

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
SEDE LATACUNGA**



**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
MEDICIÓN EN TIEMPO REAL DE LA ACELERACIÓN Y  
GRAVEDAD EN UN VEHÍCULO CORSA WIND 1.6 AÑO 2000  
MEDIANTE UNA RED CAN”**

**DAVID EDUARDO SANTANA AREOPAJA  
MARTHA XIMENA QUISPILEMA VEINTIMILLA**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL GRADO DE**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

2011

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, DAVID EDUARDO SANTANA AREOAJA Y MARTHA XIMENA QUISPILEMA VEINTIMILLA, declaramos que:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN EN TIEMPO REAL DE LA ACELERACIÓN Y GRAVEDAD EN UN VEHÍCULO CORSA WIND 1.6 AÑO 2000 MEDIANTE UNA RED CAN” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Abril de 2011.

---

David Eduardo Santana A.

C.I. 1803890274

---

Martha Ximena Quispilema V.

C.I. 1803646577

## **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, David Eduardo Santana Areopaja y Martha Ximena Quispilema Veintimilla,

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la biblioteca virtual de la institución del trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN EN TIEMPO REAL DE LA ACELERACIÓN Y GRAVEDAD EN UN VEHÍCULO CORSA WIND 1.6 AÑO 2000 MEDIANTE UNA RED CAN”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Abril de 2011.

---

David Eduardo Santana A.

C.I. 1803890274

---

Martha Ximena Quispilema V.

C.I. 1803646577

## **CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN EN TIEMPO REAL DE LA ACELERACIÓN Y GRAVEDAD EN UN VEHÍCULO CORSA WIND 1.6 AÑO 2000 MEDIANTE UNA RED CAN” fue desarrollado por DAVID EDUARDO SANTANA AREOPAJA Y MARTHA XIMENA QUISPILEMA VEINTIMILLA, bajo nuestra supervisión, cumpliendo con normas estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Latacunga, Abril de 2011.

Ing. Néstor Romero

---

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Guillermo Cruz

---

CODIRECTOR DE PROYECTO

## **DEDICATORIA**

A Dios que ha sido la fuerza que nos ha permitido culminar con éxito y satisfacción nuestra carrera.

A la Facultad de Ingeniería Automotriz porque de ella hemos adquirido los conocimientos básicos y los más altos valores de nuestra formación profesional.

Lo dedicamos con mucho amor a nuestros padres que son el pilar fundamental dentro nuestras vidas, que dejaron marcado en nuestros corazones que fracasar no es cuando no consigues la realización de tus sueños o no puedas llegar a la cima del éxito, fracasar es cuando dejas de intentarlo y dejas de soñar.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi eterno agradecimiento es para la persona que siempre permanece junto a nosotros pero sin embargo nunca la vemos; DIOS, gracias por tus bendiciones, tú eres el que nos da la voluntad de poder seguir adelante, y ser parte de ti.

Al arribar a la culminación de nuestra carrera profesional, agradecemos a nuestros padres que forjaron nuestra formación personal como académica brindándonos la oportunidad de seguir nuestros estudios universitarios.

A nuestros hermanos y hermanas, que compartieron sus experiencias con nosotros, que han sido de gran ayuda para saber algo más de la vida.

Y en fin a todas aquellas personas que estuvieron a nuestro lado y que nos brindaron su sincera amistad.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |       |
|---|-------|
| Declaración de responsabilidad.   | ii    |
| Autorización  | iii   |
| Certificación   | iv    |
| Índice de contenidos  | vii   |
| Índice de figuras   | xi    |
| Índice de tablas  | xv    |
| Índice de ecuaciones  | xvi   |
| Índice de anexos  | xviii |
| Resumen   | xix   |
| Presentación  | xxi   |
| <br>  |       |
| Capítulo 1  | 1     |
| 1. Marco Teórico  |       |
| 1.1. Redes de Área controlada CAN                                       | 1     |
| 1.2. Características del Protocolo                                      | 3     |
| 1.3. Clasificación  | 4     |
| 1.4. Aplicación de CAN en el área automotriz                            | 5     |
| 1.5. Sensores de aceleración  | 5     |
| 1.5.1. Magnitudes de Medición   | 6     |
| 1.5.2. Principios de Medición   | 7     |
| 1.5.3. Generalidades sobre medición de aceleraciones en el<br>automóvil | 8     |
| 1.5.4. Descripción del acelerómetro MMA7260QT                           | 9     |
| 1.6. Sensor de temperatura  | 12    |
| 1.7. Sensor de aceleración  | 13    |
| 1.8. Sensor de velocidad angular R.P.M                                  | 13    |
| 1.9. Visualizadores gráficos GLCD                                       | 21    |
| 1.9.1. GLCD 240x128 pixeles con controlador T6963C                      | 21    |

|   |    |
|---|----|
| 1.10. Microcontroladores  | 25 |
| 1.10.1. Microcontroladores Pic interface CAN                                      | 25 |
| 1.10.2. Microcontrolador Pic 18F4480  | 28 |
| 1.11. Criterios de selección de lenguajes de programación para microcontroladores | 33 |
| 1.11.1 Características generales del compilador MicroC para Pic                   | 35 |
| a. MicroC CAN Funciones   | 36 |
| 1.12. Interfaces analógicas para adquisición de datos                             | 37 |
| 1.12.1. Amplificadores operacionales  | 37 |
| a. Seguidores de Voltaje  | 38 |
| 1.12.2. Filtros pasa bajo   | 40 |
| a. Filtros pasa bajo ideal  | 41 |
| b. Filtro pasa bajo real  | 42 |
| 1.13. Reguladores de voltaje  | 44 |
| 1.13.1. Funcionamiento  | 44 |
| 1.13.2. Regulación con Diodo Zener  | 45 |
| 1.13.3. Regulador paralelo  | 46 |
| 1.13.4. Regulador en serie  | 47 |
| 1.13.5. Reguladores integrados  | 48 |
| 1.13.6. Reguladores conmutados  | 48 |
| 1.13.7. Fuentes de voltaje regulable con LM317T                                   | 49 |
| 1.13.8. Fuente de voltaje fija con LM1117   | 49 |
| Capítulo 2  | 51 |
| 2. Requerimientos /requisitos del dispositivo                                     |    |
| 2.1. Descripción genera   | 51 |
| 2.2. Requisitos del sistema   | 51 |
| 2.2.1. Requisitos en base al ambiente de trabajo                                  | 51 |
| 2.2.2. Requisitos en base a especificaciones de potencia                          | 52 |
| 2.2.3. Requisitos en base al desempeño solicitado                                 | 52 |
| 2.3. Aproximación   | 53 |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.1. Sistema de sensado                                  | 53 |
| 2.3.2. Subsistema de procesamiento                         | 54 |
| 2.3.3. Subsistema de visualización                         | 55 |
| Capítulo 3   | 56 |
| 3. Desarrollo  |    |
| 3.1. Caracterización del hardware                          | 56 |
| 3.1.1. Subsistema de sensado                               | 56 |
| a. Velocidad angular del motor                             | 56 |
| b. Temperatura del ambiente                                | 59 |
| c. Aceleración   | 60 |
| 3.1.2. Subsistema de procesamiento                         | 62 |
| a. Microcontrolador maestro                                | 62 |
| b. Señal de contacto                                       | 63 |
| c. Teclado   | 64 |
| 3.1.3. Subsistema de visualización                         | 64 |
| 3.1.4. Alimentación del sistema                            | 66 |
| 3.2. Diagrama esquemático general                          | 68 |
| 3.3. Diseño de las placas de circuito impreso              | 69 |
| 3.4. Descripción del Firmware                              | 69 |
| 3.4.1. Firmware del microcontrolador principal             | 69 |
| a. Programa principal                                      | 69 |
| 3.4.2. Firmware de los microcontroladores secundarios      | 71 |
| a. Programa principal                                      | 71 |
| b. Subrutinas especiales                                   | 81 |
| b.1. Medición de la temperatura de habitáculo              | 81 |
| b.2. Medición de la velocidad angular del motor            | 82 |
| b.3. Medición de la aceleración del vehículo               | 85 |
| 3.4.3. Configuración de la comunicación CAN en el Bit Time | 88 |
| a. Bit Time Calculations                                   | 88 |

|   |     |
|---|-----|
| Capítulo 4  | 92  |
| 4. Implementación y pruebas del sistema electrónico |     |
| 4.1. Montaje físico del sistema                     | 92  |
| 4.2. Pruebas  | 100 |
| 4.2.1. Aceleración                                  | 103 |
| 4.2.2. Temperatura del habitáculo del vehículo      | 107 |
| 4.2.3. Velocidad angular del motor                  | 109 |
| 4.3. Desempeño general del sistema                  | 111 |
| 4.4. Presupuesto                                    | 113 |
| 4.5. Análisis Costo – Beneficio                     | 116 |
| 5. Conclusiones                                     | 117 |
| 6. Recomendaciones                                  | 118 |
| 7. Bibliografía                                     | 119 |
| 8. Anexos   | 120 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1: Elemento básico de una red CAN (bus, nodos y terminadores)    | 2  |
| Figura 1.2: Aplicación típica de bus CAN en un vehículo                   | 5  |
| Figura 1.3: Representación de los tres ejes de movimiento de un automóvil | 8  |
| Figura 1.4: Situación del sensor de aceleración en el automóvil           | 9  |
| Figura 1.5: Despiece de un sensor de aceleración de aplicación automotriz | 9  |
| Figura 1.6: Pinout del sensor MMA7260QT                                   | 11 |
| Figura 1.7: Conexión típica del MMA7260QT                                 | 11 |
| Figura 1.8: Sensor de velocidad angular RPM MCP2551                       | 13 |
| Figura 1.9: Conexión interna del sensor MCP2551                           | 14 |
| Figura 1.10: Velocidad en función de la resistencia                       | 18 |
| Figura 1.11: Estructura interna del modulo GLCD con controlador T6963C    | 21 |
| Figura 1.12: Nodo CAN con cualquier micro controlador PIC                 | 26 |
| Figura 1.13: Nodo CAN con modulo CAN integrado                            | 27 |
| Figura 1.14: Diagrama de recepción de mensajes                            | 33 |
| Figura 1.15: Símbolo de un amplificador operacional                       | 37 |
| Figura 1.16: Símbolo de seguidor de voltaje                               | 38 |
| Figura 1.17: Seguidor de voltaje  | 39 |
| Figura 1.18: Filtro pasa bajo ideal                                       | 41 |
| Figura 1.19: Filtro pasa bajo real  | 42 |
| Figura 1.20: Filtro pasa bajo   | 44 |
| Figura 1.21: Curva idealizada inversa del zener                           | 45 |
| Figura 1.22: Circuito regulador Diodo Zener                               | 46 |
| Figura 1.23: Estabilizador de tensión                                     | 47 |
| Figura 1.24: PINOUT del regulador LM317T                                  | 49 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.25: Diagrama de bloques del LM1117  | 50 |
| Figura 2.1: Diagrama de bloques del modulo electrónico   | 53 |
| Figura 3.1: Modulo de medición de velocidad angular del motor                                  | 57 |
| Figura 3.2: Diagrama CRT vs IF   | 58 |
| Figura 3.3: Modulo de medición de temperatura del habitáculo                                   | 60 |
| Figura 3.4: Modulo de medición de aceleraciones del vehículo                                   | 61 |
| Figura 3.5: Conexión del microcontrolador principal a la red CAN                               | 62 |
| Figura 3.6: Interfaz para lectura de señal de contacto   | 63 |
| Figura 3.7: Teclado de configuración   | 64 |
| Figura 3.8: Diagrama de conexión entre el modulo GLCD y el microcontrolador                    | 65 |
| Figura 3.9: Circuito de alimentación   | 66 |
| Figura 3.10: Diagrama de flujo del programa principal del microcontrolador                     | 70 |
| Figura 3.11: Trama utilizada   | 72 |
| Figura 3.12: Diagrama del proceso de arbitraje del bus   | 73 |
| Figura 3.13: Proceso de arbitraje de acuerdo al protocolo CAN                                  | 74 |
| Figura 3.14: Formato básico de una trama de datos y de una trama remota                        | 76 |
| Figura 3.15: Formato del Campo de Arbitraje  | 77 |
| Figura 3.16: Formato del campo de control  | 78 |
| Figura 3.17: Formato de campo CRC  | 79 |
| Figura 3.18: Formato de Campo de acuse de recibido ACK   | 79 |
| Figura 3.19: Diagrama de flujo de la subrutina de adquisición de la temperatura del habitáculo | 81 |
| Figura 3.20: Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción del TIMER1                | 83 |
| Figura 3.21: Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción del modulo CCP1           | 84 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 3.22: Diagrama de flujo de la subrutina de adquisición y visualización de la aceleración del vehículo | 87  |
| Figura 3.23: Calculo del Tiempo de Bit   | 88  |
| Figura 3.24: Velocidad de transmisión  | 89  |
| Figura 3.25: Tiempo de Bit   | 90  |
| Figura 3.26: Diagrama de Tiempo de Bit   | 91  |
| Figura 4.1: Pantalla GLCD  | 92  |
| Figura 4.2: Conexión de los socker   | 93  |
| Figura 4.3: Circuito de la pantalla GLCD   | 93  |
| Figura 4.4: Montaje de la pantalla GLCD  | 94  |
| Figura 4.5: Sensor de revoluciones   | 94  |
| Figura 4.6: Conexión del Sensor rpm a la ECU   | 95  |
| Figura 4.7: Cable de conexión  | 95  |
| Figura 4.8: Sensor rpm   | 96  |
| Figura 4.9: Sensor de temperatura  | 96  |
| Figura 4.10: Montaje del sensor de temperatura   | 97  |
| Figura 4.11: Conexión del sensor de temperatura  | 97  |
| Figura 4.12: Sensor de aceleración   | 98  |
| Figura 4.13: Base metálica para el sensor de aceleración   | 98  |
| Figura 4.14: Sensor G  | 99  |
| Figura 4.15: Montaje del sensor G  | 99  |
| Figura 4.16: Verificación del sensor G   | 100 |
| Figura 4.17: Prueba del acelerómetro con el modulo principal   | 101 |
| Figura 4.18: Diagrama de la aceleración positivo en x  | 104 |
| Figura 4.19: Diagrama de la aceleración negativa en x  | 105 |
| Figura 4.20: Diagrama de la aceleración positivo en y  | 106 |
| Figura 4.21: Diagrama de la aceleración negativa en y  | 107 |
| Figura 4.22: Conexión de terminales  | 108 |
| Figura 4.23: Diagrama de dispersión de temperatura ambiente del vehículo                                     | 109 |
|  | 110 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.24: Conexión de terminales   |     |
| Figura 4.25: Ensayo de revoluciones con multímetro Bluepoint<br>MT586                 | 110 |
| Figura 4.26: Grafico de dispersión de mediciones de la velocidad<br>angular del motor | 111 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1.1. Características de algunos sensores de aceleración  | 6   |
| Tabla 1.2. Sensibilidades para el MMA7260QT  | 10  |
| Tabla 1.3. Voltaje en función de la velocidad  | 17  |
| Tabla 1.4. Recepción de datos verdadero  | 18  |
| Tabla 1.5. Pines de conexión y su función  | 19  |
| Tabla 1.6. Microcontroladores PIC populares  | 27  |
| Tabla 3.1. Direcciones de los módulos  | 71  |
| Tabla 3.2. Bit Time Calculations   | 90  |
| Tabla 3.3. Selected Options  | 90  |
| Tabla 3.4. Bit Timing Setup in Tq  | 91  |
| Tabla 3.5. Configuration Register Setup  | 91  |
| Tabla 3.6. Configuration Register Setup(dsPic33F)  | 91  |
| Tabla 4.1. Características técnicas del multímetro automotriz<br>Bluepoint MT586   | 102 |
| Tabla 4.2. Características del multímetro automotriz Bluepoint<br>MT586  | 102 |
| Tabla 4.3. Eje x positivo  | 104 |
| Tabla 4.4. Eje x negativo  | 105 |
| Tabla 4.5. Eje y positivo  | 106 |
| Tabla 4.6. Eje y negativo  | 107 |
| Tabla 4.7. Mediciones de temperatura en el habitáculo del automóvil  | 108 |
| Tabla 4.8. Mediciones de la velocidad angular del motor  | 111 |
| Tabla 4.9. Error máximo de cada prueba ejecutada   | 112 |
| Tabla 4.10. Costo de componentes para el sistema electrónico de<br>medición en tiempo real de sensores G utilizando<br>redes CAN | 114 |
| Tabla 4.11. Costo total del diseño y construcción del modulo de<br>medición del sensor G   | 115 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|  |    |
|--|----|
| Ecuación 1.1 Fuerza en función de masa y aceleración   | 7  |
| Ecuación 1.2 Tensión media en función de la resistencia interna del amplificador, la resistencia del cableado y resistencia interna del sensor | 39 |
| Ecuación 1.3 Voltaje de salida en función de la ganancia de voltaje del amplificador   | 40 |
| Ecuación 1.4 Voltaje de entrada en función del voltaje de salida e inversamente por la ganancia del voltaje del amplificador                   | 40 |
| Ecuación 1.5 Voltaje de salida igual al voltaje de entrada   | 40 |
| Ecuación 1.6 Voltaje de entrada igual a la intensidad por la impedancia  | 42 |
| Ecuación 1.7 Voltaje de salida igual a la intensidad por la reactancia capacitiva  | 42 |
| Ecuación 1.8 Voltaje de salida en función del voltaje de entrada e inversa a la reactancia capacitiva  | 42 |
| Ecuación 1.9 Frecuencia de corte en función de la reactancia capacitiva  | 43 |
| Ecuación 1.10 Tensión de entrada en función a la tensión de la resistencia serie mas la tensión zener  | 47 |
| Ecuación 1.11 Corriente de entrada en función de la corriente zener mas corriente de carga   | 47 |
| Ecuación 3.1 Corriente mínima a través del LED de un octoacoplador   | 58 |
| Ecuación 3.2 Radio de transferencia en un octoacoplador  | 58 |
| Ecuación 3.3 Frecuencia de corte de filtro pasa bajo RC  | 61 |
| Ecuación 3.4 Voltaje de salida en regulador variable LM317T  | 67 |

|  |    |
|--|----|
| Ecuación 3.5 Voltaje en compuerta de MOSFET manejada con transistor bipolar                              | 68 |
| Ecuación 3.6 Digitalización de la temperatura desde el sensor LM35                                       | 81 |
| Ecuación 3.7 Periodo de conteo del TIMER1  | 83 |
| Ecuación 3.8 Temporización máxima obtenida en el TIMER1  | 83 |
| Ecuación 3.9 Obtención de frecuencia en función del periodo  | 85 |
| Ecuación 3.10 Obtención de rpm para motores de 4 tiempos a partir de la frecuencia y numero de cilindros | 85 |
| Ecuación 3.11 Función de transferencia del sensor MMA7260QT  | 86 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| Anexo A. Diagrama esquemático general                         | 121 |
| Anexo B. Diseño de las placas de circuitos pantalla GLCD      | 122 |
| Anexo C. Diagrama de conexión del sensor de velocidad angular | 123 |
| Anexo D. Diagrama de conexión del sensor de aceleración       | 124 |
| Anexo E. Diagrama de conexión del sensor de temperatura       | 125 |
| Anexo F. Circuito electrónico del sensor de aceleración       | 126 |
| Anexo G. Circuito electrónico de la pantalla GLCD             | 127 |
| Anexo H. Circuito electrónico del sensor de temperatura       | 128 |
| Anexo I. Circuito electrónico del sensor de velocidad angular | 129 |
| Anexo J. Artículo para revista                                | 130 |

## RESUMEN

El presente trabajo detalla el diseño y pruebas de la aplicación electrónicas de un dispositivo medidor de aceleración, en vehículos de competencia. El dispositivo se concibe básicamente como un sistema digital de monitoreo, empleado en la verificación de parámetros de las aceleraciones y esfuerzos experimentados por estos vehículos y sus pilotos. El mecanismo de comunicación es por una red de área controlada (CAN) que se han convertido en la solución ideal para disminuir el cableado automotriz.

El sistema posee hardware que contiene tres subsistemas, el primero de sensado de parámetros de funcionamiento que cada modulo tiene previsto, el segundo es de procesamiento que se encarga de adquirir todos los datos de las variables externas a través del bus CAN, y por último el subsistema de visualización local de variables que permite observar en tiempo real graficas y números de dichas variables, la transmisión de datos medidos y calibración de constantes se realiza por medio de una interfaz CAN (red de área controlada).

El proyecto, se constituye como un dispositivo útil para comprender las redes de área controlada, tan difundidas en los vehículos modernos.

El diseño y construcción de este sistema se basa en conocimientos, habilidades, capacidades, destrezas y aptitudes, vinculadas a nuestra competencia profesional.

## **SUMMARY**

This paper describes the design and testing of electronic implementation of an acceleration measuring devices in competition vehicles. The device is designed primarily as a digital monitoring system, used in the verification of parameters and efforts accelerations experienced by these vehicles and their drivers. The communication mechanism is a controlled area network (CAN) that has become the ideal solution to reduce automotive wiring.

The system has hardware that contains three subsystems, the first sensing operating parameters of each module is provided, the second processing is in charge of acquiring all data on external variables through the CAN bus, and finally display subsystem that allows local variables to observe in real time graphs and numbers of these variables, the measured data and calibration constants are done through an interface CAN (Controlled Area Network).

The project was established as a useful device for understanding the controlled area networks, so prevalent in modern vehicles.

The design and construction of this system is based on knowledge, skills, abilities, skills and abilities, related to our professional competence.

## **PRESENTACIÓN**

En lo que respecta a instrumentación automotriz, la medición de los vectores de aceleración presentes en un automóvil (módulo y dirección) puede llevar a conclusiones orientadas a la determinación de calidad de conducción del vehículo, esfuerzos soportados por el chasis.

Las redes de área controlada (CAN) se han convertido en la solución ideal para disminuir el cableado automotriz. En base a los criterios mencionados, resulta interesante el diseño de un sistema proyectado a la determinación de los vectores de aceleración con las funciones de grabación en memoria interna y visualización de valores a través de pantallas gráficas GLCDs.

En el presente trabajo escrito, luego de tener claro todo el panorama del proyecto, se explican los requisitos del sistema y la aproximación del hardware. Para esto se tiene referencia en las condiciones del ambiente de trabajo y las actividades para las que se lo imaginó. Esto en el capítulo 2.

En el capítulo 3, el más importante, se detallan los criterios y procedimientos tomados en la programación del hardware para su correcto funcionamiento en los tres subsistemas como son de sensado, procesamiento y visualización de datos.

Posteriormente, en el capítulo 4 se trata los pormenores de la implementación física del sistema. También se describen las pruebas realizadas en la comprobación de la comunicación entre módulos a través de la interface CAN, y un análisis del costo – beneficio, vida útil y su mantenimiento para su adquisición de este dispositivo.

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 REDES DE ÁREA CONTROLADA (CAN)**

CAN es un protocolo de comunicación inter – computadoras, recientemente aplicado a la industria automotriz.

Los dispositivos CAN están generalmente formados por dos bloques, uno de ellos es el controlador del protocolo propiamente dicho y el segundo es una memoria búfer y está separado a la vez en dos segmentos (control y datos, formados normalmente por un microcontrolador). En el segmento de control el microcontrolador escribe comandos y lee registros de estado, en el de datos obtiene el contenido del mensaje.

La red implica cambiar la forma en que una computadora se comunica con cada una de las otras para compartir información de los procesos que están controlando. CAN es un puerto de datos de alta velocidad que opera 50 veces más rápido que los protocolos usados en los vehículos actuales.

El protocolo fue establecido por BOSCH como una red de trabajo para control industrial. Fue integrado a la normativa OBDII por un comité de la ISO (Organización Internacional de Normalización) y lo aceptaron como el protocolo de diagnóstico estandarizado para los fabricantes.

La intención de esta especificación es lograr compatibilidad entre cualquiera de las implementaciones de CAN. La compatibilidad, sin embargo, tiene diferentes aspectos como por ejemplo características eléctricas e interpretación de datos a ser transferidos.

El protocolo está basado en una topología de bus, y sólo dos cables son necesarios para establecer la comunicación. El bus tiene varias estructuras maestras en la que cada dispositivo puede enviar o recibir datos. Sólo un dispositivo puede enviar datos en cualquier momento mientras todos los demás escuchan. Si dos o más dispositivos intentan enviar datos al mismo tiempo, al que tenga la más alta prioridad se le permite enviar sus datos, mientras que los otros regresan a modo de recepción.

CAN se perfila dentro del protocolo CSMA / CD+AMP (acceso múltiple por sensado de portadora, con detección de colisiones y arbitraje de mensajes de prioridad), que es similar al protocolo utilizado en redes ETHERNET LAN.

Cuando ETHERNET detecta una colisión, los nodos que están transmitiendo simplemente dejan de hacerlo y esperan una cantidad aleatoria de tiempo antes de intentar enviar información de nuevo. CAN, sin embargo, resuelve el problema de la colisión con el principio de arbitraje, donde se da sólo al nodo de mayor prioridad el derecho de enviar sus datos.

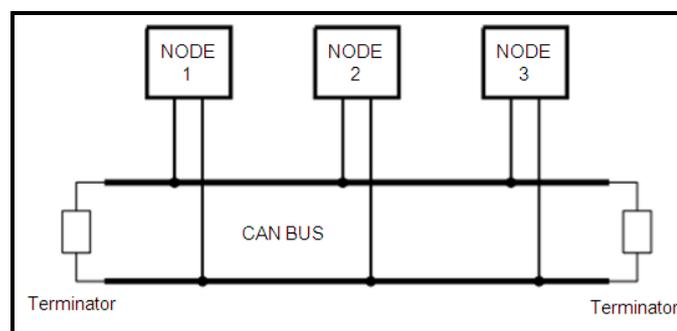


Figura 1.1: Elementos básicos de una red CAN (bus, nodos y terminadores)

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROTOCOLO

CAN tiene las siguientes características:

- Priorización de mensajes.
- Garantía de tiempos de latencia.
- Flexibilidad en la configuración.
- Recepción MULTICAST con sincronización de tiempo.
- Consistencia de datos en todo el sistema.
- Comunicación multi – maestro.
- Señalización y detección de errores.
- Retransmisión automática de mensajes corruptos tan rápido como el bus se desocupe.
- Distinción entre errores temporales y fallas permanentes de nodos y apagado automático de nodos defectuosos.

En complemento a lo anterior se puede destacar que los dispositivos conectados al bus no tienen direcciones, lo que significa que los mensajes no se transmiten de un nodo a otro basados en las direcciones. En su lugar, todos los nodos del sistema reciben todos los mensajes transmitidos, y le corresponde a cada nodo decidir si el mensaje recibido se debe procesar o descartar. Un solo mensaje puede ser destinado a un nodo en particular o para muchos nodos, dependiendo de cómo el sistema esté diseñado.

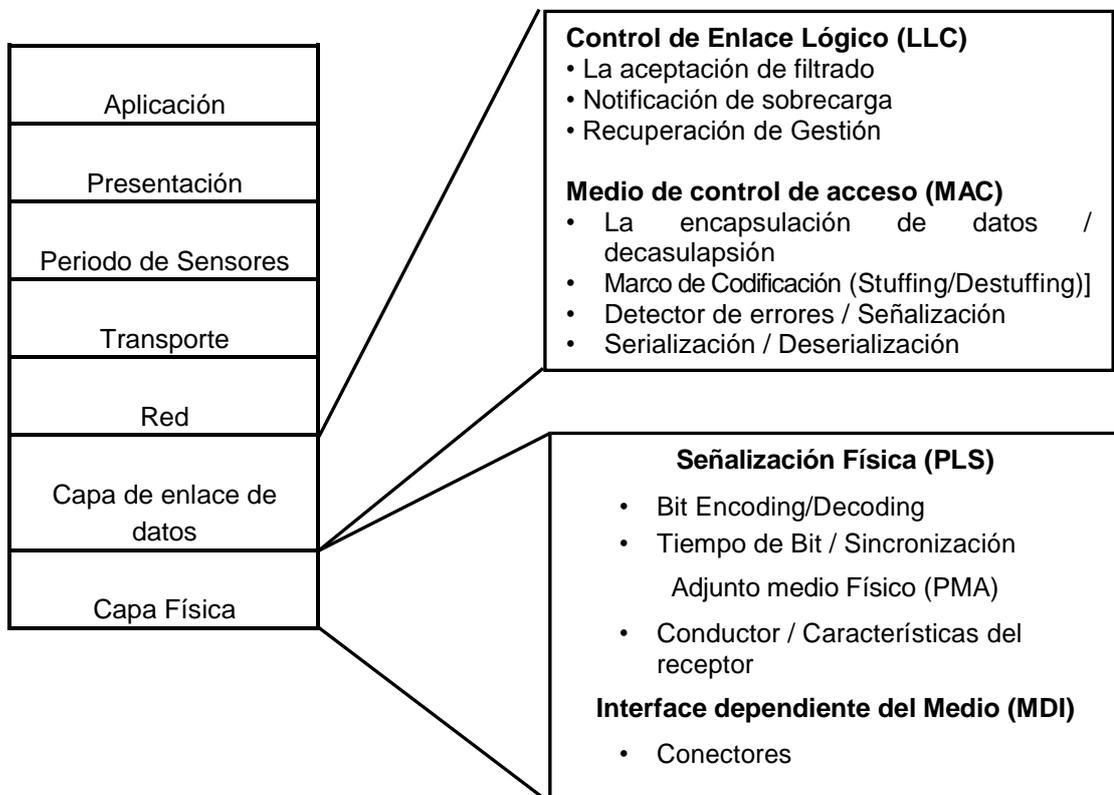
Otra de las ventajas de no tener las direcciones es que cuando un dispositivo se añade o se quita al bus, no hay datos de configuración que se deban cambiar (es decir, el bus es HOT PLUGGABLE).

### 1.3 CLASIFICACIÓN

Hay básicamente dos tipos de protocolos CAN: 2.0A y 2.0B. CAN 2.0A es el estándar más antiguo con 11 bits de identificador, mientras que CAN 2.0B es el nuevo estándar extendido con 29 bits de identificador. Los controladores 2.0 A y B son totalmente compatibles y pueden recibir y transmitir mensajes en cualquier formato.

Hay dos tipos de controladores de 2.0A. El primero es capaz de enviar y recibir mensajes sólo 2.0A, y la recepción de un mensaje 2.0B marcará un error. El segundo tipo de controlador de 2.0A (conocido como 2.0B pasivo) envía y recibe mensajes de 2.0A, y acusa recepción de mensajes 2.0B para luego pasarlos por alto.

### ISO MODELO DE REFERENCIA DE LAS CAPAZ



## 1.4 APLICACIÓN DE CAN EN EL ÁREA AUTOMOTRIZ

Como se muestra en la Figura 1.2, en una aplicación automotriz típica, por lo general hay algunos buses CAN que operan a velocidades diferentes. Dispositivos más lentos, como interruptores de puertas, control de aire acondicionado y módulos de información de conducción, se puede conectar a un bus de baja velocidad. Dispositivos que requieren de una respuesta más rápida, como el sistema antibloqueo de frenos ABS, el módulo de control de transmisión, y el módulo electrónico de aceleración, están conectados a un bus CAN de mayor velocidad.

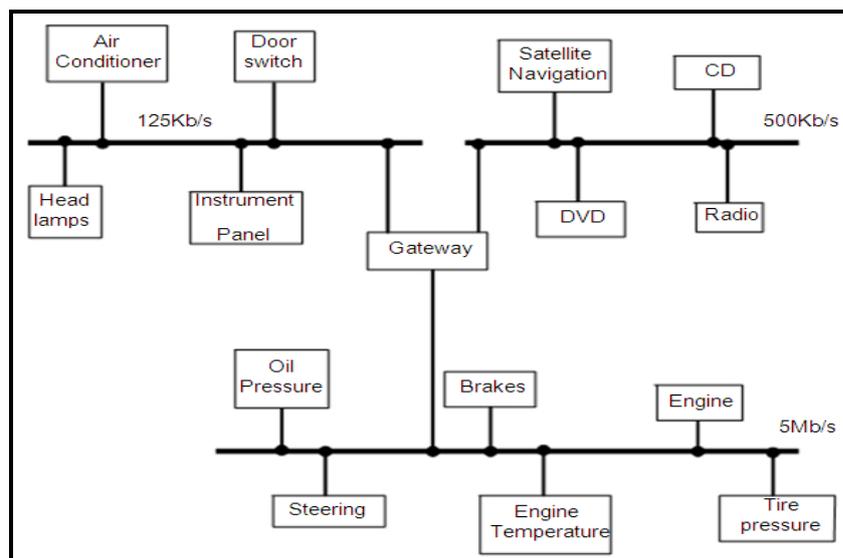


Figura 1.2: Aplicación típica de bus CAN en un vehículo

## 1.5 SENSORES DE ACELERACIÓN

Un sensor de aceleración o acelerómetro es un dispositivo que permite medir el movimiento y las vibraciones a las que está sometido un cuerpo (o una parte de él), en su modo de medición dinámica, y la inclinación (con respecto a la gravedad), en su modo estático.

De los antiguos acelerómetros mecánicos, de tamaño grande y dificultoso de construir, porque incluían imanes, resortes y bobinas, se ha pasado en esta época a dispositivos integrados, con los elementos sensibles creados sobre los propios microcircuitos.

### 1.5.1 MAGNITUDES DE MEDICIÓN

Los sensores de aceleración y de vibraciones son apropiados para la regulación contra la detonación (picado) en motores de combustión interna, también sirven para activar sistemas de protección de pasajeros (AIRBAG, tensores de cinturón, arco contra el vuelco) y para detectar aceleraciones en las curvas y variaciones de velocidad en vehículos de tracción integral equipados con el sistema antibloqueo ABS, el programa electrónico de estabilidad ESP, o con un sistema de regulación del tren de rodaje.

La magnitud de medición es la aceleración "a", que con frecuencia se indica como múltiplo de la aceleración de la gravedad "g" ( $1g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) para valores típicos en los automóviles.

Tabla 1.1. Características de algunos sensores de aceleración

| Aplicación                   | Campo de medición (g) |
|------------------------------|-----------------------|
| Regulación contra detonación | 1 a 10                |
| AIRBAG, tensor de cinturón   | 50                    |
| Arco contra vuelco           | 4                     |
| Bloqueador de cinturón       | 0,4                   |
| ABS, ESP                     | 0,8 a 1,2             |
| Carrocería                   | 1                     |
| Eje del tren de rodaje       | 10                    |

## 1.5.2 PRINCIPIOS DE MEDICIÓN

Todos los sensores de aceleración miden en principio, con arreglo a la ley fundamental de la mecánica, las fuerzas (F) ejercidas por la aceleración (a) sobre las masas inertes (m), ya sea de modo únicamente dinámico (sensores de vibraciones) o también estático:

$$F = m \cdot a$$

Ec. 1.1

En el caso de medición de fuerzas, existen sensores que miden desplazamientos y otros que miden esfuerzos mecánicos. Por ello, el encapsulamiento tiene una importancia decisiva para la calidad de la detección. En su función de sensores de inercia detectan la magnitud de medición sin la menor comunicación con el exterior; pueden encapsularse pues fácilmente de modo hermético.

Han de disponer, sin embargo, de medios apropiados para un acoplamiento mecánico lo más rígido posible al cuerpo a medir, pues elementos intermedios adicionales elásticos o sueltos alterarían considerablemente la medición. Este acoplamiento rígido y fijo no debe dar lugar, sin embargo, a que las posibles dilataciones térmicas del cuerpo a medir se transmitan al sensor, lo que podría influir en el valor medido.

Se puede encontrar sensores de aceleración fabricados con diversas tecnologías. Entre ellos tenemos:

- Sensores de aceleración de efecto HALL.
- Sensores de aceleración piezoeléctricos.
- Sensores de aceleración micromecánicos.

Sin embargo, el presente estudio se basa en uno de los acelerómetros micromecánicos integrados más conocidos, el MMA7260QT, debido a su tamaño, versatilidad, costo accesible y disponibilidad en el mercado.

### 1.5.3 GENERALIDADES SOBRE MEDICIÓN DE ACELERACIONES EN EL AUTOMÓVIL

El sensor de aceleración se usa para la medición de las aceleraciones longitudinal y transversal del vehículo (referido al sentido de marcha, según la posición de montaje).

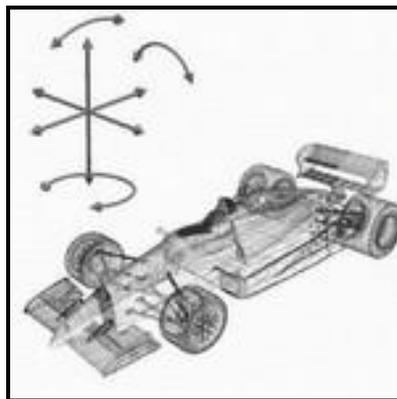


Figura 1.3: Representación de los tres ejes de movimiento de un automóvil

Para su correcto funcionamiento y debido a su función en el sistema, es conveniente que este sensor esté instalado lo más cerca posible del centro de gravedad del vehículo.

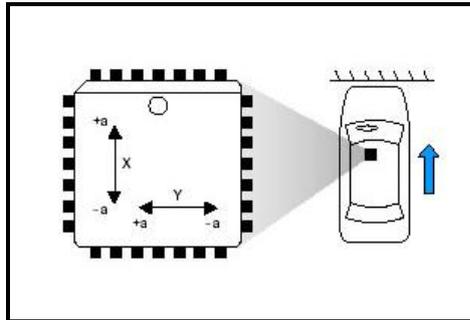


Figura 1.4: Situación del sensor de aceleración en el automóvil

Su misión es la de detectar si existen fuerzas laterales que traten de sacar al vehículo de la trayectoria deseada y detectar su intensidad.

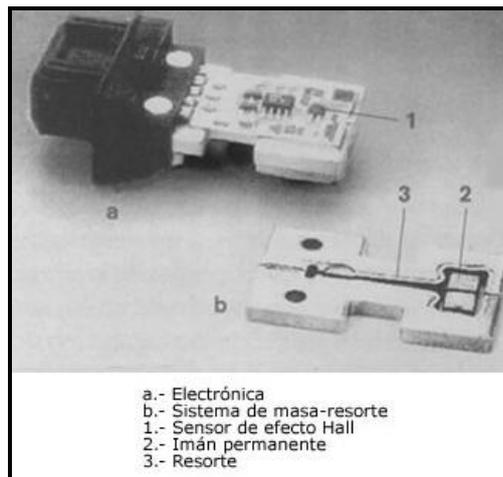


Figura 1.5: Despiece de un sensor de aceleración de aplicación automotriz

#### 1.5.4 DESCRIPCIÓN DEL ACELERÓMETRO MMA7260QT

El principio en que basa este sensor es en el desplazamiento de una masa suspendida en su interior. La señal de salida es proporcional al desplazamiento de la masa, gracias a una red de resistencias variables. Por cada gramo de fuerza soportado por este sensor en cada eje, la

señal de salida incrementa o decrecienta su magnitud en unos 200 - 800mV por gravedad, dependiendo de la resolución calibrada.

### Características funcionales

Las características principales de este dispositivo electrónico son:

- Se puede seleccionar el nivel de sensibilidad mediante la conexión de los pines G-SELECT1 y G-SELECT2 (pines 1 y 2).
- Su voltaje de operación es de 2.2V a 3.6V.
- Posee un bajo consumo de corriente el cual es de 500 $\mu$ A.
- Posee modo SLEEP o de bajo consumo, de 3 $\mu$ A.
- Viene en encapsulado QFN de 6mm x 6mm x 1.45mm.
- Cuenta con un filtro pasa bajo integrado.
- Posee un diseño robusto resistente a los golpes.
- Posee bajo costo.

Tabla 1.2. Sensibilidades para el MMA7260QT.

| Pin g-Select2 | Pin g-Select1 | Rango (g) | Sensibilidad (mV/g) |
|---------------|---------------|-----------|---------------------|
| 0             | 0             | 1.5       | 800                 |
| 0             | 1             | 2         | 600                 |
| 1             | 0             | 4         | 300                 |
| 1             | 1             | 6         | 200                 |

Una vista desde arriba con la distribución de pines del sensor se puede apreciar en la figura 1.6.

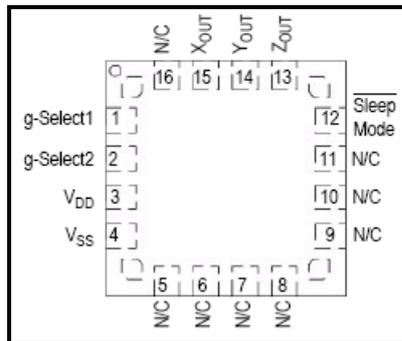


Figura 1.6: PINOUT del sensor MMA7260QT

### Metodología de trabajo

El sensor genera una señal de salida analógica en cada uno de los ejes, proporcional a la aceleración sometida. Esta señal analógica se acondiciona mediante la implementación de filtros pasabajos pasivos de primer orden del tipo RC. En la figura 1.7 se puede observar la implementación de estos filtros, es necesario aclarar que esta configuración ha sido extraída directamente de la hoja de datos del sensor.

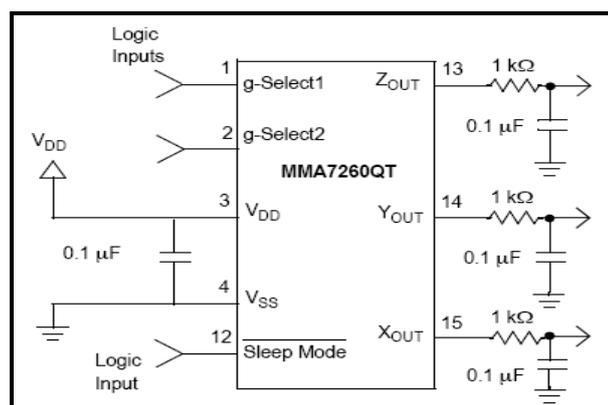


Figura 1.7: Conexión típica del MMA7260QT

## 1.6 SENSOR DE TEMPERATURA

La serie LM35 son sensores de precisión de temperatura es un circuito integrado, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a la temperatura °C (grados centígrados).

El LM35 no requiere ninguna calibración externa o recortar para proporcionar una precisión típica de °C  $\pm 1.4$  a temperatura ambiente y  $\pm 3.4$  °C durante un total -55 a 150 °C, rango de temperatura.

Puede ser usado con fuentes de alimentación individuales, o con las fuentes más y menos. Como se señala a sólo 60 mA de su oferta, que tiene muy baja autoestima, calefacción, menos de 0,1 °C en aire quieto. El LM35 funciona en un rango de temperatura de -55 ° a 150 °C.

### **Características de calibrada directamente en °C (grados centígrados)**

- Lineal + 10,0 mV / °C
- Factor de escala 0,5 °C
- Nominal total de 55 ° a 150 °C rango
- Adecuados para el control remoto
- Aplicaciones de bajo costo
- Drenaje de baja auto-calentamiento, 0.08 °C en el aire todavía no linealidad
- Típica salida de baja impedancia , 0.1

El LM35 se puede aplicar fácilmente en la misma forma que otros sensores de temperatura del circuito integrado. Puede ser pegadas o cementadas a una superficie y la temperatura estará dentro de aproximadamente 0,01 °C de la temperatura de la superficie.

Esto supone que la temperatura del aire ambiente es casi la misma que la temperatura de la superficie, si la temperatura del aire era mucho más alta o más baja que la temperatura de la superficie, la temperatura real del LM35 sería a una temperatura intermedia entre la temperatura de la superficie y la temperatura del aire.

### 1.7 SENSOR DE ACELERACIÓN

Un sensor de aceleración o acelerómetro es un dispositivo que permite medir el movimiento y las vibraciones a las que está sometido un cuerpo (o una parte de él), en su modo de medición dinámica, y la inclinación (con respecto a la gravedad), en su modo estático.

### 1.8 SENSOR DE VELOCIDAD ANGULAR R.P.M.

Los sensores de velocidad de rotación y de velocidad lineal miden el ángulo descrito o el espacio recorrido por unidad de tiempo. En algunos casos, hay que medir también la velocidad de rotación absoluta en el espacio o alrededor de los ejes del vehículo (giro sobre si mismo y vuelco), el sensor que vamos a utilizar es el MCO2551.

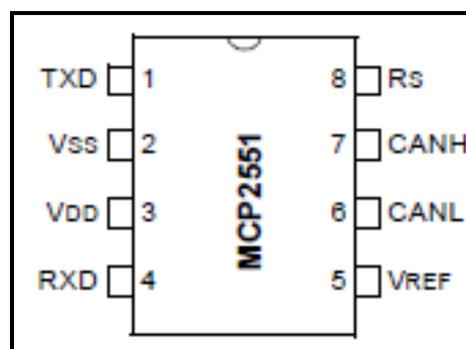


Figura 1.8: Sensor de Velocidad Angular RPM MCP2551

## Características Funcionales MCP2551

- Soporta 1 Mb / s operación.
- Implementa ISO 11898 estándar de capa física requisitos.
- Apto para sistemas de 12V y 24V.
- Pendiente externamente controlado para reducir las emisiones de RFI.
- Detección de falla a tierra (permanente dominante) en TXD.
- Entrada de energía-en el reajuste y la protección del voltaje brown-out.
- Un nodo sin motor o evento brown-out no moleste a la CAN bus.
- Baja corriente de operación en espera • Protección contra el daño debido a las condiciones de corto circuito (voltaje de la batería positivo o negativo).
- Protección contra transitorios de alto voltaje.
- Protección automática de apagado térmico.
- Hasta 112 nodos pueden conectarse.
- Alta inmunidad al ruido debido al diferencial de barras rangos de aplicación • Temperatura: - Industriales (I):  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$  - Extendida (E):  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$

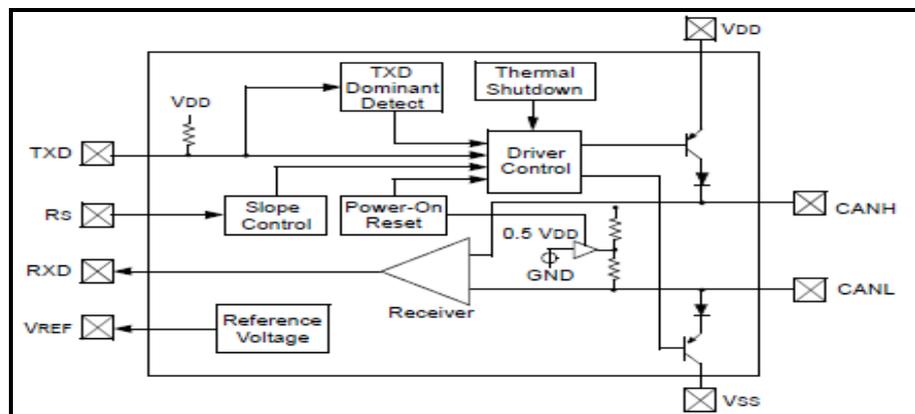


Figura 1.9: Conexión Interna del Sensor MCP2551

El MCP2551 es una alta velocidad de la CAN, el dispositivo tolerante a fallos que sirve como interfaz entre un regulador del protocolo de la CAN y el autobús físico. El MCP2551 proporciona diferencial de transmisión y recepción de la capacidad para el controlador de protocolo de la CAN y es totalmente compatible con la norma ISO-11898 norma, incluidos los 24V.

Puede funcionar a velocidades de hasta 1 Mb / s. Normalmente, cada nodo en un sistema CAN debe tener un dispositivo para convertir las señales digitales generadas por un controlador CAN a las señales adecuadas para la transmisión sobre el cableado del bus (salida de diferencial). También proporciona un margen de entre el controlador CAN y los picos de alta tensión que se pueden generar en el bus CAN por fuentes externas (EMI, ESD, transitorios eléctricos, etc.)

### **Transmisor Función**

El bus CAN tiene dos estados: dominantes y recesivos. Un estado dominante se produce cuando la tensión diferencial entre CANH y CANL es mayor que un voltaje definido (por ejemplo: 1,2 V). Un estado recesivo se produce cuando la tensión diferencial es menor que un voltaje definido (generalmente 0V). Los estados dominantes y recesivos en consonancia con los bajos y altos de la clavija de entrada TXD, respectivamente. Sin embargo, un estado dominante iniciado por otro nodo CAN anular un estado recesivo en el bus CAN.

Número máximo de nodos El MCP2551 salidas CAN impulsará una carga mínima de  $45\Omega$ , lo que permite un máximo de 112 nodos a conectar (dada una resistencia de entrada diferencial mínimo de 20 k y un valor nominal de resistencia de terminación de  $120\Omega$ ).

La función del receptor pin de salida RXD refleja la tensión del bus diferencial entre CANH y CANL. Los estados de alta y baja del pin de salida RXD corresponden a los estados dominantes y recesivos de la CAN bus, respectivamente.

Protección Interna CANH y CANL están protegidos contra cortocircuitos de la batería y transitorios eléctricos que pueden ocurrir en el bus CAN. Esta característica previene la destrucción de la etapa de salida del transmisor durante una condición de falla. El dispositivo está protegido de la carga de exceso de corriente por el circuito de apagado térmico que deshabilita los controladores de salida cuando la temperatura de la unión excede un límite nominal de 165 ° C. Todas las otras partes del chip seguir funcionando y la temperatura del chip se reduce debido a la disipación de la energía disminuyó en las salidas del transmisor. Esta protección es esencial para proteger contra el autobús de la línea de corto circuito de daño inducido.

## **Funcionamiento**

El pin RS permite tres modos de operación para ser seleccionado:

- Alta velocidad • Pendiente de Control.
- Según la tabla 1.3, en caso de alta velocidad o el modo de control de la pendiente, los controladores de la CANH y señales CANL internamente se regulan para generar la simetría controlado con el fin de minimizar las emisiones EMI. Además, la pendiente de las transiciones de la señal en CANH y CANL se puede controlar con una resistencia conectada entre el pin 8 (RS) con la tierra, con la pendiente proporcional a la corriente de salida en RS, reduciendo aún más las emisiones EMI.

Tabla 1.3. Voltaje en función de la velocidad.

| MODE          | Current at Rs Pin              | Resulting Voltage at Rs Pin       |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Standby       | $-I_{RS} < 10\mu A$            | $V_{RS} > 0.75 V_{DD}$            |
| Slope-control | $10\mu A < -I_{RS} < 200\mu A$ | $0.4V_{DD} < V_{RS} < 0.6 V_{DD}$ |
| High-speed    | $-I_{RS} < 610\mu A$           | $0 < V_{RS} < 0.3 V_{DD}$         |

**ALTA VELOCIDAD** El modo de alta velocidad se selecciona mediante la conexión de la RS pin VSS. En este modo, los conductores de salida del transmisor tiene lugar una rápida producción y los tiempos de caída de las tasas de apoyo CAN de alta velocidad del bus.

**PENDIENTE DE CONTROL** modo Pendiente de control reduce aún más el IME, al limitar los tiempos de auge y caída de CANH y CANL. La pendiente o velocidad de respuesta (RE), se controla mediante la conexión de una resistencia externa (Rext) entre RS y VOL (generalmente de tierra). La pendiente es proporcional a la corriente de salida en el pin RS. Puesto que la corriente está determinada principalmente por la Rext valor de la pendiente de control de la resistencia, la rapidez de respuesta determinados se consigue aplicando una resistencia respectiva. Figura 1-10 muestra los valores típicos velocidad de respuesta en función del valor de la resistencia pendiente de control.

**MODO DE ESPERA** El dispositivo se puede colocar en modo de espera o "SLEEP" modo de aplicación de un alto nivel de RS. En el modo SLEEP, el transmisor se apaga y el receptor funciona a una corriente más baja. El recibir pin en el lado del controlador (RXD) sigue siendo funcional, pero funcionará a una velocidad más lenta. El microcontrolador conectado RXD puede supervisar la actividad de bus CAN y coloque el transceptor en

funcionamiento normal a través del pin RS (a valores más altos de autobuses, el primer mensaje de la CAN se pueden perder).

Tabla 1.4. Recepción de datos verdaderos.

| VDD                               | VRS            | TXD           | CANH                   | CANL                   | Bus State <sup>(1)</sup> | RXD <sup>(1)</sup> |
|-----------------------------------|----------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
| 4.5V ≤ VDD ≤ 5.5V                 | VRS < 0.75 VDD | 0             | HIGH                   | LOW                    | Dominant                 | 0                  |
|                                   |                | 1 or floating | Not Driven             | Not Driven             | Recessive                | 1                  |
|                                   | VRS > 0.75 VDD | X             | Not Driven             | Not Driven             | Recessive                | 1                  |
| VPOR < VDD < 4.5V<br>(See Note 3) | VRS < 0.75 VDD | 0             | HIGH                   | LOW                    | Dominant                 | 0                  |
|                                   |                | 1 or floating | Not Driven             | Not Driven             | Recessive                | 1                  |
|                                   | VRS > 0.75 VDD | X             | Not Driven             | Not Driven             | Recessive                | 1                  |
| 0 < VDD < VPOR                    | X              | X             | Not Driven/<br>No Load | Not Driven/<br>No Load | High Impedance           | X                  |

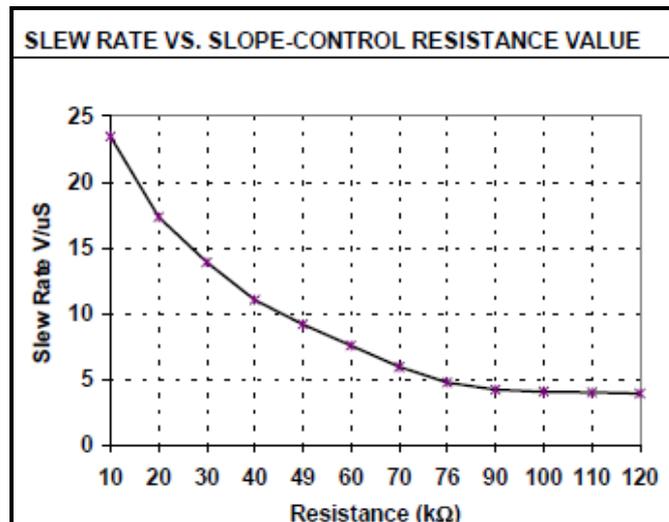


Figura 1.10: Velocidad en función de la resistencia.

Tabla 1.5. Pines de conexión y su función.

| Numero de Pin | Nombre del Pin   | Función                    |
|---------------|------------------|----------------------------|
| 1             | TXD              | Transmit Data Input        |
| 2             | V <sub>SS</sub>  | Ground                     |
| 3             | V <sub>DD</sub>  | Supply Voltage             |
| 4             | RXD              | Receive Data Output        |
| 5             | V <sub>REF</sub> | Reference Output Voltage   |
| 6             | CANL             | CAN Low-Level Voltage I/O  |
| 7             | CANH             | CAN High-Level Voltage I/O |
| 8             | R <sub>S</sub>   | Slope-Control Input        |

## MODOS DE FUNCIONAMIENTO

- Transmisión de datos de entrada.
- Tierra.
- Tensión de alimentación.
- Capacidad de salida de datos.
- Referencia del voltaje de salida.
- CAN de baja tensión-Nivel E / S.
- CAN voltaje de alto nivel de E / S.
- Pendiente de Control de entrada.

TRANSMISOR DE DATOS DE ENTRADA (TXD) TXD es un pin de entrada TTL compatible. Los datos sobre este pin es expulsado en el CANH y alfileres CANL diferencial de salida. Por lo general, relacionada con la salida de datos del transmisor del dispositivo controlador CAN. Cuando TXD es baja, CANH y CANL están en el estado dominante.

Cuando TXD es alta, CANH y CANL están en estado recesivo, a condición de que otro nodo CAN no está conduciendo el bus CAN con un estado dominante. TXD tiene un interior resistencia pull-up (nominal de 25 kΩ a VDD).

TIERRA DE SUMINISTRO (VSS) conector de tierra de suministro.

TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN (VDD) pin positivo tensión de alimentación.

RECEPTOR DE DATOS DE SALIDA (RXD) RXD es una salida CMOS-compatible que las unidades de alta o baja dependiendo de las señales diferenciales en los pins CANH y CANL y por lo general relacionada con la entrada del receptor de datos del dispositivo controlador CAN. RXD es alto cuando el CAN bus es recesivo y baja en el estado dominante.

Tensión de referencia (VREF) de referencia de voltaje de salida (Definido como  $VDD / 2$ ).

CAN LOW (CANL) La salida CANL unidades de la parte baja del diferencial de barras de la CAN. Este pin también está relacionada internamente para la recepción de entrada del comparador.

CAN HIGH (CANH) La salida CANH conduce el lado alto de la diferencial de barras de la CAN. Este pin también está relacionada internamente para la recepción de entrada del comparador.

PENDIENTE resistencia de entrada (RS) El pin RS se utiliza para seleccionar de alta velocidad, control de taludes o los modos de espera a través de una resistencia de polarización externa.

## 1.9 VISUALIZADORES GRAFICOS GLCD

Una pantalla gráfica de cristal líquido o GLCD (acrónimo del inglés GRAPHIC LIQUID CRYSTAL DISPLAY) es una pantalla plana formada por una matriz de píxeles monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

Los procesadores más difundidos en el control de pantallas gráficas genéricas son el SAMSUNG KS108 y el TOSHIBA T6963C. El presente estudio se centra en la descripción del T6963C, ya que este procesador está destinado al control de pantallas de mayor tamaño.

### 1.9.1 GLCD 240x128 PÍXELES CON CONTROLADOR T6963C

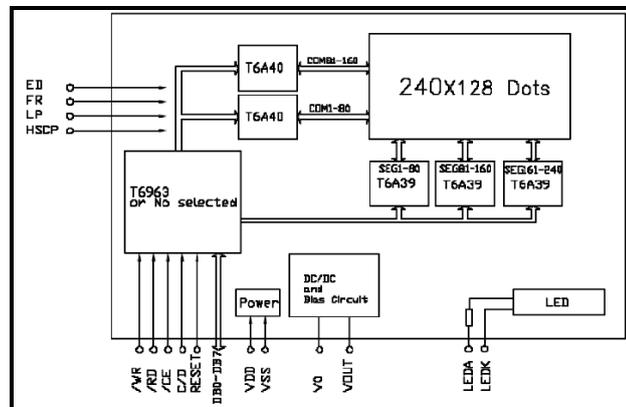


Figura 1.11: Estructura interna del módulo GLCD con controlador T6963C

## Descripción de las funciones

| <b>Funciones</b> | <b>Básicas de inicialización y el control de errores</b>                               |
|------------------|--|
| Ginit            | Inicializar el módulo de visualización   |
| ghw_puterr       | Inicializar la pantalla y la salida de un mensaje de error en el centro de la pantalla |
| Gexit            | Liberar recursos de pantalla   |
| Gsetupdate       | Activar / desactivar el retraso en actualización                                       |
| ghw_err          | Informe sobre la situación de error de los controladores de hardware                   |
| ghw_dispoff      | Apague la pantalla de visualización  |
| ghw_dispon       | Encienda la pantalla de visualización  |
| ghw_loadsym      | Descarga de la fuente de hardware  |

| <b>Funciones</b> | <b>Funciones básicas de texto</b>  |
|------------------|--|
| Gputs            | Imprimir una cadena. La cadena puede ser una (UTF-8) de bytes codificados en cadenas múltiples.                          |
| Gputch           | Imprimir un carácter   |
| Gputcsym         | Imprimir un símbolo como un personaje  |
| Ggetc xpos       | Informe sobre la posición del cursor x carácter coordenadas  |
| Ggetc ypos       | Informe posición del cursor y de carácter coordenadas  |
| Gsetcpos         | Establecer la posición del cursor en el carácter de coordenadas  |
| Gsetpos          | Establecer la posición del cursor en el gráfico de coordenadas   |
| Gsetcursor       | Establecer el tamaño del cursor y el tipo  |
| Ggetfw           | Anchura predeterminada de la fuente actual   |
| Ggetfh           | Altura de la fuente actual   |
| Gfgetfw          | Anchura predeterminada de una fuente llamada   |
| Gfgetfh          | Altura de una fuente llamada   |
| Ggetmbc          | Obtener un carácter de varios bytes de una cadena. El puntero de cadena avanza al siguiente carácter                     |
| Gstrlines        | Informa número de líneas de texto en una cadena de múltiples líneas  |
| Gsetspch         | Establecer el espaciado de caracteres de texto. Añadir espacio adicional entre los caracteres de píxeles cadena de texto |
| Ggetspch         | Informe de caracteres de texto espaciado   |

|          |  |
|----------|--|
| Gsetspln | Ajuste de texto interlineado. Añadir espacio píxeles extra entre líneas de texto |
| Ggetspln | Informe línea de texto espaciado   |

| <b>Funciones</b> | <b>Funciones básicas de Gráfico</b>  |
|------------------|--|
| Gcarc            | Dibuja arcos esquina como punto de partida, medio círculo, cuarto de círculo. Dibujar en el perímetro, como el área de llenado, o ambos.                                     |
| Gcircle          | Dibuja un círculo en el perímetro o área rellena. Cualquier fragmento de perímetro con cualquier radio se puede extraer. El Centro puede estar situado fuera de la pantalla. |
| Gsetpixel        | Escribe píxeles lógicos utilizando la configuración actual de la vista.  |
| Ggetpixel        | Leer pixel como valor lógico   |
| Grectangle       | Dibujar una caja rectangular con el ajuste de vista actual.  |
| Groundrec        | Dibuja un rectángulo con esquinas redondeadas. Crea cualquier figura de un rectángulo puro a un círculo. Dibujar en el perímetro, como el área de llenado, o ambos.          |
| Gmoveto          | Ajuste la posición de inicio en el sorteo de línea   |
| Glineto          | Dibuja una línea desde la última posición a la nueva posición  |
| Ggetxpos         | Informe píxel actual posición x  |
| Ggetypos         | Informe píxel actual posición y  |
| ghw_rdblk        | Zona de lectura de pantalla  |
| ghw_restoreblk   | Escribe el área de visualización almacenada en el búfer de reserva en la misma posición en que fue leído por ghw_rdblk   |
| ghw_wrblk        | Escribe búfer de área de visualización   |
| ghw_blksize      | Calcular el tamaño de búfer necesario para la lectura de bloque  |

| <b>Funciones</b> | <b>Símbolo (icono)</b>  |
|------------------|---|
| Gputsym          | Salida a, b gráfico y símbolo w   |
| Ggetsym          | Leer área de la pantalla como un símbolo  |
| Gfillsym         | Área de llenado con un símbolo de b & w   |
| Gsymsize         | Calcula el tamaño de búfer mínimo para mantener un símbolo                        |
| Ggetsymw         | Obtiene el ancho de píxel de un símbolo de caracteres utilizando la fuente actual |

|       |  |
|-------|--|
| Gsymh | Informe de píxeles de altura del símbolo |
| Gsymw | Informe de píxeles de ancho del símbolo  |

| <b>Funciones</b> | <b>Funciones de puerto</b>   |
|------------------|--|
| Ggetvp           | Informe de tamaño de ventana gráfica   |
| Gsetvp           | Establecer el tamaño de ventana gráfica  |
| Ggetvpnum        | Informe número ventana   |
| Gsetcvp          | Conjunto de caracteres que indica el tamaño de la ventana  |
| Gsetupvp         | Inicializar todos los parámetros de vista  |
| Ggetvp           | Informe de tamaño de ventana gráfica   |
| Gsetvp           | Establecer el tamaño de ventana gráfica  |
| Ggetvpnum        | Informe número ventana   |
| Gsetcvp          | Conjunto de caracteres ventana de tamaño   |
| Gsetupvp         | Inicializar todos los parámetros de vista  |
| Ggetvpw          | Informe ancho de ventana gráfica actual  |
| Ggetvph          | Informe de la altura de vista actual   |
| Gselvp           | Selecciona la ventana que se va utilizar   |
| Gfillvp          | Rellena las áreas rectangulares que está a la vista  |
| Ginvertvp        | Invierte el área rectangular de vista  |
| Gresetvp         | Restablecer vista predeterminada   |
| Gresetposvp      | Restablecer vista coordenadas a pantalla completa. Deja la fuente y el modo de ajuste de texto sin cambios |
| Gclrvp           | Borrar vista   |
| Gsetmode         | Ajuste normal, inversa, y los modos de alineación  |
| Gscrollcvp       | Vaya vista carácter  |
| Gvpxl            | Informe borde izquierdo de coordenadas de vista  |
| Gvpxr            | Informe del borde derecho de coordenadas de vista  |
| Gvpyb            | Informe sobre el borde inferior de coordenadas de vista  |
| Gvpyt            | Informe del borde superior de coordenadas para vista   |
| Ggetapp          | Obtener puntero a los datos específicos de la aplicación de ventana  |
| Ggetvpapp        | Traducir los datos específicos de la aplicación puntero al número de vista                                 |

| <b>Funciones</b> | <b>Funciones de Tabulación en las ventanas</b> |
|------------------|--|
| Gsettab          | Establecer una posición de ficha               |
| Gsettabs         | Establecer ficha espaciamento                  |
| Gclrtabs         | Borrar ficha                                   |

El visualizador es una GLCD de 240x128 píxeles, gobernada por el procesador TOSHIBA T6963C. Algunas de las características específicas del módulo empleado, el JHD240128D, son:

- Modo de pantalla STN.
- Tipo de pantalla TRANSFLECTIVA positiva.
- Tipo de módulo COP (CHIP ON BOARD).
- Luz de retro iluminación (BACKLIGHT) verde.
- Alimentación única de 5V.

## **1.10 MICROCONTROLADORES**

### **1.10.1 MICROCONTROLADOR PIC INTERFASE CAN**

En general, cualquier tipo de microcontrolador PIC se puede utilizar en proyectos basados en bus CAN, pero algunos microcontroladores PIC (por ejemplo, PIC18F258) han incorporado en los módulos de la CAN, lo cual puede simplificar el diseño de sistemas basados en CAN bus. Microcontroladores sin incorporados módulos CAN también se puede utilizar en aplicaciones de bus CAN, pero el hardware y software adicionales son necesarios, permite que el diseño sea claro y también más complejo.

En la Figura 1.12 se muestra el diagrama de bloques de comunicación basada en CAN bus aplicación microcontrolador PIC, utilizando un PIC16 o de tipo Pic18 microcontrolador (por ejemplo, PIC18F4480) sin integrado

en el módulo CAN. El microcontrolador está conectado al bus CAN con un chip controlador MCP2515 externa de la CAN y un chip de bus CAN MCP2551 transceptor. Esta configuración es ideal para una actualización rápida de un diseño ya existente, utilizando cualquier microcontrolador PIC.

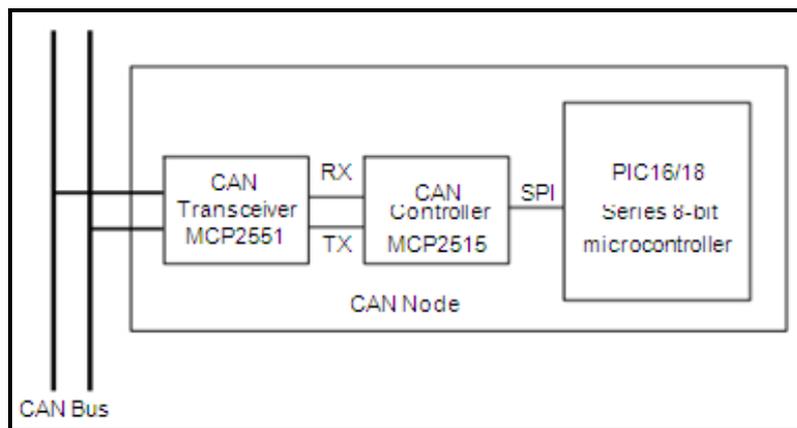


Figura 1.12: Nodo CAN con cualquier microcontrolador PIC

Para los nuevos diseños basados en bus-CAN es más fácil utilizar un microcontrolador PIC con un módulo incorporado de la CAN. Como se muestra en la Figura 1.13, estos dispositivos son los integrados en la CAN controlador de hardware en el chip. Todo lo que se requiere para hacer un nodo CAN es agregar un chip del transceptor CAN. En la Tabla 1.6, se enumeran algunos de los microcontroladores PIC, que incluyen un módulo CAN.

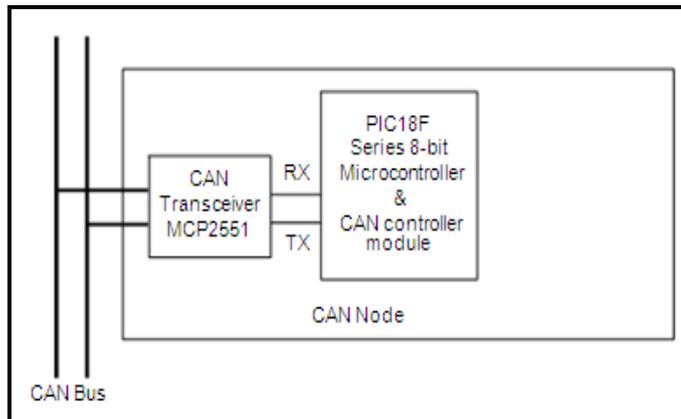


Figura 1.13: Nodo CAN con el módulo CAN integrado

Tabla 1.6. Algunos microcontroladores PIC populares que incluyen módulos CAN

| Device  | Pins  | Flash<br>(KB) | SRAM<br>(KB) | EEPROM<br>(bytes) | A/D | CAN<br>module | SPI | UART |
|---------|-------|---------------|--------------|-------------------|-----|---------------|-----|------|
| 18F258  | 28    | 16            | 768          | 256               | 5   | 1             | 1   | 1    |
| 18F2580 | 28    | 32            | 1536         | 256               | 8   | 1             | 1   | 1    |
| 18F2680 | 28    | 64            | 3328         | 1024              | 8   | 1             | 1   | 1    |
| 18F4480 | 44/44 | 16            | 768          | 256               | 11  | 1             | 1   | 1    |
| 18F8585 | 80    | 48            | 3328         | 1024              | 16  | 1             | 1   | 1    |
| 18F8680 | 80    | 64            | 3328         | 1024              | 16  | 1             | 1   | 1    |

### 1.10.2 MICROCONTROLADOR PIC18F4480

El PIC18F4480 tiene un alto rendimiento 8 bits del micro controlador con módulo CAN integrado. El dispositivo tiene las siguientes características:

- 32 K de memoria flash programa
- 1536 bytes de RAM de memoria de datos
- 256 bytes de memoria EEPROM
- 22 puertos I / O
- 5-canal de 10-bit convertidores A / D
- Tres temporizadores / contadores
- Tres terminales externas
- Interrupción de alta corriente (25 mA) o se hunde "
- Fuente de captura / compare / PWM módulo
- Módulo SPI/I2C
- CAN 2.0A / B
- Módulo de encendido y reset de encendido del temporizador
- Reloj de vigilancia
- Nivel de prioridad de interrupción
- DC a 40MHz de entrada de reloj
- 8 \_ 8 \_ hardware multiplicador
- Ancho del voltaje de funcionamiento (2.0V a 5.5V)
- Modo suspendido para ahorrar energía

Las características del módulo de la CAN el micro controlador PIC18F4480 son las siguientes:

- Compatible con CAN 1.2, CAN 2.0A y CAN 2.0B
- Apoya datos extendidos de marcos y estándares
- Velocidad de bits programable hasta 1 Mbit / s

- Doble buffer receptor
- Tres transmitir buffers
- Dos búferes de recepción
- Fuente de reloj programable
- Seis filtros de la aceptación
- Dos máscaras de filtro de aceptación
- Bucle de recuperación para auto diagnóstico
- De baja potencia de modo de suspensión
- Capacidades de interrupción

El módulo utiliza pines del puerto y RB3/CANRX RB2/CANTX para el autobús pueden recibir y transmitir las funciones, respectivamente. Estos pines están conectados al bus CAN a través de un MCP2551-tipo de chip del transceptor CAN bus.

El microcontrolador PIC18F4480 soporta los tipos de tramas siguientes:

- Standard data frame
- Extended data frame
- Remote frame
- Error frame
- Overload frame
- Interframe space

Un nodo utiliza filtros para decidir si acepta o no un mensaje recibido. El filtrado de mensajes se aplica al campo de identificador de conjunto, y los registros de la máscara se usan para especificar que los bits en el identificador de los filtros deben examinar.

El módulo de la CAN en el microcontrolador PIC18F258 tiene seis modos de funcionamiento:

- Modo de configuración
- Desactivar el modo
- Modo de funcionamiento normal
- Sólo el modo de escuchar
- Bucle de devolución
- Error de modo de reconocimiento

### **Modo de configuración**

El módulo CAN se inició en modo de configuración. El módulo no se le permite entrar en el modo de configuración, mientras que una transmisión se lleva a cabo. En el modo de configuración del módulo no se transmiten ni reciben, los contadores de error se borran, y las banderas de interrupción no se modifican.

### **Modo de Desactivar**

En el modo de desactivar, el módulo no se transmite ni reciben. En este modo el reloj interno se detiene a menos que el módulo está activo. Si el módulo está activo, se esperará a 11 bits recesivo en el bus CAN, detectar esta condición como un autobús IDLE, y luego aceptar el comando de desactivar el módulo. El WAKIF interrupción (wake-up de interrupción) es la única interrupción de la CAN módulo que se activa en el modo de desactivar.

### **Modo de Operación Normal**

El modo de funcionamiento normal es el modo del módulo CAN normalizados de trabajo. En este modo, el módulo supervisa todos los mensajes de autobuses y genera reconocer bits, marcos de error, etc. Este es el único modo que pueden transmitir mensajes.

### **Modo de Solo Lectura**

El modo de sólo escucha permite que el módulo CAN reciba mensajes, incluidos los mensajes con errores. Puede ser usado para monitorear las actividades de autobús o para detectar la velocidad de transmisión en el autobús. Para la detección automática de velocidad de transmisión, por lo menos otros dos nodos deben comunicarse entre sí. La velocidad de transmisión se puede determinar mediante pruebas de diferentes valores hasta que se reciban mensajes válidos. El modo de sólo escucha no puede transmitir mensajes.

### **Modo de Loop-Back**

En el modo de loop-back, los mensajes pueden ser dirigidos desde transmitir búferes internos para recibir buffers sin llegar a la transmisión de mensajes en el bus CAN. Este modo es útil durante el desarrollo del sistema y las pruebas.

### **Modo de Reconocimiento de Error**

El modo de reconocimiento de error se utiliza para ignorar todos los errores y recibir todos los mensajes. En este modo, todos los mensajes, válido o no válido se reciben y se copian en el búfer de recepción. El microcontrolador PIC18F258 implementa tres delicados buffers de

transmisión: TXB0, TXB1 y TXB2. Los mensajes pendientes de transmisión se encuentran en una cola de prioridad. El buffer de transmisión con la más alta prioridad es enviado primero. Si dos amortiguadores tienen la misma prioridad, el uno con el número de amortiguador la subida se envía primero. Hay cuatro niveles de prioridad.

### **CAN recepción de mensajes**

Recepción de un mensaje es un proceso más complejo. El microcontrolador PIC18F4480 incluye dos búferes de recepción, y RXB0 RXB1, con filtros de aceptación múltiples de cada una Figura 1.14.

Todos los mensajes recibidos se ensamblan en el buffer de ensamblaje de mensajes (MAB). Una vez que se recibe un mensaje, independientemente del tipo de identificador y el número de bytes de datos, todo el mensaje se copia en el MAB.

Los mensajes recibidos tienen prioridades. RXB0 es el buffer más prioritarias, y cuenta con dos filtros de la aceptación del mensaje, y RXF0 RXF1. RXB1 es el buffer de menor prioridad y tiene cuatro filtros de aceptación: RXF2, RXF3, RXF4 y RXF5. Dos aceptación las máscaras de filtro programable, RXM0 y RXM1, también están disponibles, uno para cada búfer de recepción.

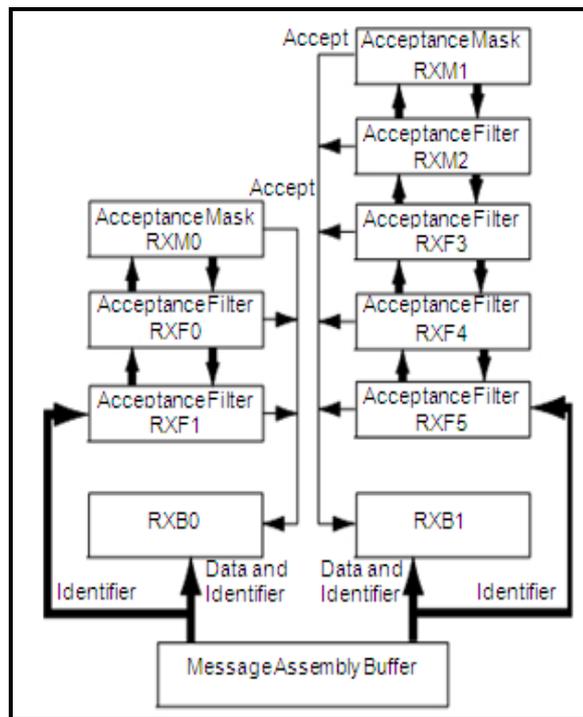


Figura 1.14: Diagrama de Recepción de Mensajes

## 1.11 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LENGUAJES DE PROGRAMACION PARA MICROCONTROLADORES

La tendencia actual, en lo que respecta a la programación de microcontroladores de cualquier marca y tipo, es el uso de compiladores en lenguaje C para el desarrollo de aplicaciones.

C es un lenguaje de nivel intermedio que incorpora muchos elementos propios del ensamblador, puede acceder a los registros del sistema y trabajar con direcciones de memoria, con la particularidad de que permite realizar las operaciones mucho más legibles, utilizar estructuras de datos y otras características propias de los lenguajes de alto nivel.

Este lenguaje permite un manejo abstracto independiente del hardware, a diferencia del ensamblador, pero sin perder mucho del poder y eficiencia

que tienen los lenguajes de bajo nivel. Así, es aplicable para desarrollos que necesiten alto grado de optimización.

Según los expertos, posiblemente el lenguaje C no permita que pueda desarrollarse un programa de forma rápida o segura, pero el hecho real es que si algo no se puede hacer con C, posiblemente no se pueda crear con ningún otro lenguaje.

Algunas de las características más importantes que definen al lenguaje son:

- Tamaño pequeño.
- Uso extensivo de llamadas a funciones.
- Comandos breves (poco tecleo).
- Lenguaje estructurado.
- Programación de bajo nivel (nivel bit).
- Implementación de apuntadores - uso extensivo de apuntadores para la memoria, arreglos, estructuras y funciones.

Las diversas razones por la cual se ha convertido en un lenguaje de uso profesional son:

- El uso de constructores de alto nivel.
- El poder manejar actividades de bajo-nivel.
- El generar programas eficientes.
- La posibilidad de poder ser compilado en una variedad de microcontroladores, con pocos cambios (portabilidad).

Un punto en contra es que tiene una detección pobre de errores, lo cual en ocasiones es problemático para los principiantes.

### **1.11.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL COMPILADOR MIKROC PARA PIC.**

El MikroC ha sido diseñado para ser muy flexible y soportar microprocesadores derivados. Se adapta a la mayoría de ellos muy fácilmente.

Soporta una estructura de librerías muy flexible, que le permite fácilmente asignar direcciones de memoria, registros de funciones del procesador, direcciones de hardware, entre otros, en el archivo de inicio.

Debido a la manera en que el enlazador de MikroC opera, todo lo que el usuario tiene que hacer, es cambiar el archivo de inicio y compilar. No es necesario reconstruir librerías o cualquier otro paso.

Éste es un compilador de subconjunto (cerca a ANSI). Sin embargo, soporta más del lenguaje C, más que otros compiladores de subconjunto, incluyendo:

- Todas las declaraciones de C.
- Todos los operadores de C.
- Arreglos de cualquier tipo (incluyendo multidimensionales, apuntadores y estructuras).
- Moldeo de valores a otros tipos.
- Constantes decimales, octales y hexadecimales.
- Soporte completo para cadenas y constantes de caracteres.
- Código ensamblador en línea (simple o multideclaración).
- Comandos de preprocesador.
- Símbolos predefinidos.
- Funciones matemáticas que pueden ser fácilmente ajustadas para manipular incluso números largos.

### a. MikroC CAN Funciones

El lenguaje mikroC proporciona dos bibliotecas para aplicaciones de bus CAN: la biblioteca para microcontroladores PIC con una función de módulos CAN y la biblioteca basado en el uso de un autobús de SPI para microcontroladores PIC no tener incorporado un módulo CAN. En esta sección sólo se abordan las funciones de biblioteca disponible para microcontroladores PIC, integrados en un módulo CAN. Funciones similares están disponibles para los microcontroladores PIC, y no incorporado en los módulos de la CAN.

Las funciones mikroC CAN están apoyados sólo por PIC18XXX8 microcontroladores con transceptores CAN MCP2551 o similar. Ambos estándar (11 bits identificador) y formato extendido (29 bits identificador) mensajes son compatibles.

Las siguientes funciones mikroC se proporcionan:

- \_CANSetOperationMode
- \_CANGetOperationMode
- \_CANInitialize
- \_CANSetBadRA
- \_CANSetMask
- \_CANSetFilter
- \_CANRead
- \_CANWrite
- \_CANSetOperationMode

La función CANSetOperationMode establece el modo de operación de la CAN. El prototipo de la función es:

CANSetOperationMode vacío (modo char, char wait\_flag)

La bandera wait\_ parámetro es 0 o 0 \_ FF. Si se establece en 0 \_ FF, los bloques de función y no regresará hasta que el modo solicitado está ajustado. Si se establece a 0, la función devuelve como una llamada sin bloqueo.

## 1.12 INTERFACES ANALÓGICAS PARA ADQUISICIÓN DE DATOS

### 1.12.1 AMPLIFICADORES OPERACIONALES

El amplificador operacional proviene de una de las utilidades básicas de este, es decir, realizar operaciones matemáticas en computadores analógicos (características operativas).

Un amplificador operacional es un amplificador diferencial integrado. Puede ser utilizado en lazo abierto o con realimentación. Cuando se emplea en circuito abierto tiene una ganancia muy elevada (del orden de 105); con realimentación, la ganancia viene limitada por la relación entre la impedancia de realimentación dividida por la impedancia de entrada.

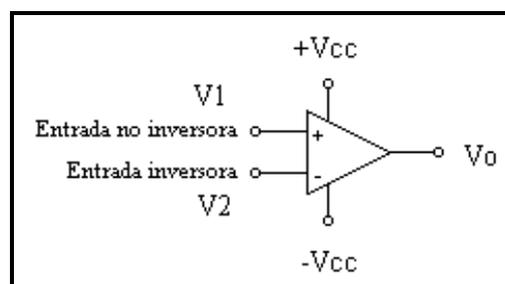


Figura 1.15: Símbolo de un amplificador operacional

El amplificador operacional ideal se caracteriza por:

- Resistencia de entrada, ( $R_{in}$ ), tiende a infinito.
- Resistencia de salida, ( $R_o$ ), tiende a cero.
- Ganancia de tensión de lazo abierto, ( $A$ ), tiende a infinito.
- Ancho de banda ( $BW$ ) tiende a infinito.

**a. SEGUIDORES DE VOLTAJE.**

Es aquel circuito que proporciona a la salida la misma tensión que a la entrada.

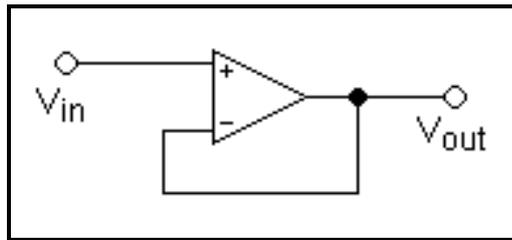


Figura 1.16: Símbolo de Seguidor de Voltaje

- Se usa como un buffer, para eliminar efectos de carga o para adaptar impedancias (conectar un dispositivo con gran impedancia a otro con baja impedancia y viceversa).
- Como la tensión en las dos patillas de entradas es igual:  $V_{out} = V_{in}$
- $Z_{in} = \infty$

Presenta la ventaja de que la impedancia de entrada es elevadísima, la de salida prácticamente nula, y puede ser útil, por ejemplo, para poder leer la tensión de un sensor con una intensidad muy pequeña que no afecte apenas a la medición. De hecho, es un circuito muy recomendado para realizar medidas de tensión lo más exactas posibles, pues al medir la

tensión del sensor, la corriente pasa tanto por el sensor como por el voltímetro y la tensión a la entrada del voltímetro dependerá de la relación entre la resistencia del voltímetro y la resistencia del resto del conjunto formado por sensor, cableado y conexiones.

Por ejemplo, si la resistencia interna del voltímetro es  $R_e$  (entrada del amplificador), la resistencia de la línea de cableado es  $R_l$  y la resistencia interna del sensor es  $R_g$ , entonces la relación entre la tensión medida por el voltímetro ( $V_e$ ) y la tensión generada por el sensor ( $V_g$ ) será la correspondiente a este divisor de tensión:

$$V_e = \frac{R_e}{R_g + R_l + R_e} \cdot V_g \quad \text{Ec. 1.2}$$

Además, cuanto mayor sea la intensidad que circula por el sensor, mayor será el calentamiento del sensor y del resto del circuito por efecto Joule, lo cual puede afectar a la relación entre la tensión generada por el sensor y la magnitud medida.

En la Figura 1.17 se muestra un AO que con la salida realimentada directamente a la entrada inversora constituye lo que se denomina un seguidor de voltaje (la salida es igual a la entrada).

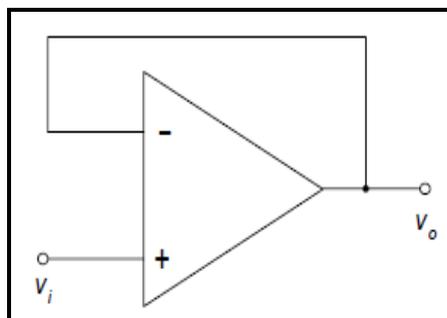


Figura 1.17: Seguidor de voltaje

Esto se demuestra aplicando las leyes de Kirchhoff:

$$V_o = A_v (i - V_o) \quad \text{Ec. 1.3}$$

Se ve que:

$$V_i = V_o \left( 1 + \frac{1}{A_v} \right) \quad \text{Ec. 1.4}$$

Como  $A_v \rightarrow \infty$ , entonces

$$V_o \approx V_i \quad \text{Ec. 1.5}$$

El único camino a tierra para el voltaje de entrada es a través de la alta resistencia de entrada del amplificador, de modo que el seguidor de voltaje hace una buena etapa de aislamiento entre la fuente de voltaje y la carga. Una de las aplicaciones de esta configuración es para aislar la carga de potenciómetros como divisores de voltaje, ya que esto permite que se compartan linealmente.

### 1.12.2 FILTROS PASABAJO

Los filtros son redes que permiten o detienen el paso de un determinado grupo de frecuencias (banda de frecuencias). En estos filtros una de sus principales características es su frecuencia de corte, que delimita el grupo de las frecuencias que pasan o no pasan por el filtro.

El filtro paso bajo permite sólo el paso de frecuencias por debajo de una frecuencia en particular llamada frecuencia de corte ( $F_c$ ) y elimina las frecuencias por encima de esta frecuencia.

Estos filtros RC no son perfectos por lo que se hace el análisis en el caso ideal y el caso real.

La unidad de frecuencia es el: Hertz, Hertzio, ciclo por segundo.

#### a. FILTROS PASO BAJO IDEAL.

Un filtro pasa-bajas ideal elimina completamente todas las frecuencias por encima de la frecuencia de corte, mientras permite que las frecuencias abajo de esta franja pasen inalteradas. La región de transición en los filtros prácticos no existe. Un filtro pasa bajas ideal puede ser obtenido matemáticamente (teóricamente) multiplicando la señal por la función rectangular en el dominio de la frecuencia con una función de sincronización en el dominio del tiempo.

Sin embargo, este filtro no existe para señales reales, pues la función de sincronización de estos se extiende al infinito. El filtro tendría que prever el futuro y tener conocimiento infinito del pasado. Es decir efectivamente realizado para señales digitales pre-grabados, o perfectamente cíclicos, que se repiten infinitamente.

El filtro paso bajo ideal es un circuito formado por un resistor y un capacitor, que permite el paso de las frecuencias por debajo de la frecuencia de corte ( $F_c$ ) y elimina las que sean superiores a ésta.

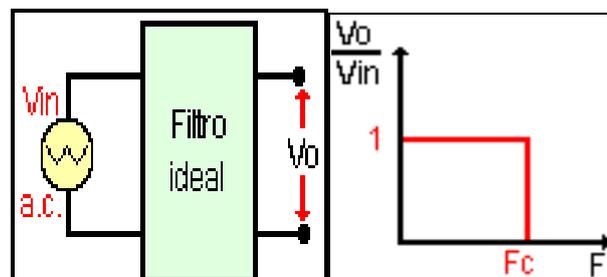


Figura 1.18: Filtro Pasa Bajo Ideal

## b. FILTRO PASO BAJO REAL.

La reactancia capacitiva cambia con la frecuencia. Para altas frecuencias  $X_C$  es baja logrando con esto que las señales de estas frecuencias sean atenuadas. En cambio a bajas frecuencias (por debajo de la frecuencia de corte) la reactancia capacitiva es grande, lo que causa que estas frecuencias no se vean afectadas o son afectadas muy poco por el filtro.

Los filtros reales para las aplicaciones en tiempo real se aproximan del filtro ideal por atrasar la señal por un periodo de tiempo, permitiendo una pequeña visión del futuro. Es decir manifestado como el cambio de fase. Una mayor precisión en la aproximación requiere un retraso mayor.

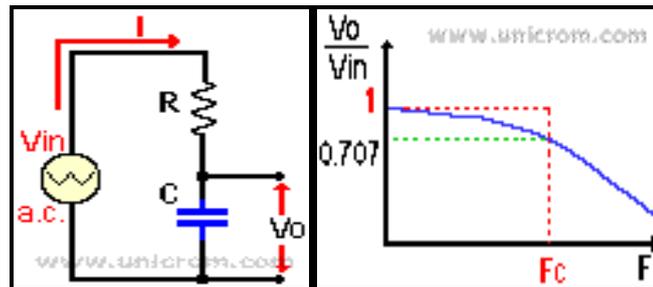


Figura 1.19: Filtros Pasa Bajo Real

Con la ley de Ohm:

$$V_{in} = I \times Z = \left( R^2 + X_C^2 \right)^{1/2} \quad \text{Ec. 1.6}$$

$$V_o = I * X_C \quad \text{Ec. 1.7}$$

$$V_o = \frac{V_{in}}{\left( 1 + \left( \frac{X_C}{R} \right)^2 \right)^{1/2}} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Donde  $Z =$  Impedancia.

La frecuencia de corte es aquella donde la amplitud de la señal entrante cae hasta un 70.7 % de su valor máximo. Y esto ocurre cuando  $X_C = R$ . (reactancia capacitiva = resistencia).

Si  $X_C = R$ , la frecuencia de corte será:

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{Ec. 1.9}$$

La banda de frecuencias por debajo de la frecuencia de corte se llama Banda de paso, y la banda de frecuencias por encima de  $F_c$  se llama Banda de atenuación.

El teorema de muestras de Nyquist-Shannon describe como utilizar un filtro pasa-bajas perfecto y la fórmula de interpolación de Nyquist-Shannon muestra como reconstruir una señal continua de una muestra de una señal digital. Los conversores digital-analógico utilizan aproximaciones con los filtros reales.

Los filtros pasa-bajas electrónicos

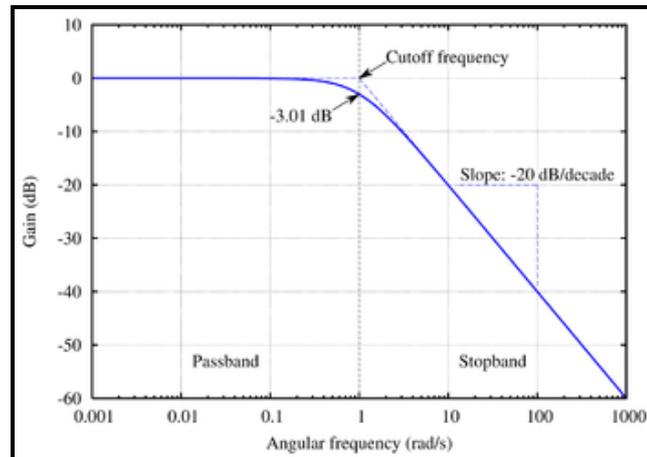


Figura 1.20: Filtros Pasa Bajo

### 1.13 REGULADORES DE VOLTAJE

Un regulador de Voltaje (también llamado estabilizador de voltaje o acondicionador de voltaje) es un equipo eléctrico que acepta una tensión eléctrica de voltaje variable a la entrada, dentro de un parámetro predeterminado y mantiene a la salida una tensión constante (regulada).

Los reguladores de tensión están presentes en las fuentes de alimentación de corriente continua reguladas. Un regulador de tensión eleva o disminuye la corriente para que el voltaje sea estable, es decir, para que el flujo de voltaje llegue a un aparato sin irregularidades. Esto, a diferencia de un "supresor de picos" el cual únicamente evita los sobre voltajes repentinos (picos). Un regulador de voltaje puede o no incluir un supresor de picos.

#### 1.13.1 FUNCIONAMIENTO.

Cuando el voltaje excede cierto límite establecido que el aparato eléctrico puede soportar, el estabilizador trabaja para evitar que se dañe el mismo.

Un protector de picos consta de los siguientes componentes:

- Un fusible o un protector termo magnético que desconecta el circuito cuando se está sobrepasando el límite de corriente, o en caso de un cortocircuito.
- Un transformador.
- Resistencia variable.
- Diodo Zener también conocido como diodo de supresión de voltaje.

Existen diversos tipos de reguladores, los cuales se clasifican de acuerdo al principio o tecnología de regulación que utilizan. Los más importantes son:

### 1.13.2 REGULACION CON DIODO ZENER.

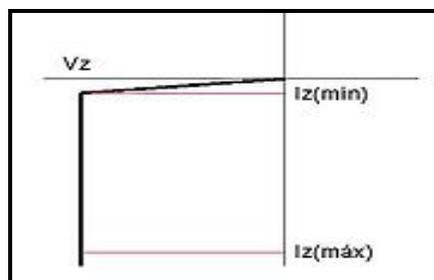


Figura 1.21: Curva idealizada inversa del zener

El diodo Zener es un tipo especial de diodo preparado para trabajar en la zona inversa. Cuando se alcanza la denominada tensión Zener en polarización inversa, el diodo recorta la onda de tensión, de este modo mantiene la tensión constante entre sus terminales dentro de ciertos márgenes. Si la corriente es muy pequeña la tensión empezará a disminuir, pero si es excesiva puede destruir el diodo.

Esta propiedad hace que el diodo Zener sea utilizado como regulador de tensión en las fuentes de alimentación.

### 1.13.3 REGULADOR PARALELO.

Es el regulador de tensión más sencillo. Consiste en una resistencia serie de entrada y el diodo zener en paralelo con la carga.

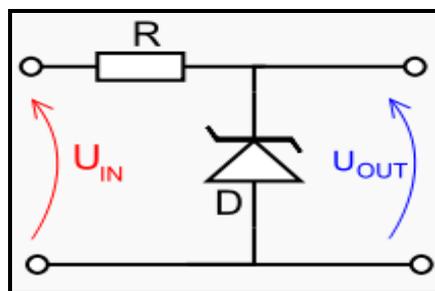


Figura 1.22: Circuito regulador Diodo Zener.

Cuando la tensión de entrada aumenta se produce un aumento de la corriente de entrada, como la tensión del diodo zener es constante, absorbe el exceso de corriente, mientras la resistencia de entrada absorbe esta variación de tensión. Si se produce una disminución de la tensión de entrada la caída de tensión en la resistencia de entrada disminuirá, compensando la disminución inicial, por el zener circulará menor corriente.

Del circuito se deduce que para que el zener estabilice correctamente, la tensión mínima a su entrada ( $U_{IN}$ ), debe ser mayor que la tensión de referencia del zener ( $V_z$ ). También hay un límite de tensión máxima debida a las limitaciones de potencia del dispositivo. Si se cumplen estas premisas, la tensión en la carga será muy aproximada igual a la del zener.

Las ecuaciones básicas del circuito son las siguientes:

$$V_{in} = V_r + V_z \quad \text{Ec. 1.10}$$

Donde  $V_{in}$  es la tensión de entrada,  $V_r$  la tensión en la resistencia serie y  $V_z$  la tensión del zener o de la resistencia de carga.

$$I_e = I_z + I_s \quad \text{Ec. 1.11}$$

Donde  $I_e$  es la corriente de entrada,  $I_z$  la corriente por el zener e  $I_s$  la corriente por la carga.

#### 1.13.4 REGULADOR EN SERIE.

Este tipo de regulador utiliza un transistor en serie con la carga.

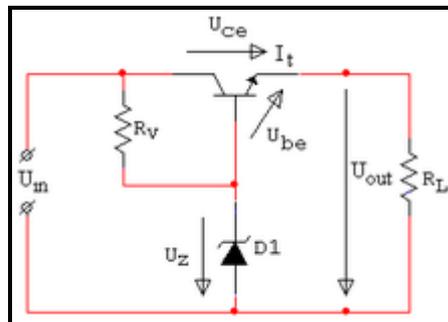


Figura 1.23: Estabilizador de tensión.

En este circuito la corriente de entrada sigue los cambios de la corriente por la carga, sin embargo, en el regulador paralelo la corriente por la carga se mantenía constante. Al haber sustituido la resistencia serie por un transistor, este regulador tiene un mayor rendimiento, por lo que se utiliza en circuitos de mayor potencia. Si se produce una baja en el valor

de la resistencia de carga, la corriente de entrada al circuito estabilizador aumenta y por donde, también aumenta la corriente por la resistencia R1, como el diodo zener mantiene su tensión constante, aumenta la caída de tensión en R1, con lo que la tensión colector-base del transistor aumenta, volviéndose menos conductivo, y estabilizando el aumento inicial de corriente.

#### **1.13.5 REGULADORES INTEGRADOS.**

Son componentes muy parecidos a los transistores de potencia, suelen tener tres terminales, uno de entrada, un común o masa, y uno de salida, tienen una capacidad de reducción del rizado muy alta y normalmente sólo hay que conectarles un par de condensadores. Existen circuitos reguladores con un gran abanico de tensiones y corrientes de funcionamiento. La serie más conocida de reguladores integrados es la 78xx y la serie 79xx para tensiones negativas. Los de mayor potencia necesitarán un disipador de calor, este es el principal problema de los reguladores serie lineales tanto discreto como integrado, al estar en serie con la carga las caídas de tensión en sus componentes provocan grandes disipaciones de potencia.

#### **1.13.6 REGULADORES CONMUTADOS.**

Poseen mayor rendimiento de conversión, ya que los transistores funcionan en conmutación, reduciendo así la potencia disipada en estos y el tamaño de los disipadores. Se pueden encontrar este tipo de fuentes en los ordenadores personales, en electrodomésticos, reproductores DVD, etc.

### 1.13.7 FUENTES DE VOLTAJE REGULABLE CON LM317T.

Una fuente de voltaje variable con el LM317T es una fuente de voltaje ideal con capacidad de entrega de corriente continua de hasta de 1.5 Amperios.

Estas son algunas de sus características:

- Corriente de salida de 1. 5A.
- Salida ajustable entre 1. 2V y 37V.
- Protección térmica interna para sobrecarga.
- Limitación interna de corriente para cortocircuito.
- Presentación TO-220.

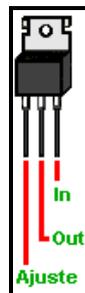


Figura 1.24: PINOUT del regulador LM317T

### 1.13.8 FUENTE DE VOLTAJE FIJA CON LM1117.

El LM1117 es una serie de reguladores de voltaje fijos o variables con una corriente de salida de 800mA. Su versión ajustable puede dar voltajes de salida entre 1.25V y 13.8V con apenas dos resistencias externas. Además, está disponible en cinco voltajes fijos: 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V, y 5V.

Ofrece limitación térmica por consumo excesivo de corriente. Su circuito incluye una referencia de voltaje de salida segura dentro de  $\pm 1\%$ .

La serie LM1117 está disponible en LLP, TO-263, SOT-223, TO-220, y TO-252 D-PAK. Se necesita por lo menos un condensador de tantalio de  $10\mu\text{F}$  en su salida para mejorar su respuesta y estabilidad.

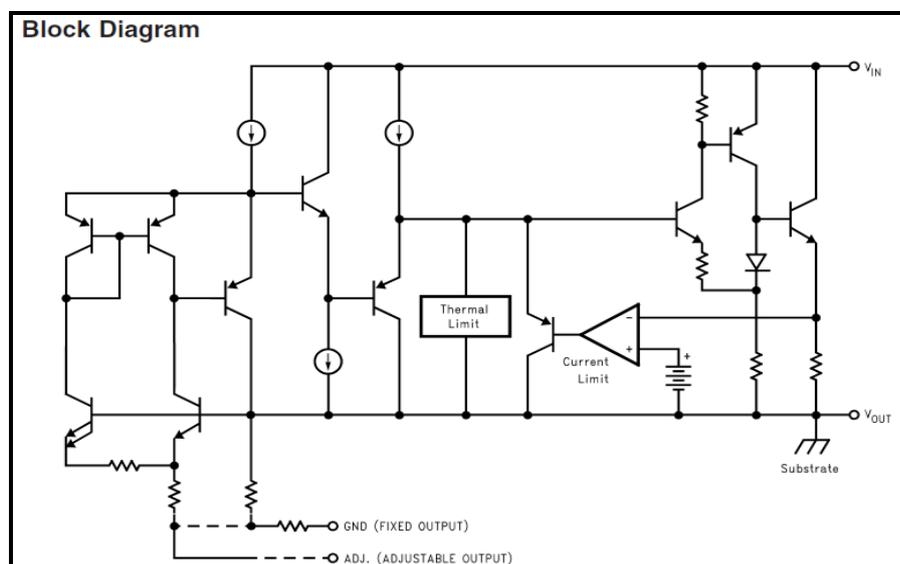


Figura 1.25: Diagrama de bloques del LM1117

## **CAPÍTULO 2**

### **REQUERIMIENTOS / REQUISITOS DEL DISPOSITIVO**

#### **2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.**

La función principal del dispositivo es determinar los valores de variables medidas remotamente en partes estratégicas de cualquier vehículo, constituyéndose en un prototipo de gestión electrónica automotriz.

El sistema utiliza diversos mecanismos que le permiten realizar las siguientes funciones añadidas:

- Obtener vectores de aceleración, valores de temperatura del ambiente y velocidad angular del motor, desde sensores remotos a través una red CAN.
- Grabar en memoria interna los valores máximos obtenidos en las mediciones.
- Visualizar gráficamente y en tiempo real el valor de los parámetros adquiridos.

#### **2.2 REQUISITOS DEL SISTEMA**

Los requisitos que cumple el sistema se basan en las condiciones del ambiente de trabajo, las especificaciones de potencia y el desempeño solicitado.

##### **2.2.1 REQUISITOS EN BASE AL AMBIENTE DE TRABAJO**

- Inmunidad a la interferencia eléctrica generada por elementos del motor y vehículo.

- Indemnidad a la vibración y a grandes vectores de aceleración del vehículo, provocados por maniobras bruscas de conducción y posibles colisiones.
- Capacidad de trabajo en altas temperaturas del ambiente.
- Impacto mínimo de implementación en el sistema eléctrico del vehículo.

### **2.2.2 REQUISITOS EN BASE A ESPECIFICACIONES DE POTENCIA**

- Protección contra conexión invertida y sobre voltajes.
- Consumo de corriente mínimo, para evitar descarga del acumulador con su funcionamiento durante períodos largos de tiempo.
- Entrega suficiente de potencia por parte de los reguladores de voltaje, para permitir la conexión simultánea de varios sensores remotos.

### **2.2.3 REQUISITOS EN BASE AL DESEMPEÑO SOLICITADO**

- Margen de error mínimo en la lectura e interpretación de señales desde los sensores.
- Velocidad de adquisición, procesamiento y ejecución moderados.
- Vida útil larga con mantenimiento mínimo.
- Cantidad de memoria interna suficiente, para permitir la grabación de datos obtenidos con frecuencias de muestreo altas (capacidad de almacenamiento de información de gran densidad).
- Interfaz gráfica de tamaño adecuado que consienta la fácil lectura de variables medidas por el sistema.

## 2.3 APROXIMACIÓN

La concepción básica del hardware, según la figura 2.1 se fundamenta en bloques agrupados en subsistemas de acuerdo a las funciones generales de sensado, procesamiento y visualización.

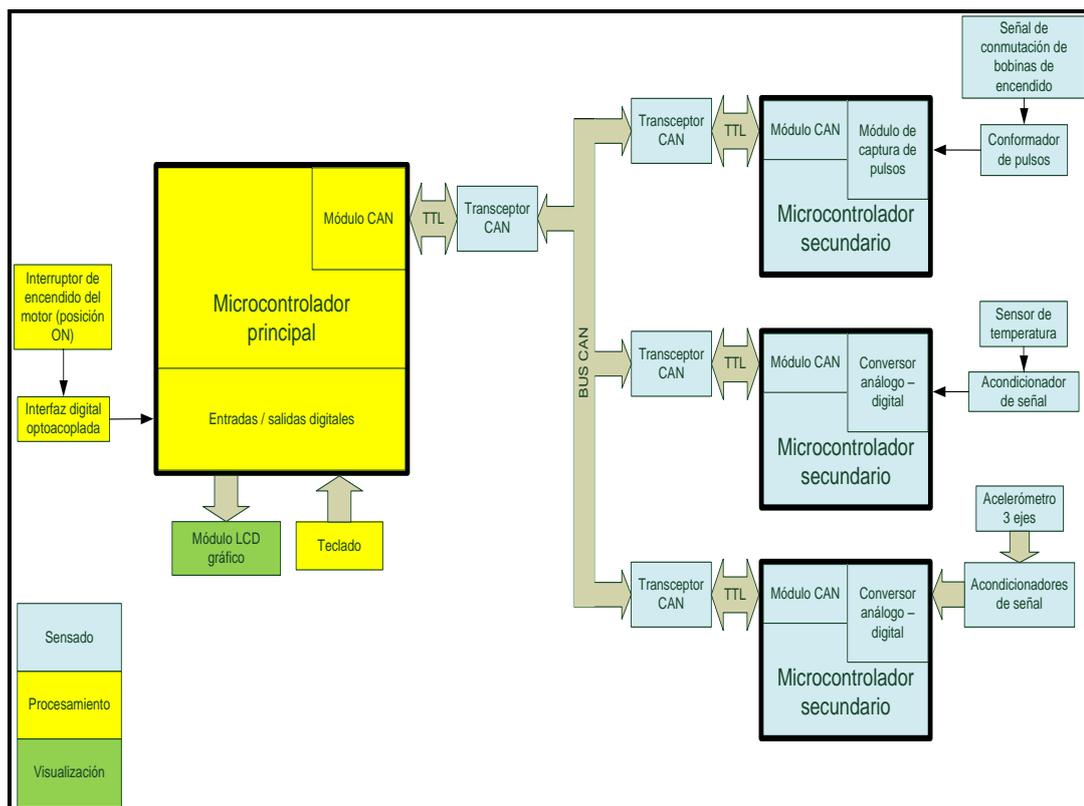


Figura 2.1: Diagrama de bloques del módulo electrónico

### 2.3.1 SUBSISTEMA DE SENSADO

Este subsistema consta de tres dispositivos remotos destinados a diferentes funciones dentro de la red CAN.

El primero, utilizado para la medición de velocidad angular del motor, usa el método de medición de ancho de pulso para determinar la frecuencia de la señal de conmutación de las bobinas de encendido. Cierta circuito

adicional realiza la conformación de pulsos, al transformar señales imperfectas en señales digitales de amplitud 5V.

La variable concerniente a la temperatura del habitáculo del vehículo, es adquirida por el segundo módulo. Aquí se usa un sensor de respuesta lineal ubicado dentro de la cabina.

Los vectores de aceleración se toman desde un acelerómetro de tres ejes con respuesta analógica. Este dispositivo está colocado en el centro de gravedad estimado del vehículo.

Cada módulo remoto comprende su propio método de determinación de las variables. Se implementan filtros pasa bajos pasivos para atenuar componentes de alta frecuencia, adheridas a las señales muestreadas.

Todo esto en vista de que la interferencia electromagnética y el ruido blanco están presentes en la mayoría de motores térmicos y en especial los encendidos por chispa.

El elemento principal de cada dispositivo remoto es un microcontrolador con módulo interno para comunicación CAN. Éste digitaliza toda la información proveniente de los sensores, con alta resolución y error mínimo. Además, se conecta con la red mediante cierto transceptor CAN utilizado para el acople de impedancias y de voltajes.

### **2.3.2 SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO**

El microcontrolador, base fundamental del mecanismo, posee el hardware y firmware necesarios para realizar las siguientes funciones:

- Recibir información desde los dispositivos remotos a través de la red CAN.
- Administrar la comunicación CAN al constituirse como terminal maestro.
- Convertir los valores numéricos en caracteres ASCII y representaciones gráficas, para enviarlos al subsistema de visualización.
- Manejar el teclado para configuración.
- Emular un menú de configuración para facilitar al usuario la verificación de parámetros.
- Guardar y leer la información obtenida en el muestreo de variables, para la determinación de valores máximos.

### **2.3.3 SUBSISTEMA DE VISUALIZACIÓN**

Este subsistema comprende al dispositivo que permite visualizar (en caracteres alfanuméricos y de manera gráfica), los valores de todas las variables que han sido digitalizadas. Aquí, el usuario observa el resultado del proceso de monitoreo digital.

Para ello existe un módulo GLCD. En éste se muestran los valores tomados desde los sensores en tiempo real.

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO**

#### **3.1 CARACTERIZACIÓN DEL HARDWARE**

El auto sobre el que se implementó el sistema es un CHEVROLET CORSA COUPÉ. Se lo escogió debido a que en su versión estándar, no cuenta con tacómetro, medidor de temperatura del habitáculo, ni acelerómetro.

Luego de colocar el sistema en éste automóvil, se garantiza su aplicación en la mayoría de vehículos livianos, con ligeros cambios en firmware y hardware.

A continuación se realiza la determinación de los componentes y su configuración, de manera que puedan apegarse a los requisitos del sistema y a las funciones concebidas en el diagrama de bloques.

##### **3.1.1 SUBSISTEMA DE SENSADO**

A pesar de que cada uno de los módulos tiene función de sensado diferente, existe similitud en el hardware usado para procesamiento y comunicación. Así, tanto los microcontroladores como las configuraciones de los transceptores CAN son los mismos.

###### **a. Velocidad angular del motor**

El motor del vehículo en cuestión posee encendido DIS de chispa desperdiciada. Por lo tanto se toma las dos señales que la PCM usa para

controlar las bobinas independientes, como mecanismo para la determinación de la frecuencia angular.

Según la figura 3.1, las resistencias R17 y R18 poseen un valor relativamente grande. Esto se hace con el fin de limitar la corriente de consumo de los opto acopladores y evitar que el sistema de gestión del motor presente código de falla.

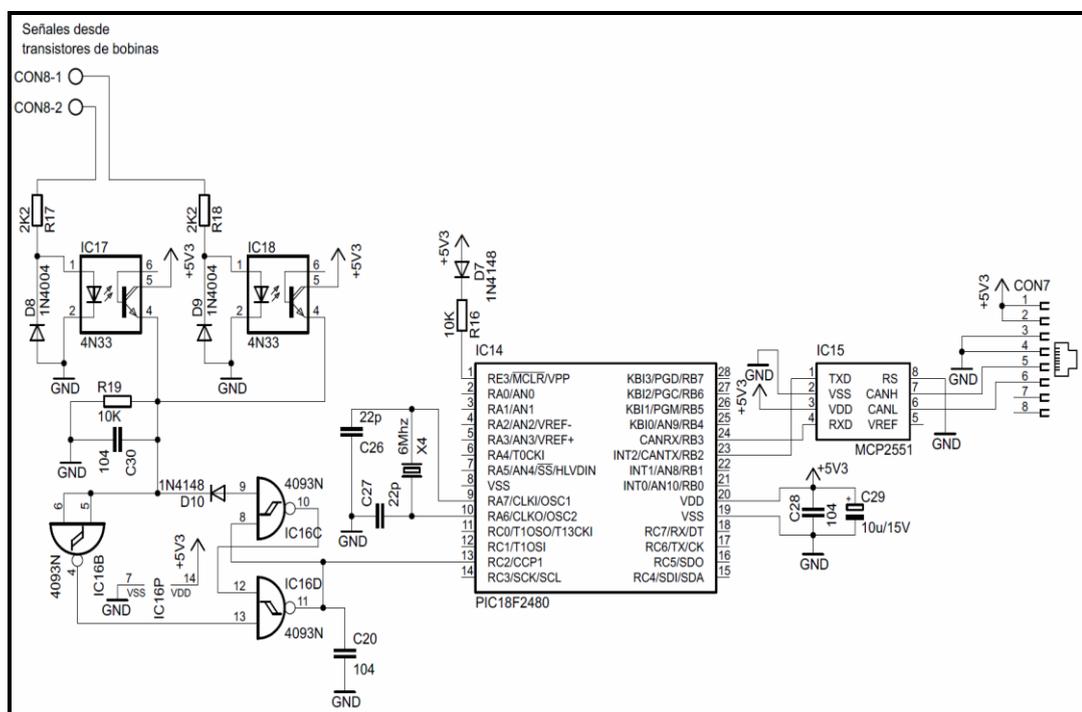


Figura 3.1: Módulo de medición de velocidad angular del motor

Los diodos D8 y D9 en conexión antiparalela, impiden que voltajes reversos polaricen y quemen los delicados IRLEDs de los opto acopladores.

Para un voltaje mínimo de 10V proporcionado por las señales y una caída de voltaje máxima de 1.35V en los IRLEDs, circulan 3.9mA en el circuito emisor.

$$I_{F\text{ mínima}} = \frac{V_{\text{mínimo}} - V_{\text{IRLED}}}{R} \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$I_{\text{mínima}} = \frac{10V - 1.35V}{2.2K\Omega} = 3.9mA$$

Con una corriente de 0.512mA consumida por R6 en configuración PULL DOWN y de 15µA requerida por las dos entradas de la compuerta NAND (IC16), el radio de transferencia de corriente máximo requerido por el sistema es de 0.135.

$$CTR_{\text{máximo}} = \frac{I_{C\text{ máximo}}}{I_{F\text{ mínima}}} \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$CTR_{\text{máximo}} = \frac{0.512mA + 15\mu A}{3.9mA} = 0.135$$

El CTR requerido es muy inferior al especificado para esa corriente en el diagrama de la figura 3.2 (CTR=1.1), lo que afianza su operación para condiciones severas.

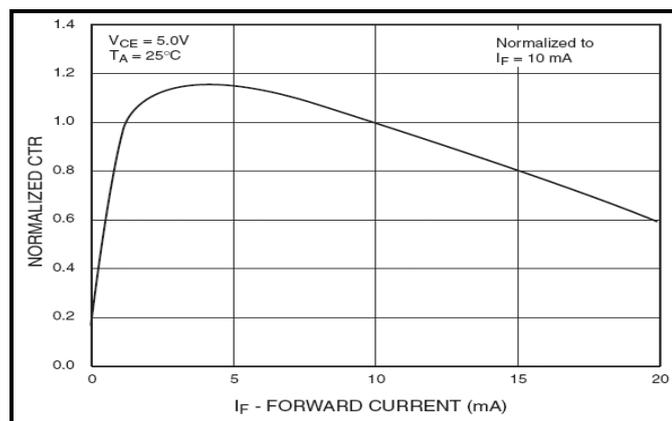


Figura 3.2: Diagrama CTR vs IF, extraído de la hoja de datos del Fairchild 4N25

Las tres compuertas NAND tipo SCHMITT TRIGGER, en su configuración de LATCH, cumplen la función de convertir señales imperfectas en formas digitales bien definidas.

En cuanto al funcionamiento de la interfaz, cuando cualquiera de las señales de conmutación excita los LEDS infrarrojos de los opto acopladores, un nivel lógico alto se asegura en la entrada del LATCH; si no hay presencia de señal, la resistencia R19 asegura un nivel lógico bajo.

#### **b. Temperatura del ambiente**

Para esta medición fue seleccionado el sensor LM35 de NATIONAL. Sus características relevantes para la concepción del proyecto son:

- Precisión calibrada de  $1^{\circ}\text{C}$  y rango de medición que abarca desde  $-55^{\circ}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$ .
- Presentación en diferentes encapsulados, siendo el más común el to-92.
- Respuesta lineal equivalente a  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ .
- Baja impedancia de salida.
- Bajo costo.
- Rango de alimentación comprendido entre 4 y 30 voltios.
- Baja corriente de alimentación ( $60\mu\text{A}$ ).

Como se puede observar en la figura 3.3, el LM35 tiene una conexión sencilla, salvo el capacitor de desacople C15, que evita disminuya el efecto de la inserción de corrientes parásitas. El circuito formado por R11 y C15, suaviza el voltaje de respuesta, para evitar fluctuaciones significantes.



(transientes). También evitan que los picos de interferencia, se desplacen hacia el conversor análogo – digital del microcontrolador.

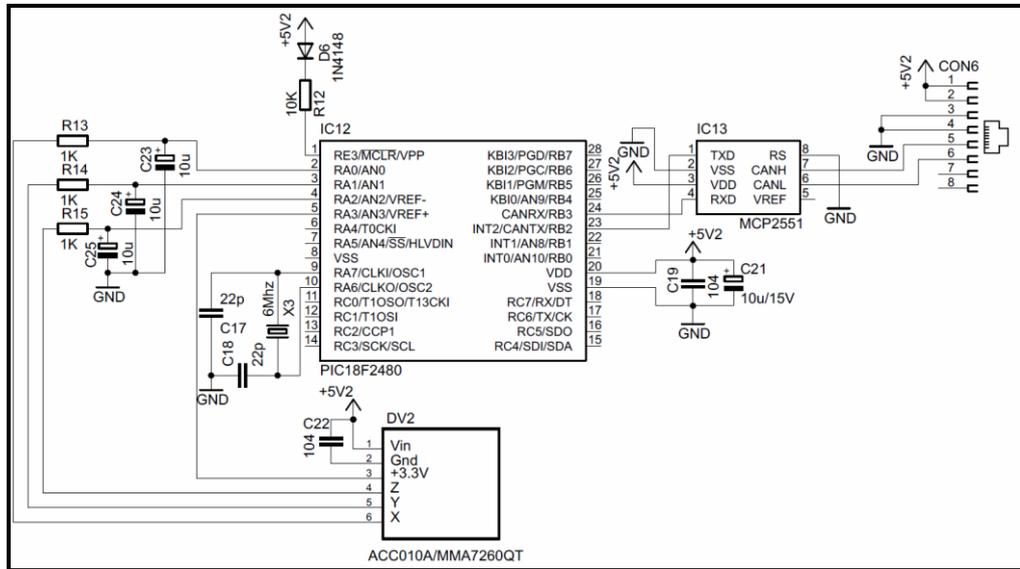


Figura 3.4: Módulo de medición de aceleraciones del vehículo

Los polos R13 – C23, R14 – C24 y R15 – C25 son filtros pasa bajos cuya frecuencia de corte calculada según la ecuación 3.3 es de 15.91Hz.

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{25} \cdot C_{12}} \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi \cdot 1K\Omega \cdot 10\mu F} = 15.91Hz$$

### 3.1.2 SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO

#### a. MICROCONTROLADOR MAESTRO.

El PIC18F4480 se encarga del procesamiento de la información, al adquirir todos los datos de las variables externas a través del bus CAN, manipularlos y entregarlos de forma adecuada para la visualización y envío remoto de comandos.

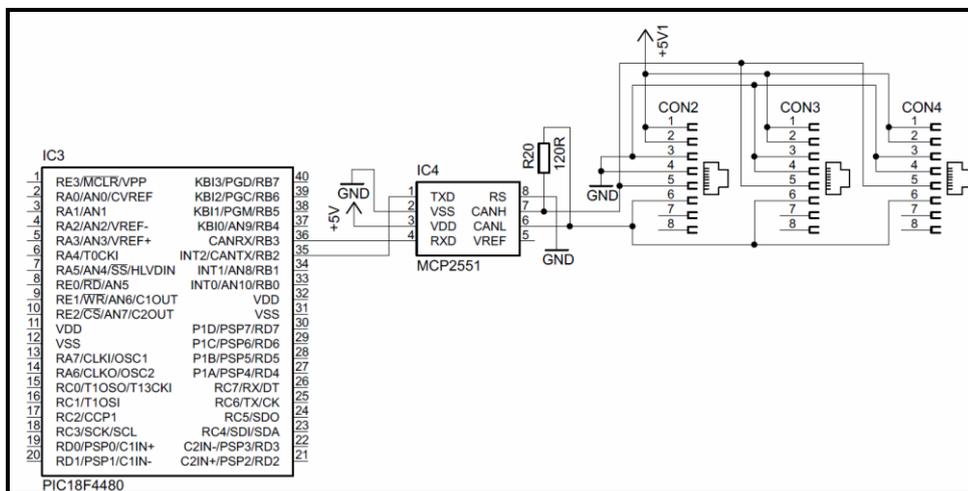


Figura 3.5: Conexión del microcontrolador principal a la red CAN

Como se observa en la figura 3.5, la conexión del microcontrolador al bus CAN se realiza a través del transceptor MCP2551. La razón radica en que, como se observó en el capítulo 1, el bus CAN trabaja con voltaje diferenciado.

Es importante notar la presencia de la resistencia terminadora R20 que proporciona la impedancia necesaria al bus. Este elemento se comporta como un filtro ante las interferencias y su implementación es necesaria en los dos puntos más lejanos de la red.

El análisis para cada uno de los microcontroladores que forman parte del subsistema de sensado es similar, ya que todos son prácticamente los mismos.

### b. SEÑAL DE CONTACTO.

Cuando el usuario coloca la llave en el arnés de encendido y la gira hasta la posición ON, cierra también el circuito del IRLED del opto acoplador, provocando que circule corriente entre emisor y colector de su fototransistor. Para un voltaje mínimo de 10V en el suministro de corriente del automóvil y una caída de voltaje máxima de 1.35V en el LED, según la ecuación 3.1 circulan 2.6mA.

$$I_{mínima} = \frac{10V - 1.35V}{3.3K\Omega} = 2.6mA$$

Según la figura 3.6, con 2.6mA se consigue un CTR de 1.1. Este dato indica que puede circular hasta 2.86mA entre emisor y colector del receptor del 4N25. Aquel valor es suficiente para polarizar los pines de entrada del microcontrolador. El diodo en antiparalelo protege al LED del optoaislador, de picos de voltaje provocados por la conmutación de bobinas de relés o cargas inductivas, situación muy común en cualquier automóvil.

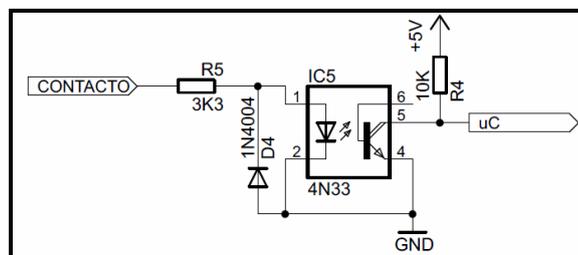


Figura 3.6: Interfaz para lectura de señal de contacto

### c. TECLADO.

Los pulsadores representados en la figura 3.7, permiten el acceso al sistema. Los capacitores C4, C5 y C6 absorben cualquier componente de interferencia que pueda causar falsas señales en el microcontrolador. Es importante resaltar que el nivel lógico alto está dado por resistencias internas en las entradas del microcontrolador, en configuración PULLUP.

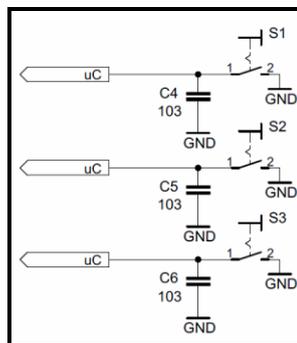


Figura 3.7: Teclado de configuración

### 3.1.3 SUBSISTEMA DE VISUALIZACIÓN

Se maneja un visualizador gráfico que permite al usuario observar en tiempo real, gráfica y numéricamente el valor de las variables medidas.

Tal como se observa en la figura 3.8, las patitas RC<1:6> del PIC18F4480, configuradas como salidas, manejan los pines de control; el bus de datos está implementado en las salidas RD<0:7>.

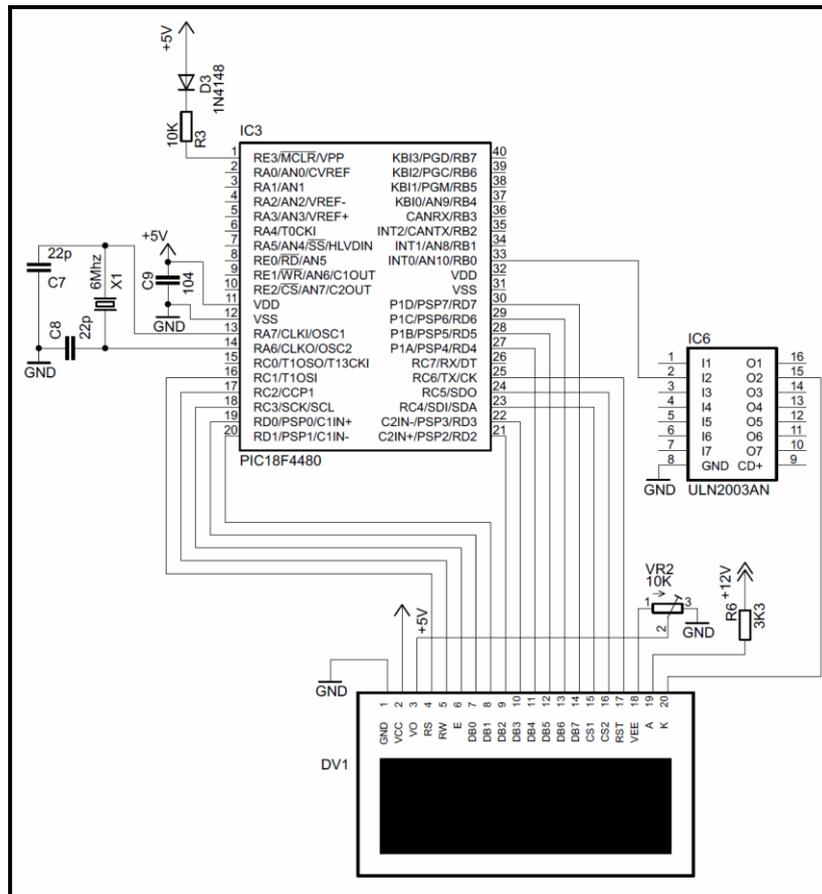


Figura 3.8: Diagrama de conexión entre el módulo GLCD y el microcontrolador

Los LEDs de retroiluminación de la pantalla GLCD, son alimentados desde el suministro de corriente del vehículo y a través de la resistencia limitadora de corriente R6. Esto se hace debido a que el consumo relativamente alto de los LEDs, provocaría sobrecalentamiento en los reguladores lineales de voltaje. El arreglo de transistores IC6 permite el encendido y apagado de la luz, según lo ordenado por el microcontrolador.

El ajuste de contraste se realiza al regular el voltaje que polariza al pin VO, mediante el potenciómetro VR2. Es importante resaltar que el voltaje



El rectificador recorta picos negativos de voltaje y protege al circuito cuando por error, se invierte la polaridad de la batería. Si esto sucede, cierto fusible exterior se destruye y el módulo se bloquea. De allí que la corriente nominal del fusible es la misma que del diodo D1 (2A).

La resistencia R1 y el zener D2, resguardan el circuito de sobrevoltajes instantáneos. Estos pueden escaparse desde el alternador cuando se quita contacto del motor.

La regulación se hace en etapas: primero se regula a 9V y luego a 5V y 3.3V respectivamente. De esta manera, la caída de voltaje de se disipa en algunos integrados, permitiendo que los reguladores de voltaje se calienten menos.

La ecuación 3.4, extraída y adaptada desde la hoja de datos del LM317T, indica el voltaje de salida obtenido en IC2 con la configuración de resistencias R2 y VR1.

$$V_{regulación} \cong \frac{R_2 + VR_1}{R_2} \cdot (1.25V) \quad \text{Ec. 3.4}$$

$$V_{regulación} \cong \frac{220\Omega + 660\Omega}{220\Omega} \cdot (1.25V) = 5.0V$$

En lo que respecta al circuito manejador del MOSFET y por ende del segundo grupo de regulación, cuando una salida del microcontrolador se pone en alto, un transistor del arreglo ULN2003N se polariza y permite el flujo de corriente entre emisor y colector (deriva masa). Entonces, se cierra el circuito del divisor de voltaje formado por la resistencia de 10K $\Omega$  y la de 100 $\Omega$ . La constante del divisor es de 0.0099, lo que se traduce en un voltaje tendiente a cero en la compuerta del MOSFET, sin importar el

voltaje de alimentación. Esto provoca que el transistor de potencia conduzca.

Con la ecuación 3.5 se calcula el voltaje obtenido en la compuerta del MOSFET, para una alimentación de 12V y una caída de voltaje nominal de 0.7V entre emisor y colector de cada transistor del ULN2003 ( $V_{CE}$ ).

$$V_{GS} = (V_{entrada} - V_{CE}) \cdot \frac{R_8}{R_8 + R_9} \quad \text{Ec. 3.5}$$

$$V_{GS} = (12 - 0.7) \cdot \frac{100\Omega}{100\Omega + 10K\Omega} = 0.111V$$

Cuando la salida del microcontrolador se pone en bajo, el transistor NPN no conduce y por lo tanto, la resistencia de  $100\Omega$  se pone en circuito abierto. Así, la resistencia de  $10K\Omega$  asegura un voltaje igual al de la fuente, lo que provoca que el MOSFET no conduzca.

La corriente que pueden suministrar los reguladores según las hojas de datos, es de máximo 1A. Este valor es suficiente para satisfacer las necesidades de potencia del circuito.

### 3.2 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO GENERAL.

El diagrama esquemático general agrupa a todos los circuitos estudiados, más ciertos componentes de igual importancia como son los condensadores de desacople. Así se evita que corrientes parásitas afecten a los dispositivos. Además se incluyen conectores necesarios en su implementación física. Estos se muestran en el anexo A.

### **3.3 DISEÑO DE LAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO.**

El diseño de las placas se realizó cuidando que los circuitos de potencia estén lo suficientemente lejos de los microcontroladores. Además, ubicando los condensadores de desacople lo más cerca posible a los integrados. Todo esto para disminuir interferencias. Se pueden apreciar los PCBs en el anexo B.

### **3.4 DESCRIPCIÓN DEL FIRMWARE**

#### **3.4.1 FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR PRINCIPAL**

##### **a. PROGRAMA PRINCIPAL.**

El programa empieza con la inicialización de pines y continúa con la configuración de módulos internos. Luego se ubica en un bucle para esperar a que el usuario ponga contacto. En este caso, despierta y empieza a mandar mensajes de petición de lecturas a cada uno de los dispositivos remotos, a través del módulo CAN.

Cada uno de los dispositivos remotos envía sus mensajes de respuesta, los cuales contienen los datos de lectura de los sensores. Posteriormente se visualiza numérica y gráficamente cada una de las variables recibidas mediante la GLCD.

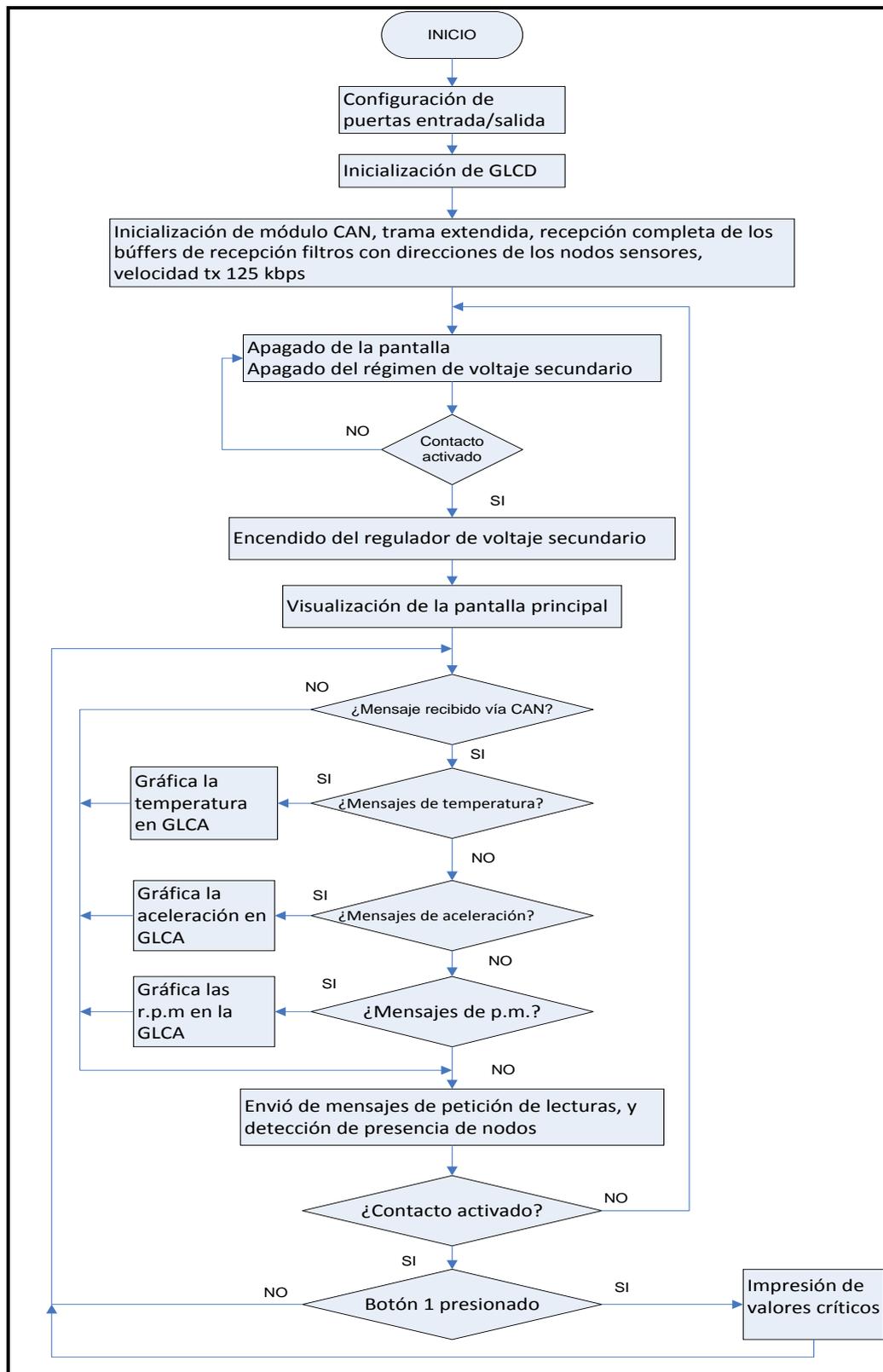


Figura 3.10: Diagrama de flujo del programa principal del microcontrolador

### 3.4.2 FIRMWARE DE LOS MICROCONTROLADORES SECUNDARIOS

#### a. PROGRAMA PRINCIPAL.

Todos los microcontroladores encargados de tomar datos desde los sensores tienen básicamente el mismo programa principal, a pesar de las diferencias en las variables medidas.

Así, primero se inician los módulos internos y luego se espera a que el microcontrolador principal envíe los mensajes de petición de lectura. En este momento, cada uno de los microcontroladores secundarios lee la variable que le corresponde y envía su respectivo mensaje en el que consta el valor del dato y su dirección.

Tabla 3.1. Direcciones de los Módulos.

| DIRECCION DE LOS MODULOS |       |
|--------------------------|-------|
| id pantalla              | 11111 |
| id temperatura           | 22222 |
| id aceleración           | 33333 |
| id rpm                   | 44444 |

## FORMATO DE TRAMA UTILIZADA

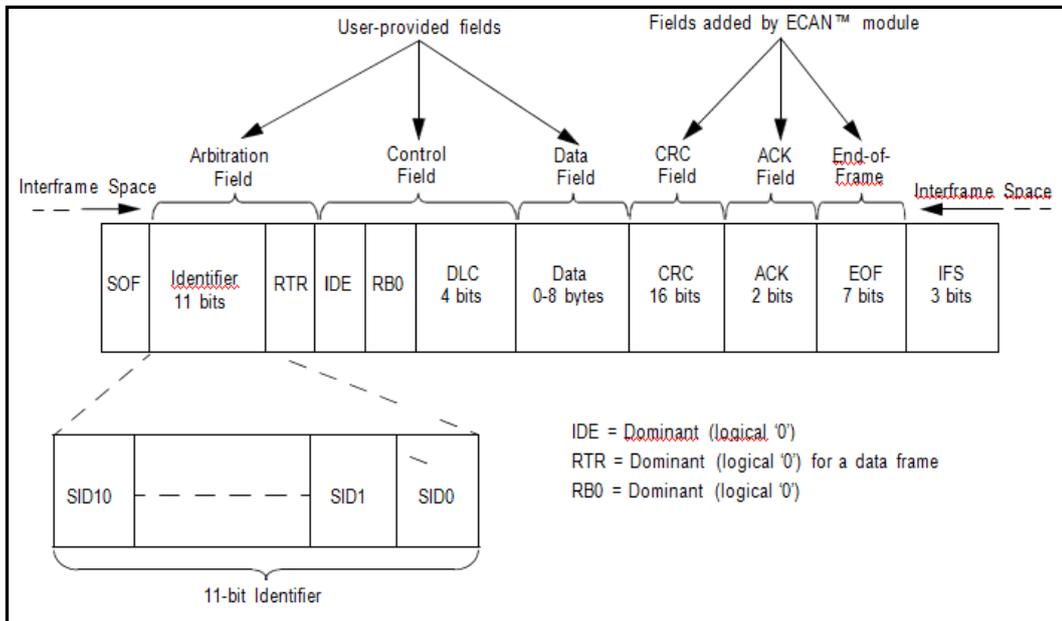


Figura 3.11: Trama utilizada

La transmisión de la trama de datos inicia con un proceso asincrónico, ya que no es permitido que un nodo inicie una transmisión mientras el bus no esté libre.

Un nodo cualquiera considera que el bus está libre si el campo de interrupción de la trama en transmisión no ha sido interrumpido por un bit dominante. Esto es después de una secuencia consecutiva de al menos 11 bits de nivel recesivo al final de la trama.

El campo de arbitraje está compuesto por el “Identificador de Trama” y por el “Bit de Solicitud Remota de Transmisión” RTR (Remote Transmission Request) el cual es usado para diferenciar entre una “Trama de Datos” y una “Trama de Solicitud de Datos”.

Para conseguir un 1 lógico en el bus es necesario que todos los nodos transmitan un 1, mientras que para tener un 0 lógico es suficiente que un solo nodo transmita un 0. Por tanto un nivel 0 es llamado “dominante”, y un nivel 1 “recesivo”.

El bus estará en nivel recesivo mientras se encuentre desocupado. Un nodo señala el inicio de la transmisión de una trama transmitiendo un bit dominante de “Inicio de Trama” SOF (Start Of Frame). Durante la fase de arbitraje cada nodo transmisor monitorea el nivel del bus y lo compara con el nivel transmitido.

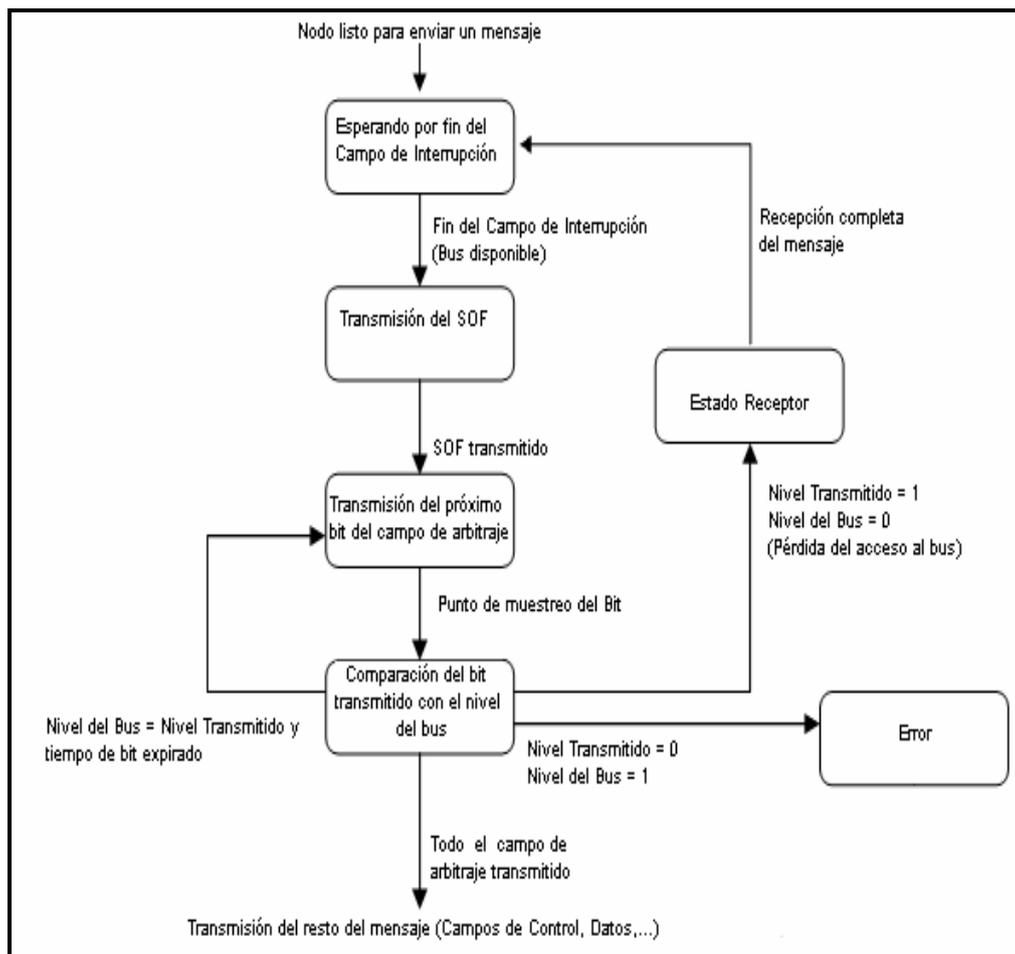


Figura 3.12: Diagrama del proceso de arbitraje del bus.

Cada nodo que ha transmitido un bit recesivo y monitoreado un dominante detiene su transmisión inmediatamente y pasa a ser receptor de la trama transmitida por otro nodo. La Figura 3.13 ilustra la secuencia de un proceso de arbitraje entre tres nodos.

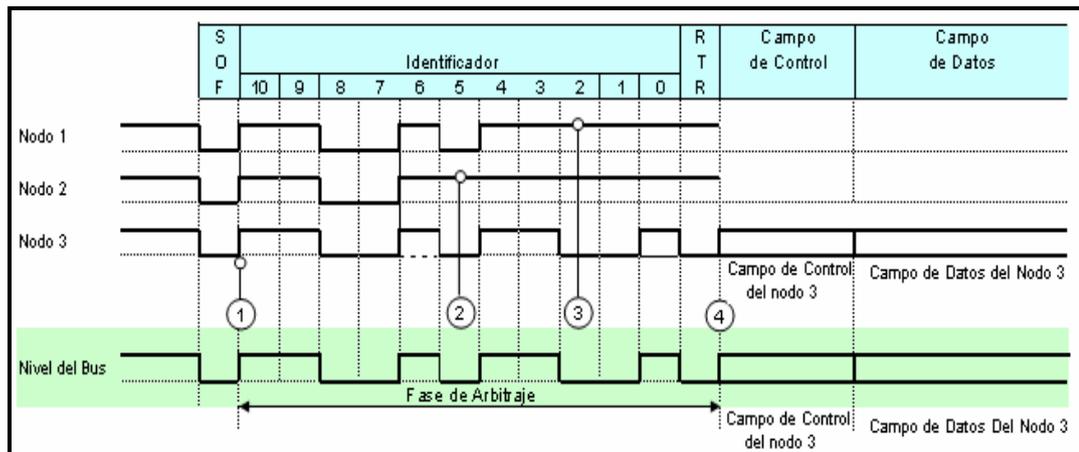


Figura 3.13: Proceso de arbitraje de acuerdo al Protocolo CAN.

1. Los nodos 1, 2 y 3 inician el proceso al mismo tiempo (1).
2. El nodo 2 pierde acceso al bus en el tiempo (2) y el nodo1 en el tiempo (3).
3. El nodo 3 continúa con el proceso y recibe acceso al bus al final de la fase de arbitraje.
4. Por tanto solo éste nodo puede transmitir su trama sobre el bus.

La trama transmitida por este nodo no es destruida, es decir que no se desperdicia ancho de banda. Por ende el proceso de arbitraje del protocolo CAN no es destructivo.

El bit RTR en una trama de datos es transmitido en nivel dominante (0) y en una trama de solicitud remota como recesivo (1).

## FORMATOS DE TRAMA

El protocolo CAN distingue cuatro tipos de tramas:

- 1.- **Trama de Datos**, que es transmitida a uno o varios receptores bajo la dirección de la fuente (transmisor).
- 2.- **Trama Remota**, a través de la cual nodos receptores del bus pueden solicitar a un nodo transmisor la transmisión de una trama de datos del mismo identificador de la remota.
- 3.- **Trama de Error**, que es usada para señalar un error detectado por un nodo del bus (transmisor o receptor) y destruir la trama defectuosa.
- 4.- **Trama de Sobrecarga**, es usada para proveer un retardo extra entre dos tramas de datos o de solicitud remota, también sirve para señalar una condición específica de error.

### Trama de Datos

Una trama de datos (Figura 3.14) consiste de los siguientes campos de bit: Inicio de trama (SOF), Campo de arbitraje, Campo de Control, Campo de Datos, Campo CRC, Campo de Acuse de Recibo (ACK) y Campo de Fin de Trama (EOF).

### Bit de Inicio de Trama (SOF)

Este bit marca el inicio de una trama de datos o de una trama remota y es representado por un bit dominante. A un nodo del bus se le permite

empezar el arbitraje del bus cuando éste se encuentra libre o después de que se ha desocupado. El fin de una actual transmisión de trama es indicado por una sucesión mínima de 11 bits recesivos

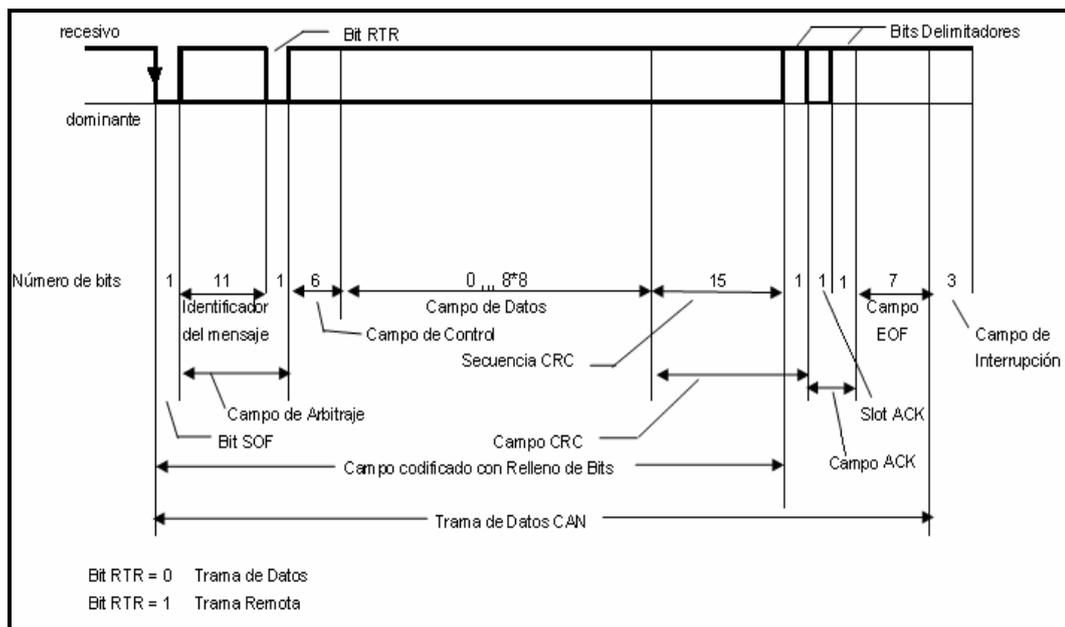


Figura 3.14: Formato básico de una Trama de Datos y de una Trama Remota

### Campo de Arbitraje

El campo de arbitraje (Figura 3.15) consiste del campo identificador y del bit de Solicitud Remota de Transmisión RTR (Remote Transmission Request).

Una trama es identificada y su prioridad definida por el identificador de trama. En el formato básico de trama la longitud de su identificador es de 11 bits.

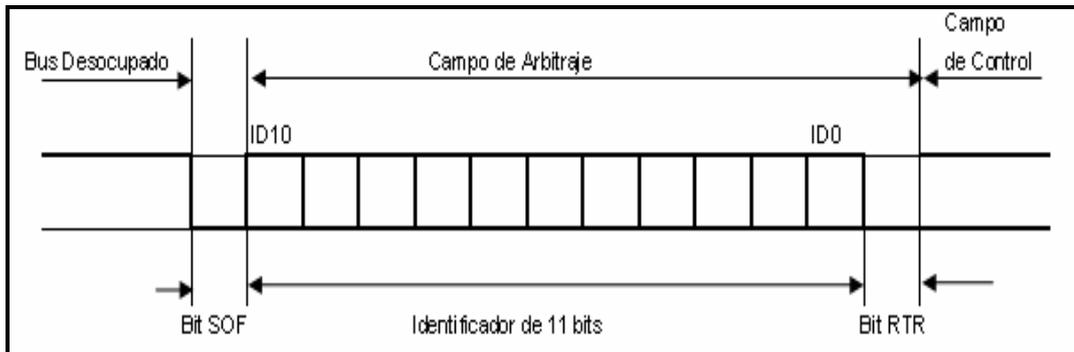


Figura 3.15: Formato del Campo de Arbitraje

### **Campo de Control**

El Campo de Control de acuerdo a la especificación CAN consiste de 6 bits, incluyendo el Código de Longitud de Datos DLC (Data Length Code). El primer bit, Bit Identificador de Extensión IDE (Identifier Extension), distingue entre tramas de formato básico y extendido. Para tramas de formato básico (identificador de 11 bits) este bit es transmitido predominantemente. Por tanto, colisiones entre una trama de formato básico y otra de formato extendido, ambas con el mismo identificador básico, son resueltas de tal manera que la trama de formato básico prevalece sobre la extendida. El segundo bit (r0) es reservado para futuras extensiones del protocolo CAN y es transmitido predominantemente hasta que su función sea definida. Los receptores aceptan ambos niveles, dominante y recesivo, como bit reservado.

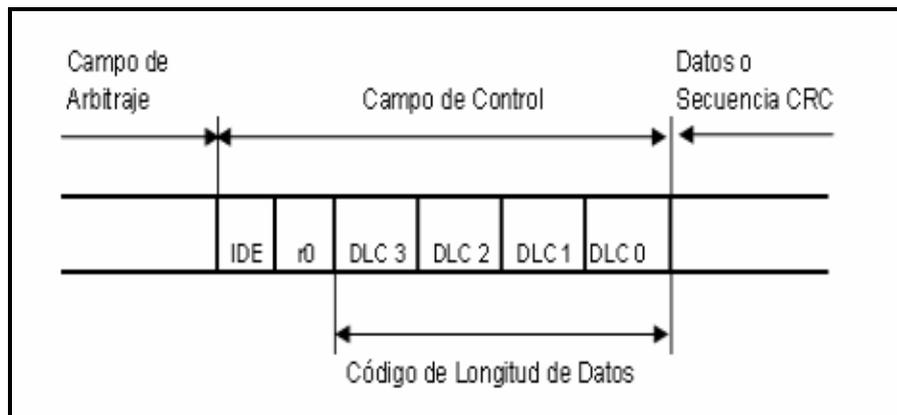


Figura 3.16: Formato del Campo de Control (Formato Básico)

Con los últimos cuatro bits del campo de control (Figura 3.16), se indica el número de bytes transmitidos a continuación en el campo de datos. Un valor de 0 corresponde a 0 bytes de datos, un valor de 8 corresponde a 8 bytes de datos.

### **Campo de Datos**

Este campo contiene los datos a ser transferidos dentro de una trama CAN y puede contener de 0 a 8 bytes. El bit más significativo es transmitido primero.

### **Campo CRC**

El campo CRC (Figura 3.17) consiste de una secuencia de chequeo de 15 bits y un bit delimitador transmitido recesivamente. La secuencia CRC es utilizada para que un receptor pueda saber si la trama recibida fue afectada o no por perturbaciones del medio. La secuencia de chequeo de trama es derivada de un Código de Redundancia Cíclica que funciona eficientemente en tramas con menos de 127 bits. Los coeficientes del polinomio a ser dividido (en el cálculo de la secuencia

CRC) están dados por los campos de trama sin relleno consistentes de: SOF, campo arbitraje, campo control y campo de datos (Figura 3.16) extendidos por coeficientes de valor 0.

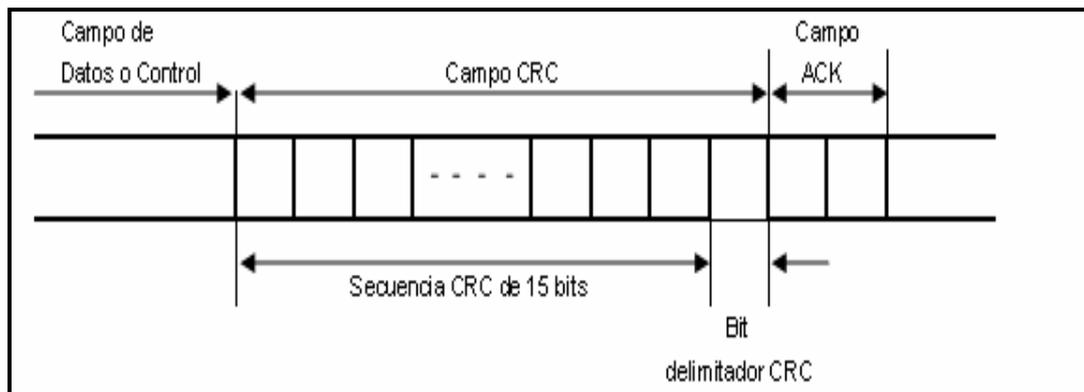


Figura 3.17: Formato del Campo CRC

### Campo de Acuse de Recibo (ACK)

El campo de 2 bits de Acuse de Recibo (ACK) (Figura 3.18) consiste del así llamado "Slot de Acuse de Recibo" seguido por el bit "Delimitador de Acuse de Recibo". En el campo de ACK, el transmisor envía dos bits recesivos.

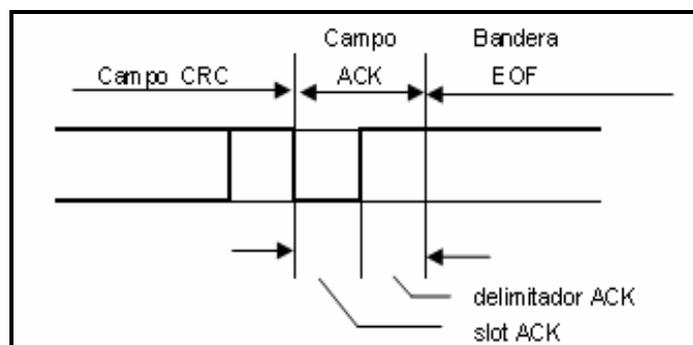


Figura 3.18: Formato del Campo de Acuse de Recibo o ACK

El protocolo CAN está basado en el principio de “estación-neutral, acuse de recepción positiva”. En el que el transmisor de una trama espera por el ACK de recepción correcta de al menos un nodo receptor. Por tanto cualquier receptor que ha recibido correctamente una trama lo reporta al transmisor de la misma sobre-escribiendo el bit recesivo recibido del transmisor por un bit dominante durante el slot ACK. Con un bit dominante durante el slot de ACK el transmisor se da por enterado que al menos uno de los nodos ha tenido recepción correcta de la trama transmitida. Esta información es usada solamente por el proceso de confinamiento de errores.

Puesto que con el mecanismo de ACK solamente se indica la correcta recepción de una trama transmitida, esta herramienta no es suficiente para garantizar coherencia de datos en todo el sistema.

Un bit delimitador ACK recesivo siempre va después del slot ACK. Esto es requerido para distinguir un ACK positivo (bit dominante durante el slot ACK) de un posible inicio simultáneo de una trama de error.

### **Bandera de Fin de trama (EOF)**

Cada trama de datos y remota es delimitada por una secuencia de 7 bits recesivos. Juntos con el igualmente recesivo delimitador ACK resulta en una secuencia total de 8 bits recesivos al final de la trama remota o de datos.

## b. Subrutinas especiales

### b.1 Medición de la temperatura del habitáculo

Para calcular este parámetro se multiplica por 100 al valor del voltaje, debido a que el sensor de temperatura LM35 tiene una respuesta lineal de 10mV por grado centígrado. Así, al simplificar el factor de conversión (1°C/10mV), se obtiene la relación 100°C/ V.

$$V = \frac{5}{1023} * Valor_{CAD} * 100 \quad \text{Ec. 3.6}$$

El proceso que realiza el sistema para la digitalización y visualización de esta variable se puede observar en la figura 3.19.

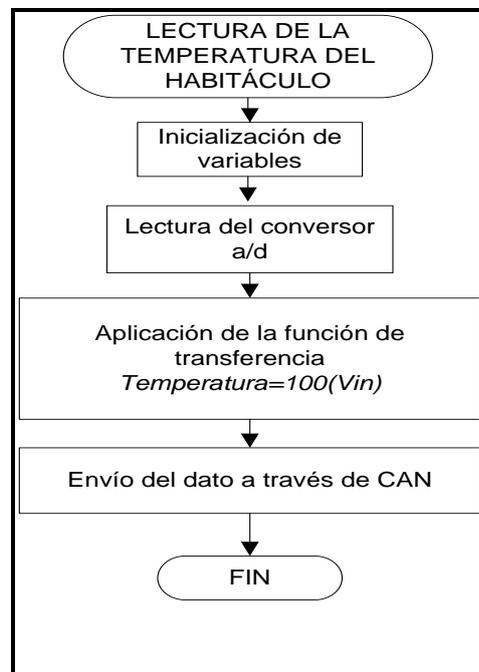


Figura 3.19: Diagrama de flujo de la subrutina de adquisición de la temperatura del habitáculo

A pesar de que el sensor de temperatura usado puede medir entre  $-55^{\circ}\text{C}$  y  $+150^{\circ}\text{C}$ , el rango de medición del sistema está entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $+150^{\circ}\text{C}$  para la visualización digital. Esto debido a que es relativamente imposible encontrar en nuestro país, temperaturas bajo cero.

## **b.2 Medición de la velocidad angular del motor**

Esta subrutina obtiene el valor de las RPMs mediante las interrupciones del módulo de captura de pulsos y del TIMER1.

Las interrupciones del programa, en orden de prioridad, son:

- Desbordamiento del TIMER1.
- Flanco activo en CCP1.

La implementación de la interrupción por desbordamiento del TIMER1 tiene relación directa con la interrupción CCP1. Este módulo está configurado como temporizador (contador sincrónico con la señal del oscilador), con pre escala de 8.

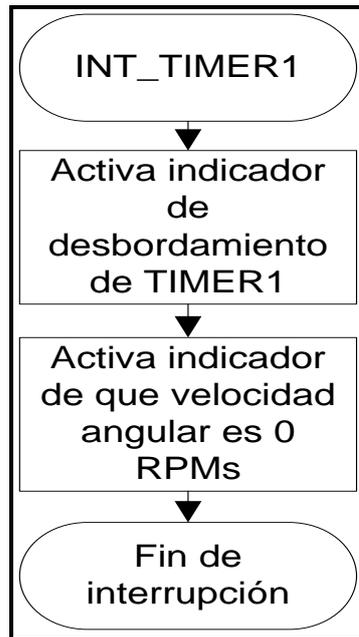


Figura 3.20: Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción del TIMER1

Teniendo en cuenta que el sistema trabaja a 24Mhz y que en los PICs un ciclo de máquina dura 4 ciclos de reloj, el período de conteo del TIMER1 es de 1.33µseg. En base a este resultado y a que la resolución del temporizador es 16bits, el tiempo máximo que se puede medir en el desbordamiento del TIMER1, es de 0.08738seg. Lo anterior se resume en los siguientes modelos:

$$T_{\text{conteo}} = \frac{4}{F_{\text{osc}}} \cdot \text{preescala} \quad \text{Ec. 3.7}$$

$$T_{\text{conteo}} = \frac{4}{24\text{Mhz}} \cdot 8 = 1.33\mu\text{s}$$

$$T_{\text{máx}} = \frac{4}{F_{\text{osc}}} \cdot 65535 \cdot \text{preescala} \quad \text{Ec. 3.8}$$

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{4}{24Mhz} * 65535 * 8 = 0.08738.seg$$

El m3dulo CCP1 est3 configurado en modo captura ante flancos ascendentes. Se realiza una interrupci3n cada vez que exista una se3al transicional desde nivel l3gico 0 hasta nivel l3gico 1.

Como se observa en el diagrama de flujo, la rutina especial de interrupci3n reinicia el registro contador del TIMER1, pero tambi3n guarda el valor que ten3a est3 justo en el momento de la interrupci3n. Adem3s, verifica si el TIMER1 se ha desbordado.

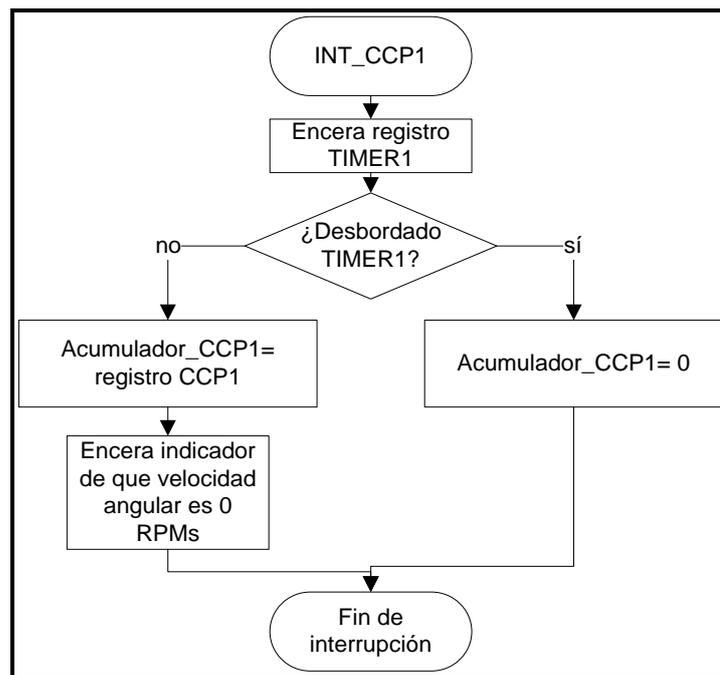


Figura 3.21: Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupci3n del m3dulo CCP1

El beneficio pr3ctico de esta interrupci3n y la de desbordamiento del TIMER1, se orienta a la medici3n de la velocidad angular del motor. Con

los valores obtenidos mediante las ecuaciones 3.7 y 3.8, se puede obtener la frecuencia máxima y mínima que es capaz de medir el módulo:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 3.9}$$

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{1}{T_{conteo}} = \frac{1}{1.33\mu s} = 750\text{Khz}$$

$$f_{m\acute{i}n} = \frac{1}{T_{m\acute{a}x}} = \frac{1}{0.08738\text{seg}} = 11.44426\text{Hz}$$

Transformando los dos valores anteriores a velocidad angular de un motor de cuatro cilindros y cuatro tiempos, se obtiene las frecuencias angulares máxima y mínima que puede medir el sistema.

$$w = \frac{f * 120}{\#cilindros} \quad \text{Ec. 3.10}$$

$$w_{m\acute{a}x} = \frac{750\text{Khz} * 120}{4} = 22500000\text{ RPM}$$

$$w_{m\acute{i}n} = \frac{11.44428\text{ Hz} * 120}{4} = 343.328\text{ RPM}$$

En base a los resultados, si se divide el valor obtenido en el TIMER1 cada interrupción de CCP1, por el número 22500000, se obtiene la velocidad angular.

### **b.3 Medición de la aceleración del vehículo**

Esta medición es consecuencia de la respuesta analógica del acelerómetro MMA7260QT. Luego de transformar el valor resultante del conversor análogo – digital a valores de voltaje, igual que en los procesos

anteriores, se utiliza la función de transferencia establecida por las características del sensor dadas en su hoja de datos.

El proceso de determinación del modelo matemático es simple. Únicamente se tiene en cuenta que para el tope de escala de  $\pm 1.5g$ , el sensor responde incrementando o decrementando  $0.8V$  por cada gravedad medida. Cabe resaltar que el voltaje correspondiente a  $0g$  tiene un OFFSET equivalente al voltaje de alimentación del sensor, dividido en dos ( $3.3V/2=1.65V$ ). La siguiente es la función de transferencia:

$$G = (5/4)(V_{IN} - 1.65) \quad \text{Ec. 3.11}$$

El anterior modelo se aplica a las mediciones de aceleración del eje x (coincidente con el eje longitudinal) y del eje y (coincidente con el eje transversal), en el automóvil. La convención utilizada establece que las gravedades de aceleración (incremento de velocidad en el vehículo) son positivas y las gravedades de deceleración (frenado o decremento de velocidad) son negativas, a lo largo del eje x. Por otro lado, las gravedades con dirección a la derecha son positivas, y a la izquierda son negativas, en el eje y.

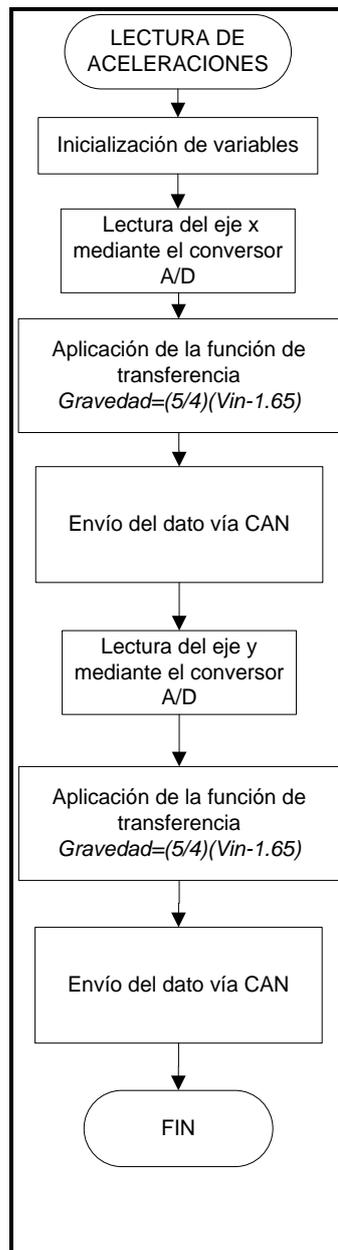


Figura 3.22: Diagrama de flujo de la subrutina de adquisición y visualización de la aceleración del vehículo

La visualización gráfica de la medición con rango de -1.5g hasta +1.5g para los dos ejes, se realiza al representar el vector resultante de las componentes de aceleración en el eje x y eje y.

### 3.4.3 CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN CAN EN EL BIT TIME

Una de las configuraciones que se debe realizar en la comunicación CAN es la del BIT TIME o TIEMPO DE BIT.

#### a. BIT TIME CALCULATIONS

Es el programa que nos permite calcular todos los posibles conjuntos de parámetros de bus CAN para una frecuencia de entrada determinada y una velocidad de bus dado.

La frecuencia de entrada es la frecuencia que se está alimentando al controlador CAN.

Primero elegimos la velocidad de transmisión deseada y la frecuencia del oscilador.



Figura 3.23: Calculo del Tiempo de Bit.

En segundo lugar obtendremos una tabla con todas las velocidades de transmisión disponible para el oscilador de frecuencia, y se recibirá desviaciones en porcentajes de la velocidad de transmisión escogido.

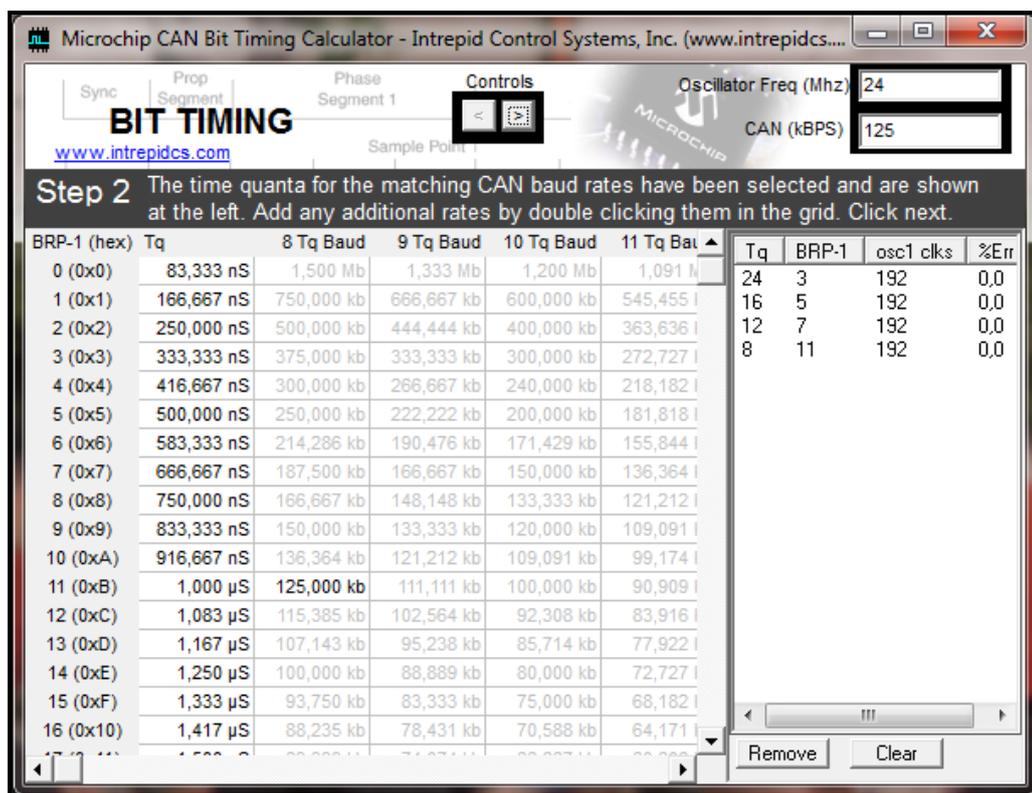


Figura 3.24: Velocidades de transmisión.

Finalmente obtendremos una gráfica del bit time con los parámetros seleccionados.

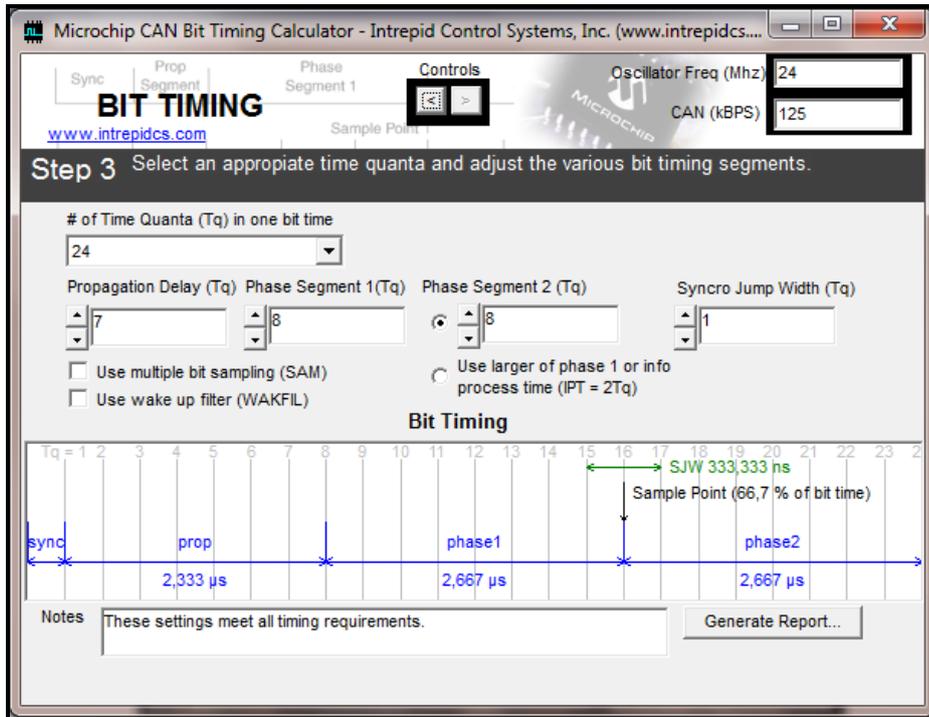


Figura 3.25: Tiempo de Bit.

Tabla 3.2. BIT TIME CALCULATIONS FOR THE MICROCHIP CAN

| SETUP CRITERIA           |             |
|--------------------------|-------------|
| OSCILATOR FREQUENCY      | 24,000MHz   |
| TARGET CAN bus baut rate | 125,000Kbps |

Tabla 3.3. SELECTED OPTIONS

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| BRP-1 (Baud Rate Prescaler) | 5   |
| Tq (Time Quanta)            | 500,000 ns                                |
| Number of Time Quanta       | 16  |
| % Error of Target Baud Rate | 0,0 % (Actual Baud Rate is 125,000 kbps ) |

Tabla 3.4. Bit Timing Setup in Tq

|                                  |  |   |
|----------------------------------|--|---|
| Propagation Delay                |  | 1 |
| Phase Segment 1                  |  | 8 |
| Phase Segment 2                  |  | 6 |
| Synchronization Jump Width (SJW) |  | 1 |

Tabla 3.5. Configuration Register Setup (PIC18/MCP251X) (neoVI blue/green, ValueCAN 2)

| Register     | Binary      | Hexadecimal |
|--------------|-------------|-------------|
| CNF1/BRGCON1 | b'00000101' | 0x05        |
| CNF2/BRGCON2 | b'10111000' | 0xB8        |
| CNF3/BRGCON3 | b'00000101' | 0x05        |

Tabla 3.6. Configuration Register Setup (dsPIC33F,PIC24H,dsPIC30) (neoVI Red/Fire/Test/Yellow/ECU, ValueCAN 3)

| Register | Binary              | Hexadecimal |
|----------|---------------------|-------------|
| CICFG1   | b'0000000000000101' | 0x0005      |
| CICFG2   | b'0000010110111000' | 0x05B8      |

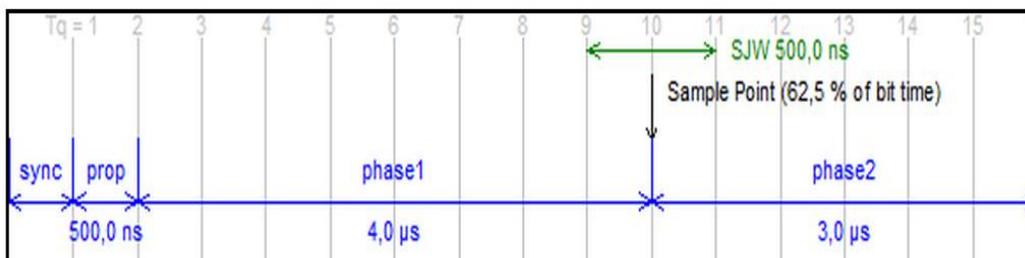


Figura 3.26: Diagrama de Tiempo de Bit.

## CAPÍTULO 4

### IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

#### 4.1 MONTAJE FÍSICO DEL SISTEMA

Explicaremos paso a paso y de una forma estándar y resumida como montar nuestro sistema electrónico, empezando por el circuito principal que es la pantalla GLCD



Figura 4.1: Pantalla GLCD.

- Conectamos los socket correspondientes de cada conector y los cables de alimentación del sistema.

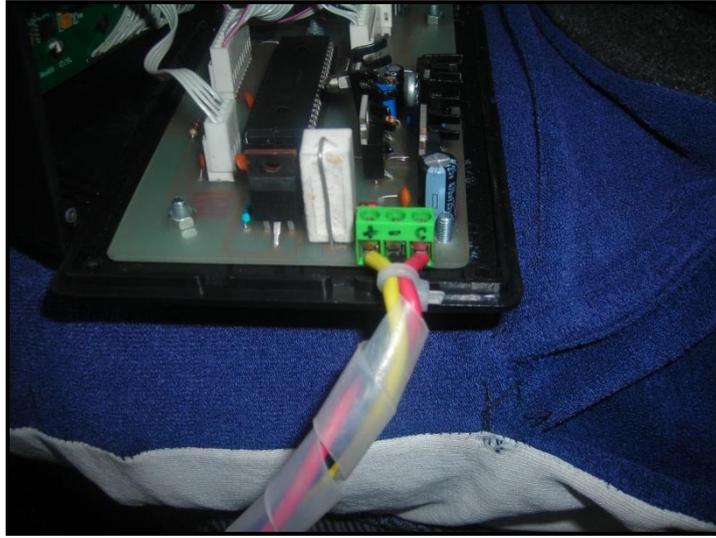


Figura 4.2: Conexion de los socker.

- Procedemos a sellar el circuito tomando las debidas precauciones que los cables de datos no topen con el regulador debido que estos se calientan al funcionar el sistema.

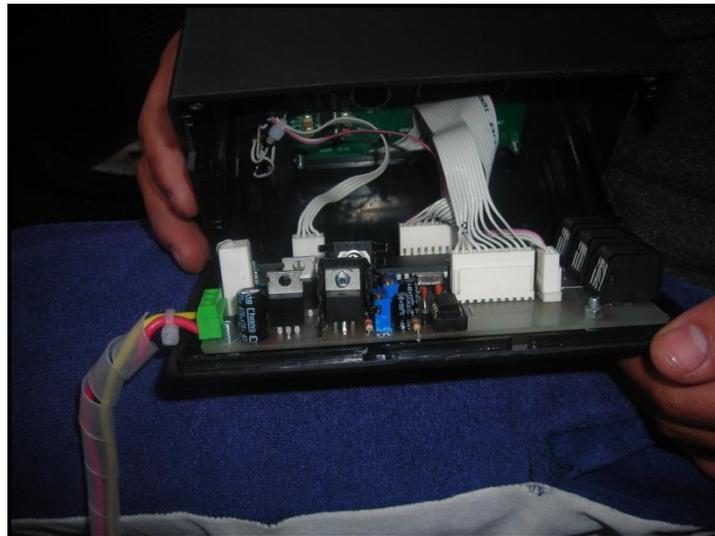


Figura 4.3: Circuito de la pantalla GLCD.

- Montamos la pantalla GLCD en la parte central superior del tablero del vehículo, y tomamos la fuente de alimentación que es 12 voltios a través del cableado del sistema de alarma para su funcionamiento.



Figura 4.4: Montaje de la pantalla GLCD.

## SENSOR DE REVOLUCIONES

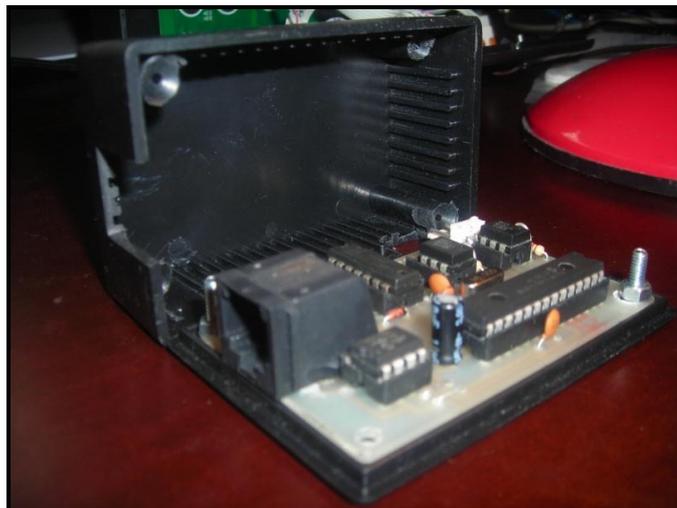


Figura 4.5: Sensor de revoluciones

- Para el sensor de r.p.m. debemos tomar de la ECU del vehículo la señal del tacómetro para esto nos guiamos en el diagrama de conexión del fabricante del vehículo, quien nos especifica que el cable de color verde es la salida de señal para el tacómetro.



Figura 4.6: Conexión del sensor rpm a la ECU.

- Procedemos a soldar nuestro cable de conexión.



Figura 4.7: Cable de conexión

- Colocamos el sensor r.p.m en la parte inferior derecha de la guantera del vehículo y conectamos el cable de señal del tacómetro que tomamos de la ECU, y por medio de nuestro cable de comunicación UTP CAT 5E al dispositivo principal.



Figura 4.8: Sensor de rpm.

## SENSOR DE TEMPERATURA



Figura 4.9: Sensor de temperatura

- Luego de sellar el sensor de temperatura, colocamos en la parte derecha del parante del parabrisas del vehículo.



Figura 4.10: Montaje del sensor de temperatura.

- Conectamos por medio de nuestro cable de comunicación UTP CAT 5E al dispositivo principal.



Figura 4.11: Conexión del sensor de temperatura

## SENSOR DE ACELERACION

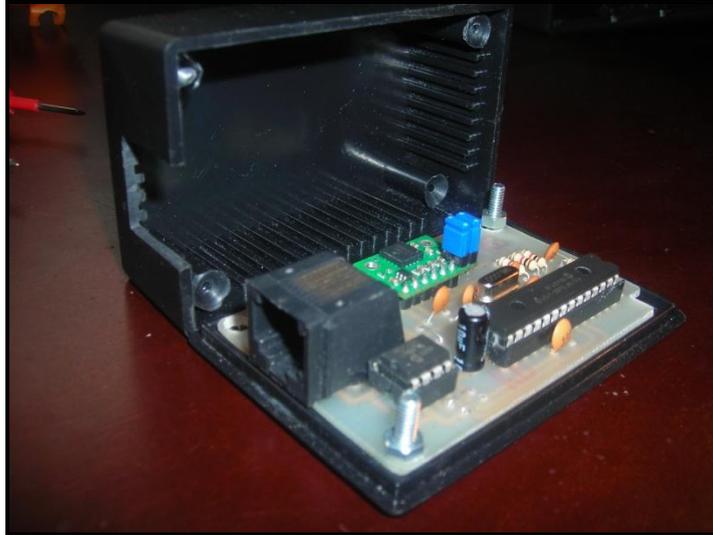


Figura 4.12: Sensor de aceleración.



Figura 4.13: Base Metálica para el sensor de aceleración.

- Atornillamos la base metálica en el centro de gravedad del vehículo según el fabricante, está ubicado junto a la palanca de cambio de

velocidades; y después de sellar el sensor de aceleración, colocamos en la parte superior de la base.



Figura 4.14: Sensor G.

- Con el tornillo de regulación de la base metálica calibramos al Sensor G para empezar el sensado.



Figura 4.15: Montaje del sensor G.

- Posteriormente conectamos el cable de datos desde el modulo al sensor G, verificando si es reconocido y su perfecto funcionamiento.



Figura 4.16: Verificación del sensor G.

## 4.2 PRUEBAS

Mediante las innumerables pruebas realizadas en hardware obtuvimos las siguientes verificaciones más importantes como son:

- Mínima interferencia que existe entre una red de área controlada CAN con los diferentes dispositivos electrónicos del vehículo.
- Comunicación entre el microcontrolador y la pantalla GLCD.
- Correcta actualización de datos en la GLCD de acuerdo a las frecuencias de muestreo establecidas para cada variable.
- Correlación entre los valores medidos de cada sensor y los valores calculados por medio de nuestro algoritmo.
- Reconocimiento de los sensores en cualquier terminal del modulo principal en cual sea conectado.

- Adecuada recepción e interpretación de las diferentes tramas de datos recibidas desde el módulo principal, hacia cada sensor.

Después de haber montado todo el sistema en el vehículo se comprobó su correcto funcionamiento y comunicación con cada elemento.

Debido a que nuestro sistema es de monitoreo, se realizó las pruebas en distintas condiciones y con instrumentos digitales para la adquisición de datos y posteriormente ser tabuladas y analizadas.



Figura 4.17: Prueba del acelerómetro con el módulo principal.

Para la prueba de temperatura y de la velocidad angular del motor se utilizó el multímetro automotriz BLUEPOINT MT586 de fabricación brasilera, que presta algunos servicios como: medidor de voltaje, termómetro y r.p.m. Sus características son:

Tabla 4.1. Características técnicas del multímetro automotriz BLUEPOINT MT586.

|                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Rango del compás                    | 0° a 359°, 1-16 puntos gráficos |
| Precisión de altura relativa        | +/- 3m                          |
| Precisión de altura absoluta        | +/- 12m                         |
| Rango de temperature                | -20° a +60°C                    |
| Precisión de temperatura            | +/- 1.0°C                       |
| Medida del intervalo de temperatura | 3 seg.                          |
| Reducción de la presión             | 0.1 KPa (0.1mmhg, 0.01inHg)     |
| Precisión de la presión absoluta    | +/- 1.5kPa                      |

Para las referencias de temperatura del habitáculo y velocidad angular del motor, se usó un multímetro automotriz BLUEPOINT MT586.

#### **MULTIMETRO AUTOMOTRIZ BLUEPOINT MT- 586**

Tabla 4.2. Características del multímetro bluepoint MT-586

|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| Detección de la temperatura | 50 a 100v C.A            |
| Frecuencia                  | 51 a 100v C.A            |
| Categoría de la medida      | 52 a 100v C.A            |
| Medición de tenciones       | 53 a 100v C.A            |
| Medición de amperaje ACC    | 54 a 100v C.A            |
| Medición de resistencia     | 55 a 100v C.A            |
| Categoría de mediciones     | CATII, 300V por UL61010B |

#### **Función:**

Se utiliza para medir tensión y verificar picos, además es ideal para medir corriente de pequeños circuitos electrónicos, contiene un protector de caucho para resguardar el medidor contra daños

Medición de tención de C.A / C.C, amperaje de C.C

#### **4.2.1 ACELERACIÓN**

Para esta prueba utilizamos el acelerómetro K.A.T. Matrix, este es un dispositivo inalámbrico que no necesita de cables de conexión basta con colocarlo en el parabrisas del vehículo y empieza a medir.

##### **Describir características del acelerómetro a utilizar**

Acelerómetro K.A.T. Matrix

- Características generales:
- Diseño inalámbrico
- Gran Pantalla LCD retro iluminada (LCD de 3 pulgadas)
- LCD tamaño de la fuente: 1/2-pulgada
- Funciona con pilas (funciona con 3 pilas AA - incluido)
- Tendrá una duración de alrededor de un año en un conjunto de baterías
- Diseño de micro-electrónicos
- Operación con un solo botón
- Fácil de usar más rápido, más frecuencia de actualización de calibración automática con cada inicio
- Parabrisas montado (soporte de parabrisas incluido)
- Una de las características principales es que puede medir la aceleración del vehículo, en las curvas, la potencia y el G- fuerzas
- Es para uso multimarcas.

## PRUEBA EN SENSOR G

Tabla 4.3. Eje X Positivo.

| Muestra | Lectura Patrón | Lectura Sistema | %Error   |
|---------|----------------|-----------------|----------|
| 1       | 0,9            | 0,89            | -1,25    |
| 2       | 0,8            | 0,81            | -1,25    |
| 3       | 0,7            | 0,71            | -1,42857 |
| 4       | 0,6            | 0,59            | 1,666667 |
| 5       | 0,5            | 0,5             | 0        |
| 6       | 0,4            | 0,41            | -2,5     |
| 7       | 0,3            | 0,29            | 3,333333 |
| 8       | 0,2            | 0,2             | 0        |
| 9       | 0,1            | 0,1             | 0        |
| 10      | 0,01           | 0,01            | 0        |

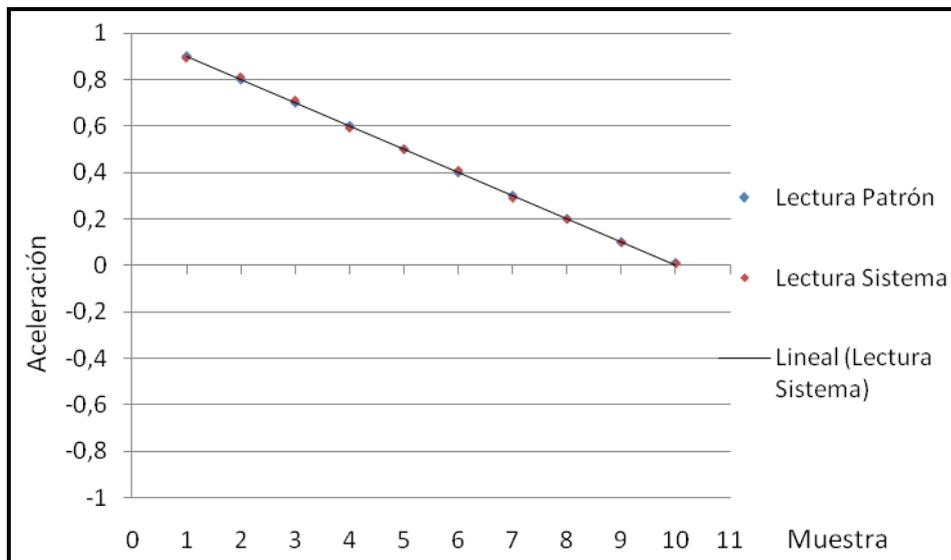


Figura 4.18: Diagrama de la aceleración positivo en X

Tabla 4.4. Eje X Negativo.

| Muestra | Lectura Patrón | Lectura Sistema | %Error   |
|---------|----------------|-----------------|----------|
| 1       | -0,9           | -0,89           | -1,25    |
| 2       | -0,8           | -0,81           | -1,25    |
| 3       | -0,7           | -0,71           | -1,42857 |
| 4       | -0,6           | -0,59           | 1,666667 |
| 5       | -0,5           | -0,5            | 0        |
| 6       | -0,4           | -0,41           | -2,5     |
| 7       | -0,3           | -0,29           | 3,333333 |
| 8       | -0,2           | -0,2            | 0        |
| 9       | -0,1           | -0,1            | 0        |
| 10      | -0,01          | -0,01           | 0        |

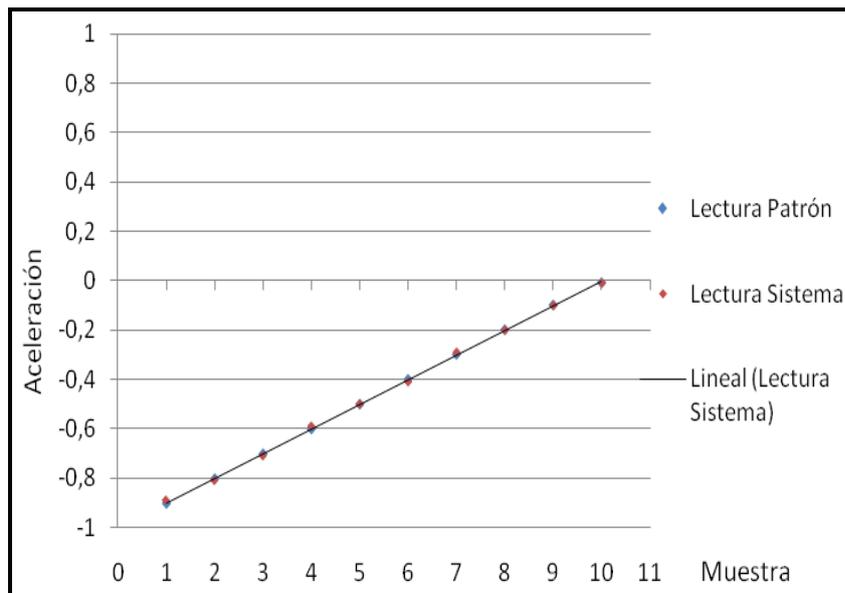


Figura 4.19: Diagrama de la aceleración negativa en el eje X

Tabla 4.5. Eje Y Positivo.

| Muestra | Lectura Patrón | Lectura Sistema | %Error   |
|---------|----------------|-----------------|----------|
| 1       | 0,01           | 0,01            | 0        |
| 2       | 0,1            | 0,098           | 2        |
| 3       | 0,3            | 0,299           | 0,333333 |
| 4       | 0,4            | 0,39            | 2,5      |
| 5       | 0,5            | 0,5             | 0        |
| 6       | 0,7            | 0,7             | 0        |
| 7       | 0,9            | 0,89            | 1,111111 |
| 8       | 1,1            | 1,09            | 0,909091 |
| 9       | 1,3            | 1,29            | 0,769231 |
| 10      | 1,5            | 1,49            | 0,666667 |

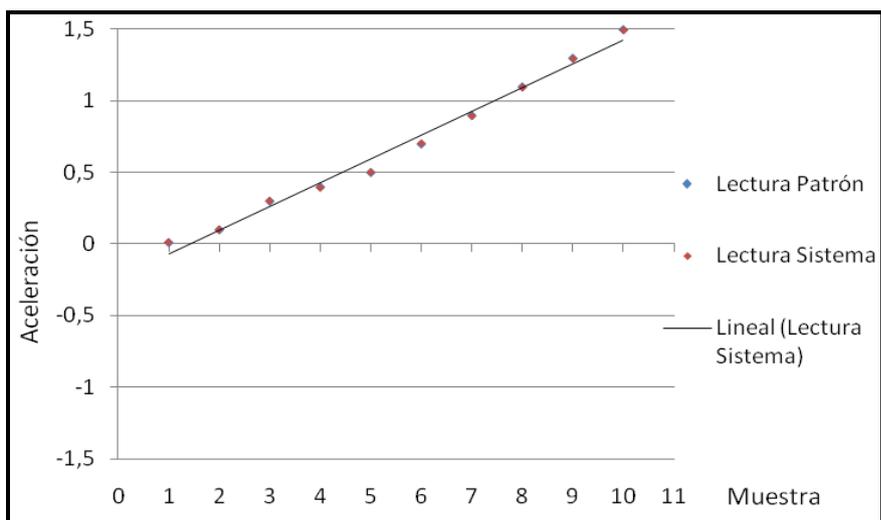


Figura 4.20: Diagrama de la aceleración positiva en el eje Y

Tabla 4.6. Eje Y Negativo.

| Muestra | Lectura Patrón | Lectura Sistema | %Error   |
|---------|----------------|-----------------|----------|
| 1       | -0,01          | -0,01           | 2        |
| 2       | -0,1           | -0,098          | 2        |
| 3       | -0,3           | -0,299          | 0,333333 |
| 4       | -0,4           | -0,39           | 2,5      |
| 5       | -0,5           | -0,5            | 0        |
| 6       | -0,7           | -0,7            | 0        |
| 7       | -0,9           | -0,89           | 1,111111 |
| 8       | -1,1           | -1,09           | 0,909091 |
| 9       | -1,3           | -1,29           | 0,769231 |
| 10      | -1,5           | -1,49           | 0,666667 |

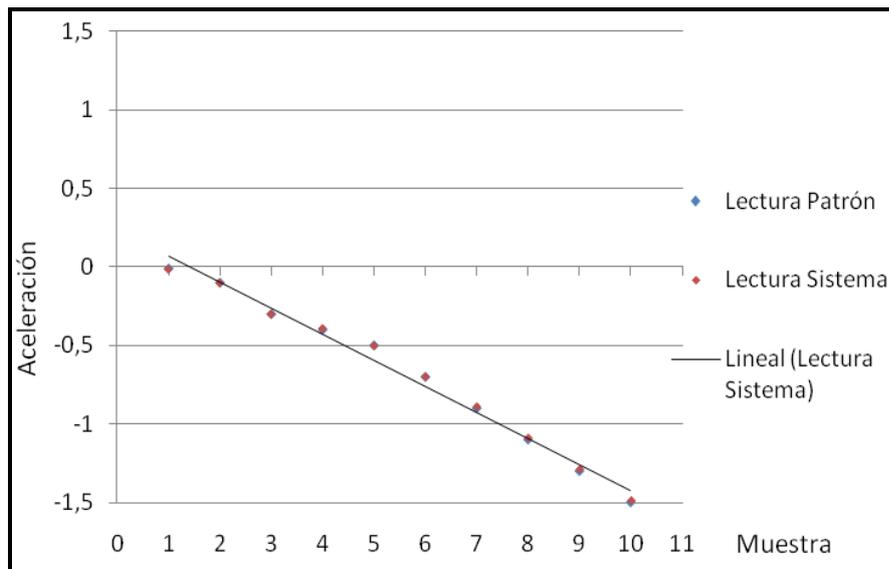


Figura 4.21: Diagrama de la aceleración negativa en el eje X

#### 4.2.2 TEMPERATURA DEL HABITÁCULO DEL VEHÍCULO

La prueba se realizó en el día. Primero se aclimato el interior del vehículo con la temperatura ambiente, para tomar este valor como referencia. Posteriormente cerramos las puertas y encendemos la calefacción y con

el multímetro automotriz BLUEPOINT MT586 utilizamos la opción temperatura y el cable de conexión colocamos en el sensor, para tomar valores conforme iba subiendo la temperatura del interior.



Figura 4.22: Conexión de terminales

Tabla 4.7. Mediciones de temperatura en el habitáculo del automóvil

| Muestra | Lectura Patrón | Lectura Sistema | % Error  |
|---------|----------------|-----------------|----------|
| 1       | 20             | 20              | 0        |
| 2       | 22             | 21              | 4,545455 |
| 3       | 23             | 23              | 0        |
| 4       | 25             | 25              | 0        |
| 5       | 29             | 28              | 3,448276 |
| 6       | 30             | 30              | 0        |
| 7       | 32             | 31              | 3,125    |
| 8       | 34             | 33              | 2,941176 |
| 9       | 36             | 36              | 0        |
| 10      | 38             | 38              | 0        |

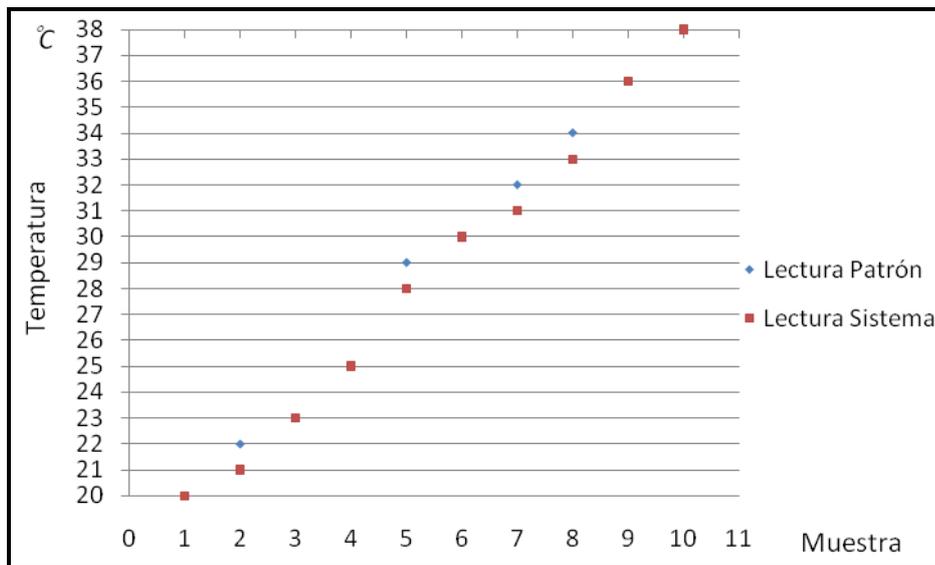


Figura 4.23: Diagrama de dispersión de temperatura ambiente del vehículo

### 4.2.3 VELOCIDAD ANGULAR DEL MOTOR

Para esta prueba utilizamos el multímetro automotriz BLUEPOINT MT586 con la opción r.p.m, conectamos el terminal rojo del multímetro al socket de nuestro sensor y el terminal negro a masa tomando el valor de las revoluciones del vehículo en la posición neutra como referencia. Posteriormente empezamos acelerar para tomar valores conforme va subiendo las revoluciones para su tabulación.



Figura 4.24: Conexión de terminales



Figura 4.25: Ensayo de revoluciones con el Multímetro BLUEPOINT  
MT586

Tabla 4.8. Mediciones de la velocidad angular del motor.

| MUESTRA | LECTURA PATRÓN (RPM) | LECTURA SISTEMA (RPM) | ERROR (%)    |
|---------|----------------------|-----------------------|--------------|
| 1       | 810                  | 800                   | 1,234567901  |
| 2       | 1010                 | 1000                  | 0,99009901   |
| 3       | 1210                 | 1200                  | 0,826446281  |
| 4       | 1390                 | 1400                  | -0,71942446  |
| 5       | 1590                 | 1600                  | -0,628930818 |
| 6       | 1790                 | 1800                  | -0,558659218 |
| 7       | 1990                 | 2000                  | -0,502512563 |
| 8       | 2490                 | 2500                  | -0,401606426 |
| 9       | 3010                 | 3000                  | 0,332225914  |
| 10      | 3510                 | 3500                  | 0,284900285  |

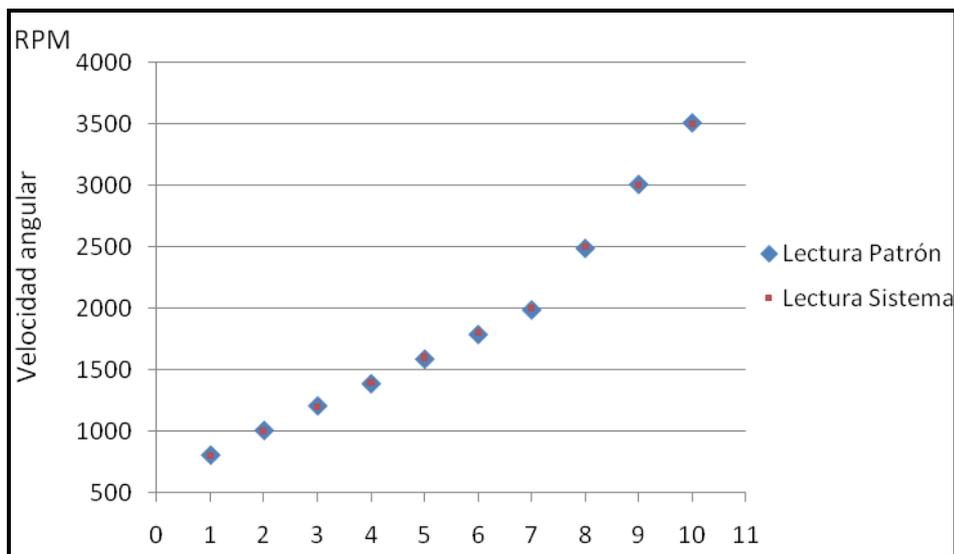


Figura 4.26: Gráfico de dispersión de mediciones de la velocidad angular del motor

### 4.3 DESEMPEÑO GENERAL DEL SISTEMA

Los valores obtenidos en las pruebas realizadas son satisfactorias, con relación a los valores patrones que tomamos como referencia. A continuación detallamos en la tabla el error máximo de cada sensor medido.

Tabla 4.9. Error máximo de cada prueba ejecutada

| VARIABLE MEDIDA                         | ERROR MÁXIMO (%) |
|---|------------------|
| Temperatura del habitáculo del vehículo | 4,545            |
| Velocidad Angular del Motor             | 1,234            |
| Aceleraciones (X,-X)                    | 3,33             |
| (Y,-Y)                                  | 1,11             |

La temperatura ambiente del vehículo se desvía en un grado aproximadamente, debido a que el sensor de temperatura LM35D se encuentra ubicado cerca de componentes que emanan calor.

Con relación a la velocidad angular el margen de error es mínimo, debido a que la señal que tomamos para nuestro sensor es directamente de la ECU y los valores medidos serian los mismos si nuestro vehículo tendría tacómetro.

Otro factor para que nuestro margen de error en el sensor de velocidad angular sea mínimo, se debe a que es nula la interferencia que puede provocar los demás sistemas eléctricos en la traba de datos que envía nuestro sensor a nuestro modulo.

Nuestro sensor G es exacto en las mediciones pero tenemos un mínimo margen de error en el modulo debido a las vibraciones que sufre constantemente el vehículo por las condiciones del camino en el cual se está conduciendo.

En conclusión sobre las pruebas del funcionamiento completo de nuestro sistema, observamos que es muy sensible y fiable para su implementación en cualquier vehículo.

#### **4.4 PRESUPUESTO**

El presupuesto que describe los costos de los elementos de los módulos es el siguiente:

Tabla 4.10. Costos de componentes para el sistema electrónico de medición en tiempo real de sensores G utilizando redes CAN.

| DESCRIPCIÓN   | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|---|----------|----------------|-------------|
| Módulo GLCD 128x64 pixeles con BACKLIGHT                                  | 1        | 140,00         | 140,00      |
| Sensor de Temperatura LM35D   | 1        | 38,00          | 38,00       |
| Sensor de Revoluciones MCP2551  | 1        | 45,00          | 45,00       |
| Sensor de Aceleración   | 1        | 55,00          | 55,00       |
| Regulador de voltaje a 9V LM7809  | 3        | 0,80           | 2,40        |
| Regulador de voltaje a 5V LM317T  | 3        | 0,80           | 2,40        |
| Conector RJ45 hembra  | 6        | 0,25           | 1,50        |
| Conector RJ45 macho   | 6        | 0,25           | 1,50        |
| Microcontrolador PIC18F2480   | 3        | 12,00          | 36,00       |
| Microcontrolador PIC18F4480   | 1        | 15,00          | 15,00       |
| Potenciómetro de 100K   | 1        | 0.30           | 0.30        |
| Cable #16   | 6m.      | 0,25           | 1,50        |
| Cable UTP CAT 5E  | 6m.      | 0,80           | 4,80        |
| Caja de lámina acrílica para dispositivo electrónico GLCD de 15mm. x 9mm. | 1        | 11,00          | 11,00       |
| Caja de lámina acrílica para sensores de 8mm. x 5mm.                      | 3        | 5,00           | 15,00       |
| Base metálica para sensor G   | 1        | 1,00           | 1,00        |
| Base regulable para montaje del sensor G                                  | 1        | 6,00           | 6,00        |
| Ordenador de cables   | 8m       | 1,20           | 9,60        |
| Zócalo ZIF de 40 pines  | 1        | 6.00           | 6.00        |
| Bornera de tornillo de 3 pines  | 1        | 0.30           | 0.30        |
| Placa metálica  | 1        | 15.00          | 15.00       |
| Elementos de soldadura  | 1        | 5.00           | 5.00        |
| Elementos varios (resistencias, capacitores y diodos)                     | 1        | 10.00          | 10.00       |
| TOTAL (USD)   |          |                | 422,30      |

En la siguiente tabla detallamos en general los gastos obtenidos en el diseño y construcción del módulo para el sistema electrónico de medición en tiempo real de sensores G en un vehículo corsa utilizando redes CAN.

Tabla 4.11. Costo total del diseño y construcción del módulo de medición del sensor G.

| <b>INGENIERIA E INFORMACION</b>     |                |
|-------------------------------------|----------------|
| Colaboración Científica             | 400,00         |
| Investigación                       | 100,00         |
| <b>Subtotal</b>                     | <b>500,00</b>  |
| <b>COSTOS DIRECTOS</b>              |                |
| Elementos eléctricos y electrónicos | 422,30         |
| Edición del trabajo escrito         | 120,00         |
| <b>Subtotal</b>                     | <b>542,30</b>  |
| <b>IMPROVISTOS</b>                  |                |
| Transporte                          | 140,00         |
| Otros                               | 100,00         |
| <b>Subtotal</b>                     | <b>240,00</b>  |
| <b>COSTO TOTAL</b>                  | <b>1282,30</b> |

#### **4.5 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO**

Lo novedoso de nuestro sistema es que no existe en el mercado para su comercialización.

Nuestro prototipo tiene las características necesarias para su adaptación en cualquier vehículo, es muy versátil, con la capacidad de reprogramación, con una respuesta eficiente.

El beneficio de este sistema electrónico esta orientado a la determinación de calidad de conducción del vehículo, llevando un registro que nos ayuden al estudio de los esfuerzos soportados por el chasis, entre otros.

Otro beneficio es que su costo es considerable y accesible para cualquier persona, y los materiales utilizados están disponibles en el mercado.

La implementación de este prototipo no tiene ninguna repercusión en los demás sistemas electrónicos del vehículo, debido a que es un sistema con todos los sensores independientes que solo necesita alimentación de 12 voltios de los cuales tomamos dicha alimentación de la alarma del automóvil.

**SU IMPLEMENTACIÓN ES FACTIBLE  
CON GRAN BENEFICIO  
COSTO ACCESIBLE PARA EL MERCADO**

## 5 CONCLUSIONES

- Diseñamos un sistema de medición en tiempo real de aceleración y gravedad mediante redes CAN, para optimizar el sistema de conducción, seguridad y seguimiento del mismo.
- Realizamos un sistema de control electrónico que nos permite obtener la medición de la aceleración y gravedad a través de una red CAN.
- Determinamos los requerimientos del sistema a diseñar en base a información de los sensores, desempeño, características eléctricas, ambiente, capacidad de almacenamiento y especificaciones de potencia.
- Utilizamos diagramas de bloque y de flujo para concebir el funcionamiento del sistema; seleccionar los elementos electrónicos idóneos para cumplir con sus requerimientos.
- Empleamos el software MIKRO C DSPIC para la programación de controladores digitales de señales DSPICs en lenguaje C y ensamblador, y el editor gráfico de capas EAGLE para el diseño de diagramas esquemáticos y placas de circuito impreso.
- Aplicamos el módulo en un automóvil Corsa Wind 1.6 del año 2000 y lo probamos para condiciones reales de trabajo.

## 6 RECOMENDACIONES

- Obtener los conocimientos necesarios en diseño electrónico y redes de comunicación de aplicación automotriz.
- Se recomienda a las autoridades de la carrera, anexar las materias redes de comunicación, microcontroladores a la malla curricular.
- Utilizar los implementos adecuados para su instalación y perfecto funcionamiento
- Usar el puerto CAN ya que opera 50 veces más rápido que los protocolos usados en los vehículos actuales
- Utilizar el sensor LM35 de NATIONAL para medir la temperatura ya que tiene precisión calibrada de 1°C y rango de medición que abarca desde -55° a +150°C.y además tiene un costo muy bajo
- Realizar diagramas esquemáticos para resumir y sintetizar los circuitos utilizados

## 7 BIBLIOGRAFÍA

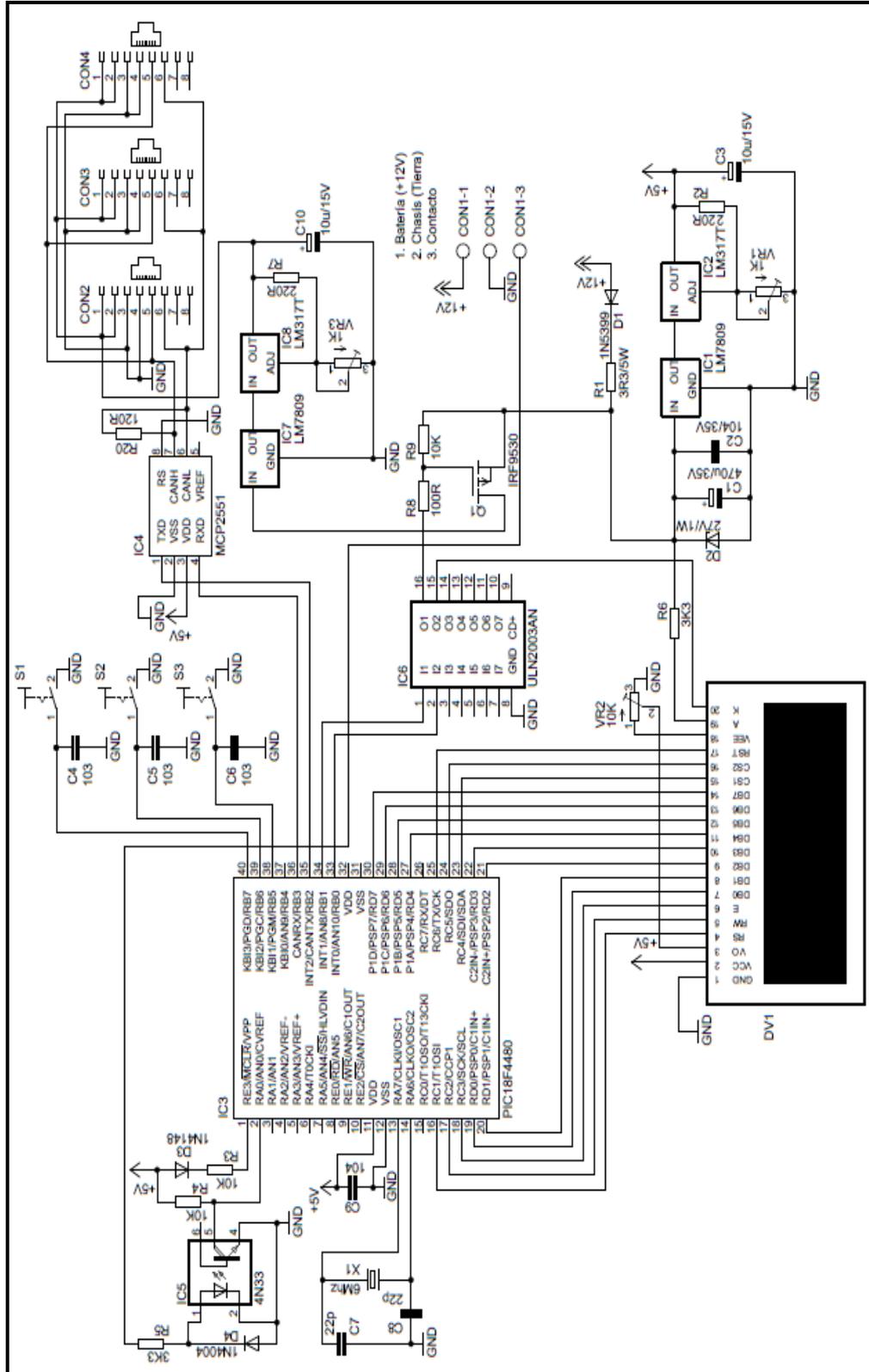
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC, Controller Area Network (CAN) Basics, Microchip Technology Inc, Arizona – USA, 2005.
- FREESCALE SEMICONDUCTOR,  $\pm 1.5g$  - 6g Three Axis Low - g Micromachined Accelerometer, Freescale Semiconductor, Denver Colorado 80217 – USA, 2008.
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC, DSPIC30F4011/4012 Datasheet, Microchip Technology Inc, Arizona – USA, 2007.
- IBRAHIM Dogan, Advanced PIC Microcontroller Projects in C, Elsevier, Burlington MA 01803 – USA, 2008.
- IBRAHIM Dogan, Microcontroller Based Applied Digital Control, John Wiley & Sons, England, 2006.
- BATES Martin, Interfacing PIC Microcontrollers: Embedded Design by Interactive Simulation, Elsevier, Burlington MA 01803 – USA, 2006.
- JOHNSON David, Análisis Básico de Circuitos Eléctricos, Quinta Edición, Prentice, 1995.
- MUHAMMAD Rashid, Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones, Tercera Edición, Pearson Educación, México, 2004.
- MALVINO Albert Paul, Principios de Electrónica, Sexta Edición, McGraw – Hill, España, 2002.
- RAMOS Guillermo, Electrónica Digital y Circuitos Integrados, CEKIT Compañía Editorial Tecnológica, Pereira – Colombia, 2000.

## **8 ANEXOS**

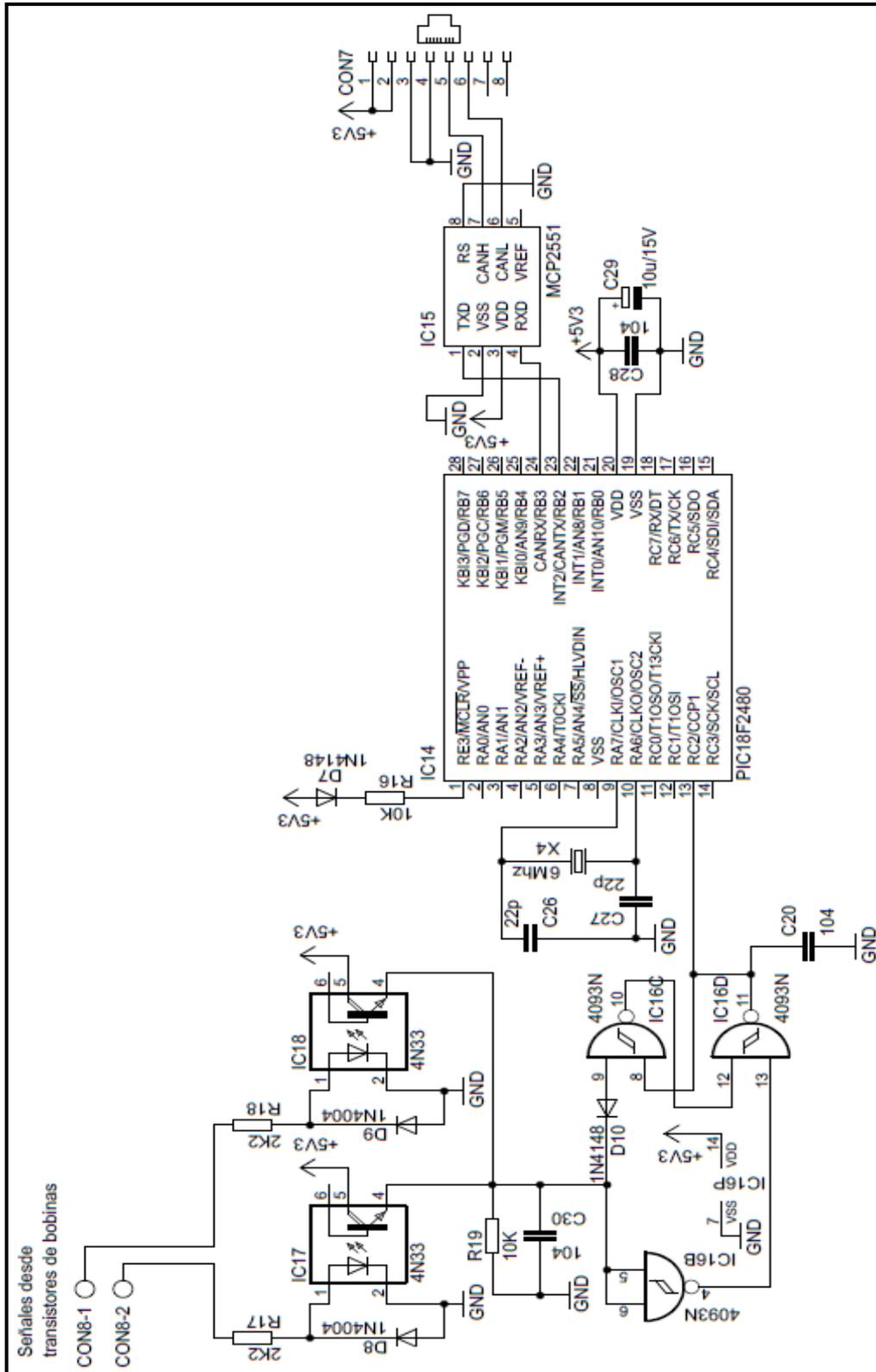


## ANEXO B. DISEÑO DE LAS PLACAS DE CIRCUITOS

### DIAGRAMA DE CONEXIÓN PANTALLA GLCD

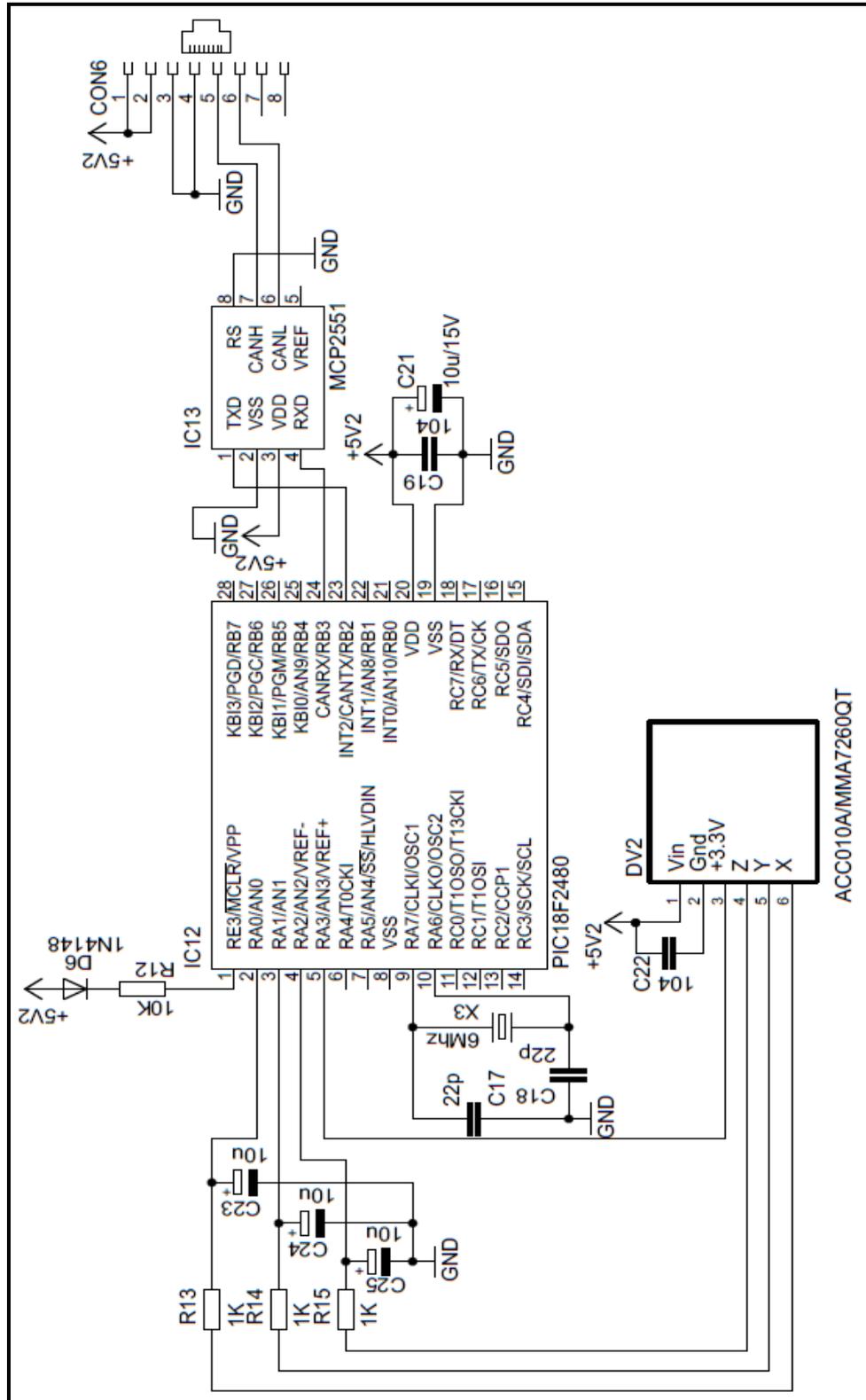


## ANEXO C. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SENSOR DE VELOCIDAD ANGULAR

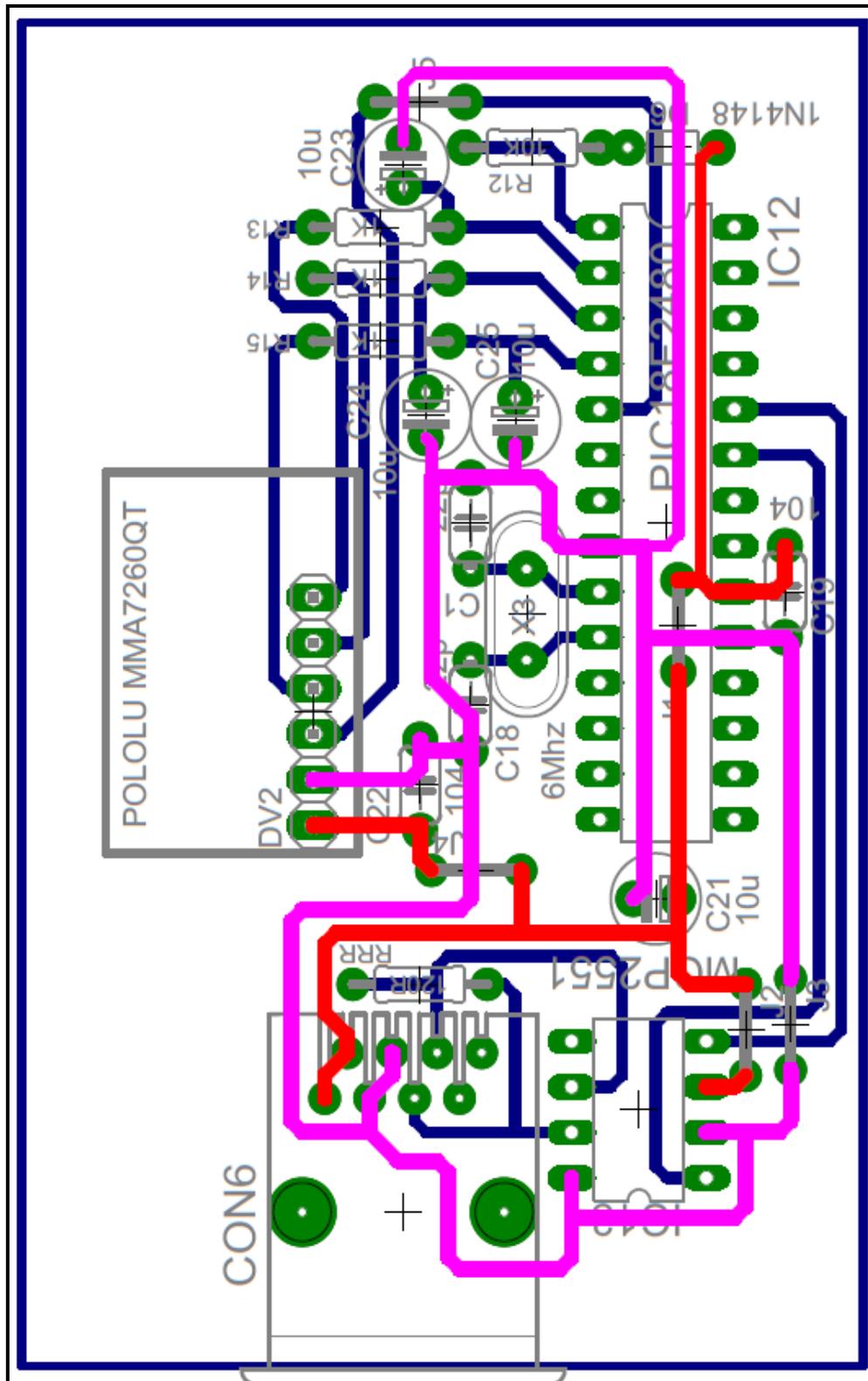




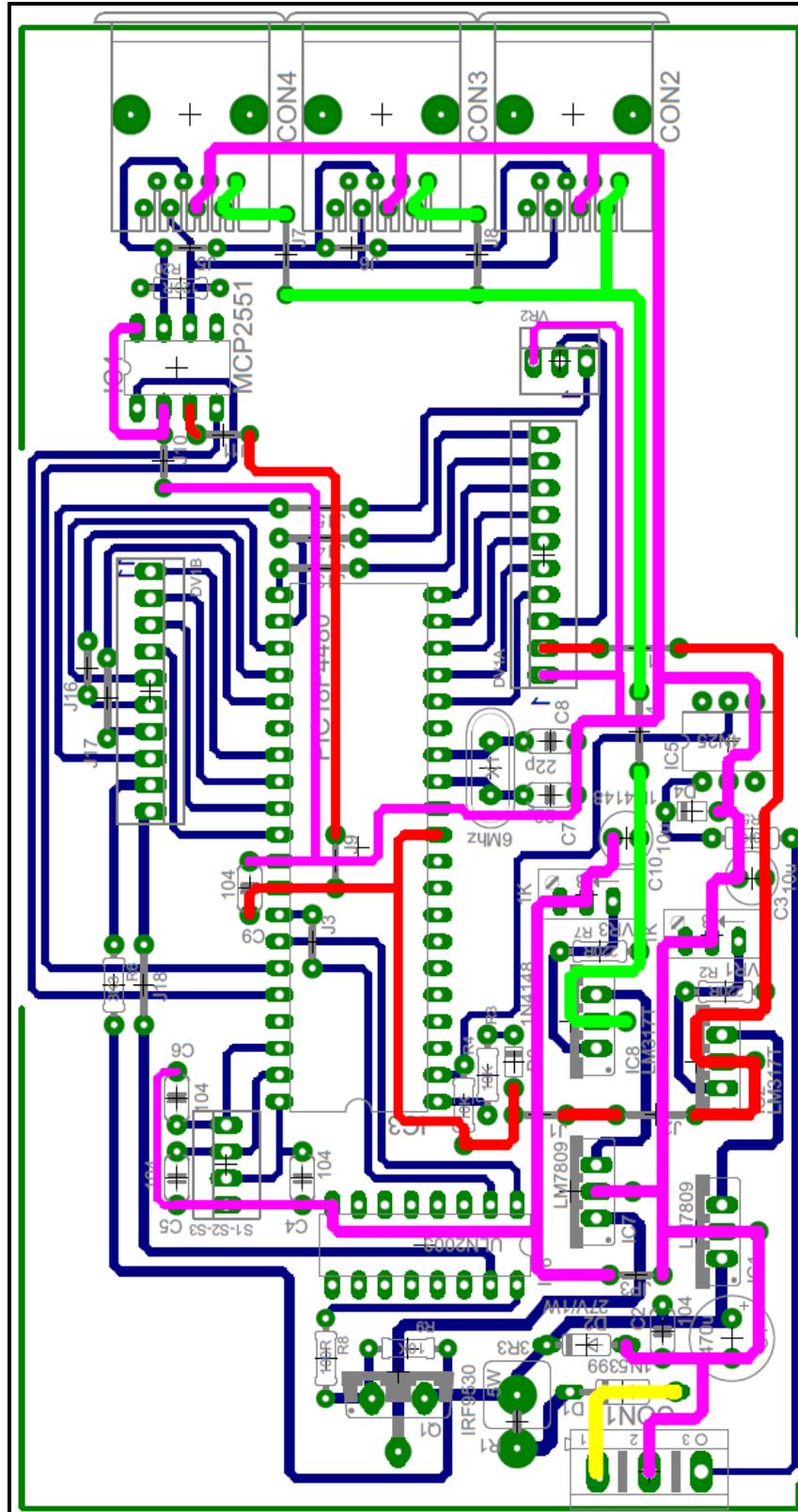
## ANEXO E. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA



ANEXO F. CIRCUITO ELECTRONICO DEL SENSOR DE ACELERACION

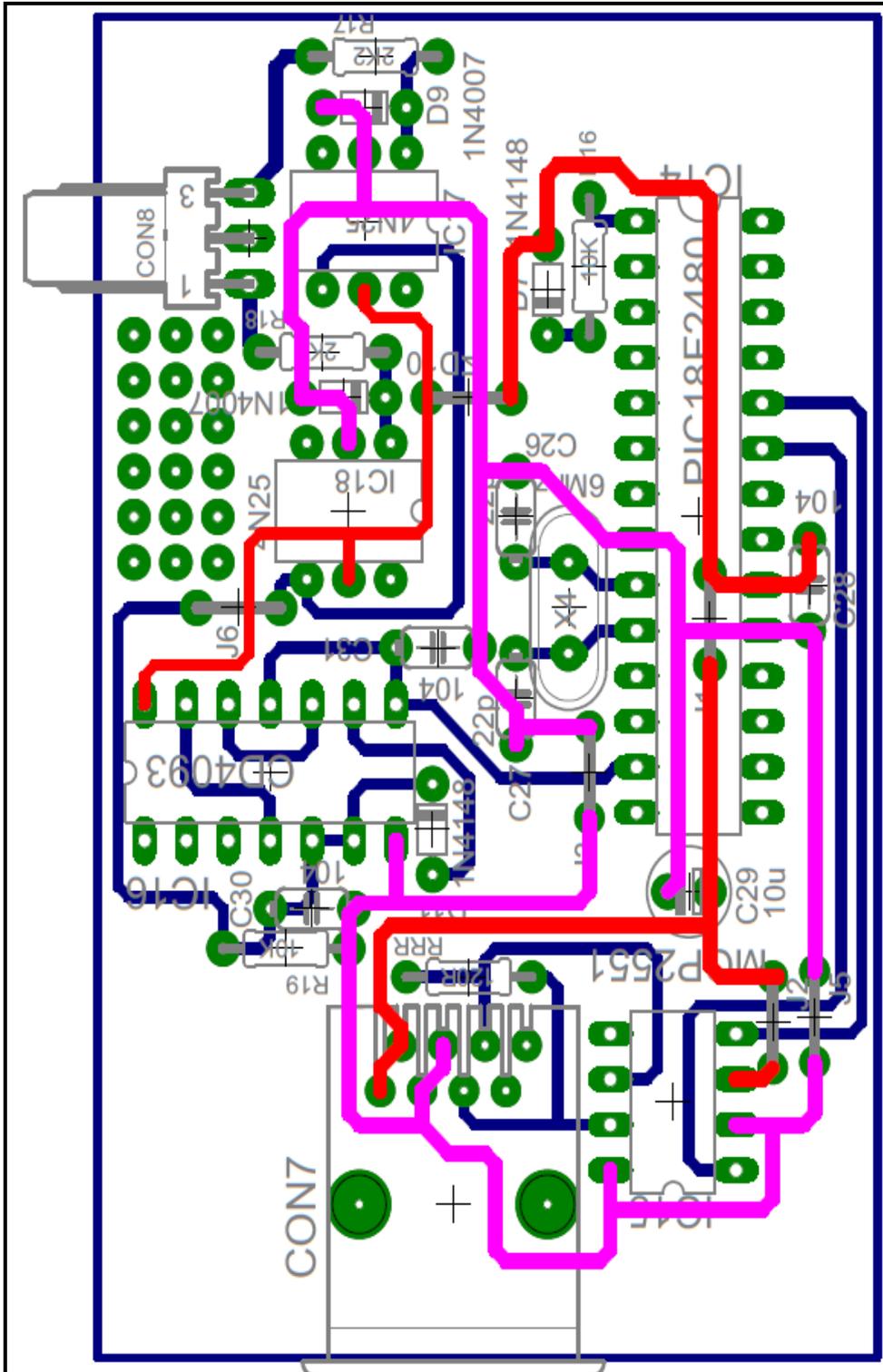


# ANEXO G. CIRCUITO ELECTRONICO DE LA PANTALLA GLCD





ANEXO I. CIRCUITO ELECTRONICO DEL SENSOR DE VELOCIDAD ANGULAR



## **ANEXO J. ARTICULO PARA REVISTA**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MEDICION EN TIEMPO REAL DE LA ACELERACION Y GRAVEDAD EN UN VEHICULO CORSA WIND1.6 AÑO 2000 MEDIANTE UNA RED CAN**

En lo referente a implementación electrónica, existen diferencias muy marcadas entre los vehículos de uso común y los de competición. Es habitual encontrar en los autos de carreras de alto desempeño (autos preparados en la fábrica), instrumentos especiales de medición tales como medidores de aceleraciones, de mezcla de combustible, de presión de aire y temperatura de los neumáticos, de nivel de la carrocería, entre otros.

Dentro de todas las variables citadas, la medición de aceleraciones es una cuantificación muy importante. Con sus resultados se puede observar la calidad de manejo del piloto, el esfuerzo físico que sus músculos deben soportar, y el esfuerzo mecánico de la carrocería y demás elementos relacionados con ésta. Así, la determinación de la calidad de conducción del piloto se puede determinar apreciando las transferencias de masas en el vehículo, las frenadas bruscas y las aceleraciones pronunciadas.

El planteamiento del problema se basa en la necesidad de dispositivos medidores de aceleraciones, en vehículos de competencia dentro del parque automotor ecuatoriano. La razón es que no se encuentran disponibles equipos electrónicos nacionales que se constituyan como centrales de monitoreo de las aceleraciones experimentadas por estos vehículos y sus pilotos. En otras palabras, no existen acelerómetros a la venta.

En lo que respecta a instrumentación automotriz, la medición de los vectores de aceleración presentes en un automóvil (módulo y dirección) puede llevar a conclusiones orientadas a la determinación de calidad de conducción del vehículo, esfuerzos soportados por el chasis, entre otros.

Tal es la importancia de la verificación de la aceleración, que la Fórmula 1 ha implementado sensores G dentro de la red de sensores de los vehículos.

Las redes de área controlada (CAN) se han convertido en la solución ideal para disminuir el cableado automotriz y por ende el consumo de cobre, en función de una mayor complejidad en las centralitas y mayores costos de soporte de los dispositivos. Tal es la difusión y la buena acogida de este protocolo que el gobierno de Estados Unidos obligó que hasta el 2008 todos los vehículos que ingresen a su mercado, tengan implementado CAN.

En base a los criterios mencionados y a la problemática citada, resulta interesante el diseño de un sistema proyectado a la determinación de los vectores de aceleración de vehículos de competencia, con las funciones añadidas de grabación en memoria interna y visualización de valores a través de pantallas gráficas GLCD.

El diseño y construcción de este sistema se basa en conocimientos, habilidades, capacidades, destrezas y aptitudes, vinculadas a nuestra competencia profesional. Se desea realizar un equipo con índice costo – beneficio aceptable, vida útil larga y mantenimiento barato.

Hablaremos un poco de lo que se refiere a características y significados de una red CAN y en sí de nuestro sistema de medición.

## **REDES DE ÁREA CONTROLADA (CAN)**

CAN es un protocolo de comunicación inter – computadoras, recientemente aplicado a la industria automotriz.

Los dispositivos CAN están generalmente formados por dos bloques, uno de ellos es el controlador del protocolo propiamente dicho y el segundo es una memoria búfer y está separado a la vez en dos segmentos (control y datos, formados normalmente por un microcontrolador). En el segmento de control el microcontrolador escribe comandos y lee registros de estado, en el de datos obtiene el contenido del mensaje.

CAN tiene las siguientes características:

- Priorización de mensajes.
- Garantía de tiempos de latencia.
- Flexibilidad en la configuración.
- Recepción MULTICAST con sincronización de tiempo.
- Consistencia de datos en todo el sistema.
- Comunicación multi – maestro.
- Señalización y detección de errores.
- Retransmisión automática de mensajes corruptos tan rápido como el bus se desocupe.

Distinción entre errores temporales y fallas permanentes de nodos y apagado automático de nodos defectuosos

## **APLICACIÓN DE CAN EN EL ÁREA AUTOMOTRIZ**

Como se muestra en la Figura una aplicación automotriz típica, por lo general hay algunos buses CAN que operan a velocidades diferentes.

Dispositivos más lentos, como interruptores de puertas, control de aire acondicionado y módulos de información de conducción, se puede conectar a un bus de baja velocidad. Dispositivos que requieren de una respuesta más rápida, como el sistema antibloqueo de frenos ABS, el módulo de control de transmisión, y el módulo electrónico de aceleración, están conectados a un bus CAN de mayor velocidad.

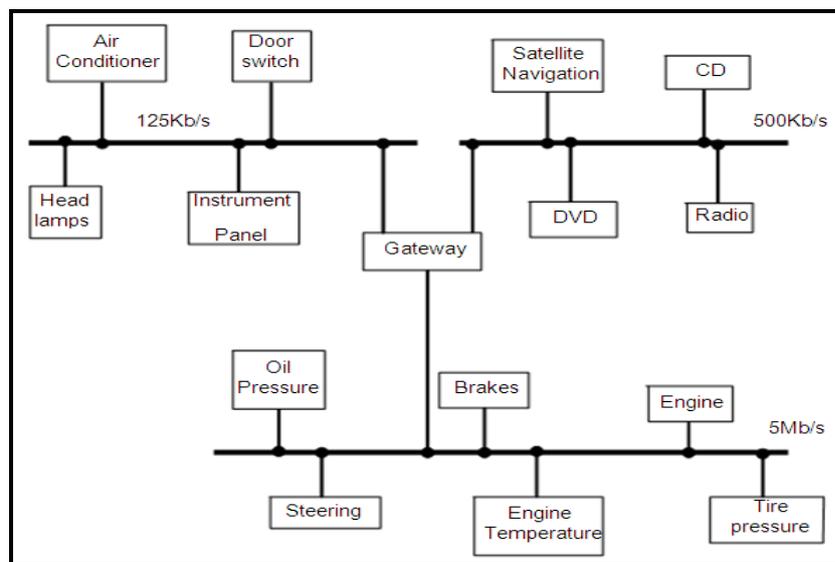


Figura Aplicación típica de bus CAN en un vehículo

## MAGNITUDES DE MEDICIÓN

Los sensores de aceleración y de vibraciones son apropiados para la regulación contra la detonación (picado) en motores de combustión interna, también sirven para activar sistemas de protección de pasajeros (AIRBAG, tensores de cinturón, arco contra el vuelco) y para detectar aceleraciones en las curvas y variaciones de velocidad en vehículos de tracción integral equipados con el sistema antibloqueo ABS, el programa electrónico de estabilidad ESP, o con un sistema de regulación del tren de rodaje.

La magnitud de medición es la aceleración "**a**", que con frecuencia se indica como múltiplo de la aceleración de la gravedad "**g**" ( $1g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) para valores típicos en los automóviles.

Tabla I. Características de algunos sensores de aceleración

| <b>Aplicación</b>            | <b>Campo de medición (g)</b> |
|------------------------------|------------------------------|
| Regulación contra detonación | 1 a 10                       |
| AIRBAG, tensor de cinturón   | 50                           |
| Arco contra vuelco           | 4                            |
| Bloqueador de cinturón       | 0,4                          |
| ABS, ESP                     | 0,8 a 1,2                    |
| Carrocería                   | 1                            |
| Eje del tren de rodaje       | 10                           |

La concepción básica del hardware, según la figura se fundamenta en bloques agrupados en subsistemas de acuerdo a las funciones generales de sensado, procesamiento y visualización.

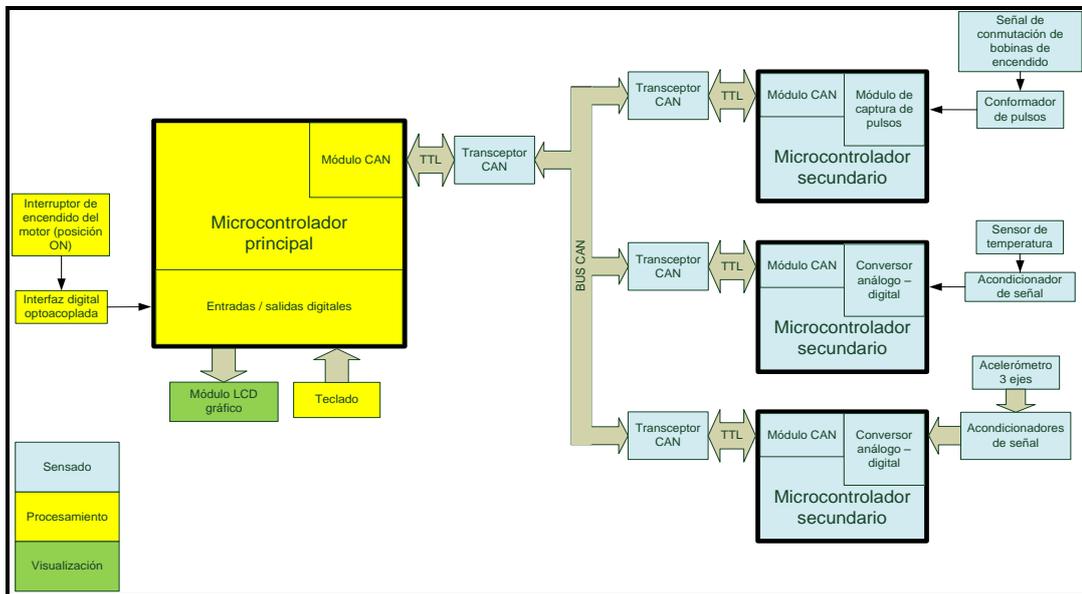


Diagrama de bloques del módulo electrónico

Aquí podemos observar el montaje del sistema de medición en un vehículo corsa wind 1.6 del año 2000 en el cual podemos ver mediante la pantalla GLCD la medición de la gravedad, aceleración, revolución y temperatura, ya que nuestro objetivo de diseñar se ha cumplido.



Figura Pantalla GLCD.