

DISPOSITIVO PARA TELEMETRÍA DE VEHÍCULO ELÉCTRICO

PILAR DANIELA ALZATE ALZATE

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
MEDELLÍN
2013

DISPOSITIVO PARA TELEMETRÍA DE VEHÍCULO ELÉCTRICO

PILAR DANIELA ALZATE ALZATE

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

José Valentín Restrepo Laverde

MSc. Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

MEDELLÍN

2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma
Nombre
Presidente del jurado

Firma
Nombre
Jurado

Firma
Nombre
Jurado

Medellín, Agosto 2013

A mi familia, ejemplo y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios por bendecirme hasta donde he llegado y por ser un pilar fundamental para la realización de este sueño anhelado.

A Valentín Restrepo, Armando Bohórquez y Andrés Díez, quienes con su conocimiento, experiencia y motivación posibilitaron que lograra terminar esta etapa con éxito.

A mis profesores, quienes durante toda mi carrera profesional, aportado a mi formación académica y personal.

A mis compañeros de estudio, en particular a Luis Miguel Aristizábal y técnicos del laboratorio IEE por su ayuda constante.

Y a todos aquellos que con su amistad y apoyo me acompañaron en el camino de mi formación profesional.

CONTENIDO

GLOSARIO	1
RESUMEN.....	4
JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS	4
INTRODUCCIÓN.....	5
CAPÍTULO 1. TELEMETRÍA Y SCADA	6
1.1 DEFINICIÓN DE LA TELEMETRÍA, HISTORIA Y APLICACIONES.....	6
1.2 SCADA Y PROTOCOLOS ASOCIADOS	8
1.2.1 Partes del sistema SCADA	9
1.2.2 Topologías de la red	10
1.2.3 Topología implementada.....	12
1.2.4 Protocolos.....	15
CAPÍTULO 2. INSTRUMENTACIÓN.....	20
2.1 TEMPERATURA.....	21
2.2 CORRIENTE.....	24
2.2.1 Sensor Allegro	25
2.2.3 Sensor Tamura	28
2.3 VOLTAJE.....	30
2.4 PRESIÓN.....	32
2.5 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.....	35
2.5.1 Posición	38
2.5.2 Altitud.....	39
2.5.3 Hora.....	39
2.5.4 Velocidad.....	39
CAPÍTULO 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE PARA EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS	41
3.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN RTU.....	41
3.1.1 Microcontrolador, como unidad de procesamiento principal.....	43
3.1.2 Voltaje de operación	44
3.1.3 Comunicación serial con MTU	45
3.1.4 CAN BUS.....	46
3.1.5 Adicionales	47
3.1.6 Implementación del Hardware.....	48
3.2 CARACTERÍSTICAS MTU	51
3.2.1 Tarjeta de desarrollo SL6087.....	51
3.2.2 Tarjeta de desarrollo WMP100.....	53
CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE	55
4.1 CAPTURA DE DATOS BUS-CAN.....	55

4.2 CAPTURA DATOS RECEPTOR GPS	57
4.3 ENVÍO COMANDOS AT A LA MTU	59
4.3.1 <i>Comunicación TCP</i>	60
4.3.2 <i>Secuencia de comandos para enviar datos por TCP</i>	61
4.4 BASE DE DATOS Y ENTORNO GRÁFICO	62
CAPÍTULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS Y RECOMENDACIÓN DE USO	64
5.1 PRUEBA SENSORES CAN.....	64
5.2 PRUEBA FUNCIONAMIENTO GPS Y MÉTODO POST	65
5.3 PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	66
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Topologías básicas (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA, 2007)	11
Figura 2. Topología implementada para la comunicación entre sensores y RTU	14
Figura 3. Formato de la trama del protocolo HDLC	16
Figura 4. Formato de los datos para el protocolo DNP3 (Mackay, Wright, Reynders, & Park, 2004)	18
Figura 5. Arquitectura básica del sistema de telemetría para el Vehículo Eléctrico.....	19
Figura 6. Comportamiento teórico y experimental PT100	22
Figura 7. Circuito implementado para detectar cambios de temperatura con una PT100.	23
Figura 8. Recomendaciones del fabricante (Dickinson & Friedrich, 2005).....	26
Figura 9. Comportamiento teórico y experimental ACS713.....	27
Figura 10. Circuito implementado para detectar cambios de corriente en ACS713.....	27
Figura 11. Comportamiento experimental del sensor L01Z200S05.....	29
Figura 12. Circuito implementado para detectar cambios de corriente con el sensor L01Z200S05	29
Figura 13. Esquema divisor de voltaje	30
Figura 14. Comportamiento experimental del divisor de voltaje de 288 V	31
Figura 15. Comportamiento teórico y experimental MPX5100	34
Figura 16. Circuito implementado para detectar cambios de presión con el sensor MPX5100.....	35
Figura 17. Triangulación para determinar la posición mediante satélites GPS (Lethman , GPS fácil, uso del sistema de posicionamiento global, 2001)	36
Figura 18. Diseño final RTU.....	37
Figura 19. Distribución de componentes de la RTU capa TOP	42
Figura 20. Distribución de componentes de la RTU capa BOTTOM	42
Figura 21. MCF51JM128 (Freescale, 2004).....	44

Figura 22. Circuito de funcionamiento tipo para MAX3232	45
Figura 23. Funcionamiento <i>transceiver</i> CAN (Evaristo, 2006).....	47
Figura 24. Implementación <i>Hardware</i> RTU programa EAGLE	50
Figura 25. RTU implementada	50
Figura 26. MTU utilizada.....	54
Figura 27. Diagrama de flujo para la captura de datos del BUS-CAN	57
Figura 28. Diagrama de flujo para la captura de datos del receptor GPS.....	58
Figura 29. Estructura del protocolo TCP (Desconocido, 2013).....	60
Figura 30. Entorno gráfico	63
Figura 31. Conexiones básicas RTU.....	67

LISTA DE TABLA

Tabla 1 Ubicación de sensores.....	20
Tabla 2 Comparación de tecnología de sensores de corriente.....	24
Tabla 3 Registros configurados para la inicialización de las lecturas del BUS-CAN.....	56
Tabla 4 Registros configurados para la captura de datos del BUS-CAN	57
Tabla 5 Registros configurados para la inicialización de las lecturas del BUS-CAN.....	58
Tabla 6 Registros configurados para la captura de datos del BUS-CAN	59
Tabla 7 Secuencia de comandos AT	61

GLOSARIO

APN: acrónimo del inglés *access point name*. Es el nombre de un punto de acceso GPRS que debe configurarse, para que pueda acceder a Internet.

CAN: acrónimo del inglés *controller area network*. Es un protocolo de comunicaciones basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos.

COMANDOS AT: es un lenguaje abierto de comandos para configurar y parametrizar *modems*.

DIP-STWICH: conjunto de interruptores eléctricos que se presenta en el encapsulado *dual in-line package*.

DIRECCIÓN IP: etiqueta numérica que identifica de manera lógica y jerárquica un elemento de conexión de un dispositivo dentro de una red que utilice el protocolo IP (*Internet Protocol*), que corresponde al nivel de red del Modelo OSI.

ELECTRODOS: conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.

ELECTROLÍTICO: es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico.

FIRMWARE: es un bloque de instrucciones de máquina para propósitos específicos, grabado en una memoria, que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.

FORMATO UTC: según sus siglas en inglés, *universal time coordinated*. Es el principal estándar de tiempo por el cual el mundo regula los relojes y el tiempo.

FUERZA DE LORENTZ: es la fuerza ejercida por el campo electromagnético que recibe una partícula cargada o una corriente eléctrica.

GPIO: acrónimo del inglés *general purpose input/output* es un pin de uso general en un microcontrolador cuyo comportamiento se puede programar por el usuario en tiempo de ejecución.

GPRS: acrónimo del inglés *general packet radio service*. Es una extensión del Sistema Global para Comunicaciones Móviles para la transmisión de datos mediante conmutación de paquetes.

HOSTING: es el servicio que provee a los usuarios de Internet un sistema para poder almacenar información, imágenes, vídeo, o cualquier contenido accesible vía web.

HUECO DE ELECTRÓN: o simplemente hueco es la ausencia de un electrón en la banda de valencia.

INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS: es la perturbación que ocurre en cualquier circuito, componente o sistema electrónico causada por una fuente de radiación electromagnética externa al mismo.

MODELO OSI: en inglés, *open system interconnection*. Es el modelo de red descriptivo, para la definición de arquitecturas en la interconexión de los sistemas de comunicaciones.

MTU: Unidad de Terminal Maestra del sistema SCADA

TTL: en inglés es *transistor-transistor logic*. Es una tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales. Los componentes fabricados con tecnología TTL las señales de entrada y salida del dispositivo son transistores bipolares.

OEM: en inglés *original equipment manufacture*. Término que hace referencia a una empresa que fabrica productos y que luego son comprados por otra empresa y vendidos bajo la marca de la empresa.

PCB: en inglés *printed circuit board*. Es una superficie constituida por *caminos* o *pistas* de material conductor laminadas sobre una base no conductora.

PLC: en inglés *programmable logic controller*. Es una computadora utilizada para automatizar procesos electromecánicos.

RTU: Unidad de Terminal Remota del sistema SCADA.

SCADA: acrónimo de *supervisory control and data acquisition*. Es un sistema que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

SEÑAL DE ACK: el inglés *acknowledgement*. En las comunicaciones es un mensaje que el destino de la comunicación envía al origen de ésta para confirmar la recepción de un mensaje.

SEÑAL DE CRC: comprobación de redundancia cíclica. Es un código de detección de errores usado frecuentemente en redes digitales y en dispositivos de almacenamiento para detectar cambios accidentales en los datos.

THROUGH HOLE: es un tipo de tecnología que utiliza los agujeros de las placas de los circuitos impresos para el montaje de los diferentes elementos electrónicos.

NMEA: es una especificación combinada eléctrica y de datos entre aparatos electrónicos marinos y, también, más generalmente, receptores GPS.

RESUMEN

En este documento se presenta el proceso de diseño de un dispositivo electrónico, capaz de realizar el registro, transmisión y almacenamiento de diferentes variables físicas asociadas al desempeño de un vehículo eléctrico, mostrando las diferentes etapas para la elaboración del prototipo.

PALABRAS CLAVE: Instrumentación, Procesamiento de señales análogas y Comunicación Serial y CAN, GPRS, TCP, PHP y MySQL.

JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS

El proyecto surgió de la necesidad de analizar el comportamiento de un vehículo eléctrico que se encuentra en etapa de desarrollo en la Universidad Pontificia Bolivariana, mediante la implementación de un dispositivo capaz de brindar información en tiempo real de algunas variables en particular. El sistema diseñado brindará la posibilidad de determinar el comportamiento de un vehículo eléctrico en la geográfica colombiana, además de contar con registros en bases de datos que permitirán optimizar tecnologías relacionadas con este proyecto.

Adicionalmente se posibilitó afianzar los conocimientos adquiridos por la autora durante su formación académica en diferentes áreas de la Ingeniería Electrónica, enfrentando un problema concreto y obteniendo resultados en un tiempo determinado, dándole una aproximación real a un entorno laboral. El proyecto tendrá como finalidad aportar nuevas alternativas para la gestión de datos y brindar conocimiento relacionados con la instrumentación, el procesamiento de señales y comunicación inalámbrica implementada.

INTRODUCCIÓN

Debido al evidente aumento de la utilización y en consecuencia al agotamiento a largo plazo de los combustibles fósiles, la sociedad ha tenido la obligación de adoptar soluciones económicas y sostenibles para el medio. En el sector del transporte ha tomado mucha fuerza la promoción y uso de vehículos eléctricos. Por esta razón el presente trabajo de grado nace en torno del proyecto “Factibilidad de la conversión de un vehículo de combustión a eléctrico” encabezado por los docentes Armando Bohórquez, Andrés Emiro, Juan Miguel Vásquez y Valentín Restrepo en el año 2012, buscando implementar un prototipo funcional en las instalaciones de la Universidad.

Durante el proceso de conversión del vehículo de motor de combustión interna a eléctrico, fue indispensable el desarrollo de un dispositivo portátil con la capacidad de almacenamiento y registro de las variables más influyentes en el desempeño de este vehículo, con el fin de poder facilitar en un futuro muy cercano la elaboración de informes y estudios relacionados al comportamiento de esta clase de automóviles.

Este documento muestra gran parte del proceso de diseño y los criterios empleados para la selección de los sensores, componentes y demás terminales, junto con las características y restricciones que tiene el sistema implementado. El documento está dividido en 5 capítulos. En el primer capítulo se realiza una introducción de la terminología y conceptos básicos del proyecto, por esta razón se recomienda leer el texto en orden, para poder entender conceptos usados en todos los capítulos, los cuales se abordan así:

- Capítulo 1: Presenta una introducción a los conceptos de telemetría y ejemplos y topologías de sistemas de control y adquisición de datos.
- Capítulo 2: Muestra detalladamente las características de cada una de las variables a monitorear, indicando los sensores, caracterizaciones, circuitos de medición, especificación de rangos de operación, voltaje de alimentación, precisión, temperaturas de operación, entre otros.
- Capítulo 3: Enseña el proceso de implementación del Hardware necesario para la transmisión de datos, explicando los componentes más relevantes para el correcto funcionamiento del prototipo.
- Capítulo 4: Presenta los programas desarrollados para los cuatro subprocesos más relevantes del sistema de telemetría, mostrando diagramas de flujo y configuraciones de registros.
- Capítulo 5: Da evidencia de las últimas pruebas más relevantes del sistema.

CAPÍTULO 1. TELEMETRÍA Y SCADA

1.1 Definición de la telemetría, historia y aplicaciones

A medida que la sociedad ha ido evolucionando, han surgido tecnologías que han contribuido a la simplificación de las labores del hombre en la industria, anteriormente las actividades se caracterizaban porque para poder obtener un resultado positivo era necesario tener como respaldo un gran número de procesos que garantizaban la calidad en el producto final. Por esta razón actividades como la observación y el control tomaron gran importancia para obtener resultados más precisos y satisfactorios. Además se comenzó a considerar la idea de automatizar un proceso, para lograr de esta manera ahorrar costos en la contratación de personal encargado de estas maniobras y disminuir el número de pérdidas o fallas que se puede generar por el tipo de metodología implementado anteriormente.

Como se mencionó anteriormente, ante el continuo desarrollo y necesidad de la industria por automatizar cada vez más los procesos, se vio la necesidad de hacer monitoreo a distancia que permitiera a una estación maestra conocer el comportamiento que tiene el sistema, sin necesidad de contar con recursos humanos que estén constantemente en el sitio donde se está realizando la actividad.

Por esta razón surge el concepto de telemetría en el año 1912, el cual se define como un proceso de comunicación automatizado, que permite no solamente realizar medias a distancia de diferentes tipos de variables físicas, sino también transmitir dicha información a un sistema receptor que pueda interpretar, manipular y almacenar los datos que fueron recibidos sin importar el medio de transporte de la información.

El primer sistema de telemetría tenía como fin lograr realizar un monitoreo de la distribución de la energía eléctrica en Chicago. La línea telefónica fue el medio o canal por el que se logró transmitir los datos de operación de una planta a una oficina central, en el año 1912 (RMA, 2012). Otro de los primeros pasos que daba la telemetría fue la creación de una aeronave espacial que automáticamente podía realizar medidas meteorológicas asociada a variables como la humedad, presión y temperatura y además contaba con la capacidad de enviar los datos recibidos a una estación en la tierra. Esta área de aplicación de la telemetría fue inaugurada en 1957, cuando se lanza el satélite soviético "*Sputnik*" (Garber, 2007)

Ante las bondades de realizar constantemente la supervisión de un sistema, también surge la necesidad de optimizar este proceso mediante la transmisión de datos en ciertos

instantes de tiempo, los cuales estaban regidos por tareas que le dieran prioridad a la lectura de ciertas magnitudes físicas, dependiendo de la aplicación final y del desarrollador.

Un ejemplo muy claro de este tipo de filosofía relacionada con la toma de datos, se encuentra en los sistemas de control de gasoductos y oceanografía utilizados en la actualidad, los cuales transmiten parámetros como oleaje direccional, velocidad, temperatura del aire y presión atmosférica en determinado tiempo y ante ciertas peticiones del operario o del desarrollador del prototipo.

Independiente del tipo de metodología utilizado para realizar la toma de datos, la telemetría se ha convertido, poco a poco, en un buen recurso cuando se requiera mejorar el desempeño de algún tipo de proceso asociado al control o monitoreo de un sistema. Además de brindar mayor seguridad en la lectura de datos, también ofrece una ventaja en cuanto a la disminución del riesgo del personal encargado de realizar las mediciones en zonas hostiles o precarias, sin que se vea perjudicada la calidad del servicio.

Por las razones mencionadas anteriormente a nivel de investigación y desarrollo, se están realizando grandes esfuerzos para aprovechar al máximo los beneficios de la telemetría y lograr de esta manera inspirar la creación de nuevas aplicaciones, utilizadas ya sea, en la meteorología, la medicina, sistemas industriales, instalaciones nucleares, domótica o equipos satelitales. A medida que han evolucionado los sistemas de telemetría, ha avanzado la manera como se ha realizado el monitoreo de los signos vitales de un paciente, desde poder ver como se encuentra este en cuidados intensivos desde una sala de computo o desde la recepción del mismo hospital, hasta realizar la supervisión de un paciente que se encuentre en instalaciones diferentes a las de un hospital. También la telemetría ha contribuido al desarrollo de la telemedicina, ya que a partir del monitoreo de los resultados de las acciones remotas que puede hacer un cirujano con un robot quirúrgico se puede implementar controles automáticos del mismo proceso.

Otro de los avances que existe en el medio y que está relacionado con este trabajo de grado es la aplicación para *iPhone* desarrollado por BMW (BMW , 2010), que permite realizar un registro en tiempo real de variables como velocidad instantánea y distancia recorrida producidas en giros, frenados y aceleraciones. Este desarrollo fue pensado para un público que practica el automovilismo deportivo, que siempre está interesado en mejorar el redimiendo de su vehículo. También existen otros prototipos que con sistema de adquisición y procesamiento de datos a partir de pequeños sensores ubicados en zonas específicas de un vehículo, pueden tener información de la temperatura, presión y otras variables para determinar la capacidad de maniobra que tiene un piloto durante la

carrera, y lograr de esta manera prevenir fallas que afecten el desempeño del automóvil, haciendo mucho más competitivas las carreras.

1.2 SCADA y protocolos asociados

La telemetría orientada a la seguridad industrial se ha convertido en una necesidad para realizar la conexión de los equipos y los sistemas que se encuentran separados por largas distancias, pero básicamente la función de la telemetría en este caso es enviar comandos y recibir información desde una ubicación remota o a distancia.

En la actualidad existe una aplicación mucho más completa de la telemetría llamada SCADA (*supervisory control and data acquisition system*), que tiene como objetivo realizar la medición y control de algún proceso en particular, mediante la recopilación de información a través de una terminal RTU (*remote terminal unit*) hasta un sitio central, encargado de realizar el análisis de las variables del sistema al cual se le está realizando la supervisión (Gordon R. & Reynders, 2004).

Un sistema SCADA es una herramienta que brinda una mayor gestión de los datos, ya que simultáneamente se puede realizar un análisis de todas las variables que afectan el proceso, mediante el uso de otras herramientas o *software* que permitan obtener un mejor rendimiento de este. Igualmente si se llega a requerir la visualización del estado de otras variables y si desde un principio se realiza la instrumentación adecuada y suficiente para el sistema, se minimizan medios y tiempo. No se requiere realizar modificaciones adicionales para cumplir con la labor anteriormente mencionada, convirtiéndose en un sistema mucho más flexible ante las necesidades que puede tener el cliente a corto y largo plazo. Otras de las bondades del SCADA es que al tener un registro de todas estas variables relevantes del proceso, se pueden realizar aplicaciones que entreguen una información exacta y concreta a un usuario que no esté familiarizado con el sistema, generando un mejor entorno de trabajo y una mayor ergonomía. Además ante el comportamiento de una variable se puede programar mantenimientos preventivos y correctivos, y mediante alertas se dan avisos de los instantes en los que se debe corregir los defectos observados en las instalaciones o informar cuando un equipo esté presentando actividades consideradas no normales (Chavarría Meza, 2007).

Adicionalmente este tipo de sistemas debe garantizar seguridad en la información, para que la transmisión y recepción de datos estén protegidos de intrusos, situaciones inesperadas o fallos en la programación. Además un sistema SCADA tiene la particularidad de que lleva un registro de todos los accesos y acciones realizadas por algún operario, para conocer el estado del sistema antes y después de alguna falla.

1.2.1 Partes del sistema SCADA

Con las características anteriormente mencionadas se comprueba que la implementación de sistemas tipo SCADA mejora la eficiencia en el control y monitoreo de un proceso, brindando la información exacta y oportuna para tomar decisiones apropiadas en el tiempo adecuado. Por esta razón fue necesario retomar el concepto de SCADA en el presente trabajo, debido a que algunas de estas bondades serán implementadas en el prototipo.

Luego de comprender las funciones y múltiples actividades que se pueden realizar con un sistema SCADA, es importante definir las partes que lo conforman:

- La instrumentación asociada a la red de sensores que tienen como función realizar las mediciones. Los sensores son dispositivos que reaccionan ante cualquier cambio de una magnitud física o química (fuerza, presión, humedad, aceleración, temperatura, distancia, etc.) y pueden transformar esta lectura en una variable eléctrica ya sea de corriente, tensión, resistencia o capacidad eléctrica. Y los actuadores son dispositivos que transforman una señal de entrada en algún tipo de evento, también existe mucho tipo de actuadores con diferentes fines; un ejemplo de estos dispositivos son los pistones, motores eléctricos, actuadores neumáticos entre otros.
- Los dispositivos encargados de enlazar los sensores con el sistema gestor, son las RTUs que tienen la función de recibir los datos de los sensores, los descifra en un formato y los envía a una estación maestra mediante algún tipo de sistema de comunicación; también tiene la función de controlar el estado de los actuadores del sistema. Las especificaciones más importantes de las RTUs son el tamaño de la memoria, número de puertos y tipo de comunicación ya sea serial, Ethernet, Modbus o cualquier otro tipo. Tiene integrado un microprocesador, interruptores y un bus que es utilizado para establecer la comunicación con los demás dispositivos del sistema (Chavarría Meza, 2007).
- También hace parte del sistema SCADA la unidad maestra o llamada MTU, que básicamente es un dispositivo encargado de gestionar las comunicaciones, recibir la información enviada por las RTUs, procesar los datos, realizar una visualización clara y precisa del estado de los sensores y actuadores del sistema, además tiene como función principal garantizar la seguridad en el sistema y la comunicación con los operarios, para que toda la información que se genera durante el proceso

pueda estar a disposición de las personas que la requieran, para realizar el respectivo análisis y control en el sistema. El tipo de usos que se le quiera dar a la información depende de los requerimientos del sistema (Rodríguez Penin, Sistema SCADA, 2007).

Lo realmente importante es que esta terminal es la encargada de ejecutar acciones de mando ya programadas, que responde ante los cambios de los valores actuales de las variables medidas y además debe ser flexible en cuanto a la manera de cómo se encarga de realizar el almacenamiento y procesamiento los datos, de forma que otro dispositivo pueda tener acceso a la base de datos, para generar alarmas, informes, aplicaciones especiales o interfaces con otros sistemas. Por esta razón este tipo de unidades debe trabajar con protocolos abiertos, para poder permitir la interacción entre las demás plataformas que puedan existir en el sistema y facilitar de esta manera el intercambio de la información en tiempo real entre centros de control situados en otras instancias o lugares. En el mercado se cuenta con Citect y Wonderware, dos de los paquetes de software libre, disponibles en el mercado para los sistemas SCADA.

- El SCADA también cuenta con un sistema de comunicación, que es el medio por el cual se permite realizar la comunicación entre MTU y RTU, o en otras palabras se encarga de realizar la transferencia de datos desde el punto donde se está realizando la medida, hasta el punto donde se supervisa y se controla el proceso. Este sistema de comunicación se puede realizar por fibra óptica, radio, teléfono, microondas o vía satélite, RS-232/RS-442/RS-485 o Ethernet. (Chavarría Meza, 2007)

1.2.2 Topologías de la red

Otro de los aspectos importantes que se debe tener presente cuando se habla de un sistema SCADA son las diferentes configuraciones para lograr una comunicación entre los elementos descritos anteriormente. A continuación se explica brevemente cada una de las topologías que se puede implementar entre sensores y RTU o entre MTU y varias RTUs, que se encuentra en la Figura 1.

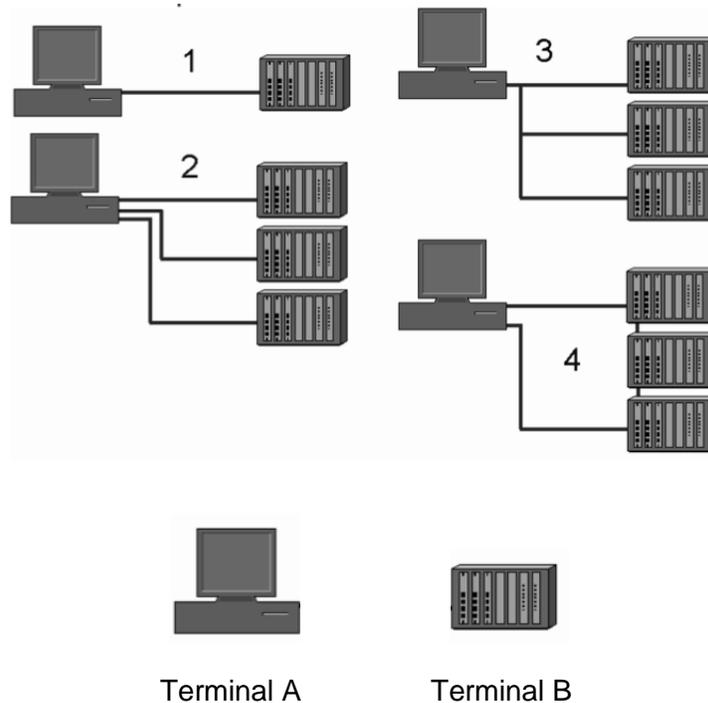


Figura 1. Topologías básicas (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA, 2007)

- **Punto a punto:** Es el intercambio de información entre dos estaciones, donde la terminal A puede ser Maestra como la MTU o RTU y la terminal B esclava como una RTU o sensores dependiendo del caso; ambas terminales están conectadas mediante una línea de comunicación que puede trabajar como full-duplex o half-duplex. Es el tipo de comunicación más simple de todos, básicamente su funcionamiento consiste en que la terminal A es la encargada de realizar el control de la comunicación del sistema y las peticiones de datos a la terminal B. Se puede observar esta configuración en la Figura 1, la imagen 1.
- **Punto a multipunto:** Se caracteriza por tener una sola unidad encargada de hacer el control y las peticiones al sistema, básicamente está conformada por una terminal A que se comunica mediante enlaces directos a las diferentes terminales B que existen en la topología. El inconveniente con esta configuración es que la comunicación se canaliza en la unidad maestra, la cual debe gestionar todas las tareas y solicitudes en el sistema, generando gran congestión y tráfico en la red. Se puede observar esta configuración en la Figura 1, la imagen 2.
- **Punto a multipunto en configuración estrella:** Esta configuración a diferencia de la anterior utiliza un puerto de comunicación entre la terminal A y la B, permitiendo

disminuir el tráfico en la red, ya que el intercambio de información por parte de las unidades B se da por turnos, cada que la estación A lo requiera. Se puede observar esta configuración en la Figura 1, la imagen 3.

- **Punto a multipunto en configuración anillo:** Este tipo de configuración es más dinámica, porque permite que la información viaje por dos vías diferentes, permitiendo que los datos pasen entre el maestro y cada uno de los esclavos, haciendo más rápida la respuesta de la información solicitada de la terminal B en la red. Se puede observar esta configuración en la Figura 1, la imagen 4.

1.2.3 Topología implementada

Luego de definir los diferentes tipos de topología que se puede implementar en un sistemas SCADA, se describen a continuación las configuraciones utilizadas para el trabajo de grado.

La topología utilizada para la comunicación entre MTU y RTU fue la configuración punto a punto, ambas terminales están conectadas mediante una línea de comunicación por serial. La topología punto a multipunto en configuración estrella fue implementada para la comunicación de los sensores con la RTU, debido a que fue la distribución más eficiente para poder realizar el monitoreo de cada una de las variables más relevantes del sistema, aun así, es importante aclarar que este tipo de topología sufrió muchos cambios, debido a que se fueron encontrando los siguientes problemas:

- En primera instancia se considera poner en funcionamiento la topología punto a multipunto mediante una tarjeta electrónica como RTU que tuviera incorporado todos los sensores del sistema y que a través de un microcontrolador se realizaran las lecturas de cada uno de los sensores por medio de puertos análogos de este dispositivo; para ello se realizó un primer diseño de la PCB que cumpliera con las especificaciones anteriormente mencionadas, pero al momento de ir realizando las caracterizaciones individuales de cada uno de los sensores, se vio la necesidad de eliminar las posibles interferencias electromagnéticas originadas por cada sensor en una misma tarjeta electrónica; por esta razón se descarta la implementación de esta configuración y se opta por usar la topología punto a multipunto en configuración
- Se considera implementar varias PCBs que logran realizar la lectura de cada una de las magnitudes relevantes en el desempeño del vehículo, realizando un

primer prototipo con los sensores de presión con los que se contaban en el momento. Pero a pesar de los filtros implementados, se detecta un ruido electromagnético que afectaba la lectura de los sensores. Por esta razón se considera implementar por cada sensor, una tarjeta electrónica que realizare la lectura del dispositivo.

- El diseño de las PCBs de los sensores también sufrió otros cambios que afectaron la topología final entre estos dispositivos y la RTU. Debido a que se pensaba implementar una tarjeta electrónica para realizar la lectura de una magnitud física en particular y que la lectura de los voltajes análogos producidos por los sensores fueran leídos por el PLC, cuya función sería enviar por una trama por serial los valores de cada uno de los sensores a la RTU. Esta idea se descartó porque no se contaba con la cantidad suficiente de módulos análogos que se encargará de realizar esta tarea.
- Por las anteriores razones se desarrolla por cada sensor una tarjeta electrónica que alimentará al mismo dispositivo, que cuente con los respectivos filtros a la salida del sensor y además tuviera incorporado un microcontrolador de la empresa Microchip con referencia PIC18F25K80, para que este último componente se encargue de enviar la información del sensor por un protocolo de comunicación seleccionado por los estudiantes interesados en la lectura de estas variables; la información será envía por un BUS-CAN que es interpretado por la RTU.

En la Figura 2 se observa la topología implementada para la comunicación entre sensores y RTU.

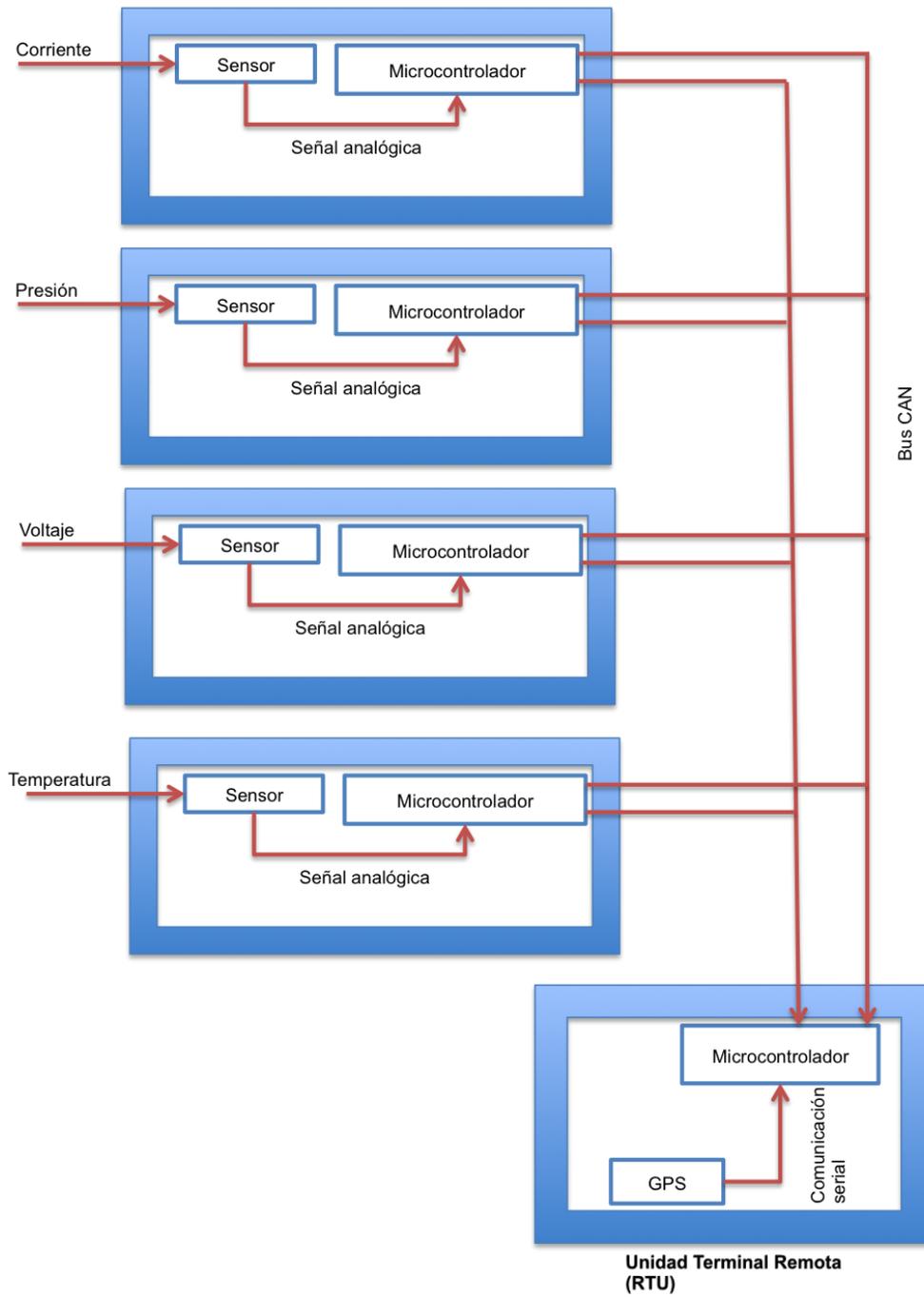


Figura 2. Topología implementada para la comunicación entre sensores y RTU

1.2.4 Protocolos

Para finalizar, es necesario profundizar sobre la manera como se garantiza la seguridad en un sistema SCADA, debido a que este tipo de aplicaciones por traer tantos beneficios, debe garantizar una alta confiabilidad en los datos procesados en la red. Sería un completo desastre si fallan las comunicaciones en este sistema, que implica tantas funciones importantes al momento de hacer un monitoreo y control de un proceso.

No basta con hacer uso las herramientas básicas para las detecciones de errores, como son los algoritmos de *checksum* o el bit de paridad. Se debe implementar un sistema que garantice el correcto funcionamiento de la red. Por ejemplo que periódicamente se realicen preguntas del estado en el que se encuentra la unidad encargada de hacer las lecturas de los sensores, para identificar cuál unidad se encuentra fuera de servicio ante fallas en el sistema y no se pierda tiempo en revisar cada uno de los nodos de la red, para encontrar el lugar donde se presentó la falla.

Una transmisión de datos segura y sin errores en un sistema SCADA, depende del protocolo de comunicación que se implemente. Dicho protocolo tiene la tarea de enviar la información lo más confiable posible y la responsabilidad de manejar las fallas en la red.

A continuación se hará mención de los protocolos más usados para un sistema SCADA. Existen dos: HDLC y MODBUS. Pero ante las demandas del medio, de trabajar con protocolos abiertos, han surgido nuevos protocolos como DNP3, Ethernet y TCP, que están reemplazando los dos mencionados anteriormente (Clarke & Reynderns, 2004).

- **HDLC (*High Level Data Link Control*):** Fue un protocolo creado por la ISO, para establecer comunicaciones en redes con topología punto a punto o multipunto. Para implementar este protocolo se requiere definir cuáles van a ser las estaciones esclavas y maestra y sus respectivas responsabilidades y tareas, posteriormente se define el tipo de topología que se puede implementar en la red, tal y como se mencionó anteriormente.

Luego se debe definir el modo de transferencia de los datos, existen tres tipo el NRM (*Normal Response Mode*), donde básicamente la unidad esclava no puede iniciar la transmisión de información a menos que la unidad maestra lo solicite, la ABM (*Asynchronous Balanced Mode*) permite que la unidad esclava pueda iniciar las transmisiones sin esperar la solicitud de una unidad maestra y ARM (*Asynchronous Response Mode*) donde la unidad esclava puede iniciar transmisiones sin permiso de la unidad maestra, pero esta última terminal aun es la encargada de tareas como la inicialización y la recuperación de errores.

Por último se debe tener definido el tipo de formato cómo se envía la información entre los nodos del sistema, este protocolo se caracteriza por tener la trama que se observa en la Figura 3

8 bits	8 bits	8 bits	> 0 bits	16 bits	8 bits
Inicio	Dirección	Control	Información	Error	Fin

Figura 3. Formato de la trama del protocolo HDLC

Donde los primeros y últimos 8 bits indican el inicio y fin de la trama, los cuales están inicializados con el valor de 01111110, cuenta con 8 bits asignados para el campo de dirección, donde se identifica a la unidad esclava que se le están enviando o recibiendo los datos. El campo de control cuenta con 8 bits para especificar el propósito de la trama, donde se indica si la recepción fue exitosa o no si el mensaje ha llegado al destinatario y también tiene un campo de error, que mediante el código de redundancia cíclica, permite la detección de los bytes perdidos durante la comunicación y por ultimo cuenta con un campo de información opcional, que contiene la los datos de la información (Alcócer Garcias, 2000).

- **MODBUS:** Este protocolo también está basado en la arquitectura maestro-esclavo, donde las unidades esclavas responden ante las peticiones que realiza una unidad maestra. Al igual que el protocolo anterior, la trama está conformada por campos relacionados con la dirección a la que se le está pidiendo la solicitud de los datos, la tarea que debe realizar la unidad esclava, la información requerida para realizar la actividad y el control de los errores en la comunicación entre los nodos de la red, ya sea por el bit de paridad o por el código de redundancia cíclica.

La diferencia con el HDLC radica en que las funciones están codificadas; el control de registros, de entradas y lecturas tiene un numero asignado, también cuenta con otras funciones principales como son las pruebas de diagnóstico y la comunicación sincrónica necesaria para realizar la conexión entre los componentes de la configuración de la red.

Otra diferencia con el HDLC es que existen dos maneras para transmitir los datos, la primera es por ASCII, donde cada byte del mensaje se envía unos caracteres

ASCII para realizar el control de error en la trama; la mayor ventaja con este modo de transmitir los datos es que se puede tener intervalos de tiempo hasta de 1 s mientras envía los caracteres ASCII sin producir error, pero el envío de la información hasta el destino final se demora un poco más, por el tamaño de los datos. Este modo es usado cuando se quieren realizar pruebas para la comunicación entre estas unidades.

El otro modo es usado cuando se tiene certeza de la comunicación entre los nodos de la red, y se necesita una comunicación mucho más rápida, porque a diferencia del otro modo, este tiene la ventaja de que el tamaño de la trama es menor, porque cada byte del mensaje solamente contiene 4 bits, permitiendo un mejor rendimiento de los datos que en el Modbus ASCII (Quilmes, 2012).

- **DNP3:** Este protocolo fue desarrollado por la IEC, con el fin de tener un protocolo de comunicaciones para el sistema SCADA completamente abierto, para que se logrará la conexión entre las estaciones maestras y esclavas de las diferentes áreas en una planta. En la década de los 90s tuvo una buena acogida en la industria, ya que por ser un estándar abierto, se podían conectar dispositivos de diferentes fabricantes en la red del sistema, sin tener las restricciones que se tenían anteriormente; convirtiéndose en esta manera en el estándar de comunicación más optimizado que tiene el SCADA.

A pesar de la ventaja que traía este protocolo, se vio la necesidad de fortalecer la seguridad en el envío de los datos, debido al riesgo existente de la adquisición de la información entre los equipos que se encontraban separados físicamente de la red. Para ello se basaron en el modelo OSI y se implementó un protocolo que trabajara con un menor número de capas. Aun así, se contaba con el mismo principio de funcionamiento que el HDLC y el MODBUS, la idea era ir fragmentando el mensaje cada que pasara por las capas física, de datos, de transporte y aplicación, y durante el paso de la información por cada una de estas etapas, se genera un encabezado que indica el estado de las tareas de control, el inicio y fin del fragmento, la dirección hacia donde va la información y los datos para ejecutar la tarea. En la Figura 4 se puede observar la manera como se construye un mensaje en DNP3 (Mackay, Wright, Reynders, & Park, 2004).

La función principal de la capa de aplicación es la de poder presentarle al usuario los datos capturado en la comunicación, mediante algún tipo de interfaz que le

permite realizar una interpretación clara y concisa de los datos y lograr de esta manera realizar el control o monitoreo al sistema de forma fácil y rápida. La principal tarea de la capa de transporte es garantizar la confiabilidad de los datos durante la recepción y la transmisión de los mismos. El nivel de datos tiene como función orientar los datos hacia su destino final, dependiendo de las direcciones que se lean en el encabezado del fragmento de la información. Por último y no menos importante, está la capa física que tiene la misión de enviarle a las unidades esclavas, los bits necesarios para realizar alguna tarea en particular, esto lo puede hacer por cualquier medio inalámbrico o alámbrico, sin importar el tipo de configuración que se tenga de la red punto a punto o punto a multipunto.

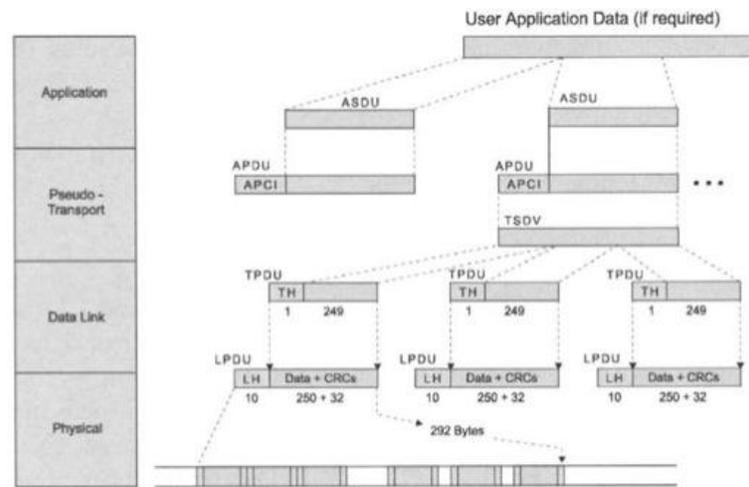


Figura 4. Formato de los datos para el protocolo DNP3 (Mackay, Wright, Reynders, & Park, 2004)

Aunque ninguno de estos protocolos fue implementado, es necesario aclarar que algunos de estos son usados en la etapa del sistema donde el usuario requiere visualizar los datos de la red de manera clara y concisa.

Aprovechando las ventajas de la telemetría e implementando las características de monitoreo del SCADA, en la Figura 5, se presenta la distribución de cada una de las partes que conforman el sistema de monitoreo en tiempo real para el vehículo eléctrico realizado para este trabajo de grado; en el que se puede observar detalladamente que parte se encarga de realizar las funciones de lectura de variables físicas, RTU, MTU y el envío de los datos a una página web. Es importante aclarar nuevamente que el sistema

de telemetría no tiene como finalidad el control de actuadores del sistema (característica adicional que tiene el SCADA), solo se encarga de realizar el monitoreo de variables.

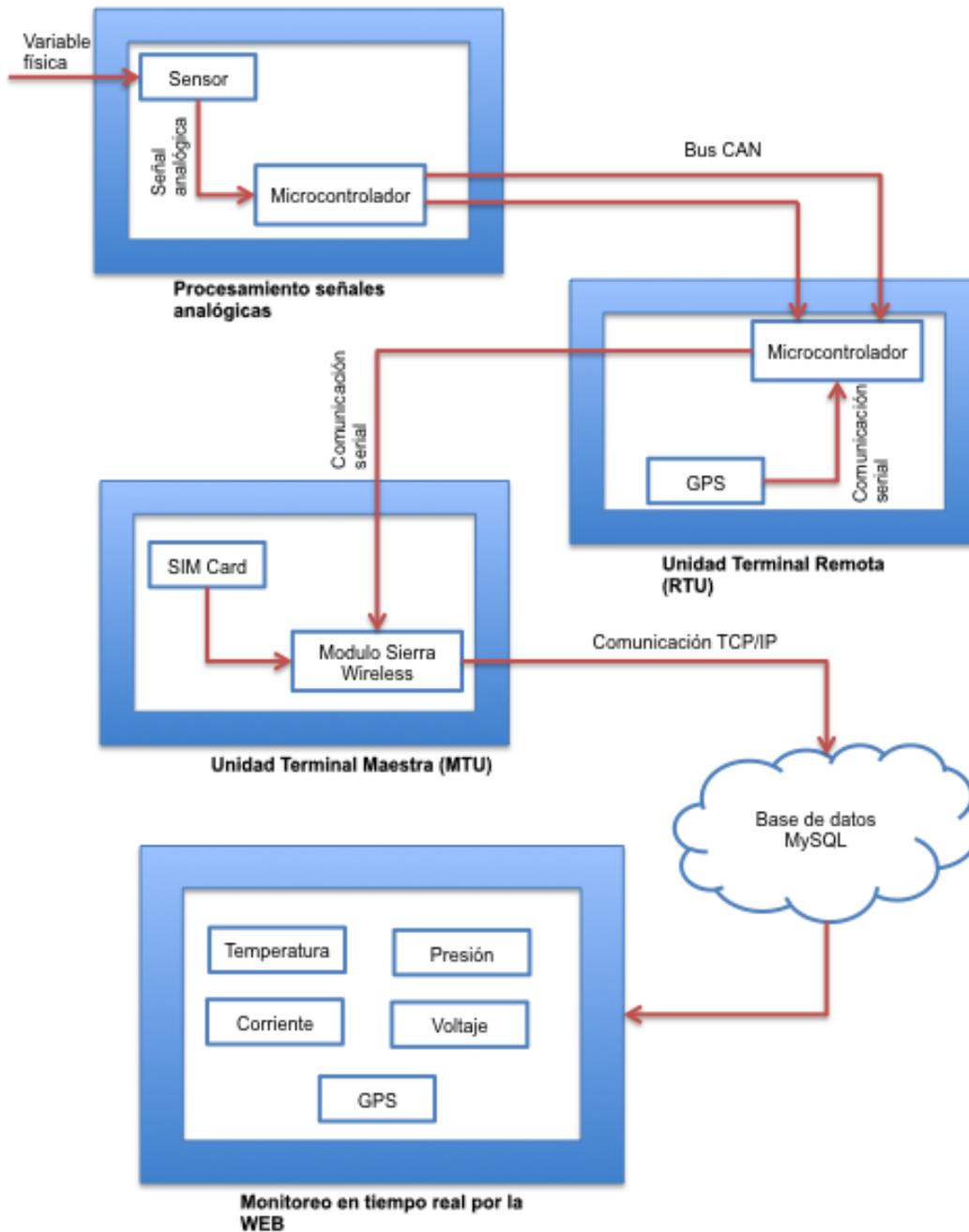


Figura 5. Arquitectura básica del sistema de telemetría para el Vehículo Eléctrico

CAPÍTULO 2. INSTRUMENTACIÓN

Uno de los pasos necesarios para poder hacer telemetría es realizar la medición de los parámetros asociados al proceso. Por esta razón en esta sección se habla sobre la instrumentación requerida para implementar el prototipo final del trabajo de grado; se comenta sobre la selección de las variables de interés, la manera como se va a adquirir los valores de las magnitudes físicas, rangos de la variable y como esta información será enviada a la RTU, todo con el fin de que el sistema implementado tenga la capacidad de tener todos los beneficios de la telemetría mencionados anteriormente.

El dispositivo es una herramienta que permitirá determinar el desempeño de un vehículo eléctrico durante determinado trayecto. Por esta razón fue de gran importancia definir en qué puntos del vehículo se deben realizar lecturas y monitoreos críticos. En la Tabla 1 se encuentra la propuesta para ubicar los sensores que son indispensables para analizar el desempeño del carro.

Tabla 1 Ubicación de sensores

Variable	Sensor	Rango lectura	Ubicación Logan
Corriente	ACS713	0-30 A	Bomba 1 del sistema de refrigeración
Corriente	ACS713	0-30 A	Bomba 2 del sistema de refrigeración
Corriente	ACS713	0-30 A	Bomba de dirección
Corriente	L01Z200S05	0-200 A	Batería 288V
Corriente	L01Z200S05	0-200 A	Bomba de frenado
Presión	MPX5100	0-14 PSI	Motor principal
Presión	MPX5100	0-14 PSI	Controlador principal
Presión	MPX5100	0-14 PSI	Bomba 1 del sistema de refrigeración
Presión	MPX5100	0-14 PSI	Bomba 2 del sistema de refrigeración
Temperatura	PT100	0-850 °C	Motor principal
Temperatura	PT100	0-850 °C	Controlador principal
Temperatura	PT100	0-850 °C	Radiador
Voltaje	Divisor de tensión	0-288 V	Batería 288V

Este capítulo se divide en dos partes. En la primera parte se hace énfasis en los diversos métodos implementados para medir 4 tipos de variables diferentes y en la última parte se

hace énfasis en el funcionamiento y uso del receptor de GPS y de las magnitudes que se van a adquirir con esta técnica.

2.1 Temperatura

Esta magnitud permite determinar el nivel térmico o calor que posee un cuerpo. Para realizar la medida de este parámetro se debe garantizar un intercambio de calor entre el objeto y el sensor, para que este último dispositivo detecte el gradiente e indique el valor de la temperatura cuando se alcance un equilibrio térmico o cuando no se transfiera calor entre los dos cuerpos; considerando que siempre pueden existir pérdidas y retardos debido a la inercia térmica del transductor que pueden afectar la lectura.

En la actualidad existen diferentes tipos de detectores de temperatura, entre ellos se encuentran los sensores resistivos, uniones PN, osciladores de cuarzo, termocuplas y circuitos integrados lineales (Universidad de Cádiz, 2013). La decisión de seleccionar el tipo de naturaleza a trabajar radicó en la experiencia de trabajo que se tenía con algunos de ellos, optando por trabajar con una PT100 o sensor resistivo debido a que tiene un comportamiento más lineal, es estable y no requiere compensación de punta fría.

Básicamente la función de este tipo de detector es aprovechar la propiedad que tienen la mayoría de los metales, la cual es variar su resistividad con el cambio de temperatura, debido a que los iones vibran a una mayor amplitud dificultando el paso de los electrones por el conductor. Y por esta razón juega un papel muy importante el tipo de metal con que se construya el sensor, ya que al tener una alta resistividad se garantiza una alta sensibilidad y por ende una lectura aproximada y coherente de la temperatura (Moreno & Bardo, 2013).

Para este trabajo de grado el tipo de metal en que se mandó hacer el sensor fue de platino, el metal más óptimo para los detectores de temperatura resistivos por su precisión y estabilidad. Cuenta con la característica de ofrecer un comportamiento lineal el cual se puede comprobar en la Figura 6, donde se puede observar tres tipos de líneas diferentes, una de ellas corresponde a la respuesta teórica del sensor ante los cambios de temperatura. Esta línea de tendencia surge de la aproximación que se realiza en la siguiente ecuación (1):

$$R(t) = R_o(1 + \alpha t), \quad (1)$$

donde α es el coeficiente de temperatura del platino de $0.00385 \text{ } 1/^\circ\text{C}$, el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia la temperatura y R_o

es la resistencia que tiene la PT100 a 0 °C el cual tiene un valor de 100 Ω. También en la Figura 6 se puede observar el comportamiento de la PT100 en dos experimentos con las mismas condiciones iniciales (Ingecozs, 2012), observando que este sensor tiene un comportamiento lineal, sin histéresis y que la convergencia entre los valores teóricos y experimentales se debe a las aproximaciones que se tuvieron en cuenta para llegar a la ecuación (1)

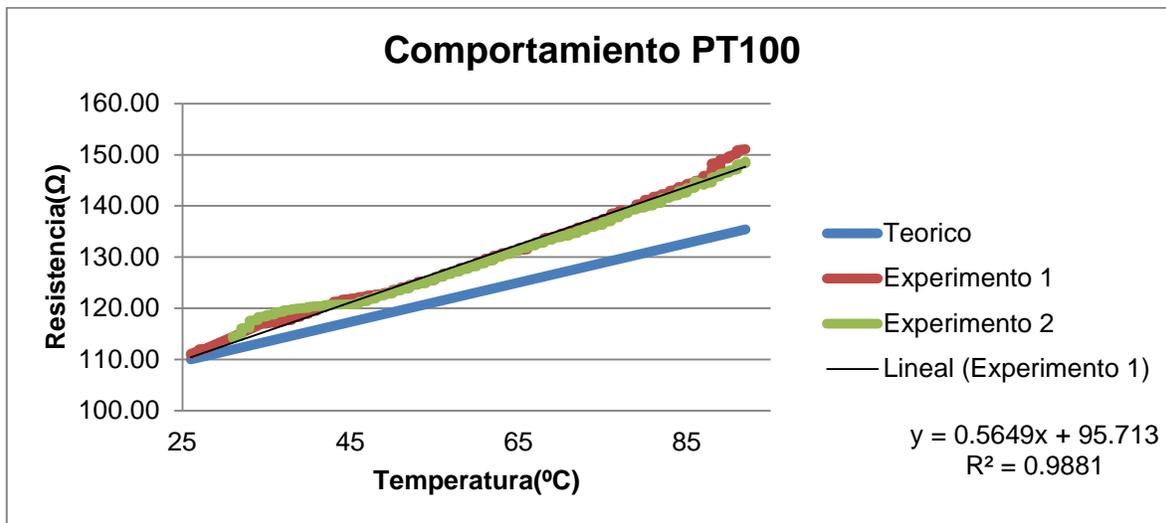


Figura 6. Comportamiento teórico y experimental PT100

Además cuenta con una exactitud de 0.01 °C, tiene rango de medida de -200 a +850 °C y una de las mayores ventajas que tiene este tipo de sensor es que cuenta con un alta resistencia a la contaminación, haciendo que sus propiedades físicas perduren a largo plazo y evitando que entreguen lecturas erróneas de temperatura, que puedan afectar en la toma de decisiones en una posterior aplicación.

Debido a que la PT100 solamente entrega variaciones de resistencia ante cambios de temperatura, fue necesario acondicionar la señal para que una unidad controladora comprendiera la lectura que se está realizando de esta variable. Para ello se implementó un puente de *Wheatstone*, que básicamente es un circuito eléctrico que utiliza un arreglo serie-paralelo de 4 resistencias, donde el objetivo es determinar el valor que entrega la PT100, sin que afecte en la lectura el valor de la resistencia de los cables de cobre del sensor. La idea fue implementar un circuito con configuración de 3 hilos, debido a que el lector de temperatura del sensor es de este tipo de conexión (Puente de *Wheatstone*, 2009).

Para llegar a obtener los valores de resistencia del puente de *Wheatstone* de la figura 6,

se realizaron las siguientes pruebas:

- Se realiza una primera caracterización con un potenciómetro de 5 k Ω , dejando fijo dos valores de resistencias, para determinar en primera instancia el comportamiento de este sensor. Pero se opta por descartar este circuito como el definitivo, debido a que si mueve la posición del potenciómetro, la caracterización de este sensor se pierde, ya que el puente quedaría configurado para entregar un valor de 0 V a un valor desconocido de temperatura y se tendría que volver a programar una nueva ecuación que corresponda a los cambios que puede generar este nuevo circuito.
- Luego se realizaron varias pruebas con diferentes configuraciones de resistencias fijas, para evitar el problema que se tenía con el circuito mencionado anteriormente y se encontró un comportamiento muy estable y lineal, el circuito se puede observar en la Figura 7.

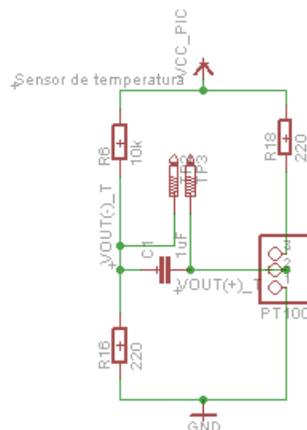


Figura 7. Circuito implementado para detectar cambios de temperatura con una PT100

Cuando ocurra un aumento de temperatura, el puente de *Wheatstone* entregará un voltaje diferencial cuya salidas fueron conectadas a unas entradas análogas de un microcontrolador PIC16F25K80, el cual se encargará de enviar una trama usando comunicación CAN del valor de esta magnitud y la RTU podrá realizar un tratamiento a esta señal, para luego ser enviado por GPRS a una dirección IP determinada.

2.2 Corriente

Otras de las variables críticas para poder diagnosticar el desempeño del vehículo eléctrico, es poder determinar el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que tienen las baterías, las bombas de refrigeración, dirección y frenado del vehículo y esto se puede determinar mediante la lectura de la corriente eléctrica en cada uno de los dispositivos mencionados anteriormente.

Existen varios métodos para realizar la lectura de la corriente y cada uno de ellos tiene un principio de funcionamiento determinado, con sus propias ventajas y desventajas; por esta razón fue necesario realizar un estudio comparativo, para determinar cuál de las alternativas existentes en el medio, era la más apropiada de implementar. En la tabla 2 se pueden observar las características de cada método.

Tabla 2 Comparación de tecnología de sensores de corriente

	Sensor resistivo	Transformador de corriente	Sensor de Efecto Hall
Consumo de potencia	Alto	Bajo	Medio
Alimentación externa	No	No	Si
Método invasivo	Si	Si	No
Capacidad de medición de alta corriente	Malo	Buena	Muy buena
Disponibilidad en el mercado	Alto	Bajo	Alto
Costos	Muy bajo	Medio	Alto

La metodología implementada para la lectura de esta variable fue el sensor de Efecto Hall, debido a que no cuenta con un alto consumo de potencia como el sensor resistivo y además de contar con una buena capacidad de medición de alta corriente, tiene una alta disponibilidad en el mercado. Además, no son los sensores más caros del mercado como lo son los transformadores de corrientes, los cuales están destinados a ser utilizados solamente para corrientes AC y cuya disponibilidad en el mercado, bajo las condiciones requeridas para el proyecto son muy pocas. El sensor de efecto hall tiene una excelente respuesta en frecuencia y está capacitado para medir corrientes muy altas, pero cuenta con un problema de funcionamiento ante la presencia de altas temperaturas, debido a que

se generan altas desviaciones frente a estas condiciones de funcionamiento.

El funcionamiento del sensor de Efecto Hall se basa en la generación de un voltaje de salida ante los cambios del campo magnético producido en el dispositivo semiconductor. Está conformado por una placa de semiconductor a través de la cual se hace pasar una corriente; cuando se aplica un campo magnético de manera perpendicular a la dirección de la corriente, se genera un voltaje entre las terminales del sensor, debido a la separación de carga establecida por la fuerza de Lorentz. Básicamente esta fuerza genera que los electrones se acumulen en una región inferior del semiconductor y la carga neta positiva vista como hueco, se encuentra alojada en la región superior del material, generando esta diferencia de potencial. Entre mayor sea la corriente o la intensidad del campo magnético, mayor será el voltaje producido en el material semiconductor (Boylestad, 2004).

Las posibles lecturas que se pueden realizar con este tipo de sensor son la intensidad de un campo magnético ante alguna corriente determinada o también determinar el nivel de corriente ante una intensidad de campo magnético determinada. La aplicación más conocida es la instalación de esta tecnología en los almacenes de cadena. Consiste en el disparo de una alarma cuando el sistema de monitoreo instalado en las salidas del almacén, reacciona ante la presencia de un campo magnético cuando un producto no es desactivado desde las cajas de pago, donde se cuenta con un dispositivo que se encarga de desmagnetizar la franja que tiene el producto.

Para poder determinar el desempeño de la reconversión del Renault Logan, fue necesario utilizar dos tipos de sensores que permitieran realizar lecturas de corriente en diferentes rangos de operación, de los cuales se habla con mayor detenimiento en las siguientes secciones.

2.2.1 Sensor Allegro

Para la lectura de corriente en las bombas de dirección y del sistema de refrigeración, se utilizará el sensor de Efecto Hall de la empresa Allegro con referencia ACS713, el cual puede realizar lecturas de corrientes hasta máximo 30 A. Una de las principales características de los sensores de corriente marca Allegro es su precisión lineal, además de poder realizar lecturas de corriente bidireccionales, permitiendo determinar el flujo de corriente en cualquier dirección. Las aplicaciones más comunes están asociadas al control de motores, detección de carga, fuentes de alimentación conmutadas, y la protección de fallo contra sobrecorriente.

Tal y como se explicó al inicio del capítulo, el campo magnético generado por la corriente, es detectado por el integrado y convertida en una tensión proporcional, aclarando que la exactitud del dispositivo está optimizada a través de la proximidad de la señal magnética al sensor de efecto Hall. Sin embargo, la cantidad de corriente, que se puede enrutar a través del integrado es eventualmente limitada por consideraciones físicas y térmicas dadas por el fabricante, y las cuales se tuvieron en consideración al momento de diseñar la tarjeta electrónica final de este sensor, estas se pueden observar en la Figura 8.

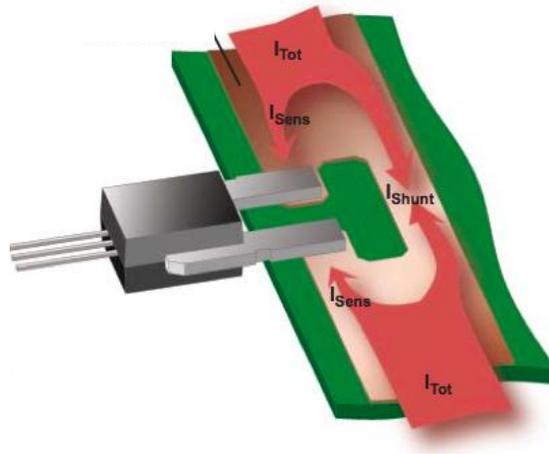


Figura 8. Recomendaciones del fabricante (Dickinson & Friedrich, 2005)

Aunque dichas recomendaciones mejoran las condiciones térmicas en el sensor, se presentó una desventaja con la sugerencia dada por el fabricante, porque reduce la resolución actual del sistema, en la misma proporción que la corriente se divide por ruta de la PCB. La solución más óptima para compensar el problema en la resolución, fue realizar calibraciones acordes a los cambios generados en la tarjeta electrónica. Los resultados de las calibraciones se pueden observar en la Figura 9. Donde se puede ver un comportamiento lineal con un bajo nivel de ruido de la señal de salida analógica, cuenta con una alimentación no dual, y una sensibilidad entre 133 a 185 mV / A.

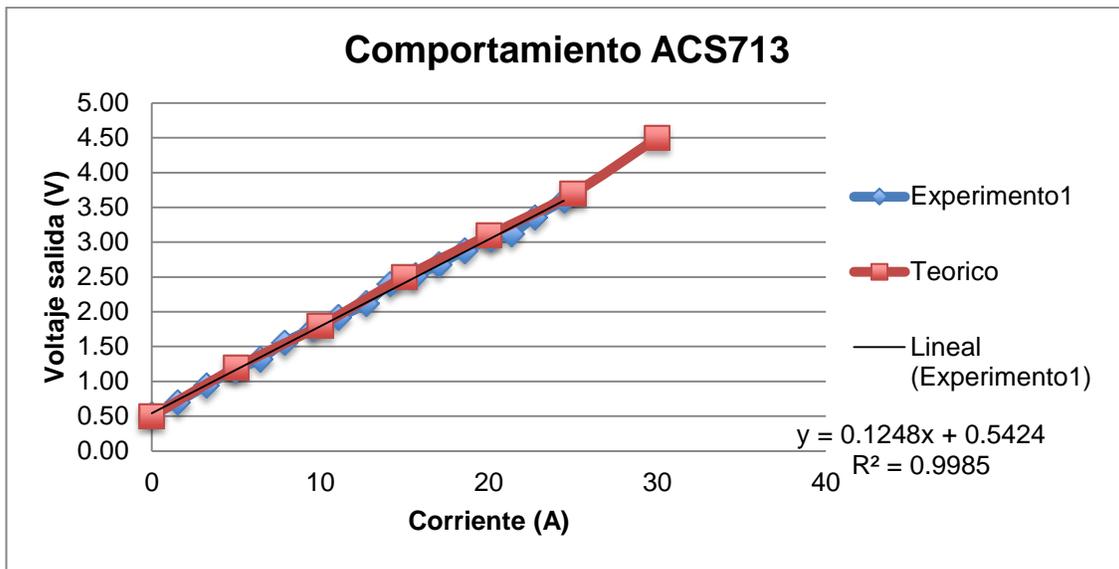


Figura 9. Comportamiento teórico y experimental ACS713

La tarjeta electrónica que tiene este tipo de sensor contiene las conexiones especificadas por el fabricante, relacionadas a los filtros a la salida de este componente y las especificaciones físicas de la pista de cobre por donde se va a realizar la lectura de corriente. Adicionalmente el voltaje entregado por el ACS713 será enviado a una entrada analógica del PIC18F25K80, que se encargará de enviar por un BUS-CAN la información codificada de este sensor y la RTU podrá realizar las interpretaciones necesarias y enviar la información por GPRS a una dirección IP determinada. En la Figura 10 se puede observar con más detenimiento las diferentes partes que conforma la PCB de este sensor.

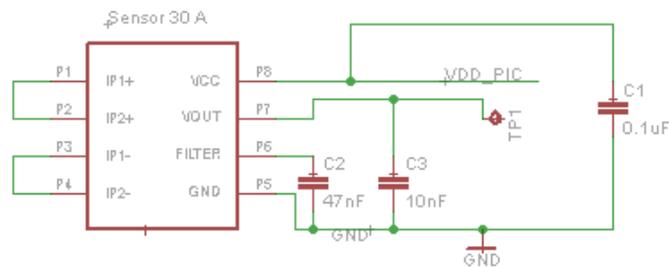


Figura 10. Circuito implementado para detectar cambios de corriente en ACS713

2.2.3 Sensor Tamura

Para la lectura de una corriente mayor a 30 A, se selecciona el sensor L01Z200S05 de la empresa Tamura debido a que cuenta con características tales como alimentación no dual, apertura para el cable transportador de corriente, tipo de operación *Open-Loop*, aislamiento galvánico y no cuenta con pérdidas de inserción debido a que implementa un método no invasivo para la lectura de corriente.

Al momento de realizar la selección de este sensor de corriente en particular, fue de gran importancia saber la diferencia entre el principio de operación de los sensores de efecto Hall *Open-Loop* y *Closed-Loop*, y entender que por costos y simplicidad de funcionamiento se optó por trabajar con la metodología *Open-Loop*. El primer método ejecuta la lectura de la variable sin realizar contacto eléctrico con el circuito de interés y como se menciona al principio de este capítulo. El voltaje generado por el sensor es directamente proporcional al campo magnético generado por el cable que transporta la corriente. Para el segundo tipo de operación (*Closed-Loop*) además de utilizar los mismos principios de funcionamiento, se adicionan otros componentes necesarios para implementar una realimentación de la corriente opuesta, generada por una bobina secundaria sobre el núcleo magnético encargado de sensar la corriente de interés. En este caso la salida del sensor de corriente de *Closed-Loop* se puede escalar con la adición de una resistencia de carga, para producir una salida de nivel de tensión proporcional a la corriente primaria y además se cuenta con la ventaja de saber que la corriente del sensor es una representación exacta de la corriente de interés, pero escalada por el número de vueltas en la bobina secundaria (Honeywell, 2007) (Tamura, 2013).

Para realizar la calibración del sensor L01Z200S05, se implementa un banco de prueba con una fuente de 110 V en serie con un banco resistivo, a medida que aumentaba el número de lámparas encendidas en el circuito, aumento la corriente en este y se fueron tomando los valores de voltajes generados por el sensor. En la Figura 11 se puede observar el comportamiento del sensor para los cambios de corriente generados. Aunque solo se logra una corriente de máximo 30 A, se puede observar que el sensor está diseñado para generar un cambio de voltaje de 0,08 V por cada cambio de 6 A y se opta realizar una regresión lineal de los datos obtenidos, para estimar el voltaje de salida del sensor para los valores de corriente a los que no se logró llegar con la prueba.

A diferencia de los otros sensores analizados en este capítulo, no se logra realizar la comparación con los datos teóricos dados por el fabricante, debido a que no se cuenta con una escala adecuada para realizar la comparación entre estos valores experimentales y los brindados por el fabricante.

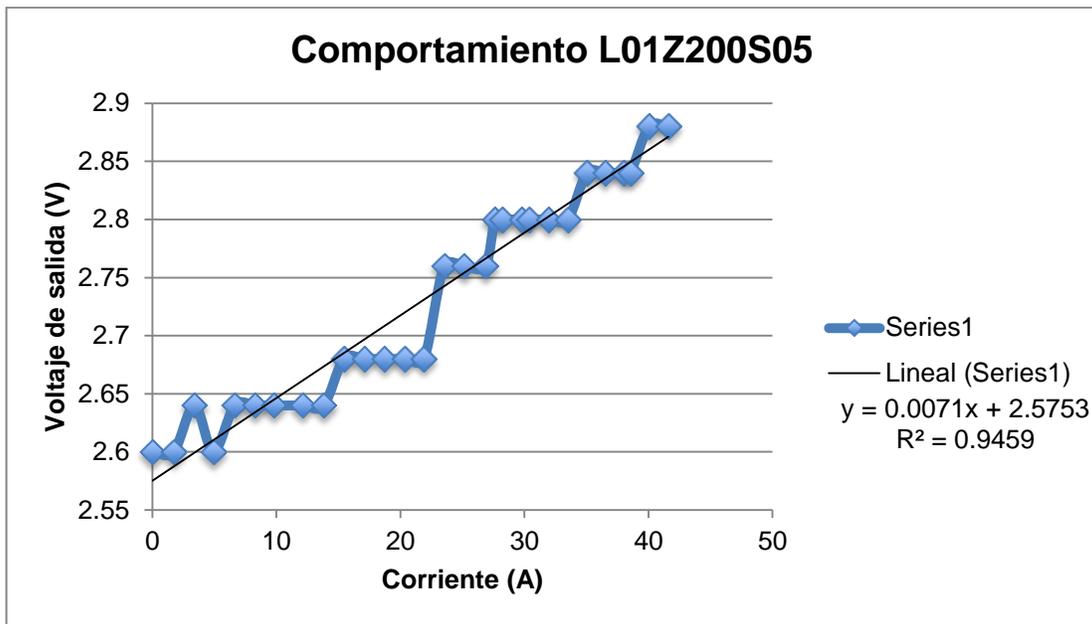


Figura 11. Comportamiento experimental del sensor L01Z200S05

La tarjeta electrónica que realiza la lectura de este tipo de variables, cuenta con las especificaciones dadas por el fabricante y el voltaje generador por el L01Z200S05 se conecta a una entrada analógica de un PIC18F25K80, que se encargará de enviar por un BUS-CAN la información codificada de esta variable y la RTU realiza las interpretaciones necesarias y envía la información por GPRS a una dirección IP determinada.

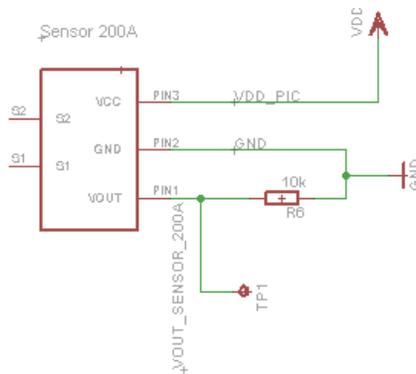


Figura 12. Circuito implementado para detectar cambios de corriente con el sensor L01Z200S05

2.3 Voltaje

Finalizada la reconversión del Renault Logan, es muy importante verificar constantemente el estado de las baterías del carro, ya que son ellas las encargadas de dar energía a sistemas tales como: propulsión, frenado, refrigeración y sensórica y como no tienen un comportamiento ideal, se encargan de almacenar una cantidad de energía definida, limitada por el uso y un tiempo de descarga; por esta razón se vio la necesidad de implementar la lectura en tiempo real de voltaje, conocer el comportamiento en el tiempo de las baterías.

En el medio se tienen dos métodos conocidos para implementar la lectura de esta variable, se puede realizar con un divisor o un transformador de voltaje; por costos y tiempo de diseño se implementó la primera metodología, la cual consiste en atenuar el voltaje V_1 conectando dos resistencias en serie a las terminales de esta señal, el voltaje V_2 conserva las características de la señal de voltaje V_1 , debido al uso de elementos resistivos. En la Figura 13 se puede observar de manera gráfica la explicación más detallada y clara de este método.

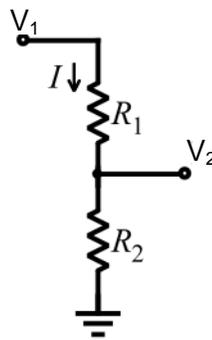


Figura 13. Esquema divisor de voltaje

Debido a que el microcontrolador empleado para realizar la lectura de esta variable, tiene la capacidad de medir señales análogas entre un rango de 0 a 5 V, y como el voltaje de las baterías es superior a este rango, se calcularon los valores de las resistencias del divisor a partir de la ecuación (2),

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1, \quad (2)$$

para tener a la salida el nivel de voltaje deseado. Además de este cálculo se garantizó que la potencia de cada una de las resistencias fuera la adecuada, para asegurar que la corriente del divisor no genere daños en los circuitos. Los valores de cada resistencia son 220 k Ω y 3.9 k Ω .

El divisor de voltaje es un método aplicable tanto para corriente alterna, como para corriente continua. La configuración del divisor se puede conectar en cascada en función de la disminución de tensión deseada, sin embargo el error se multiplica en función de la incertidumbre asociada a cada valor de impedancia.

Para verificar el comportamiento del divisor de voltaje, se realiza la calibración de este circuito con una fuente de CD del laboratorio IEE. A medida que se realizaban las variaciones de la señal de entrada, se tomaba registro del voltaje de salida generado. Pero como el valor máximo de la fuente es de 30 V, se propone la realización de una regresión lineal para los demás valores. Dicha regresión se verifica con la conexión directa a los 288 V del rectificador, que alimenta el laboratorio de simulación del sistema de refrigeración de la reconversión del Logan; encontrando que la discrepancia entre los valores reales y teóricos son de 0,011 V. En la Figura 14 se puede observar el comportamiento de este circuito en las pruebas mencionadas anteriormente.

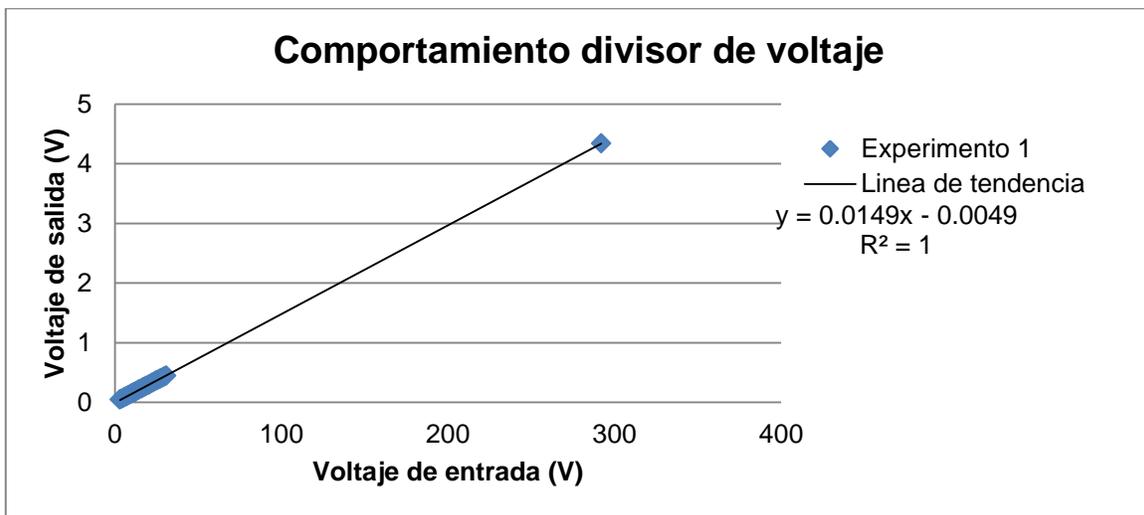


Figura 14. Comportamiento experimental del divisor de voltaje de 288 V

La tarjeta electrónica que puede realizar la lectura de este tipo de variables cuenta con un diseño relativamente sencillo, el cual contiene el arreglo de resistencias característico de un divisor de voltaje, donde se toma el voltaje de salida de este arreglo y se conecta a una entrada analógica de un PIC18F25K80 que se encargará de enviar por un BUS-CAN la información codificada de esta variable y la RTU tendrá la posibilidad de realizar las interpretaciones y envía la información por GPRS a una dirección IP determinada.

2.4 Presión

La presión está definida como la fuerza que se ejerce sobre un área determinada y se produce cada que existe una distorsión o cambio de volumen o cuando es causada por un fluido que se encuentra en un recipiente, en este caso la presión generada se debe al peso y temperatura de este. Para el proyecto de reconversión del Renault Logan fue de gran importancia tomar en consideración el monitoreo de esta variable, porque esta indica si se encuentran en funcionamiento las bombas del sistema o simplemente se muestra la diferencia de flujo que tenía en su momento el sistema.

Independientemente de cómo se genera esta variable, en el medio se cuenta con una amplia gama de sensores dotados con elementos sensibles a esta variable, los cuales se rigen bajo los siguientes principios: equilibrio de fuerzas, resistivos, magnéticos, capacitivos, extensométricos y piezoeléctricos (Mao, 2000).

Los sensores con los que se trabajó son dispositivos de silicio piezorresistivo que cuentan con un diafragma de silicio monolítico, que proporciona la lectura de presión mediante la deflexión o cambio de volumen en el sensor. El entendimiento de este esfuerzo se realiza a través de la lectura de un voltaje análogo asociado a la cantidad de presión generada, mediante la comunicación entre un circuito interno que está conformado por una red de resistencias y una fina película encargada de detectar el esfuerzo producido por esta magnitud (Vizcay, 2005) (Mao, 2000).

Para la lectura de esta magnitud se utilizaron en primera instancia 2 sensores de la familia MPX de Freescale, recomendados para ser usados en aplicaciones tales como el control de bombas o motores, robótica, barómetro, altímetros y sistemas de diagnóstico médico. Como se desconocía de las magnitudes de presión a realizar, se tomaron las precauciones del caso para que estos dispositivos logaran realizar lecturas de valores acordes al sistema donde se pretendía realizar el monitoreo. El rango de presión al que se puede someter el sensor MPX2202 está entre los 0 y 29 psi y para el sensor MPX2102 está entre los 0 y 14.5 psi. La selección de estos rangos se realizó de manera conjunta según necesidades del grupo de estudiantes de Ingeniería Mecánica, los cuales recomendaron el uso de estos dos tipos de sensores para verificar el comportamiento de cada uno de ellos en los diferentes puntos del sistema de refrigeración del vehículo Renault Logan.

Fue indispensable realizar la calibración de estos sensores, para verificar el comportamiento de estos dispositivos con respecto a las hojas de datos brindadas por el fabricante, estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y Automática de la Universidad Pontificia Bolivariana. A continuación se presentan los

resultados de cada una de las pruebas:

- La primera prueba radicó en verificar el comportamiento de cada sensor con las conexiones básicas de alimentación y filtros que recomendaba el fabricante. La variación de presión se realiza con un equipo que se encuentra en el laboratorio de Operaciones Unitarias. A medida que se variaba la presión se registraba los valores de voltaje generado, pero al momento de verificar los resultados, se observa la necesidad de implementar circuitos de amplificación para poder realizar un tratamiento adecuado para esta señal de salida del sensor.
- Luego se implementa la etapa de amplificación y se observa que las variaciones de voltaje eran muy pequeñas para poderlas distinguir en el primer circuito de prueba, por esta razón se opta por eliminar la etapa de amplificación y conectar directamente la señal de salida del MPX2202 y MPX2102 a las entradas análogas de un microcontrolador.
- Para la prueba mencionada anteriormente se trabaja con la tarjeta de desarrollo Arduino Uno y luego de verificar el funcionamiento del software en el laboratorio IEE. Se procede a realizar las pruebas en el laboratorio de Operaciones Unitarias, pero se observa que la resolución del conversor análogo-digital del Arduino Uno, no era la adecuada para los cambios de voltaje tan pequeños generados por el sensor. Por esta razón se opta por trabajar con el integrado MCF51JM128RM de la empresa de Freescale, para realizar la lectura de voltaje con un conversor análogo digital de 12 bits y se manda a diseñar una PCB para eliminar cualquier interferencia electromagnética generada por la distribución de componentes en la *board*.
- Aunque la implementación de una PCB mejora el comportamiento de lectura de esta variable, fue indispensable realizar algunas modificaciones al software encargado de realizar esta lectura, pero ni con estos cambios se lograron obtener lecturas estables en la terminal de puerto serial donde se observaba la presión que generaba el sensor, concluyendo de esta manera que la salida de voltaje del sensor era muy pequeña para ser interpretada por el microcontrolador, y a pesar de que se realizó varios intentos para entender esta señal, la solución más rápida y viable fue cambiar el sensor por la referencia MPX5100.

Luego de adquirir el sensor MPX5100, se realizan pruebas de calibración en el laboratorio de automática. Estas consistieron en generar una presión de aire específica a la entrada

del sensor. Posteriormente se procedió a realizar la lectura de la presión generada con manómetro, que se encuentra en el banco de equipos de electroneumática y al tiempo se realizó el registro de voltaje generado por el sensor con un multímetro calibrado del laboratorio IEE. Se realiza la comparación con los datos del fabricante, encontrando que la mayor discrepancia entre las dos rectas es de 0,25 V. Pero a pesar de esto el sensor conservó un comportamiento lineal y una salida de voltaje hasta de 4,24 V, concluyendo que no se tiene la necesidad de utilizar una etapa de amplificación para que el microcontrolador logre interpretar los cambios de voltaje. En la Figura 15 se puede observar el correcto funcionamiento del sensor.

Para la adquisición de los valores de presión en tiempo real, se realizan las conexiones especificadas en la hoja de datos del sensor, en la tarjeta electrónica destinada para este fin. Luego esta señal es llevada a un microcontrolador, que es encargado de realizar la conversión de este voltaje a un valor de presión, acorde a la línea de tendencia de la caracterización del mismo sensor. Para que luego esta señal sea enviada por un BUS-CAN que posteriormente será entendida e interpretada por el dispositivo de telemetría RTU. En la figura 16 se observa el diseño implementado para realizar la tarea mencionada.

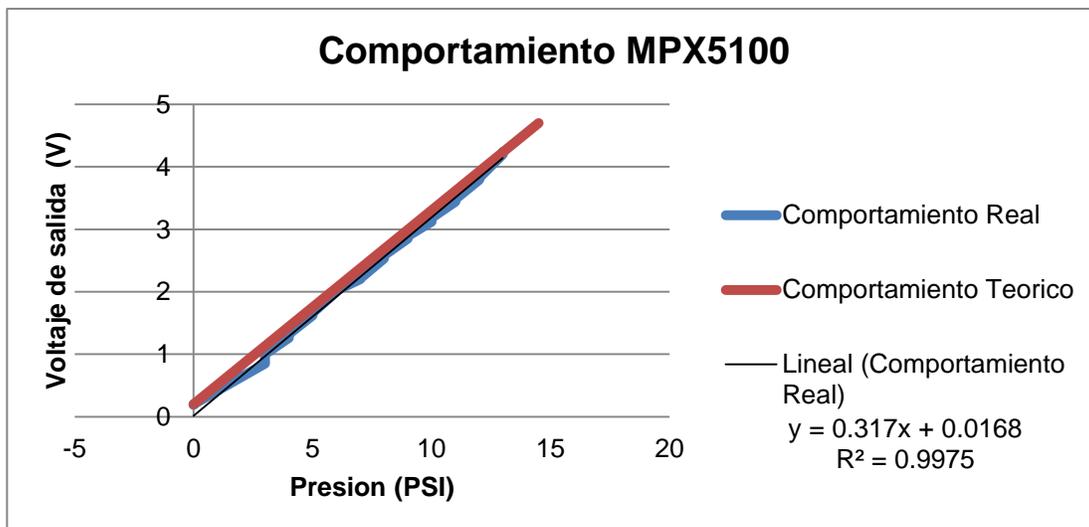


Figura 15. Comportamiento teórico y experimental MPX5100

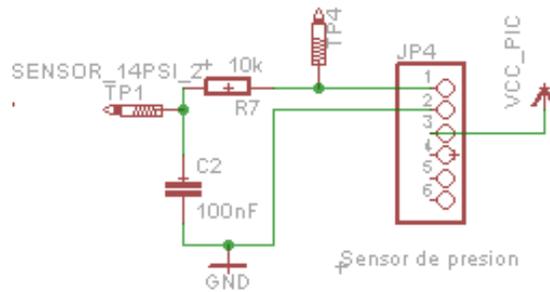


Figura 16. Circuito implementado para detectar cambios de presión con el sensor MPX5100

2.5 Sistema de Posicionamiento Global

Otro de los aspectos importantes para poder establecer el desempeño de la reconversión del Renault Logan, es determinar la distancia de una trayectoria en particular que realice el vehículo y así poder facilitar el respectivo análisis que se haga de las variables anteriormente mencionadas. Por esta razón fue de gran importancia tener integrado al sistema de telemetría un receptor GPS, que permitiera determinar dichos parámetros. Se realizara a continuación una breve explicación sobre este tipo de tecnología en particular.

El sistema de posicionamiento global o *Global Positioning System* (GPS) es un sistema conformado por una red de satélites que están rodeando la tierra, los cuales envían ondas de radio que transportan secuencias de números llamadas códigos a la superficie. Este sistema proporciona en cualquier lugar del mundo información sobre posición, hora y velocidad.

El receptor de GPS hace uso de la trigonometría de triángulos o triangulación para determinar la posición, lo que significa que conociendo la distancia de tres puntos definidos, el receptor puede obtener su ubicación. En la Figura 17 se muestra en dos dimensiones como el navegante halla la posición usando un receptor GPS. Básicamente el receptor mide la distancia hacia el satélite 1, indicándole al satélite que el navegante esta en algún lugar del círculo que rodea el satélite. A continuación, el satélite mide la distancia al satélite 2, comprendiendo que el receptor está en algún lugar en común de los círculos que rodean a los satélites 1 y 2. Solo hay dos posiciones en las que el receptor puede estar y son donde los dos círculos se interceptan. Luego, el receptor mide la distancia del satélite 3 y del mismo modo que antes, sabe que su posición está donde los tres círculos se interceptaban y esto ocurre en un solo punto, indicándole al receptor su

posición exacta en el globo terráqueo (Lethman, GPS fácil, uso del sistema de posicionamiento global, 2001).

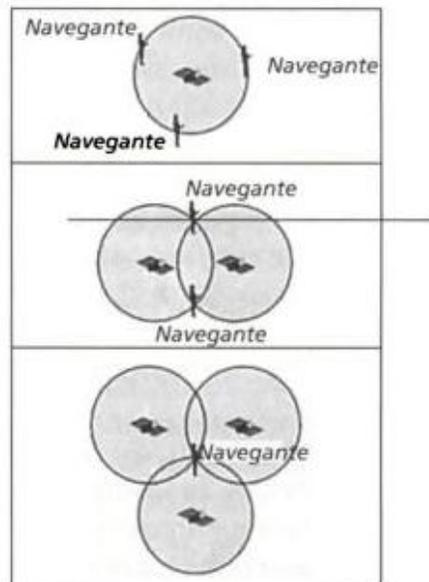


Figura 17. Triangulación para determinar la posición mediante satélites GPS (Lethman , GPS fácil, uso del sistema de posicionamiento global, 2001)

En el mercado existen muchos módulos receptores GPS y sus tamaños oscilan dependiendo de las necesidades que se tengan del dispositivo. La ventaja es que debido a los avances realizados con los circuitos integrados y métodos de producción han aportado incluso una mayor variedad de características entre buena potencia y amplias funciones, por lo cual no se presentan problemas en el momento de seleccionar el mejor que se adapte a las necesidades.

Se trabaja en primera instancia con el receptor GPS AirPrime XM0110 que trae integrada la tarjeta de desarrollo del SL6087 del cual se hablará con más detalle en el siguiente capítulo. Debido a algunos problemas con los GPIO de la tarjeta, se vio la necesidad de trabajar con el receptor Maestro A2035, se asesoró mediante una jornada técnica realizada a mediados del segundo semestre del 2012 en la Escuela de Ingenieros y con un personal calificado de la empresa Muzca para seleccionar este dispositivo. A continuación se presentan las características por las que se decidió trabajar con este integrado en particular:

- Tecnología MicroPower de ultra bajo consumo.
- Requiere solo entre 50 y 500 μA para mantener su funcionamiento.

- Amplio rango de temperatura de operación segura (-40°C a +85°C).
- Alta sensibilidad en el motor de rastreo (de hasta 163 dBm).
- Incluye la antena incorporada.
- Ubicación rápida y de alta precisión (Maestro, 2011).

Uno de los factores mas decisivos para seleccionar el receptor Maestro fue que la antena ya viene diseñada e integrada, siendo esta la parte mas importante del receptor. Básicamente no importa el peso de su receptor, cuántos canales tiene o la corriente mínima de funcionamiento; si la antena no puede detectar las señales de los satélites, el integrado no tiene mayor utilidad porque nunca tendrá la manera de calcular su posición .

Para comprobar el buen funcionamiento del A2035 se diseñó una PCB que permite realizar la lectura de este componente. La Figura 18 muestra el esquemático implementado para la RTU, donde se observan las conexiones que se realizaron entre microcontrolador y receptor GPS. La prueba de verificación de funcionamiento del A2035 consistió en realizar una serie de funciones en el microcontrolador que se encargan de filtrar la información enviada por la trama NMEA y por una salida serial del microcontrolador, se logra observar los valores del filtro de la trama.

Además se realizaron pruebas en un campo descubierto y bajo las condiciones a las que estará sometido el receptor y antena, comprobando que constantemente el receptor obtenía las señales enviadas por los satélites y que no se tenía la necesidad de moverse por los alrededores y esperar a que cambiara la geometría de los satélites para poder obtener la posición.

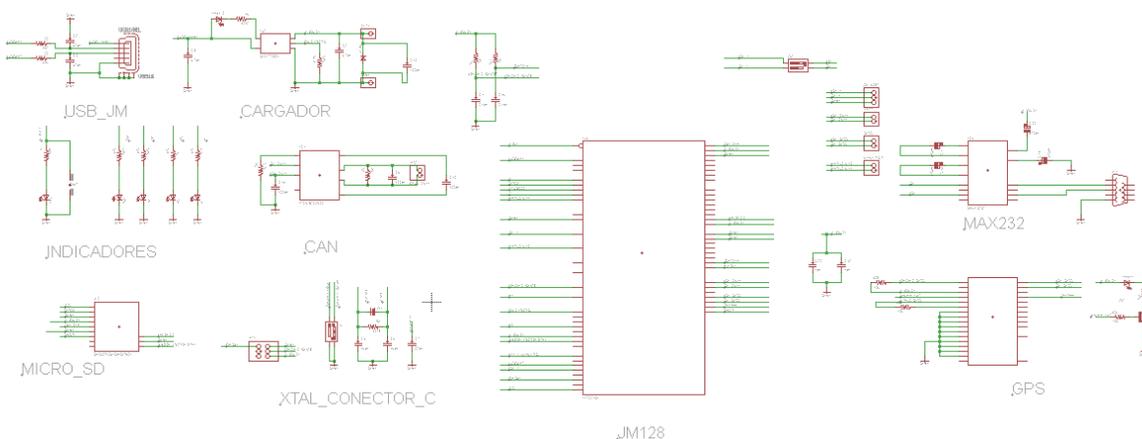


Figura 18. Diseño final RTU

Si la indicación de la posición constituye la función básica de cualquier receptor GPS, todo receptor proporciona diversas informaciones que pueden ser de gran utilidad dependiendo de la aplicación. A continuación se dará una breve descripción de las variables de interés para el trabajo de grado.

2.5.1 Posición

Para poder ubicar cualquier coordenada en la tierra, se hace necesario hacer uso de las coordenadas geográficas que son un sistema de referencia manejado desde 1884, el cual utiliza dos coordenadas angulares latitud y longitud. La primera coordenada mide el ángulo entre cualquier punto y el Ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto y considerando que todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo (líneas de latitud) tienen la misma latitud (Mathematics Dictionary), los cuales son diferenciados por la longitud, esta coordenada mide el ángulo a lo largo del Ecuador desde cualquier punto de la tierra, aceptando que el *Greenwich* es la longitud 0 y considerando que las líneas de longitud son círculos máximos que pasan por los polos y se llaman meridianos (Mathematics Dictionary.) (Lethman, GPS fácil, uso del sistema de posicionamiento global, 2001).

Combinando estos dos ángulos, se puede expresar la posición de cualquier punto de la superficie de la Tierra. Estas coordenadas se suelen expresar en grados sexagesimales, pero el receptor A2035 entrega la información de la siguiente manera:

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

Donde 4807.038,N es la latitud con el siguiente formato 48° 07.038' N y 01131.000,E es la longitud con el siguiente formato 11° 31.000' E

Recomendación :

- Teniendo todos los puntos del trayecto que realizará el Logan en una viaje, se pueden realizar cálculos de direcciones o rumbo, dicho cálculo puede ayudar en el estudio de desempeño del vehículo, para determinar causas de falla de alguno de los sistemas que tiene el carro.

2.5.2 Altitud

Los GPS suelen funcionar en tres dimensiones, es decir, que la situación también proporciona la altitud. Varios receptores también funcionan en la modalidad de 2D con una altitud fija, por ejemplo a nivel del mar. Esta modalidad permite al receptor proporcionar una posición cuando solo hay tres satélites visibles. Conviene saber que cualquier cambio de altitud en la modalidad 2D causaría un error en la posición que puede ser varias veces superior al error de altitud.

El receptor A2035 entrega la información de esta variable de la siguiente manera:

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

Dónde 545.4,M es la altitud en metros, sobre el nivel del mar.

2.5.3 Hora

Esta variable es de gran importancia para poder determinar el tiempo de una prueba del vehículo, el receptor A2035 entrega la información de esta variable de la siguiente manera:

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

Donde 123519 es la hora en formato UTC12:35:19

2.5.4 Velocidad

El receptor mide el tiempo y la distancia entre el punto en el que éste estaba unos segundos antes y el actual y lo divide por el tiempo, para obtener la velocidad. Hay dos maneras distintas de medir la velocidad:

- Velocidad base(speed over ground)
- Velocidad efectiva (velocity made good).

La velocidad (SOG) o velocidad base indica la velocidad que usted está haciendo en cada momento, sin tener en cuenta si está o no sobre su rumbo. Por tanto, es una medida de la velocidad, sin tener en cuenta la dirección. Se puede adquirir con la trama \$GPVTG pero el receptor usado no arroja dicha trama, aun así, se tienen los datos de tiempo y posición y simplemente bastaría con realizar un cálculo sencillo para determinar la velocidad en una trayectoria.

La precisión de las señales varía con el tiempo, de manera que algunos receptores le indicarán que usted se está moviendo lentamente, cuando en realidad está quieto. A velocidades lentas, simplemente ignore las fluctuaciones. Las altas velocidades se miden con mayor exactitud porque las variaciones son una proporción menor dentro de las

distancia recorrida.

Recomendación :

- Calcular la velocidad promedio le indicará lo rápido que realmente va en una zona de mucho tráfico. No es lo mismo que la velocidad efectiva SOG. Esta es la velocidad en cada momento. Si la velocidad SOG cambiara instantáneamente, la velocidad media dividiría la distancia recorrida por el intervalo de tiempo invertido. Por lo tanto acelerar repentinamente no afectaría la velocidad media, sino que empezaría a aumentar paulatinamente.

CAPÍTULO 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE PARA EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Luego de seleccionar las variables críticas para evaluar el desempeño del vehículo y de conocer los sensores encargados de transformar las magnitudes físicas en variables eléctricas, fue necesario diseñar una tarjeta electrónica que se encargue de interpretar estas variables. Posterior a esta tarea se vio la necesidad de trabajar con una tarjeta de desarrollo de la empresa Muzca que tiene la función de realizar el envío de la información de manera inalámbrica a un punto donde el usuario final de prototipo, tenga la posibilidad de realizar la lectura rápida y ágil de estas. Para seguir con la misma notación del sistema SCADA del capítulo 1 de este libro, la PCB encargada de realizar la lectura de las variables del capítulo 2 se llama RTU y la otra tarjeta tiene el nombre de MTU

En el presente capítulo se muestran las secciones indispensables para implementar el sistema de telemetría, profundizando en los más importantes criterios de diseño y selección empleados para la RTU y MTU.

3.1 Diseño e implementación RTU

Para el diseño de la RTU se vio la necesidad de integrar en una sola tarjeta electrónica un sistema capaz de leer un BUS-CAN que transportara la información actual de los sensores, además de tener la función de interpretar la información por comunicación serial que se recibe del receptor GPS y de enviar datos por serial a la MTU de las variables a las que se les va a realizar el monitoreo a distancia. En las figuras 19 y 20 se observa unos bosquejos generales de las partes que conforma la RTU.

Se vio la necesidad de desarrollar un prototipo fácil de manipular y ubicar en el Logan, por esta razón, se optó por trabajar con el menor tamaño posible de una tarjeta electrónica. Además se trabajó con componentes de montaje superficial debido a que ocupan muy poco espacio en una PCB y su comportamiento en frecuencia suele ser mejor que los componente *Through Hole*.

Es importante mencionar la importación en la adquisición de la gran mayoría de componentes que contiene la RTU, debido a la poca oferta que se tiene en el mercado local y nacional de dispositivos de montaje superficial, facilitando las opciones de trabajar con una amplia gama de elementos, por ello la selección de componentes fue una de las tareas principales en el diseño de la RTU, ya que se debieron tener en cuenta factores como función, desempeño, disponibilidad y tamaño del dispositivo.

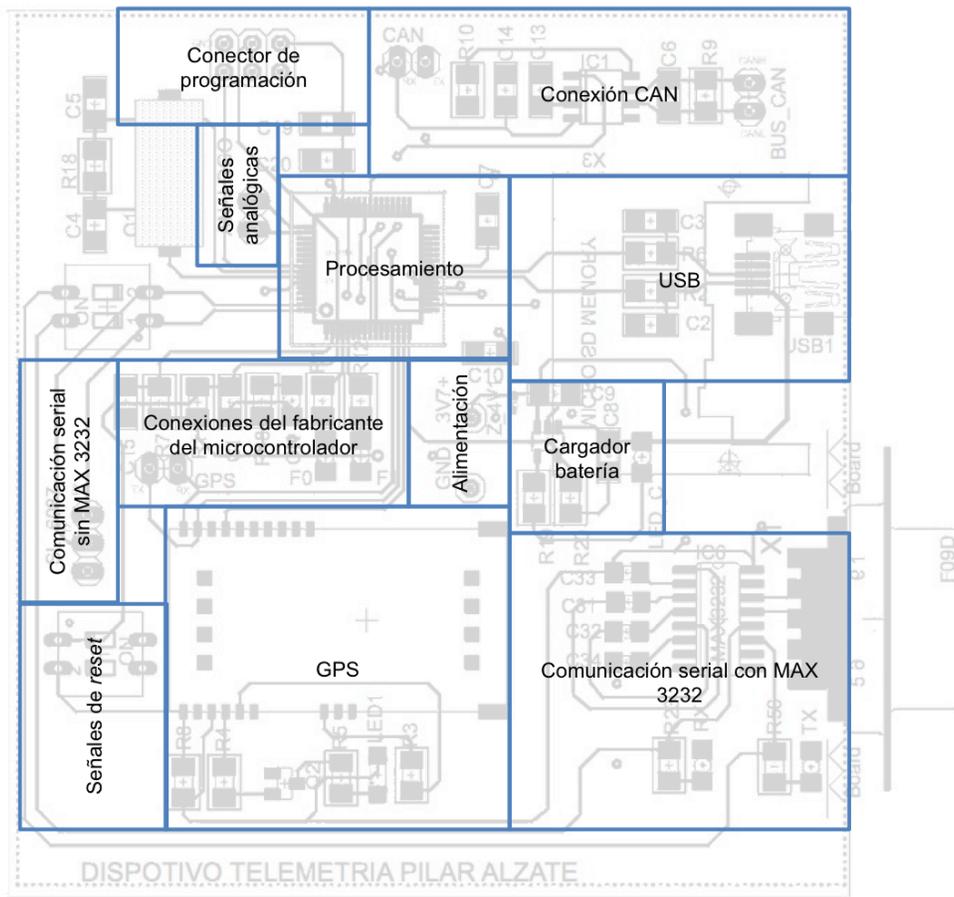


Figura 19. Distribución de componentes de la RTU capa TOP

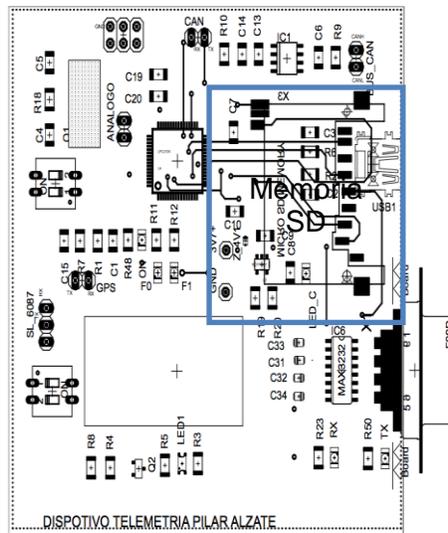


Figura 20. Distribución de componentes de la RTU capa BOTTOM

A continuación se presenta las partes funcionales de la RTU resaltando los detalles más importantes de cada sección y mostrando finalmente el diseño implementado para esta parte del sistema de telemetría.

3.1.1 Microcontrolador, como unidad de procesamiento principal.

Es una de las partes fundamentales de todo el proyecto, debido a que este circuito integrado programable funciona como centro de procesamiento y sobre este recae la responsabilidad de efectuar las órdenes almacenadas en memoria (Santamaría, 1993). Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen tareas específicas como almacenamiento de información, unidad central de procesamiento y módulos de entrada y salida. Se buscó por tanto, contar con un microcontrolador con soporte comunicación CAN para los datos enviados por los sensores, SCI para establecer comunicación con el módulo A2035 y MTU y SPI para poder almacenar datos en una memoria SD.

Se opta por trabajar con el microcontrolador freescale MCF51JM128VQH de 32 bits de la familia ColdFire V1, debido a que cumple con las exigencias requeridas por la aplicación, además cuenta con características como memoria flash para programación de 128 kB, memoria RAM de 16 kB para contener rutinas o funciones establecidas, puede ser alimentado con un voltaje entre 2.7 V y 5.5 V, cuenta con 12 canales para realizar conversiones ADC de 12 bits, 51 puertos de entrada y salida de propósito general, encapsulado LQFP de 64 pines, posibilidad de realizar *debug* en tiempo real sin afectar el desempeño del microcontrolador, entre otras como características principales (Freescale, 2004). La Figura 21 muestra la distribución de pines y las funciones principales del componente.

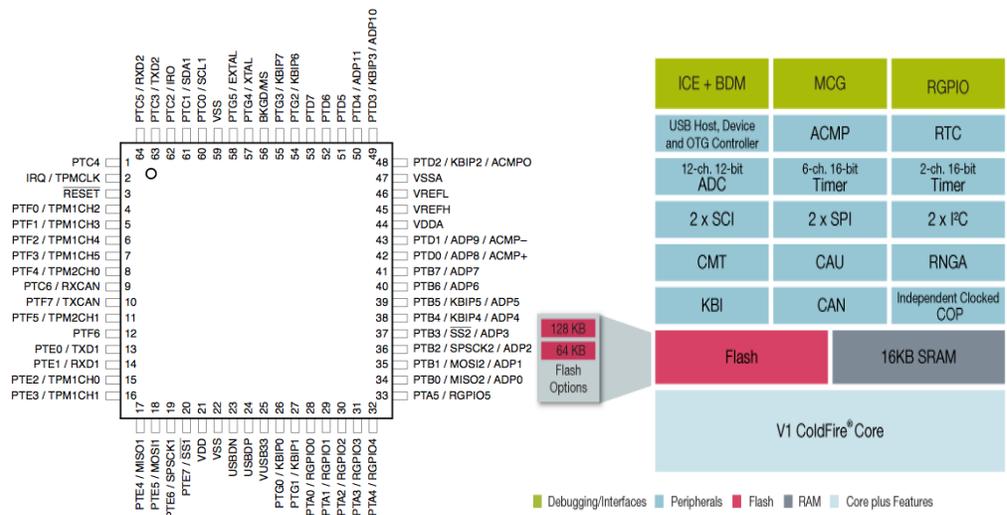


Figura 21. MCF51JM128 (Freescale, 2004).

3.1.2 Voltaje de operación

Debido a que se pensó trabajar con una unidad RTU portable, se opta por emplear un sistema propio para el suministro de la potencia requerida por esta tarjeta electrónica en particular, además para que fuera lo más independiente posible de las condiciones externas que la rodean, que pueden generar interferencias electromagnéticas que afecten el buen funcionamiento de toda la unidad. Otra de las ventajas de tener una alimentación independiente a los demás sistemas del vehículo es que la ubicación del dispositivo no está limitada; puede ser instalado en cualquier punto del vehículo sin mayores restricciones de una ubicación en particular.

Luego de determinar que la alimentación de la tarjeta se iba a realizar con una batería se define el voltaje al que operarían todos los elementos que conformaban la RTU. Para ello se necesitó conocer de antemano las características eléctricas de cada uno de los circuitos integrados que la conforman, encontrando de esta forma que la gran mayoría operaba en un rango de voltaje de 3.3 V - 5 V. Se tomó la decisión de trabajar con un voltaje de 3.7 V ya que es el valor más comercial en el mercado y cumple con las necesidades de los componentes, evitando de esta manera implementar elevadores de voltajes por si se debía trabajar con 5 V.

Otro parámetro importante para seleccionar la batería fue determinar la capacidad de carga que puede almacenar el elemento, el cual se mide en miliamperios-hora(mAh). Esta unidad indica carga eléctrica en miliamperios que puede almacenar la batería en una

hora; entre mas carga eléctrica almacenada, más tiempo se demorar el dispositivo en descargarse. La batería cuenta con una capacidad de carga de 1000 mAh.

Por último fue necesario determinar el tipo de naturaleza interna de la batería. La batería usada es de ion de litio o Li-ion la cual utiliza un ánodo de grafito y un cátodo de oxido de cobalto, trigilina u oxido de manganeso. Fueron descartadas las tecnologías de Plomo-Acido, Niquel-Cadmio o polimero de litio debido a su peso, su baja densidad energética o las altas tasas de descarga interna que desfavorecieran la vida útil del dispositivo.

3.1.3 Comunicación serial con MTU

Para poder interactuar con la terminal MTU se debe implementar una comunicación serial entre ambas terminales, por esta razón se vio la necesidad de utilizar una interfaz de transmisión y recepción para las señales RX y TX, por ello se trabajó con el circuito integrado MAX3232, que convierte las señales del puerto serial RS-232 a niveles compatibles con los niveles TTL. La importancia de este integrado radica en que las entradas por el puerto RS-232 pueden llevar a valores de ± 12 V y este componente lo convierte a un nivel estandar de 3.3 V de la lógica TTL.

El dispositivo requiere de 4 condensadores cerámicos de $0,1 \mu\text{F}$ y funciona a una velocidad de datos de 120 kbps, manteniendo los niveles de salidad del RS-232. En la Figura 22 se observa las distribución de pines y las conexiones mínimas solicitadas por el fabricante.

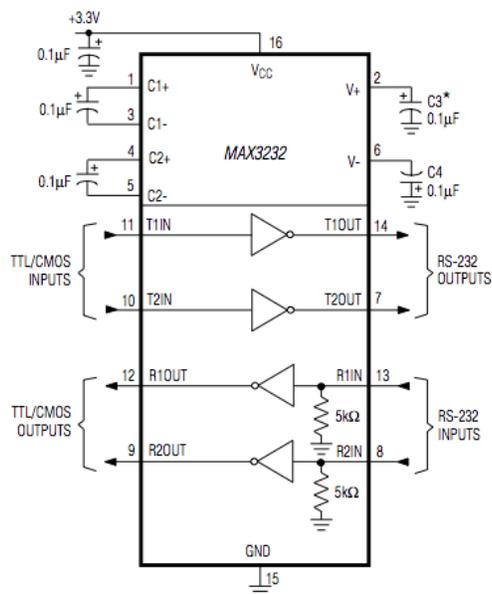


Figura 22. Circuito de funcionamiento tipo para MAX3232

3.1.4 CAN BUS

Se considero importante implementar una red CAN-BUS, porque fue la solución más viable para la transmisión de todos los sensores entre cada una de las PCBs de ellos y la RTU. La ventaja de este método es que genera un sistema de identificación de los datos transmitidos, definiendo el contenido del mensaje y su prioridad. Además cuenta con bajo porcentaje de error dada la verificación continua de la información enviada por este BUS. Se necesita menos cables de señal debido al uso multiple de una misma señal para varias terminales en red y como el CAN-BUS está normalizado por la ISO11898, las unidades de control de diferentes fabricantes pueden intercambiar datos entre si; solamente se necesitan modificaciones en el software.

Para la transmisión de información se contará con un par de cables trenzados denominados CAN-High para señales de nivel alto y CAN-Low para señales de bajo nivel, los cuales enviarán los datos. Este tipo de comunicación transmite los datos en forma de señales eléctricas y bidireccional. La RTU cuenta con el integrado MPC2551 conocido como *transceiver* CAN, el cual tiene la función de transformar los datos del microcontrolador en señales eléctricas y las transfiere a los cables del BUS. Igualmente, recibe señales eléctricas del BUS, las transforma en datos y los transfiere al microcontrolador. El *transceiver* está conformado por un receptor que trabaja como amplificador diferencial integrado, el cual asume la función de analizar las señales de las líneas CANH y CANL y retransmitirlas al microcontrolado. Para que este pueda realizar el procesamiento de la señal, la tensión de salida del amplificador se obtiene restando la tensión de la línea CANL con la línea CANH, tal y como se observa en la Figura 23.

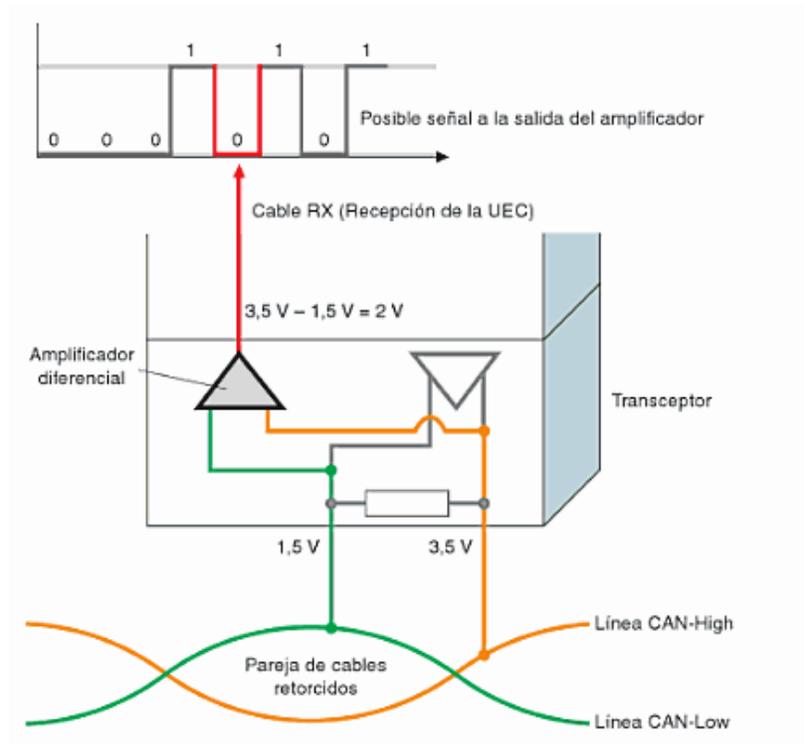


Figura 23. Funcionamiento *transceiver* CAN (Evaristo, 2006)

Otras de las características más destacables que tiene el MPC 2551 y por las que se decidió trabajar con este componente fue su capacidad de soportar una operación de 1 Mb/s, de tener detección de falla a tierra en la entrada de transmisión del integrado, cuenta con protección contra algún daño de cortocircuito, transitorios de alto voltaje y una protección de apagado térmico automático (Microchip, 2003).

3.1.5 Adicionales

Se vio pertinente dejar en la RTU conexiones que en un futuro pueden ser de gran utilidad; como adicionales la termina cuenta con un conector para 2 señales analógicas A10 y A11 del microcontrolador, esto con el fin de agregar dos sensores adicionales al módulo y que solamente sea realizar cambios en el *software* y que no se tenga que volver a retomar esta etapa de diseño la cual demanda un tiempo.

Otra característica adicional que tiene la tarjeta es que cuenta con un *dip-switch* de dos posiciones, esto con el fin de poder determinar si la comunicación por serial enviada y

recibida por la RTU se puede realizar con o sin MAX3232. Esto permite que la RTU se pueda conectar con diferentes tipos de MTU; por ejemplo, si se desea conectar la RTU a la tarjeta de desarrollo que contiene un SL6087, se debe establecer la comunicación desde la RTU sin MAX3232, porque la MTU cuenta con este dispositivo para interpretar cualquier señal del exterior con estas características, pero si se desea conectar la RTU a una tarjeta electrónica que contenga un WMP100, se debe establecer la comunicación con MAX3232.

La RTU cuenta con un conector para una memoria SD, permitiendo que en una próxima modificación de funciones por parte de esta terminal, se pueda guardar constantemente las variables, implementado una comunicación SPI para dicha labor y ante algún fallo por parte de la MTU en el envío de la información a la base de datos, se pueda recuperar la información, logrando de esta manera que no se pierdan datos valiosos en el estudio que se esté realizando en el momento con el sistema de telemetría.

Por último se tuvo en cuenta como otro adicional en el diseño de la RTU un sistema de carga para la batería de litio, el cual tiene la función de suministrar corriente a dicho componente. En el medio se cuenta con una amplia gama de dispositivos capaces de cargar este tipo de baterías, se escogió el circuito integrado MCP73831 de la empresa Microchip debido a que requiere pocos componentes externos para su funcionamiento. Este componente electrónico es capaz de suministrar hasta 500 mA haciéndolo ideal para aplicaciones con USB. Además se consideró implementar un sistema de carga lento con el fin de que la ruptura de enlaces químicos no tenga cambios muy abruptos que afecten la vida útil de la batería. El circuito implementado se basa en la recomendación que da el fabricante en la hoja de datos del dispositivo, con la diferencia que se conecta a la señal de *enable* del cargador la señal del microcontrolador BAT_PROG con el fin de interactuar con el microcontrolador y deshabilitar la carga del de la RTU hasta que no se encuentren debidamente configuradas las conexiones por el puerto USB.

3.1.6 Implementación del *Hardware*

Después de haber determinado los componentes que conservaría la tarjeta electrónica, se procedió a la implementación de los circuitos sugeridos por cada uno de los fabricantes y de las conexiones adicionales. Para ello se trabajó con el programa de la empresa CadSoft llamado EAGLE (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*), donde se pueden elaborar diseños de PCBs. La primera etapa consistió en realizar el plano eléctrico de dichas conexiones en un archivo con extensión .sch y luego se procedió a generar un archivo .brd donde se hacen las distribuciones e interconexiones físicas que quedaron en

la tarjeta electrónica final.

Uno de los pasos mas importantes de esta actividad fue determinar la ubicación física de cada elemento, ya que se debe evitar al máximo interferencias electromagnéticas dentro del mismo circuito, esto se logra con una adecuada distribución de componentes en la tarjeta. Primero se tuvo presente generar planos de tierras en las dos capas de la PCB y luego el *software* se encargaba de conectar los elementos a dichos planos. Posterior a ello se consideró segregar todas las señales digitales o alta frecuencia de los elementos análogos, evitando y minimizando ruido irradiado o conducido. Así mismo como norma general se adiciona un capacitor de baja denominación a los dispositivos activos para desacoplar el ruido que estos generan y minimizar el que reciben.

Luego se realiza el enrutamiento de la PCB. Para verificar que las conexiones fueron las adecuadas se hizo uso de las herramientas del programa, donde se le configuraba la distancia mínima entre los caminos de cobre, el grosor de estos, diámetro de huecos, entre otros, y el software determinaba cuando se estaba incumpliendo alguna regla en particular. Finalizado el proceso de verificación se logra comprobar que la PCB cumple con los requisitos mínimos de distancias y grosores sugeridos por la empresa dedicada a la fabricación de circuitos impresos.

En la Figura 24 se muestra la distribución final que se realiza en el programa de EAGLE de componentes de la RTU; en la que si se realiza una comparación con las Figuras 19 y 20, se distingue la agrupación de la sección analógica y las señales digitales, se puede observar la posición definitiva de cada uno de los elementos, los caminos de cobre y los *pads* y las vías que unen ambas caras de la terminal.

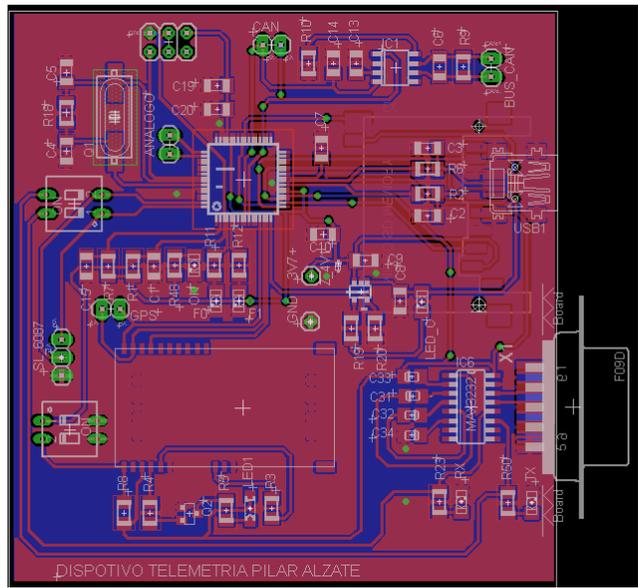


Figura 24. Implementación *Hardware* RTU programa EAGLE

Fueron dos empresas las que intervinieron en la elaboración de esta terminal. Colcircuitos fue la encargada de fabricar la tarjeta en fibra de vidrio con dos láminas de cobre, una capa para todas las conexiones eléctricas de los componentes como caminos de cobre y otra capa para componentes adicionales y/o conexiones que no fueron posibles de realizar en la otra capa. Productronika fue la encargada de soldar la mayoría de los componentes. En la Figura 25 se puede observar el resultado final del diseño.



Figura 25. RTU implementada

3.2 Características MTU

Tal y como se menciona en el primer capítulo de este libro, la MTU es la unidad encargada de enviar los datos que tiene el sistema a una base de datos por medio de GPRS. Para ello el Laboratorio de Eléctrica y Electrónica facilita 2 herramientas de desarrollo de la empresa Muzca que cumplen con las necesidades del proyecto: AVL-SLXM-SW SL6087/XM0110 y Q64EV. Estas herramientas cuentan con la ventaja de tener integrado módulos embebidos de la empresa Sierra Wireless, los cuales tienen estandarizado su lenguaje de programación llamado OPEN AT .

El conjunto de comandos AT (*attention*) es un lenguaje desarrollado por Dennis Hayes en 1977, como interfaz de comunicación entre un modem celular y el programador, para poder proporcionarle instrucciones que permiten realizar llamadas de datos o de voz, enviar mensajes SMS, leer y escribir en la agenda de contactos. Además de muchas otras opciones de configuración de las cuales se hicieron uso para este trabajo de grado y de las cuales se hablará en el próximo capítulo .

3.2.1 Tarjeta de desarrollo SL6087

Como no se tenía ninguna experiencia con los equipos de la empresa de Sierra Wireless se comenzó a realizar una búsqueda preliminar de toda la documentación relacionada con este componente en particular. Se crearon cuentas en la página de la empresa para poder descargar el software que permite programar el componente. Pero se presenta un conflicto con las versiones del sistema operativo tanto del Developer Studio como el que tenía el SL6087, presentándose el primer retraso del proyecto, debido a que en el tiempo de la falla, la ayuda que daba Sierra Wireless para resolver este problema era muy poca. Ya que ni en los foros se indicaban los pasos a seguir para actualizar el *firmware* del SL6087, se requirió de la asesoría del personal de la sucursal de Sierra Wireless en Bogotá, que se encontraban en la ciudad de Medellín presentando sus herramientas Escuela de Ingeniería de Antioquia.

Luego de solucionar este problema, se procede a ejecutar una serie de proyectos con lenguaje de programación C que traen como ejemplo el software. Se implementa con la tarjeta de desarrollo proyectos relacionados con el envío en consola de la palabra "Hello World" hasta el envío de mensajes de texto a diversos números telefónicos. Aunque la tarjeta funcionaba correctamente para estos primeros proyectos con un grado de complejidad menor, se llegó a un punto donde se requería exigirle un poco más a la tarjeta para comenzar a trabajar con las funciones que realmente se requerían.

Se comienza una nueva etapa de programación con la MTU, se inicia el trabajar con el proyecto que interactuaba con el receptor GPS XM0110, pero nuevamente se evidenció otro retraso debido a que la terminal no realiza las tareas finales en consola especificadas por el Developer Studio. Se vio la necesidad de intervenir cada uno de los archivos con extensión .c y .h, generar eventos como TRACE para determinar el estado del programa, debido a que nunca se logra colocar en funcionamiento la herramienta de DEBUG que tenía el software. Luego de reiterados intentos en el software y del análisis del hardware implementado en el kit de desarrollo del SL6087 que duraron por más de 5 meses, se detectó que los proyectos de ejemplo que tiene el Developer Studio relacionados con el módulo XM0110 están diseñados para que funcionen adecuadamente con una tarjeta de desarrollo llamada *Air prime XM0110 Development Kit Daughter Board*. Esta cuenta con unas conexiones de gran importancia de GPIO que se encuentran deshabilitadas en la tarjeta que contiene el SL6087. A pesar de que se invierte mucho tiempo para lograr trabajar con este receptor GPS, no se obtuvieron los resultados esperados, tomando la decisión de trabajar con un módulo receptor GPS de la empresa Maestro, del cual ya se habló en capítulos anteriores.

La última etapa de programación con este kit de desarrollo esta relacionada con la implementación del envío de datos hacia una IP de prueba, mediante el sistema de comunicación TCP, del cual se hablará con más detalle en el próximo capítulo. En primera instancia se trabaja con el proyecto de ejemplo que tenía el Developer Studio, pero aunque en la consola de TRACE se observa mensajes que indicaban la escritura del dato a la dirección IP configurada, nunca se vio la recepción de dicho mensaje y por más intentos que se realizaron en el programa no se obtuvieron resultados satisfactorios.

Debido a los problemas mencionados anteriormente, se tomó en consideración programar la MTU por comunicación serial y así eliminar cualquier posibilidad de error en el proyecto implementado en C, esto con el fin de generar la programación más sencilla posible mediante el envío de comandos AT. Al ver que tampoco funcionaba el envío de datos a la dirección IP predeterminada, se procedió a trabajar con diferentes operadores de celular Claro, Tigo y Uff sin obtener resultados satisfactorios.

Durante esta etapa el Grupo Invertrónica organizó un evento técnico donde se enseñó a manejar el entorno de programación del Developer Studio y se tuvo la oportunidad de trabajar con un kit de desarrollo de la empresa de Colcircuitos. Pero lo más importante de la experiencia es que en dicha jornada se tuvo una asesoría con uno de los ingenieros de desarrollo de la empresa Sierra Wireless que vino del exterior y nos prestó su asesoría con dicho problema, logrando la recepción de datos a la dirección IP con una tarjeta de desarrollo diferente. Considerando nuevamente la revisión del Hardware de la tarjeta para

verificar que no faltaran conexiones de GPIO como paso con el módulo receptor GPS. Durante dicha revisión se encontraron problemas con señales indispensables para el control de datos enviados por el protocolo TCP, debido a que según los datos del fabricante de la tarjeta, se debía garantizar ciertos niveles de voltaje que no se estaban cumpliendo para el buen funcionamiento de este protocolo. A pesar de algunos cambios de *hardware* implementados en la tarjeta, no se obtuvieron los resultados esperados, optando por cambiar de unidad MTU, debido a todos los problemas evidenciados con esta tarjeta de desarrollo.

3.2.2 Tarjeta de desarrollo WMP100

Se procede a trabajar con la tarjeta de desarrollo Q64EV que cuenta con un módulo WMP100 para establecer la comunicación con GPRS. La etapa de programación inicia desde lo más básico que fue la verificación del funcionamiento de la tarjeta mediante el envío de comando AT para establecer el envío de mensajes de texto a cualquier número telefónico.

Luego se retoman las transmisiones de datos por TCP, pero aún no se obtenía la recepción de la información a pesar de que se contaban con los niveles de voltaje necesarios para la implementación de este tipo de comunicación. Se retomó la idea de cambiar de operador de Uff a Movistar, obteniendo finalmente la recepción de datos en la IP.

Luego de comprobar el buen funcionamiento del kit de desarrollo para el envío de datos por TCP, se decidió trabajar con el Q64EV como unidad MTU. La herramienta Q64EV de MUZCA está desarrollada para trabajar con cuatro bandas EGSM/GPRS en el rango de los 900 a 1800 MHz. La herramienta se concibe con la filosofía del más bajo costo y está orientada a aplicaciones como enseñanza en cursos de telecomunicaciones inalámbricas, sistemas de comunicación celular o fabricantes OEM (*Owner Equipment Manufacturer*). Las características del kit de desarrollo son las siguientes:

- Bandas de comunicación GSM/GPRS 850/1900 y 900/1800 ambas a un voltaje de 3.6 V .
- Con dos tipos posibles de alimentación, la primera de 6 a 12 V_{CD} a 2 A o una segunda opción con dos celdas de 1.2 VCD, con capacidad de 1800 mAh.
- Comunicación por serial RS232 con las siguientes características 115200 *baud*, *data size* en 8 y sin paridad.
- Conector de audio de 4 pines para implementar para la conexión de un auricular y un micrófono.

- Tarjeta chip para SIM Card.
- Módulo blindado completamente y con la capacidad de hardware para manejo de GPRS.
- 14 pines I/O de propósito general.
- Visualización de LEDs del estado de la alimentación, el BUZZER y estado del Modem WMP100.
- Pulsador de encendido y apagado del kit de desarrollo.

En la Figura 26 se puede observar la MTU implementada para este trabajo de grado, donde se pueden reconocer a primera vista parte de todos lo elementos mencionados anteriormente.



Figura 26. MTU utilizada

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

Aunque la implementación del *hardware* fue una de las etapas más demandantes en tiempo, ninguno de estos sistemas funcionaría sin las rutinas y tareas programadas para implementar el monitoreo a distancia de las variables del Logan. Para el trabajo de grado, se programa la RTU en un entorno de desarrollo para codificarla y compilar las tareas especificadas. Por esta razón el fabricante de la unidad de procesamiento de esta tarjeta electrónica proporciona el software de desarrollo CodeWarrior® que permite la programación en lenguaje C, C++ y assembler junto con el dispositivo programador que es lo único necesario para llevar el código al microcontrolador y realizar el debug. Las tareas que se mencionan a continuación se desarrollaron en el lenguaje de programación C, implementando funciones que faciliten el trabajo.

En este capítulo se describe en detalle el software implementado para cada uno de los cuatro subprocesos más relevantes del sistema de telemetría, explicando en términos generales la interacción con los diferentes sensores, el manejo y procesamiento de estas señales de interés a la base de datos del prototipo.

4.1 Captura de datos BUS-CAN

Como se menciona en el segundo capítulo, cada sensor al que se le va a realizar monitoreo cuenta con un microcontrolador encargado de realizar la lectura del voltaje análogo de este dispositivo y luego de procesar esta señal se envían los datos a un BUS-CAN, el cual transporta toda la información de todas las variables a las que se les va a realizar monitoreo. Esta etapa fue implementada por la autora y otro equipo de trabajo, desde la selección del sensor, diseño de PCBs, ensamble final de cada tarjeta con cada uno de los componentes y la respectiva programación.

La RTU se encarga realizar la captura del dato del BUS-CAN siguiendo cada uno de los procedimientos descritos en el diagrama de flujo que se encuentra en la Figura 27. En la Tabla 3 se puede observar cada uno de los registros configurados para la inicialización del CAN con una breve descripción de lo que hace cada registro y en la Tabla 4 se observan los registros utilizados para realizar la captura del dato.

Tabla 3 Registros configurados para la inicialización de las lecturas del BUS-CAN

Registro	Descripción
CANCTL0 = 0x01;	Habilita modo de configuración, estado de sincronismo y estado activo de recepción. Deshabilita Wake-up, Time stamping
CANBTR0 = 0xC7;	Define un CAN Clock Prescaler de 7 y SJW = 3
CANBTR1 = 0x3A;	Define TSEG1 de 10 y TSEG2 de 3
CANIDAC = 0x10;	Define cuatro filtros de 16 bits
CANIDAR0 = ACC_CODE_ID100_HIGH; CANIDAR1 = ACC_CODE_ID100_LOW;	Configura el Filtro 0, con ID 0x100 y que acepte los datos con formato estandar
CANIDMR0 = MASK_CODE_ST_ID_HIGH; CANIDMR1 = MASK_CODE_ST_ID_LOW;	
CANIDAR2 = 0x00; CANIDAR3 = 0x00; CANIDMR2 = MASK_CODE_ST_ID_HIGH;	Configura el Filtro 1, con ID 0x000 y que acepte los datos con formato estandar
CANIDMR3 = MASK_CODE_ST_ID_LOW;	
CANIDAR4 = 0x00; CANIDAR5 = 0x00; CANIDMR4 = MASK_CODE_ST_ID_HIGH;	Configura el Filtro 2, con ID 0x000 y que acepte los datos con formato estandar
CANIDMR5 = MASK_CODE_ST_ID_LOW;	
CANIDAR6 = 0x00; CANIDAR7 = 0x00; CANIDMR6 = MASK_CODE_ST_ID_HIGH;	Configura el Filtro 3, con ID 0x000 y que acepte los datos con formato estandar
CANIDMR7 = MASK_CODE_ST_ID_LOW;	
CANCTL0 = 0x00;	Deshabilita modo de configuración

Tabla 4 Registros configurados para la captura de datos del BUS-CAN

Registro	Descripción
CANRDLR;	Se utiliza para guardar el tamaño del dato
CANRDSR0;	Dónde se encuentra almacenado el dato
CANRFLG = 0x01;	Limpia todas las bandera relacionadas con la actual recepción.

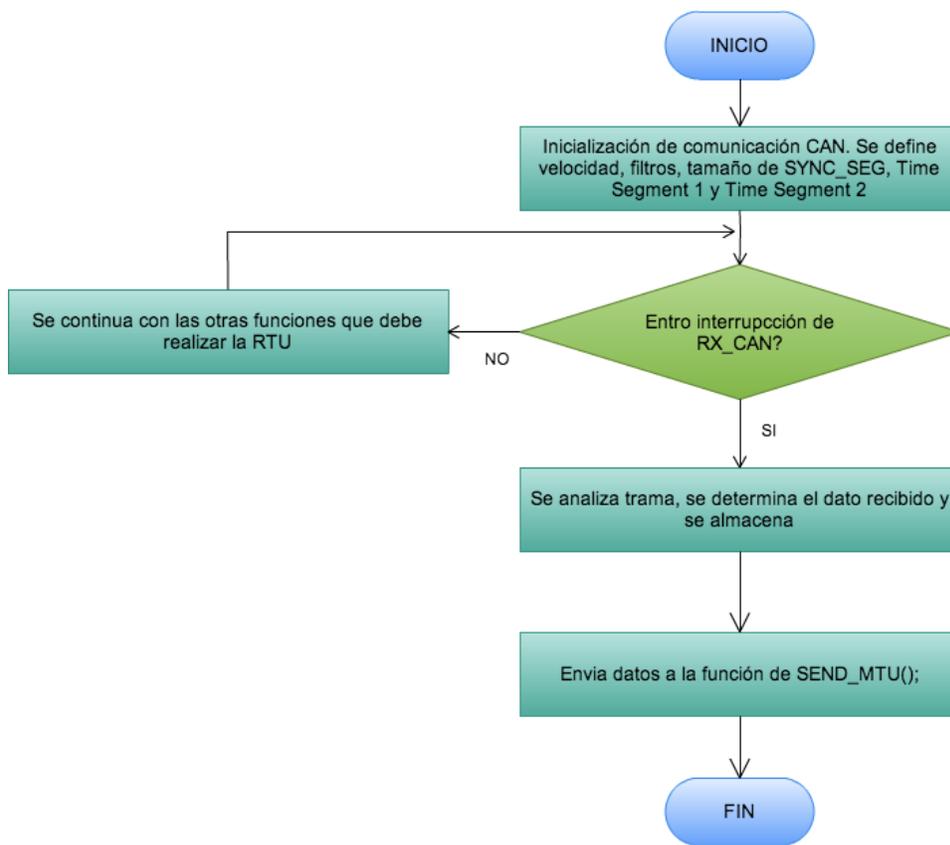


Figura 27. Diagrama de flujo para la captura de datos del BUS-CAN

4.2 Captura datos receptor GPS

Tal y como se mencionó en el segundo capítulo, se trabajó con el receptor de GPS A2035 de la empresa maestro. Dicho componente a diferencia de los sensores está integrado a la RTU y le manda los datos de posición global por comunicación serial de 4800 baud, 8 bit data y sin paridad. La RTU se encarga de realizar la captura de datos por serial

siguiendo cada uno de los procedimientos descritos en el diagrama de flujo que se encuentra en la Figura 28. En la Tabla 5 se puede observar cada uno de los registros configurados para la inicialización del serial y en la Tabla 6 se observan los registros utilizados para realizar la captura del dato.

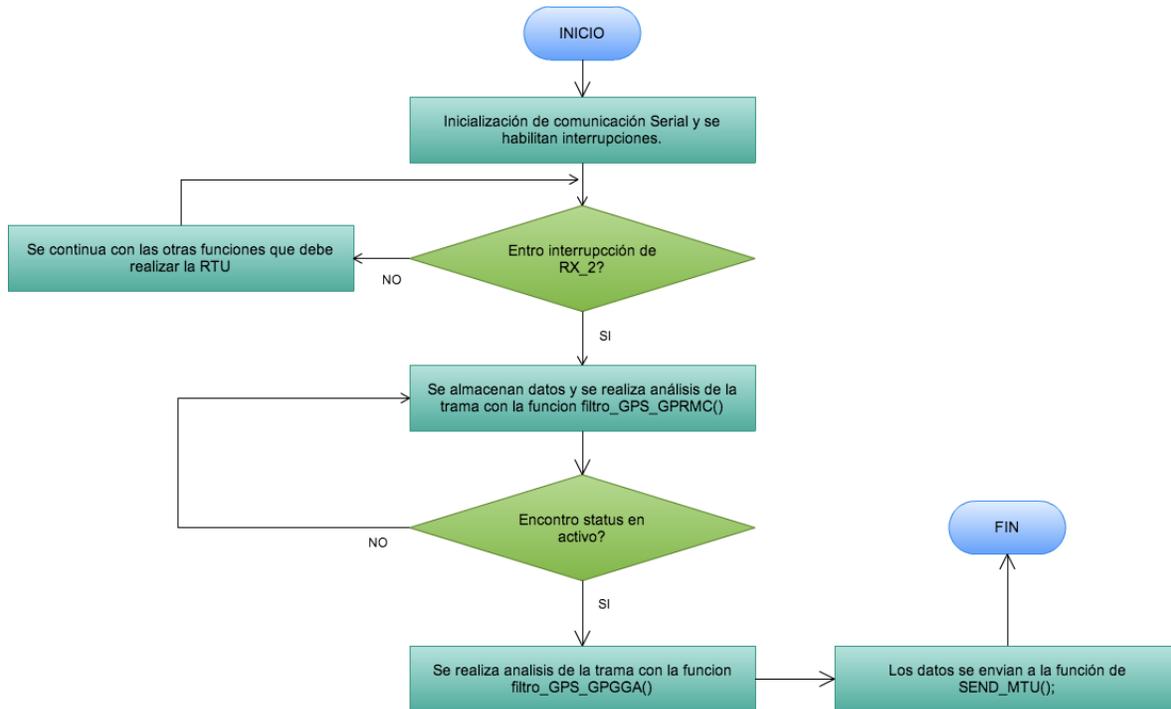


Figura 28. Diagrama de flujo para la captura de datos del receptor GPS

Tabla 5 Registros configurados para la inicialización de las lecturas del BUS-CAN

Registro	Descripción
SCI2C2 = 0x00U;	Se limpian todos los registros relacionados con la comunicación serial y mientras se realizan las configuraciones se deshabilita la recepción y transmisión de cualquier dato por serial.
SCI2S2 = 0xC0U;	Habilita banderas de recepción, define la manera como se va a leer el dato, para el caso se realiza de manera no invertida.
SCI2BDH = 0x00U; SCI2BDL = 0x0DU;	Definen la velocidad a la que se va a realizar la comunicación por serial, para este caso en particular la velocidad configurada es de 4800 baud.
SCI2C1 = 0x20U;	Configura una operación normal del envío de los datos, sin realizar

	Loopback, se define los 8 bit data y la no paridad.
SCI2C3 = 0x00U;	Habilita banderas de transmisión, define la manera como se va a leer el dato, para el caso se realiza de manera no invertida.
SCI2C2 = 0xACU;	Habilita interrupciones de transmisión y recepción de datos

Tabla 6 Registros configurados para la captura de datos del BUS-CAN

Registro	Descripción
SCI2S1;	Se realiza lectura de este registro definir SCI2S1_RDRF = 0, el cual indica que ya se tiene en memoria un registro recibido por comunicacion serial
SCI2D;	Donde se encuentra almacenado el dato

4.3 Envío comandos AT a la MTU

Para establecer conexión desde la RTU hacia la MTU también se debe implementar una comunicación serial entre ambas terminales, por esta razón se remite a la sección anterior por si se tiene alguna duda en la configuración de los registros que están relacionados con la etapa. La diferencia radica que en los registros solamente se debe cambiar la velocidad de 115200 a 4800 baud, los demás valores se conservan.

Para esta actividad en particular la RTU se encarga de configurar la MTU mediante comandos AT, que son descritos en la sección “Secuencia de comandos para enviar datos por TCP”; la función que se encarga de realizar este subproceso en la RTU envía el comando AT y espera respuesta del comando. Si se recibe un OK como respuesta por parte de la MTU se procede a enviar el siguiente comando, de lo contrario la RTU vuelve a enviar el mismo comando hasta recibir un OK como respuesta.

Otra parte fundamental para el funcionamiento del prototipo final es la manera como llega la información de los sensores a la base de dato, por esta razón en la siguiente sección se explica de manera muy general, pero clara el funcionamiento del protocolo TCP.

4.3.1 Comunicación TCP

TCP o *Transmission Control Protocol*, es un protocolo que surge a mediados de los años 70s, con el fin de garantizar la transferencia de datos de manera correcta y confiable se hace uso de bits relacionados al ACK o CRC para realizar cálculos internos que permiten determinar cuando un dato esta corrompido o no y a pesar de que la información se encuentre fragmentada, debe llegar al destinatario en el mismo orden que es transmitida. Como contrapeso, esta función puede hacer más lenta la comunicación, pero garantiza la fiabilidad del servicio.

Este protocolo funciona bajo la metodología de cliente y servidor, donde el cliente solicita la prestación de algún servicio en particular y el servidor es el encargado de responder tal demanda. En la Figura 29 se puede observar la estructura básica del protocolo TCP.

Aplicación						
Presentación	TELNET	FTP	SNMP	SMP	DNS	HTTP
Sesión						
Transporte	TCP					
Red	IP					
Liga de Datos	802.2				X.25	LLC/SNAP
	802.3	802.5		LAPB		ATM
Física	Ethernet	Token Ring	FDDI	Línea Síncrona WAN		SONET

Figura 29. Estructura del protocolo TCP (Desconocido, 2013)

La MTU que se utilizó para el trabajo de grado, permite tener aplicaciones que se comuniquen con alguna dirección IP en particular, haciendo uso de los diferentes tipos de portadores que puede implementar para tal fin como la conexión directa con una UART, GSM, GPRS o EDGE. Esta herramienta garantiza que al crear cualquier comunicación por TCP ya sea como cliente o servidor, se pueda tener control de la congestión de los datos y recibir notificaciones ante los cambios de estado de conexión de la comunicación. Además, mediante comandos AT se puede finalizar o restablecer la conexión normalmente (Sierra Wireless, 2012). El tipo de comunicación que se estableció fue TCP-CLIENT, que permite leer o escribir un flujo de datos de manera confiable y ordenada.

4.3.2 Secuencia de comandos para enviar datos por TCP

En la Tabla 7 se puede observar la secuencia implementada para establecer una comunicación por TCP. Luego de tener resultados satisfactorios con esta configuración o envío de comandos, se procedió a implementar el método POST del protocolo HTTP (The internet society, 2004), para enviar la información de las variables de interés a una dirección que contiene un archivo PHP que se encarga de almacenar cualquier dato que llegue. A continuación se presenta un ejemplo de cómo se envían los datos por dicho método.

POST /post/rxFomularioPrueba.php HTTP/1.1

Host: telemetria-ve-pdaa.p.ht

Content-Type: application/x-www-form-urlencoded

Content-Length: 62

cedula=33345&nombre=mimi&id=2&telefono=9876543&correo=hola1.com

Tabla 7 Secuencia de comandos AT

Orden de envío del mensaje	Comando	Descripción
1	at+ifc=0,0	Habilita señales de control indispensables para el envío de datos por el protocolo TCP
2	ate0	Deshabilita el eco de los comandos enviados por serial
3	at+wipcfg=1 at+wipcfg=2,5,1	Indica se va a iniciar la configuración de la comunicación TCP
4	at+wipbr=1,6	Indica al modem que va a iniciar a configurar los datos del GPRS
5	at+wipbr=2,6,11,"internet.movistar.com.co"	Configura el APN
6	at+wipbr=4,6,0	Le indica al modem que realice las configuraciones de APN establecidas en el

		comando anterior
7	at+wipbr=3,6,15	Realiza la lectura de la IP que tiene la SIM Card
8	at+wipcreate=2,1,"31.170.165.156",80	Crea un TCP cliente hacia la dirección IP y puerto que se encuentra en el comando
9	at+wipdata=2,1,2	Indica al modem que va a iniciar el envío de datos a la IP configurada anteriormente
10	---	Envío del dato por método POST
11	AT+WIPCLOSE=2,1	Se finaliza el envío de una secuencia de datos e inmediatamente se debe seguir el paso 12 para enviar mas información a la IP
12	---	Se repite 8

4.4 Base de datos y entorno gráfico

Se vio la necesidad de adquirir un *Hosting* gratuito, para que el monitoreo pueda ser de fácil acceso en cualquier punto que se desee ver los datos de registro de los sensores del sistema, sólo basta con tener conexión a la web y ver el comportamiento en tiempo real. Una de las características más importantes que tenía el *hosting* era la posibilidad de tener acceso a una cuenta de MySQL para gestionar una serie de información por medio de bases de datos que se pueden crear con esta herramienta.

Luego de adquirir el hosting se procede a subir los archivos con extensión .php donde se tenía todo el entorno gráfico ya la adquisición de los datos por medio del método POST-HTTP. Ésta actividad se logra con el uso del software *Filezilla*, donde lo único que se tenía que diligenciar era la dirección IP y la contraseña de la página web.

Por último se vio la necesidad de implementar un entorno gráfico donde se observara el comportamiento de cada variable. Para ello se hizo uso del lenguaje de programación PHP y de librerías jgraph para obtener como producto final el resultado que se encuentra en la figura 30. Se programan rutinas sencillas, en las que se detecte datos enviados por la RTU, se almacenen en una base de datos. Luego mediante otro archivo .php se logran leer la información que se tenga en la base de datos y se grafica como se observa en la Figura 30. También se cuenta con la ventaja de poder descargar los datos en un archivo de Excel.

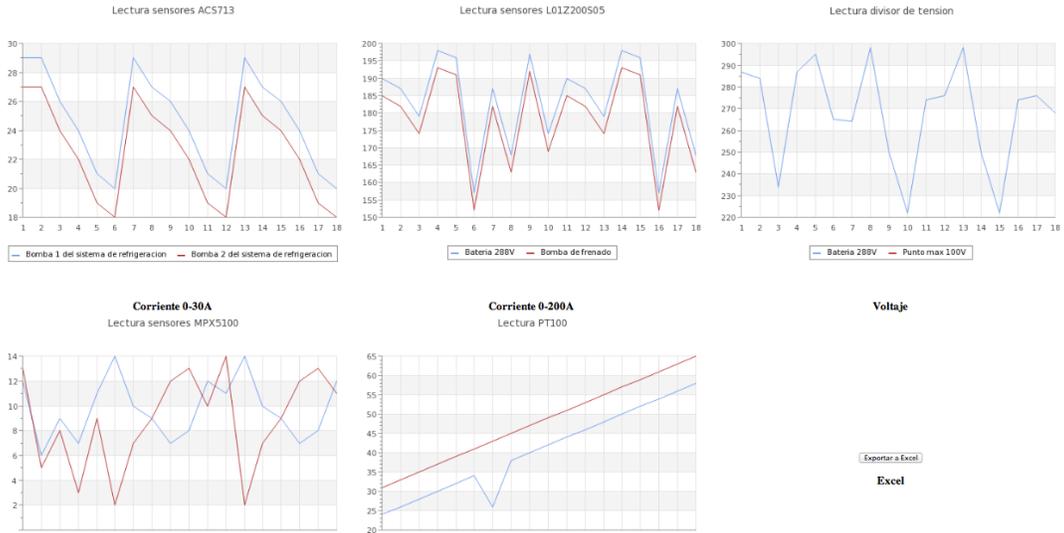


Figura 30. Entorno gráfico

CAPÍTULO 5. RESULTADOS OBTENIDOS Y RECOMENDACIÓN DE USO

Finalizada la etapa de implementación de hardware y software se procedió a realizar la evaluación de cada uno de los subprocesos, a continuación se muestran algunas de las pruebas y los resultados más importantes que garantizan el funcionamiento del sistema de telemetría.

5.1 Prueba sensores CAN

Aunque se dedicó la mayor parte del tiempo del proyecto para tener implementada la totalidad de la red de sensores para la entrega de este trabajo, no se logra realizar la prueba con la comunicaciones de los sensores seleccionados; no obstante el sistema está diseñado para que al momento de tener en funcionamiento el BUS-CAN, solo se requiera hacer las modificaciones al software para dicha implementación sin necesidad de realizar más montajes o cambios al hardware, dado que esta etapa se encuentra completamente finalizada y aprobada.

An así es importante hacer referencia del aporte realizado para la implementación del BUS-CAN. En cuanto al desarrollo del hardware, tal y como se menciona en el segundo capítulo además de realizar la selección de los sensores, se hizo del diseño de cada PCB y se participa en la etapa de ensamble de cada tarjeta electrónica. En la etapa de implementación de software se participó en las pruebas de transmisión y recepción de datos por CAN, a continuación se explica cada uno de los procesos implementados y los resultados obtenidos.

- Primero se implementa una red entre varias tarjetas de desarrollo DEMOJM que tienen incorporado el microcontrolador MCF51JM128 que utiliza la unidad RTU, esto con el fin de poder comprender la manera como se deben configurar los registros necesarios para establecer una comunicación CAN. Se obtuvieron resultados satisfactorios, debido a que se implementó una red con 2 módulos encargados de la transmisión de datos, el módulo con la tarea de recibir la información y de realizar el debido procesamiento de la señal, detectó los datos enviados por los módulos esclavos.
- Luego se procede a programar cada una de las tarjetas que tienen incorporados los sensores, con una de las librerías que tenía el software MPLAB para implementar las configuraciones de los registros relacionados con CAN para un

microcontrolador PIC18F458. Se dedica tiempo para realizar las modificaciones adicionales, para que cada uno de los registros quedar relacionado con el microcontrolador PIC18F25K80.

- Posterior a esta etapa se participa en prueba para que el DEMOJM interprete los datos enviados por el microcontrolador PIC18F25K80, esta fue una de las partes de la implementación del BUS-CAN que demandó más tiempo, ya que el módulo maestro no comprendía los datos enviados del esclavo y se debía tener completa claridad de las funciones de los registros de cada terminal. Para esta etapa se vio la necesidad de interpretar bit por bit, los datos transmitidos por cada unidad, configurar la misma velocidad de trabajo y dejar que el DEMOJM detectara cualquier dato, sin importar la prioridad que este tuviera. Pero aunque se logra determinar la función de cada bit, no se logra establecer la falla recepción de datos por CAN.

Por las anteriores razones no se logra probar el envío de los sensores de manera remota, pero aun así el hardware está implementado para conectar cualquier BUS-CAN y en una futura modificación al software de la RTU se logre configurar los datos recibidos por CAN y ser enviados al entorno de trabajo.

5.2 Prueba funcionamiento GPS y método POST

Aunque los datos de los sensores no se lograron enviar a la dirección IP de la aplicación final de la autora, se logra enviar los datos de posicionamiento geográfico al hosting; para alcanzar esta tarea se realizaron las pruebas descritas a continuación:

- La primera prueba para verificar el funcionamiento del receptor de GPS, fue inicializar dicho componente y que los datos obtenidos por serial fueran enviado por la transmisión de otro serial para poderlos visualizar en la terminar Hercules. Luego de verificar el funcionamiento del A2035, se diseñan las funciones encargadas de filtrar la trama NMEA, que solo capturaran los valores de latitud, longitud y altitud. Se presentaron problemas con el funcionamiento de los filtros, debido a que las pruebas se realizaban en lugares donde el receptor no lograba obtener las señales de los satélites y por más tiempo de espera que se diera para que el receptor lograra capturar los datos de posicionamiento, no se alcanzaban los resultados esperados.

Luego de detectar que la falla era por los lugares donde se estaba programando la RTU, se procedió a trabajar en entornos abierto obteniendo resultados satisfactorios de todas las funciones de filtro diseñadas.

- Para probar la función SEND_MTU () se realiza varios prototipos de funciones, que se iban probando mediante la función debug del software Codewarrior. Se presentaron unos problemas iniciales debido a los tiempos de captura de las variables. Se vio la necesidad de implementar funciones que capturan los datos, los mantuviera almacenados y no los liberaran hasta realizar el respectivo filtro.

Por último se verifica la efectividad de esta función observando que la base de datos en MySQL iba actualizando sus campos y posterior a ello se lograron visualizar en la página web destinada para realizar el monitoreo en tiempo real.

5.3 Puesta en funcionamiento del sistema

Debido a que el prototipo no se lo logró instalar en el Renault Logan se vio la necesidad de dejar en este libro una sección donde se describa los pasos a seguir para instalar dicho dispositivo. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Cuando se tenga listo el BUS-CAN con la información de los sensores, se debe proceder a conectar las líneas CANL, CANH y GND a la unidad RTU y tener cuidado que el dip-switch se encuentre en las posiciones que indica la figura 31.
2. Luego de tener las conexiones del BUS-CAN, se debe conectar la MTU a la RTU mediante el conector DB9 que tiene el prototipo, y luego se debe alimentar la unidad MTU y presionar el pulsador ON/OFF de esta tarjeta electrónica y ubicar la antena de celular para que tenga una buena transmisión de datos.
3. Como paso final se debe alimentar la RTU, teniendo cuidado de realizar las conexiones como lo especifica la Figura 31.

Para verificar el funcionamiento del sistema se puede conectar uno de los sensores de este y generar cambios la magnitud física del que se está haciendo lectura y verificar su comportamiento en la siguiente pagina web <http://telemetria-ve-pdaa.p.ht/htdocs/plantilla.php>

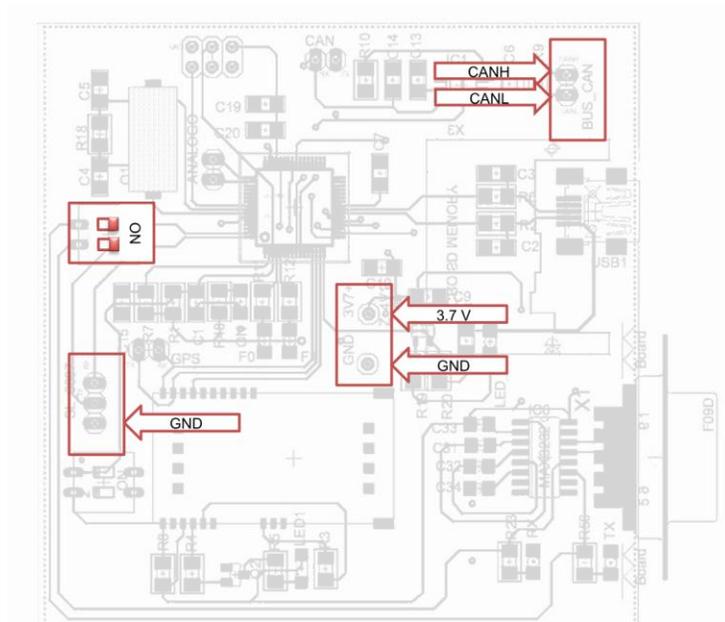


Figura 31. Conexiones básicas RTU

CONCLUSIONES

Se desarrolló e implementó un dispositivo funcional capaz de supervisar de manera inalámbrica, coordenadas geográficas y magnitudes físicas que se encuentren codificadas bajo el protocolo CAN. Se instalará en un vehículo de combustión interna que será convertido a eléctrico. Se pueden visualizar los datos en tiempo real a través de una página web destinada para este fin, brindándole al grupo de investigadores de la Universidad Pontificia Bolivariana una herramienta necesaria para realizar análisis de desempeño a dicho sistema.

El sistema implementado presenta una alta funcionalidad no sólo para el monitoreo de variables como voltaje, corriente, temperatura y presión que evalúan el desempeño de la operación de un vehículo eléctrico, sino que también se aprecia su utilidad en campos como la medicina, meteorología o sistemas industriales que requieran tener controlado y vigilado el sistema. La herramienta posibilita la expansión de sus funcionalidades mediante cambios en el software sin necesidad de realizar modificaciones de hardware.

El uso de herramientas ajenas a la formación académica de la autora como son los dispositivos de la empresa Sierra Wireless, indispensables para la transmisión de manera eficiente de los datos o el uso de la librería jgraph que posibilita la lectura de los datos, presentó un gran reto que requirió tiempo y dedicación aportando además del dispositivo implementado, una ganancia en conocimientos y experiencias personales, formativas y de utilidad en el futuro.

Se demostró que la telemetría apoyada en una red GPRS es una gran herramienta que se puede implementar en cualquier escenario que tenga servicios de cualquier operador celular. Este tipo de tecnología es una opción más viable y rentable en comparación con sistemas que implementan conexión punto a punto hasta llegar a la respectiva terminal o unidad que se encarga de realizar la supervisión del sistema.

Finalizada la etapa de implementación y verificación de hardware de todo el sistema de telemetría, se comprendió la importancia del buen uso de reglas de diseño electrónico para los circuitos impresos generados, las cuales van desde la implementación de filtros de primer orden y el uso de adecuados del cableado para la transmisión de datos hasta la ubicación de los componentes en las respectivas PCBs, ya que esta reglas mejoraron el funcionamiento del respectivo hardware.

La autora además de desarrollar el prototipo que cumpliera las necesidades planteadas

en el anteproyecto, contribuyó al desarrollo de sistemas como el banco de prueba controlador-motor y el control de velocidad del motor a instalar en vehículo Renault Logan, además dichas actividades contribuyeron a sus experiencias formativas que serán de gran utilidad para los próximos trabajos afines a este sistema.

RECOMENDACIONES

La RTU cuenta con varias herramientas adicionales que no se lograron programar por cuestiones de tiempo, por esta razón se sugiere que para futuras modificaciones se haga uso de las conexiones establecidas con la memoria SD, el puerto USB y dos puertos analógicos.

Para la entrega del trabajo final se vio la necesidad de solicitar un hosting gratuito, pero se recomienda solicitar un subdominio en la página de los laboratorios y hacer más restringido el acceso de la página web, para que en un futuro sea de uso exclusivo para los investigadores del proyecto.

Si se han de realizar modificaciones de software a la RTU se sugiere incluir archivos al proyecto y llamarlos en el programa que se tiene en funcionamiento, esto con el fin de no afectar ningún proceso o generar posibles redeclaraciones de variables

Bibliografía

- RMA, S. T. (13 de Agosto de 2012). *Radiocomunicaciones.net*. Recuperado el 17 de Octubre de 2012, de Telemetria - Documentos - Manuales - Enlaces: www.radiocomunicaciones.net/telemetria.html
- Garber, S. (10 de Octubre de 2007). *NASA History*. Recuperado el 20 de Octubre de 2012, de Sputnik: history.nasa.gov/sputnik
- BMW . (27 de Mayo de 2010). *BMW X5*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2012, de BMW M Power Meter iPhone application: http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/mseries/x5m/2009/g_meter.html
- Chavarría Meza, L. E. (2007). *Scada System's & Telemetry*. Mexico: Atlantic International University.
- Gordon R., C., & Reynders, D. (2004). Practica Modern SCADA Protocols. En C. Gordon R., & D. Reynders, *Practica Modern SCADA Protocols* (págs. 1-2). Great Britain: ELSEVIER.
- Rodríguez Penin, A. (2007). Sistema SCADA. En A. Rodríguez Penin, *Sistema SCADA* (págs. 33-76). Barcelona: MARCOMBO.
- Rodríguez Penin, A. (2007). Sistemas SCADA. En A. Rodríguez Penin, *Sistemas SCADA* (pág. 52). Barcelona: MARCOMBO.
- Alcócer Garcias, C. (2000). Redes de computadoras. En C. Alcócer Garcias, *Redes de computadoras* (págs. 71-80). Lima: Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Quilmes, U. N. (14 de Febrero de 2012). *Ingenieria en automatizacion y control industrial*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2012, de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/transparencias%5Cmodbus.pdf>
- Mackay, S., Wright, E., Reynders, D., & Park, J. (2004). Practical Industrial Data Networks. En S. Mackay, E. Wright, D. Reynders, & J. Park, *Practical Industrial Data Networks* (págs. 149-157). Oxford: ELSEVIER.
- Ingecozs. (2 de Enero de 2012). *PT100*. Recuperado el 14 de Enero de 2013, de <http://www.ingecozs.com/pt100.pdf>

Clarke , G., & Reynderns, D. (2004). Practical Modern SCADA Protocols. En G. Clarke, & D. Reynderns, *Practical Modern SCADA Protocols* (págs. 63-65). Oxford: ELSEVIER.

Universidad de Cádiz. (15 de Julio de 2013). *Transductores de temperatura*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2013, de http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T16_trans_temp.PDF

Moreno, V., & Bardo, S. (21 de Febrero de 2013). *Sensores de temperatura RTD*. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de <http://tec.upc.es/ie/RTDs.pdf>

Puente de Wheatstone. (2009). Recuperado el 27 de Noviembre de 2012, de fisica.edea.edu.co/~lab~gucm/Curso de Electronica/2009_Puente_de_Wheatstone.pdf

Boylestad. (2004). Introducción al análisis de circuitos. En Boylestad, *Introducción al análisis de circuitos* (pág. 465). Mexico: Pearson Prentice Hall.

Dickinson, R., & Friedrich, A. (2005). Using Allegro Current Sensor ICs in Current Divider Configurations for Extended Measurement Range. Massachusetts, USA.

Honeywell. (2007). *Hall-effect Open-Loop Current Sensor Application*. Recuperado el 13 de Marzo de 2013, de sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=51431

Tamura. (2013). *Current Sensor Principles & Application Notes*. Recuperado el 11 de Febrero de 2013, de www.tamuracorp.com/products/current-sensor-principles-application-notes/

Vizcay, M. (3 de Octubre de 2005). Sensores de Presión. Chile.

Mao, M.-H. (2000). *Micromechanical transducers: pressure sensors, accelerometers and gyroscopes*. San Diego: ELSEVIER.

Lethman , L. (2001). *GPS fácil, uso del sistema de posicionamiento global*. Barcelona: Paidotribo.

Lethman, L. (2001). *GPS fácil, uso del sistema de posicionamiento global*. Barcelona: Paidotribo.

Correia, P. (2002). *Guía rápida del GPS*. Barcelona: Marcombo.

Maestro. (2011). *GPS Receiver* . Recuperado el 12 de Abril de 2013, de A2035-H: http://www.richardsonrfd.com/resources/RellDocuments/SYS_28/Maestro_A2035_H_data_v11.pdf

- Mathematics Dictionary. (s.f.). *Latitud*. Recuperado el 12 de Mayo de 2013, de <http://www.mathematicsdictionary.com/spanish/vmd/full/l/latitude.htm>
- Mathematics Dictionary. (s.f.). *Longitud*. Recuperado el 16 de Mayo de 2013, de <http://www.mathematicsdictionary.com/spanish/vmd/full/l/longitude.htm>
- Freescale. (2004). *MCF51JM: Flexis 32-bit V1 ColdFire USB Microcontroller*. Recuperado el 16 de Mayo de 2013, de www.freescales.com/webapp/sps/sites/prod_summary.jsp?code=MCF51JM
- Klaus , T. (2006). *Fachkunde Elektrotechnik*. Europa Lehrmittel Verlag.
- Wikipedia. (s.f.). *Batería de ion de litio*. Recuperado el 25 de Mayo de 2013, de http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_ion_de_litio
- Maxium integrated. (2007). *3.0V to 5.5V, Low-Power, up to 1Mbps, True RS-232 Transceivers Using Four 0.1µF External Capacitors*. Recuperado el 21 de Abril de 2013, de <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/ds/MAX3222-MAX3241.pdf>
- Evaristo, S. (2006). *Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo*. Madrid: Editex.
- Microchip. (2003). *High-Speed CAN Transceiver*. Recuperado el 11 de Enero de 2013, de <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21667d.pdf>
- Baker, J. (2011). *Circuit Design, Layout, and Simulation*. Wiley.
- Desconocido. (2013). *Protocolo TCP/IP*. Recuperado el 12 de Abril de 2013, de <http://www4.uji.es/~al019803/tcpip/paginas/estructura.htm>
- Atelin, P., & Dordoigne, J. (2007). *TCP/IP y protocolos de internet*. Barcelona: ENI.
- Sierra Wireless. (2012). *Internet Library 5.54*. Canada .
- Santamaría, E. (1993). *Electrónica digital y microprocesadores*. Universidad Pontificia Comillas.
- The internet society. (01 de Septiembre de 2004). *HTTP/1.1: Method Definitions*. Recuperado el 20 de Mayo de 2013, de <http://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616.html>