figura 27. Prueba de envío de mensaje por medio de comandos AT. ...	7
¡Error! Marcador no definido.	
Figura 28. Prueba de envío de mensaje de texto a través del módulo M95	7
¡Error! Marcador no definido.	
Figura 29. Encendido del módulo por medio de un circuito de activación... ..	75
Figura 30. Programa envío de mensaje parte 1... ..	76
Figura 31. Programa envío de mensaje parte 2... ..	77
Figura 32. Pin-out del Sensor de temperatura LM35.....	78
Figura 33. Montaje del sensor de temperatura utilizando ARDUINO.....	78
Figura 34. Código para el análisis de temperatura a través de ARDUINO... ..	80

Figura 35. Sensor de pulso parte frontal y lateral....	81
Figura 36. Señal de pulso.....	81
Figura 37. Asignación de pines....	87
Figura 38. Referencia del circuito para la fuente de voltaje....	88
Figura 39. Código para monitorear la ubicación geográfica parte 1....	88
Figura 40. Código para monitorear la ubicación geográfica parte 2....	89
Figura 41. Resultados de la prueba del módulo GPS L80.....	90
Figura 42. Fuente de voltaje fijo 12VDC/3A....	92
Figura 43. Modulo no aislado step-down o Buck (reductor)....	92
Figura 44. Button layer o capa inferior....	9;Error! Marcador no definido.
Figura 45. Top layer o capa sueperior....	9;Error! Marcador no definido.
Figura 46. Silkscreen top o serigrafia....	95
Figura 47. Definición de variables en el software....	96
Figura 48. Función void setup () y void loop ().....	97
Figura 50. Código del sensor de pulso parte 1.....	99
Figura 51. Código del sensor de pulso parte 2.....	100

Lista de Apéndices

Apendice A.

Apendice B.

Apendice C.

Apendice D.

Apendice E.

Apendice F.

Resumen

La esencia del presente trabajo de grado va acorde al estudio de variables fisiológicas (ritmo cardíaco y temperatura corporal) y ubicación geográfica de los animales en tiempo real, utilizando así un sistema de monitoreo tecnológico, capaz de capturar la información de importancia y enviarla a través de un mensaje de texto por medio de las redes de telefonía móvil, a una terminal móvil o teléfono celular. Este tipo de tecnología busca como fin mejorar los procesos de manejo de los hatos ganaderos en el territorio nacional.

En correspondencia a lo anterior se realizara un estudio analítico del estado del arte de las tecnologías a monitorear la ganadería bovina y se realizara un análisis de las tecnologías a utilizar para la construcción del dispositivo móvil, el cual está estructurado de una fuente de alimentación, sensores, transmisor/receptor de ondas de radio y CPU o memoria. Para cada una de las subdivisiones mencionadas se utilizara la tecnología y elementos electrónicos que más se adecuen al propósito y objetivos de la investigación.

Abstrac

The essence of this degree work is consistent with the study of physiological variables (heart rate and body temperature) and geographical location of animals in real time, using a system of technological monitoring, able to capture important information and send it through a text message (using mobile telephone networks), to mobile station or cell phone. This kind of technology leads to the improvement of the management processes of cattle in the country.

In relationship with the previous paragraph an analytical study of the technology status that has to do with monitoring cattle would be made in order to find out more about other

technologies that could be used for the construction of the mobile device, which is composed of a power source, sensors, radio waves receptor/transmitter and CPU or memory. For each of the subdivisions listed the technology and electronic elements that best fits the purpose and objectives of the research would be needed.

INTRODUCCION

En la actualidad las tecnologías están emigrando a todos los campos de la economía, proveyendo innovación y progreso constante. Cada vez más nos encontramos en un ambiente mayormente interconectado, donde el fin es el desarrollo y mejoramiento de los actuales sistemas, buscando mayor viabilidad y factibilidad en los procesos.

El internet de las cosas o IOT se fundamenta por entrelazar objetos de uso cotidiano con el internet, permitiendo así mayor facilidad para la obtención y manejo de la información. En esto consisten las reconocidas redes de sensores, las cuales están compuestas por una cantidad específica de dispositivos y cuyos datos van a un nodo coordinador o router y de allí a un servidor web donde es posible almacenar y mantener la información de mayor relevancia.

Este tipo de tecnologías no solo se está viendo en el campo de intercomunicación y la milicia; también se está viendo como este tipo de aspectos han migrado a sectores en los cuales muy poco se creía su necesidad, como es el campo de la agronomía en todas sus subdivisiones. El cual aún sigue teniendo un manejo con poca afección tecnológica en Colombia.

Esto conlleva a revelar una necesidad en cuanto a la mejora de la producción y manejo del campo, siendo necesario implementar estrategias que fomenten un mayor crecimiento y por lo tanto mayor competitividad a nivel mundial. Uno de los casos de mayor importancia, y el cual requiere ser observado con detenimiento, es el subsector de la ganadería bovina, el cual abarca gran parte del territorio nacional, lo cual lo promueve como uno de los subsectores de la economía del país de mayor importancia.

La ganadería bovina no solo está generando impacto, sino que al mismo tiempo se está viendo afectada por la falta de innovación y mejoramiento tecnológicos de los hatos, hecho que atribuye dificultades al momento de generar competencias con países de mayor desarrollo tanto tecnológico como económico.

1. MONITOREO EN LA GANADERIA BOVINA A TRAVÉS DE REDES GSM/GPRS

1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA

La falta de innovación que presenta la tecnología en Colombia orientada al sector de la ganadería bovina, conlleva a una serie de limitaciones que impiden proporcionar un monitoreo de mayor eficacia en cuanto a variables fisiológicas preventivas, que permitan alertas tempranas en las reses para tomar mejores decisiones a la hora de atender el estado de salud de dichos animales.

Con respecto a la información anterior, se pretende dar solución a la deficiencia y respectiva complejidad al momento de monitorear variables asociadas al estado de salud y a la localización de todo el hato ganadero de forma frecuente.

1.2. JUSTIFICACION

La ganadería es uno de los sectores productivos de mayor importancia en la economía nacional, por su aporte en la seguridad alimentaria, la generación de empleos e ingresos a las familias rurales y el aporte mismo al PIB agropecuario. De las 114 millones de hectáreas que tiene nuestro país, la ganadería ocupa 38 millones de estas, lo que corresponde al 33.33%. La estructura predial ganadera para Julio del año 2011 reporto cerca de 480 mil predios bovinos en Colombia, con una característica especial: el 81.4% de los predios tienen menos de 50 bovinos, los consolidados para el año 2011 fueron de 22'997.966 bovinos distribuidos en 480.757 explotaciones ganaderas (Manuel, Funcional, & Identificación, 2011).

Dada la importancia de la ganaderia bovina y con el fin de mejorar su productividad economica y sanitaria, se han establecido normas y leyes reglamentarias en sus procesos productivos. Dichas normas estan encaminadas a mejorar los procesos productivos y sanitarios, lo cual implica la necesidad de establecer la trazabilidad e identificacion de las reses.

Con la normatividad establecida para el sector, se pretende mejorar la calidad de la ganaderia bovina en Colombia en el aspecto sanitario que nos permita acceder a los mercados internacionales de forma mas competitiva.

Los sistemas de monitoreo electrónico aplicados a la ganadería se constituyen en una herramienta de apoyo importante para administrar de manera eficiente todos los datos de importancia de los animales en una empresa u organización ganadera, con lo cual se puede llevar un proceso de sanidad en todos los eslabones de la cadena productiva, hasta llegar al consumidor final, que sea consistente con lo establecido en la Ley 1659 del 2013 **ANEXO B**.

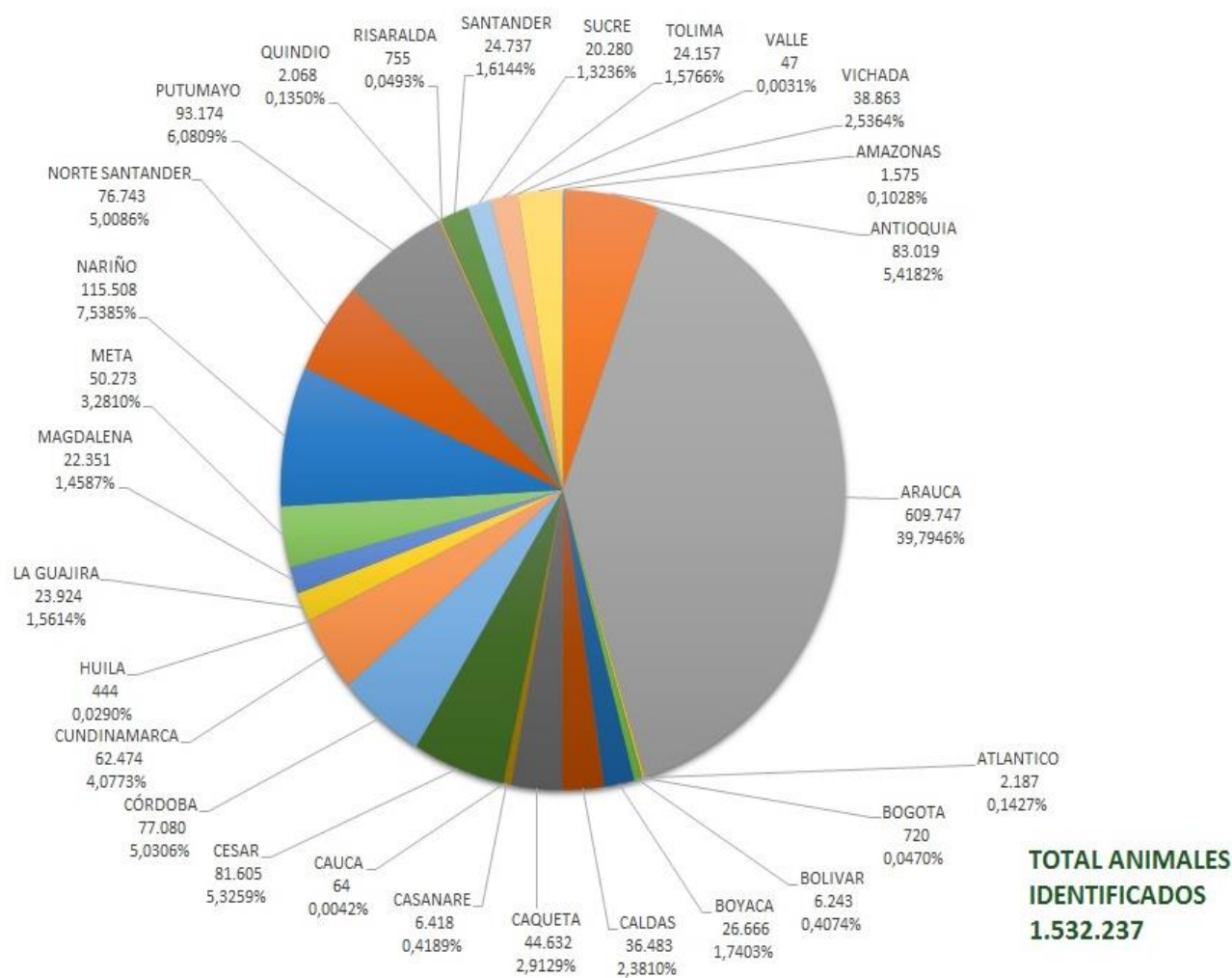


Figura 1. Animales identificados a febrero del 2015 por Identifica. Fuente: Identifica.

En la Figura 1, mostrada anteriormente, se puede observar el progreso que se ha obtenido a través de la entidad gubernamental IDENTIFICA, creada con el fin de generar y propagar los diversos sistemas de trazabilidad en la ganadería bovina, en la cual se observa un total de 1.532.237 animales identificados hasta febrero del 2015 y cuyo resultado aun no muestran mayores

avances si lo comparamos con la totalidad de animales existente en el año 2014 que fueron 10'874.288 (ver Tabla 1) en tan solo 6 departamentos del país.

Tabla 1. Inventario bovino nacional FEDEGAN.

001-Inventario bovino							
Año	Antioquia	Casanare	Cesar	Córdoba	Meta	Santander	Total
2010	2.657.188	1.802.880	1.605.633	2.071.647	1.552.956	1.525.550	11.215.854
2011	2.567.260	1.858.580	1.521.856	2.075.996	1.630.752	1.472.622	11.127.066
2012	2.558.511	1.830.750	1.458.274	2.000.038	1.638.504	1.399.291	10.885.368
2013	2.492.512	1.871.200	1.425.238	1.925.314	1.633.668	1.407.807	10.755.739
2014	2.543.153	1.935.800	1.368.308	1.947.543	1.674.144	1.405.340	10.874.288

Fuente: Federación Colombiana de Ganado (FEDEGAN).

Entidades como FEDEGAN, ICA, Ministerio de Agricultura, entre otras, han tenido como principal propósito mejorar la calidad de producción actual del sector, con la intención de generar un mayor grado de competitividad a nivel internacional, y así poder generar una competencia proporcional con países como Estados Unidos, Brasil, China, Argentina y Uruguay, países éstos que son reconocidos por ser potencias mundiales en el pastoreo en cuanto a la ganadería bovina y por ende en sus derivados (leche, carne) (Alfonso santana D., Camilo Camacho G., Laura Estévez M., Julián Gutiérrez E., Manuel Gómez V., Gustavo García G., Marcela Roza C., Hugo Ballesteros Ch., 2009).

Ahora si se analiza los procedimientos de producción que se manejan en el país, que son el pastoreo extensivo y el extractivo. El primero consiste en introducir los animales en las praderas o potreros directamente de manera natural para que sean sustentados con el mismo ecosistema. El segundo consiste en usar técnicas que activan y mejoran la producción forrajera y la capacidad productiva del medio natural para generar biomasa, en ambos casos hay poca injerencia humana (Mahecha, Gallego, & Peláez, 2002). Este factor permite comprender la escasez de recursos tecnológicos en las distintas empresas productoras ya sea de la cadena cárnica o láctea, y cuyo aspecto cohibe a la evolución y mejoramiento de todo el sector de la ganadería.

Lo que se busca con el uso de las herramientas tecnológicas aplicadas al sector es que hayan predios más productivos en la cadena cárnica o láctea, además mejorar el sistema de administración ganadera ya que dichas herramientas permiten un sistema de monitoreo permanente de los animales.

Las empresas ganaderas también son golpeadas por el fenómeno de inseguridad del país como el robo de los animales, esto se presenta especialmente en las fincas con grandes extensiones de tierras que dificultan un sistema de vigilancia efectivo; en el tema sanitario, en las condiciones actuales de la ganadería se hace difícil detectar a tiempo los síntomas de enfermedades de los animales, ya que solo son alertadas por los respectivos mayordomos empleando técnicas visuales y analíticas según el comportamiento animal, esto por falta de un monitoreo en tiempo real lo cual se traduce en pérdidas económicas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general.

Desarrollar un dispositivo electrónico capaz de monitorear variables específicas como la ubicación geográfica, temperatura corporal y ritmo cardiaco de un bovino en específico; y transmitirlos de forma inalámbrica a través de las redes GSM/GPRS a un teléfono móvil.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Investigar el estado del arte de las comunicaciones inalámbricas para la transmisión de datos orientada a la ganadería bovina.
- Seleccionar y analizar de forma adecuada cada uno de los elementos electrónicos necesarios para el diseño del respectivo prototipo.
- Diseñar un dispositivo electrónico para monitorear la temperatura corporal, ritmo cardiaco y posición geográfica en la ganadería bovina.
- Transmitir los datos, utilizando la mensajería instantánea, desde el dispositivo a un teléfono celular.

- Realizar pruebas y simulaciones en el circuito de aplicación, para verificar el respectivo funcionamiento del prototipo.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. Actualidad de la ganadería bovina en Colombia.

La ganadería bovina en Colombia se ha convertido en una acción socioeconómica que ha tomado merito en la gran mayoría de las regiones del país. Esto simplemente conlleva a valorar su importancia y la necesidad de entidades que aporten un enfoque de desarrollo y ordenamiento, que permita establecer beneficios palpables en dicho subsector. Lo cual implicó la intervención del Estado Colombiano por medio de nuevas políticas institucionales, el esfuerzo gremial de la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN) y el apoyo financiero de los recursos parafiscales canalizados por el Fondo Nacional de Ganado (FNG). Pese a la obtención de logros significativos en el aspecto sanitario, transferencia tecnológica (en baja escala) y modernización de los procesos de sacrificio, el ritmo de transformación del sector no es suficiente frente al escenario actual de globalización, siendo necesario agilizar dicho proceso de modernización de la ganadería colombiana (Cuenca, Chavarro, & Diaz, 2008). A pesar del buen abastecimiento que han y están teniendo los bovinos en el país; se debe tener en cuenta que el mercado internacional es mucho más competitivo, sobre todo teniendo en cuenta que Colombia maneja una ganadería con muchas falencias en cuanto a la parte tecnológica, lo cual la deja en desventaja junto a países desarrollados y con enfoques primordiales en dicha área o sector (ver Tabla 2).

Tabla 2. Producción de carne de bovino por países (1998-2008).

País/año	Miles de toneladas equivalente canal (TEC)		Participación en el total (%)		Tasa de crecimiento interanual 1998-2008 (%)	Variación absoluta 2008-1998
	1998	2008	1998	2008		
Estados Unidos	11.775	11.905	22,9	20,5	0,11	130
Brasil	6.493	9.285	12,6	16,0	3,64	2.792
UE	8.541	8.104	16,6	14,0	-0,52	-437
China	4.803	8.065	9,3	13,9	5,32	3.262
Argentina	2.468	3.200	4,8	5,5	2,63	732
India	2.781	2.813	5,4	4,8	0,11	32

Australia	1.989	2.128	3,9	3,7	0,68	139
África	2.348	2.561	4,6	4,4	0,87	213
Rusia	2.341	1.620	4,5	2,8	-3,61	-721
México	1.380	1.650	2,7	2,8	1,80	270
Canadá	1.183	1.310	2,3	2,3	1,02	127
Colombia	766	950	1,5	1,6	2,18	184
Nueva Zelanda	605	641	1,2	1,1	0,58	36
Ucrania	795	534	1,5	0,9	-3,90	-261,00
Uruguay	440	527	0,9	0,9	1,82	87
Japón	529	496	1,0	0,9	-0,64	-33
Otros	2.291	3.722	4,4	3,9	-0,23	-52
TOTAL	51.530	59.512	100,0	100,0	1,19	7.982

Fuente: Gira Para Colombia: FEDEGAN, 2008.¹

Analizando la tabla anterior se puede ver notoriamente como Colombia ha permanecido en los últimos años entre los últimos 6 países en cuanto a la producción de carne; y si bien se puede observar que se ha presentado un aumento considerable entre los años 1998-2008, con una tasa de crecimiento interanual del 2,18%, al verificar el porcentaje de participación de la producción a nivel mundial se ve que la participación sigue siendo muy moderada en comparación con otros países que dominan el margen de producción como: Estados Unidos, Brasil, UE, China, Argentina, entre otros.

La finalidad o meta de Colombia debe corresponder a establecerse como otra potencia ganadera, para así lograr el acceso real a los diferentes mercados del mundo e incrementar el mercado interno. Si bien se cuenta con factores favorables como: grandes proporciones de tierras, animales, genética, fortaleza gremial y cultura ganadera. También hay que tener en cuenta las falencias presentes en el sistema aplicado actualmente a la ganadería bovina en el como la falta de educación básica para fundamentar la transferencia tecnológica, insuficiencia de la infraestructura rural y bajo nivel de organización empresarial, formalidad, acceso al crédito y mecanismos de capitalización rural efectivos, entre otros (DNP, 2005).

¹ La tabla se elaboró con información extraída del libro Competir e innovar, La ruta de la industria bovina p. 25

2.1.1.1. Participación económica de la ganadería bovina.

Según datos de Franco RS, en el año de 1998 el rol que cumpliría la ganadería bovina en cuanto al PIB (Producto Interno Bruto), corresponde al 5% total nacional, 25% en el PIB agropecuario y 60% en el sector pecuario; representando un 88% de la superficie agropecuaria nacional, generando un número significativo de empleos rurales (Franco RS, 1998). Según estudios estadísticos proporcionados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), dando a conocer cifras correspondientes a un aproximado de 1.730.000 predios dedicados a la actividad agropecuaria, de los cuales un 49% tienen algún grado de participación en la actividad ganadera, cuya cifra corresponde a cerca de 849.000 predios (DANE, 1994). El respectivo crecimiento de este movimiento consiste primordialmente en el aumento de extensiones de terrenos y a partir de ello aumento en el inventario ganadero, en cuanto a los productores de mediana talla se presenta un proceso de estancamiento, lo cual impide un desarrollo en la competencia de la ganadería. Con respecto a esto se tiene un análisis porcentual del sacrificio como indicador de los rendimientos del sistema de producción de carne bovina, en el cual se limita que en el año 1999 se presentó un rango entre el 5% y el 7%, por debajo del sacrificio con respecto a 1998 (FEDEGAN, 2000).

Ahora si se analizan datos más actualizados, entre 2000 y 2005, con respecto a los presentados en el párrafo anterior se puede llegar a desarrollar un concepto más detallado en cuanto a la evolución y mantenimiento del subsector de la ganadería bovina en Colombia. En este caso, según datos deducidos a partir de estimaciones del DANE sobre el valor de la producción y de su componente de valor agregado, se estima que la ganadería participa con poco menos del 3,6% del PIB Nacional, porcentaje apreciable para una actividad individual y, sobre todo, para una actividad rural. Ya dentro del sector agropecuario su importancia relativa es indiscutible, con una participación del 27% del PIB agropecuario y del 64% del PIB pecuario (Figura 2). En otras palabras, la ganadería bovina, aún a pesar del gran crecimiento de otras actividades como la avicultura –36% entre 2000 y 2005– y la porcicultura con un 24% en el mismo periodo, conserva la primacía dentro de la producción pecuaria y una participación muy importante dentro de la economía rural colombiana, con todo lo que ello implica en cuanto a generación de empleo y bienestar (FEDEGAN, 2006, p. 24).

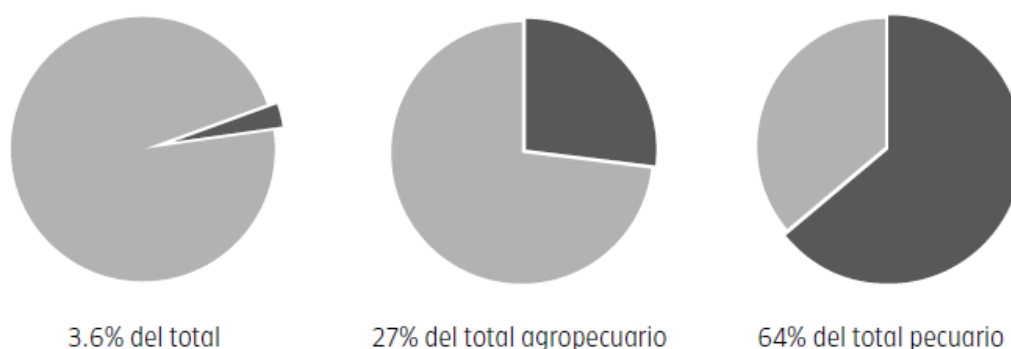


Figura 2. Participación de la Ganadería en el PIB (FEDEGAN, 2006, p. 24)².

2.1.1.2. Uso de tierras y praderas.

Uno de los estereotipos que pesa sobre la actividad ganadera es la de la excesiva utilización del territorio, muchas veces en contravía de la vocación natural de los suelos. Inicialmente, habría que anotar que los resultados de la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2005 señalan que la actividad pecuaria estaría presente en el 34% del territorio nacional, si se incluyen las 8.0 millones de hectáreas de malezas y rastrojos que, tradicionalmente, han sido “asignadas” a la actividad pecuaria. Sin ellos, el porcentaje de ocupación pecuaria desciende al 27% del territorio.

Dentro de lo que se puede considerar como la frontera agrícola, estimada por el DANE en 51.1 millones de hectáreas –el 44.8% del territorio– la actividad pecuaria ocupa el 76% incluyendo malezas y rastrojos, y sin incluirlas, el 61% del territorio agropecuario. Aquí existe un primer interrogante sobre las cifras oficiales, pues si bien es cierto que buena parte de las zonas de malezas y rastrojos puede estar siendo utilizada por la ganadería de subsistencia, no es razonable pensar que la totalidad de esas 8.0 millones de hectáreas esté siendo dedicada a la actividad ganadera. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, hace un agrupamiento diferente de cifras (ver Tabla 3), en el cual, de todas maneras, no hay mayor diferencia en la cantidad de hectáreas dedicadas a la actividad pecuaria (38.3 millones de hectáreas, incluyendo la totalidad de las malezas y rastrojos, por supuesto), pero resulta interesante el análisis sobre su uso, en el que se concluye que no todas las tierras que actualmente se encuentran dedicadas a la ganadería tienen el uso adecuado, lo cual es apenas parcialmente cierto. Según el IGAC, de las 38.3 millones de hectáreas que actualmente

² DANE. Cálculos: FEDEGAN - Oficina de Planeación.

están destinadas a la ganadería, sólo 19.3 millones se encuentran adecuadamente asignadas. Calculando las diferencias de uso se podría inferir que, de los 19 millones de hectáreas restantes, 10 millones deberían estar dedicadas al sector forestal y 9 millones a la agricultura (FEDEGAN, 2006).

Tabla 3. Superficie total y aprovechamiento de la tierra – Total Nacional Colombia 2005³.

	Superficies	Total hectáreas	Total	Subtotal
1	Superficie planimetrada del marco	114.174.800	100,0	
1,1	No agropecuaria, excluida del universo de estudio	59.463.587	52,08	
	Bosques no colonizados	44.893.732		39,32
	Bosques colonizados	10.647.726		9,33
	Bosques plantados	19.607		0,02
	Eriales y similares	701.902		0,31
	Cuerpos de agua	2.847.518		2,19
	Superficie urbana y semiurbana	353.102		0,31
1,2	Marginalmente cultivable en los parques naturales	3.579.929	3,14	
1,3	Agropecuaria planimetrada, incluida en el universo de estudio	51.131.284	44,78	
	1.3.1 Agrícola	3.612.478	7,07	
	Cultivos transitorios y barbecho	1.446.851		2,83
	Cultivos permanentes	2.009.869		3,93
	Descanso	155.758		0,30
	1.3.2 Pecuaria	38.944.373	76,17	
	Pastos	30.976.922		60,58
	Malezas y rastrojos	7.967.451		15,58
	1.3.3 Bosques	7.284.819	14,25	
	Naturales	7.033.990		13,76
	Plantados	250.829		0,49
	1.3.4 Otros usos	1.289.614	2,52	
	Eriales	313.530		0,61
	Cuerpos de agua	377.313		0,74
	Otros fines	598.771		1,17

³ Tabla extraída del documento "PLAN ESTRATÉGICO DE LA GANADERÍA COLOMBIANA 2019", con fuentes del DANE y la Encuesta Nacional Agropecuaria.

En Colombia, existen diversos tipos de explotación agraria, todos ellos ligados estrechamente con la ganadería, dificultando una caracterización económica y haciendo más compleja la búsqueda de alternativas para alcanzar competitividad y lograr la sostenibilidad requerida por la ganadería bovina de carne, la cual se desarrolla fundamentalmente bajo sistemas de pastoreo extensivo y extractivo. Sin embargo y de acuerdo con la forma de uso de los recursos y la estructura tecnológica, CEGA ha clasificado cinco sistemas de producción ganadera en el país (Mahecha, Gallego, & Peláez, 2002, p. 215).

- El Sistema extractivo: está basado en la capacidad productiva del medio natural para generar biomasa, con mínima injerencia humana sobre estos procesos.
- El Sistema de pastoreo extensivo tradicional: Este tipo de sistema consiste en la incorporación de prácticas culturales de manejo, tanto de la pradera como de los animales, dirigidas a preservar y potenciar las capacidades productivas del agro-ecosistema ganadero; la base fundamental de la producción es la pradera natural o introducida de baja productividad. Los indicadores de desarrollo social de estas regiones reflejan condiciones de aguda pobreza asociada a la concentración de los recursos productivos y los ingresos o a la precaria presencia del Estado (Arias JH, Balcázar A, Hurtado R, 1990).
- El Sistema de pastoreo extensivo mejorado: Para este caso la consistencia sigue siendo la misma a la del pastoreo extensivo tradicional, en cuanto al uso de grandes extensiones de tierra y productividad de los medios. Pero lo que realmente hace que este sistema sea interesante consiste en la mejora de los pastos, manejos de forma intensiva, control de malezas y aplicación de fertilizantes; además se cuenta con suministros permanentes de sales mineralizadas, manejo sanitario, programas de reproducción y mejoramiento genético.
- El Sistema de pastoreo semi-intensivo: suplementado se desarrolla en zonas cercanas a los centros urbanos, con un alto grado de presión económica sobre la tierra, lo que determina el uso agrícola alternativo y una marcada tendencia hacía los predios de veraneo. Se practica un manejo intensivo de pastos de alto rendimiento, con cercas eléctricas, riego y fertilización periódicos, esto asociado a programas de suplementación alimenticia; además, se da una alta vinculación con la agroindustria pecuaria (Mahecha, Gallego, & Peláez, 2002, p. 216).

- El Sistema de confinamiento: Este tipo de explotaciones es muy utilizado en el sector lechero, ya que se basa en la eliminación total del pastoreo y el manejo personalizado de los animales a través de un sistema de corrales adecuado a las necesidades de los animales. Este sistema a pesar de ser muy promisorio, es muy poco utilizado en Colombia, debido a los costos de infraestructura y la amplia disponibilidad de recursos de suelo que aun predominan en el país.

2.1.1.3. *Enfermedades que afectan la ganadería bovina.*

La presencia de enfermedades debido a parásitos, bacterias, toxinas, insectos, entre otras; afectan de manera significativa la producción en la ganadería bovina. Dependiendo del tipo de afectación que pueda tener el animal se pueden llegar a presentar bajas en la producción de leche, hablando de la ganadería enfocada a la lechería y animales de doble propósito; también se pueden presentar pérdidas de peso, lo cual es poco provisorio para cualquier tipo de ganadería y en especial aquellas que enfocan su producción en la parte cárnica. Adicional a esto se pueden llegar a producir problemáticas en el crecimiento y desarrollo de los animales en edades tempranas, también se pueden presentar abortos en vacas preñadas, infertilidad, deformación de los fetos y en el peor de los casos la muerte.

Todos los factores presentados anteriormente pueden significar grandes pérdidas en cuanto a la parte económica en la ganadería bovina en este caso, y por lo tanto afectar negativamente la competencia en el mercado internacional. Esto conlleva a generar alarmas en el país para poder generar procesos de sanidad que permitan un mayor crecimiento y manejo de los hatos en Colombia, cuyos procesos han sido y son actualmente orientados por entidades como el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). Para esto hay que tener en cuenta que existen 14 enfermedades de control no oficial que están presentes en todas las regiones de Colombia y tienen repercusiones en la producción, reproducción de los animales y en la estabilidad económica del negocio ganadero. Estas enfermedades de control no oficial son aquellas que el productor debe prevenir desde su finca y por decisión propia. Y precisamente por no tener un sistema de prevención de la entidad de sanidad colombiana, mediante jornadas de vacunación gratuitas o subsidiadas, pueden atacar y acabar el hato bovino de manera sorpresiva (Santos Sally, 2014).

Según el documento “ENFERMEDADES DEL GANAO BOVINO”, los distintos tipos de afectaciones en la salud producidas por diferentes entes en el medio, están clasificados de la siguiente manera:

- Afecciones generalizadas.
- Sistema digestivo
- Sistema osteomuscular
- Trastornos metabólicos.
- Ectoparásitos.
- Aparato reproductor.
- Sistema respiratorio.
- Endoparásitos.
- Sistema nervioso.
- Intoxicaciones.

Las afecciones generalizadas son enfermedades que afectan al individuo de manera general, es decir, el agente productor de la enfermedad puede sentir predilección por un órgano en particular, sin embargo los síntomas y signos de la misma afectan la condición corporal general del individuo. La mayoría son enfermedades de curso agudo y en la mayoría de los casos causan postración y muerte rápidamente (Díaz Peñate, 2008, p. 2). Algunas de estas enfermedades son fiebre aftosa, ántrax, edema maligno, leptospirosis bovina, tuberculosis bovina; las cuales presentan un patrón con respecto a las elevadas temperaturas (fiebre), y otras como botulismo, tétano bovino presentan alteraciones en el sistema cardiaco.

Las enfermedades del sistema digestivo afectan el tracto gastrointestinal, en su mayoría son ocasionadas por microorganismos patógenos con gran poder invasivo. Estas afectan la digestión de los alimentos y la absorción de los nutrientes, producen diarrea, vómitos, debilidad y deshidratación de los animales, desequilibrio electrolítico y en muchos casos se ven afectados los tejidos estomacales e intestinales (p. 10); un ejemplo es salmonelosis bovina, la cual también presenta síntomas como fiebre.

Las enfermedades del sistema osteomuscular son aquellas relacionadas con la locomoción del individuo. La mayoría de estas enfermedades son consecuencia de trastornos esqueléticos y

cambios articulares, así como también, enfermedades musculares, infecciosas, deficiencias nutricionales, defectos congénitos y en muchos casos traumatismos. Artropatía degenerante en bovinos, dermatitis interdigital, dermatitis verrugosa, laminitis, son algunas de las enfermedades en este sistema (p. 11).

Los trastornos metabólicos son por lo general el resultado de un exceso o deficiencia de enzimas o catalizadores y están principalmente relacionadas con los factores producción y manejo. Algunas de estas enfermedades son: cetosis, paresia puerperal, tetania hipomagnésica bovina (p. 14).

Un ectoparásito es un organismo que vive en el exterior de otro organismo (el huésped) y se beneficia de la relación a expensas de éste. En términos generales es un parásito que vive en la superficie de otro organismo parasitado; los ácaros, garrapatas, moscas y piojos están dentro de esta categoría, estos pueden llegar a ocasionar padecimientos en la salud de los bovinos. Las infecciones o enfermedades causadas por estos parásitos pueden presentar alteraciones en el ritmo cardíaco y fiebre (p. 17).

Las enfermedades reproductivas con frecuencia provocan la infertilidad de los animales, el aumento de los abortos y el nacimiento de crías débiles. Son enfermedades ocasionadas generalmente por bacterias, virus y parásitos con gran potencial para infectar y transmitirse a otros individuos. El método de contacto por lo general es el contacto directo y pueden presentarse enfermedades de curso agudo y crónico. Enfermedades como la brucelosis bovina, encefalomiелitis bovina esporádica, mastitis, entre otras; hacen parte de este segmento (p. 21).

Las enfermedades que afectan al sistema nervioso, el cual, después de detectar cambios en el medio ambiente externo o interno del cuerpo, interpreta la información sensorial y dirige las respuestas por medio de la actividad eléctrica. Generalmente estas enfermedades provocan descoordinación, trastornos ópticos, trastornos motores, convulsiones y comportamiento anormal del animal (p. 24).

Las enfermedades que afectan el sistema respiratorio de los individuos son contagiadas generalmente a través de las secreciones nasales y oculares, la saliva rociada en la tos y en el caso de los virus hasta en la respiración. Existen algunos factores que predisponen al animal para desarrollar estas enfermedades como la exposición a cargas excesivas de polvo, la mezcla de

animales de distinta procedencia, altas concentraciones de humedad y amoníaco entre otros. La pleuroneumonía y rinotraqueitis infecciosa bovina son algunas de estas enfermedades (ambas presentan fiebre entre sus respectivos síntomas) (p. 27).

Los endoparásitos son aquellos que se localizan dentro de su huésped, generalmente no se observan a simple vista y es necesario realizar pruebas en el laboratorio para detectar su presencia. Los endoparásitos pueden localizarse en cualquier órgano, sin embargo, cada especie diferente siente predilección por un órgano en particular (p. 31). Estos se dividen en cuatro grandes familias:

- Trematodos: gusanos planos insegmentados.
- Nematodos: gusanos cilíndricos.
- Cestodos: Gusanos planos y segmentados.
- Protozoarios: Organismos unicelulares.

Las problemáticas en cuanto a las intoxicaciones pueden llegar a ser padecidas por los animales a través de distintos elementos externos. Esto puede llegar a causar problemáticas en los diversos sistemas de la fisiología de los animales, y al mismo tiempo afectar de forma negativa la producción.

2.1.2. Sistemas de trazabilidad ganadera.

El Gobierno Nacional estableció a través de sus Instituciones como: El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR, El Instituto Colombiano Agropecuario ICA, el Ministerio de Protección Social, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA y el Ministerio de Transporte, la base normativa para reglamentar las normas que definen los procesos y procedimientos que regulan el SINIGAN, y designó al MADR como rector del mismo y a la Federación Colombiana de Ganaderos - FEDEGAN, su administración.

En busca de la modernización y la reconversión del sector ganadero y en atención a los lineamientos de la ganadería mundial, se inició el proceso de normalización de la trazabilidad de los bovinos en el país formulando la Ley 914 de octubre 21 de 2004 por la cual se crea el Sistema Nacional de Identificación e Información del Ganado Bovino -SINIGAN- que tendrá como fin preparar los proyectos de reglamentación. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, el Gobierno Nacional estableció a través de sus Instituciones como: El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR, El Instituto Colombiano Agropecuario ICA, el Ministerio de Protección Social,

el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA y el Ministerio de Transporte, la base normativa para reglamentar las normas que definen los procesos y procedimientos que regulan el SINIGAN, y designó al MADR como rector del mismo y a la Federación Colombiana de Ganaderos - FEDEGAN, su administración (Manuel, B., 2011).

Esta entidad busca, a través de un conjunto de instituciones, normas, procesos, datos e información, generar y mantener la trazabilidad en las cadenas productivas bovinas, y así apoyar la salubridad e inocuidad de los productos cárnicos y lácteos; visionando la creación de un Sistema que se convierta en la base para que el país cuente con un subsector pecuario bovino próspero y competitivo, ofreciendo productos inocuos y saludables para el consumo humano tanto en el mercado interno como en los mercados externos, a través de un programa de trazabilidad nacional, utilizando las calidades humanas y tecnológicas disponibles.

Posteriormente en diciembre de 2012 de acuerdo a la resolución ministerial 451 se designó al Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, en su calidad de máxima autoridad sanitaria, como nuevo administrador del Sistema Nacional de Identificación e Información del Ganado Bovino y luego en el mes de abril mediante el Decreto 442 de 2013, se le facultó como operador del mismo. Recientemente se aprobó la nueva Ley que sustituye la anterior y que beneficiará a los demás sectores productivos pecuarios. En dicho proceso el sistema ya mencionado pasa de ser llamado SINIGAN y administrado por FEDEGAN, a ser llamado IDENTIFICA y en este caso dirigido por el ICA⁴.

2.1.3. Estado del arte en el monitoreo inalámbrico de la ganadería bovina.

En la actualidad se está generando una gran evolución en todo el sector del internet, siendo este un medio de comunicación a nivel internacional de gran importancia. El Internet de las Cosas o Internet of Things (IoT) se considera un estado que conlleva a la evolución tecnológica de dispositivos capaces de conectarse, y presentar información de interés a través de internet.

El fenómeno del Internet de las Cosas ha irrumpido a nuestro alrededor, dando vida a objetos cotidianos que se interconectan gracias a la Red y que constituyen fuentes inagotables de

⁴ La información presentada fue extraída directamente de la página web de IDENTIFICA. URL: <http://www.ica.gov.co/Areas/Pecuaria/Servicios/Identifica.aspx>

información. Para ello, ha sido necesaria la conjunción de tres fenómenos que posibilitan el empleo del IoT por los usuarios. Primero, la miniaturización por la cual los componentes de los ordenadores son cada vez más pequeños, lo que facilita que se pueda conectar prácticamente cualquier cosa, desde cualquier sitio, en cualquier momento. Segundo, la superación de la limitación de la infraestructura de telefonía móvil. Y, tercero, la proliferación de las aplicaciones y los servicios que ponen en uso la gran cantidad de información creada a partir del IoT. De este sistema se espera que llegue a englobar grandes sectores de la economía como la agricultura, la industria, la minería, entre otros (Fundación de la Innovación Bankinter, 2011).

En el sector de la ganadería bovina actualmente se ha establecido el uso de orejeras visuales para la identificación animal, estas presentan favorabilidad debido a bajo costo, también se pueden encontrar otros productos en el mercado que funcionan con tecnología RFID (en sus siglas en español, identificación por radiofrecuencia), entre estos se encuentran los siguientes:

- Orejera electrónica.



Figura 3. Orejera electrónica⁵.

- Microchip inyectable.

⁵ Imagen extraída de la página web: <http://allflexcolombia.com/orejera-electronica/>



Figura 4. Microchip inyectable Global Ident⁶.

- Bolo intrarruminal.



Figura 5. Bolo intrarruminal⁷.

⁶ Imagen extraída de la página web: <http://allflexcolombia.com/microchip-inyectable-global-ident/>.

⁷ Imagen extraída de la página web: <http://allflexcolombia.com/bolo-intrarruminal/>.

La orejera electrónica, el microchip inyectable y el bolo intrarruminal, presentados en las figuras anteriores 3, 4, y 5 respectivamente; son dispositivos pasivos que funcionan con la tecnología RFID. Todos cumplen la misma función que corresponde a almacenar información acerca del animal a identificar. Estos productos son activados por medio de un lector de radiofrecuencia, con el cual se puede tanto grabar como borrar información de los distintos instrumentos. Estos son los productos que ofrece el mercado actualmente por medio de empresas como ERAGRO LTDA., ALLFLEX COLOMBIA LTDA., SEMMENTAL LTDA., KORTH RFID LTDA., entre otras

A razón de la evolución tecnológica se han empezado estudios con las redes de sensores inalámbricos o WSN (Wireless Sensor Network), las cuales son herramienta de mucha importancia, y cuyo funcionamiento consta en una red privada basada en el protocolo ZigBee. Estas redes son usadas para distintos campos de la industria a nivel internacional, como lo es la domótica, procesos de producción, operaciones militares, seguridad, vigilancia, y últimamente han empezado a ser usadas para satisfacer las necesidades que presenta todo el sector agropecuario (Milena, 2013). Además tienen la capacidad de conectarse a través de internet por medio de un nodo coordinador, lo cual conlleva a lo mencionado anteriormente como el internet de las cosas.

Actualmente en el mercado colombiano no hay un producto elaborado y desarrollado para la venta, y satisfacción de necesidades en la ganadería que tenga la capacidad de conectarse directamente con internet para la transmisión de datos. Sin embargo, hay instituciones universitarias que se han encargado de explorar este campo con la intención de plantear nuevas estrategias tecnológicas por medio de las redes inalámbricas de sensores, tal como lo presentó un grupo de la Universidad de Cundinamarca al publicar el artículo “Sistema Web de Identificación de Ganado Bovino y Monitoreo en Tiempo Real de su Temperatura y Frecuencia Cardíaca Usando Redes de Sensores Inalámbricos”, el cual fue producto de la investigación y elaboración de una red de sensores con la intención de medir variables fisiológicas para presentar alertas a los productores sobre el estrés calórico que puede estar presente en los animales. Más específicamente la investigación desarrollada consiste en una red de sensores inalámbricos basada en la especificación 802.15.4, y permite la consulta en línea de los datos básicos del animal tales como edad, raza, peso, vacunas, y de los datos en tiempo real de temperatura y frecuencia respiratoria. Así mismo, cuando alguna de estas variables se encuentra por fuera del rango configurado por el

usuario como normal, se envía una alerta por medio de correo electrónico (Quiza, Castelblanco, & González, 2012).

A nivel mundial también se ha presentado interés por el desarrollo de un producto que pueda monitorear inalámbricamente una serie de variables fisiológicas en los animales. Algunos países como Brasil y Australia han presentado, por medio de universidades locales, investigaciones relacionadas con la integración de redes de sensores en la ganadería bovina. En Brasil la Universidad de São Paulo presento el artículo “MONITORIZACIÓN DE REBAÑOS DE BOVINOS A TRAVÉS DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS” (Arce, Tech, Silva, & Costa, 2009); mientras que en Australia está presente el artículo “Livestock Management System”, desarrollado por una alianza de universidades locales (Foulkes et al., 2013).

Otro método muy importante es el uso de la arquitectura de las redes de la telefonía celulares presente actualmente para adicionar los dispositivos electrónicos como MS (Movil Station), y por medios de esta red transmitir la información requerida hacia una base de datos especifica. Según la investigación realizada actualmente, no hay artículos o investigaciones previas, correspondientes al uso de las redes de la telefonía móvil para el monitoreo en la ganadería.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Redes de telefonía móvil de 2G y 2.5G.

2.2.1.1. Red GSM o de segunda generación (2G).

Después de avanzar mucho en los sistemas analógicos se notó que estos ofrecían una baja capacidad de tráfico y se presentaban muchos problemas por la saturación de las redes en las grandes ciudades. Para resolver estas limitaciones surgieron los sistemas digitales, también llamados de segunda generación. La digitalización de la señal fue uno de los más grandes logros de la telefonía celular, ya que gracias a la conversión de la onda original a un tipo de onda digital, se puede encriptar una conversación y protegerla de forma que solo el teléfono receptor puede decodificar la información, además de ofrecer paquetes de transmisión de mucho menor peso y velocidades más altas a la hora de enviar la información.

Formalmente fue llamada como "Group Special mobile" (Grupo Especial Móvil) aunque también se reconoció con el nombre Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles), por el influjo del mundo anglosajón, es un estándar mundial para teléfonos móviles digitales creado por la CEPT y posteriormente desarrollado por el ETSI como un estándar para los países europeos, con la intención de desarrollar una normativa que fuera adoptada mundialmente.

GSM tiene cuatro versiones principales basadas en las bandas: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900. GSM-900 (900 MHz) y GSM-1800 (1,8 GHz) son utilizados en la mayor parte del mundo, salvo en Estados Unidos, Canadá y el resto de América Latina, lugares en los que se utilizaron las bandas de GSM-850 y GSM-1900 principalmente.

El estándar GSM reúne una serie de mejoras e innovaciones respecto a las redes celulares anteriores a esta versión, destinadas a un uso eficiente del espectro de las radio-frecuencias (RF), a la seguridad de la transmisión, a la mejora de la calidad, a la reducción del costo de los terminales, de las infraestructuras y de la gestión, a la capacidad de soportar nuevos servicios y a la plena compatibilidad con la red ISDN (Integrated Services Digital Network) y con otras redes de transmisión de datos. Esta se caracteriza por ofrecer muchos beneficios y facilidades en la comunicación incluyendo el control de llamadas y los mensajes cortos SMS, además ofrece un buen rango de velocidades de transmisión, desde los 300 bps, hasta 9.6 Kbps, de esta forma aumentan las velocidades de transmisión y la comunicación es constante, también se presenta el uso de TDMA/FDMA, dentro de la banda de 850/900/1800/1900 MHz, y con un ancho de banda de 25Mhz (Velasco Martos, 2005).

2.2.1.1.1. Arquitectura de la red GSM.

Hablando de la arquitectura de redes 2G se pueden subdividir en cuatro partes fundamentales: estación móvil (MS), Subsistema de estación base (BSS), Subsistema de conmutación y red (NSS), subsistemas de soporte y operación (OSS) (ver **Figura 6**).

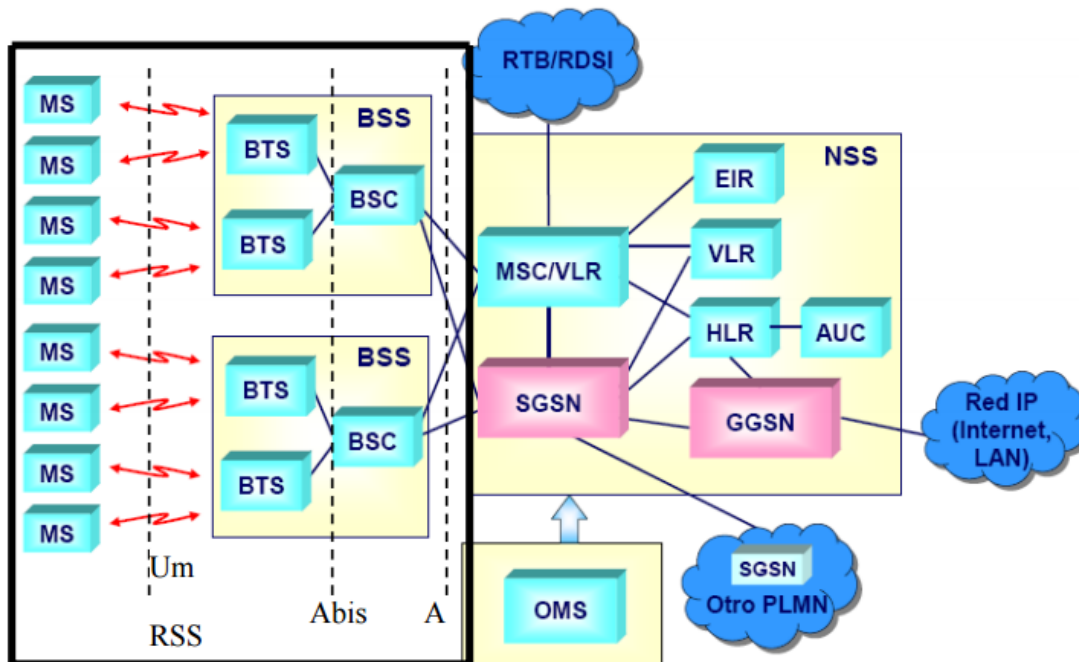


Figura 6. Arquitectura de la red GSM (Velasco Martos, 2005, p. 71).

A continuación se detallan resumidamente los principales bloques del diagrama mostrado en la Figura 6:

1. Subsistema de Radio (RSS, Radio Subsystem). Cubre la comunicación entre las estaciones móviles (MS) y las estaciones base (BTS). El interfaz de radio entre ellas se denomina Um.
2. El subsistema de estaciones base (BSS), incluido dentro de la parte Radio, está constituido por los siguientes elementos:
 - BTS (Base Transceiver Station): emisor, receptor y antena. Procesa los canales de radio (Interfaz Um).
 - BSC (Base Station Controller): Handover, control de las BTS, mapeo de canales de radio sobre los canales terrestres. Por un lado se comunica con las BTS a través de la interfaz Abis con canales de 16Kbits/s y por otro lado se comunica con los MSC a través del interfaz A, con los canales de &4Kbits/s.

Este subsistema hace de interfaz entre la parte de radio y la parte de red.

3. Subsistema de red y conmutación (NSS, Network and Switching Subsystem).
Conmutación, gestión de la movilidad, interconexión con otras redes y control del sistema.
Esta es la parte más compleja, siendo sus elementos fundamentales los siguientes:

- MSC (Mobile Services Switching Center), centro de conmutación entre otras muchas funciones.
- GMSC (Gateway Mobile Services Switching Center). Conexión con otras redes.
- Bases de datos:
 - HLR (Home Location Register).
 - VLR (Visitor Location Register).
 - EIR (Equipment identity Register).

2.2.1.1.2. Servicio SMS.

El servicio SMS, esquematizado en la figura 7, permite transferir un mensaje de texto entre una estación móvil (Ms) y otra entidad (SME) a través de un centro de servicio (SC). El servicio final ofrecido es una comunicación extremo-extremo entre la estación móvil (MS) y SME. La entidad puede ser otra estación móvil o puede estar situado en una red fija. En el caso 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.

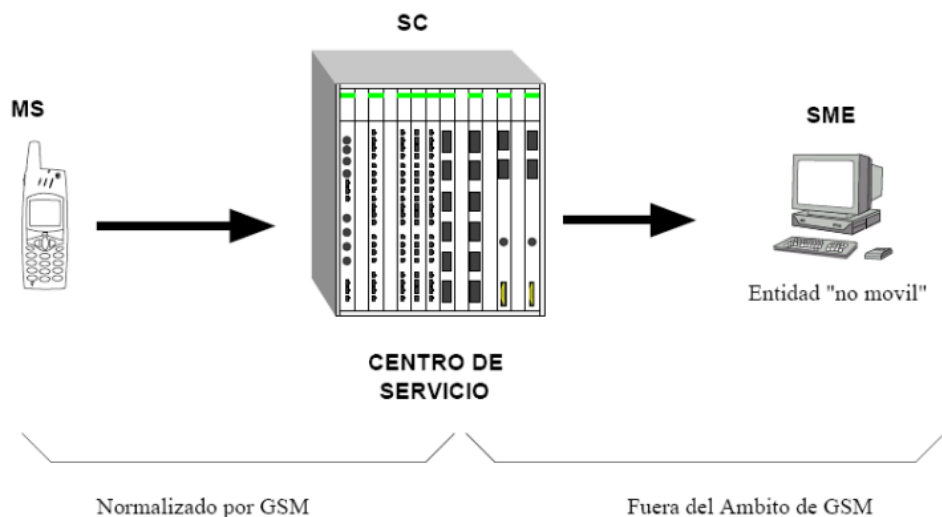


Figura 7. Estructura del servicio SMS (p. 73).

El servicio SMS se divide en dos servicios básicos detallados en la figura 8.

1. SM MT (Short Message Mobile Terminated Point-to-Point). Servicio de entrega de un mensaje desde el SC hasta una MS, obteniéndose un informe sobre lo ocurrido.
2. SM MO (Short Message Mobile Originated Point-to-Point). Servicio de envío de un mensaje desde una MS hasta un SC, obteniéndose un informe sobre lo ocurrido.

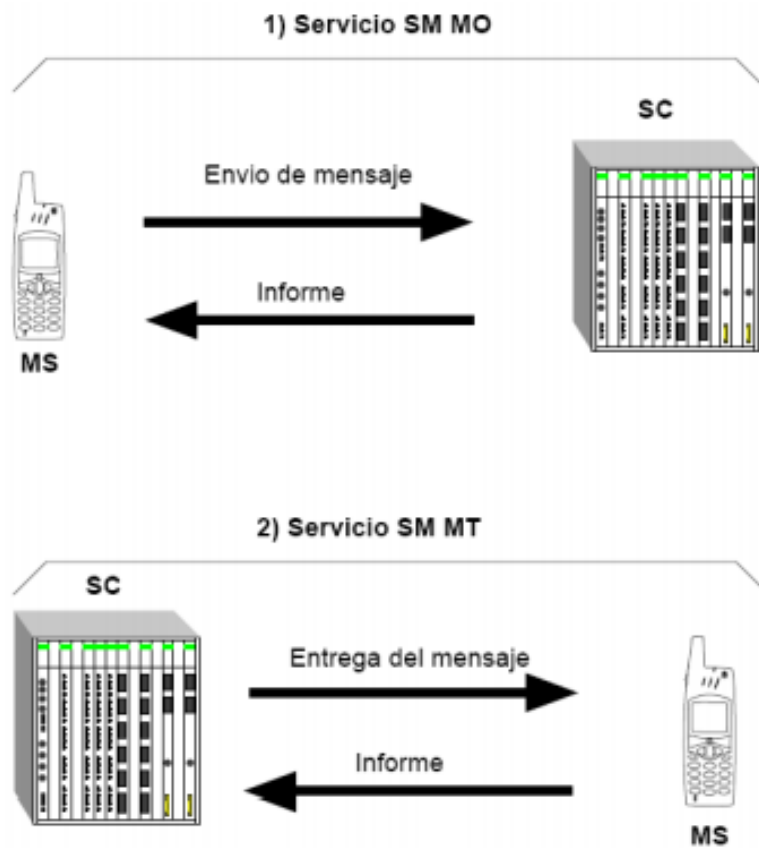


Figura 8. Servicios básicos SM MO y SM MT (p. 74).

2.2.1.1.3. Comandos AT.

Los comandos AT (se denominan así por la abreviatura de *attention*) son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un terminal módem.

En un principio, el juego de comandos AT fue desarrollado en 1977 por Dennis Hayes como un interfaz de comunicación con un módem para así poder configurarlo y proporcionarle instrucciones, tales como marcar un número de teléfono. Más adelante, con el avance del baudio, fueron las compañías Microcomm y US Robotics las que siguieron desarrollando y expandiendo el juego de comandos hasta universalizarlo.

Aunque la finalidad principal de los comandos AT es la comunicación con módems, la telefonía móvil GSM también ha adoptado como estándar este lenguaje para poder comunicarse con sus terminales. De esta forma, todos los teléfonos móviles GSM poseen un juego de comandos AT específico que sirve de interfaz para configurar y proporcionar instrucciones a los terminales. Este juego de instrucciones puede encontrarse en la documentación técnica de los terminales GSM y permite acciones tales como realizar llamadas de datos o de voz; leer, escribir en la agenda de contactos y enviar mensajes SMS, además de muchas otras opciones de configuración del terminal.

Los comandos AT con cadenas ASCII que comienzan por los caracteres AT y terminan con un retorno de carro (LF). Cada vez que el módem recibe un comando, lo procesa y devuelve un resultado, que normalmente es una cadena ASCII. Al estar la comunicación en ASCII, podremos utilizar un terminal de comunicaciones desde un ordenador para acceder al módem, bien para configurarlo, bien para hacer pruebas o bien para establecer una comunicación con otro módem (p. 78-79).

2.2.1.2. Red GPRS (2.5G).

La red GSM prevé unos servicios de transmisión de datos desde la fase inicial. Sin embargo, se trata de servicios con modalidad de transferencia por conmutación del circuito, es decir, donde la red, una vez establecida la conexión física entre dos usuarios, dedica los recursos propios hasta que no es solicitado expresamente el establecimiento de la conexión, independientemente del hecho de que los dos usuarios se intercambien datos durante todo el tiempo de conexión.

Esta modalidad de transferencia es óptima sólo en el caso en que los dos usuarios tengan que intercambiarse una cantidad significativa de datos (transferencia de ficheros o archivos), resulta ineficiente en cuanto los datos a intercambiarse son de pequeña entidad o bien, en el caso más frecuente, el tráfico de datos es de tipo interactivo o transitorio, es decir, el tiempo de uso

efectivo de los recursos de la red supone sólo una parte con respecto al tiempo total de conexión (como, por ejemplo, la navegación en Internet a través de la World Wide Web).

Con el sistema GPRS (General Packet Radio Service), introducido por ETSI (European Telecommunication Standard Institute) para la fase 2+ del sistema GSM, el acceso a la red de paquetes se lleva al nivel del usuario del móvil a través de protocolos como los TCP/IP (Transmission Control Protocol), X.25, y CLNP (Connectionless Network Protocol), sin ninguna otra necesidad de utilizar conexiones intermedias por conmutación del circuito (Sánchez Wevar, 2005, p. 22-35).

Al contrario que el servicio de transferencia de datos con modalidad de conmutación de circuito, en el que cada conexión establecida se dedica sólo al usuario que la ha solicitado, el servicio GPRS permite la transmisión de paquetes en modalidad link by link, es decir, los paquetes de información se encaminan en fases separadas a través de los diversos nodos de soporte del servicio, denominados GSN (Gateway Support Node). Por ejemplo, una vez que un paquete ha sido transmitido por el interfaz de radio (Um), se vuelven a liberar los recursos Um, que así pueden ser utilizados por algún otro usuario y el paquete se vuelve a enviar sucesivamente de nodo a nodo hacia su destino.

2.2.1.2.1. Arquitectura de la red GPRS.

GPRS es una red superpuesta a GSM que comparte con ella la red de acceso. Sin embargo GPRS introduce dos nuevos nodos: Gateway GPRS Support Node (GGSN) y Serving GPRS Support Node (SGSN). GGSN actúa como un interfaz lógico hacia las redes de paquetes de datos externas mientras que SGSN es responsable de la entrega de paquetes al terminal móvil en su área de servicio. GPRS también introduce a nivel de BSC el denominado Packet Control Unit (PCU). Véase Figura 9.

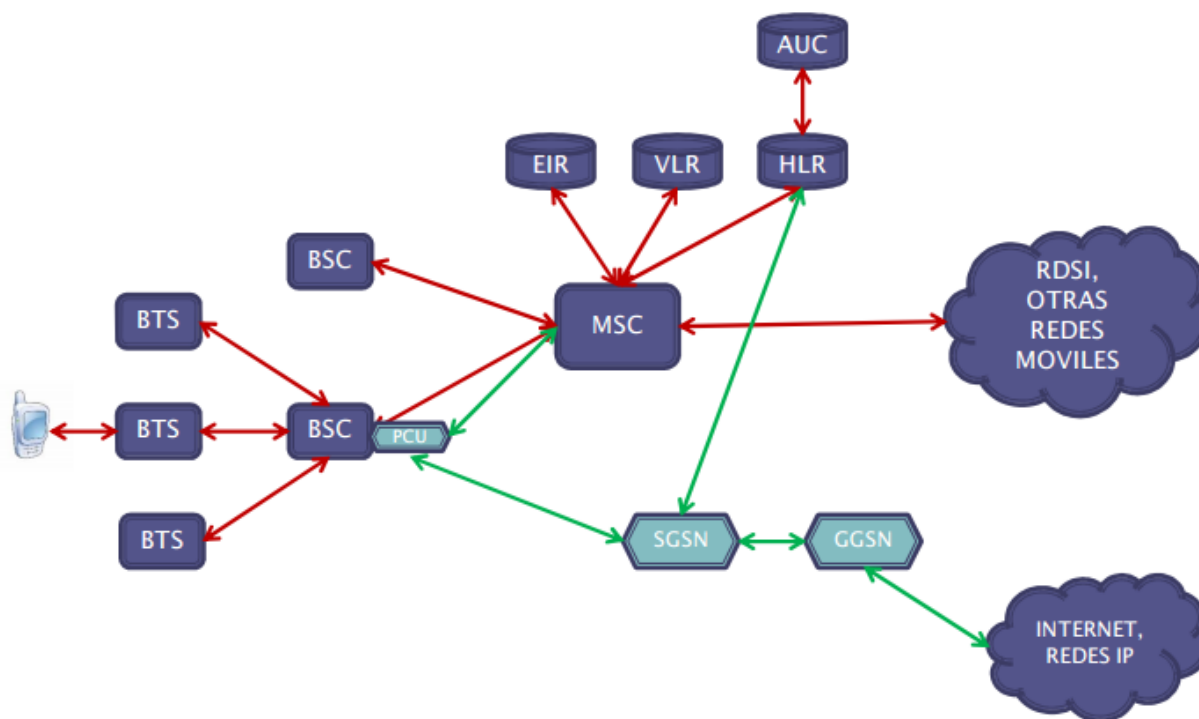


Figura 9. Arquitectura red GPRS.

- ✓ PCU (Packet Control Unit): unidad (software) sumada al BSS que proporciona:
 - Distinción entre paquetes de datos y de voz. Paso de los mismos a la red GPRS o GSM.
 - Retransmisión de paquetes GPRS: control de errores.

- ✓ SGSN (Serving GPRS Support Node): punto de acceso del MS a la red GPRS:
 - Retransmisión de datos entre MS y GGSN.
 - Autenticación de MS, registro en la red y gestión de movilidad.
 - Aviso de conexión al MS.
 - Recogida de datos de facturación.

- ✓ GGSN (Gateway GPRS Support Node): conecta la red GPRS con redes de paquetes externas ocultando la infraestructura GPRS al resto del mundo.

✓ Funciones:

- Recibir (enviar) paquetes desde (a) redes de paquetes externas hacia (desde) el SGSN.
- Realizar operaciones en la red GPRS en función de mensajes procedentes de la red externa.
 - Inicio/fin de transferencia de datos
 - Localización de un terminal.
- Garantizar privacidad y seguridad de la red GPRS.
- Proporcionar direcciones IP a los terminales GPRS mediante direccionamiento dinámico.
- Realizar traspaso de datos entre SGSNs.

En cuanto a los tipos de terminales, éstos se clasifican en tres clases:

- Clase A: Se puede usar simultáneamente GSM y GPRS, es decir realizar una llamada y al mismo tiempo acceder a Internet. Se utilizará un Time-slot para GSM y uno o más Time-slot para GPRS y no se degrada ninguno de los dos servicios.
- Clase B: Mientras uno de los servicios está activo el otro permanece en suspenso y se da prioridad a GSM (a las llamadas). En este caso GPRS puede sufrir degradación de calidad (QoS).
- Clase C: La elección de GPRS o GSM se realiza de forma manual y no se puede usar simultáneamente (Prieto Dónate, 2007).

2.2.1.2.2. GPRS está basado en conmutación de paquetes.

La entidad transmisora segmenta el mensaje a transmitir en PDUs (paquetes de datos) independientes, de tamaño apropiado. La entidad receptora se encarga de reconstruirlos hasta obtener el mensaje original completo. Cada paquete de datos se transfiere de un nodo a otro como

una sola unidad. Contienen información de control (direcciones de origen y destino, identificador, etc.) que permite su manejo en la red.

El PDU se almacena temporalmente en cada uno de los nodos por los que pasa mientras espera ser enviado al siguiente. Esto conlleva un aumento del retardo en función del volumen de tráfico existente y de la capacidad del enlace. Todos los PDUs que componen los datos están relacionados unos con otros, pero la forma en que viajan y son reagrupados varía. La propia red puede fragmentar los PDUs si la longitud de éstos es mayor que la unidad máxima de transferencia (MTU) de la red.

2.2.2. Sistema de posicionamiento global (GPS).

El Sistema de Posicionamiento Global o GPS, aunque su nombre correcto es NAVSTAR-GPS1, es un sistema global de navegación por satélite que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave. Podemos alcanzar una precisión hasta de centímetros, usando el GPS diferencial, pero lo habitual son unos pocos metros.

El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita a 20.200 km sobre el globo terráqueo, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar una posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del Sistema de Posicionamiento y calcula el retraso de las señales; es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" los tres satélites calculan la posición en que el GPS se encuentra. La triangulación en el caso del Sistema de Posicionamiento Global se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenada reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites. (Estos datos serán especificados más adelante) (Ghio M. Gina, 2008).

2.2.2.1. Segmento espacial.

Se puede observar en la Figura 10 la disposición aproximada que tienen los satélites de la constelación NAVSTAR, GPS que integran el segmento espacial.

Debido a que la vida útil de un satélite llega a término por envejecimiento de los paneles solares, falta de capacidad de los acumuladores, averías no reversibles en los sistemas electrónicos o agotamiento del combustible de maniobra, se planificó su reemplazo en bloques.

Los primeros satélites puestos en órbita fueron los integrantes del denominado Bloque I. Fueron lanzados desde la base Vandenberg, ubicada en el estado de California. El total de satélites puestos en órbita fue 11 entre los años 1978 y 1985, utilizándose para ello cohetes Atlas-F.

Estos primeros satélites tuvieron un peso de 845 Kg. y un promedio de vida efectiva de 7.5 años. Las órbitas descriptas tenían una inclinación de 63 grados respecto del Ecuador.

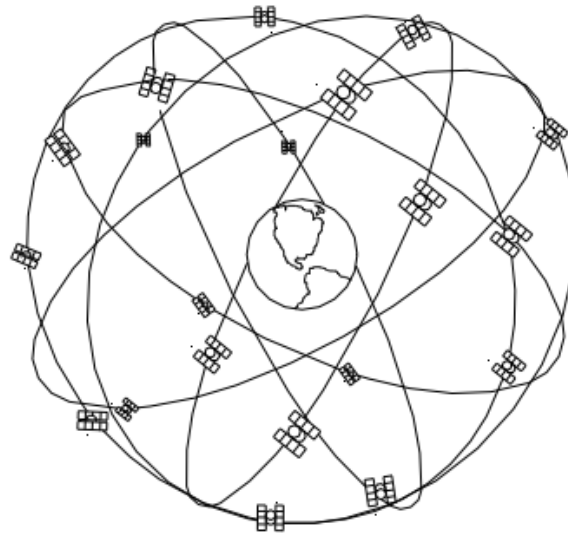


Figura 10. Constelación de satélites.

Los satélites del Bloque I fueron sustituidos progresivamente por los del denominado Bloque II. Este nuevo bloque adiciona varias innovaciones. Entre ellas la posibilidad de incorporar a la señal una perturbación denominada SA (Selective Availability) que no es otra cosa que la disminución intencional de la precisión del sistema, también se estableció una limitación al acceso

del denominado código P. Estas características fueron impuestas a los usuarios civiles por cuestiones de interés militar. El peso de estos satélites es de 1500 Kg. con un período de vida de aproximadamente 10 años. A partir de estos satélites se modificó la inclinación de las órbitas llevándolas a 55 grados. Se lanzaron un total de 9 satélites.

Posterior a ello se lanzaron nuevos bloques como el Bloque IIA en 1990, en 1996 se empezó con el lanzamiento del primer satélite del Bloque IIR y posterior a ello se empezó con el Bloque IIF en el 2001 (Huerta Eduardo; Mangiaterra Aldo; Noguera Gustavo., 2005).

2.2.2.2. Segmento de control.

El sistema global de navegación por satélite compuesto por el segmento de control se refiere a una serie de estaciones terrestres. Éstas envían información de control a los satélites para controlar las órbitas y realizar el mantenimiento de toda la constelación. Se podría decir que son estaciones de rastreo automáticas distribuidas globalmente y que monitorean las órbitas junto con las señales de cada satélite enviando correcciones. Activan y desactivan los satélites según las necesidades de mantenimiento. Hay una estación principal, 4 antenas de tierra y 5 estaciones monitoras de seguimiento (Ghio M. Gina, 2008, p. 5).

2.2.2.3. Segmento de Usuario.

Está constituido por los instrumentos utilizados para recepcionar y procesar la señal emitida por los satélites. Estos instrumentos están integrados esencialmente por una antena y un receptor. Un equipo complementario es usado, en ocasiones, para transferir datos entre receptores.

La antena está conectada por cable al receptor o en otros casos forman una sola unidad. Las coordenadas que se calculan corresponden al centro radioeléctrico de la antena. El receptor consta de un mínimo de 4 canales (generalmente 10 ó 12) que permiten recepcionar y procesar simultáneamente la señal de cada satélite.

Posee además un oscilador de cuarzo que permite generar la frecuencia de referencia para realizar la observación. Un microprocesador interno con el software correspondiente calcula las coordenadas de la antena y la velocidad y acimut si el aparato está en movimiento. Posee además

una memoria para almacenar observaciones. La capacidad de esta memoria varía de acuerdo al tipo de receptor, pudiendo llegar a almacenar información durante varias decenas de horas.

Todo equipo adiciona una unidad de alimentación eléctrica que deberá brindar al receptor la autonomía necesaria. Los equipos están en continuo desarrollo y su evolución es comparable a la experimentada en informática durante las últimas décadas para los ordenadores personales (Huerta Eduardo; Mangiaterra Aldo; Noguera Gustavo., 2005, p. 10-11).

2.2.3. Microcontroladores.

Los microcontroladores son computadores digitales integrados en un chip que cuentan con un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puertos de entrada salida. A diferencia de los microprocesadores de propósito general, como los que se usan en los computadores PC, los microcontroladores son unidades autosuficientes y más económicas.

El funcionamiento de los microcontroladores está determinado por el programa almacenado en su memoria. Este puede escribirse en distintos lenguajes de programación. Además, la mayoría de los microcontroladores actuales pueden reprogramarse repetidas veces

Por las características mencionadas y su alta flexibilidad, los microcontroladores son ampliamente utilizados como el cerebro de una gran variedad de sistemas embebidos que controlan máquinas, componentes de sistemas complejos, como aplicaciones industriales de automatización y robótica, domótica, equipos médicos, sistemas aeroespaciales, e incluso dispositivos de la vida diaria como automóviles, hornos de microondas, teléfonos y televisores (Reyes, 2005).

Frecuentemente se emplea la notación μC o las siglas MCU (por microcontroller unit para referirse a los microcontroladores. De ahora en adelante, los microcontroladores serán referidos en este documento por μC (Torres Torriti, 2007).

2.2.3.1. Características de los microcontroladores.

Las principales características de los μC son:

- Unidad de Procesamiento Central (CPU): Típicamente de 8 bits, pero también las hay de 4, 32 y hasta 64 bits con arquitectura Harvard, con memoria/bus de datos separada de la memoria/bus de instrucciones de programa, o arquitectura de von Neumann, también llamada arquitectura Princeton, con memoria/bus de datos y memoria/bus de programa compartidas.
- Memoria de Programa: Es una memoria ROM (Read-Only Memory), EPROM (Electrically Programmable ROM), EEPROM (Electrically Erasable/Programmable ROM) o Flash que almacena el código del programa que típicamente puede ser de 1 kilobyte a varios megabytes.
- Memoria de Datos: Es una memoria RAM (Random Access Memory) que típicamente puede ser de 1, 2, 4, 8, 16, 32 kilobytes.
- Generador del Reloj: Usualmente un cristal de cuarzo de frecuencias que genera una señal oscilatoria de entre 1 a 40 MHz, o también resonadores o circuitos RC.
- Interfaz de Entrada/Salida: Puertos paralelos, seriales (UARTs, Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), I2C (Inter-Integrated Circuit), Interfaces de Periféricos Seriales (SPIs, Serial Peripheral Interfaces), Red de Área de Controladores (CAN, Controller Area Network), USB (Universal Serial Bus).
- Otras opciones:
 - Conversores Análogo-Digitales (A/D, analog-to-digital) para convertir un nivel de voltaje en un cierto pin a un valor digital manipulable por el programa del microcontrolador.
 - Moduladores por Ancho de Pulso (PWM, Pulse-Width Modulation) para generar ondas cuadradas de frecuencia fija pero con ancho de pulso modificable (p. 3-4).

2.2.3.2. *Proceso de Desarrollo.*

El proceso de desarrollo de una aplicación basada en microcontroladores se compone de las siguientes etapas principales, las cuales se explican en más detalle en las siguientes subsecciones.

- Desarrollo de software: Esta etapa corresponde a la escritura y compilación/ensamblaje del programa que regirá las acciones del μC y los sistemas periféricos conectados a este.
- Programación del μC : En esta etapa el código de máquina correspondiente al programa desarrollado en la etapa anterior se descarga en la memoria del μC .
- Prueba y verificación: Por último, el μC debe conectarse al circuito base y someterse a pruebas para verificar el funcionamiento correcto del programa (Torres Torriti, 2007, p. 4).

2.2.4. *Sensores y transductores.*

Se denomina transductor, en general, a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física distinta. Es, por lo tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. Esto significa que la señal de entrada es siempre una energía o potencia, pero al medir, una de las componentes de la señal suele ser tan pequeña que puede despreciarse, y se interpreta que se mide sólo la otra componente.

Al medir una fuerza, por ejemplo, se supone que el desplazamiento del transductor es despreciable, es decir, que no se carga al sistema, ya que de lo contrario podría suceder que éste fuera incapaz de aportar la energía necesaria para el desplazamiento. Pero en la transducción siempre se extrae una cierta energía del sistema donde se mide, por lo que es importante garantizar que esto no lo perturba.

Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares (químicas), cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería considerarse un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física útil. En la práctica, no obstante, se consideran transductores por antonomasia aquellos que

ofrecen una señal de salida eléctrica. Ello se debe al interés de este tipo de señales en la mayoría de procesos de medida.

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida. Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos, pero sensor sugiere un significado más extenso: la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no puede ser percibida directamente por los sentidos. Transductor, en cambio, sugiere que la señal de entrada y la de salida no deben ser homogéneas. Para el caso en que lo fueran se propuso el termino <modificador>, pero no ha encontrado aceptación (Pallás Areny Ramón, 2004).

3. METODO

3.1. HIPOTESIS Y MEDICION DE VARIABLES

Diseñar un dispositivo electrónico inalámbrico para la medición de variables físicas en el ganado bovino, tales como la ubicación geográfica en tiempo real, la temperatura corporal y el ritmo cardiaco de cada animal. Con el fin de prevenir riesgos en el ámbito de la salud y seguridad de cada animal.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL UTILIZADO

El proyecto consta de un dispositivo inalámbrico capaz de establecer comunicación por medio de las redes de telefonía celular, como se puede observar en la **Figura 11**. Cada nodo o dispositivo estará compuesto por un microcontrolador, un módulo de comunicación inalámbrica (módulo GSM/GPRS), una serie de sensores específicos para medir las variables ya mencionadas y una fuente de alimentación. Este mecanismo tendrá la capacidad de medir las distintas variables a monitorear y transmitirlos al usuario a través de las redes de telefonía móvil por medio de un mensaje de texto, permitiendo así la correcta visualización de los datos.

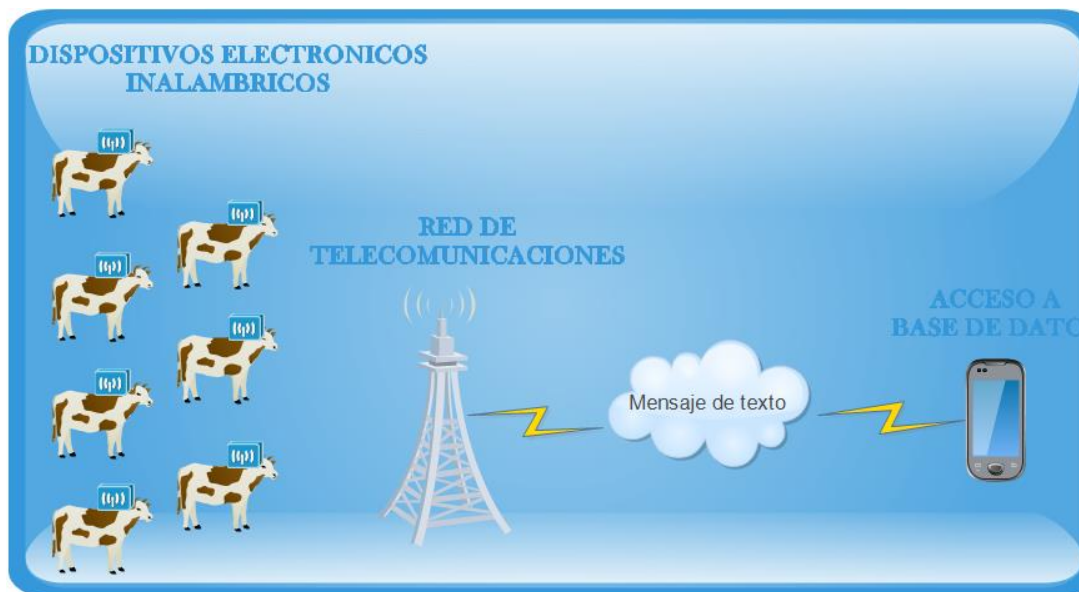


Figura 11. Arquitectura general del diseño experimental.

3.3. UNIVERSO Y MUESTRAS

3.3.1. Universo.

La población correspondiente a la investigación concierne en la ganadería bovina colombiana. El uso de revistas, bases de datos, instituciones de mucha importancia en el mencionado sector; se tomaran como objeto de estudio en la investigación.

3.3.2. Muestras.

Se tomaran medidas de los datos o variables como la ubicación geográfica, la temperatura y frecuencia cardiaca, verificado así el funcionamiento del dispositivo con sus respectivos sensores y la eficiencia.

3.4. INSTRUMENTOS DE MEDICION

Para la recolección de datos en la ganadería se tendrán en cuenta una serie de encuestas realizadas a haciendas o fincas ganaderas de la región de Córdoba, de las cuales se plantea tener información con respecto a la aprobación del proyecto como una solución en la ganadería de sus respectivos dueños o mayordomos.

Para el diseño del prototipo se utilizaran laboratorios en los cuales se realizara su respectiva construcción y funcionalidad. También se realizaran pruebas de campos con la intención de obtener valores de las variables de medición con respecto a cada animal en específico.

3.5.PROCEDIMIENTO

Para la elaboración y desarrolló del proyecto se ejecutaran las siguientes actividades.

- A.** Investigación del marco teórico e información de importancia.
- B.** Análisis técnico para la elección de los materiales a utilizar.
- C.** Compra de materiales a utilizar.
- D.** Realización de encuestas a haciendas ganaderas.
- E.** Prueba del correcto funcionamiento de los materiales.
- F.** Diseño del prototipo parte I (calibración de los sensores).
- G.** Diseño del prototipo parte II (programación del microcontrolador).
- H.** Diseño del prototipo parte III (configuración de la red de la red).
- I.** Diseño y terminación del circuito impreso.
- J.** Diseño del software y pagina web (base de datos).
- K.** Pruebas de campo.
- L.** Conclusiones y documento escrito.

4. ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO

En dicho caso el dispositivo o prototipo que se desarrolló, tiene como principal funcionalidad la recolección de datos, su respectivo procesamiento, y la transmisión de los mismo a través de las redes inalámbricas de telefonía móvil (GSM/GPRS), al respectivo usuario final. En este caso la transmisión de los datos se realizó a través de la red GPRS, para ser más específicos, o como es de mayor reconocimiento reconocida mensajería de texto, en la cual ira cada uno de los datos a monitorear.

Para tal caso nuestro respectivo prototipo ha de necesitar una serie de elementos que lo conformen, debido a esto se definirá y diseñara su respectiva arquitectura. Para el presente caso se ha de necesitar primordialmente una fuente de energía que permita mantener el dispositivo en su respectivo funcionamiento. También se ha de necesitar los sensores encargados de capturar los datos fisiológicos emitidos por el animal con su respectiva funcionalidad, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente ya se tiene claro que las variables a monitorear consisten en la obtención de la temperatura corporal, el ritmo cardiaco y el posicionamiento geográfico. Otro de los ítems de importancia para el prototipo hace referencia a un elemento cuya funcionalidad corresponda a emitir y recibir señales de radiofrecuencia de forma inalámbrica, para así establecer comunicación entre el dispositivo y el receptor de los datos. Ya para finalizar hay que tener en cuenta que cada dato debe ser procesado, analizado y monitoreado, echo por el cual se ha de necesitar un componente que permita procesar distintas funciones y manejar todo el circuito en su totalidad, para ello se procederá a utilizar un microcontrolador con las características esenciales para las distintas funciones.

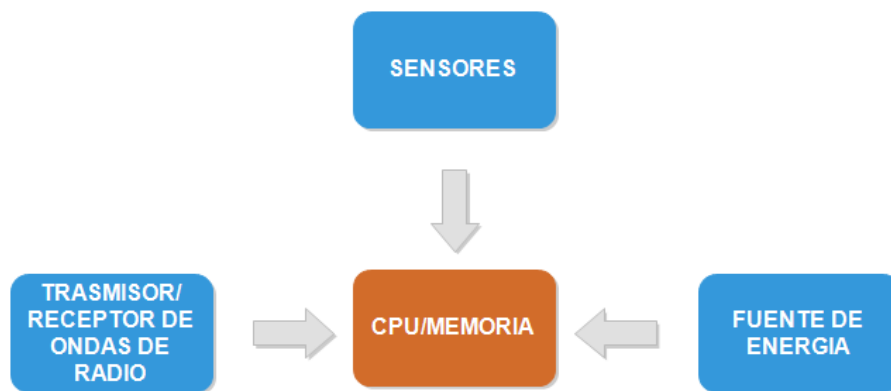


Figura 12. Arquitectura general del dispositivo.

En la Figura 2 se puede apreciar la arquitectura básica empleada y estructurada, correspondiente al prototipo. En este esquema se puede ver claramente cómo se generan cuatro subdivisiones esenciales que permitirán un óptimo funcionamiento del respectivo prototipo.

4.1.SELECCIÓN DE ELEMENTOS.

Para el diseño del circuito es muy importante escoger elementos prácticos que permitan un buen funcionamiento del prototipo a adecuar, costos asequibles y buenas características técnicas. Con base en lo mencionado anteriormente se procederá a realizar una relación entre los distintos elementos de fácil acceso en el mercado y sus características técnicas, para hacer una correlación y elección de materiales.

4.1.1. Selección microcontrolador.

Para la elección del microcontrolador se ha de tener en cuenta la viabilidad, facilidad de uso, capacidad de funcionamiento, eficiencia, costos y que sea de fácil acceso en el mercado. Actualmente en el mercado existen diversidad de familias de microcontroladores, entre la cuales se pueden encontrar: Atmel, Microchip, Rabbit, Freescale, Texas instrument, entre otras.

De las distintas familias de microcontroladores mencionadas anteriormente, de las cuales existen muchas más, las que son más asequibles en cuanto a la disponibilidad en el mercado nacional son Microchip, Atmel y Freecale; las cuales van a ser analizadas según sus funciones, capacidades y la facilidad en cuanto a su respectivo funcionamiento, y así seleccionar que pueda aportar más eficiencia al prototipo.

Al analizar los microcontroladores desarrollados por Microchip existe una gran ventaja, la cual corresponde a que son dispositivos de fácil acceso y proveen en promedio un bajo costo, según la versión y capacidad del modelo a utilizar. También son muy utilizados por lo cual se puede encontrar una gran cantidad de información en cuanto a la codificación para establecer

funciones específicas. Pero al mismo tiempo estos microcontroladores poseen menor memoria RAM y EEPROM que otras familias, por lo tanto sus procesos son más lentos.

La gama de microcontroladores Freescale, al igual que microchip, también posee una alta gama de versiones, que van desde los más pequeños con funciones limitadas a modelos con muchas más capacidades. El precio de esta familia varía según la versión a utilizar, y se encuentran modelos de bajo costo, como también se pueden verificar aquellos de mayor calidad y capacidad, y con un precio mucho más elevado. Una de las desventajas que se presentan en estos microcontroladores es que poseen un ciclo corto de vida en comparación a otras familias de microcontroladores.

La otra familia a analizar corresponde a los microcontroladores AVR, los cuales hacen posible completar instrucciones en un solo ciclo de reloj, lo cual abarca un menor consumo de potencia y los 32 registros de trabajo hacen mucho más eficiente el uso de la memoria de programa que a su vez ayudan a ejecutar los programas de forma más rápida.

Todas las familias mencionadas anteriormente proveen las capacidades para soportar el prototipo a diseñar, pero como en este caso lo que se está analizando es la facilidad que estos provean al respectivo funcionamiento del dispositivo se eligió la familia Atmel, debido a que hay un sistema de desarrollo llamado Arduino, el cual consta con muchos funcionamientos específicos y una base de desarrollo que permite un proceso mucho más rápido. Además podemos encontrar una cantidad de herramientas y sensores orientados a este tipo de sistema de desarrollo, y del cual se decidió trabajar con el Arduino Mega 2560 debido a que este posee 4 puertos seriales UARTs, ideales para la conexión del módulo GPS y el modulo encargado de transmitir los datos inalámbricamente (**Apéndice A**).

4.1.2. Selección de dispositivo de red inalámbrica.

Para la selección de la tecnología inalámbrica a utilizar se tendrán en cuenta dos factores fundamentales: el primero consta del costo que pueda representar el dispositivo y el segundo corresponde a la facilidad y comodidad de la transmisión de la información a internet.

Las tecnologías a analizar son las siguientes ZigBee, Wifi y junto a estas también se analizara la tecnología GPRS.

4.1.2.1.Tecnología ZigBee.

Esta tecnología corresponde al conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica, el cual está basado en el estándar IEEE 802.15.4. Esta tecnología fue llevada a cabo por un grupo conocido como ZigBee Alliance, y está enfocada en aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con una tasa baja de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Hecho por el cual es muy utilizada en la domótica.

Esta tecnología usa la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos; la banda de operación de esta en Europa es 868 MHz, 915 MHz en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo, y tiene una velocidad de transmisión de hasta 250 Kbps. ZigBee es un protocolo tecnológico que nos permite tener 255 nodos y un máximo de 65535 dispositivos conectados a la red.

Actualmente la empresa Digi ha diseñado una serie de módulos llamados XBee, los cuales estaba basados en el protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4). Estos dispositivos están disponibles en diferentes precios, los cuales dependen de su alcance y respectivas funciones. Se pueden encontrar dispositivos con un alcance desde 100 hasta 16 km, además proveen una serie de topologías de red para que los usuarios puedan asignar la de mayor conveniencia, entre esas esta la topología malla, estrella, árbol, punto a punto y punto a multipunto. Para lo anterior siempre se debe contar con un Zigbee coordinador (es el encargado de controlar la red), los Zigbee Router que requiera la red (interconecta dispositivos separados en la topología de la red) y por último los dispositivos finales (posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre, ya sea el router o el coordinador). Su precio en el mercado a nivel nacional puede verse desde 45.000.

4.1.2.2.Tecnología Wi-Fi.

La tecnología Wi-Fi es certificada por el estándar IEEE 802.11, de los cuales se derivan los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n; que operan en la banda de 2.4 GHz

debido a que esta está disponible casi universalmente, y con una velocidad de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s respectivamente.

Actualmente debido a que posee una tasa de transmisión alta con respecto a otras tecnologías, es habitual encontrarla en casi todos los aparatos electrónicos que necesiten mantener ya sea una conexión entre ellos o una conexión a internet. Su uso se ha globalizado a nivel mundial. Además existen varias alternativas para garantizar la seguridad de estas redes como el WEP, el WPA, o el WPA2 que se encargan de codificar la información transmitida para proteger su confidencialidad, proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos. El costo de un módulo Wi-Fi a nivel nacional con un costo mínimo aproximado de 100.000 pesos colombianos.

4.1.2.3.Tecnología GSM/GPRS.

El sistema de 2,5 Generation o GPRS nace en la década de los 90 con el fin de implementar la transmisión de paquetes vía radio sobre el sistema GSM. Esta tecnología también denominada como GSM-IP debido a su integración de los protocolos de internet TCP/IP con la red móvil GSM. También posee una tasa de transmisión de datos que va desde 40 Kbps hasta 115 Kbps.

Actualmente ya se encuentran implementadas tecnologías mucho más avanzadas a esta, con mayores velocidades de transmisión, mejor calidad de servicio, mejores esquemas de multiplexación, entre otras características. Debido a que en el prototipo a diseñar no se requieren altas tasas de transmisión esta tecnología puede ser implementada sin ningún tipo de complejidad.

Realizando un análisis estándar de las tecnologías ya mencionadas se puede llegar a concluir que cualquiera de estas puede funcionar en el prototipo que se planea construir. Por tal motivo es necesario profundizar más en las distintas características técnicas, viabilidad y factibilidad. Los dispositivos ya mencionados pueden ser encontrados en diversas tiendas electrónicas a nivel nacional, esto muestra que son dispositivos que se encuentran en el mercado, por lo cual se concluye que son elementos que muestran un buen grado de factibilidad. Si se analizan las características técnicas, podemos encontrar que la tecnología Wi-Fi tiene la mayor tasa de transmisión con una velocidad de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s según el estándar; la tecnología ZigBee posee una tasa de transmisión de 250Kbit/s y finalmente en la tecnología GSM/GPRS podemos encontrar una tasa de transmisión de datos que va desde 40Kbit/s hasta

115Kbit/s; según los datos mostrados se podría decir que, en cuanto a características técnicas, Wi-Fi sería el medio viable, pero como los datos a transmitir son pocos no se hace necesaria una velocidad de transmisión alta, por tal motivo tanto el módulo Wi-Fi como el ZigBee y la tecnología GSM/GPRS son óptimas para la función a cumplir. Otro aspecto a tener en cuenta es la necesidad de transmitir la información a un teléfono móvil, para esto la tecnología GSM/GPRS es mucho más óptima, debido a que la red ya está implementada por las empresas de telefonía móvil como CLARO, TIGO y MOIVISTAR, lo cual sugiere un módulo de esta tecnología para conectarse a la red. Esto representa una mayor ventaja significativa con respecto a las otras tecnologías, ya que la tecnología Wi-Fi y ZigBee requieren la conformación de la red y posterior a ello un nodo coordinador.

Con respecto al módulo GSM/GPRS se tomó la decisión de comprar el módulo Quectel M95 ya que posee un bajo costo y es muy fácil de conseguir en el mercado; las especificaciones técnicas, y demás datos de relevancia pueden observarse en el **APENDICE B**.

4.1.3. Selección de sensores.

Las variables de medición a monitorear hacen referencia a la temperatura y el ritmo cardiaco, debido a estos se seleccionaran sensores capaces de tomar estas variables para posteriormente ser analizadas.

4.1.3.1. Selección del sensor de temperatura.

La elección del sensor de temperatura se dio al momento de revisar distintas variables como el factor costo, viabilidad, tamaño, características técnicas y disponibilidad en el mercado. Existiendo muchos tipos de sensores que permiten realizar estas mediciones, lo principal es generar un análisis detallado de los puntos ya mencionados para la elección del componente.

Para el presente caso es termistor LM35 fue el sensor a elegir, esto debido a la asequibilidad que presenta en el mercado, su bajo costo, tamaño y las distintas características técnicas que posee.

El LM35 es un dispositivo de tres terminales que produce un voltaje de salida de 10mV/°C, de modo que el voltaje nominal de salida es de 250mV a 25°C y 1V a 100°C. Este sensor puede

medir temperaturas debajo de 0°C usando una resistencia de pull-down desde el terminal de salida a una tensión debajo de cero. La precisión del LM35 es de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ desde -55°C a $+150^\circ\text{C}$. Los resultados que este provee vienen calibrados directamente en Celsius. Otra ventaja de este elemento es que no necesita circuitos adicionales para su configuración, por lo tanto la baja impedancia de salida, su salida lineal y su precisa calibración hace posible que esté integrado sea instalado fácilmente en un circuito de control, toda la información técnica detalla se podrá observar a través del **APENDICE C**.

4.1.3.2. Selección de sensor de ritmo cardiaco.

La medición del ritmo cardiaco se puede realizar de múltiples formas, las cuales pueden ir de forma mecánica o a través de distintas tecnologías. Para medir el pulso sin la ayuda de ningún aparato electrónico y de forma manual, necesitaremos colocar los dedos índice y corazón (nunca el pulgar) en una parte del cuerpo donde una arteria pase muy cerca de la piel. Así, puede medirse en el cuello (pulso carotídeo), en la muñeca (pulso radial), en la ingle (pulso femoral), en la parte interna del codo (pulso cubital), en la parte posterior de la rodilla (pulso poplíteo), en la sien (pulso temporal) o en la cara interna del pie (pulso medio). Una vez que se tenga localizado el pulso en una de estas zonas, presionando suavemente con los dedos hay que contar cuántas pulsaciones tenemos en un minuto (o en medio minuto y multiplicarlo por dos). Necesitaremos colocar los dedos índice y corazón (nunca el pulgar) en una parte del cuerpo donde una arteria pase muy cerca de la piel. Así, puede medirse en el cuello (pulso carotídeo), en la muñeca (pulso radial), en la ingle (pulso femoral), en la parte interna del codo (pulso cubital), en la parte posterior de la rodilla (pulso poplíteo), en la sien (pulso temporal) o en la cara interna del pie (pulso medio). Una vez que se tenga localizado el pulso en una de estas zonas, presionando suavemente con los dedos hay que contar cuántas pulsaciones tenemos en un minuto (o en medio minuto y multiplicarlo por dos).

Otros métodos más avanzados y de medios electrónicos utilizados para este tipo de mediciones consisten en la fotoplethysmografía, electrocardiografía y pulsometría. El primero consiste en visualizar la variación del volumen sanguíneo como consecuencia de la actividad cardíaca. Para ello, se utiliza una pareja de fotodiodo y fototransistor acoplado para la adquisición de la señal proveniente del vaso sanguíneo, por lo general este análisis se realiza por medio de la yema de los

dedos, o cualquier parte del cuerpo por donde pase una arteria o cualquier otra parte del sistema cardiovascular (Rocha, Celi, & Yapur, 2011). La segunda consiste en una prueba que registra la actividad eléctrica del corazón que se produce en cada latido cardiaco. Esta actividad eléctrica se registra desde la superficie corporal, y se usa para medir el ritmo y la regularidad de los latidos, el tamaño y posición de las aurículas y ventrículos, cualquier daño al corazón y los efectos que sobre él pueden tener ciertos fármacos o dispositivos implantados en el corazón (como marcapasos). La tercera opción reside en la pulsometria, la cual consiste en medir su frecuencia cardíaca en tiempo real. Por lo general, consta de dos elementos: una correa transmisora para el pecho y un receptor; la cinta del pecho tiene electrodos en contacto con la piel para controlar electrónicamente las pulsaciones del corazón, cuando se detecta uno los latidos del corazón se transmite una señal que el receptor utiliza para determinar la frecuencia cardíaca (Andrade, 2015).

De los métodos presentados anteriormente se utilizara la fotopletismografía, la cual consiste es más eficiente para el proceso debido a que su funcionalidad radica en el uso de luz infrarroja en cualquiera de las arterias, eliminando así la necesidad y uso de gran cantidad de cables, y al mismo tiempo lo hace muy sencillo de utilizar.

4.1.4. Selección de modulo GPS.

Para este caso la selección del GPS consta básicamente de tres variables fundamentales, costo, existencia en el mercado y tamaño. Si bien existen muchos modelos y marcas de módulos GPS en todo el mundo, de distintos tamaños y algunos con tecnología más avanzada frente a los demás modelos del mercado.

El modulo GPS que se eligió corresponde al módulo L80 de QUECTEL, el cual es muy comercial, cumple las funciones necesarias para dar un buen funcionamiento y cumplir con su funcionalidad, provee un costo bajo frente a otros modelos y posee una antena embebida tipo parche (15mmx15mmx4mm) para la captación de señales satelitales. Además es capaz de lograr el más alto nivel de sensibilidad, precisión y TTFF con el menor consumo de energía. También posee 66 canales de búsqueda y 22 canales de seguimiento simultáneos, que adquieren y rastrean satélites en el menor tiempo posible. La memoria flash incorporada proporciona la capacidad para

que los usuarios almacenen algunos datos de navegación útiles y permite futuras actualizaciones, véase **APENDICE D**.

4.2.DISEÑO DEL CIRCUITO.

El diseño del circuito electrónico se realizó por medio de subdivisiones; las cuales fueron probadas e implementadas por separado, con el fin de obtener un desarrollo más significativo y ordenado. Posterior a ello se utilizaron las medidas necesarias para el prototipo y una vez que todas las partes fueron probadas y organizadas, se procedió un ensamble general de todas las partes del circuito.

4.2.1. Prueba módulo GSM/GPRS.

4.2.1.1. Características de alimentación del módulo

La fuente de alimentación es una de las cuestiones clave en el diseño de los terminales GSM. Debido a los 577 μ s de la emisión de la ráfaga del radio en GSM cada 4.614ms, la fuente de alimentación debe ser capaz de entregar altos picos de corrientes en el periodo de una ráfaga. Durante estos picos, la caída del voltaje de alimentación no debe exceder el voltaje mínimo de trabajo del módulo (2 A).

Para el módulo M95, el consumo máximo podría alcanzar a 1.6^a durante la transmisión de una ráfaga. Que causará una gran caída de tensión en la VBAT. Con el fin de asegurar un funcionamiento estable del módulo, se recomienda que la caída de tensión max durante la transmisión de la ráfaga no exceda de 400 mV.

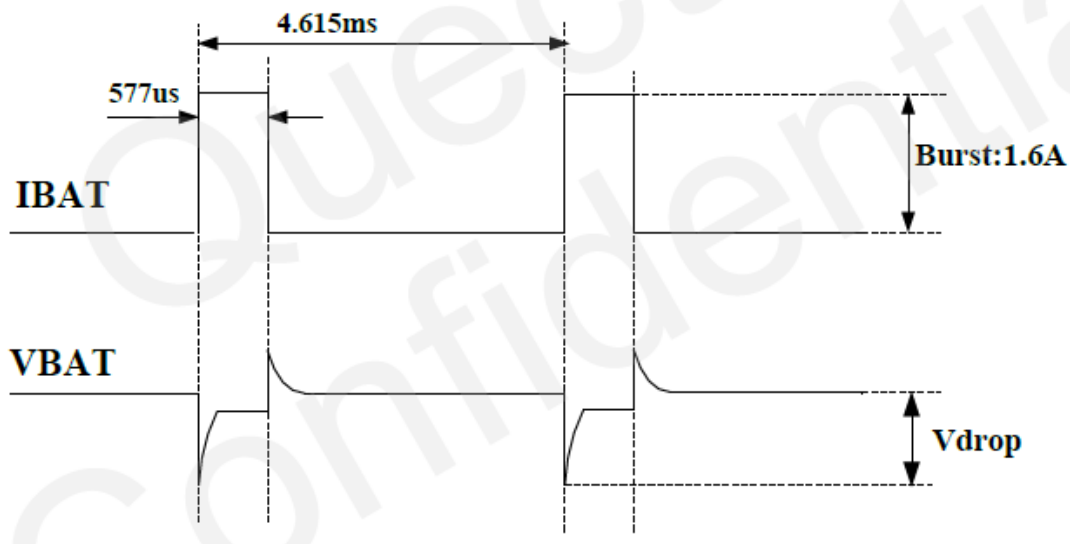


Figura 13. Onda de voltaje durante la transmisión.

4.2.1.2. Disminuir el suministro caída de tensión.

El rango de alimentación del módulo es 3.3V a 4.6V. Por tal motivo, se asegura que la tensión de entrada no caerá por debajo de 3,3 V, incluso en una ráfaga de transmisión. Si la tensión de alimentación cae por debajo de 3,3 V, el módulo podría apagarse de forma automática. Para un mejor rendimiento de energía, se coloca un condensador de tantaló 100uF con baja ESR (ESR = 0.7ohm) y condensadores cerámicos 100nF, 33pF y 10pF cerca del pin VBAT. La referencia del circuito se ilustra en la **Figura 14**.

La ruta VBAT debe ser lo suficientemente amplia para garantizar que no hay demasiada caída de tensión que ocurre durante ráfaga de transmisión. El ancho de la traza debe ser inferior a 2 mm y el principio de la ruta VBAT es la ruta más larga, la huella más amplia.

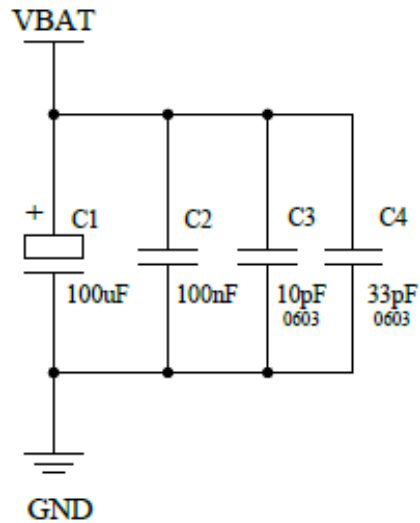


Figura 14. Referencia del circuito para la entrada VBAT.

En la Figura 15 se realizó el montaje de entrada del pin VBAT, con el fin de proporcionar un mejor rendimiento del circuito, debido a que al momento de la transmisión se pueden presentar caídas en la tensión y si el voltaje de entrada cae por debajo de los 3.3V el modulo se apaga automáticamente.

La información fue presentada por el fabricante (vea **APENDICE B**), en la cual recomienda utilizar un capacitor tantalio de 100uF y capacitores cerámicos de 100nF, 10pF y 22pF.

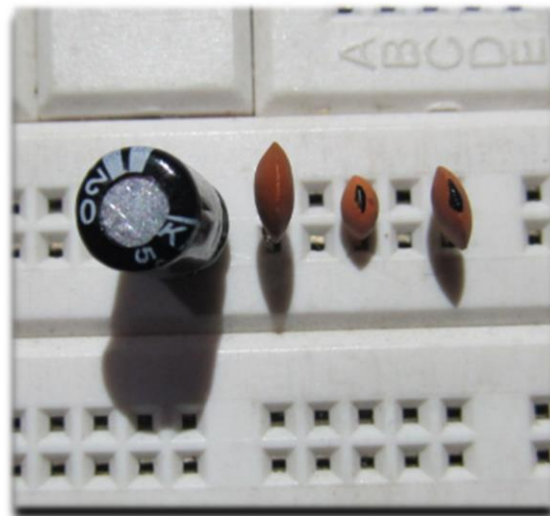


Figura 15. Representación circuito para disminuir caída de tensión.

4.2.1.3. Escenarios de encendido y apagado.

El módulo se puede activar a través del pin PWRKEY. El cliente puede encender el modulo conduciendo el pin PWRKEY a un bajo nivel de voltaje y posterior a esto el pin STATUS emite un alto nivel, el pin PWRKEY puede ser liberado. El cliente puede supervisar el nivel del pin STATUS para juzgar si el módulo está encendido o no.

Un circuito de colector abierto es sugerido para el control de pin PWRKEY. Una referencia simple del circuito es ilustrada en la Figura 16.

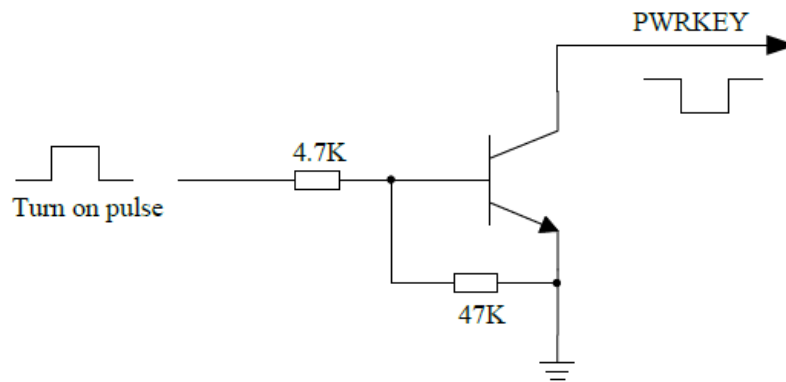


Figura 16. Encendido del módulo utilizando circuito de activación.

La otra forma de controlar el PWRKEY es usando un botón directamente. Un componente TVS es indispensable para ser colocado cerca del botón de protección ESD. Al presionar la tecla, la salida electrostática puede generarse a partir de un dedo. El circuito de referencia se mostró en la Figura 17.

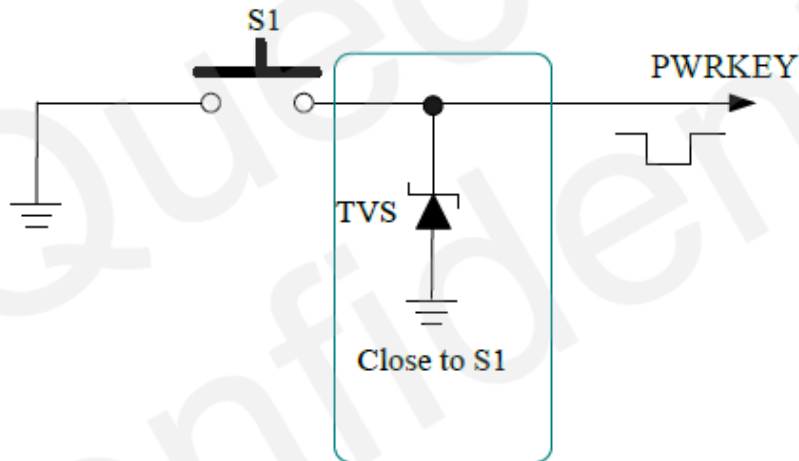


Figura 17. Encendido del módulo usando un pulsador.

4.2.1.4. Apagado.

Los siguientes procedimientos pueden ser usados para apagar el modulo:

- Normal procedimiento de apagado: apaga el modulo usando el pin PWRKEY.
- Normal procedimiento de apagado: apaga el modulo usando el comando “AT+QPOWD”
- Sobretensión o bajo voltaje apagado automático: entran en vigor cuando se detecta un exceso de tensión o bajo voltaje.
- Apagado de emergencia: Apague módulo utilizando el pin EMERG_OFF.

4.2.1.4.1. Apagar módulo utilizando el pin PWRKEY.

La solicitud del cliente puede desactivar el módulo conduciendo el PWRKEY a un bajo nivel de voltaje por cierto tiempo. El procedimiento de apagado hace que el módulo se separe de la red y permite que el software guarde los datos importantes antes de desconectar completamente el suministro de energía, por lo que es una manera segura.

Antes de la finalización del procedimiento de apagado, el módulo envía el resultado del código. Después de ese momento, no se ejecutan más comandos AT. Luego el módulo entra en el modo de apagado, sólo el RTC (Real Time Clock) sigue activo. El modo de apagado puede también ser indicado por el pin STATUS, el cual presenta un bajo nivel de voltaje en este modo.

4.2.1.4.2. *Apagar el modulo usando el comando AT.*

Se puede apagar el modulo usando el comando AT “AT+QPOWD=1”. Este comando permitirá que el módulo cierre sesión desde la red y que el software guarde los datos importantes antes de desconectar completamente el suministro de energía, por lo que es una manera segura de apagado.

4.2.1.4.3. *Apagado automático por bajo voltaje o alto voltaje.*

El modulo monitorea constantemente el voltaje aplicado en el pin VBAT. Si el voltaje es $\leq 3.5V$, el siguiente URC (Unsolicited Result Code) será presentado:

- UNDER_VOLTAGE WARNING

Si el voltaje es $\geq 4.5V$, el siguiente URC será presentado:

- OVER_VOLTAGE WARNING

El rango no crítico de voltaje es de 3.3V a 4.6V. Si el voltaje es $> 4.6V$ o $< 3.3V$, el modulo se pagara automáticamente.

Si el voltaje es $< 3.3V$, el siguiente URC será presentado:

- UNDER_VOLTAGE POWER DOWN

Si el voltaje es $> 4.6V$ el siguiente URC será presentado:

- OVER_VOLTAGE POWER DOWN

4.2.1.5. Interfaz serial.

El módulo proporciona dos puertos serie: UART y Debug Port. El módulo es Diseñado Como un DCE (Data Communication Equipment), siguiendo la tradicional conexión DCE-DTE (equipo terminal de datos). Función autobauding soporta velocidad de transmisión de 4800 bps a 115200 bps.

El puerto UART:

- TXD: Envía datos a RXD de DTE.
- RXD: Recibe datos de TXD de DTE.
- RTS: Requests to send (solicitudes para enviar).
- CTS: Clear to send (Despejar para enviar).
- DTR: DTE está listo e informa a DCE (este pin puede despertar el modulo).
- RI (Ring Indicator): Indicador de llamada (cuando la llamada, SMS o los datos del módulo están llegando, el módulo emite una señal de salida para informar al DTE).
- DCD (Data Carrier Detection): Detección de portadores de datos (la validez de este pin demuestra que el enlace de comunicación está configurado)

El Debug Port:

- DBG_TXD: Enviar datos al puerto COM de un equipo de depuración.
- DBG_RXD: Recibir datos desde el puerto COM de un equipo de depuración.

Tabla 4. Definición de pines de la interfaz UART.

Interface	Name	Pin	Function
Debug Port	DBG_RXD	14	Receive data of the debug port
	DBG_TXD	15	Transmit data of the debug port
UART Port	DTR	20	Data terminal ready
	RXD	21	Receive data of the UART port
	TXD	22	Transmit data of the UART port
	CTS	23	Clear to send
	RTS	24	Request to send
	DCD	25	Data carrier detection
	RI	26	Ring indicator

- Sincronización entre DTE y DCE.

Cuando DCE (el modulo) se enciende y el autobaudio es habilitado, es recomendable esperar de 2 a 3 segundos antes de enviar el primer carácter AT. Después de recibir la respuesta “OK”, DTE y DCE son correctamente sincronizados.

- Las conexiones del puerto UART

La conexión entre el modulo y el host por medio del puerto UART es muy flexible. Tres estilos de conexiones son ilustrados posteriormente: La conexión del puerto UART es mostrada, cuando es aplicada en modulación-demodulación.

4.2.1.6. Indicador del estado de la red

La señal NETLIGHT se puede utilizar para indicar el estado de la red por medio de un LED. El estado de trabajo de este pin aparece en la Tabla 5.

Tabla 5. Estado de trabajo de NETLIGHT.

State	Module function
Off	The module is not running.
64ms On/ 800ms Off	The module is not synchronized with network.
64ms On/ 2000ms Off	The module is synchronized with network.
64ms On/ 600ms Off	GPRS data transfer is ongoing.

El circuito de referencia a implementar se muestra en la Figura 18.

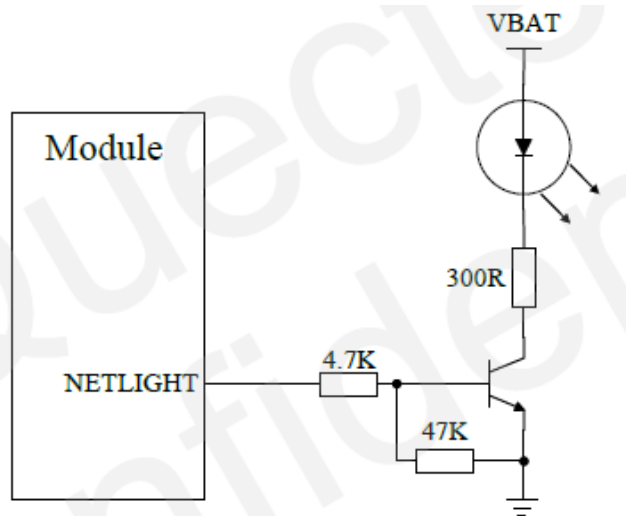


Figura 18. Circuito de referencia de NETLIGHT.

4.2.1.7. Indicativo del estado de operación.

El pin STATUS se establece como un pin de salida y se puede utilizar para evaluar si el módulo es encendido. Este pin se puede conectar al GPIO del DTE o se utiliza un LED con el fin de verificar el funcionamiento del módulo. Un circuito de referencia se muestra en la Figura 19.

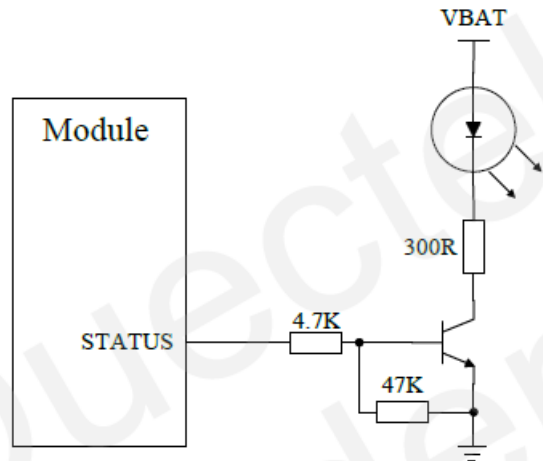


Figura 19. Referencia del circuito para el pin STATUS.

4.2.1.8. Interfaz de SIM CARD.

La interfaz SIM soporta la funcionalidad de GSM Fase 1 y también soporta la funcionalidad de GSM Fase 2+.

La interfaz SIM es encendida por un regulador interno en el módulo. La Sim CARD soporta 1.8V y 3.0V.

Tabla 6. Definición de pines de la interfaz SIM.

Name	Pin	Function
SIM_VDD	27	Supply power for SIM Card. Automatic detection of SIM card voltage. 3.0V±10% and 1.8V±10%. Maximum supply current is around 10mA.
SIM_RST	28	SIM Card reset
SIM_DATA	29	SIM Card data I/O
SIM_CLK	30	SIM Card clock
SIM_GND	31	SIM Card ground

El circuito de referencia utiliza un soporte de la tarjeta SIM de 6 pines, se ilustra como la Figura 20.

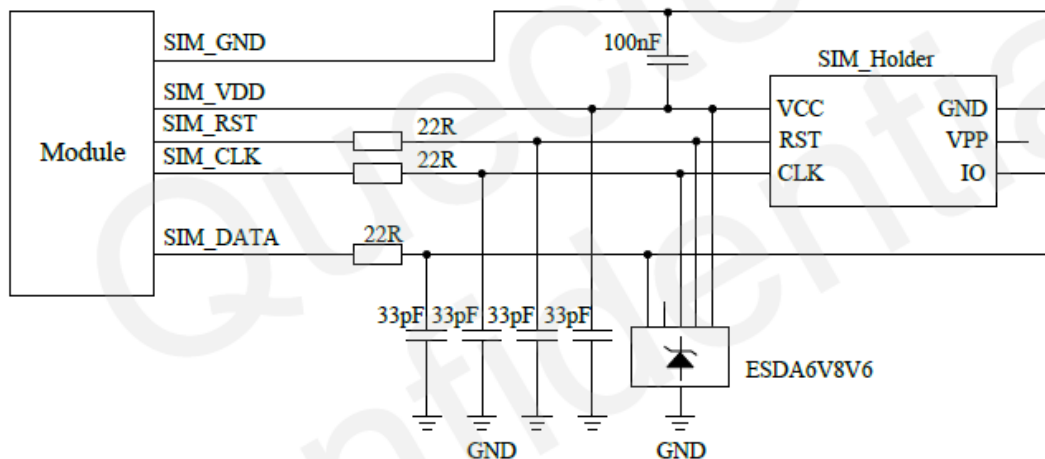


Figura 20. Referencia del circuito de los pines de la SIM-CARD.

4.2.1.9. Interfaz de antena.

El pin 39 es la plataforma de la antena de RF, adicional hay otros pines como el 37, 38 y 40 que van conectados directamente a GND (véase Tabla 7).

Tabla 7. Definición de pines de la interfaz de antena.

Name	Pin	Function
GND	37	ground
GND	38	ground
RF_ANT	39	RF antenna pad
GND	40	ground

El diseño adecuado para la implementación de la antena en el circuito se puede observar claramente en la Figura 21.

The RF external circuit is recommended as below:

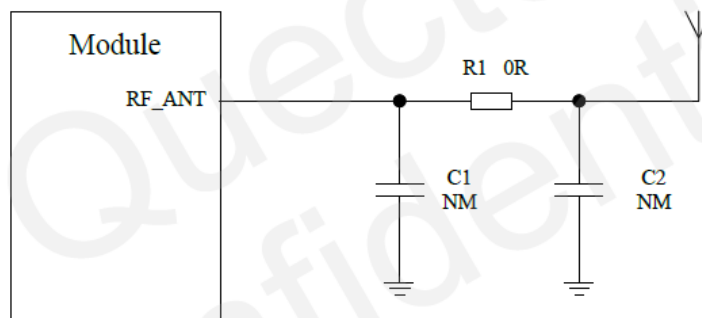


Figura 21. Referencia del circuito de RF.

La traza de RF que conecta a la antena de RF del módulo debe ser la línea de micro-fibra, cuya impedancia característica debe ser cerca de 50 OMH. El módulo M95 viene con almohadillas de puesta a tierra, que están al lado de la plataforma de la antena con el fin de dar una mejor conexión a tierra.

Se utilizó la ANTENA JCG015, la cual es una antena en miniatura para aplicaciones exigentes. Esta proporciona un funcionamiento en las cuatro bandas de frecuencia GSM (850MHz, 900MHz, 1800MHz y 1900MHz) con 2 dBi de ganancia, polarización lineal, impedancia de 50 Ω , entre otras especificaciones que se pueden visualizar en la Tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones técnicas de la ANTENA JCG015.

Item		Specifications
Antenna	Frequency Range	824~894/1710~2170MHz or 880~960/1710~2170MHz
	Polarization	Linear
	Gain	2dBi (Zenith)
	V.S.W.R (min)	<2.5
	Impedance	50 Ω
	Connector	SMA Male
Environmental	Operating Temperature	-40°C~+85°C
	Vibration	10 to 55Hz with 1.5mm amplitude 2hours
	Environmentally Friendly	ROHS Compliant

La representación física de la antena se puede observar mediante la figura 22, en donde se observa una antena compacta y de buenas proporciones.



Figura 22. Diseño físico de la ANTENA JCG015.

Para el presente caso se utilizó una tarjeta de desarrollo, la cual incluye el circuito SIM con sus respectivas instalaciones y también las conexiones necesarias para la antena de transmisión y recepción. Esta plataforma presenta mayores facilidades para la realización de pruebas de laboratorio de su respectivo funcionamiento. En la Figura 23 se podrá ver la representación física del módulo.



Figura 23. Tarjeta de desarrollo del módulo QUECTEL M95.

Posterior a lo anterior se realizó el montaje sugerido por el fabricante para los pines GND, VBAT, NETLIGHT, POWERKEY y STATUS (los demás pines no fueron requeridos

para el diseño del prototipo). En la figura 24 se observa cual fue la terminación de esta primera fase del circuito:

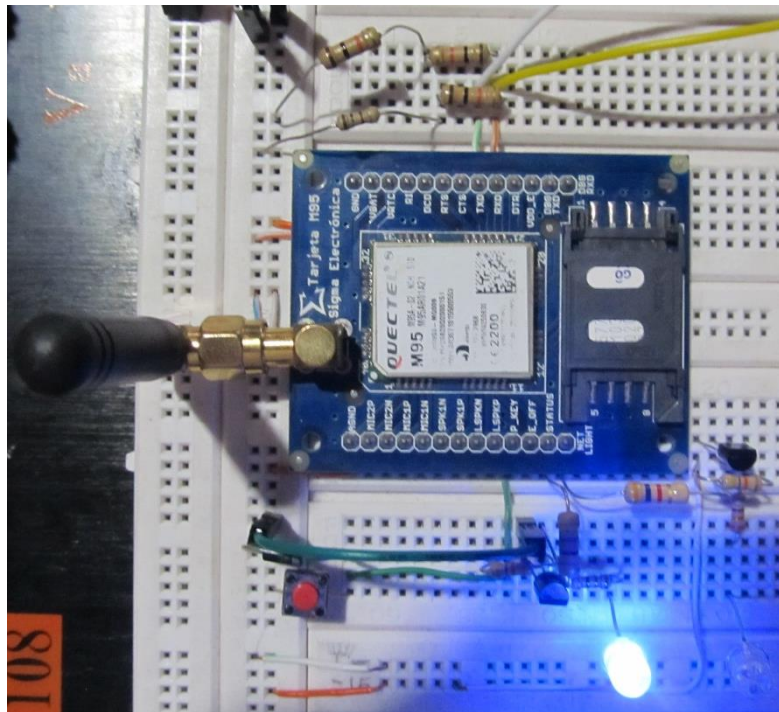


Figura 24. Montaje del módulo M95.

La imagen anterior muestra, a través del led conectado al pin STATUS (led azul), que el modulo esta encendido.

Para verificar el respectivo funcionamiento del módulo, se utiliza el puerto UART del módulo para conectarlo con el PC por medio de una comunicación serial. En este caso se hará uso del programa TERA TERM para conectar el modulo con el PC y establecer comunicación. Una vez se realiza la conexión se hará uso de los comandos AT para programar el modulo y mandar indicaciones con respecto a su funcionamiento.

Para la primera prueba se utilizara el comando “ATD<Numero Celular>;” el cual es utilizado específicamente para realizar llamadas, luego se utilizó el comando ATH para colgar la llamada. En la figura 25 se pueden observar los comandos en el momento en el cual fue realizada la prueba con el software TERA TERM.

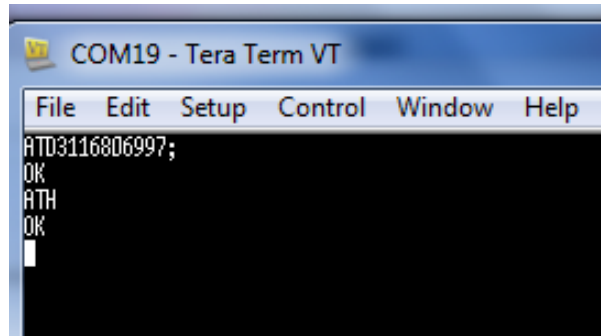


Figura 25. Prueba de llamada por medio de comandos AT.

Al momento de poner a prueba los comando con el módulo GSM/GPRS, se presentó una respuesta inmediata a la llamada realizada, para esto véase la Figura 26.

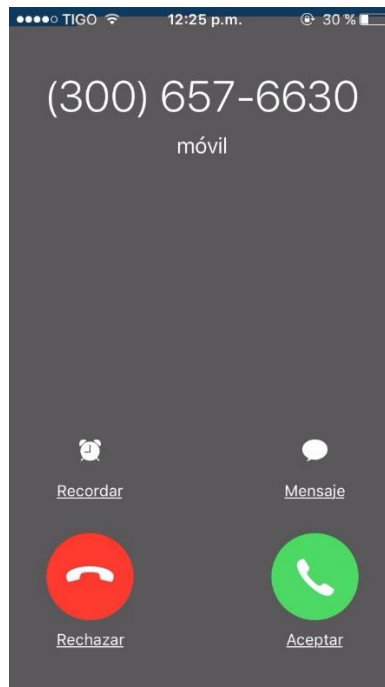


Figura 26. Resultado de la prueba de llamada por medio de comandos AT.

Posterior a la prueba anterior de la llamada, también se realizó una prueba específicamente en la transmisión de un mensaje de texto desde el módulo M95 hacia un teléfono móvil convencional. En este caso se hizo uso primeramente del comando `AT+CMGF=1`, el cual configura el modulo en modo texto, luego el modulo responde un OK, y se procede a enviar el comando `<<AT+CMGS="Numero Celular">>`, el cual indica específicamente el número de celular al cual va a llegar el mensaje e inmediatamente se presenta la opción del cuadro de texto

donde se escribe en mensaje a enviar. Luego se oprime la tecla Ctrl+Z para enviar el mensaje. En la Figura 27 se puede observar todo el proceso realizado mediante los comandos AT para el envío del mensaje.

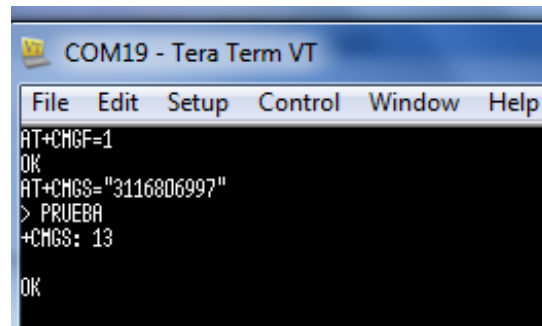


Figura 27. Prueba de envío de mensaje por medio de comandos AT.

Simultáneamente se observó que el mensaje enviado llegó correctamente, por lo cual se concluye que la prueba del módulo fue exitosa y sin ningún tipo de inconveniente. Para esto obsérvese la Figura 28.



Figura 28. Prueba de envío de mensaje de texto a través del módulo M95.

Una vez se han realizado pruebas a través de la comunicación serial entre el PC y el módulo GSM/GPRS, se procede a utilizar la plataforma de ARDUINO, para así realizar el proceso de forma automática.

En este caso se hace necesario desarrollar un código de programación, con el fin de ejercer las funciones necesarias y transmitir las órdenes específicas para que el circuito ejerza lo solicitado por el usuario.

El primer paso a seguir es utilizar en sistema de desarrollo ARDUINO, en este caso se hace uso del ARDUINO MEGA 2560, para encender el módulo GSM/GPRS; el cual se encenderá previamente a través de un pulso eléctrico emitido por medio del microcontrolador, para este caso por medio del ARDUINO. Para ello es necesario implementar el siguiente circuito en el pin PWRKEY (véase Figura 29).

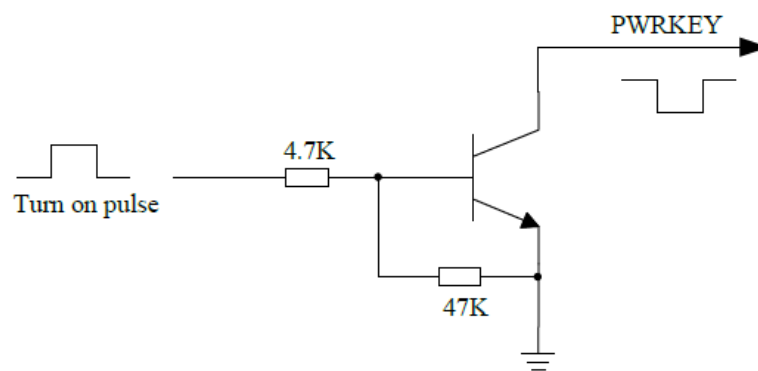
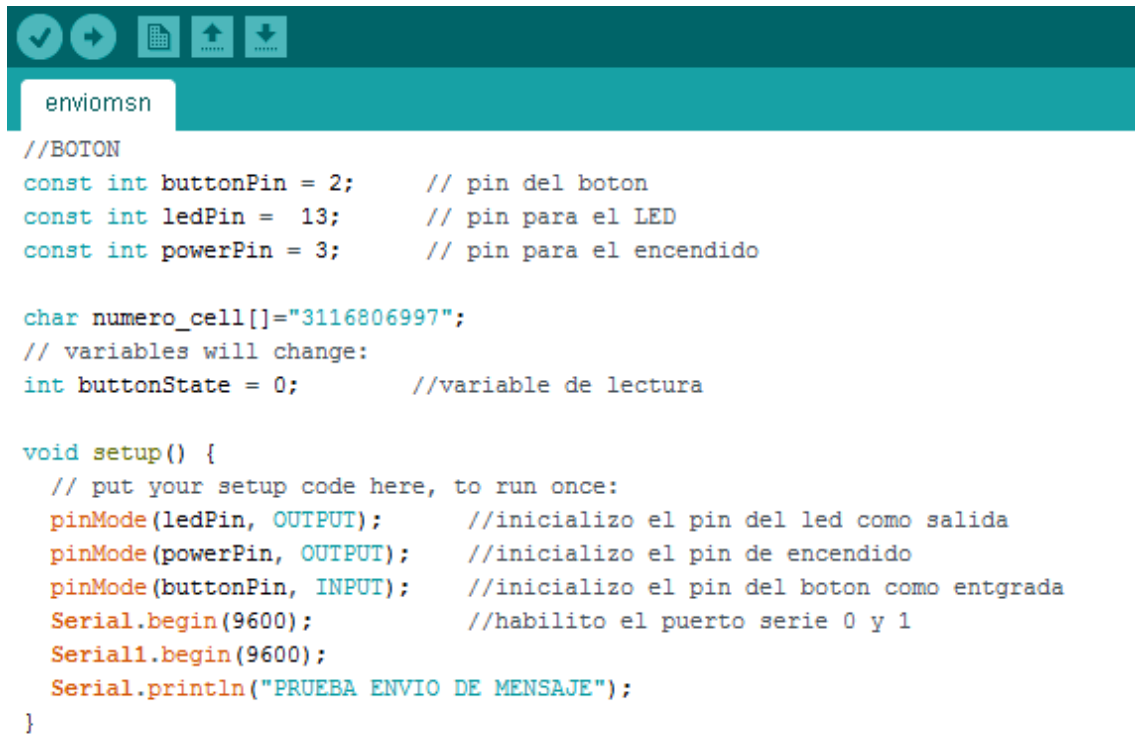


Figura 29. Encendido del módulo por medio de un circuito de activación.

En el circuito presentado anteriormente se requiere una resistencia de 4.7K, una de 47k y un transistor NPN o transistor de unión bipolar (del inglés bipolar junction transistor, o sus siglas BJT), para el presente caso se utilizó el 2N2222.



```
//BOTON
const int buttonPin = 2;    // pin del boton
const int ledPin = 13;      // pin para el LED
const int powerPin = 3;     // pin para el encendido

char numero_cell[]="3116806997";
// variables will change:
int buttonState = 0;        //variable de lectura

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);   //inicializo el pin del led como salida
  pinMode(powerPin, OUTPUT); //inicializo el pin de encendido
  pinMode(buttonPin, INPUT); //inicializo el pin del boton como entgrada
  Serial.begin(9600);        //habilito el puerto serie 0 y 1
  Serial1.begin(9600);
  Serial.println("PRUEBA ENVIO DE MENSAJE");
}
```

Figura 30. Programa envió de mensaje parte 1.

En la figura 30 se puede ver claramente la primera parte del programa diseñado con el fin de enviar un mensaje de texto hacia una estación móvil. En esta primera parte se inicializan todas las variables que se han de necesitar y se establecen los parámetros requeridos para su respectivo funcionamiento.



```
if(buttonState == HIGH){

    digitalWrite(powerPin, HIGH); //enciendo el modulo GPS/GPRS
    delay(2000);
    digitalWrite(powerPin, LOW); //enciendo el modulo GPS/GPRS
    delay(4000);

    //digitalWrite(powerPin, HIGH); //enciendo el modulo GPS/GPRS
    digitalWrite(ledPin, HIGH); //enciendo el led
    delay(2000);
    Serial.println("AT");
    Serial1.println("AT");
    delay(200);
    Serial1.println("AT+IPR=9600");
    delay(200);
    Serial1.println("AT+CMGF=1");
    delay(2000);
    Serial1.print("AT+CMGS="); //at+cmgs="numero celular">xxxx crt + z
    Serial1.print((char)34);
    Serial1.print(numero_cell);
    Serial1.println((char)34);
    delay(200);
    Serial1.println("PRUEBA ARDUINO");
    Serial1.println((char)26);
    Serial.println("PRUEBA ARDUINO");
    delay(8000);
    //digitalWrite(powerPin, LOW);
}
```

Figura 31. Programa envió de mensaje parte 2.

En esta segunda parte se muestra el código encargado de establecer conexión a través del puerto serial tanto del dispositivo ARDUINO como del módulo GSM/GPRS, permitiendo así la transmisión de los comandos AT que dan orden de transmisión a la estación móvil.

4.2.2. Prueba sensor de temperatura.

Como ya se designó, el sensor a utilizar para la medición de la variable temperatura, hace referencia al transductor electrónico LM35, el cual puede ser observado en la Figura 32.

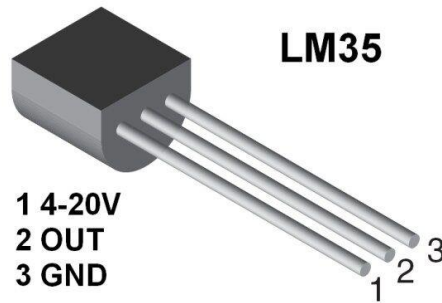


Figura 32. Pin-out del Sensor de temperatura LM35.

En la imagen anterior se puede observar claramente la función de los respectivos pines del sensor LM35. Teniendo en cuenta dicha información se realiza el montaje en la proto-board y las respectivas conexiones con el sistema de desarrollo utilizado; teniendo por resultado el siguiente circuito.

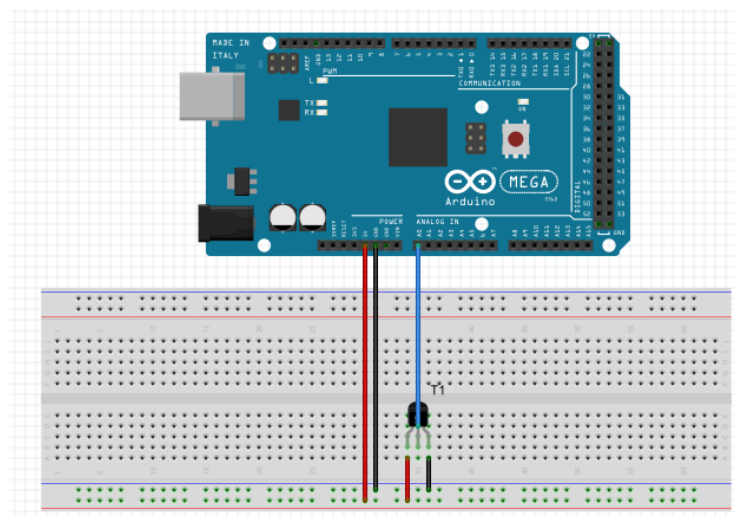


Figura 33. Montaje del sensor de temperatura utilizando ARDUINO.

Se puede observar que el pin 1 del LM35 esta conectado directamente al voltage positivo, el pin 2 va conectado a la entrada analoga del ARDUINO MEGA 2560, ene este caso la entrada A0, y el pin 3 va conectado directamente a GND.

Una vez se realizan las conexiones necesarias para el circuito se procede a la implementación del código de programa, para así poder leer, procesar y analizar los datos. Para ello hay que tener en cuenta que el sensor LM35 emite 10mV por 1°C.

Para leer el voltaje análogo transmitido por el sensor, se utiliza la función de Arduino `analogRead()`. Antes de utilizar la función, hay que tener en cuenta que las placas de arduino tienen un circuito en el interior llamado conversor análogo-digital o ADC que lee el voltaje cambiante y lo convierte a un número entre 0 y 1023. Cuando el voltaje que llega al circuito ADC corresponde a 0V (voltios), el valor de entrada equivale al número 0 y cuando el voltaje de entrada en el circuito ADC es de 5V, el valor de entrada en el dispositivo es de 1023. Por lo tanto la función `analogRead()` retorna un numero entre 0 y 1023 que es proporcional a la cantidad de voltaje que está siendo aplicada.

Teniendo en cuenta que la función `analogRead()` se encarga de leer el voltaje de entrada y digitalizarlo a un número entre 0 y 1023, y además que 5V equivalen a 1023, entonces se realiza una regla de tres simple para calcular el valor de mV que entran al sistema.

$$1023 \leftrightarrow (5V = 5000mV)$$

`analogRead()` $\leftrightarrow$ mV(variable correspondiente al numero de mV que transmite el sensor)

$$mV = \text{analogRead()} * 5000mV / 1023 \quad (1)$$

luego este valor se divide entre 10 para calcular el numero exacto de grados celcius emitidos por el sensor de temperatura.

Temp(variable usada para la temperatura)

$$Temp = mV / 10 \quad (2)$$

luego se usan la formula 1 y 2 en el codigo de programacion para calcular el respectivo valor de la temperatura, quedando de la siguiente manera.

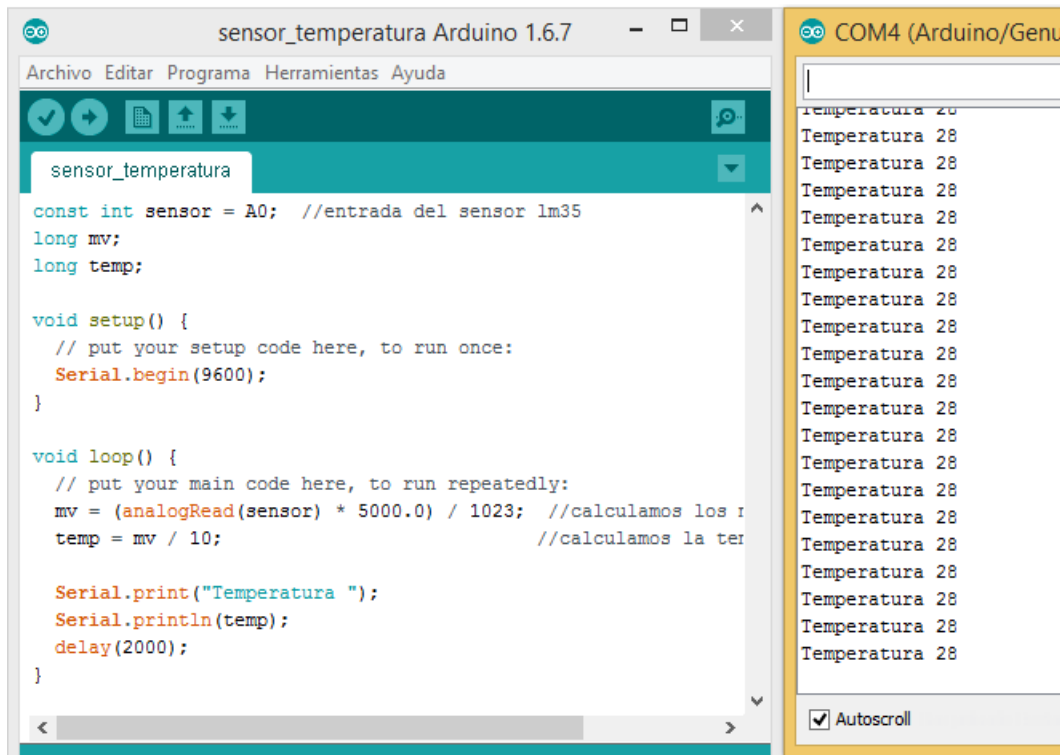


Figura 34. Código para el análisis de temperatura a través de ARDUINO.

En la Figura 34 no solo se puede observar el código correspondiente con sus respectivas fórmulas para el cálculo de la temperatura, sino que además de pueden observar resultados de medición en la parte derecha de la imagen.

4.2.3. Sensor de pulso o ritmo cardiaco.

El sensor de pulso es un sensor de frecuencia cardíaca bien diseñado para Arduino. Es de fácil uso y puede ser utilizado por estudiantes, artistas, deportistas, fabricantes, y desarrolladores móviles que quieren incorporar datos de frecuencia cardíaca en sus proyectos.

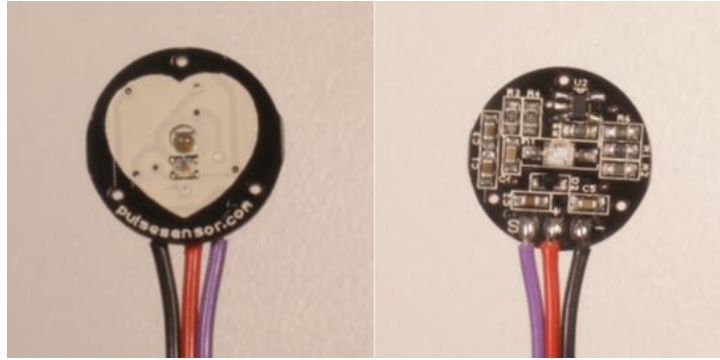


Figura 35. Sensor de pulso parte frontal y lateral.

El sensor de pulso que es esencialmente un fotopletismógrafo, que es un dispositivo médico usado para la monitorización de la frecuencia cardíaca no invasiva. A veces, el fotopletismógrafo cumple la función de medir los niveles de oxígeno en sangre (SpO₂). La señal de pulso del corazón que sale de un fotopletismógrafo es una fluctuación en el voltaje analógico, y tiene una forma de onda predecible como se muestra en la figura 36. Este sensor amplifica la señal sin procesar del pulso anterior Sensor, y normaliza la onda del pulso a un punto medio de la tensión. El Sensor de Pulso responde a los cambios relativos en la intensidad de la luz. Si la cantidad de luz que incide sobre el sensor permanece constante, el valor de la señal se mantendrá en 512 (punto medio del rango ADC). Más luz y la señal aumentan. Menos luz, lo contrario. La luz del LED verde que se refleja de nuevo a los cambios de los sensores durante cada pulso.

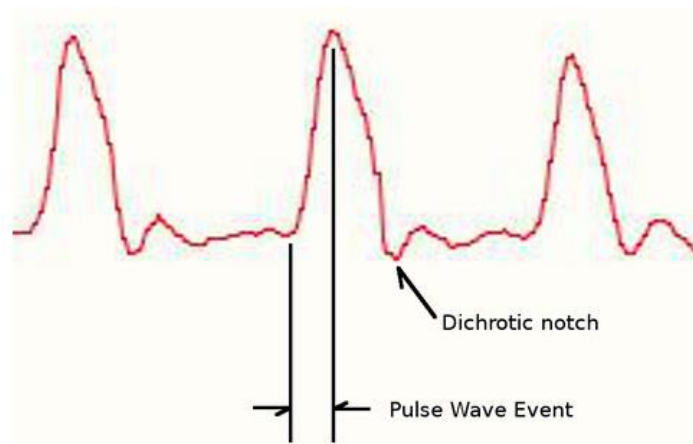


Figura 36. Señal de pulso.

Cuando el corazón bombea sangre a través del cuerpo, con cada latido hay una onda de pulso que se desplaza a lo largo de todas las arterias de las mismas extremidades del cuerpo. Un aumento rápido hacia arriba en valor de la señal se produce cuando la onda de pulso pasa por debajo del sensor, la señal cae de nuevo hacia abajo, hacia el punto normal. A veces, la muesca dicroica (pico hacia abajo) es más pronunciada que otros, pero en general, la señal se establece al ruido de fondo antes de la siguiente onda de pulso. Puesto que la onda es repetitiva y previsible, podríamos elegir casi cualquier característica reconocible como un punto de referencia para medir el ritmo cardíaco. Esto, sin embargo, se puede ejecutar en lecturas falsas de la muesca dicroica, si está presente, y puede ser susceptible a la inexactitud del ruido de la línea de base. Estas son buenas razones para no basar el algoritmo de latido de investigación sobre los fenómenos de ondas arbitrarias. Lo ideal es que queremos encontrar el momento instantáneo de los latidos del corazón. Esto es importante para el cálculo de BPM precisa, variabilidad del ritmo cardíaco (HRV), estudios y medición del tiempo de tránsito del pulso.

Para calcular el ritmo cardiaco del sensor y procesar la señal de entrada. Es importante tener una frecuencia de muestreo regular con alta resolución para obtener una medición fiable del tiempo entre cada latido. Para ello, se creó el Timer2, un temporizador de hardware de 8 bits de manera que lanza una interrupción cada dos milisegundos. Eso nos da una frecuencia de muestreo de 500 Hz, y latido a latido resolución de tiempo de 2mS. Esto permite desactivar las salidas de PWM.

```
void interruptSetup(){  
  
    TCCR2A = 0x02;  
  
    TCCR2B = 0x06;  
  
    OCR2A = 0x7C;  
  
    TIMSK2 = 0x02;  
  
    sei();  
  
}
```

Los valores de los registros de arriba dicen Timer2 para entrar en el modo CTC, y contar hasta 124 (0x7C) una y otra vez. Un pre-escalador de 256 se utiliza para obtener el momento adecuado para que cada 2 milisegundos ejerza un conteo hasta 124. Un indicador de interrupción se establece

cada vez que Timer2 llega a 124, y una función especial que se llama rutina de servicio de interrupción (ISR), se ejecute en el siguiente momento, sin importa lo que el resto del programa está haciendo. sei () asegura que las interrupciones están habilitadas globales.

Por lo tanto, cuando el Arduino está encendido y el sensor de pulso está conectado a pin analógico 0 (pin asignado al sensor de pulso), constantemente (cada 2 ms) lee el valor del sensor y busca el latido del corazón. He aquí cómo funciona:

```
ISR(TIMER2_COMPA_vect){  
  
    Signal = analogRead(pulsePin);  
  
    sampleCounter += 2;  
  
    int N = sampleCounter - lastBeatTime;
```

Esta función se llama cada 2 milisegundos. Lo primero que debe hacer es tomar una lectura analógica del sensor de pulso. A continuación, incrementamos la variable sampleCounter. La cual es utilizada para mantener la noción del tiempo. La variable N ayudará a evitar el ruido.

A continuación, hacemos un seguimiento de los valores más altos y más bajos de la onda PPG, para obtener una medida exacta de la amplitud.

```
    if(Signal < thresh && N > (IBI/5)*3){  
  
        if (Signal < T){  
  
            T = Signal;  
  
        }  
  
    }  
  
    if(Signal > thresh && Signal > P){  
  
        P = Signal;  
  
    }
```

Las variables P y T representan los valores pico y bajo, respectivamente. Hay un periodo de tiempo de $3/5$ IBI que debe transcurrir antes de que T se actualice como una forma de evitar el ruido y los falsos positivos de la muesca dicroica.

```
if (N > 250){  
  
    if ( (Signal > thresh) && (Pulse == false) && (N > ((IBI/5)*3) ){  
  
        Pulse = true;  
  
        digitalWrite(pulsePin,HIGH);  
  
        IBI = sampleCounter - lastBeatTime;  
  
        lastBeatTime = sampleCounter;
```

Antes de considerar la búsqueda de un latido del corazón, una cantidad mínima de tiempo tiene que pasar. Esto ayuda a evitar el ruido de alta frecuencia. Cuando la forma de onda se eleva más allá del valor umbral, y ha pasado $3/5$ de la última IBI, tenemos un pulso. A continuación, se calcula el tiempo transcurrido desde el último latido después de conseguir IBI, y actualizar el lastBeatTime.

El siguiente bit se utiliza para asegurarse de que comencemos con un valor de BPM realista en el arranque.

```
if(secondBeat){  
  
    secondBeat = false;  
  
    for(int i=0; i<=9; i++){  
  
        rate[i] = IBI;  
  
    }  
  
}  
  
if(firstBeat){  
  
    firstBeat = false;  
  
    secondBeat = true;
```

```

sei():

return;

}

```

El Firstbeat booleano se inicializa como verdadera y secondBeat se inicializa como falso, por lo que la primera vez que nos encontramos con un ritmo, estaríamos encontrando el ISR, que echan a cabo por el retorno; en condición al Firstbeat. Eso va a terminar eliminando la primera lectura IBI debido a que es poco fiable. La segunda vez, podemos confiar en el IBI, y se utiliza para comenzar con un BPM más preciso. El BPM se deriva de un promedio de los últimos 10 valores del IBI, de ahí la necesidad de retroalimentar.

```

word runningTotal = 0;

for (int i=0; i<=8; i++){

    rate[i] = rate[i+1];

    runningTotal += rate[i];

}

Rate [9] = IBI;

runningTotal += rate[9];

runningTotal /= 10;

BPM = 60000/runningTotal;

QS = true;

}

}

```

En primer lugar, nos agarra una variable grande, RunningTotal, para recoger el valor de la variable IBIs, a continuación, el contenido del índice [] se desplazan más y se añaden a la variable runningTotal. El IBI más antiguo (hace 11 latidos) cae fuera de la posición 0, y el nuevo valor IBI se pone en la posición 9. Entonces es un proceso sencillo para promediar la matriz y el cálculo de

BPM. Lo último que hay que hacer es establecer el indicador de QS. Por lo que el resto del programa sabe que hemos encontrado el ritmo cardiaco.

Tabla 9. Variables y funciones de las mismas en el sensor de pulso.

NOMBRE DE LA VARIABLE	FRECUENCIA DE ACTUALIZACIÓN	LO QUE ES
Signal	2mS	Señal del sensor de pulso en bruto
IBI	cada latido	tiempo entre los latidos del corazón en la EM
BPM	cada latido	latidos por minuto
QS	establecer cierto cada latido	deben ser aprobados por el usuario
Pulse	establecer cierto cada latido	aprobado por ISR

La Tabla 9 muestra las variables utilizadas en el software diseñado para calcular el ritmo cardiaco, aquí podemos observar una breve descripción de su funcionamiento.

4.2.4. Prueba modulo GPS.

El voltaje de alimentación al cual se alimenta el modulo GPS L80 varían entre 2.8V t 4.3V, siendo 3.3V la potencia óptima para alimentar el circuito.

El módulo está equipado con una almohadilla de SMD de paso de 2,54 mm de 12 pines que se conecta a su plataforma de aplicaciones. Véase Figura 37.



Figura 37. Asignación de pines.

En el proyecto solo se tuvieron en cuenta los pines de la fuente de alimentación VCC y V_BCKP, también se utilizó el pin GND y el puerto UART (comunicación serial); y adicional se utilizó la antena tipo parche que viene integrada con el módulo.

El pin VCC suministra la energía requerida para BB, RF, E / S, LNA, protección a corto y circuito de detección de la antena. La corriente de carga de VCC varía según distintos factores como, la carga del procesador, el número de satélites rastreados y la tasa de adquisición de satélites. Por lo tanto, es importante suministrar suficiente corriente y hacer que la energía limpia y estable.

El pin V_BCKP suministra energía para el dominio RTC. La tensión del dominio RTC varía de 1,5 V a 4,3 V. Con el fin de lograr una mejor validación para TTFF, RTC. Se puede suministrar energía para la memoria SRAM en el dominio de RTC, que contiene toda la información GPS necesaria para la puesta en marcha rápida y una pequeña cantidad de variables de configuración de usuario.

El circuito de potencia que se aplicó para el módulo L80 es la fuente de energía 3.3V conectar a los pines VCC y V_BCKP del módulo directamente. En este caso, cada vez que reinicie el módulo, se llevará a cabo el arranque en frío. El esquema del circuito está presente en la Figura 38.

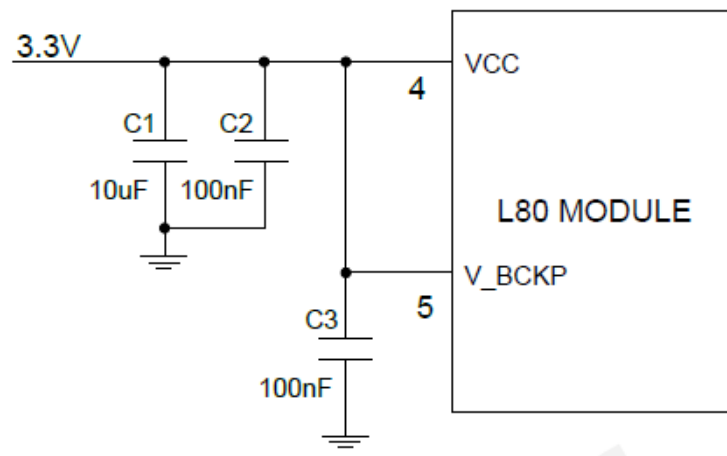


Figura 38. Referencia del circuito para la fuente de voltaje.

Para probar el correcto funcionamiento del circuito, una vez se realizó en montaje correspondiente, se elabora el código en arduino para medir la variable deseada.

```

Lectura-de-cadenas-de-caracteres-UART

String posGPS = ""; //almacenar cadena
String GPS = "";
char character;      //almacenar cada caracter

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  Serial1.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  leerDatosSerial(); // Invocar el procedimiento de leer Datos en Serial
  Serial.println(GPS);
  GPS = "";
}

```

Figura 39. Código para monitorear la ubicación geográfica parte 1.



```

String leerDatosSerial(){
    //verificar si hay datos disponibles para leer
    while(GPS.substring(1, 6) != "GPRMC"){
        while(Serial1.available() > 0){
            //capturar el byte de cada caracter y convertirlo a tipo char
            caracter = char(Serial1.read());
            //concatenar el caracter
            posGPS.concat(caracter);
        }
        // Verificar el fin de carro
        if(posGPS.endsWith("\n")){
            // Hallar el índice del fin de carro
            int indexn = posGPS.indexOf("\n");
            // Imprimir el string recibido
            if(posGPS.substring(1, 6) == "GPRMC"){
                if(posGPS.substring(17, 19) == ",A"){
                    GPS = posGPS.substring(0, indexn);
                    //Serial.println(posGPS.substring(0, indexn));
                }
            }
            // Serial.println(cadena);
            //return posGPS.substring(0, indexn);
            // Limpiar el Buffer
            posGPS = "";
        }
    }
    return(GPS);
}

```

Figura 40. Código para monitorear la ubicación geográfica parte 2.

En la figura 39 se muestra específicamente la inicialización y nombramiento de las variables que se han de utilizar en el proceso, mientras que en la Figura 40 se pueden observar las funciones encargadas de recibir la señal y procesarla, para así tener como resultado la información deseada.

Al momento de realizar la prueba se obtuvieron resultados positivos, los cuales se representan en la Figura 41.

COM4 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

```

$GPRMC,170843.000,A,0613.9027,N,07535.3672,W,0.89,250.37,100516,,,A*78
$GPRMC,170844.000,A,0613.9026,N,07535.3664,W,0.91,248.89,100516,,,A*7C
$GPRMC,170845.000,A,0613.9027,N,07535.3660,W,0.89,246.20,100516,,,A*7C
$GPRMC,170846.000,A,0613.9026,N,07535.3660,W,1.00,245.94,100516,,,A*72
$GPRMC,170847.000,A,0613.9028,N,07535.3650,W,0.80,253.56,100516,,,A*7E
$GPRMC,170848.000,A,0613.9029,N,07535.3642,W,0.76,250.52,100516,,,A*7D
$GPRMC,170849.000,A,0613.9030,N,07535.3638,W,0.69,240.33,100516,,,A*71
$GPRMC,170850.000,A,0613.9032,N,07535.3635,W,0.64,245.96,100516,,,A*71
$GPRMC,170851.000,A,0613.9033,N,07535.3635,W,0.75,245.66,100516,,,A*7E
$GPRMC,170852.000,A,0613.9036,N,07535.3633,W,0.73,241.75,100516,,,A*7E
$GPRMC,170853.000,A,0613.9038,N,07535.3633,W,0.86,245.47,100516,,,A*7E
$GPRMC,170854.000,A,0613.9041,N,07535.3633,W,0.84,248.08,100516,,,A*73
$GPRMC,170855.000,A,0613.9043,N,07535.3627,W,0.86,247.06,100516,,,A*76
$GPRMC,170856.000,A,0613.9041,N,07535.3623,W,0.91,233.61,100516,,,A*77
$GPRMC,170857.000,A,0613.9041,N,07535.3617,W,0.89,234.30,100516,,,A*7B
$GPRMC,170858.000,A,0613.9041,N,07535.3613,W,0.88,233.77,100516,,,A*75
$GPRMC,170859.000,A,0613.9042,N,07535.3611,W,0.76,225.47,100516,,,A*70
$GPRMC,170900.000,A,0613.9046,N,07535.3605,W,0.63,244.16,100516,,,A*7B
$GPRMC,170901.000,A,0613.9048,N,07535.3602,W,0.70,242.48,100516,,,A*7C
$GPRMC,170902.000,A,0613.9049,N,07535.3598,W,0.68,244.35,100516,,,A*7B
$GPRMC,170903.000,A,0613.9049,N,07535.3593,W,0.63,233.28,100516,,,A*76
$GPRMC,170904.000,A,0613.9053,N,07535.3588,W,0.53,248.67,100516,,,A*74
$GPRMC,170905.000,A,0613.9055,N,07535.3583,W,0.49,254.86,100516,,,A*71

```

Figura 41. Resultados de la prueba del módulo GPS L80.

El módulo L80 es compatible con el estándar NMEA 0183. MTK NMEA es compatible para controlar y configurar el módulo GPS L80. En la figura 41 se puede observar el protocolo en funcionamiento, el cual está establecido por defecto en el módulo GPS.

Cada mensaje NMEA empieza con '\$', posterior se compone de distintos elementos como se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10. Estructura de un mensaje NMEA.

Filed	Length(bytes)	Description
\$	1	Each NMEA message starts with '\$'
Talker ID	1~2	'GP' for a GPS receiver.
NMEA message ID	3	NMEA message ID
Data Field	Variable, depend on the NMEA message type	Data fields, delimited by comma ','
*	1	End character of data field
Checksum	2	A hexadecimal number calculated by exclusive OR of all characters between '\$' and '**'
<CR><LF>	2	Each NMEA message ends with 'CR' and 'LF'

El mensaje NMEA ID que se utilizo es el RMC Recomendaciones de datos de mínima posición (incluyendo la posición, velocidad y tiempo). Su estructura se puede observar brevemente en la Tabla 11. **APENDICE E.**

Tabla 11. Estructura del mensaje basado en RMC.

\$	Each NMEA message starts with '\$'
GPRMC	Message ID
UTC time	Time in format 'hhmmss.sss'
Data valid	'V' =Invalid 'A' = Valid
Latitude	Latitude in format 'ddmm.mmmm' (degree and minutes)
N/S	'N' = North 'S' = South
Longitude	Longitude in format 'dddmm.mmmm' (degree and minutes)
E/W	'E' = East 'W' = West
Speed	Speed over ground in knots
COG	Course over ground in degree
Date	Date in format 'ddmmyyyy'
Magnetic variation	Magnetic variation in degree, not being output
E/W	Magnetic variation E/W indicator, not being output
Positioning mode	'N' = No fix 'A' = Autonomous GNSS fix 'D' = Differential GNSS fix
*	End character of data field
Checksum	Hexadecimal checksum
<CR><LF>	Each of message

4.2.5. Fuente de voltaje.

Para la fuente de voltaje se requieren un voltaje de 4.1V para alimentar todo el circuito y entre 2.5A y 3ª en cuanto a la corriente. Esto teniendo en cuenta que la corriente necesaria para alimentar el circuito puede llegar a alcanzar picos de hasta 2.5A. En este caso se utilizó una fuente de voltaje fijo 12VDC/3A.



Figura 42. Fuente de voltaje fijo 12VDC/3A.

Debido a que el voltaje de salida de la fuente sigue siendo muy alto para el circuito es necesario utilizar un regulador de voltaje ajustable que me permita una salida de 4.1V, sin afectar la corriente. El regulador utilizado para el presente proceso corresponde al mencionado en la Figura 43.

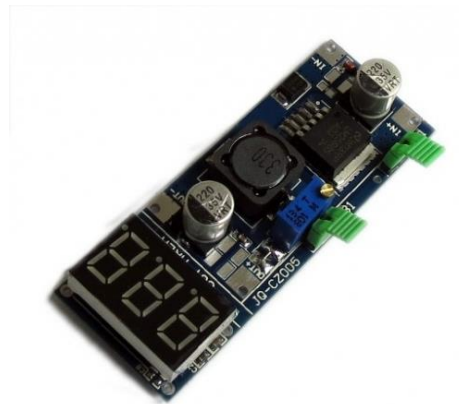


Figura 43. Modulo no aislado step-down o Buck (reductor).

El regulador mostrado en la imagen anterior posee las siguientes características:

- Voltaje de entrada DC: 4.5V ~ 35V.
- Voltaje de salida DC: 1.25V ~ 30V (Continuamente ajustable).
- Corriente de salida: 3 Amperios, capaz de entregar picos de 5 Amperios.

- Eficiencia de conversión: 92%.
- Frecuencia de conmutación de 150KHz.
- Temperatura de operación: grado industrial ($-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$) con potencia disipada de 10W o menos.
- Temperatura a toda carga: 40°C .
- Regulación de carga: 0.5%.
- Taza de ajuste del voltaje: 0.5%.
- Protección de polarización inversa: No, para tal fin, a la entrada de alimentación del conversor DC-DC se debe conectar en serie con un circuito de protección o un diodo.
- Instalación: Tornillos de 3mm de diámetro, separación entre ellos es de 38mm en diagonal.
- Modo de conexión: los pines pueden ser soldados directamente en la PCB.

4.3.DISEÑO DE LA PCB O PLANO ESQUEMATICO.

El plano del circuito fue elaborado y diseñado según los procesos que se elaboraron posteriormente, y diseñado en el software EAGLE por la empresa COLCIRCUITOS. Para observar el plano esquemático completo véase APENDICE F.

A parte del plano esquemático también se diseñó una capa inferior, una capa superior y la serigrafía, como se observa en las Figuras 44, 45 y 46 respectivamente.

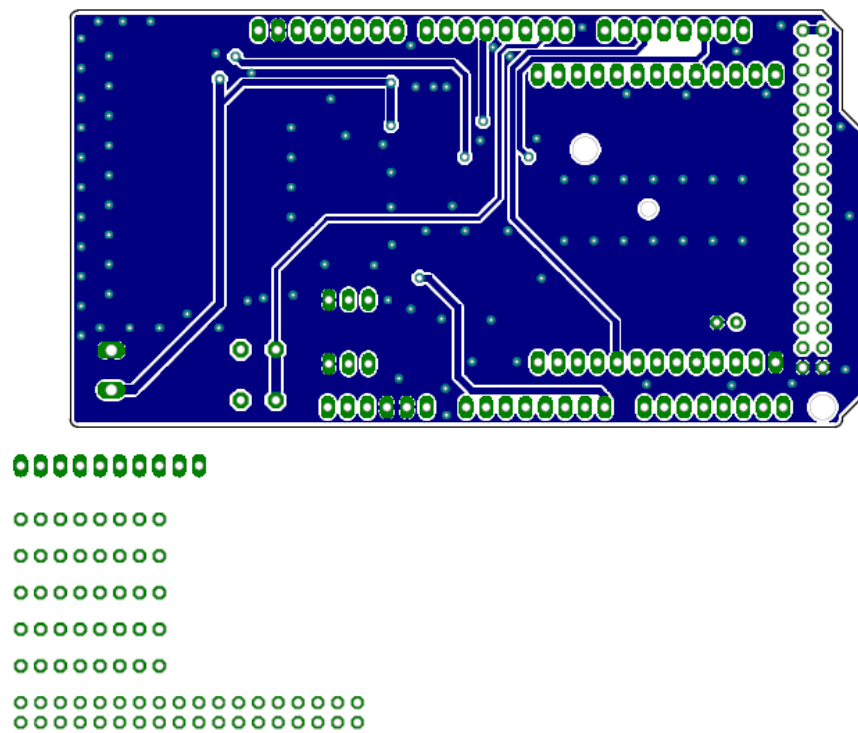


Figura 44. Button layer o capa inferior.

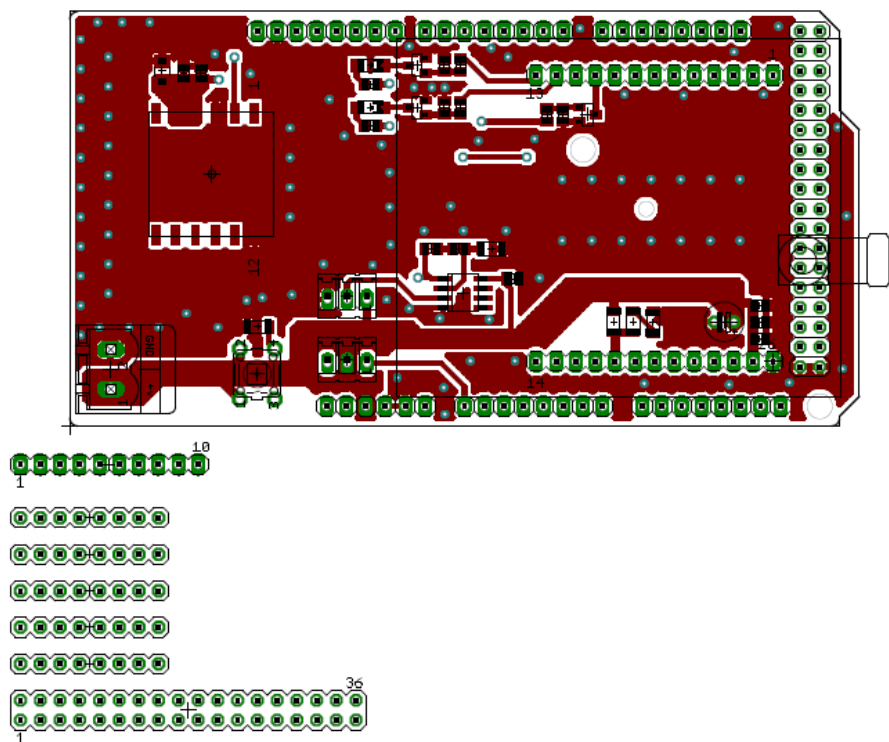


Figura 45. Top layer o capa superior.

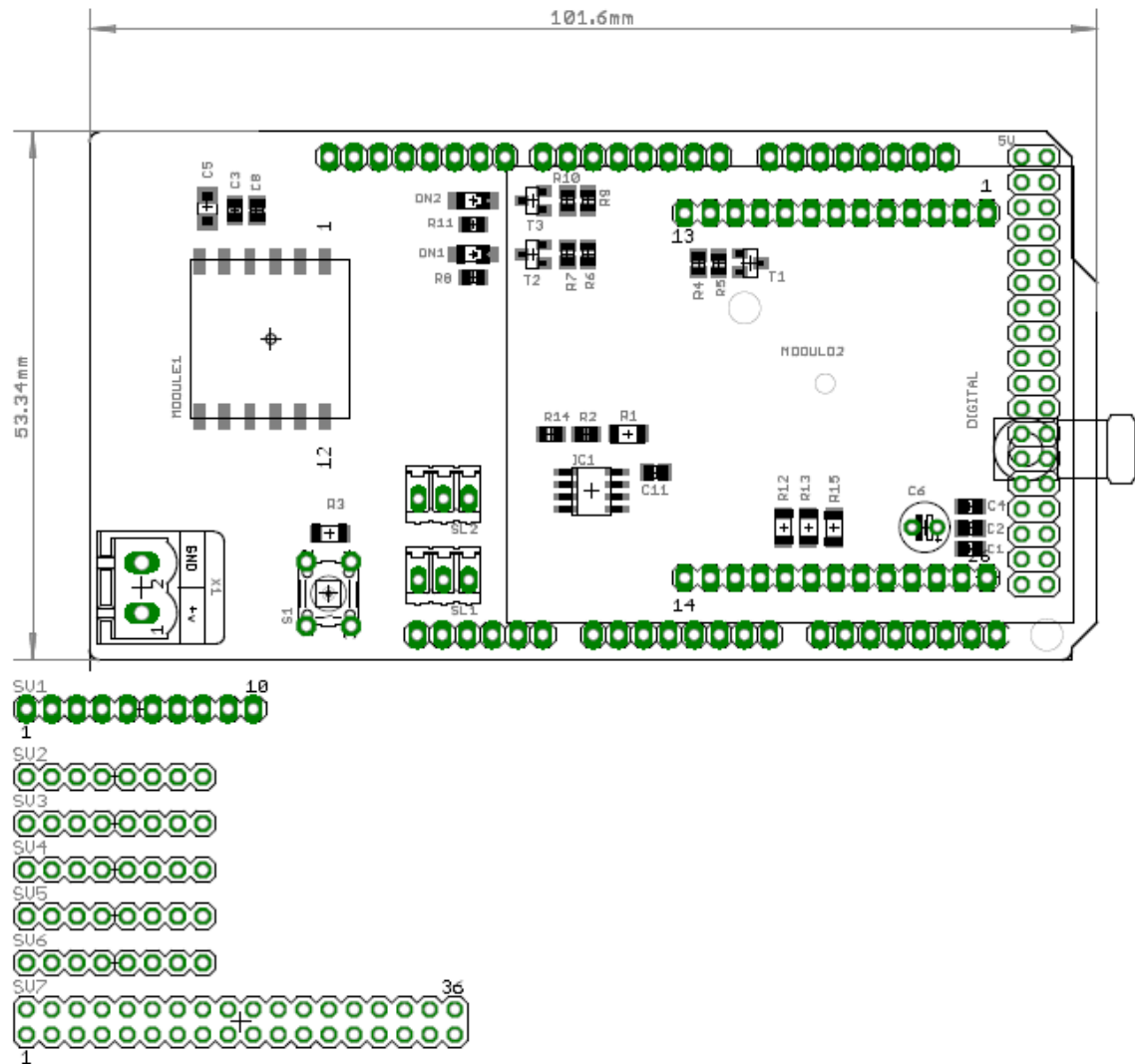


Figura 46. Silkscreen top o serigrafia.

4.4.SOFTWARE.

El software, como se ha venido mostrando, se diseñó a través de la plataforma de desarrollo de ARDUINO. Este programa final cumple con las funciones específicas propuestas en los objetivos del trabajo, lo cual conlleva al monitoreo de variables como el ritmo cardiaco, la temperatura corporal y la ubicación geográfica.

Se utilizó el código introducido para cada una de las pruebas mostradas anteriormente y se organizaron en un solo programa, con el fin de realizar el cálculo de todas las variables en un mismo sistema, y así terminar con el desarrollo del prototipo. Para este caso los cambios

correspondientes a la programación son relativamente pocos y son específicamente con el fin de permitir al dispositivo calcular los datos ya mencionados en un mismo ciclo.

```
// VARIABLES PULSO
int pulsePin = A0;           // Sensor de pulso (morado), conectado al pin ADC 0
int blinkPin = 13;          // pin para encender el led en cada latido

// estas variables son volátiles porque se utilizan durante la rutina de servicio de interrupción!
volatile int BPM;           // se utiliza para mantener la frecuencia del pulso
volatile int Signal;        // sostiene los datos de entrada
volatile int IBI = 600;     // ejerce en el tiempo entre latidos
volatile boolean Pulse = false; // verdadera cuando la onda de pulso es alta, falsa cuando no
volatile boolean QS = false; // se convierte en realidad cuando Arduino encuentra un latido.

char numero_cell[]="3006576630"; // Declaracion de numero al cual llegaran los mensajes
const int powerPin = 4;          // pin para el encendido

//Definicion de pines
const int buttonPin = 1;        // pin boton

//Defino entrada ADC para la temperatura
const int sensor = A7;         // Entrada del sensor lm35
long temp;

//Defino variables para capturar la posicion geografica
String posGPS = "";            // Almacenar cadena de entrada
String GPS = "";
char caracter;                 // Almacenar cada caracter

//Variables
int buttonState = 0;           // variable para leer el estado del pulsador
```

Figura 47. Definición de variables en el software.

En la Figura 47 se pueden observar claramente la declaración de todas las variables que se necesitaron para el desarrollo del programa, de las cuales se asignaron específicamente para cada una de las subdivisiones del programa. En la imagen se pueden ver claramente cada línea de código con su respectiva descripción.

```

void setup() {
    // Inicializo los pines segun su condicion (entrada o salida)
    pinMode(buttonPin, INPUT);
    pinMode(blinkPin, OUTPUT);
    pinMode(powerPin, OUTPUT);
    // Habilito los puertos seriales 0 y 1 a 9600bps
    Serial1.begin(9600);
    Serial2.begin(9600);
}
void loop() {
    // Leo el estado del pulsador
    buttonState = digitalRead(buttonPin);
    if(buttonState == HIGH){
        int pass = 0;
        for (pass = 0; pass < 4; pass++){
            switch(pass){
                case 0:
                    SenTemp();           //Funcion para medir temperatura
                    break;
                case 1:
                    PosGeografica();     //Funcion para la ubicacion geografica
                    break;
                case 2:
                    interruptSetup();    //Funcion para sensor de pulso
                    break;
                case 3:
                    enviomensaje();      //transmision del SMS (mensaje de texto)
                    break;
            }
        }
    }
}

```

Figura 48. Función void setup () y void loop ().

En la Figura 48 se pueden observar dos funciones, la función void setup () y void loop(), la primera se utiliza para la configuración de pines y habilitación de puertos, y la segunda es un ciclo repetitivo en el programa que se estará procesando indefinidamente hasta que el microcontrolador se apague o reinicie.

En la función void setup () se realizó la configuración respectiva de los pines a utilizar para el procesamiento de las señales emitidas por los sensores, y también se habilitaron dos puertos seriales, uno para la comunicación del microcontrolador con el modulo GPS y el otro puerto cumple la función de intercomunicarse con el módulo GSM/GPRS.

La función void loop () inicia con una lectura del pulsador, el cual indicara cuando procesar y enviar el mensaje de texto, posterior a la lectura, se utiliza la declaración switch/case, la cual me permite organizar una secuencia de funciones que calculen las distintas variables de forma independiente y luego, en la última función enviar los datos a través de las redes de telefonía móvil.

```
long SenTemp(){
    //calculo los mv de entrada
    long mv = analogRead(sensor);
    mv = (mv*4000L)/1024;
    //calculo la temperatura en °C
    temp = mv / 50;
    return temp;
}

String PosGeografica(){
    //verificar si hay datos disponibles para leer
    int i=0;
    while(GPS.substring(1, 6) != "GPRMC"){
        while(Serial1.available() > 0){
            //capturar el byte de cada caracter y convertirlo a tipo char
            caracter = char(Serial1.read());
            //concatenar el caracter
            posGPS.concat(caracter);
        }
        // Verificar el fin de carro
        if(posGPS.endsWith("\n")){
            int indexn = posGPS.indexOf("\n"); // Hallar el indice del fin de carro
            if(posGPS.substring(1, 6) == "GPRMC"){ // Imprimir el string recibido
                GPS = posGPS.substring(0, indexn);
            }
            posGPS = ""; // Limpiar el Buffer
        }
    }
    return(GPS);
}
```

Figura 49. Procesamiento de las señales de temperatura y posición geográfica.

En la Figura 49 se puede observar claramente las funciones encargadas de procesar los datos tanto de la temperatura, como de la posición geográfica respectivamente (la codificación fue explicada anteriormente en las secciones 4.2.2. y 4.2.4).

```

volatile int rate[10];
volatile unsigned long sampleCounter = 0;
volatile unsigned long lastBeatTime = 0;
volatile int P = 512;
volatile int T = 512;
volatile int thresh = 512;
volatile int amp = 100;
volatile boolean firstBeat = true;
volatile boolean secondBeat = true;

void interruptSetup(){
    // Inicializa es Timer2 una interrupcion cada 2mS.
    TCCR2A = 0x02;
    TCCR2B = 0x06;
    OCR2A = 0X7C;
    TIMSK2 = 0x02;
    sei();
}
// INTERRUPTCION TIMER 2
ISR(TIMER2_COMPA_vect){
    cli();
    Signal = analogRead(pulsePin);
    sampleCounter += 2;
    int N = sampleCounter - lastBeatTime;
    // Encuentra el pico y punto bajo de la onda de pulso
    if(Signal < thresh && N > (IBI/5)*3){
        if (Signal < T){
            T = Signal;
        }
    }
}

```

Figura 50. Código del sensor de pulso parte 1.

En la figura 50 se puede observar el código referente al sensor de pulso o ritmo cardiaco. En esta primera parte del código se habilitan variables y se inicializa el interruptor. Posteriormente en la Figura 51 se procede con la siguiente parte del código, en el cual se termina de realizar el procesamiento de las señales emitidas por el sensor (para una explicación más detallada del código volver a la sección 4.2.3.).

```

        if(Signal > thresh && Signal > P){
            P = Signal;
        }
    if (N > 250){
        if ( (Signal > thresh) && (Pulse == false) && (N > (IBI/5)*3) ){
            Pulse = true;
            digitalWrite(blinkPin,HIGH);
            IBI = sampleCounter - lastBeatTime;
            lastBeatTime = sampleCounter;
            if(firstBeat){
                firstBeat = false;
                return;
            }
            if(secondBeat){
                secondBeat = false;
                for(int i=0; i<=9; i++){
                    rate[i] = IBI;
                }
            }
            word runningTotal = 0;
            for(int i=0; i<=8; i++){
                rate[i] = rate[i+1];
                runningTotal += rate[i];
            }
            rate[9] = IBI;
            runningTotal += rate[9];
            runningTotal /= 10;
            BPM = 60000/runningTotal;
            QS = true;
        }
    }
}

```

Figura 51. Código del sensor de pulso parte 2.

5. RESULTADOS

Como resultado final se logro el objetivo general correspondiente a diseñar un dispositivo de comunicación inalámbrica, capaz de monitorear variables como la temperatura, ritmo cardiaco y posición geográfica y transmitirlos por medio de las redes de telefonía a un celular o estación móvil.

Si se observa la Figura 53, se podrá observar claramente el prototipo terminado, el cual está compuesto por un ARDUINO MEGA 2560, un módulo GPS L80, un módulo GSM/GPRS M95, antena GSM/GPRS, sensor de temperatura y el sensor de pulso o ritmo cardiaco.



Figura 53. Prototipo funcional.

Una vez se obtuvo el prototipo en su estado terminante, se realizaron las pruebas correspondientes, con el fin de verificar los resultados esperados.

En la Figura 54 podremos ver claramente como los resultados proporcionados al momento de hacer uso del dispositivo o prototipo. En cuyo caso se observa primeramente el dato B68, que hace referencia al ritmo cardiaco, siendo el número 68 el número de latidos por minuto; también podemos observar que la temperatura en el medio hace referencia a 29° C, y por último logramos tener las coordenadas de la ubicación geográfica.

B68.
Temperatura 29
\$GPRMC,
170843.000,A,
0613.9027,N,
07535.3672,W,
0.89,250.37,10051
6,,,A*78

Figura 54. Prueba final del prototipo.

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al generar un estudio más detallado de la ganadería bovina en el país, se pudieron encontrar muchas falencias en cuanto al manejo y optimización de procesos que generen desarrollo, y aunque este proyecto de grado está orientado netamente a las falencias presentadas en cuanto al monitoreo de la salud en los bovinos, se puede percibir que no es el único inconveniente o problemática que requiere de una solución inmediato. En base a esto se puede concluir que la necesidad de la aplicación de las nuevas tecnologías al campo debe ser inmediata, para poder fortalecer el sector del agro en el país, y ser más competitivos a nivel mundial.

En algunos países los procesos han empezado a ver mejoras debido a los avances en cuanto al manejo, aunque aún se puede observar que el hecho de monitorear variables fisiológicas en los hatos ganaderos es un tema de mucho estudio y del cual se han generado muy pocas investigaciones hasta la actualidad.

Además de las variables que se tuvieron en cuenta para la medición, como lo fueron el ritmo cardiaco, la temperatura y el posicionamiento geográfico. También se pueden anexar otras variables que permitan medir información de importancia para generar un balance más completo del estado de salud de los animales.

Este tipo de procesos tecnológicos pueden generar un impacto en la productividad del respectivo subsector, y al mismo tiempo hacerlo más competitivo frente a otros países con mayor potencial. Para ello es necesario profundizar más en el tema y desarrollar medios efectivos que ofrezcan viabilidad y factibilidad a los productores.

REFERENCIAS

- Manuel, B. (2011). SINIGAN COMO HERRAMIENTA DE TRAZABILIDAD Y APOYO EN PROGRAMAS DE CERTIFICACIÓN Y CALIDAD PARA SISTEMAS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES DE LECHE EN COLOMBIA, (15). Retrieved from <http://www.icar.org/Documents/Santiago 2011/Papers/Blanco Rincon.pdf>.
- Alfonso santana D., Camilo Camacho G., Laura Estévez M., Julián Gutiérrez E., Manuel Gómez V., Gustavo García G., Marcela Rozo C., Hugo Ballesteros Ch. (2009). Competir e innovar, La ruta de la industria bovina. Bogotá D.C.: Una Tinta Medios Ltda.
- Pallás Areny, Ramon. (2004). Sensores y acondicionadores de señal. Editorial: Maracombo.
- Ahecha, L., Gallego, L. a, & Peláez, F. J. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 213–225.
- Ganado, E. D. E. L. (2008). ENFERMEDADES DEL GANADO BOVINO. Retrieved from http://www.tvetacademy.org/phocadownloadpap/ES_Agricultura/Agricultor/enfermedades-del-ganado-bovino.pdf
- Cuenca, J., Chavarro, F., & Diaz, O. (2008). El Sector De Ganadería Bovina En Colombia. Aplicación De Modelos De Series De Tiempo Al Inventario Ganadero* the Bovine Cattle in Colombia. Application of Time Series Models To National Inventory. *Rev.Fac.Cienc.Econ*, XVI(1), 165–177. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfce/v16n1/v16n1a12>
- DNP (2005). Visión Colombia II Centenario, Bogotá: DNP, Planeta y Presidencia de la República.

- Franco RS.(1998). Las subastas, instrumento de modernización de la ganadería. Revista Coyuntura Colombiana 1998; 15:73-76.
- DANE. (1994). Anuario estadístico 1993-1994. Santa Fé de Bogotá.
- FEDEGAN. (2000). La ganadería bovina en Colombia 1999-2000. www.fedegan.org.co
- Fedegan. (2006). Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019 - Por una ganadería moderna y solidaria. PEGA2019, Fedegan, 1, 296. <http://doi.org/978-958-98018-1-9>
- Arias JH, Balcázar A, Hurtado R. (1990). Caracterización de los sistemas de producción de la ganadería bovina en Colombia. Revista Coyuntura agropecuaria 1990; 24: 83-105.
- Reyes, C. A. (2005). Tercera edición. (RISPERGRAF, Ed.) (Tercera Ed). QUITO-ECUADOR. Retrieved from ISBN 92 4 354650 3
- Santos, Sully. (2014, 17, 3). 14 enfermedades sin control oficial atacan al ganado en Colombia. CONtextoganadero. Recuperado el 14 de Febrero de 2016, de <http://www.contextoganadero.com/reportaje/14-enfermedades-sin-control-oficial-atacan-al-ganado-en-colombia>.
- Milena, A. (2013). Estado del arte de las redes de sensores inalámbricos. Revista Digital TIA, 2(1), 14. Retrieved from <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tia/article/view/4437>.
- Huerta Eduardo; Mangiaterra Aldo; Noguera Gustavo., (2005)Huerta Eduardo; Mangiaterra Aldo; Noguera Gustavo. (2005). *GPS Posicionamiento Satelital*.

- Fundación de la Innovación Bankinter. (2011). El Internet de las Cosas, (2), 78. Retrieved from <http://www.fundacionbankinter.org>.
- Arce, A. I. C., Tech, A. R. B., Silva, A. C. S., & Costa, E. J. X. (2009). Monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos. *Archivos de Zootecnia*, 58(222), 253–263. <http://doi.org/10.4321/S0004-05922009000200010>.
- Velasco Martos, N. (2005). Sistema embebido para la conexión de un PLC Siemens S7-200 a la red GSM.
- Foulkes, J., Tucker, P., Caronan, M., Curtis, R., Parker, L. G., Farnell, C., ... Wu, J. (2013). Livestock Management System. *Livestock Management System*, 1–7.
- Rocha, M., Celi, G., & Yapur, M. (2011). Mediciones fotopletiográficas. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/17030>
- Ghio M. Gina. (2008). Sistema de Posicionamiento Global (GPS): *Sociedad de Especialistas Latinoamericanos En Percepción Remota Y Sistemas de Información Espacial* Sesión, 94.
- Andrade, G. (2015). Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para la Medición del Ritmo Cardíaco mediante la Técnica de Pulsometría ., 1–4. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10108/1/AC-ESPEL-ENI-0354.pdf>
- Sánchez Wevar, J. A. (2005). Análisis y Estudio de Redes GPRS. Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis211a/doc/bmfcis211a.pdf>

- Prieto Donate, F. (Universidad D. S.) (2007). Transmisión de imágenes de vídeo mediante Servicios Web XML sobre J2ME.

- Torres Torriti, Mi. (2007). Tutorial microprocesadores PIC. Escuela de Ingenieria, Pontificia Universidad Catolica, 1–29. Retrieved from http://web.ing.puc.cl/~mtorrest/downloads/pic/tutorial_pic.pdf