

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA.**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ.

Tesis previa a la obtención
del título de Ingeniero
Mecánico Automotriz.

**“CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA
ALMACENAMIENTO DE VARIABLES DURANTE LA
CONDUCCIÓN”.**

Autor:

Diego Paúl García Álvarez.

Director:

Ing. Gustavo Bravo Quezada Mgt.

Cuenca-Ecuador

2014.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo Diego Paúl García Álvarez, declaro que los conceptos desarrollados, análisis realizados y conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Cuenca, Octubre de 2014.



Diego Paúl García Álvarez.

CERTIFICACIÓN

Certifico que bajo mi dirección el Sr. García Álvarez Diego Paúl, realizó la tesis que tiene como título “**Construcción de un dispositivo para almacenamiento de variables durante la conducción**”, para la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz.

Cuenca, Octubre de 2014.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'G. Bravo', written over a horizontal line.

Ing. Gustavo Bravo Quezada Mgt.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a Dios por brindarme la vida, a mis padres y familia por todo el apoyo incondicional brindado en mi trayecto de vida, a las autoridades de la Universidad, docentes y a mi director de tesis Ing. Gustavo Bravo Quezada, quienes con sus conocimientos y consejos supieron orientarme para mi desarrollo profesional y culminación de la misma.

También se agradece de manera especial a la oficina de investigación de accidentes de tránsito del Azuay por su amplia colaboración.

DEDICATORIA

La culminación de este proyecto significa mi formación como profesional, que no hubiese sido posible gracias a mis padres, a ellos y mi familia les dedico el presente, gracias por todo.

Contenido

RESUMEN.....	1
1 CAPITULO I FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROYECTO.	3
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.1. DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO.....	4
1.2. MEMORIA SECURE DIGITAL (SD-CARD).	5
1.3. MICROCONTROLADOR 18F4550.	7
1.3.1. MEMORIA RAM.	8
1.3.2. MEMORIA ROM.	9
1.3.3. MEMORIA EEPROM.	9
1.3.4. TIMERS.....	10
1.3.5. CCP/ECCP (PWM).....	10
1.4. COMUNICACIÓN SPI.	11
1.5. COMUNICACIÓN I2C.	16
1.6. PANTALLA LCD.....	18
1.7. RELOJ TIEMPO REAL (RTC).	20
1.8. SENSORES.	23
2 CAPITULO II DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.	25
2.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE VOLTAJE.	26
2.2. SENSOR DE FRENADO.....	27
2.3. SENSOR DE ÁNGULO DEL VOLANTE DE DIRECCIÓN.....	32
2.4. SENSOR DE INCLINACIÓN DEL VEHÍCULO.....	36
2.5. SENSOR DE SENTIDO DE CIRCULACION DEL VEHÍCULO.....	40
2.6. SENSOR DE R.P.M. DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA.	42
2.7. SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO.	44
2.8. TARJETA DE MEMORIA SD.....	47
2.8.1. Funcionamiento de la tarjeta SD.	47
2.8.2. Voltaje de funcionamiento.	48
2.8.3. Sistema de archivos.....	49

2.8.4.	Sector de arranque.....	49
2.8.5.	Directorio raíz.....	50
2.8.6.	Zona de datos.....	50
2.8.7.	Grabado de datos del dispositivo.....	50
2.9.	CONEXIONES DEL PIC CON LOS SENSORES Y SISTEMAS.....	51
2.10.	DISEÑO DEL SOFTWARE.....	54
2.10.1.	Configuración de dispositivos en el prototipo.....	54
2.10.2.	Lectura de sensores.....	56
3	<i>CAPITULO III CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO EN EL VEHÍCULO.....</i>	58
3.1.	MONTAJE DEL SENSOR DE FRENO.....	59
3.1.1.	Pruebas de lectura del sensor.....	61
3.1.2.	Desplazamiento del pedal de freno.....	61
3.1.3.	Cálculo de fuerzas generadas por el sistema de frenos.....	63
3.2.	MONTAJE DEL SENSOR DE RPM DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA.....	72
3.2.1.	Pruebas de lectura del sensor.....	74
3.3.	MONTAJE SENSOR DE DIRECCIÓN.....	76
3.3.1.	Pruebas de lectura del sensor.....	77
3.3.2.	Cálculo teórico del ángulo de giro de la dirección.....	77
3.3.3.	Mediciones del ángulo del volante en curvas.....	81
3.4.	MONTAJE DEL SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO.....	83
3.4.1.	Pruebas de lectura del sensor.....	85
3.5.	MONTAJE DEL SENSOR DE INCLINACIÓN.....	86
3.5.1.	Cálculo del centro de gravedad.....	86
3.5.2.	Pruebas de lectura del sensor.....	87
3.6.	MONTAJE DEL RTC Y BRÚJULA DIGITAL.....	87
3.7.	CÁLCULO DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA TARJETA SD.....	87
4	<i>CAPITULO IV PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL DISPOSITIVO.....</i>	89
4.1	COSTOS.....	89
4.1.1	Materiales directos.....	89
4.1.2	Mano de obra.....	90

4.1.3	TOTAL DE COSTOS DEL SISTEMA.....	92
4.2	ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	93
4.2.1	Pruebas del sensor de frenado.....	94
4.2.2	Pruebas del sensor de ángulo de dirección del volante del vehículo.....	97
4.2.3	Pruebas del sensor de inclinación del vehículo.....	101
4.2.4	Pruebas del sensor de sentido de circulación.....	101
4.2.5	Pruebas del sensor de RPM del motor de combustión interna.....	103
4.2.6	Pruebas del sensor de velocidad.....	105
4.3	PROCEDIMIENTOS DE LA O.I.A.T. ANTE ACCIDENTES DE TRÁNSITO.....	108
4.3.1	Informe técnico de la O.I.A.T.....	109
4.4	PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL PROTOTIPO CONJUNTAMENTE CON LA O.I.A.T.	112
4.4.1	Datos registrados por el dispositivo.....	120
	CONCLUSIONES.....	126
	RECOMENDACIONES.....	128
	<i>Bibliografía.....</i>	<i>129</i>
	ANEXOS.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1.1.	Tipos y medidas de tarjetas de memorias SD.....	6
Fig. 1.2.	Distribución de pines del 18F4550.....	8
Fig. 1.3.	Modo 1 de comunicación SPI.....	12
Fig. 1.4.	Modo 2 de comunicación SPI.....	12
Fig. 1.5.	Modo 3 de comunicación SPI.....	13
Fig. 1.6.	Modo 4 de comunicación SPI.....	13
Fig. 1.7.	Conexiones de comunicación SPI.....	14
Fig. 1.8.	Formato de una comunicación I2C.....	17
Fig. 1.9.	Pantalla LCD y pines de conexión.....	19
Fig. 1.10.	Módulo RTC.....	20
Fig. 2.1.	Regulador de voltaje LM7805 y disipador de calor.....	26
Fig. 2.2.	Potenciómetro lineal.....	29

Fig. 2.3. Circuito electrónico del sensor de desplazamiento del pedal de freno.....	30
Fig. 2.4. Esquema de divisor de tensión de voltaje.....	30
Fig. 2.5. Interruptor del pedal de freno.....	31
Fig. 2.6. Circuito electrónico del indicador de pulsación del pedal de freno.....	32
Fig. 2.7. Optointerruptor o sensor óptico utilizado en el sensor de dirección.....	33
Fig. 2.8. Esquema interno de una compuerta 74LS14.....	34
Fig. 2.9. Circuito electrónico para medición del ángulo y sentido de giro del volante de dirección.....	35
Fig. 2.10. Señal entregada por el sensor de dirección.....	35
Fig. 2.11. Módulo integrado MMA 7361.....	36
Fig. 2.12. Configuración estática del acelerómetro.....	37
Fig. 2.13. Componentes vectoriales de las fuerzas y gravedad aplicada sobre el sensor de inclinación.....	37
Fig. 2.14. Movimientos de un vehículo automóvil.....	38
Fig. 2.15. Conexión del sensor de inclinación con el PIC.....	39
Fig. 2.16. Colisión frontal descentrada.....	40
Fig. 2.17. Módulo integrado magnetómetro HMC6352.....	41
Fig. 2.18. Conexión del HMC6352 con el bus de datos I2C.....	42
Fig. 2.19. Circuito electrónico para medición de las rpm del motor de combustión interna.....	43
Fig. 2.20. Medidas del neumático.....	45
Fig. 2.21. Circuito electrónico para medición de la velocidad del vehículo.....	46
Fig. 2.22. Circuito electrónico de la tarjeta SD para interfaz con el 18F4550.....	48
Fig. 2.23. Estructura interna de una tarjeta SD mediante software Winhex.....	50
Fig. 2.24. Esquema de ubicación de conexiones con sensores, integrados y tarjeta SD.....	52
Fig. 2.25. Componentes electrónicos sobre el protoboard.....	52
Fig. 2.26. Conectores VGA (15 pines) para placa y cable.....	53
Fig. 2.27. Sócalo para tarjetas de memorias SD.....	53
Fig. 2.28. Diagrama de flujo de inicio del programa.....	56
Fig. 2.29. Diagrama de flujo de lectura de sensores.....	57
Fig. 3.1. Soporte del sensor de desplazamiento del pedal de freno.....	59
Fig. 3.2. Sujeción del soporte hacia la carrocería.....	60
Fig. 3.3. Montaje de soporte y sensor de desplazamiento del pedal de freno.....	60

Fig. 3.4. Medición del recorrido del pedal de freno.....	61
Fig. 3.5. Grafica de recorrido del pedal de freno.	63
Fig. 3.6. Medición de distancias del pedal de freno.....	63
Fig. 3.7. Esquema gráfico de fuerzas y palancas.	64
Fig. 3.8. Medición del diámetro interno y externo del servo freno.....	66
Fig. 3.9. Medición del vacío generado por el motor.	66
Fig. 3.10. Medición de la presión hidráulica del circuito de frenos.....	68
Fig. 3.11. Diámetro del bombín.	69
Fig. 3.12. Polea del cigüeñal.	72
Fig. 3.13. Diseño del disco para sensor óptico de RPM del motor de combustión interna.....	73
Fig. 3.14. Sensor de RPM del motor de combustión interna y soporte.....	73
Fig. 3.15. Soporte del sensor de RPM del motor.	74
Fig. 3.16. Vista lateral del soporte y sensor de R.P.M.....	74
Fig. 3.17. Sensor óptico de RPM del motor de combustión interna.	75
Fig. 3.18. Disco ranurado para el sensor de dirección.	76
Fig. 3.19. Soporte para el sensor de dirección.	76
Fig. 3.20. Sensor de dirección y soporte montados sobre el vehículo.	77
Fig. 3.21. Diagrama de ángulos de viraje del sistema de dirección.....	78
Fig. 3.22. Ecuación del sensor de dirección del volante.	80
Fig. 3.23. Señal de tránsito de curva abierta.	81
Fig. 3.24. Medición del ángulo de giro del volante de dirección.....	81
Fig. 3.25. Señal de tránsito de curva cerrada.	82
Fig. 3.26. Señal de tránsito de contracurva.	82
Fig. 3.27. Señal de tránsito de curva en U.	83
Fig. 3.28. Protectores de discos de freno.	83
Fig. 3.29. Ubicación del disco sobre el árbol de transmisión.	84
Fig. 3.30. Disco con patrón de agujeros para sensor óptico de velocidad del vehículo.	84
Fig. 3.31. Soporte para el sensor óptico de velocidad del vehículo.....	85
Fig. 3.32. Conjunto completo del sensor de velocidad.	85
Fig. 3.33. Diagrama de cuerpo libre de fuerzas de los ejes delantero y posterior.....	86
Fig. 4.1. Grafica de datos del sensor de frenado.	94
Fig. 4.2. Análisis de datos en situación de emergencia o pánico.	96

Fig. 4.3. Reemplazo del sensor digital por un analógico tipo potenciómetro.....	99
Fig. 4.4. Gráfica de datos del sensor del volante de dirección.....	100
Fig. 4.5. Datos del sensor de sentido de circulación del vehículo.	102
Fig. 4.6. Recorrido Cuenca-Azogues.	102
Fig. 4.7. Medición de RPM en ralentí.....	103
Fig. 4.8. Medición a 2000 RPM.....	103
Fig. 4.9. Medición a 3000 RPM.....	103
Fig. 4.10. Datos del sensor de RPM del motor de combustión interna.....	104
Fig. 4.11. Datos del sensor de velocidad del vehículo.	107
Fig. 4.12. Análisis de velocidad del vehículo y pulsación de freno.....	108
Fig. 4.13. Croquis planímetro de pruebas experimentales.	117
Fig. 4.14. Imágenes de las pruebas efectuadas.....	118
Fig. 4.15. Gráfica de velocidad y pulsado de freno en prueba 2.....	120
Fig. 4.16. Grafica de velocidad y pulsado de freno.	123

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.1. Clases y velocidades de tarjetas de memorias SD.	5
Tabla 1.2. Características del PIC 18F4550.....	8
Tabla 1.3. Longitudes, tiempos y velocidades de una interfaz CAN.....	16
Tabla 1.4. Conexión de la pantalla LCD con el 18F4550.....	19
Tabla 1.5. Registros y direcciones internas del DS1307.....	22
Tabla 2.1. Valores lógicos entregados del interruptor de freno hacia el PIC.....	32
Tabla 2.2. Conexión y señales de los pines de la tarjeta de memoria SD.....	47
Tabla 2.3. Conexión del regulador de voltaje L117T	48
Tabla 2.4. Sensores y número de variables a controlar mediante el PIC.....	51
Tabla 3.1. Recorrido del pedal de freno y lectura del sensor.....	62
Tabla 3.2. Distancias del diseño del pedal de freno.....	64
Tabla 3.3. Datos de presión atmosférica y diámetros del servo freno.	65
Tabla 3.4. Vacío generado por el múltiple de admisión.	66
Tabla 3.5. Diámetro de la bomba hidráulica de frenos.	67
Tabla 3.6. Diámetro del pistón de la mordaza de freno.	68
Tabla 3.7. Diámetro del bombín	69
Tabla 3.8. Resultados del sensor y sistema de frenos de acuerdo al tipo de frenado.	71

Tabla 3.9. Medidas de pernos de la polea del cigüeñal.....	73
Tabla 3.10. Datos técnicos del vehículo.....	78
Tabla 3.11. Mediciones de vueltas del volante de dirección.....	79
Tabla 3.12. Lectura de los grados del volante de dirección.	80
Tabla 3.13. Unidades de medida de computación.....	88
Tabla 4.1. Costos de los materiales directos.	90
Tabla 4.2. Costos de la mano de obra indirecta.	91
Tabla 4.3. Costos de los insumos.	92
Tabla 4.4. Costo total del dispositivo.....	92
Tabla 4.5. Base de datos del software diseñado.....	93
Tabla 4.6. Lectura de la base de datos.	95
Tabla 4.7. Análisis de la base de datos del sensor de freno.	97
Tabla 4.8. Datos del sensor de dirección para cálculos.....	99
Tabla 4.9. Tabulación de datos de la OIAT.	116
Tabla 4.10. Análisis de la base de datos de velocidad inicial y final.....	121
Tabla 4.11. Tiempos de reacción durante la conducción.	121
Tabla 4.12. Análisis de la base de datos de velocidad y pulsación del pedal de freno.	122
Tabla 4.13. Análisis base de datos de velocidad inicial y final.....	123
Tabla 4.14. Análisis de la base de datos de velocidad y pulsación del pedal de freno.	124
Tabla 4.15. Datos de aceleración y frenado.	125
Tabla 4.16. Resultados de aceleración y desaceleración del vehículo.....	125

RESUMEN

En la actualidad, debido al incremento vehicular y a los diferentes perfiles de conducción, se escucha a diario sobre accidentes de tránsito que se suscitan en diferentes sitios de la ciudad y el país, más aún si nos fijamos en las estadísticas sobre este particular, se nota claramente un incremento considerable.

Por consiguiente, el presente trabajo surge por motivación propia, ya que fui víctima directamente de un accidente de tránsito, del cual no era el responsable, y como en la mayoría de los casos el conductor intentó darse a la fuga.

Fue entonces donde nace esta iniciativa por desarrollar un proyecto en el cual se pueda obtener información fidedigna de los accidentes que ocurren en nuestras vías y carreteras, para evitar así las consecuencias negativas que se pueden llegar a tener a la hora de las investigaciones, y más aun siendo un estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana. Es así como surge la idea de realizar un dispositivo muy similar a los que utilizan las aeronaves, las denominadas “CAJAS NEGRAS”, en las que se almacenan ciertos parámetros de vital importancia a la hora de realizar las investigaciones en accidentes aéreos.

El presente trabajo lleva como título: **“Construcción de un dispositivo para almacenamiento de variables durante la conducción”**, el mismo que se lo diseñó para almacenar ciertos parámetros tales como: la velocidad de circulación del vehículo, ángulo de giro del volante de dirección, pulsado del pedal de freno y tiempo de accionamiento, trayectoria que sigue el vehículo (brújula), reloj en tiempo real y revoluciones del motor de combustión interna.

Para que las variables mencionadas sean grabadas, se ha seleccionado como dispositivo de almacenamiento masivo una tarjeta de memoria SD, se realiza el interfaz y control de esta con un microcontrolador 18F4550.

El dispositivo se lo instaló en un vehículo marca Suzuki Samurái modelo 85 con adaptaciones adicionales, debido a que este tipo de automotor carece de ayudas o sensores electrónicos, siendo todos sus sistemas de tipo convencional.

Mediante el Director de Tesis Mgt. Gustavo Bravo Quezada, se solicitó la colaboración de la Oficina de Investigación de Accidentes de Tránsito del Azuay (OIAT-Azuay), para poder realizar pruebas de campo y de esta manera tener una idea más clara sobre la exactitud del funcionamiento del dispositivo, ya que los parámetros antes indicados de almacenamiento, podrían ser de vital importancia para esta oficina a la hora de las investigaciones, dado que en la mayoría de los casos de accidentes a las que ellos acuden, suelen encontrar alteraciones entre las declaraciones del o los conductores y las pocas evidencias presentes, por lo que consecuentemente se dificulta aún más la búsqueda de la verdad.

Finalmente se demostró y de manera exitosa que el dispositivo presenta mayor exactitud y precisión que los métodos convencionales de investigación que la OIAT realiza diariamente, las mismas que pueden llegar en muchos casos a ser teorías e hipótesis falsas por la incoherencia entre las declaraciones de conductores y testigos en estos accidentes. Entonces con este dispositivo se puede llegar a tener mayor información técnica a la hora de la reconstrucción de los hechos, con una muy alta precisión, seguridad, menor esfuerzo y en tiempos muy cortos.

1 CAPITULO I FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROYECTO.

1.1 INTRODUCCIÓN.

En la actualidad debido a la gran cantidad de información que se maneja en distintos ámbitos, los dispositivos de almacenamiento masivo son fundamentales, para lograr evoluciones en diversos fines como: tecnológicos, educativos, monitoreo, seguridad, automatización, etc.

Dentro de los dispositivos de almacenamiento masivo de gran capacidad tenemos: memorias flash USB, Secure Digital Cards, etc, que permiten capacidades de entre 2 hasta 128 GB, con tamaños reducidos perteneciendo al grupo de las micro memorias.

Estos dispositivos están constituidos por microchips sin partes móviles a diferencia de los discos duros, cuya finalidad es la de conservar grandes cantidades de información de manera segura, situación que hace años atrás si existía pero con capacidades muy reducidas, grandes dimensiones, difícil acceso y que solo podía ser manipulada por ciertos profesionales.

Actualmente al existir varias tecnologías disponibles en cuanto a almacenamiento se refiere, se hace necesario implementar un prototipo de dispositivo que almacene ciertas variables durante la conducción, puesto que en un accidente de tránsito es muy complejo determinar las causas que pudieron intervenir, en donde la mayoría de las veces el personal de investigación de accidentes de tránsito realizan estimaciones a cerca del suceso, siendo esto susceptible a errores por falta de información técnica que contribuya con la investigación.

Con la implementación de este prototipo se logrará aclarar ciertas hipótesis planteadas por el personal de investigación de accidentes de tránsito, quienes al contar con información relevante sobre un accidente en particular, podrán contar con mayores elementos de causas para de esta forma poder determinar con mayor precisión si ha sido producto de falla humana o mecánica, siendo esto un gran aporte para los investigadores y peritos de accidentes viales.

1.1. DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO.

Antiguamente los dispositivos de almacenamiento eran utilizados únicamente en computadoras, luego poco a poco se fueron implementando dispositivos electrónicos para entretenimiento, trabajo, etc, no solo para computadoras, sino por ejemplo: reproductores de música portátiles, video juegos, cámaras digitales, reproductores de video, etc, en donde las capacidades de almacenamiento de estos dispositivos demandaban mayor espacio y velocidad creándose diferentes sistemas como: tarjetas de memorias, memorias flash, discos ópticos (CD-DVD), etc.

Esta evolución de los sistemas atribuyó grandes ventajas como: componentes electrónicos de menores tamaños, mayores velocidad de comunicación tanto de lectura como escritura, grandes capacidades de espacio, dispositivos portátiles y seguros, etc, por lo que en la actualidad estos artefactos son muy comunes entre los diferentes usuarios, siendo sus diferencias más significativas entre ellos capacidad y velocidad.

Uno de los dispositivos más utilizados hoy en día es la tarjeta de memoria SD (Secure Digital, seguridad digital), está presente en la mayoría de nuestros dispositivos. Un ejemplo claro de esto sería el teléfono celular y tablets los mismos poseen una tarjeta de memoria SD para expandir sus capacidades de almacenamiento.

De igual forma la mayoría de componentes electrónicos funcionan con este tipo de tarjeta, por lo que para el desarrollo del prototipo se utiliza un microcontrolador 18F4550 y una tarjeta SD como elementos principales del dispositivo. Se escogió este sistema por la seguridad brindada durante el almacenamiento, grandes velocidades de transmisión de datos, no se requiere de procedimientos tanto para reconocimiento de la tarjeta como para extracción, tamaños reducidos, dispositivo económico, alta durabilidad, etc.

A continuación detallamos los elementos necesarios para la realización del dispositivo de prototipo de almacenamiento.

1.2. MEMORIA SECURE DIGITAL (SD-CARD).

La tarjeta de memoria SD, fue inventada por la empresa Panasonic. Este tipo de memorias hoy en día es utilizado en casi todos los dispositivos portátiles y fijos.

Existen diferentes clases de memorias, en donde la diferencia entre ellas, es la velocidad de transmisión de datos y su capacidad de almacenamiento, en la tabla 1.1 se especifica sus características.

CLASE	VELOCIDAD
Clase 2	2 MB/s
Clase 4	4 MB/s
Clase 6	6 MB/s
Clase 10	10 MB/s

Tabla 1.1. Clases y velocidades de tarjetas de memorias SD.

Fuente: El Autor.

Todas las tarjetas de memoria SD soportan la interfaz SPI (Serial Peripheral Interface, interface periférica tipo serial), necesaria para la comunicación con el microcontrolador (este tipo de comunicación se explicara más adelante). En este intercambio de información no se puede tener acceso a las características de cifrado de las tarjetas; de igual forma la libre documentación existente no describe acerca de esta característica por lo que los consumidores libremente pueden grabar datos no protegidos.

Existen 3 modos de transferencia soportados por SD que los describimos brevemente para conocimiento general:

- **Modo SPI:** entrada y salida serial separadas, requiere de 4 líneas: MISO, MOSI, CLK, CS (estas señales se detallarán más adelante), este tipo de interface es la que se utilizará para el control de la tarjeta SD.

- **Modo un-bit SD:** separa comandos, canales de datos y un formato propietario de transferencia, es decir en este tipo de comunicación se necesita todo un protocolo, especificando que bits son de datos, si se realiza una lectura o escritura, inicio y fin del tramo de comunicación, señal de activación o desactivación, etc.
- **Modo cuatro-bit SD:** utiliza más terminales y es tratada para transferencias paralelas de cuatro bits.

Existen otros formatos de tarjetas como: MiniSD y MircoSD, diferenciándose entre sí por sus capacidades de almacenamiento y tamaños.

En la actualidad existen tarjetas SD con capacidades de hasta 128GB y microSD de hasta 32GB, teniendo gran capacidad de almacenamiento y transferencia de datos en tamaños muy reducidos.

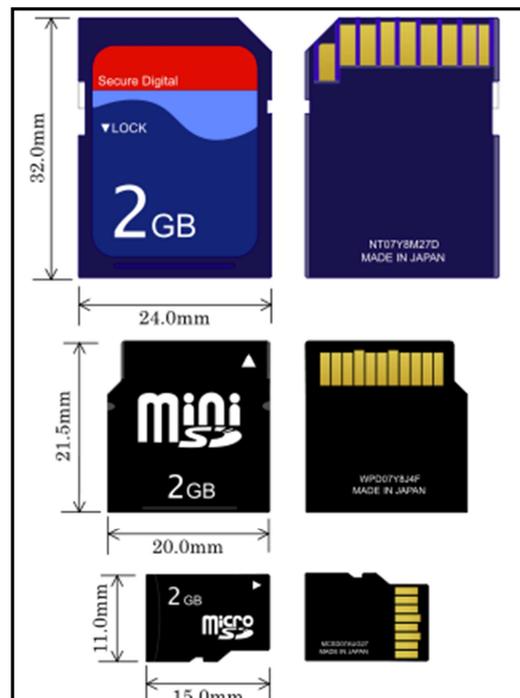


Fig. 1.1. Tipos y medidas de tarjetas de memorias SD.

Fuente:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/67/SD_Cards.svg/225px-SD_Cards.svg.png.

1.3. MICROCONTROLADOR 18F4550.

Se ha escogido como unidad de procesamiento al microcontrolador 18F4550, fabricado por la compañía Microchip, debido a que este posee un alto desempeño y características muy necesarias para el desarrollo del proyecto, tales como:

- 40 pines (36 funcionales).
- Puertos de entradas – salidas.
- 13 entradas analógicas.
- Comunicación USB (Universal Serial Bus, bus universal en serie).
- Convertidor analógico - digital.
- Comunicación SPI.
- Comunicación I2C (Inter-Integrated Circuits, intercomunicación con circuitos integrados).
- Gran capacidad de memoria.

Este microcontrolador es el único de la serie 18F que trae integrado un módulo USB (para comunicación ya sea de entrada o salida), sus 36 pines y distribución de los puertos (A, B, C, D y E), permiten la conexión de diversos dispositivos como: pantallas LCD (Liquid Crystal Display, pantalla de cristal líquido), sensores, memoria SD, reloj en tiempo real, entre otros, por lo que en un microcontrolador de menor capacidad y tamaño es inadmisibles utilizarlo para este tipo de proyectos.

Una de las ventajas más sobresalientes al utilizar los PIC (Peripheral Interface Controller, controlador de interfaz periférico), es su bajo costo económico y facilidad de adquisición en tiendas electrónicas.

Una de las desventajas con sus competidores es que necesariamente se tiene que diseñar y fabricar la placa madre, es decir aquella que contendrá al PIC y sus componentes (oscilador, resistencias, pulsantes, conectores, etc.), siendo esto en algunos casos beneficioso ya que se reducen costos de fabricación y materiales, también evitándonos tareas extras como soldaduras, revisión de componentes, adaptaciones, entre otras.

A continuación se muestran algunas de las características más sobresalientes y su distribución de pines.

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

Tabla 1.2. Características del PIC 18F4550.

Fuente: Hoja de datos del PIC 18F4550.

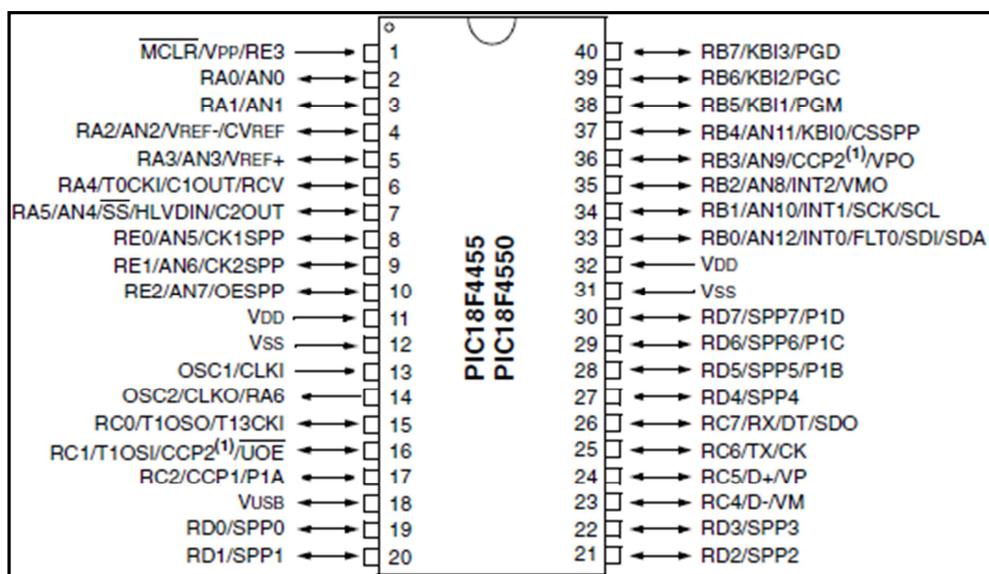


Fig. 1.2. Distribución de pines del 18F4550.

Fuente: Hoja de datos del microcontrolador 18F4550.

1.3.1. MEMORIA RAM.

El término RAM proviene de Random Access Memory (memoria de acceso aleatorio), es aquella memoria a la que se puede acceder de manera rápida y aleatoria, para lectura y grabado de datos, instrucciones y procesos de unidades de control, etc. Todo esto se lo puede realizar mientras el dispositivo se encuentre con energía, caso contrario no se puede leer ni escribir en ella, inclusive perdiendo la información por cortes de energía, razón por la cual es también conocida como memoria de tipo volátil.

Las memorias SRAM provienen de Static Read Aleatory Memory (memoria estática de acceso aleatorio), se trata igualmente de una memoria RAM, está

construida a base de transistores, por lo que no necesita ser restaurada constantemente, es más rápida y más costosa. Sus modos de operación son:

- **Reposo:** se desconecta el bus de datos si no está activado, pero se mantienen los datos almacenados mientras exista alimentación de voltaje en la memoria.
- **Lectura:** se activan los transistores transfiriendo los buses de datos.
- **Escritura:** el valor a escribir se inicia en el bus datos, a continuación se activa el bus de datos y finalmente queda almacenado el valor.

Memorias DRAM (Dynamic Random Access Memory, memoria dinámica de acceso aleatorio), igualmente es memoria RAM, está a diferencia de la anterior está construida de capacitores, por lo que necesita constantemente energizarse (cargarse) caso contrario pierde su contenido.

1.3.2. MEMORIA ROM.

ROM (Read Only Memory, memoria de solo lectura), es aquella que no permite su escritura. Este tipo de memoria es de tipo no volátil, es decir no pierde la información almacenada si se producen cortes de energía.

Este tipo de memorias se utilizan para almacenar información que no necesite ser modificada como en el caso de: procesos matemáticos y lógicos, suministro para funcionamiento de un sistema, controladores de hardware, etc.

1.3.3. MEMORIA EEPROM.

Sus siglas vienen de Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente). Este tipo de memorias pueden programarse o borrarse mediante un dispositivo que proporciona voltajes diferentes a los comunes utilizados en electrónica, esto nos permite mayor velocidad ya que permite un borrado a diferencia de las antiguas EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory, memoria de

solo lectura programable y borrable con rayos ultravioleta) que lo hacía bit por bit, ahora se lo realiza palabra por palabra.

El acceso a memoria se la accede de la siguiente forma:

- Se especifica en qué dirección de la memoria se va a leer o escribir la variable.
- Para mayor seguridad se coloca un pequeño retardo, evitando lecturas o escrituras erróneas.
- Se repite el proceso según sea necesario.

Una memoria EEPROM permite la programación y borrado entre 100.000 y un millón de veces.

1.3.4. TIMERS.

Estos pueden funcionar como temporizadores o contadores de eventos según se les configure, pueden trabajar en modo 8 o 16 bits, para el caso de temporizadores hay que tener en cuenta con que oscilador está funcionando el microcontrolador ya que las configuraciones y cálculos varían de acuerdo al tipo de oscilador utilizado, seleccionando un preescaler adecuado, esto no es más que una selección de una constante de configuración según la frecuencia del oscilador utilizado por el PIC, estos valores se especifican en la hoja de datos de cada dispositivo.

El 18F4550 posee 4 módulos timers, pudiendo utilizarlos según se necesite de manera individual.

1.3.5. CCP/ECCP (PWM).

Esta es una de las grandes ventajas que posee el 18F4550, con este módulo en su interior podemos configurarlo para obtener un señal de salida de PWM (Pulse Width Modulation, modulación por ancho de pulsos), que nos sirve para lograr a la salida una señal con una determinada frecuencia según la configuración que por software se le asigne en la programación.

De igual forma se puede configurar este módulo en modo captura mediante el CCP (Compare Capture PWM, comparación captura de modulación por ancho de pulsos). Este es utilizado para obtener el periodo de una señal, siendo su medición muy precisa, funciona de manera conjunta con los timers, por lo que se debe tener presente al momento de utilizar un temporizador no utilizar el mismo, ya que podría afectar tanto al módulo CCP como al temporizador, en donde muchas de las veces produce un sobre flujo o valores errados para los dos casos.

El 18F4550 posee dos módulos CCP1 y CCP2, funcionando de manera indistinta uno del otro, utilizan conjuntamente timer1 y timer3, necesitando de su configuración igualmente según el oscilador utilizado.

1.4. COMUNICACIÓN SPI.

El bus de datos SPI (Serial Peripheral Interface, interface periférica tipo serial), es una comunicación utilizada principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados a través de un flujo de bits en serie comandados por un oscilador o reloj.

La comunicación se compone de: línea de reloj, entrada de datos, salida de datos y chip select (selección del pin del PIC para el dispositivo esclavo) o SS (Select Slave, selección del esclavo). De esta forma se permite multiplexar las líneas de reloj, es decir por un mismo bus de datos se transmite información ya sea de entrada o salida, activación o desactivación del periférico; y al tener distintas configuraciones del reloj. Se pueden conectar distintos periféricos esclavos al bus de datos, comandando siempre el dispositivo maestro y las distintas fases del reloj.

Con este tipo de comunicaciones se logra minimizar el número de conductores y pines, por lo que se obtiene una reducción del tamaño del circuito integrado.

Existen dispositivos que leen el dato cuando el reloj está en estado alto, otros cuando el reloj está en estado bajo, algunos lo leen en el flanco de subida y finalmente otros en el flanco de bajada.

La interface SPI tienen 2 bits de configuración llamados CPOL (clock polarity, polaridad del reloj), y CPHA (clock phase, fase del reloj).

CPOL determina si el estado Idle de la línea del reloj esta en bajo (CPOL=0) o (CPOL=1).

CPHA determina en que flanco del reloj los datos son desplazados.

Al existir estos 2 bits de configuración tenemos 4 posibles modos de configuración, definidos por el bus de datos del SPI. El modo requerido es según las características del dispositivo esclavo a continuación se muestran las posibles configuraciones:

Modo 1:

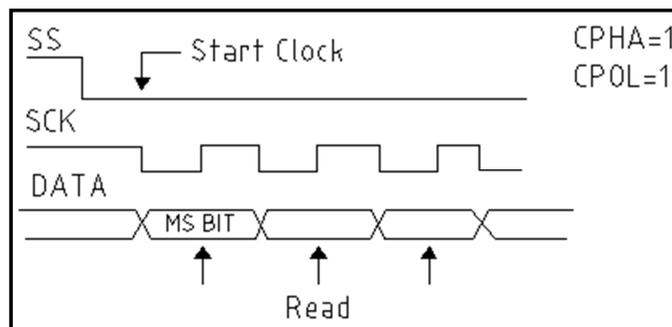


Fig. 1.3. Modo 1 de comunicación SPI.

Fuente: El Autor.

Modo 2:

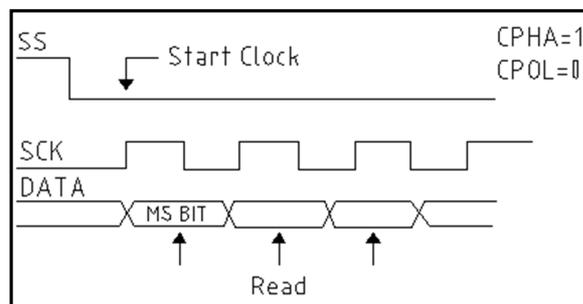


Fig. 1.4. Modo 2 de comunicación SPI.

Fuente: El Autor.

Si CHPA=1, la transferencia de datos leídos por el receptor comienza en el segundo flanco del reloj.

Modo 3:

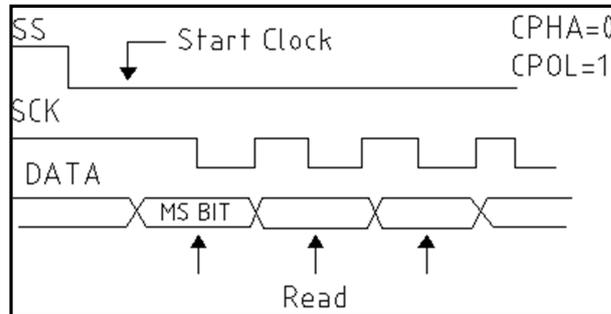


Fig. 1.5. Modo 3 de comunicación SPI.

Fuente: El Autor.

Modo 4:

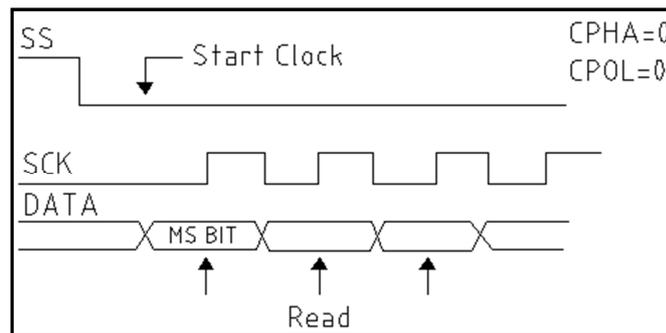


Fig. 1.6. Modo 4 de comunicación SPI.

Fuente: El Autor.

Si CHPA=0, la transferencia de datos leídos por el receptor comienza en el primer flanco del reloj.

El bus de datos SPI necesita para la sincronización y transmisión de datos de las siguientes señales:

- **SCLK** (Serial Clock): Es el pulso que marca la sincronización. Con cada pulso de este reloj, se lee o se envía un bit.
- **MOSI** (Master Output Slave Input): Salida de datos del Master y entrada de datos al Slave. También llamada SIMO.

- **MISO** (Master Input Slave Output): Salida de datos del Slave y entrada al Master. También conocida por SOMI.
- **SS/Select**: Para seleccionar un esclavo, o para que el Master le diga al esclavo que se active o desactive.

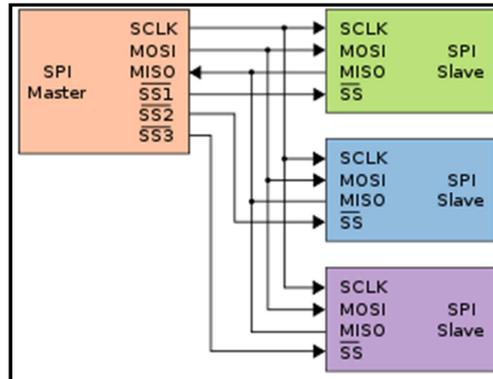


Fig. 1.7. Conexiones de comunicación SPI.

Fuente:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fc/SPI_three_slaves.svg/300px-SPI_three_slaves.svg.png.

Ventajas:

- “Comunicación Full Duplex (envío y recepción de mensajes al mismo tiempo).
- Mayor velocidad de transmisión que con I2C.
- Protocolo flexible que puede tener un control absoluto sobre los bits transmitidos.
- No está limitado a la transferencia de bloques de 8 bits.
- Elección del tamaño de la trama de bits, de su significado y propósito.
- Su implementación en hardware es extremadamente simple.
- No es necesario arbitraje o mecanismo de respuesta ante fallos.
- Los dispositivos esclavos usan el reloj que envía el servidor, no necesitan por tanto su propio reloj.
- No es obligatorio implementar un transceptor (emisor y receptor), un dispositivo conectado puede configurarse para que solo envíe, sólo reciba o ambas cosas a la vez.

- Como mucho una única señal específica para cada esclavo (señal SS), las demás señales pueden ser compartidas.

Desventajas:

- Consume más pines de cada chip que I2C, incluso en la variante de 3 hilos.
- El direccionamiento se hace mediante líneas específicas a diferencia de lo que ocurre en I2C que se selecciona cada chip mediante una dirección de 7 bits que se envía por las mismas líneas del bus.
- No hay control de flujo por hardware.
- El servidor podría estar enviando información sin que estuviese conectado ningún esclavo y no se daría cuenta de nada.
- No permite fácilmente tener varios servidores conectados al bus.
- Sólo funciona en las distancias cortas a diferencia de, por ejemplo, RS-232 RS-485, o Bus CAN.”¹

La interfaz SPI, entre pequeñas computadoras permite una distancia máxima de comunicación de entre 1,5 a 3 metros como máximo.

“La interfaz RS-232 (Recommended Standard, estándar de comunicaciones), está diseñada para distancias cortas de hasta 15 metros según la norma...”² EIA-232 (Electronics Industries Association).

“La RS-485 está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir altas velocidades sobre largas distancias (35 MB/s hasta 10 metros y 100 kB/s en 1200 metros) y a través de canales ruidoso.”³

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface

² <http://es.wikipedia.org/wiki/RS-232>

³ <http://es.wikipedia.org/wiki/RS-485>

“La comunicación Bus CAN (Controller Area Network, red de área de controladores), es un protocolo de comunicaciones desarrollado por la firma alemana Robert Bosch, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos.”⁴

LONGITUD DEL BUS	VELOCIDAD EN BIT/S	TIEMPO MÁXIMO DE TRANSMISIÓN (para una longitud máxima de 129 bits)
Hasta 25 metros	1MB/s	1 μ s x 129 bits = 129 μ s
Hasta 100 metros	500 KB/s	2 μ s x 129 bits = 258 μ s
Hasta 250 metros	250 KB/s	4 μ s x 129 bits = 516 μ s
Hasta 500 metros	125 KB/s	8 μ s x 129 bits = 1.032 ms
Hasta 1000 metros	50 KB/s	20 μ s x 129 bits = 2.580 ms
Hasta 2500 metros	20 KB/s	50 μ s x 129 bits = 6.450 ms

Tabla 1.3. Longitudes, tiempos y velocidades de una interfaz CAN.

Fuente: Manual de comunicación CAN.

1.5. COMUNICACIÓN I2C.

Sus siglas provienen de Inter-Integrated Circuitos (intercomunicación con circuitos integrados). La comunicación I2C es un tipo de comunicación serie, muy utilizado para comunicar: periféricos, microcontroladores, sistemas integrados, etc.

⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Bus_CAN

Este tipo de comunicación fue desarrollado por la empresa Phillips, las velocidades pueden ir desde 100 kB/s hasta 3.4 MB/s.

Las principales características de esta comunicación son:

- Se necesita simplemente de dos líneas de comunicación SDA (serial Data, línea de datos) y SCL (serial clock, línea de reloj).
- Cada dispositivo a conectar en el bus I2C tiene una dirección específica y única de 7 bits.
- Permite la conexión de varios masters.
- Los datos y direcciones se transmiten con 8 bits.

El dispositivo master es el que inicia la transferencia en el bus y genera la señal de clock para el dispositivo esclavo direccionado.

Las líneas SDA y SCL son bidireccionales, estas están siempre conectadas a través de resistencias en modo pull-up, es decir se conectan resistencias a 5 VCC en las dos líneas, teniéndolas siempre en un nivel lógico alto cuando no hay datos en el bus I2C.

Veamos a continuación la forma en que funciona el bus de datos:

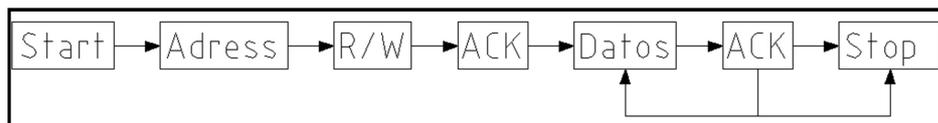


Fig. 1.8. Formato de una comunicación I2C.

Fuente: El Autor.

Start: Provoca un cambio de 1 a 0 cuando SCL está a nivel alto.

Address: Aquí indicamos la dirección del dispositivo a quien enviaremos o solicitamos el dato, se conforma de 7 bits.

R/W (Read/Write): Indicamos si vamos a realizar una lectura (=1) o escritura (=0).

ACK (Acknowledge): Permite confirmar que el byte ha llegado a su destino. De este modo el que envía deja un 1 y si alguien ha recibido pasa a 0.

Byte de datos: Aquí el dispositivo maestro puede leer o escribir, y constan de 8 bits. Después del byte de datos se espera otro ACK del receptor por cada bit de lectura o escritura.

Se retroalimenta el bus con bytes de datos tantas veces sea necesario.

Bit de Stop: Pasa de 0 a 1 cuando la línea SCL se encuentra en alto, esto termina la transmisión y deja el bus libre para que otro dispositivo pueda transmitir, continuando nuevamente este mismo procedimiento.

1.6. PANTALLA LCD.

La pantalla de cristal líquido (LCD) admite visualizar caracteres de tipo alfanumérico, permitiendo representar información de una manera fácil y económica.

Existen en el mercado gran variedad de pantallas, pero se escogió la pantalla LCD de 16 x 2 por tener facilidades de control y economía.

La pantalla LCD consta de 2 filas con una capacidad de 16 a 40 caracteres por cada una.

En su interior tiene incorporado un microcontrolador que es el encargado del proceso de visualización, por lo que simplemente es necesaria su adecuada conexión, pudiendo conectarla según se especifique y declare por software siendo esta la mejor manera de configuración.

A continuación detallamos la distribución de pines y conexionado de la misma.

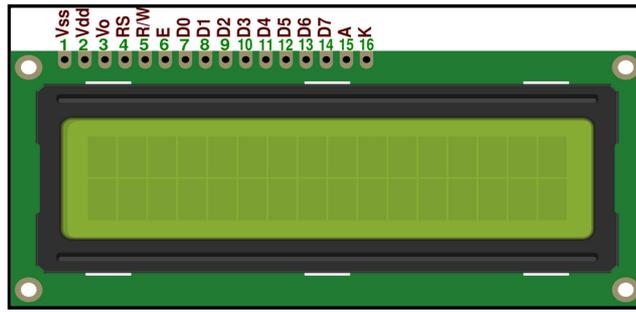


Fig. 1.9. Pantalla LCD y pines de conexión.

Fuente: [http://1.bp.blogspot.com/-](http://1.bp.blogspot.com/-HnrhvFEZsV4/TbDs0OhiPiI/AAAAAAAAADs/c8qml_lxAm4/s1600/lcd-screen+terminales.png)

[HnrhvFEZsV4/TbDs0OhiPiI/AAAAAAAAADs/c8qml_lxAm4/s1600/lcd-screen+terminales.png](http://1.bp.blogspot.com/-HnrhvFEZsV4/TbDs0OhiPiI/AAAAAAAAADs/c8qml_lxAm4/s1600/lcd-screen+terminales.png)

Conexión, configurada por software:

PINES LCD	CONEXIÓN CON EL PIC	PINES LCD	CONEXIÓN CON EL PIC
VSS	TIERRA	D2	TIERRA
VDD	V.C.C	D3	TIERRA
VO	POTENCIÓMETRO PARA CONTRASTE	D4	PORTD.2
RS	PORTD.7	D5	PORTD.3
R/W	TIERRA.	D6	PORTD.4
E	PORTD.6	D7	PORTD.5
D0	TIERRA	A	V.C.C
D1	TIERRA	K	TIERRA

Tabla 1.4. Conexión de la pantalla LCD con el 18F4550.

Fuente: El Autor.

1.7. RELOJ TIEMPO REAL (RTC).

Mediante un RTC (Real Time Clock, reloj en tiempo real), se logrará el registro de nuestros eventos, necesitando de un integrado DS1307 el mismo que se describe a continuación.

El DS1307: es un dispositivo reloj/calendario de bajo consumo de energía, con código binario decimal (BCD).

Dirección y datos son transferidos a través de 2 hilos serie, SDA y SCL de la interfaz I2C, a través de sus bus de datos bidireccional, obteniendo información de fecha (día, mes y año) y hora (hora, minutos y segundos) e incluye correcciones para años bisiestos.

El reloj funciona en cualquiera formato de 24 horas o en 12 horas, tiene incorporado un circuito de sensor de tensión que detecta cortes de energía, pasando a funcionar con la batería de respaldo.

Características:

- Válido hasta el año 2100.
- 56-Bytes, con respaldo de batería, RAM para almacenamiento de datos.
- Interface Serie I2C.
- Onda-Cuadrada programable de la señal de salida.
- Detector automático de fallo de energía y circuito de conmutación.
- Consume menos de 500nA en la batería.
- Rango de temperatura Industrial Opcional: -40°C a 85°C.
- Disponible en 8-Pin.

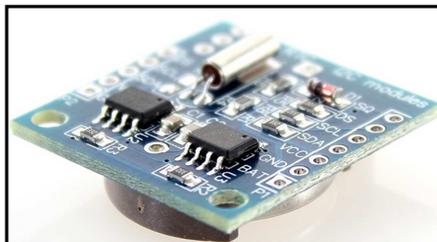


Fig. 1.10. Módulo RTC.

Fuente: <http://www.fasttech.com/product/1012004-arduino-compatible-tiny-i2c-rtc-ds1307-at24c32>.

El DS1307 funciona como un dispositivo esclavo en el bus I2C. El acceso se obtiene mediante la aplicación de una condición de START (Inicio), código de identificación del dispositivo seguido de una dirección de registro. Se puede acceder a registros posteriores de forma secuencial hasta que sea ejecutada una condición STOP.

Cuando VCC cae por debajo de 1,25 x voltaje de batería, un dispositivo en curso cancela el acceso y restablece el contador de dirección de dispositivo. En este momento pueden no ser reconocidas entradas al dispositivo para evitar que se escriban datos erróneos en el dispositivo por fuera de tolerancia del sistema.

Cuando VCC cae por debajo de voltaje de batería el dispositivo conmuta a batería de baja corriente, es decir en modo de seguridad. Tras el encendido, el dispositivo conmuta de la batería a VCC nuevamente.

VCC: Voltaje aplicado de 5 VCC, el dispositivo es totalmente accesible y los datos pueden ser escritos y leídos.

Cuando el dispositivo funciona con los 3 VCC de la batería de respaldo, se prohíbe lectura y escritura, funcionando simplemente en modo respaldo evitando que se produzca un reinicio de la hora y fecha establecidas.

Voltaje de batería: Entrada de batería para cualquier célula de litio estándar de 3 VCC u otra fuente de energía. El voltaje de la batería debe ser mantenido entre 2,0 V y 3,5 V para su correcto funcionamiento.

Una batería de litio con 48mAh o mayor mantendrá una copia de seguridad del DS1307 durante más de 10 años en ausencia de energía a 25°C.

SCL (Serial Clock Input) se utiliza para sincronizar el movimiento de datos en la interfaz de serie.

SDA (Serial Data Input/Output) es el pin entrada/salida para el interfaz 2-hilos serie. El SDA es el pin de drenaje abierto, que requiere de un pull-up (conexión con resistencia a 5 VCC, teniendo siempre un nivel lógico alto cuando no hay datos en el bus.

SQW/OUT (Square Wave/controlador de salida) - Estando habilitado, el bit SQWE se fija en 1, el pin SQW/OUT es la salida de una de las cuatro frecuencias de onda cuadrada (1Hz, 4 kHz, 8 kHz, 32 kHz). El pin SQW/OUT es de drenaje abierto y también requiere pull-up.

X1, X2 - Conexiones para el cristal de cuarzo de 32.768kHz, el circuito interno está diseñado para funcionar con un cristal con una capacitancia de carga de 12,5pF.

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds			Seconds	00-59	
01h	0	10 Minutes			Minutes			Minutes	00-59	
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours			Hours	1-12 +AM/PM 00-23	
		24	PM/AM							
03h	0	0	0	0	DAY			Day	01-07	
04h	0	0	10 Date		Date			Date	01-31	
05h	0	0	0	10 Month	Month			Month	01-12	
06h	10 Year				Year			Year	00-99	
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h-3Fh									RAM 56 x 8	00h-FFh

Tabla 1.5. Registros y direcciones internas del DS1307.

Fuente: Hoja de datos del DS1307.

En la tabla 1.5 se puede observar los registros internos del DS1307, las localizaciones de las direcciones empiezan desde 00H a 07H, tendiendo cada registro su dirección definida tanto para lectura como escritura.

Un módulo RTC fabricado por la compañía Arduino, trae las siguientes ventajas:

- Dimensiones reducidas.
- Bajos costos.
- Facilidad de conexión.
- Reducción de tiempo en colocación de materiales.
- Facilidad de reemplazo.
- Materiales ubicados de una manera compacta.
- Se elimina la necesidad de placa.
- Reducción de tiempo empleado.

1.8. SENSORES.

Se llama sensor a todo dispositivo eléctrico o mecánico que es capaz de poder medir magnitudes físicas o químicas, para luego transformarlas en otro tipo de magnitudes con valores medibles de dicha magnitud.

Los sensores pueden ser de dos tipos, analógicos y digitales.

Sensores digitales son aquellos que frente a un estímulo, tienen una salida discreta pudiendo ser de tipo binario es decir 1 a 0, de ALTO a BAJO o viceversa en los dos casos, siendo este el lenguaje utilizado en lógica digital, no existiendo valores intermedios. Los valores de voltaje obtenidos a la salida del sensor dependen del diseño siendo los más comunes 12 y 5 VCC.

Sensores analógicos son aquellos que a su salida entregan una salida variable proporcional a su entrada, teniendo rangos determinados, de igual manera los más comunes son de 12, 5 y 9 VCC.

Cabe mencionar que el voltaje o señal entregada en la salidas tanto de un sensor de tipo digital o analógico, son voltajes o salidas de señal por lo que no se debe conectar ningún otro dispositivo o indicador en sus salidas, ya podría llegarse a obtener valores erróneos o interferencias, invalidando parcialmente o completamente su funcionamiento debido a que estas salidas no son de potencia.

Características de un sensor:

- **Rango:** valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.
- **Exactitud:** es la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida.
- **Repetitividad:** es la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.
- **Reproducibilidad:** tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.
- **Resolución:** es la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar.

- **Error:** es la diferencia entre el valor medido y el valor real.
- **No linealidades:** es la desviación de la medida de su valor real, teniendo: saturación, zona muerta e histéresis.
- **Sensibilidad:** es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada.
- **Excitación:** es la cantidad de corriente o voltaje requerida para el funcionamiento del sensor.
- **Estabilidad:** es una medida de la posibilidad de un sensor de mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.

2 CAPITULO II DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.

Para la construcción del dispositivo se debe tener presente lo siguiente; ciertos elementos como el caso de la memoria SD y sensores, necesariamente deben ser puestos a prueba de manera real ya que su comportamiento en la simulación es distinto al esperado en algunas ocasiones e inclusive variando el número de pines entre lo real y lo simulado, por lo tanto se da mayor prioridad al funcionamiento y pruebas reales sobre el protoboard.

Para la simulación se ocupa el software Proteus debido a que posee librerías predefinidas de la mayoría de componentes electrónicos, de igual forma permite otras aplicaciones como el diseño de la placa que contendrá los elementos necesarios.

Para la parte de programación se ocupa el software Mikrobasic PRO versión 5.4, su lenguaje de escritura no es complejo ya que posee ayudas y librerías de fácil interpretación, ciertas configuraciones de los PIC son fáciles gracias a sus paneles desplegados facilitando algunas definiciones que obligatoriamente necesitarían ser definidas y escritas en otros lenguajes de programación, caso contrario producen errores impidiendo el funcionamiento general del dispositivo.

En lo que respecta al dispositivo grabador de PIC, se utiliza el Pickit 2 Lite este permite el grabado del 18F4550 sin necesidad de desmontaje.

Para el diseño se debe tener en cuenta que el prototipo va montado sobre un vehículo por lo que ciertos sensores necesitan ser implementados y adecuados debido a la ausencia de estos sobre el vehículo seleccionado.

A continuación se describe el proceso de implementación de los sensores que conformarán el sistema de prototipo tanto en hardware como software (diagrama de flujo).

- Fuente de alimentación de voltaje.
- Sensor de frenado (desplazamiento del pedal).
- Sensor de ángulo de dirección del volante del vehículo.
- Sensor de inclinación del vehículo.
- Sensor de sentido de circulación del vehículo.
- Sensor de revoluciones del motor de combustión interna
- Sensor de velocidad de del vehículo.

- Tarjeta de memoria SD.
- Conexiones del PIC con los sensores.
- Diseño de Software.

Cabe mencionar que estas señales a implementar han sido seleccionadas de manera específica, debido a que según informes presentados por la Oficina de Investigación de Tránsito (O.I.A.T) posterior a un accidente de tránsito, carecen de información técnica de las variables antes citadas, esto se lo podrá constatar en el capítulo 4 al realizar las pruebas de campo del prototipo y levantamiento de información por parte de la O.I.A.T.

Entonces una vez que se ha conocido que aplicaciones e implementaciones son necesarias para el desarrollo del prototipo, se procede a dar desarrollo del mismo.

2.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE VOLTAJE.

La tensión de alimentación para el dispositivo prototipo y demás elementos se la adquiere de la batería del vehículo, pero debido a que los vehículos funcionan con voltajes de 12 y 24 VCC necesariamente se tiene que reducir el voltaje a 5 VCC para el funcionamiento del dispositivo y sus componentes. Se realiza este trabajo de disminución de voltaje mediante un integrado regulador de voltaje el LM7805, este se encarga de reducir el voltaje de entrada (12 a 14.7 VCC) a uno de salida de 5 VCC, siendo indispensable la colocación de un disipador de calor sobre el regulador ya que la reducción directamente de voltaje de la batería se ve reflejada en un aumento de temperatura sobre el regulador de tensión, llegando a disminuir su vida útil.

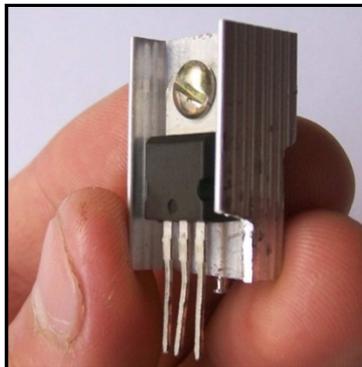


Fig. 2.1. Regulador de voltaje LM7805 y disipador de calor.

Fuente: El Autor.

La fuente de voltaje consta de los filtros (condensadores) estos evitan fluctuaciones de voltaje respectivamente tanto en el voltaje de ingreso como el de salida del regulador.

A continuación se detalla las características principales del LM7805:

- Voltaje de entrada: 7- 25 voltios DC (25°C).
- Voltaje de salida: 5 voltios DC.
- Corriente máxima que soporta: 1 A.
- Temperatura de funcionamiento: 0°C hasta 125°C.

2.2. SENSOR DE FRENADO.

Dentro del sensor de frenado se propone obtener dos tipos de valores: el tiempo de frenado y desplazamiento del pedal de freno. Con respecto a este último servirá para categorizarla en 3 tipos de intensidad de frenado: leve, moderado y de pánico o emergencia. Y con esto poder conocer ante qué situaciones (se describen más adelante) atravesó el conductor, acerca del perfil de conducción, etc.

En cuanto al tiempo de pulsado del pedal de freno, este servirá para contribuir en investigaciones debido a que el personal de accidentología vial se basa mayormente en las huellas de contacto dejadas por los neumáticos sobre la calzada, en donde esta medición no es la correcta en todos los casos, dado que en la actualidad el 75%⁵ de los vehículos fabricados vienen equipados con sistemas de frenos ABS (Antilock Brake System, sistema antibloqueo de los frenos o ruedas). Estos evitan el deslizamiento del neumático con la calzada por lo que tal vez sea mínima la huella de contacto dejada sobre la carretera, por lo tanto esto provoca directamente cálculos y estimaciones erróneas ya que no se tienen en cuenta los factores antes mencionados, inclusive debido a las diferentes condiciones en las que se presentan los accidentes de tráfico la mayoría de ellos son alterados quedando el sistema investigativo en varias hipótesis que rara vez pueden ser verificadas.

⁵ Cifra tomada de http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_antibloqueo_de_ruedas.

Para la intensidad de frenado según las 3 categorías propuestas se tiene lo siguiente:

▪ **Frenado de intensidad leve:** se puede definir aquella acción en que el conductor tiene conocimiento y está precavido, como por ejemplo:

- Al acercarnos a un semáforo en cambio de luz.
- Al ingresar a intersecciones, redondeles, curvas, etc.
- Al realizar maniobras de aparcamiento.
- Al visualizar diferentes señales de tránsito (pare, ceda el paso, pasos cebra, etc.).

Este tipo de frenada no demanda demasiada fuerza muscular.

▪ **Frenado de intensidad moderado:** es aquella acción que se utiliza ante situaciones que no están anunciadas por completo ante el conductor, ejemplo de esto tenemos:

- Cambios inesperados de luces de semáforo.
- Maniobras inesperadas del conductor que circula delante de nosotros.
- Al circular cuesta abajo en donde se demanda un mayor uso del pedal de freno.

Este tipo de frenado demanda mayor fuerza muscular que la anterior.

▪ **Frenado de pánico o emergencia:** Es aquella en la que el conductor esta ante situaciones totalmente inesperadas, su reacción es inmediata ejerciendo la máxima fuerza muscular sobre el pedal del freno, situación que da como resultado el bloqueo de los neumáticos y derrape del vehículo en aquellos que no están equipados con ABS, caso contrario se puede maniobrar y evitar impactos. Ejemplos de situaciones en las que se podría aplicar este tipo de frenada tenemos:

- Al producirse un cruce precipitado e inesperado de un vehículo.
- Cruces o caídas inesperadas de peatones.
- Descuidos del propio conductor.
- Al encontrarnos con diferentes peligros en la vía, etc.

Este tipo de frenado en su mayoría tiene como finalidad detener el vehículo por completo, por lo que el tiempo de parada del vehículo depende directamente de la velocidad de vehículo, condiciones de la carretera, ayudas electrónicas, entre otros.

Estas 3 clases de frenadas serán medidas mediante un potenciómetro de desplazamiento lineal como el que se muestra en la figura 2.2.

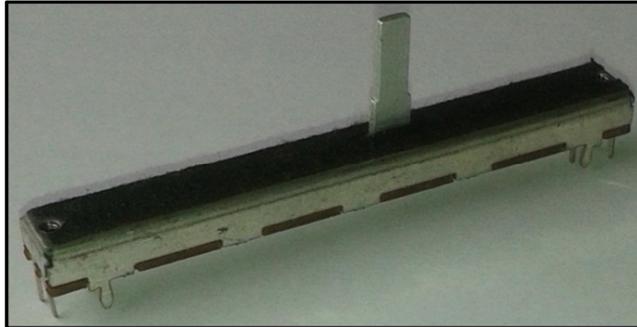


Fig. 2.2. Potenciómetro lineal.

Fuente: El Autor.

Al relacionar presión hidráulica del sistema de frenos contra desplazamiento del pedal de freno, podemos obtener la clasificación del tipo de frenado según los valores proporcionados por el potenciómetro siendo proporcional el desplazamiento del pedal de freno y la presión hidráulica del sistema de frenos del vehículo.

Entonces con la señal producida por el potenciómetro se la introducirá en el PIC por el puerto analógico el mismo que tiene como destino el pin RA0 (puerto A, pin 0).

El circuito diseñado para estos fines se lo puede apreciar como se muestra a continuación en la figura 2.3.

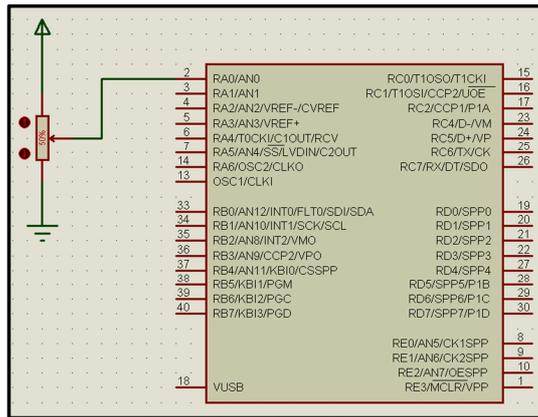


Fig. 2.3. Circuito electrónico del sensor de desplazamiento del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

En lo que respecta a señal de tiempo de frenado se procede a tomar la señal del pulsante de frenado, adquiriendo una señal de entrada de 12 VCC del interruptor del pedal de freno, a continuación la disminuimos a 5 V.C.C, debido a que toda entrada hacia el PIC deber ser de 5 voltios V.C.C como máximo.

Para ello nos valemos de un divisor de tensión teniendo el siguiente circuito:

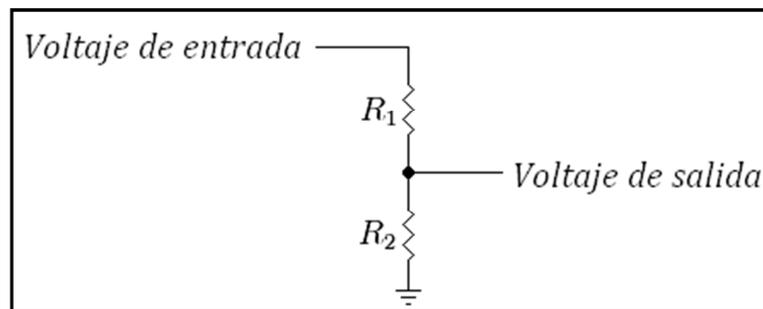


Fig. 2.4. Esquema de divisor de tensión de voltaje.

Fuente: El Autor.

- Voltaje de entrada: 14,7 V.C.C como máxima debido al regulador del alternador.
- Voltaje de salida: 5 V.C.C.
- Resistencia 1: Valor a calcular.
- Resistencia 2: Nos imponemos un valor de 5 KΩ.

$$R1 = \left(\frac{\text{Voltaje entrada} * R2}{\text{Voltaje salida}} \right) - R2$$

$$R1 = \left(\frac{14,7 \text{ voltios} * 5 \text{ K}\Omega}{5 \text{ voltios}} \right) - 5 \text{ K}\Omega.$$

$$R1 = 9,7 \text{ K}\Omega$$

Al tener 9,7 K Ω como resultado de R1, podemos decir que el valor final de R1= 10 K Ω ya que este valor es el existente comercialmente.

El interruptor del pedal de freno es de tipo normalmente abierto, es decir cada momento que se pisa el pedal de freno se cierra el circuito del sistema de luces de freno.



Fig. 2.5. Interruptor del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

Las conexiones que posee el vehículo se describen brevemente a continuación:

- Cable naranja = Voltaje positivo 12 VCC.
- Cable Verde/Blanco = Conexión a tierra mediante consumidores.

Resultando el circuito del sensor del pedal de freno como se puede apreciar en la figura 2.6, que nos indicará si se ha pulsado el pedal y durante qué tiempo se ha pulsado, esto último se lo realiza por software.

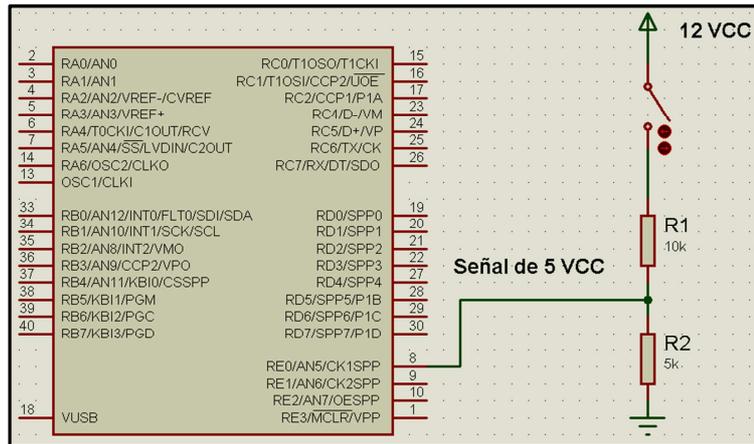


Fig. 2.6. Circuito electrónico del indicador de pulsación del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

ESTADO DEL PEDAL DE FRENO	VOLTAJE DE SALIDA PARA EL PIC	NIVEL LÓGICO
Pulsado el pedal	5 Voltios	1
Sin pisar el pedal	0 Voltios	0

Tabla 2.1. Valores lógicos entregados del interruptor de freno hacia el PIC.

Fuente: El Autor.

Entonces una vez obtenido niveles lógicos de voltaje, se necesita simplemente una lectura por parte del controlador para conocer el estado del pedal de freno, esto se lo realiza mediante el puerto E pin 0, este se lo configura como puerto de entrada digital.

2.3. SENSOR DE ÁNGULO DEL VOLANTE DE DIRECCIÓN.

Es necesario implementar este, debido a que con ello se puede determinar principalmente: el sentido de giro (derecha o izquierda) y el ángulo de giro del volante para con ello establecer las maniobras que realiza el conductor ante diferentes situaciones como: peligros, reacciones, estacionamientos, etc.

Cabe mencionar que este tipo de sensores ya vienen equipados en modernos vehículos con sistemas de dirección electrónica, censando variables similares a

lo explicado anteriormente pero con distintas finalidades como: confort, ajuste de sensibilidad, ayuda en maniobras de aparcamiento, estabilidad electrónica entre algunas.

Para la implementación de este sensor, se utilizarán opto-interruptores ITR8102, estos consisten en 2 diodos de arsénico, siendo uno de ellos el emisor de un rayo infrarrojo y el otro un foto transistor de silicio como receptor.

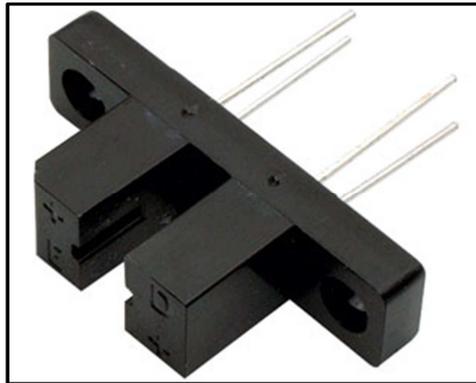


Fig. 2.7. Optointerruptor o sensor óptico utilizado en el sensor de dirección.

Fuente: <http://initonline.co/images/itr8102.jpg>.

Su funcionamiento es que al tener un elemento con un patrón de superficies oscuras y transparentes de forma alternada, permite o no el paso de luz del rayo infrarrojo hacia el foto transistor, logrando con esto una señal pulsante que luego con la ayuda de un integrado 74LS14 (compuerta NOT trigger), se modifica la señal pulsante para obtener una señal cuadrada siendo esta una señal filtrada de salida digital para lectura del microcontrolador.

El 74LS14 interpreta un 0 lógico de 0 V.C.C. a 0.8 V.C.C., indeterminado de 0.8 V.C.C. a 2 V.C.C., 1 lógico de 2 V.C.C. a 5 V.C.C. Este integrado posee 6 compuertas en un solo chip, su voltaje de alimentación es de 5 V.C.C., posee sus entradas y salidas de forma alternada, es decir entrada-salida, se muestra en la figura 2.8.

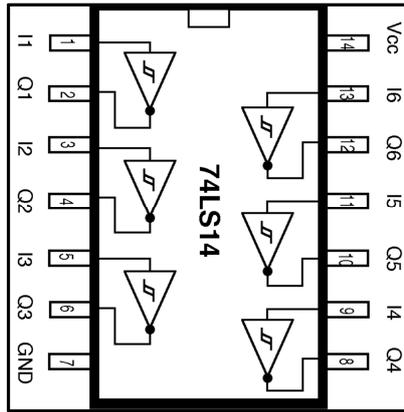


Fig. 2.8. Esquema interno de una compuerta 74LS14.

Fuente: <http://ist.uwaterloo.ca/~schepers/MJK/pics/74ls14.gif>.

Los pines designados para este sensor son el 1 y 2 del puerto E, son configurados como entradas digitales dentro del PIC.

Se selecciona este sistema de encoders o sensores ópticos debido a:

- Costo económico bajo.
- Gran precisión.
- Tamaños pequeños.
- Electrónica sencilla.
- Salida de señal digital.
- Facilidad de conexión y montaje.
- No necesidad de un tercer sensor para detección del ángulo de giro.

Una desventaja es que al no ser propiamente un sensor se necesita aislar y proteger el sistema electrónico de diversas fuentes como: calor, lluvia, suciedad, vibraciones, etc.

Características principales del sensor a diseñar:

- Voltaje de alimentación: 5 VCC.
- Sensibilidad ajustable modificando los valores de las resistencias R2 y R4.
- Señal de salida digital de 5 VCC.

El circuito diseñado se muestra a continuación:

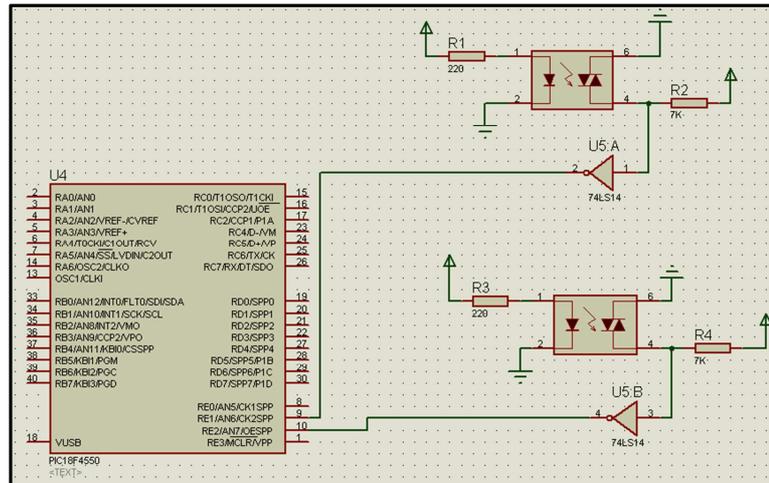


Fig. 2.9. Circuito electrónico para medición del ángulo y sentido de giro del volante de dirección.

Fuente: El Autor.

Al tener dos posibles estados, es decir derecha o izquierda es necesario el montaje de dos sensores, siendo cada uno designado para detección del giro correspondiente, esto se logra desfasando la señal del primer sensor del segundo 90° grados, se lo puede apreciar en detalle en la figura 2.10

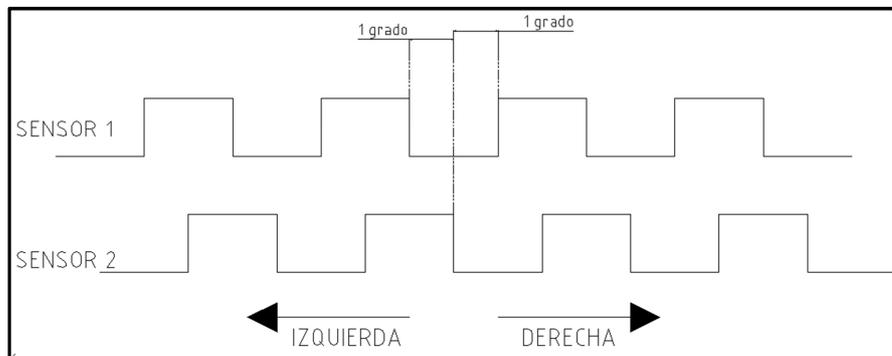


Fig. 2.10. Señal entregada por el sensor de dirección.

Fuente: El Autor.

De igual forma al obtener sentidos de giro, se puede también establecer el ángulo de giro, esto se lo realiza sin necesidad de implementar un tercer sensor ya que se detecta los cambios de pulsos perteneciendo a 1 grado eléctrico para los dos casos ya sea derecha o izquierda. Para poder obtener este tipo de señales eléctricas desfasadas se necesita desplazar un sensor con respecto al otro.

2.4. SENSOR DE INCLINACIÓN DEL VEHÍCULO.

Este es necesario para determinar la inclinación que sufre el vehículo ante situaciones como: circulación por curvas a bajas y altas velocidades, circulación en pendientes ya sea cuesta arriba o cuesta abajo, al viajar con un exceso de carga etc.

Se utiliza como sensor un módulo integrado MMA 7361, este es un acelerómetro analógico que permite la medición de 3 ejes (X-Y-Z).

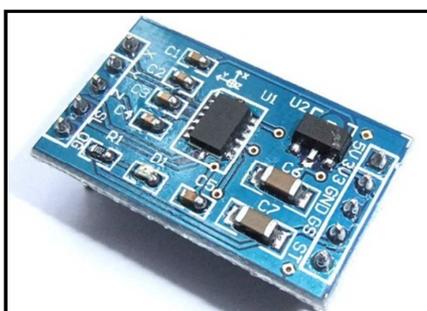


Fig. 2.11. Módulo integrado MMA 7361.

Fuente:

http://www.trcom.com.ar/img/product/A037_MODULO_ACELEROMETRO_3_EJES_MMA7361/1.jpg

El funcionamiento del mismo estaría descrito por lo siguiente, todos los acelerómetros miden los cambios de velocidad de un cuerpo, esto en modo de funcionamiento dinámico o normal, pero al configurar este dispositivo en modo estático el acelerómetro detectará únicamente la fuerza de aceleración aplicada sobre el eje Z, correspondiendo este valor a la gravedad en la tierra (1 gravedad = $9,81 \text{ m/s}^2$), como se muestra en la figura 2.12.

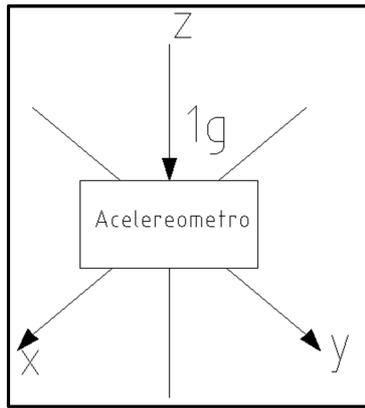


Fig. 2.12. Configuración estática del acelerómetro.

Fuente: El Autor.

Entonces con la medición estática del acelerómetro se tienen los siguientes valores:

- En el eje X = 0 gravedad.
- En el eje Y = 0 gravedad.
- En el eje Z = 1 gravedad.

Pero al realizar inclinaciones del sensor sobre cualquiera de sus ejes la fuerza de gravedad genera componentes vectoriales sobre los 3 ejes de medición, como se muestra en la figura 2.13.

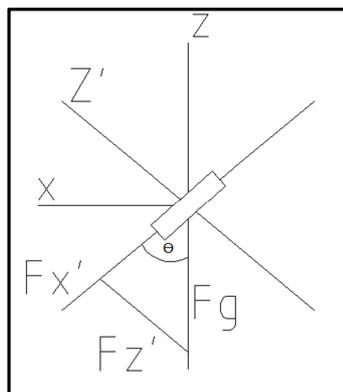


Fig. 2.13. Componentes vectoriales de las fuerzas y gravedad aplicada sobre el sensor de inclinación.

Fuente: El Autor.

Ahora utilizando trigonometría se obtiene la siguiente fórmula del ángulo correspondiente a la inclinación, cabe mencionar que se aplica esto para los 3 ejes de medición:

$$\tan \theta = \left(\frac{Fz'}{Fx'} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Fz'}{Fx'} \right)$$

El movimiento de los 3 ejes sobre un vehículo obedece a los siguientes movimientos o ángulos:

- Desplazamiento en el eje x = ángulo de balanceo.
- Desplazamiento en el eje y = ángulo de cabeceo.
- Desplazamiento en el eje z = ángulo de guiñada.

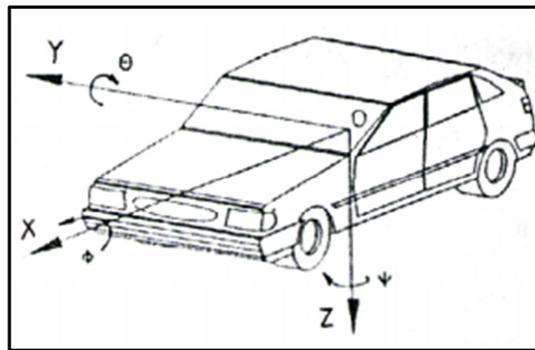


Fig. 2.14. Movimientos de un vehículo automóvil.

Fuente: Libro Teoría de los vehículos automóviles, pagina 10.

Características principales del MMA 7361:

- Voltaje de alimentación: 5 – 3.3 V.C.C.
- Sensibilidad seleccionable: +- 1.5G a +- 6G
- Consumo de corriente: 600 μ A.
- Consumo de corriente en modo ahorro de energía: 10 μ A.
- Señal de salida: Analógica.
- Voltaje de salida de señal: Máximo 2,45 V.C.C.
- Numero de ejes de medición: 3 ejes (X, Y, Z).

Ventajas:

- Reducción de tiempo.
- Facilidad de reemplazo.
- Gran precisión de sensibilidad.
- Salidas de tipo analógicas.
- Tamaño reducido y compacto.

Una desventaja de este tipo de módulos integrados es que no poseen carcasa o soporte para su montaje sobre el vehículo, necesaria para la implementación.

Para la ubicación de este sensor en el vehículo, se lo podría colocar en cualquier lugar ya que de igual forma se detecta las variaciones angulares, pero para mejor apreciación se intentará situarlo lo más cercano al centro de gravedad del vehículo.

Al tener 3 ejes de medición (x, y, z) y salidas individuales, se necesita de 3 pines por parte del microcontrolador, estando estos configurados como entradas de tipo analógico, los designados para esta tarea son los pines, 1, 2 y 3 del puerto A.

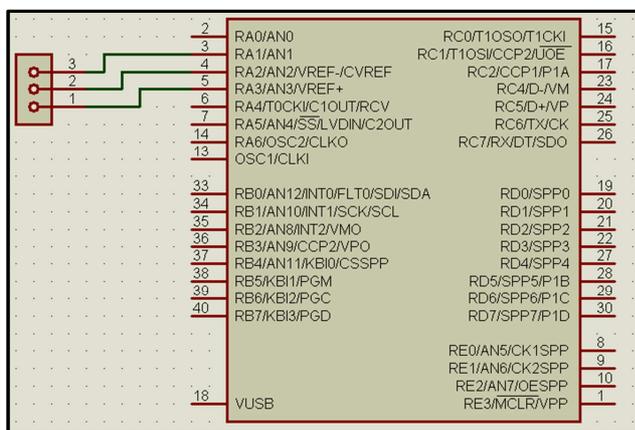


Fig. 2.15. Conexión del sensor de inclinación con el PIC.

Fuente: El Autor.

2.5. SENSOR DE SENTIDO DE CIRCULACION DEL VEHÍCULO.

Se vio la necesidad de implementar este, dado que posterior a un accidente de tránsito dentro de las distintas tipologías de este, es difícil poder determinar el rumbo que seguía un vehículo si no existen indicios de frenado u otros rastros que corroboren con la investigación. Como ejemplo de esto tenemos al producirse una colisión frontal descentrada (figura 2.16), es decir cuando una determinada parte del frontal del vehículo choca contra otro, dando como resultado que los vehículos involucrados cambien su sentido de circulación que tenían inicialmente e inclusive llegando al volcamiento, producto de esto se puede originar inicialmente una falsa hipótesis.



Fig. 2.16. Colisión frontal descentrada.

Fuente: <http://www.ifriedegg.com/Images/CSmartC2.jpg>

Para ello se cuenta como sensor con un módulo integrado HMC6352, este es una brújula digital o un magnetómetro que nos indicará la posición referenciado del norte magnético, el sistema de medición utilizado es el sexagesimal que divide una circunferencia en 360 direcciones, siendo un sistema muy confiable al momento de establecer que orientación seguía el vehículo momentos antes del accidente.



Fig. 2.17. Módulo integrado magnetómetro HMC6352.

Fuente: http://blog.bricogeek.com/img_cms/1884-HMC6352chipeke.jpeg

Existen otros sistemas como el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), en donde se puede determinar a nivel mundial su ubicación con un error mínimo para ciertos casos, también se obtienen datos como velocidad, altura geográfica y demás. Pero como punto en contra a estas ventajas es que se necesitan de mayores líneas de programación ocupando mayor espacio de memoria del PIC, obteniendo muchas de las veces gran cantidad de información que no es de importancia sino como detalle adicional, por lo que prevalece el sistema de brújula digital.

Características del sensor a implementar:

- Comunicación mediante I2C.
- Alimentación de voltaje de 2,7 a 5,2 V.C.C.
- Resolución de 0,5 grados sexagesimales.
- Dimensiones de 15 x 15mm.
- Permite calibración.

Para la ubicación de este sensor se debe tener presente que la presencia de campos magnéticos afectan al sensor dando un resultado erróneo de la orientación.

Al utilizar la comunicación I2C, simplemente se lo debe anclar al bus de datos, pero antes de hacerlo verificar siempre que nuestro dispositivo a colocar en el bus de datos posean resistencias pull-up, caso contrario producen errores en todo el bus datos.

También debemos asegurarnos que todos los dispositivos en funcionamiento del bus de datos sean alimentados con un mismo voltaje, ya que existen ciertos dispositivos que funcionan con 3.3 V.C.C. en donde al colocarlo directamente sobre el bus de datos dañamos el dispositivo.

En el PIC tenemos los pines 0 (SCL) y 1 (SDA) del puerto D designados para el bus I2C, en donde se encuentra también el RTC, se muestra en la figura 2.18.

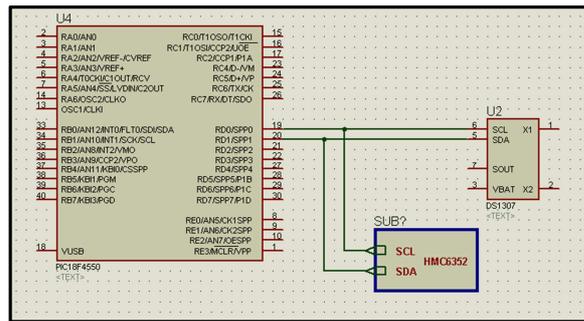


Fig. 2.18. Conexión del HMC6352 con el bus de datos I2C.

Fuente: El Autor.

2.6.SENSOR DE R.P.M. DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA.

Al principio se pretendía utilizar como señal de entrada la variación de frecuencia entregada por la bobina de encendido del vehículo, pero debido a fluctuaciones de voltaje, ruido eléctrico y al ser una señal de tipo diente de sierra queda totalmente descartada. Debido a que el PIC puede leer la variación de frecuencia pero únicamente de señales con forma de onda cuadrada necesitando obligatoriamente implementar este sensor.

Conocidas anteriormente las ventajas de los optointerruptores, se opta por este mismo sistema como sensor de RPM del motor de combustión interna.

La diferencia entre el sensor del volante de dirección y el sensor de RPM, radica en que el primero actúa como contador secuencial, también las velocidades angulares son menores. En cambio para el segundo caso se necesita de un lector de frecuencia, necesitando del módulo interno CCP del 18F4550, ya que gracias a este y con la ayuda de interrupciones de software, se logra realizar de manera simultánea dos o más procedimientos según sea necesario.

Gracias a la interrupción de software se tienen las siguientes ventajas:

- Eliminación de pausas y arreglos matemáticos en su mayoría.
- Disminución de componentes electrónicos.
- Eliminación de subprocedimientos o ajustes.
- El algoritmo principal no se ve afectado por procesos que funcionan de manera paralela.
- Lectura del período de la señal digital entrante.
- Gran precisión de lectura.

La utilización del módulo CCP demanda grandes conocimientos de programación, ya que necesariamente se trabajan con registros internos de las direcciones de los módulos, de igual forma por cada módulo CCP se necesita de un timer para habilitarlo como contador y no como temporizador necesitando configuraciones. También se tienen que realizar pruebas y ajustes debido a los preescaler y oscilador utilizado para el 18F4550.

La señal producida por el sensor, es ingresada al PIC por el pin 2 del puerto C, ya que este PIC trae únicamente 2 módulos CCP, siendo el asignado para esta labor el módulo CCP1.

El circuito es el mismo que el sensor de dirección, pero reduciendo a uno la cantidad de optointerruptores, siendo su diferencia la mayor complejidad de programación interna del PIC.

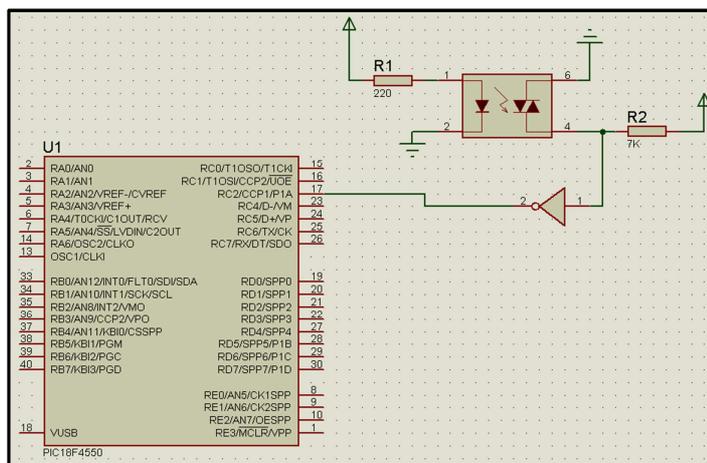


Fig. 2.19. Circuito electrónico para medición de las rpm del motor de combustión interna.

Fuente: El Autor.

2.7. SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO.

“Un velocímetro es un instrumento que mide el valor de la rapidez promedio de un vehículo. Debido a que el intervalo en el que mide esta rapidez es generalmente muy pequeña se aproxima mucho a la magnitud es decir la rapidez instantánea”.⁶

Dentro de los velocímetros que poseen los vehículos actuales tenemos los digitales y analógicos, teniendo mayor apogeo los últimos debido a que brindan mayor noción de la velocidad actual gracias a sus agujas y escalas graduadas.

Los velocímetros pueden tener un margen de error de hasta un 5%, los digitales poseen mayor precisión que los analógicos, también este error puede verse afectado por cambios en las medidas de los neumáticos y ruedas produciendo cambios en la velocidad lineal ya que la velocidad angular se mantiene.

Posterior a un accidente de tránsito, el velocímetro brinda información estimada acerca de la velocidad que circulaba el vehículo permaneciendo marcada la velocidad, pero cabe mencionar que el panel de instrumentos puede estar sometido a diversos factores, como son las vibraciones y movimientos después del impacto, destrucción total o parcial del velocímetro dependiendo de la ubicación del impacto e inclusive el no funcionamiento del sistema de medición, por lo tanto este sistema no es totalmente confiable existiendo alteraciones o valores erróneos posterior a un accidente, siendo justificable nuevamente la implementación del sensor y el dispositivo integral de almacenamiento de variables durante la conducción.

Para el diseño de este sensor se opta por el mismo sistema que el sensor de RPM del motor de combustión interna, es decir un sistema de encoder que consta de un disco con un patrón de agujeros o ranuras y un sensor óptico que consta de un emisor y un receptor, logrando de esta manera medir la velocidad angular de un eje.

Para este sensor se utiliza el módulo CCP2, siendo totalmente independiente del módulo CCP1.

⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Velocímetro>.

El pin designado para esta tarea es el 1 del puerto C, el funcionamiento es el mismo que el sensor de revoluciones del motor, pero teniendo que realizar ajustes matemáticos, entre algunos cambios.

Para el cálculo de la velocidad lineal del vehículo es necesario conocer la medida de los neumáticos, por ejemplo: 215/75/R15 (figura2.20). El primer valor corresponde al ancho del neumático, el segundo a la relación nominal del ancho con el alto, es corresponde a la multiplicación del ancho por la relación nominal, finalmente el tercer valor corresponde a la medida de la llanta (aro o rin) que posee el vehículo.

Cálculo radio del neumático:

Para calcular el radio del neumático, se aplica la siguiente fórmula:

$$R= 1/2 (RIN \times 25,4 \text{ mm} + 2 \times \text{ancho del neumático} \times \text{relación nominal}).$$

En la fórmula se puede apreciar que se multiplica el diámetro del rin o aro por 25,4mm esto con la finalidad de transformarlo en unidades métricas, luego sumamos 2 veces el alto del vehículo y finalmente dividimos todo para 2 para obtener el radio del neumático.

$$R= 1/2 (15'' \times 25,4 \text{ mm} + 2 \times 215\text{mm} \times 0,75\%)$$

$$R= 351,75 \text{ mm.}$$

$$R= 0,35175 \text{ mts.}$$



Fig. 2.20. Medidas del neumático.

Fuente: El Autor.

El neumático al estar sometido a cargas posee un radio efectivo siendo este siempre menor al radio teórico calculado anteriormente, este radio se ve afectado por la adherencia del neumático con la calzada y también debido a la diferencia de presiones del neumático existiendo pequeñas diferencias.

$$\text{Radio efectivo} = R - (R - H) / 3$$

$$\text{Radio efectivo} = 0,35175 \text{ mts} - (0,35175 - 0,32) \text{ mts} / 3.$$

$$\text{Radio efectivo} = 0,341 \text{ mts.}$$

Una vez que se conoce el radio efectivo, es necesario el valor de la relación de transmisión del grupo cónico y diferencial, ya que existe una desmultiplicación de las rpm desde el árbol de transmisión hasta los ejes que está en contacto con la llanta.

La relación de transmisión del grupo cónico y diferencial para este vehículo es de 3,90: 1, es decir por cada 3,90 vueltas del árbol de transmisión se produce 1 vuelta de la llanta.

Con la ayuda de estos datos se procede a diseñar mediante software el sensor de velocidad lineal del vehículo.

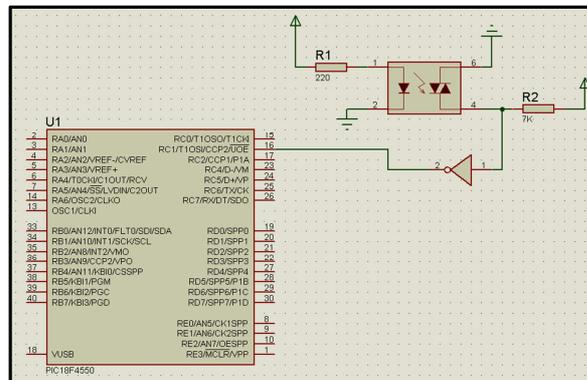


Fig. 2.21. Circuito electrónico para medición de la velocidad del vehículo.

Fuente: El Autor.

2.8. TARJETA DE MEMORIA SD.

Las tarjetas de memorias SD son dispositivos de almacenamiento masivo de tipo no volátil, es decir conservan la información almacenada si se producen cortes de energía eléctrica.

Para este tipo de proyectos la elección de la tarjeta SD es una de las mejores opciones debido a que no necesita de mecanismos móviles tanto para lectura como escritura, debido a que en el vehículo existen vibraciones y movimientos que dificultarían el sistema.

2.8.1. Funcionamiento de la tarjeta SD.

La tarjeta utiliza la comunicación SPI para la interfaz con los microcontroladores, la misma que consta de 4 señales: SCLK, MOSI, MISO, CS/SELECT que fueron explicadas en el capítulo 1. Este tipo de interfaz utiliza 7 de los pines 9 de la tarjeta ya que los restantes se utilizan en otros tipos de comunicación definidos por los propios fabricantes para codificación de datos y más opciones.

PIN	SEÑAL	TIPO	CONEXIÓN
1	CS (CHIP SELECT)	ENTRADA	PIN INDICADOR DE CONEXIÓN
2	CMD (COMMAND)	ENTRADA	LINEA DE DATOS
3	VSS	FUENTE DE VOLTAJE	CONEXIÓN A TIERRA
4	VCC	FUENTE DE VOLTAJE	CONEXIÓN DE 3.3 V.C.C
5	SCLK (CLOCK)	ENTRADA	SEÑAL DEL RELOJ DE SEÑAL DEL PIC
6	VSS	FUENTE DE VOLTAJE	CONEXIÓN A TIERRA
7	DAT 0 (DATA)	SALIDA	LINEA DE DATOS

Tabla 2.2. Conexión y señales de los pines de la tarjeta de memoria SD.

Fuente: El Autor.

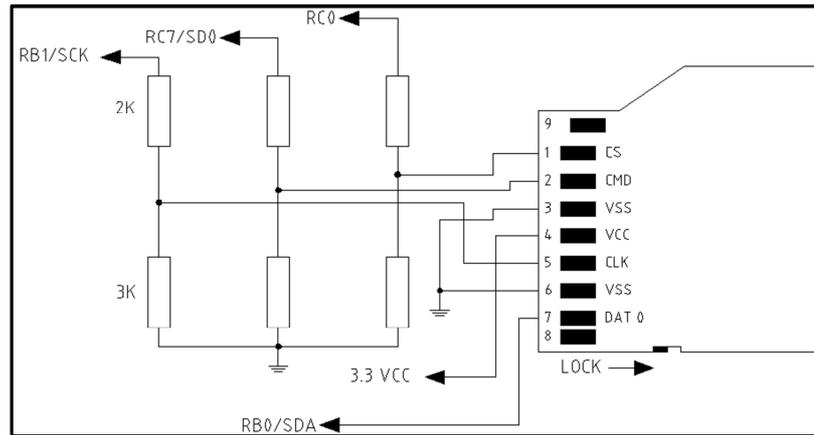


Fig. 2.22. Circuito electrónico de la tarjeta SD para interfaz con el 18F4550.

Fuente: El Autor.

2.8.2. Voltaje de funcionamiento.

La tarjeta SD necesita un voltaje de alimentación de 2.7 a 3.3 V.C.C según su hoja de características técnicas, por lo que es necesario acondicionar esta señal, para ello con la ayuda de un regulador de voltaje L1117T 3-3 se obtiene a su salida 3.3 V.C.C.

Su conexión es similar a los reguladores de la serie 78 inclusive su forma física, pero cambiando su orden de conexión.

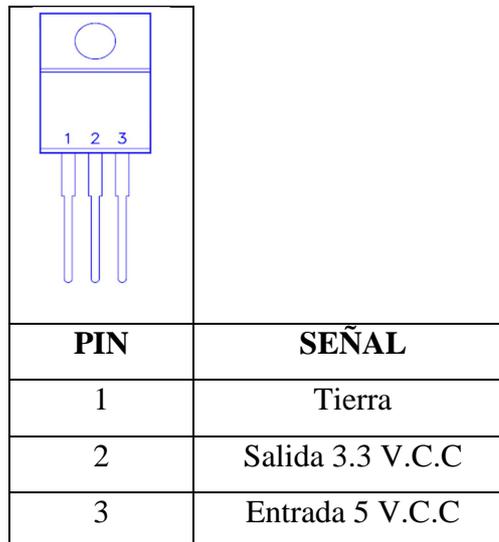


Tabla 2.3. Conexión del regulador de voltaje L1117T

Fuente: Hoja de datos del regulador.

2.8.3. Sistema de archivos.

El sistema de archivos utilizado es el FAT (del inglés File Allocation Table, Tabla de asignación de archivos), esto debido a que los software programadores funcionan con este sistema para la interfaz del PIC con la tarjeta. Aquí se detallan los archivos existentes y el espacio libre disponible, también indica la posición donde se guardan los archivos.

Este tipo de sistema de archivos permite grandes ventajas para la programación ya que gracias a librerías y comandos ya predefinidos por cada software, brindan grandes opciones para el manejo de instrucciones de la tarjeta SD, facilitando labores por parte del programador, estas están disponibles en las ayudas del Mikrobasic perteneciendo al grupo de las MMC_FAT.

2.8.4. Sector de arranque.

Este sector es el primero en crearse luego de una operación de formateado de la tarjeta, contiene el número de sectores por volumen, contiene el Bootstrap-Loader, este permite que arranque el sistema operativo preinstalado.

El formateado de la tarjeta se lo puede realizar en Windows escogiendo el sistema de archivos FAT_16 o FAT.

Otra manera de formatear la tarjeta es mediante la instrucción y comando de formateado de la tarjeta a través de la programación del Mikrobasic.

Cabe mencionar que el formateado mediante Windows es la mejor opción ya que el usuario está seguro que la operación ha sido adecuada, pudiendo además incluir un nombre y verificación de espacio libre.

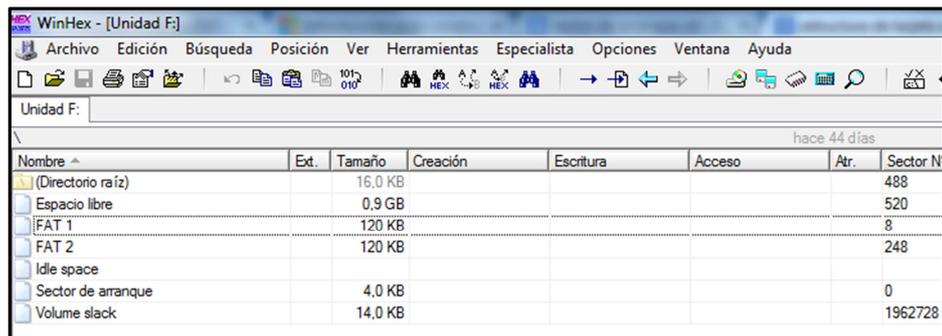
2.8.5. Directorio raíz.

En esta parte se encuentra toda información acerca de los archivos y subdirectorios que se encuentran allí, estos archivos no deben ser manipulados por el usuario, pudiendo alterar configuraciones e inclusive producir errores.

2.8.6. Zona de datos.

Es aquella en donde se guardan archivos y subdirectorios, esta zona puede funcionar de manera específica, es decir al momento de grabar un archivo se puede seleccionar su tamaño y posición dentro de la tabla FAT.

La tarjeta graba datos de hasta 8 bits es decir podemos obtener valores desde 0 hasta 255, caso contrario al sobrepasar estos valores se produce un sobre flujo dando como resultado el reseteo de los valores.



Nombre	Ext.	Tamaño	Creación	Escritura	Acceso	Atr.	Sector N
(Directorio raíz)		16.0 KB					488
Espacio libre		0.9 GB					520
FAT 1		120 KB					8
FAT 2		120 KB					248
Idle space							
Sector de arranque		4.0 KB					0
Volume slack		14.0 KB					1962728

Fig. 2.23. Estructura interna de una tarjeta SD mediante software Winhex.

Fuente: El Autor.

2.8.7. Grabado de datos del dispositivo.

Los datos a almacenar en la tarjeta son los brindados por todos los sensores y también fecha actual. A continuación se detalla en la tabla 2.3 los datos a contener en la memoria SD.

NOMBRE DEL SENSOR O DATOS	NÚMERO DE VARIABLES
Hora, minutos y segundos	3
Día, mes y años	3
Sensor de velocidad del vehículo	1
Sensor de R.P.M. del motor de combustión interna	1
Sensor de ángulo de dirección del volante	1
Sensor de dirección de giro del volante	1
Sensor de desplazamiento del pedal de freno	1
Sensor de pulsación del pedal de freno	1
Sensor de inclinación del vehículo	3
Sensor indicador de sentido de circulación del vehículo	1

Tabla 2.4. Sensores y número de variables a controlar mediante el PIC.

Fuente: El Autor.

Al tener 16 variables tenemos un total de 16 bytes por cada ciclo de almacenado en la tarjeta.

2.9. CONEXIONES DEL PIC CON LOS SENSORES Y SISTEMAS.

Una vez que se han diseñado los circuitos de los diferentes sensores a conectar con el PIC, es necesario el circuito de manera integral, es decir el diseño de toda la tarjeta electrónica, por lo que a continuación en la figura 2.24 se muestra un sencillo esquema de las diferentes conexiones y ubicaciones de los sensores.

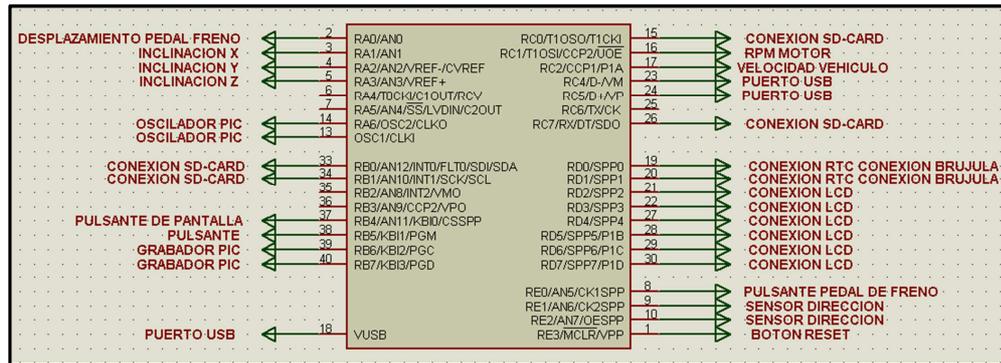


Fig. 2.24. Esquema de ubicación de conexiones con sensores, integrados y tarjeta SD.

Fuente: El Autor.

Como se indicó al inicio de este capítulo se da mayor prioridad a las pruebas sobre el protoboard por lo que la simulación de funcionamiento de los sensores y otros elementos no se lo realizan sino de manera real comprobando su buen comportamiento.

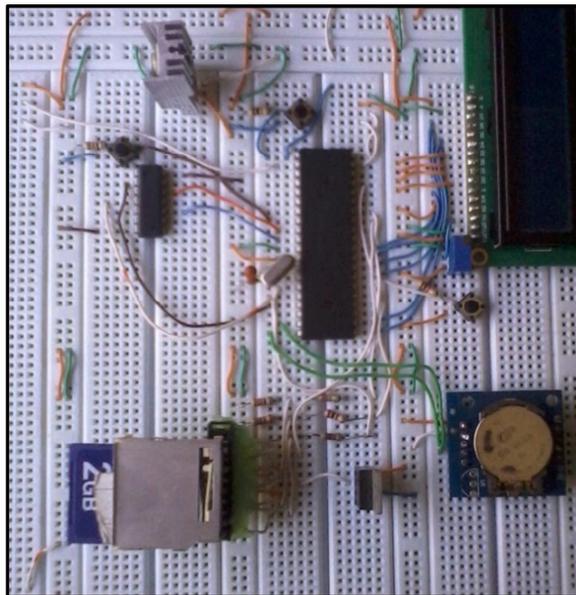


Fig. 2.25. Componentes electrónicos sobre el protoboard.

Fuente: El Autor.

En lo que respecta al circuito del RTC, al ser un módulo integrado no necesita acondicionamiento de señales, requiriendo únicamente su fuente de alimentación de 5 V.C.C., su tierra y su batería para respaldo de información.

Para la lectura y escritura de datos del RTC se lo realiza completamente por software, es decir mediante el mikrobasic.

Para la conexión de los sensores con la tarjeta se lo realiza mediante conectores DB-15, dado que el movimiento y vibración existente en los vehículos dificultaría el utilizar otro tipo de conectores dando como resultado falsos contactos, desconexión, etc, este tipo de conector utiliza como seguro dos tornillos o presillas de seguridad evitando lo mencionado anteriormente, posee 15 pines de conexión.

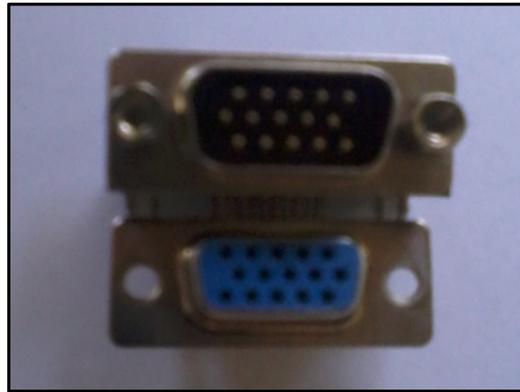


Fig. 2.26. Conectores VGA (15 pines) para placa y cable.

Fuente: El Autor.

Para la conexión de la memoria SD con el PIC, se utiliza un sócalo de tarjetas SD, este consta de 9 pines de conexión y presillas laterales para mejor sujeción de la tarjeta.

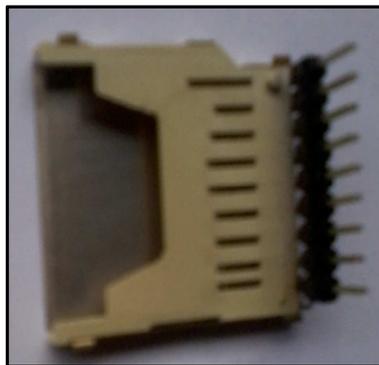


Fig. 2.27. Sócalo para tarjetas de memorias SD.

Fuente: El Autor.

2.10. DISEÑO DEL SOFTWARE.

El software del prototipo ha sido diseñado en base a dispositivos similares de almacenamiento masivo, en donde la gran capacidad de información que se manipula pasa a llamarse base de datos.

“Una base de datos o banco de datos es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso”⁷.

El sistema de prototipo diseñado pertenece a un sistema de base de datos estáticas, es decir la información almacenada no se modificará con el tiempo, utilizándola para el correspondiente análisis.

2.10.1. Configuración de dispositivos en el prototipo.

Como primer procedimiento antes del desarrollo de un algoritmo o programa se necesita de configuraciones de todos los dispositivos a funcionar en el prototipo, a continuación se describen brevemente las necesarias para ello:

- Configuración de puertos del PIC 18F4550.
- Configuración de comunicación SPI.
- Configuración de comunicación I2C.
- Configuración de pantalla LCD.

2.10.1.1. Configuración de puertos del PIC 18F4550.

Aquí especificamos que puertos y pines serán asociados como entradas y salidas, ya que todos los puertos son bidireccionales.

También se especifica la configuración del puerto A/D, para aquellos sensores que tienen una salida analógica o digital.

2.10.1.2. Configuración de comunicación SPI.

Para la comunicación SPI utilizada por la tarjeta SD, se necesita especificar la señal CHIP SELECT, siendo esta la única que permite modificación por parte del usuario, ya que las demás señales vienen establecidas por defecto sin opción a cambio de pin.

⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos.

También se configura la velocidad y polaridad de la señal de reloj, esto se lo especificó en el capítulo 1.

2.10.1.3. Configuración de comunicación I2C.

Dado que las comunicaciones I2C necesitan de una línea de datos y de reloj y al estar ya utilizadas por la comunicación SPI, se ve la necesidad de establecer estas líneas mediante software ya que si es posible esta nueva definición de las líneas de SDA y SCLK, caso contrario pertenecerían a las mismas líneas utilizadas en Hardware por la SPI.

2.10.1.4. Configuración de pantalla LCD.

La configuración de la pantalla LCD, nos sirve para indicar que pines y puerto tendremos para la conexión con el PIC, siempre al iniciar la pantalla LCD es recomendable realizar un borrado de la pantalla.

A continuación mediante un diagrama de flujo que se muestra en la figura 2.28 se pueden apreciar las configuraciones necesarias para iniciar el programa del prototipo.



Fig. 2.28. Diagrama de flujo de inicio del programa.

Fuente: El Autor.

2.10.2. Lectura de sensores.

Para el almacenamiento de los datos en la tarjeta SD, se necesita la lectura de cada uno de los sensores implementados, el programa está diseñado para que se produzca el almacenamiento de información aproximadamente cada 7 segundos, esto con la finalidad de no obtener gran cantidad de información inservible, pero al producirse un frenado de emergencia se almacenan los datos de manera instantánea mientras dure el frenado, el algoritmo diseñado se lo describe en la figura 2.29.

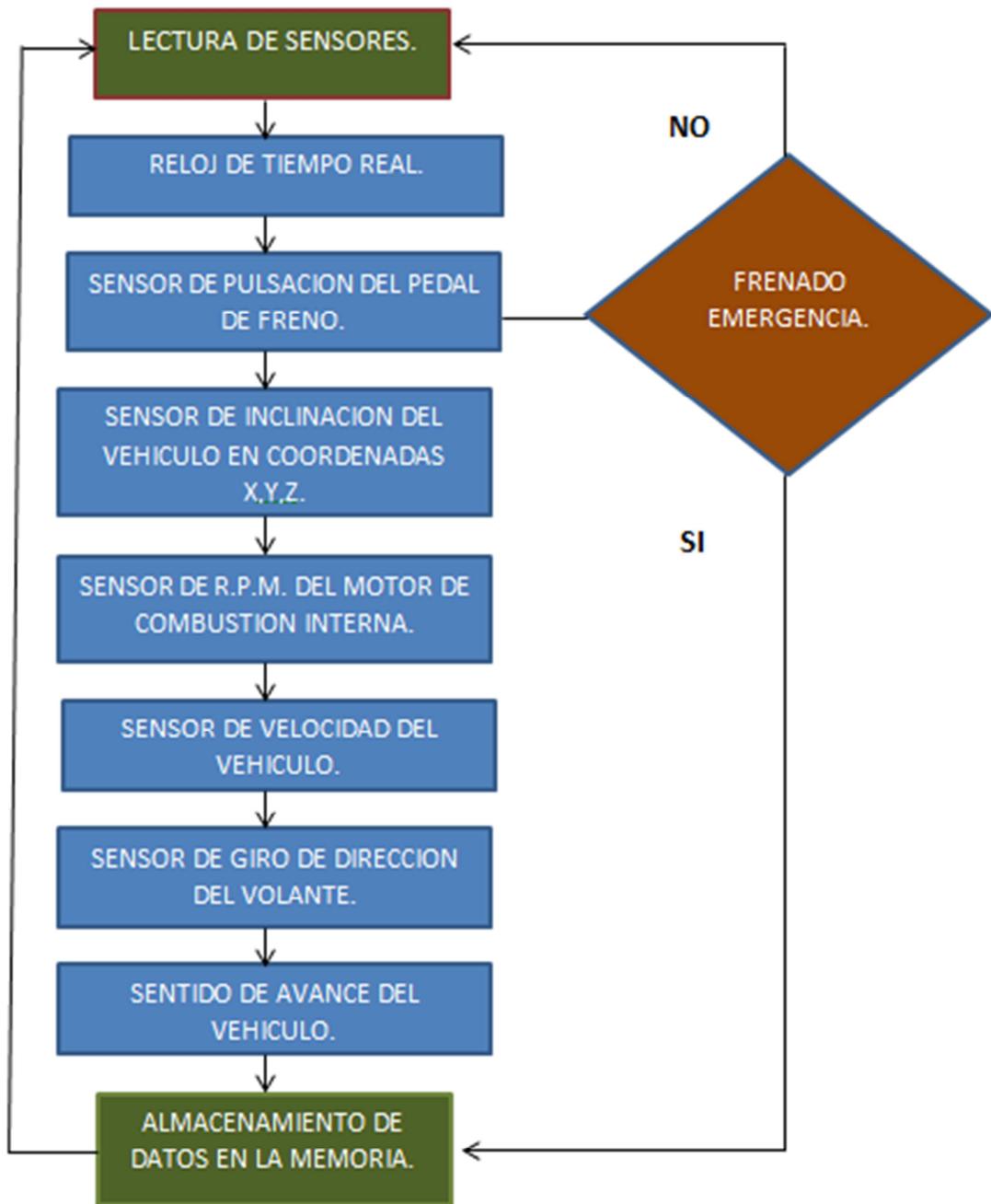


Fig. 2.29. Diagrama de flujo de lectura de sensores.

Fuente: El Autor.

3 CAPITULO III COSNTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO EN EL VEHÍCULO.

Para el diseño de los soportes y elementos de sensores en cuanto ha dibujado y modelación se refiere, se utiliza el software Autodesk Inventor conjuntamente con el AutoCaD, facilitando ciertas labores como rediseño y ajustes previa su construcción.

Respecto al vehículo designado para el montaje del dispositivo, se ha elegido un Suzuki SJ413 modelo 85, ya que por el año de fabricación no posee circuitos electrónicos tanto para la instrumentación como de sensores, necesitando obligatoriamente la implementación y adaptación de todos estos dispositivos sobre el vehículo.

Cabe mencionar como punto muy importante ante la implementación del dispositivo prototipo y sus componentes, que estos no deben interferir de ninguna manera sobre la seguridad activa y pasiva del vehículo, es decir que no se vea afectado el vehículo y sus sistemas, la seguridad del personal que viaja sobre el mismo, etc. Esto se logra sin modificaciones extremas de los sistemas automotrices, evitando ubicaciones de los soportes y sensores que comprometan tanto la seguridad y mantenimiento del vehículo, funcionamiento del dispositivo de manera independiente, es decir al producirse un posible fallo de un sensor u otro elemento el dispositivo no debe alterar el funcionamiento o comportamiento del vehículo.

A continuación se describe brevemente el proceso de montaje de los sensores sobre el vehículo y otros:

- Montaje del sensor de freno.
- Montaje sensor de rpm del motor de combustión interna.
- Montaje sensor de dirección.
- Montaje del sensor de velocidad del vehículo.
- Montaje del sensor de inclinación.
- Montaje del RTC y brújula digital.
- Capacidad de almacenamiento de la tarjeta SD.

3.1.MONTAJE DEL SENSOR DE FRENO.

Para la medición del desplazamiento del pedal de freno, se ha diseñado un soporte que permita el libre deslizamiento tanto del pedal de freno como de la palanca de accionamiento del potenciómetro, caso contrario se pueden producir bloqueos o atascos de cualquiera de estos dos elementos siendo un riesgo constante al no poder activar el sistema de frenos del vehículo.

Otro punto muy importante para el montaje de este sensor y soporte es que no debe interferir con el resto de pedales.

En la figura 3.1 se muestra el soporte diseñado para el sensor de medición de desplazamiento del pedal de freno.

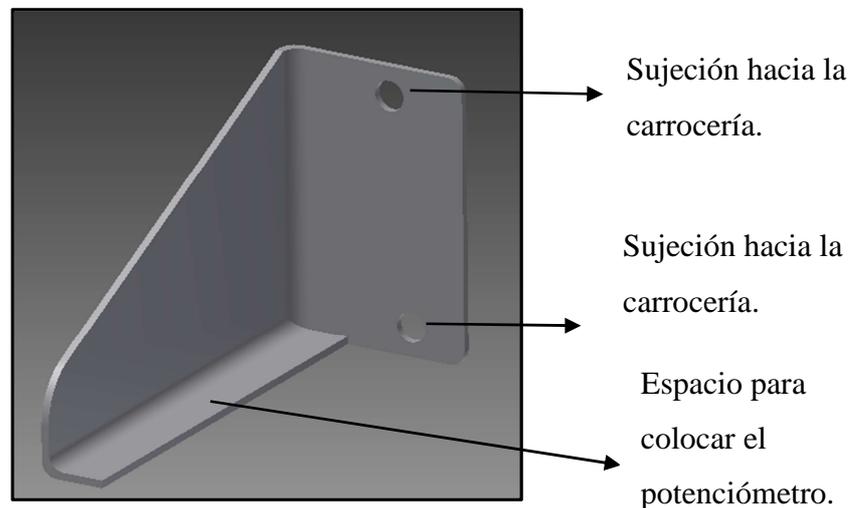


Fig. 3.1. Soporte del sensor de desplazamiento del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

Para el montaje del soporte sobre la carrocería se aprovechan los espárragos del servofreno, estos permiten la sujeción mediante dos tuercas M8x1,25, manteniendo la estética y originalidad de la carrocería, se aprecia esto en la figura 3.2.



Fig. 3.2. Sujeción del soporte hacia la carrocería.

Fuente: El Autor.

Finalmente al realizar el montaje del soporte y del sensor se puede apreciar en la figura 3.3 que se cumple con lo planteado inicialmente, es decir un sistema seguro ya que el pedal de freno se desplaza libremente sin ninguna restricción del sensor, de igual forma no se interfiere en ningún momento con el pedal del embrague y acelerador.

Tanto el soporte como el sensor no sobresalen del pedal del freno, evitando posibles atascos con el calzado o prendas de vestir.

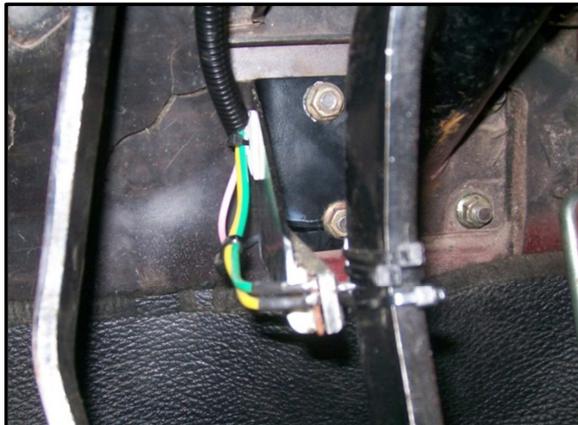


Fig. 3.3. Montaje de soporte y sensor de desplazamiento del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

3.1.1. Pruebas de lectura del sensor.

Al realizar las pruebas de lectura tanto estática como dinámica no se encontró error alguno en el sensor de desplazamiento del pedal ni el pulsante de frenado, por lo que no es necesario de modificaciones en programación, electrónica, ubicación, entre otros.

3.1.2. Desplazamiento del pedal de freno.

Para la determinación del tipo de frenada como se planteó en el capítulo anterior, se procede a realizar las mediciones del desplazamiento del pedal y lecturas por parte del PIC.



Fig. 3.4. Medición del recorrido del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

Al realizar las mediciones del desplazamiento del pedal de freno, se obtuvo un desplazamiento máximo de 75mm, los datos de recorrido del pedal y sensor de desplazamiento se muestran a continuación en la tabla 3.1.

Distancia recorrido del pedal de freno (mm)	Lectura del sensor (bytes)
0	0
10	27
15	45
20	62
25	77
30	88
35	105
40	115
45	130
50	146
55	157
60	176
65	188
70	209
75	222
80	234

Tabla 3.1. Recorrido del pedal de freno y lectura del sensor.

Fuente: El Autor.

Como se observa en la gráfica de la figura 3.5 el sistema se puede aproximar a una tendencia lineal obedeciendo a la ecuación **Recorrido del pedal (mm)= 2,9237 x (lectura del sensor) + 0,468.**

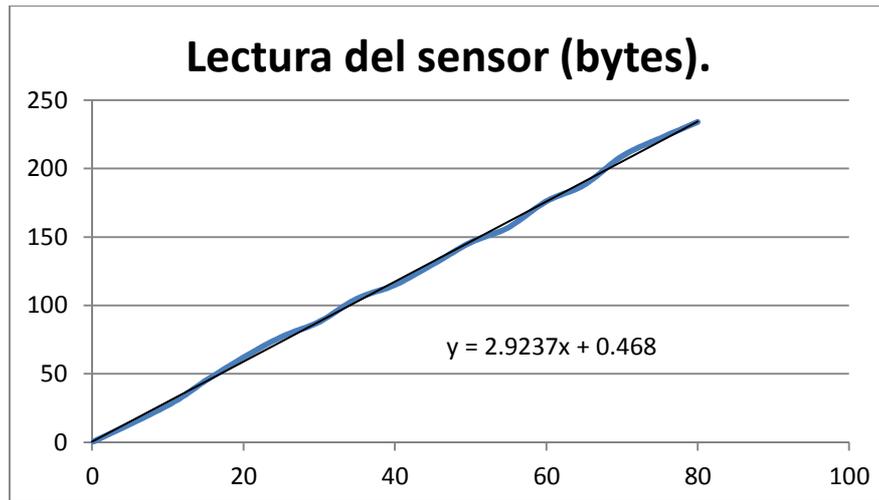


Fig. 3.5. Grafica de recorrido del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

3.1.3. Cálculo de fuerzas generadas por el sistema de frenos.

A continuación se describen los cálculos y mediciones de todo el sistema de frenos.

3.1.3.1. Cálculo de fuerzas del diseño del pedal de frenos.

Para el cálculo de la fuerza generada por el sistema de frenos, es necesario medir ciertos elementos que posee el vehículo, las mismas que se especifican en la tabla 3.2.

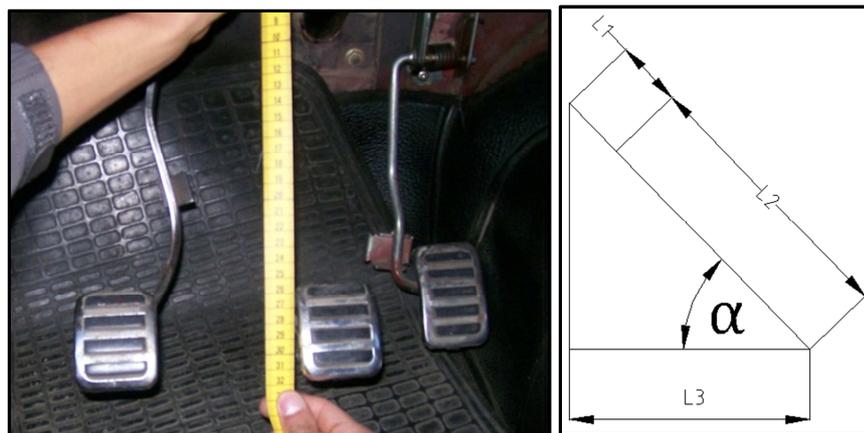


Fig. 3.6. Medición de distancias del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

DISTANCIAS	VALOR (cm)
L1	7
L2	29
L3	25

Tabla 3.2. Distancias del diseño del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

A continuación aplicando la siguiente fórmula se obtiene:

$$\text{Coseno} = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{Cos}(\alpha) = \frac{L3}{(L2 + L1)}$$

$$\text{Cos}(\alpha) = \frac{25 \text{ cm}}{(29 + 7) \text{ cm}}$$

$$\text{Cos}(\alpha) = 0.694$$

$$\alpha = \text{Cos}^{-1}(0.694)$$

$\alpha = 46,017^\circ$ ángulo inclinación del pedal.

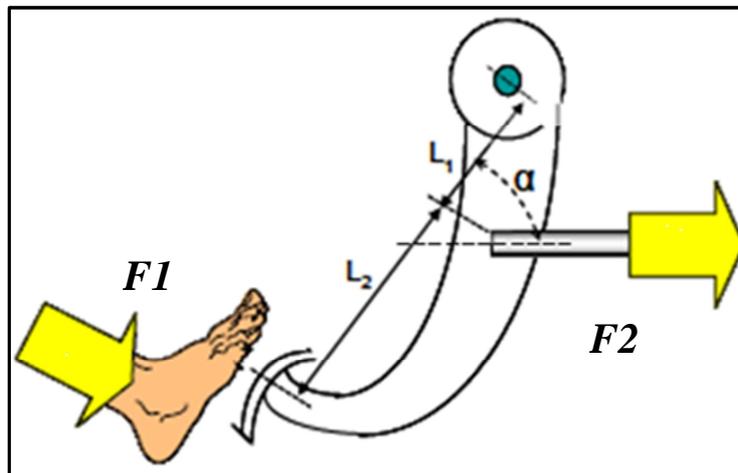


Fig. 3.7. Esquema gráfico de fuerzas y palancas.

Fuente: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5095/1/T-ESPEL-0876.pdf>

Para el cálculo se aplica una fuerza muscular sobre el pedal de freno $F1 = 264,87 \text{ Newton } (27 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2)$, esta es aproximada a la máxima fuerza a aplicar.

Aplicando la fórmula de la ley de palancas se tiene:

$$F2 = F1 * \frac{L2 + L1}{L1 * \cos \alpha}$$

$$F2 = (27\text{Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2) * \left(\frac{(0,29 + 0,07)\text{m}}{(0,07\text{m}) * \cos(46,017^\circ)} \right)$$

$F2 = 1.961,55 \text{ Newton}$. Fuerza final generada por el diseño de palanca del pedal de freno, es decir se aumenta la fuerza inicial en aproximadamente 7,40 veces según el diseño de este vehículo.

Cálculo de fuerza adicional del servo:

Se tienen los datos que se muestra en tabla 3.3

DATOS	VALORES
Presión atmosférica en Cuenca (2.550 msnm)	Aproximadamente 0,73 Bar.
Diámetro exterior del servo freno	7 pulgadas (177,8 mm)
Diámetro interior del servo freno	40 mm

Tabla 3.3. Datos de presión atmosférica y diámetros del servo freno.

Fuente: El Autor.

En la mayoría de vehículos, existe una placa con datos técnicos sobre el servo freno, caso contrario se procede a la medición como se lo muestra en la figura 3.8.



Fuerza final con ayuda del servo (F3)

Fig. 3.8. Medición del diámetro interno y externo del servo freno.

Fuente: El Autor.

A continuación se procede a medir el vacío generado por el múltiple de admisión, en la tabla 3.4 y figura 3.9 se muestran los resultados y mediciones.

DATO	VALOR
Vacío generado por el motor	15 pulgadas de Hg (38 cm de Hg).

Tabla 3.4. Vacío generado por el múltiple de admisión.

Fuente: El Autor.



Fig. 3.9. Medición del vacío generado por el motor.

Fuente: El Autor.

Ahora se procede a calcular la fuerza total que actúa sobre el émbolo de la bomba hidráulica de freno (F3), mediante la siguiente fórmula:

$F3 = (\Delta P) * (S)$, donde:

$\Delta P =$ Diferencia entre presiones atmosférica y del servo.

$S =$ Diferencia de secciones del servo freno.

Presión de 0,5 atmosferas = aproximadamente 0,51 Bar

$$F3 = [(0,73 - 0,51)Bar * 10^5Pa] * [(0,1778 - 0,04) m^2 * \pi/4]$$

F3 = 333,14 Newton. Fuerza que se aplica sobre el vástago de la bomba hidráulica de frenos.

3.1.3.2. Cálculo de presión hidráulica de la bomba principal de frenos.

La bomba hidráulica del circuito de frenos, posee las medidas que se muestran en la tabla 3.5.

DATO	VALOR
Diámetro de la bomba hidráulica principal del circuito de frenos	$\frac{13}{16}$ pulgadas (20,64 mm)

Tabla 3.5. Diámetro de la bomba hidráulica de frenos.

Fuente: El Autor.

Seguidamente se aplica la fórmula siguiente:

$$P = \left(\frac{F3}{A} \right)$$

$$P = \frac{(1.961,55 + 333,14)Newton}{\left(\frac{\pi * 0,0206375^2}{4} \right) m^2}$$

P = 6,86 * 10⁶Pascal (68,60 Bar). Presión de salida de la bomba principal, se muestra en la figura 3.10.



Fig. 3.10. Medición de la presión hidráulica del circuito de frenos.

Fuente: El Autor.

3.1.3.3. Fuerza de frenado sobre el émbolo de la mordaza.

A continuación con el valor de la presión hidráulica y datos de la tabla 3.6 se calculan las fuerzas.

DATO	VALOR
Diámetro del pistón de la mordaza	50 mm

Tabla 3.6. Diámetro del pistón de la mordaza de freno.

Fuente: El Autor.

Aplicando la fórmula que a continuación se indica se calcula la fuerza sobre el pistón de la mordaza de freno.

$$F4 = (P) * (A)$$

$$F4 = (6,859 \text{ Bar} * 10^6 \text{ Pascal}) * (\pi * (0,05^2)/4) \text{ m}^2.$$

$$F4 = 13.467,6 \text{ Newton.}$$

3.1.3.4. Fuerza de frenado en el eje delantero.

Al tener dos mordazas en el eje delantero tendríamos:

$$\text{Fuerza en el eje delantero} = (F4) * (2)$$

$$\text{Fuerza en el eje delantero} = (13.467,6 \text{ Newton}) * (2)$$

Fuerza en el eje delantero= 26.935,2 Newton.

3.1.3.5. Fuerza sobre el bombín de frenos del eje posterior.

Se cuenta con los datos de la tabla 3.7:

DATO	VALOR
Diámetro del bombín	7/8 pulgada (22.225 mm).

Tabla 3.7. Diámetro del bombín

Fuente: El Autor.

Aplicando fórmulas se calcula lo siguiente:

$$F5 = P * A$$

$$F5 = (6,859 * 10^6 \text{ Pascal}) * (\pi * (0,022^2)/4) \text{ m}^2.$$

$$F4 = 2.607,33 \text{ Newton.}$$

Al tener dos émbolos en el bombín:

$$\text{Fuerza final por rueda} = (F4) * (2)$$

$$\text{Fuerza final por rueda} = (2.607,33 \text{ Newton}) * (2)$$

$$\text{Fuerza final por rueda} = 5.214,66 \text{ Newton.}$$

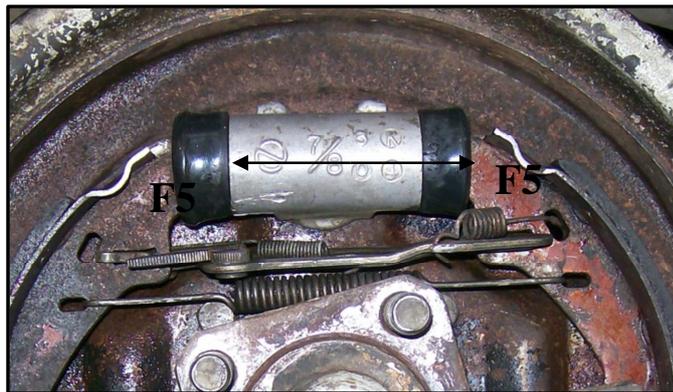


Fig. 3.11. Diámetro del bombín.

Fuente: El Autor.

3.1.3.6. Fuerza de frenado en el eje posterior.

Al tener 2 bombines en el eje posterior se tiene:

$$\text{Fuerza eje posterior} = (\text{Fuerza final por rueda}) * (2)$$

$$\text{Fuerza eje posterior} = (5.214,66 \text{ Newton}) * (2)$$

$$\text{Fuerza del eje posterior} = \mathbf{10.429,3 \text{ Newton.}}$$

3.1.3.7. Relación de la fuerza de frenado.

Para una mejor apreciación de las fuerzas del eje delantero y posterior se aplica la siguiente fórmula de relación de frenado:

Ffd/Fft, siendo:

Ffd: Fuerza frenado eje delantero.

Fft: Fuerza frenado eje posterior.

$$Ffd/Fft = 26.935,2 \text{ Newton} / 10.429,3 \text{ Newton}$$

$$\mathbf{Ffd/Fft = 2,58}$$

Esto nos quiere decir que la fuerza en el eje delantero supera a la fuerza del eje posterior en 2,58 veces.

Finalmente en la tabla 3.8 se muestran los resultados de las diferentes etapas de frenado propuestas.

LECTURA DEL SENSOR (BYTES)	RECORRIDO DEL PEDAL DE FRENO (MM)	FUERZA APLICADA EN EL PEDAL DE FRENO (Kg*gravedad) (newton)	PRESIÓN DEL SISTEMA (bar)	FUERZA DE FRENADO EN EJE DELANTERO	FUERZAD DE FRENADO EN EJE POSTERIOR (newton)	TIPO DE FRENADO
27	10	(2*g) = 20	14	5617	220	leve
45	15	(4*g) = 39	18	7322	2894	leve
62	20	(6*g) = 59	23	9028	3568	leve
77	25	(8*g) = 79	27	10734	4242	leve
88	30	(9*g) = 88	30	11587	4579	leve
105	35	(12*g) = 118	36	14146	5590	leve
115	40	(14*g) = 137	40	15851	6264	leve
130	45	(15*g) = 147	43	16704	6601	medio
146	50	(16*g) = 157	45	17557	6938	medio
157	55	(18*g) = 177	49	19263	7612	medio
176	60	(22*g) = 216	58	22674	8960	medio
188	65	(24*g) = 235	62	24380	9634	Emergencia
209	70	(26*g) = 255	66	26086	10308	Emergencia
222	75	(28*g) = 275	71	27972	10982	Emergencia
234	80	(30*g) = 294	75	29498	11656	Emergencia

Tabla 3.8. Resultados del sensor y sistema de frenos de acuerdo al tipo de frenado.

Fuente: El Autor.

Cabe mencionar que el desplazamiento del pedal de freno corresponde desde donde está ubicado el potenciómetro, siendo distinto el desplazamiento del émbolo de la bomba hidráulica.

3.2. MONTAJE DEL SENSOR DE RPM DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA.

Para el montaje de este sensor se tienen varias opciones de ubicación teniendo principalmente las siguientes:

- Polea del cigüeñal.
- En el distribuidor de encendido.
- Polea del árbol de levas, etc.

Se selecciona la polea del cigüeñal por las siguientes características:

- Facilidad de montaje del sensor.
- Reducción de adaptaciones mecánicas.
- Facilidad para acoplar el disco con agujeros.
- Facilidad de sustitución de soportes, sensores, etc.



Fig. 3.12. Polea del cigüeñal.

Fuente: El Autor.

Para conservar de forma original y sin modificaciones la polea del cigüeñal, se diseña un disco con un patrón de agujeros, este va montado sobre la polea del cigüeñal convirtiéndose en un solo conjunto la polea y el disco, para conseguir esto es necesario reemplazar los pernos originales de la polea del cigüeñal por unos de mayor longitud.

Al momento de apretar los nuevos pernos es muy importante hacerlo de forma cruzada es decir apretar arriba-abajo, izquierda-derecha, también se debe tener en cuenta de que todos los 4 pernos deben ser apretados con el mismo torque, caso contrario se producen deformaciones en el disco de grilon, girando el disco de forma no concéntrica dañando al sensor óptico.

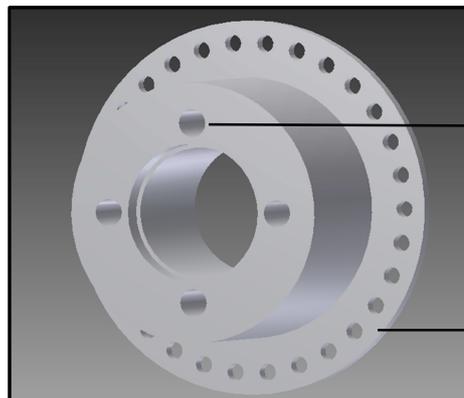
PERNOS CIGÜEÑAL	DIÁMETRO – PASO- LONGITUD
Originales	M6 x 1,0 x 25
Nuevos	M6 x 1,0 x 65

Tabla 3.9. Medidas de pernos de la polea del cigüeñal.

Fuente: El Autor.

El material escogido para la construcción del disco es grilon, debido a:

- Es más barato que otros materiales.
- Muy buena calidad.
- Al ser un polímero este no se oxidará.
- Muy liviano.
- Fácil construcción, etc.



Agujeros
para pernos
de sujeción
del
conjunto.

Agujeros
para señal
del sensor.

Fig. 3.13. Diseño del disco para sensor óptico de RPM del motor de combustión interna.

Fuente: El Autor.



Fig. 3.14. Sensor de RPM del motor de combustión interna y soporte.

Fuente: El Autor.

En lo que respecta al soporte para el sensor óptico se aprovechan dos agujeros roscados que posee el motor por su lado izquierdo, además siendo el lugar más cercano para la colocación del soporte del sensor de rpm del motor, se lo aprecia el diseño del mismo en la figura 3.16.

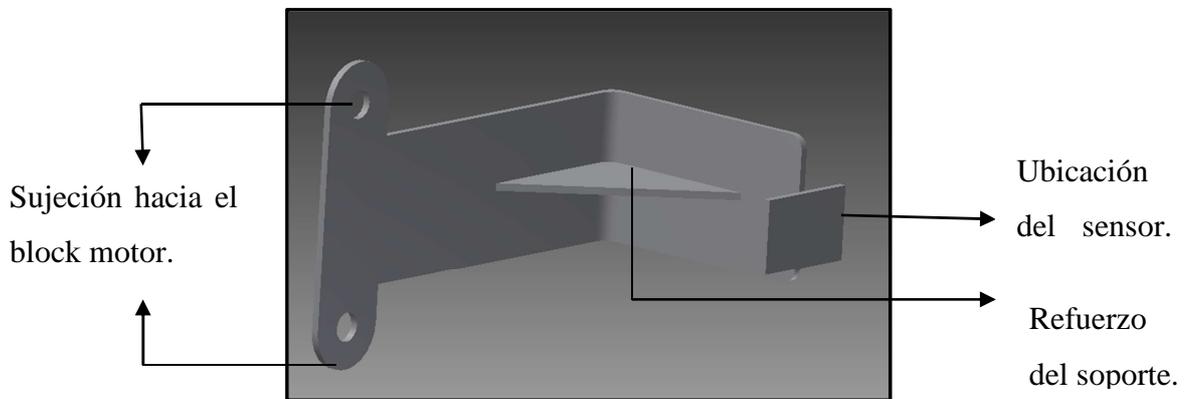


Fig. 3.15. Soporte del sensor de RPM del motor.

Fuente: El Autor.

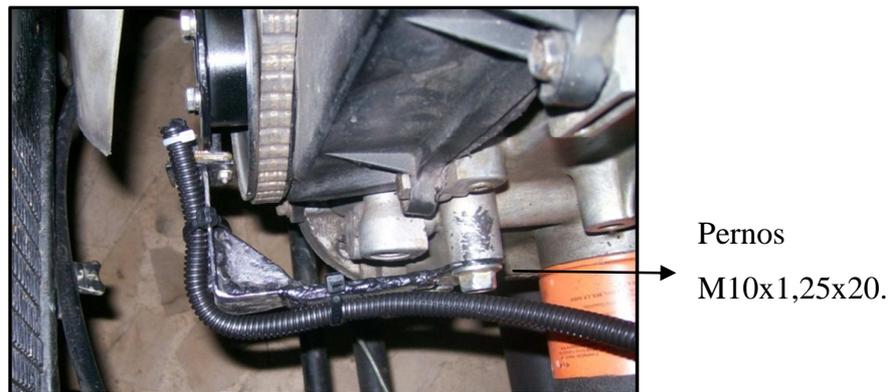


Fig. 3.16. Vista lateral del soporte y sensor de R.P.M.

Fuente: El Autor.

3.2.1. Pruebas de lectura del sensor.

Durante las primeras pruebas se mostraban errores de lectura intermitentes, es decir se daban valores reales de RPM del motor pero con pulsos y cambios intermitentes de valores. Por ejemplo el motor al estar en ralentí la pantalla LCD mostraba de 800 a 900 RPM pero se producían pulsos intermitentes de lectura que mostraban 3000 RPM u otros valores, siendo este último un error y un valor ilógico durante la velocidad angular de ralentí del motor.

Se inspeccionó en busca de errores en la electrónica tanto del sensor (figura 3.17) como en el protoboard, sócalos de conexión, cableado, falta de señal de potencia, etc, pero no se encontraron.

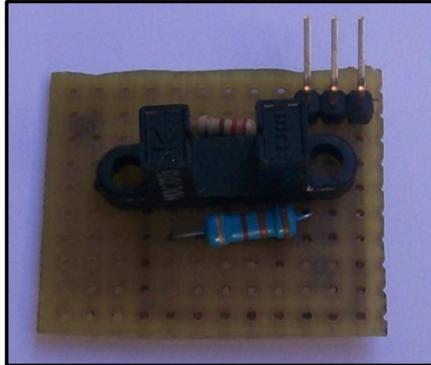


Fig. 3.17. Sensor óptico de RPM del motor de combustión interna.

Fuente: El Autor.

Se detectó que la superficie diseñada con material grilon era una superficie semi translúcida por lo que permitía el paso del haz de luz del emisor hacia el receptor del sensor óptico, produciendo los mencionados errores de valores intermitentes, entonces como solución se procedió a pintar toda la superficie de color negro.

Al realizar nuevamente las pruebas con el cambio de color de la superficie del disco, el valor de RPM se muestra en la pantalla LCD de forma estable sin variaciones intermitentes ni pulsos, teniendo presente este antecedente para la construcción de los demás sensores, ruedas fónicas y demás elementos.

Durante las pruebas estáticas, el sensor funcionaba normalmente pero, al realizar pruebas de campo se perdió completamente lectura por parte del sensor, debido a la vibración del motor y al movimiento de este en general, lo que provocó que el sensor sufra desgaste por el rozamiento de este con el disco.

Se solucionó este problema reemplazando el sensor óptico, y colocando un refuerzo en el soporte del mismo, de igual forma se realizó el ajuste de la nueva posición del sensor.

3.3. MONTAJE SENSOR DE DIRECCIÓN.

Este sensor al ser también de tipo óptico, se lo ha diseñado a través de un disco ranurado. Su montaje se lo realiza directamente sobre la columna de la dirección, ya que es el único lugar de montaje tanto del sensor como su soporte.

Se construye el disco ranurado con material PVC, dado que se lo puede conseguir fácilmente, también su costo es más bajo en comparación con el grilon u otros materiales. Se muestra su diseño en la figura 3.18.

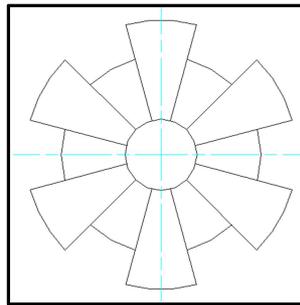


Fig. 3.18. Disco ranurado para el sensor de dirección.

Fuente: El Autor.

Para el soporte se diseña un sistema que se acople sobre el chasis del vehículo, este consta de dos platinas una superior e inferior, las mismas que mediante dos pernos permiten la sujeción firmemente sobre el chasis. Se tiene una tercera platina que sirve simplemente para ubicación del sensor óptico.

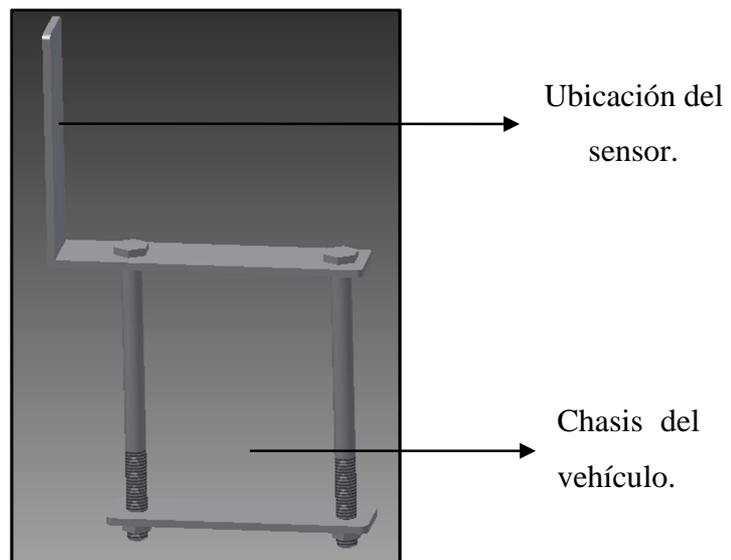


Fig. 3.19. Soporte para el sensor de dirección.

Fuente: El Autor.

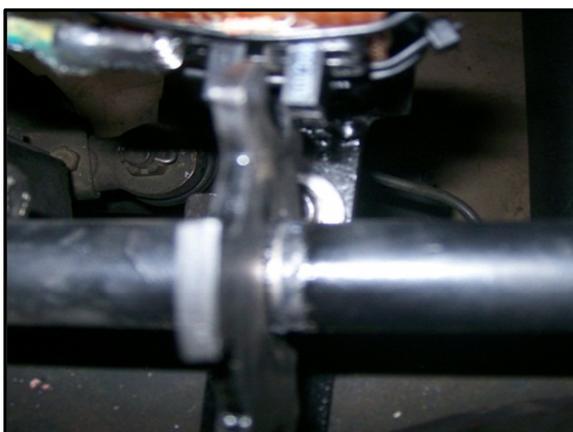


Fig. 3.20. Sensor de dirección y soporte montados sobre el vehículo.

Fuente: El Autor.

3.3.1. Pruebas de lectura del sensor.

Al realizar las pruebas de funcionamiento de este sensor, se encontró que al momento de girar la dirección debido a la capacidad del PIC y por todas las instrucciones que este debe realizar como grabado de la memoria SD, procesos alternos, etc. Provoca un error de lectura por el retardo de tiempo utilizado en todas sus instrucciones, dando como resultado de que la posición real del volante no concuerde con los datos brindados por el PIC.

Se optó como solución el introducir dentro de toda la programación, varios procesos del sensor de dirección, con esto se logra que el microcontrolador realice sus funciones pero también retorne hacia la lectura de este sensor, disminuyendo el error hasta casi anularlo.

Entonces conocido este problema se tuvo que implementar un pulsante para calibración de la dirección del volante del vehículo.

3.3.2. Cálculo teórico del ángulo de giro de la dirección.

Los valores requeridos que se muestran en la figura 3.21, se obtienen del manual del vehículo o de fichas técnicas logrando de esta manera determinar el ángulo de giro máximo del vehículo, estos se muestran en la tabla 3.10

DATOS	VALORES
Diámetro de giro	10,80 mts
Batalla	2030 mm
Ancho de vía delantera	1210 mm
Ancho de vía trasera	1220 mm

Tabla 3.10. Datos técnicos del vehículo.

Fuente: El Autor.

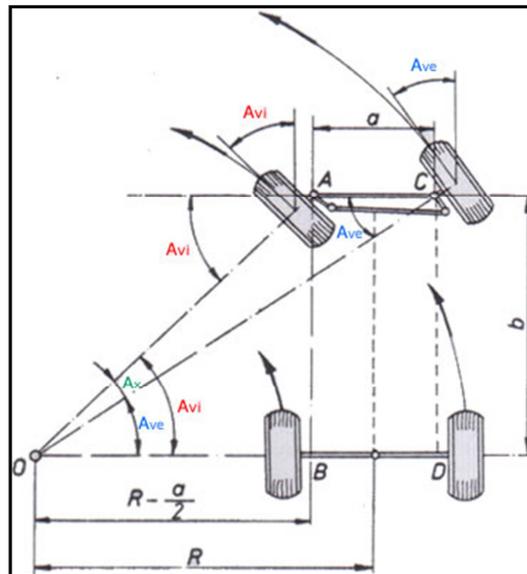


Fig. 3.21. Diagrama de ángulos de viraje del sistema de dirección.

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-viraje.jpg>

Ave = Angulo viraje de la rueda exterior.

Avi = Angulo viraje de la rueda interior.

$$\text{Tangente } (Ave) = \frac{b}{R + \frac{a}{2}}$$

$$\text{Tangente } (Ave) = \frac{(2030 \text{ mm})}{5400 \text{ mm} + \frac{1210 \text{ mm}}{2}}$$

$$\text{Tangente } (Ave) = 0,34$$

$$(Ave) = \text{Tan}^{-1}(0,34)$$

$$\boxed{(Ave) = 18,78^\circ}$$

$$\text{Tangente } (\text{Avi}) = \frac{b}{R - \frac{a}{2}}$$

$$\text{Tangente } (\text{Avi}) = \frac{(2030 \text{ mm})}{5400 \text{ mm} - \frac{1210 \text{ mm}}{2}}$$

$$\text{Tangente } (\text{Avi}) = 0,42$$

$$(\text{Avi}) = \text{Tan}^{-1}(0,42)$$

$$\boxed{(\text{Avi}) = 22,79^\circ}$$

Al realizar las mediciones de giro del volante de dirección se obtinene los resultados que se muestran a continuación en la tabla 3.11.

VOLANTE DE DIRECCIÓN	GIROS DEL VOLANTE DE DIRECCIÓN
Centro - giro máximo a la derecha	1,5
Centro – giro máximo a la izquierda	1,5

Tabla 3.11. Mediciones de vueltas del volante de dirección.

Fuente: El Autor.

Para la medición de los ángulos de giro del volante de dirección del vehículo, simplemente se gira el volante desde el centro hacia la izquierda y derecha, adquiriendo los valores que se muestran en la tabla 3.12, estos valores corresponden para los dos sentidos de giro.

GRADOS DEL VOLANTE DE DIRECCIÓN	LECTURA DEL SENSOR
0	0
45	3
90	5
135	9
180	12
225	15
270	18
315	21
360	24
405	27
450	29
495	33
540	36
550	37

Tabla 3.12. Lectura de los grados del volante de dirección.

Fuente: El Autor.

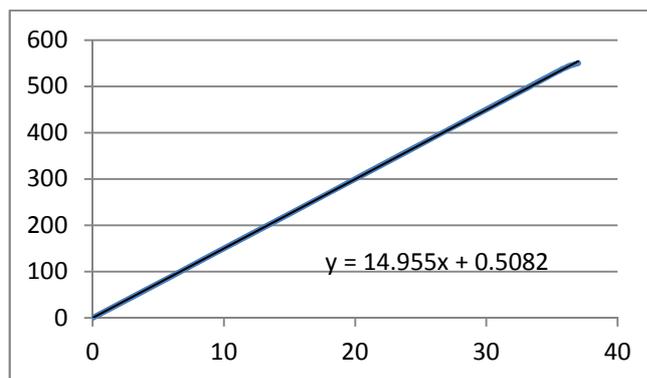


Fig. 3.22. Ecuación del sensor de dirección del volante.

Fuente: El Autor.

Como podemos observar en la gráfica de la figura 3.22 se consideran los datos obtenidos como un sistema lineal, en donde la ecuación es: **vueltas del volante = 14,955 (lectura del sensor) + 0,5082.**

3.3.3. Mediciones del ángulo del volante en curvas.

Curva abierta: son aquellas que tienen un radio entre 40 y 300m, necesitando un ángulo de curva para girar el vehículo menor a 45 grados, radios de 80m y 300m necesitan ángulos mayores a 45 grados para girar el vehículo.



Fig. 3.23. Señal de tránsito de curva abierta.

Fuente: http://www.carpysociados.com/senales_preventivas.html.

En este tipo de curvas al tener varios radios de curvaturas existentes se registran valores de entre 45 a 90 grados de giro del volante de dirección.



Fig. 3.24. Medición del ángulo de giro del volante de dirección.

Fuente: El Autor.

Curva pronunciada o cerrada: son aquellas que presentan un radio menor de 40m, para aquellas de 40 a 80m el ángulo de curva para girar el vehículo es mayor a 45 grados.

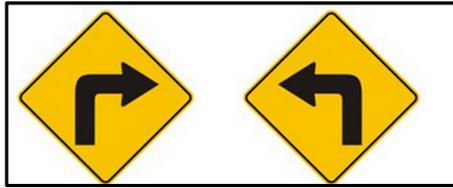


Fig. 3.25. Señal de tránsito de curva cerrada.

Fuente: http://www.carpayasociados.com/senales_preventivas.html.

Para este tipo de curvas dependiendo se tienen valores que van desde los 75 hasta 180 grados de giro del volante de dirección, dependiendo del radio de curvatura.

Curva y contracurva: Son aquellas que están conformadas por dos curvas en sentido contrario separadas por un tramo menor de 60m, teniendo las mismas características que una curva cerrada.

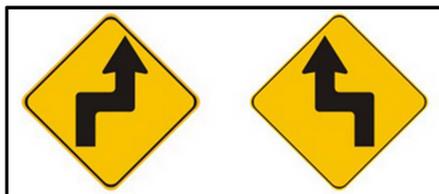


Fig. 3.26. Señal de tránsito de contracurva.

Fuente: http://www.carpayasociados.com/senales_preventivas.html.

Este tipo de curvas al estar separadas entre sí por un pequeño tramo se registran valores no superiores a 75 grados de giro del volante de dirección.

Curva en U: son aquellas que están separadas por un tramo menor de 60m, este tipo de curvas aumentan el grado de dificultad según el conductor pudiendo tener un subviraje o sobreviraje.

Para este tipo de curvas se registran valores mayores a 195 grados inclusive llegando al máximo de dirección disponible del vehículo.

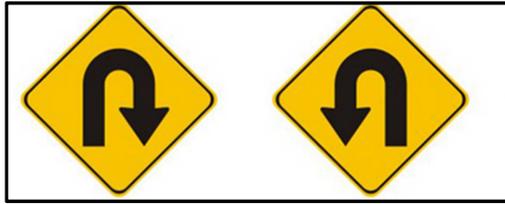


Fig. 3.27. Señal de tránsito de curva en U.

Fuente: http://www.carpyasociados.com/senales_preventivas.html.

3.4. MONTAJE DEL SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO.

Al ser un vehículo todo terreno posee dos ejes rígidos y protectores en tambores y disco de frenos, por lo que se dificulta la posibilidad de acoplar el sensor sobre unos de los ejes, teniendo que ubicarlo directamente sobre las ruedas u otro elemento, todo esto con la finalidad de conservar el vehículo de forma original.



Fig. 3.28. Protectores de discos de freno.

Fuente: El Autor.

Como solución se ve la posibilidad de acoplar este sensor sobre el árbol de transmisión o comúnmente conocido como cardan. En la figura 3.29 se muestra el lugar a colocar, el sistema es el mismo que el sensor de RPM del motor, es decir un disco con un patrón de agujeros y un sensor óptico, de esta forma se obtiene la velocidad angular del árbol de transmisión, posterior a esto se transforma esta última en velocidad lineal.

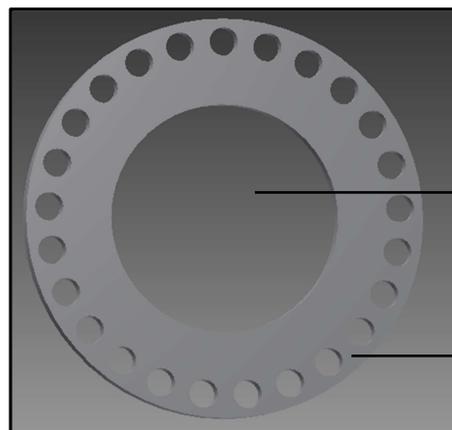


Ubicación del disco para el sensor óptico.

Fig. 3.29. Ubicación del disco sobre el árbol de transmisión.

Fuente: El Autor.

El disco con sus agujeros se re lo construye en material PVC gracias a sus características ya mencionadas, se aprecia el diseño del mismo en la figura 3.30.

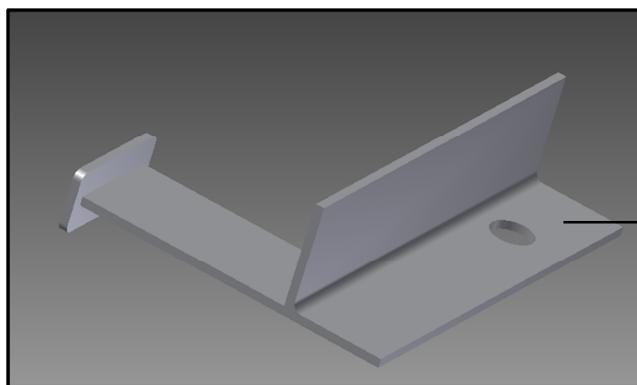


Eje del árbol de transmisión.
Agujeros para señal del sensor óptico.

Fig. 3.30. Disco con patrón de agujeros para sensor óptico de velocidad del vehículo.

Fuente: El Autor.

En cuanto respecto al soporte, se aprovecha la base de la caja de transferencia de la doble transmisión ya que además es el punto más cercano para ello, también al colocar el soporte desde esta posición se evita que el sensor sufra golpes o desgaste producto del movimiento del eje de transmisión y de las juntas universales, no se realiza el análisis mecánico de cargas estructurales, dado que únicamente sirve de base para el sensor, se muestra su diseño en la figura 3.31.



Sujeción
mediante
tuerca hacia
la base de la
doble
transmisión.

Fig. 3.31. Soporte para el sensor óptico de velocidad del vehículo.

Fuente: El Autor.

Para la colocación del disco sobre el cardan se lo coloca simplemente a presión, ya que al agregar elementos como bridas u otro sistema de sujeción, necesariamente se tiene que balancear el cardan para evitar fallas en las juntas universales, estriados y demás elementos de la transmisión. En la imagen 3.32 se muestra todo el conjunto del sensor de velocidad montado sobre el vehículo.

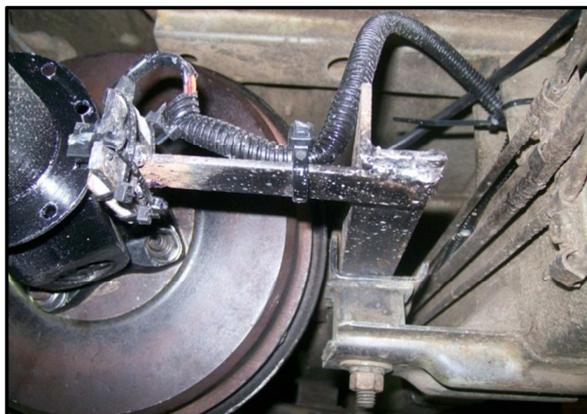


Fig. 3.32. Conjunto completo del sensor de velocidad.

Fuente: El Autor.

3.4.1. Pruebas de lectura del sensor.

Al realizar las pruebas de lectura estática el sensor funcionaba normalmente, pero al realizar las pruebas de campo se encontró que el sensor necesitaba de un ajuste en su posición dado que el disco para lectura del sensor y el árbol de transmisión poseen una ligera inclinación que con el movimiento del vehículo y desniveles de la calzada provocaban que por instantes se pierda lectura del sensor.

3.5. MONTAJE DEL SENSOR DE INCLINACIÓN.

Al tener este sensor como un módulo integrado es necesario simplemente su montaje sobre el vehículo y protección del mismo, para ello se procede en lo posible ubicarlo lo más cercano al centro de gravedad del vehículo y con ello tener una mejor apreciación de los cambios a los que está sometido el vehículo ante distintas situaciones de manejo.

3.5.1. Cálculo del centro de gravedad.

$$\text{Peso total del vehículo } (P) = 955 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9368,55 \text{ Newtons.}$$

$$\text{Peso del eje delantero } (Pa) = 505 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4954,05 \text{ Newtons.}$$

$$\text{Peso del eje trasero } (Pb) = 450 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4414,5 \text{ Newtons.}$$

Estas fuerzas se pueden apreciar en el diagrama de cuerpo libre del esquema que se muestra a continuación:

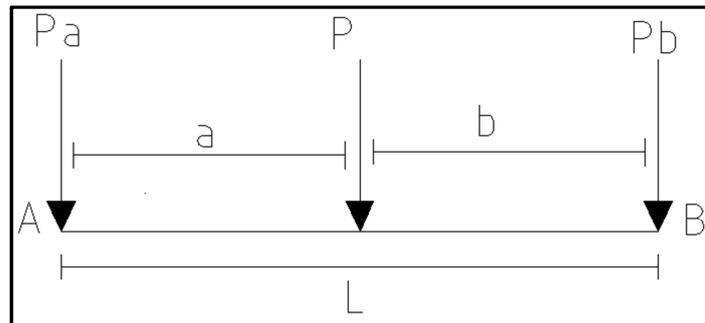


Fig. 3.33. Diagrama de cuerpo libre de fuerzas de los ejes delantero y posterior.

Fuente: El Autor.

Ahora para el cálculo de la distancia del centro de gravedad del vehículo aplicamos sumatorio de momentos en el punto B obteniendo lo siguiente:

$$\sum MB = P * b + Pa * L$$

$$P * b = -Pa * L$$

$$b = -\frac{Pa * L}{P}$$

$$b = -\frac{505 \text{ Kg} * 2030\text{mm}}{955 \text{ Kg}}$$

$$b = -1073,46 \text{ mm.}$$

$$b = -1,07 \text{ metros.}$$

Entonces se puede decir que el centro de gravedad del vehículo está ubicado a 1,07 metros por delante del eje posterior, lugar a colocar el sensor de inclinación.

3.5.2. Pruebas de lectura del sensor.

Durante las pruebas de lectura de este sensor no se encontró ningún error o modificación necesaria, simplemente su adecuada protección del módulo y su cableado.

3.6. MONTAJE DEL RTC Y BRÚJULA DIGITAL.

Para el montaje de estos elementos al ser ambos del tipo módulos electrónicos no poseen carcasas o soporte para su ubicación, por lo tanto se ve como opción el ubicarlos sobre la misma caja que contendrá la placa central. Además son elementos electrónicos que están conectados al mismo bus de datos por lo que necesitan estar lo más cerca posible entre ellos y con el microcontrolador.

Sus dimensiones son pequeñas por lo que no ocupan demasiado espacio sobre la placa electrónica.

3.7. CÁLCULO DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA TARJETA SD.

El sistema está configurado para que aproximadamente cada 10 segundos se almacenen todo los datos de todos los sensores, como se especificó en el capítulo anterior esto nos da un total de 16 variables para almacenar en la tarjeta SD por lo que se tiene un total de 16 bytes.

En la tabla 3.13 se especifican las unidades de medida computacionales más utilizadas.

EQUIVALENCIA ENTRE BYTES Y BITS	
1 Byte	8 bits
1 kilobyte (kb)	1024 bytes
1 Megabyte (Mb)	1024 kilobytes
1 Gigabyte (Gb)	1024 Megabytes
1 Petabyte	1024 Gigabytes

Tabla 3.13. Unidades de medida de computación.

Fuente: El Autor.

Para el cálculo de tamaño del archivo se lo realiza en las máximas condiciones, es decir con un funcionamiento de 24 horas los 365 días, se tiene lo siguiente:

1 hora = 3600 segundos.

24 horas = 86400 segundos

Número de veces de almacenamiento = 86400 segundos / 7 segundos

Por día se tiene = 12.343 veces que se graban datos en la tarjeta.

Tamaño del archivo por día = 12.343 x 16 bytes.

Tamaño del archivo por día (24 horas) = 19.7488 bytes (193Kb).

Tamaño del archivo por mes (30 días) = 193 Kb x 30.

Tamaño del archivo por mes (30 días) = 5.790 Kb (5,65 Mb).

Tamaño del archivo por año (12 meses) = 5,65 Mb x 12.

Tamaño del archivo por año (12 meses) = 67,8 Mb

Entonces se podría decir que al utilizar una tarjeta SD con un tamaño de 1 Gigabyte, se necesitaría aproximadamente de 15 años para llenarla completamente, pero la vida útil de estos dispositivos se mide por ciclos de escritura y borrado de sus sectores teniendo estos una duración de 100.000 ciclos.

4 CAPITULO IV PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL DISPOSITIVO.

Culminadas las fases anteriores de diseño, construcción y montaje del prototipo, es necesario conocer el comportamiento del dispositivo de forma integral, verificando el buen funcionamiento de cada uno de los sensores implementados y el registro masivo de almacenamiento (tarjeta SD).

La información almacenada en la tarjeta SD se extrae en una computadora externa, en donde se realiza el proceso de transformación de información a una base de datos, logrando una interpretación sencilla y con ayudas computacionales.

También se ha solicitado la ayuda y experiencia del organismo encargado en accidentes de tránsito la Oficina de Investigación de Accidentes de Tránsito (OIAT del Azuay) para comprobación de los datos arrojados entre el sistema desarrollado en esta tesis y el utilizado por la mencionada entidad. Cabe mencionar que esta oficina es la encargada de las investigaciones tanto para el área rural y urbana de la provincia del Azuay, llevando en marcha sus funciones desde el 15 de abril del 2014.

4.1 COSTOS.

Es el valor monetario que representa la elaboración de un producto, prestación de servicios, etc. Dentro de la fabricación de productos, el costo sirve para poder establecer el precio de venta el mismo que está integrado por 3 elementos:

- Materiales directos
- Mano de obra.
- Gastos indirectos.

4.1.1 Materiales directos.

Son aquellos materiales que conforman directamente la materia prima para la elaboración del producto.

En la tabla 4.1 se detallan los costos de los materiales utilizados para la elaboración del prototipo.

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
Material electrónico			
Pantalla LCD 16x2	1	7.50	7.50
Sensores ópticos	4	1.50	6.00
Sensor de inclinación	1	20.00	20.00
Reloj de tiempo real	1	9.00	9.00
Potenciómetro lineal	1	5.00	5.00
Sensor brújula	1	40.00	40.00
Tarjeta de memoria SD	1	8.00	8.00
Potenciómetro multivuelta	1	30.00	30.00
Materiales electrónicos varios	1	65.00	65.00
		TOTAL	190.50
Materiales varios			
Platinas de hierro y varios	1	20.00	20.00
Caja plástica	1	10.00	10.00
Materiales varios	1	10.00	10.00
		TOTAL	40.00
		TOTAL	230.50

Tabla 4.1. Costos de los materiales directos.

Fuente: El Autor.

Se puede decir que tanto el sensor brújula digital como el sensor de dirección del volante son los de mayor costo, dado que no existen otras opciones en el mercado actual y también son difíciles de conseguir.

4.1.2 Mano de obra.

Se puede definir mano de obra como aquel esfuerzo físico y mental necesario para la fabricación del producto, esta puede ser de 2 tipos:

4.1.2.1 Mano de obra directa.

Es el costo de las jornadas de trabajo del personal responsable de la fabricación del producto a partir de la materia prima, también se puede decir que este personal es aquel que está en contacto directo con el material y los diversos procesos.

4.1.2.2 Mano de obra indirecta.

Son aquellos costos del personal administrativo y demás áreas que forman parte de la empresa u organización. En la tabla 4.2 que se muestra a continuación se detalla acerca de la mano de obra indirecta necesaria para la elaboración de este proyecto.

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
Placa electrónica	1	45.00	45.00
Programación	1	650.00	650.00
Soldadura y construcción	3	55.00	55.00
		TOTAL	780.00

Tabla 4.2. Costos de la mano de obra indirecta.

Fuente: El Autor.

Dado que la programación se la realizó por el autor, el valor del costo se reduce, en aproximadamente \$650 debido a las horas ingeniería invertidas (150 horas).

4.1.2.3 Insumos.

Son aquellos elementos que se utilizaron para diversas finalidades en donde muchas de las veces pueden o no ser apreciados de manera visual, a continuación se detalla.

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
Pegamentos	1	4.00	4.00
Brocas y sacabocados.	1	20	20
Varios	1	55.00	55.00
		TOTAL	74.00

Tabla 4.3. Costos de los insumos.

Fuente: El Autor.

4.1.3 TOTAL DE COSTOS DEL SISTEMA.

Para obtener el costo total del proyecto finalizado, se procede a realizar la sumatoria de los valores obtenidos como se lo indica en la tabla 4.4.

COSTO	VALOR (\$)
Materiales directos	230.50
Mano de obra indirecta	780.00
Insumos	74
TOTAL	1084.50

Tabla 4.4. Costo total del dispositivo.

Fuente: El Autor.

Se nota claramente que el mayor costo pertenece a la mano de obra indirecta, debido a la programación tanto del microcontrolador como del software para visualización de los datos registrados por la memoria. Cabe mencionar que si el proyecto tuviese gran acogida por entidades gubernamentales o privadas, los costos se reducirían en gran medida debido a la fabricación en grandes cantidades.

4.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS.

Para el análisis de todos los datos almacenados en la tarjeta de memoria SD, se procedió a realizar un software en donde se puedan visualizar todas las variables monitoreadas a lo largo del tiempo, logrando transformar los datos provenientes en forma de texto a una base de datos, para posteriormente graficar los datos.

En la tabla 4.5 que se muestra a continuación, se puede observar la forma en que el software presenta la base de datos.

Fecha	Hora	Freno	Pulsante	INC_X	INC_Y	INC_Z	RPM	Vel. (Km/h)	Izquierda	Derecha	Brújula
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:49	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:50	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:51	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:52	L	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:53	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:53	L	0	1	1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:54	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:55	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:55	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:56	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:57	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:58	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:58	L	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:04:59	L	0	-1	-1	0	640	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:00	L	0	1	1	0	560	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:01	L	0	1	-1	0	600	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:01	L	0	-1	-1	0	760	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:02	L	0	-1	-1	0	880	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:03	L	0	-1	-1	0	800	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:04	L	0	-1	-1	0	840	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:04	L	0	-1	1	0	800	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:05	L	0	1	1	0	920	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:06	L	0	2	2	0	960	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:07	L	0	1	1	0	960	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:07	L	0	1	1	0	920	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:08	L	0	1	1	0	880	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:09	L	0	-1	-1	0	960	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:10	L	0	-1	-1	0	920	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:11	L	0	-1	-1	0	1000	0	0	0	0
miércoles, 03 de septiembre de 2014	12:05:11	L	0	-1	-1	0	960	0	0	0	0

Filtro x día (dd/mm/aaaa)

Filtro x mes (mm/aaaa)

Filtro x Freno (L,M,E)

Cant. datos

Leer Archivo

Borrar

Ver Graficas

Tabla 4.5. Base de datos del software diseñado.

Fuente: El Autor.

Gracias a la base de datos se tiene las siguientes ventajas:

- Visualización de datos de forma clara y ordenada.
- Visualización por filtros.
- Se puede graficar los datos.
- Se pueden realizar mejoras y ayudas computacionales, etc.

A continuación se procede a realizar el análisis de los datos obtenidos de cada uno de los sensores implementados. Estos consisten en pruebas de conducción verdaderas, es decir en condiciones normales y de distintas eventualidades.

4.2.1 Pruebas del sensor de frenado.

En este sensor no se han detectado errores de lectura por lo que se verifica su buen funcionamiento en todo su desplazamiento. En lo que respecta a la interpretación del tipo de frenado e indicador de pulsación del pedal de freno se lo realiza mediante software.

Dentro de este sensor también se verificó su acoplamiento con el dispositivo desarrollado de manera integral y el funcionamiento del modo de grabación continua en frenado de emergencia. Esta prueba se la puede apreciar más adelante con la obtención de los datos en la tarjeta de memoria.

A continuación se muestra en la gráfica 4.1 los datos obtenidos por este sensor en un día aleatorio:

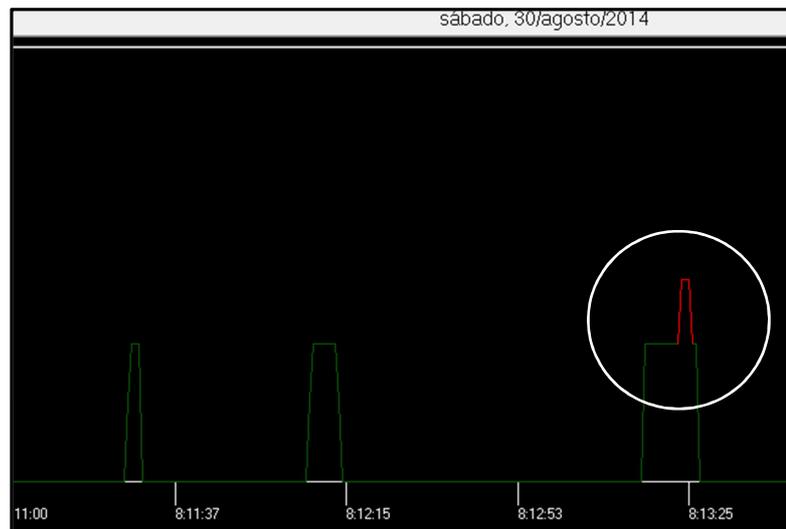


Fig. 4.1. Grafica de datos del sensor de frenado.

Fuente: El Autor.

Como se observa en la imagen, se obtienen valores del sensor que corresponden a frenados de tipo leve y medio (color verde), pero se ha obtenido únicamente una frenada que corresponde a emergencia o pánico por lo se nota claramente su cambio de color verde a rojo, pudiendo explicar que el conductor se encontró ante un cierto evento que obligó a presionar con mayor fuerza el pedal ya que en la figura se observa el cambio de estado de medio hacia pánico, y posteriormente a ello se suelta el pedal de freno. Se puede decir que el conductor no se encontró en una situación

emergente ya que como se visualiza en la gráfica, el tiempo de duración es corto en estado de pánico.

A continuación se procede a comprobar esta información mediante la base de datos consiguiendo determinar cuánto tiempo persistió esta pulsación del pedal de freno.

	Fecha	Hora	Freno	Pulsante
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:20	L	0
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:21	L	0
▶	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:22	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:23	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:23	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:23	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:23	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:24	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:24	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:24	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:24	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:25	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:25	E	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:25	E	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:25	E	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:26	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:26	M	1
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:27	L	0
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:27	L	0
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:28	L	0
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:29	L	0
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:30	L	0
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:31	L	0
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:31	L	0
	sábado, 30 de agosto de 2014	8:13:32	L	0

Tabla 4.6. Lectura de la base de datos.

Fuente: El Autor.

Como se observa en la tabla 4.6, se muestra que se produce el frenado del vehículo a las 8:13:22 y finaliza a las 8:13:26, es decir tiene una duración de 4 segundos, en donde el frenado de pánico corresponde únicamente a 1 segundo de duración, corroborando con la información que se mencionó anteriormente en que el tiempo de duración de este estado es corto.

A continuación se muestra en la gráfica una segunda prueba de frenado de pánico:

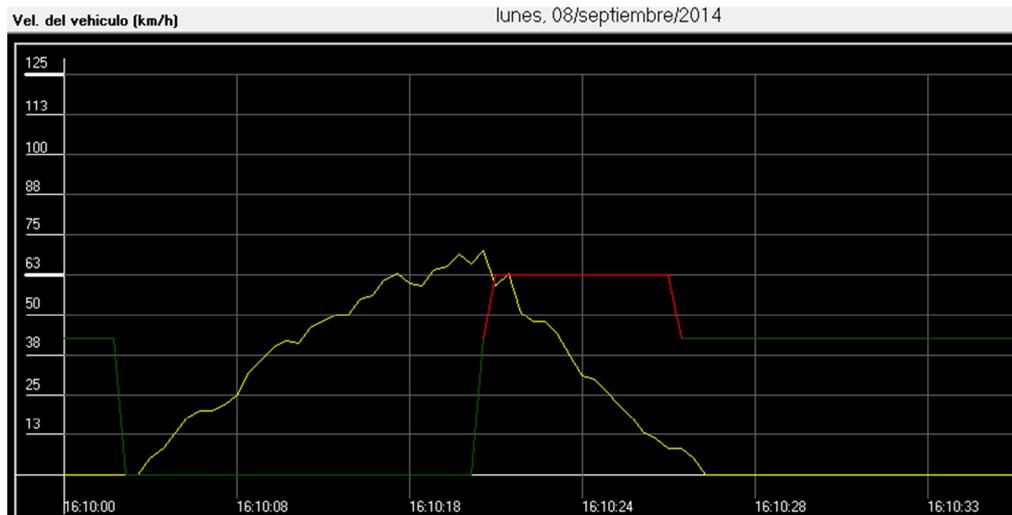


Fig. 4.2. Análisis de datos en situación de emergencia o pánico.

Fuente: El Autor.

De la figura 4.2 se puede ver claramente que el vehículo realiza un arranque desde velocidad 0 Km/h incrementando su velocidad hasta aproximadamente 70 Km/h (línea de color amarillo). En este caso en específico se ha encontrado con una situación emergente ya que el pedal de freno se ha pulsado a un nivel de pánico, es decir con su máxima fuerza muscular, por lo que se nota claramente en la línea de frenado que se mantiene en este estado (color rojo) un tiempo prolongado hasta disminuir totalmente su velocidad llegando a 0 Km/h, continuando pulsado el freno en un nivel medio. Como se mencionó al inicio de este capítulo, estas son pruebas y acontecimientos reales durante la conducción normal, por lo que esta situación se presentó en el momento en que el conductor estaba frente a un semáforo en luz naranja (precaución), acercándose a un cruce de avenidas de doble sentido por lo que ha decidido no cruzarla por el riesgo a ser impactado por otro vehículo, concluyendo que ha accionado el pedal de freno en la situación antes descrita.

Para mayor exactitud de esta información, se procede a realizar un análisis de la base con la siguiente información:

Fecha	Hora	Freno	Pulsante	Vel. (Km/h)	RPM
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:22	L	0	66	2760
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:22	M	1	70	2880
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:22	E	1	59	2640
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:23	E	1	63	2560
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:23	E	1	51	2200
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:23	E	1	48	2160
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:23	E	1	48	2160
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:23	E	1	44	1840
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:24	E	1	37	1560
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:24	E	1	31	1280
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:24	E	1	30	1160
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:24	E	1	26	960
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:25	E	1	22	840
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:25	E	1	18	760
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:25	E	1	13	760
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:25	E	1	11	720
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:25	E	1	8	800
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:26	M	1	8	800
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:26	M	1	5	920
lunes, 08 de septiembre de 2014	16:10:26	M	1	0	920

Tabla 4.7. Análisis de la base de datos del sensor de freno.

Fuente: El Autor.

De la tabla 4.7, se observa que el conductor ha estado con velocidad de 70 Km/h a las 16:10:22 momento en que acciona el pedal de freno, finalizando el evento de frenado a las 16:10:26, es decir todo este acontecimiento de emergencia tuvo una duración de 4 segundos hasta que el conductor detuvo totalmente su vehículo.

4.2.2 Pruebas del sensor de ángulo de dirección del volante del vehículo.

En esta parte nos hemos encontrado con un problema con los sensores ópticos instalados en el vehículo, el mismo que al realizar giros del volante de dirección (avance y retroceso) de manera uniforme y con velocidad lenta, se obtiene una lectura correcta, pero al realizar giros con mayor rapidez simulando una reacción por parte del conductor, se genera un error en la posición final del volante con respecto a la posición real del mismo, es decir al realizar el retorno del volante de dirección hacia la posición neutral o posición de línea recta, el sistema debería indicar cero grados angulares, pero se obtienen valores distintos a los indicado anteriormente, por lo que el error permanece constante e incrementándose gradualmente.

Se realizó la búsqueda de errores dentro de la programación, sin encontrar error alguno, por lo que se procedió a mejorar el software reduciendo ciertos procesos y adicionalmente aumentando la memoria de programa. También se optimizó la parte de la recepción de los pulsos del sensor de dirección, a través de interrupciones

externas generando así mayor prioridad y velocidad de este proceso ya que anteriormente se lo realizaba en modo contador. Con estas modificaciones se redujo en gran parte el error, pero de igual forma no se solucionó completamente.

Posteriormente se analizaron las señales entregadas por los sensores ópticos, ya que inicialmente se pensó que el error pudo haber sido causado por ruido eléctrico debido a las vibraciones y cables de alta tensión cerca del multipar que conduce las señales. Con la ayuda de un osciloscopio se verificó que la onda entregada por los dos sensores ópticos estaban libres de ruido eléctrico y la forma de onda de las señales eran las adecuadas (onda cuadrada).

Otro punto que se inspeccionó fue que posiblemente la columna de dirección no estuviera solidaria con el disco ranurado, generando así falsos pulsos eléctricos o movimientos, descartando un fallo de acople mecánico.

Finalmente se llegó a la conclusión de que el microcontrolador pierde pulsos de la señal entregada por el sensor, debido a la gran cantidad de procesos que tiene que realizar como prioridad de las interrupciones entre otros. Adicionalmente el proceso de grabado de datos en la tarjeta SD, produce un mínimo retardo de aproximadamente centésimas de segundo.

Se optó como solución cambiar el sensor digital por uno analógico (potenciómetro multivuelta) en donde no va existir pérdida de pulsos o señal, ya que este tipo de sensores siempre está entregando un voltaje variable de acuerdo a su posición o entrada, sin depender de la velocidad del PIC.

Para el acople de este nuevo sensor sobre la columna de dirección fue necesario reemplazar el disco ranurado por un conjunto de 2 piñones, en donde uno de ellos se lo colocó directamente sobre la columna de la dirección y el otro sobre el potenciómetro el mismo que recepta el movimiento transmitido por el piñón principal, como se lo puede apreciar en la figura 4.3.



Fig. 4.3. Reemplazo del sensor digital por un analógico tipo potenciómetro.

Fuente: El Autor.

Con estas modificaciones y reemplazo de los 2 sensores ópticos por un potenciómetro analógico se logró resolver por completo el problema antes descrito. Para ello se realizaron pruebas de maniobras de giros del volante de dirección en ambos sentidos de giro (derecha-izquierda) para conocer acerca de la exactitud que presenta el mismo, a continuación se muestra en la tabla 4.8 los datos registrados.

DERECHA			IZQUIERDA		
Volante de dirección (grados)	Valor del sensor (grados)	Desviación	Volante de dirección (grados)	Valor del sensor (grados)	Desviación
0	0	0	0	0	0
45	60	-15	45	36	9
90	96	-6	90	84	6
135	144	-9	135	120	15
180	192	-12	180	168	12
225	240	-15	225	216	9
270	276	-6	270	264	6
315	324	-9	315	312	3
360	372	-12	360	348	12

Tabla 4.8. Datos del sensor de dirección para cálculos.

Fuente: El Autor.

A continuación calculamos la desviación media:

$$d = \frac{|X1 - X| + |X2 - X| + \dots + |XN - X|}{N}$$

$$d = \frac{15 + 6 + 9 + 12 + 15 + 6 + 9 + 12}{8}$$

$$d = 10.5^\circ$$

Por lo tanto se puede concluir indicando que el sensor del volante de dirección, presenta un error entre el valor real del volante y el mostrado en la pantalla LCD en aproximadamente +/- 10.5° dependiendo del sentido de giro, se tiene que para giros hacia la derecha el error es positivo, es decir un incremento en la medida, para giros hacia la izquierda presenta un error negativo, es decir un decremento en su valor.

Una vez que se ha conocido acerca de datos técnicos de este sensor, se procede a comprobar su funcionamiento realizando maniobras de giro del volante hacia la derecha e izquierda de tope a tope, se muestran estos datos en la gráfica siguiente:

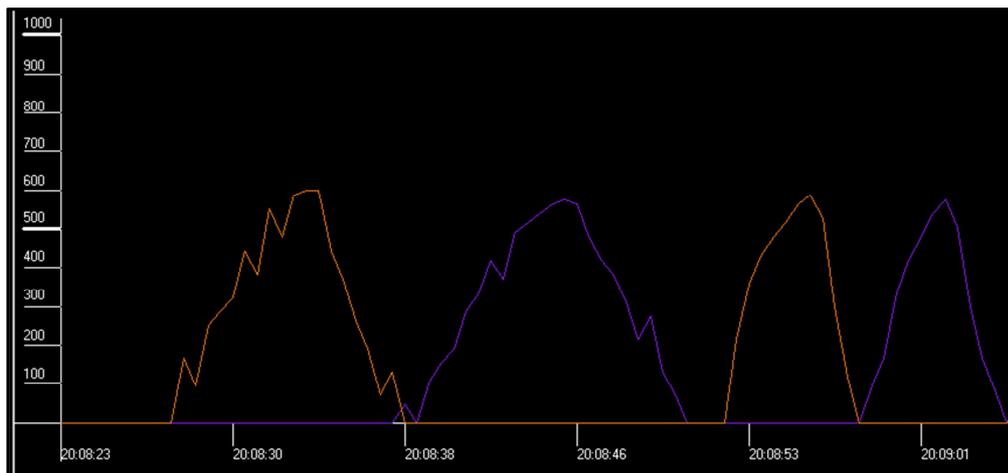


Fig. 4.4. Gráfica de datos del sensor del volante de dirección.

Fuente: El Autor.

De la gráfica 4.4, se muestra un inicio en 0 grados de giro del volante de dirección, seguidamente se empieza a girar hacia la derecha (línea de color naranja), se realiza

su máximo giro hasta aproximadamente 600 grados de giro, es decir aproximadamente 1,5 vueltas del volante, posteriormente se empieza a retornar el volante hasta empezar ahora el giro hacia la izquierda (línea de color purpura), e igualmente se tiene que su tope máximo de giro es de aproximadamente 600 grados.

En la misma gráfica pero hacia el lado derecho se tiene la misma prueba de giro de tope máximo de derecha hacia izquierda pero a mayor velocidad por lo que las gráficas son muy similares en forma y valores obtenidos.

4.2.3 Pruebas del sensor de inclinación del vehículo.

En este caso, el sensor requirió previamente ser calibrado ya que los valores visualizados no concordaban con la realidad debido a un falso montaje que produjo un desprendimiento del sensor sobre su base, procediendo a reubicarlo simplemente desplazándolo hacia un anclaje fijo.

Una vez realizados estos cambios se procedió nuevamente a obtener lecturas de este sensor, donde se detectó que el sensor funciona solamente cuando el vehículo está en modo estático. Pero al producirse el movimiento del mismo, produce errores de lectura ya que este empieza a funcionar en modo de aceleración dinámica, por lo tanto se concluyó que este tipo de sensor tiene otros tipos de usos como por ejemplo: medición de aceleraciones y desaceleraciones, medición de fuerzas G en impactos, etc.

Al consultar la hoja de datos de este sensor, no se encontró información referente a los cambios de aceleración estática y dinámica cuando este es sometido a movimiento, por lo que se optó por utilizar este sensor como medidor de inclinaciones, debido principalmente a la escasez tecnológica actual, dejando así libre apertura para futuros proyectos mejorar este tipo de sensor.

4.2.4 Pruebas del sensor de sentido de circulación.

Como se indicó en el capítulo anterior, este sensor va montado sobre la caja que contiene todo los elementos electrónicos. Para comprobar sus lecturas se procedió a verificar los datos de este sensor y para ello se realizó un recorrido por la autopista Cuenca-Azogues, y cuyos datos obtenidos se muestran a continuación:

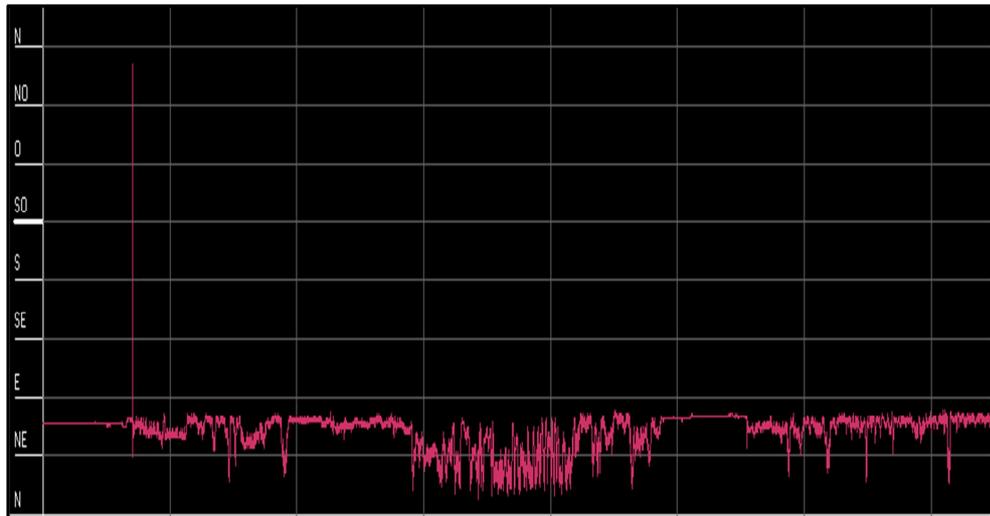


Fig. 4.5. Datos del sensor de sentido de circulación del vehículo.

Fuente: El Autor.

En la figura 4.5 se muestra que la señal del sensor indica que el vehículo ha viajado proximadamente entre el norte y noreste, para comprobar esta información se utilizó un GPS recorriendo el mismo trayecto. En la figura 4.6 se corrobora esto ya que la autopista Cuenca-Azogues geográficamente tiene ese sentido.

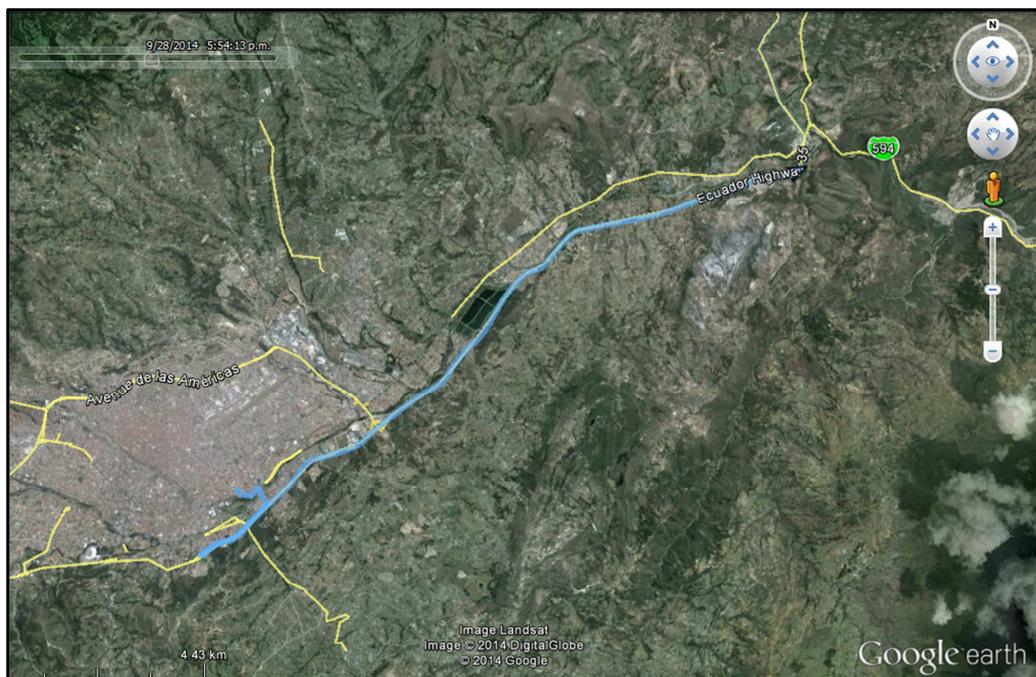


Fig. 4.6. Recorrido Cuenca-Azogues.

Fuente: El Autor.

Gracias a esta información se puede determinar que dirección sigue un vehículo momentos previos a un accidente en donde dependiendo de la magnitud del mismo puede o no cambiar su trayectoria pudiendo generar falsas hipótesis por escases de evidencias o testigos, afectando directamente el resultado final de las investigaciones.

4.2.5 Pruebas del sensor de RPM del motor de combustión interna.

Este sensor al compararlo con el tacómetro original que posee el vehículo, no presentó problemas en cuanto a precisiones, corroborándolas al observar en las imágenes expuestas a continuación con distintos valores de R.P.M del motor de combustión interna.

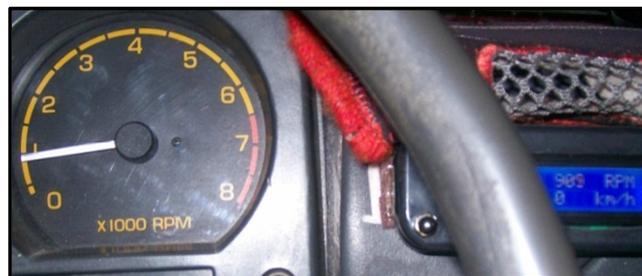


Fig. 4.7. Medición de RPM en ralentí.

Fuente: El Autor.



Fig. 4.8. Medición a 2000 RPM.

Fuente: El Autor.



Fig. 4.9. Medición a 3000 RPM.

Fuente: El Autor.

Veamos a continuación los datos obtenidos por este sensor en la figura 4.10.

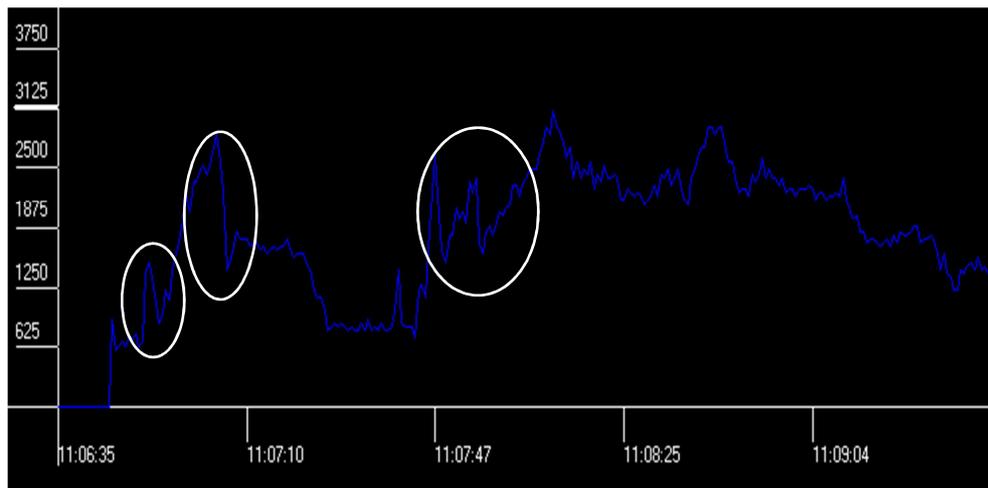


Fig. 4.10. Datos del sensor de RPM del motor de combustión interna.

Fuente: El Autor.

La figura mostrada es un trayecto realizado por el vehículo en la que se puede apreciar que las R.P.M empiezan desde cero, es decir el sistema estaba recolectando datos mientras el vehículo permaneció apagado. Posterior a ello se observa el encendido del motor, por lo que se obtienen valores inicialmente de entre 700-800 R.P.M aproximadamente, siendo estos valores correctos ya que se encuentra en la etapa de ralentí. Posterior a ello se pueden apreciar picos de subida de RPM (círculos blancos en la imagen), los mismos que corresponden a diferentes maniobras de avances o reducciones de marchas del vehículo, observando los diferentes valores de carga del motor a lo largo del trayecto.

Se puede realizar un análisis más minucioso de la imagen en donde se puede decir que el cambio de marchas se lo realiza aproximadamente a las 3000 R.P.M, por lo tanto según las especificaciones de este motor (G13A), se obtiene el par máximo de 100Nm a 3.500 R.P.M y potencia máxima de 63,8 CV a 6000 R.P.M, lo que indica que no se está optimizando la conducción de acuerdo a los parámetros antes mencionados.

Cabe mencionar que los valores establecidos por el fabricante están dados en base a pruebas de los motores en laboratorios a nivel del mar, es decir estos valores tendrán una variación para nuestra situación geográfica (aprox. 2.550 msnm) siendo

necesarias nuevas pruebas en un banco dinamométrico de acuerdo a estas y otras condiciones.

4.2.6 Pruebas del sensor de velocidad.

Se tiene que este sensor presenta un error de aproximadamente 8 Km/h con relación al velocímetro original que posee el vehículo. Este error se produce debido a los siguientes parámetros:

- Cambio de los neumáticos originales (205/70R15) por otros de mayor tamaño (215/75R15).
- La velocidad del vehículo mostrada en la pantalla LCD, se actualiza en un menor tiempo en comparación con el velocímetro del vehículo.

Para conocer el error en la visualización del velocímetro del vehículo, por el cambio de neumáticos a continuación se procede a realizar un cálculo:

Al tener una medida original del neumático de 205/70R15 y aplicando la fórmula de cálculo de radio del mismo se obtiene:

$$R = 1/2 (15'' \times 25,4 \text{ mm} + 2 \times 205 \text{ mm} \times 0,70\%)$$

$$R = 334 \text{ mm.}$$

$$R = 0,334 \text{ mts.}$$

Ahora al realizar el mismo cálculo pero con la medida del neumático de 215/75R15 se obtiene un radio de:

$$R = 1/2 (15'' \times 25,4 \text{ mm} + 2 \times 215 \text{ mm} \times 0,75\%)$$

$$R = 351 \text{ mm.}$$

$$R = 0,351 \text{ mts.}$$

Entonces se tiene que el radio del neumático actual es 17 centímetros mayor que el radio original del fabricante, es decir aproximadamente un 5% de mayor diámetro. Se procede a realizar el cálculo del error generado por ello.

Suponiendo que se tiene un giro de 750 R.P.M sobre el eje de salida hacia las ruedas motrices (semieje) se tiene teóricamente lo siguiente:

Velocidad angular (w) = $(2 * \pi * n)/60$ (rad/seg), siendo:

n = numero de rpm.

$$w = (2 * \pi * 750)/60$$

$$w = 78,54 \text{ rad/seg.}$$

Velocidad lineal = $w * r$, siendo:

w = velocidad angular.

r = radio del neumático original.

$$V1 = 78,54 \text{ rad/seg} * 0,334 \text{ mts}$$

$$V1 = 26,23 \text{ m/s} * 3,6 \text{ (km/h)}$$

$$V1 = 94,44 \text{ km/h.}$$

Ahora se realiza el mismo cálculo pero con el radio del neumático modificado:

$$V2 = 78,54 \text{ rad/seg} * 0,351 \text{ mts}$$

$$V2 = 27,57 \text{ m/s} * 3,6 \text{ (km/h)}$$

$$V2 = 99,24 \text{ km/h.}$$

A continuación se procede a calcular el error absoluto con la siguiente fórmula:

Error absoluto = Medida real – valor medido

$$\text{Error absoluto} = 99,24 - 94,44 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\text{Error absoluto} = 4,8 \text{ Km/h.}$$

Entonces se puede decir que existe un error de aproximadamente 5 km/h de la velocidad real a la que circula el vehículo con respecto al indicada en el velocímetro original.

A continuación calculamos el error relativo o porcentual generado por ello, se tiene:

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{error absoluto}}{\text{valor real}} \times 100\%$$

$$\text{Error relativo} = \frac{4,8 \text{ km/h}}{99,24 \text{ km/h}} \times 100\%$$

$$\text{Error relativo} = (0,048) \times 100\%$$

$$\text{Error relativo} = \mathbf{4,83 \%}$$

Del cálculo realizado se puede decir que el velocímetro original del vehículo presenta un error de aproximadamente un 5% de la velocidad original a la que circula el vehículo producto del cambio de neumáticos. Cabe mencionar que este error está dentro del límite permitido por fabricantes automotrices en cuanto a instrumentación se trata.

Una vez que se conoce acerca del error de lectura presente sobre el velocímetro del vehículo, se procede a visualizar los datos obtenidos por dicho sensor.

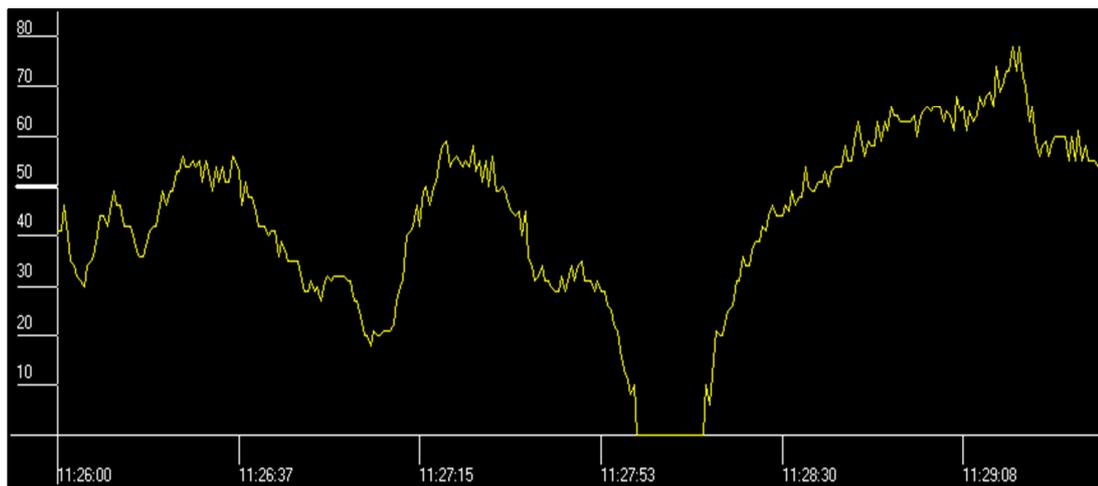


Fig. 4.11. Datos del sensor de velocidad del vehículo.

Fuente: El Autor.

La figura 4.11 pertenece a un pequeño trayecto en el que se puede visualizar claramente la señal que varía en función del tiempo, teniendo diferentes velocidades. Se puede apreciar también en la mitad de la gráfica que la velocidad desciende progresivamente hasta llegar a cero y se mantiene así debido a eventualidades tales como: señal de tránsito de pare, vehículo llegando a una intersección, semáforos en luz roja, etc.

Dado que la señal desciende progresivamente se puede considerar que el conductor no se encontró con ninguna eventualidad de emergencia, información que se lo puede constatar con la ayuda de la gráfica del pedal de freno que a continuación se muestra:

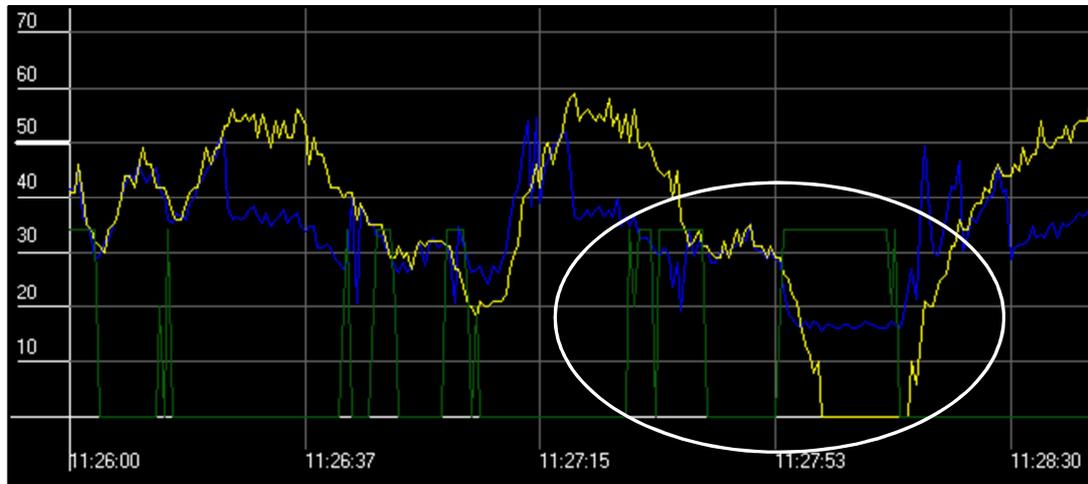


Fig. 4.12. Análisis de velocidad del vehículo y pulsación de freno.

Fuente: El Autor.

En la figura 4.12 se nota claramente que se pulsa el pedal de freno con una intensidad media descendiendo la velocidad del vehículo en primera instancia desde aproximadamente 55 Km/h hasta 35 Km/h. En una segunda etapa se reduce desde aproximadamente 35 Km/h hasta 0 Km/h. Con esta información se respalda la teoría anteriormente dicha, con lo que se puede concluir que el conductor actuó de forma pasiva reduciendo la velocidad con anterioridad sin desgaste excesivo del sistema de frenos.

4.3 PROCEDIMIENTOS DE LA O.I.A.T. ANTE ACCIDENTES DE TRÁNSITO.

En la actualidad todos los organismos de socorro y emergencias se encuentran unificados en la central del ECU 911, el mismo que tiene como finalidad la de recibir mediante una llamada telefónica u otro medio, toda clase de emergencias que se presenten y a su vez designar al organismo competente según sea la emergencia o necesidad, coordinando acciones de una manera más rápida y eficiente.

Entonces ante un accidente de tránsito, dependiendo de la magnitud del mismo, acuden diferentes organismos tales como:

- Bomberos.
- Cruz roja.
- Ministerio de salud.
- Agentes de tránsito (EMOV).
- Oficina de Investigación de Accidentes de Tránsito (OIAT)
- Policía Nacional.
- Fuerzas Armadas, entre otros.

Los agentes de tránsito, son los encargados de la recopilación de datos de la escena del accidente como por ejemplo:

- Versión de los acontecimientos por parte de los conductores implicados.
- Versión de testigos que presenciaron el accidente, si lo hubiesen.
- Vestigios e indicios de la escena.
- Ubicación y magnitud de los daños en los vehículos, etc.

Con esta información proceden a elaborar el parte policial de tránsito, en donde se detalla toda la información de los conductores y vehículos, el mismo que es enviado a la fiscalía de tránsito, en donde mediante la OIAT, el fiscal solicita a los peritos e investigadores que realicen un informe técnico para su posterior juzgamiento.

4.3.1 Informe técnico de la O.I.A.T.

La OIAT es enviada al lugar del accidente mediante una instrucción fiscal, en la que consta las peticiones del fiscal hacia los peritos e investigadores, y estos a su vez realizan las siguientes acciones:

- **Reconocimiento:** Este consta de una inspección ocular en el lugar del accidente de tránsito, detallando información como: existencia de señales de tránsito, condiciones de la calzada, presencia de cámaras, semaforización. etc. Dentro de este informe también se realiza un avalúo de los daños materiales de los vehículos. Si hubiese daños materiales de bienes públicos, la empresa competente se encargará del avalúo correspondiente.
- **Investigación:** Esta es más detallada que la anterior. Aquí es donde se explican criterios técnicos tales como:

Mediciones de huellas; estas pueden ser: de frenado, de secado, de derrape, de aceleración, entre otras.

Condiciones mecánicas de los vehículos; aquí se especifica condiciones de sistemas como: estado del sistema de alumbrado del vehículo, estado de la banda de rodadura de los neumáticos, estado general del vehículo, etc.

Condiciones de la vía; se detalla información respecto a radios de curvatura, porcentaje de inclinación de pendientes, señales de tránsito existentes, tipo de calzada (concreto, asfalto, adoquín, grava), condiciones meteorológicas sobre la calzada, visualización de los conductores, etc.

Medición de los daños mecánicos de los vehículos; para ellos se divide al vehículo en tres zonas: frontal, medio y posterior (para vistas frontales, se subdivide en superior, medio e inferior) especificando el lugar del impacto. También se emite un avalúo aproximado de los daños sufridos por el vehículo o bienes públicos.

Dinámica del accidente; esta parte se realiza mediante un croquis, las diferentes etapas de transición del accidente, especificando todas las condiciones anteriores.

- **Reconstrucción y simulación:** Esta etapa es la más detallada de las anteriores en donde se utiliza software computacional para la reconstrucción del accidente con la introducción de los datos anteriores, entonces de esta forma el fiscal o juez tienen mayor apreciación de lo ocurrido según los informes técnicos, pudiendo determinar su veredicto final.

Cabe mencionar que la reconstrucción y simulación no es muy practicada en nuestro medio debido a falta de recursos y personal capacitado con un nivel técnico o superior. Entonces entre las acciones de reconocimiento e investigación que se realizan, tenemos que las de mayor importancia son:

- Medición de la huella de frenado, para un estimado de la velocidad que circulaba el vehículo momentos previo a la colisión. Cabe mencionar que en accidentes en donde no existen huellas de frenado, los investigadores deducen un estimado de la velocidad según los daños materiales y experiencia de los mismos.

- Pruebas de alcoholemia, es un examen para detectar el porcentaje de alcohol en la sangre y el alcohótest que permite determinar la cantidad de alcohol en aire expirado.

Según el nuevo Código Orgánico Integral Penal (COIP), sobre este tema en particular, menciona lo siguiente:

“Artículo 385.- Conducción de vehículo en estado de embriaguez.- La persona que conduzca un vehículo en estado de embriaguez, será sancionada de acuerdo con la siguiente escala:

- Si el nivel de alcohol por litro de sangre es de 0,3 a 0,8 gramos, se aplicará multa de un salario básico unificado del trabajador en general (340 USD), pérdida de cinco (5) puntos en su licencia de conducir y cinco (5) días de privación de libertad.
- Si el nivel de alcohol por litro de sangre es mayor de 0,8 hasta 1,2 gramos, se aplicará multa de dos salarios básicos unificados del trabajador en general (680 USD), pérdida de diez (10) puntos en su licencia de conducir y quince (15) días de privación de libertad.
- Si el nivel de alcohol por litro de sangre supera 1,2 gramos, se aplicará multa de tres (3) salarios básicos unificados del trabajador en general (1.020 USD), la suspensión de la licencia por sesenta (60) días y treinta (30) días de privación de libertad.
- Para las o los conductores de vehículos de transporte público liviano o pesado, comercial o de carga, la tolerancia al consumo de cualquier sustancia estupefaciente, psicotrópica o preparado que las contengan es cero, y un nivel máximo de alcohol de 0,1 gramos por cada litro de sangre. En caso de exceder dicho límite, la sanción para el responsable será, pérdida de treinta (30) puntos en su licencia de conducir y pena privativa de libertad de noventa (90) días.

Además, en todos estos casos, como medida preventiva se aprehenderá el vehículo por veinticuatro (24) horas.”⁸.

Vestigios o indicios, son aquellos rastros o señales que pudieron ocasionar el accidente, pero mientras no exista prueba alguna son solo

⁸ Fuente: <http://www.ecuador-vial.com/las-infracciones-de-transito-en-el-codigo-organico-integral-penal-coip>.

hipótesis, ejemplos tenemos: botellas de alcohol en el interior del vehículo, vidrios polarizados, consumo de medicamentos o drogas durante la conducción, etc.

Entonces los peritos e investigadores en sus informes técnicos detallan dos circunstancias que son las que mayor interés y validez tienen para el fiscal o juez, estas son:

- **Causa basal o eficiente:** Es aquella circunstancia que interviene de forma directa en la producción de un accidente de tránsito y sin la cual no se hubiera producido el mismo, ejemplos tenemos:
 - No respetar las señales de tránsito.
 - No respetar los límites de velocidad.
 - Manejar en estado de embriaguez.
 - Manejar bajo efecto de sustancias médicas o estupefacientes.
 - Condiciones mecánicas del vehículo en mal estado, etc.
- **Casusa concurrente o coadyuvante:** Son aquellas circunstancias que por sí mismas no producen el accidente pero coadyuvan a su materialización ejemplos tenemos:
 - Contestar llamadas telefónicas mientras se conduce.
 - Condiciones físicas (cansancio, persona alterada).
 - Poseer vidrios polarizados.
 - Conducir un vehículo en malas condiciones mecánicas, etc.

En base a estas dos causas presentadas en los informes técnicos, el juez toma decisiones acerca de la culpabilidad y castigos para el conductor ya sean estos económicos o prisión según la magnitud y condiciones antes descritas.

4.4 PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL PROTOTIPO CONJUNTAMENTE CON LA O.I.A.T.

Para realizar las pruebas de funcionamiento de este dispositivo, se logró la colaboración de la OIAT, organismo encargado en su totalidad de todo lo referente a accidentes de tránsito en la provincia del Azuay. Para ello se tuvo una sesión previa en donde se trató acerca de la planificación de las pruebas a realizarse. También se dio a conocer acerca de la instrumentación y software utilizado para la

reconstrucción de accidentes de tránsito y de igual forma se informó acerca de las normas básicas de seguridad.

A continuación se muestra el informe emitido por la OIAT después de las pruebas realizadas conjuntamente.

**INFORME DE LA OFICINA DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES DE
TRANSITO AZUAY.**

Oficio#1592-JVML-OIAT-CTE-A-2014
Cuenca, 16 de septiembre del 2014

Señores
Universidad Politécnica Salesiana
Ciudad.-

De nuestras consideraciones.-

Previo atento y cordial saludo, sírvase recibir adjunto al presente informe referente a la solicitud de brindar las facilidades al señor Diego García estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana, de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz para las prueba experimental del Prototipo **"Dispositivo para almacenamiento de variables durante la conducción"** se han realizado las actividades el día martes 16 de septiembre desde las 10:00 a.m. hasta las 12:00 a.m. aprox. con los siguientes resultados:

PRUEBA EXPERIMENTAL

"Dispositivo de almacenamiento de variables durante la conducción"

HORA INICIO: 10:00 AM
HORA FINAL: 12:00 AM
Av. 24 de Mayo, frente hospital
LUGAR : IESS

Participantes:	Institución:	Prototipo:
Sr. Diego García	Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.	Suzuki Año 1985 Samurái modelo SJ-413
Tnt. José Morán Vgte. S. Peralta	OIAT-CTE Jefe OIAT-CTE perito	Placas: IBJ-0362
Vgte. C. Naula Vgte. G. Rosero Vgte. F. Mendoza	OIAT-CTE perito OIAT-CTE perito OIAT-CTE perito	Patrullero: X-232 OIAT-CTE
Vgte. J. Rivera	OIAT-CTE perito	

Se realizó tres pruebas documentadas en video, sobre la Av. 24 de mayo, en sentido Oeste-este del cantón Cuenca, provincia del Azuay en un plano horizontal con una distancia de recorrido de la prueba de 200 mts aprox.

El participante, masculino, conductor en estado normal ubicado en tiempo y espacio.

AV. 24 DE MAYO.

CONDICIONES DE FUNCIONABILIDAD:

Volumen vehicular:	Moderado.
Volumen Peatonal:	Moderado.
Movilidad vehicular:	Normal.
Movilidad peatonal:	Normal.
TIEMPO:	Cielo despejado, Día.
VISIBILIDAD:	Buena.
COMPORTAMIENTO:	Descongestionado.
VISUAL:	Buena

SENTIDO Y DIRECCIÓN DEL TRÁNSITO:	De doble sentido de circulación vehicular, con dirección Oeste-Este y viceversa.
CONSTITUCIÓN:	Vía artificial, de asfalto flexible, seco, buen estado.
NÚMEROS DE CARRILES:	02 carriles.

PARA LO CUAL SE UTILIZÓ LA SIGUIENTE LOGÍSTICA:

- El Jeep de placas IBJ-0362 (prototipo)
- La camioneta de X-232 de la OIAT-Azuay de la Comisión de Tránsito.
- Equipo de aislamiento conos.
- Distanciómetro laser, odómetro.
- Cámaras digitales.

DEMOSTRANDO EN EL TERRENO.

- Desplazamiento del móvil (trayectoria de vectores)
- Simulación del proceso de frenado.
- Medición y cálculo comparativo del software.

FÓRMULAS UTILIZADAS:

Vh = Velocidad inicio de huella frenada

Vr = Velocidad Real

$$\sqrt{2(g \cdot u \cdot d)}$$

$$Vh + \frac{g \cdot u \cdot t^2}{2}$$

TABULACIÓN DE INFORMACIÓN REGISTRADA

N°	Distancia recorrida de prueba (m).	Distancia de frenado (m).	Velocidad calculada por el perito (km/h).	Velocidad registrada por el dispositivo (Km/h).	Tiempo de frenado (s)	Tiempo de recorrido (s).	Error porcentual (%).
1	200	14,30	55,45	57	4	50	2,73
2	200	19,30	63,95	68	4	45	5,96
3	200	21,40	67,16	74	3	41	9,24

Tabla 4.9. Tabulación de datos de la OIAT.

Fuente: OIAT-CTE.

CROQUIS PLANIMETRICO DEL LUGAR DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL

Ciudad de Cuenca, cantón Cuenca, provincia del Azuay.

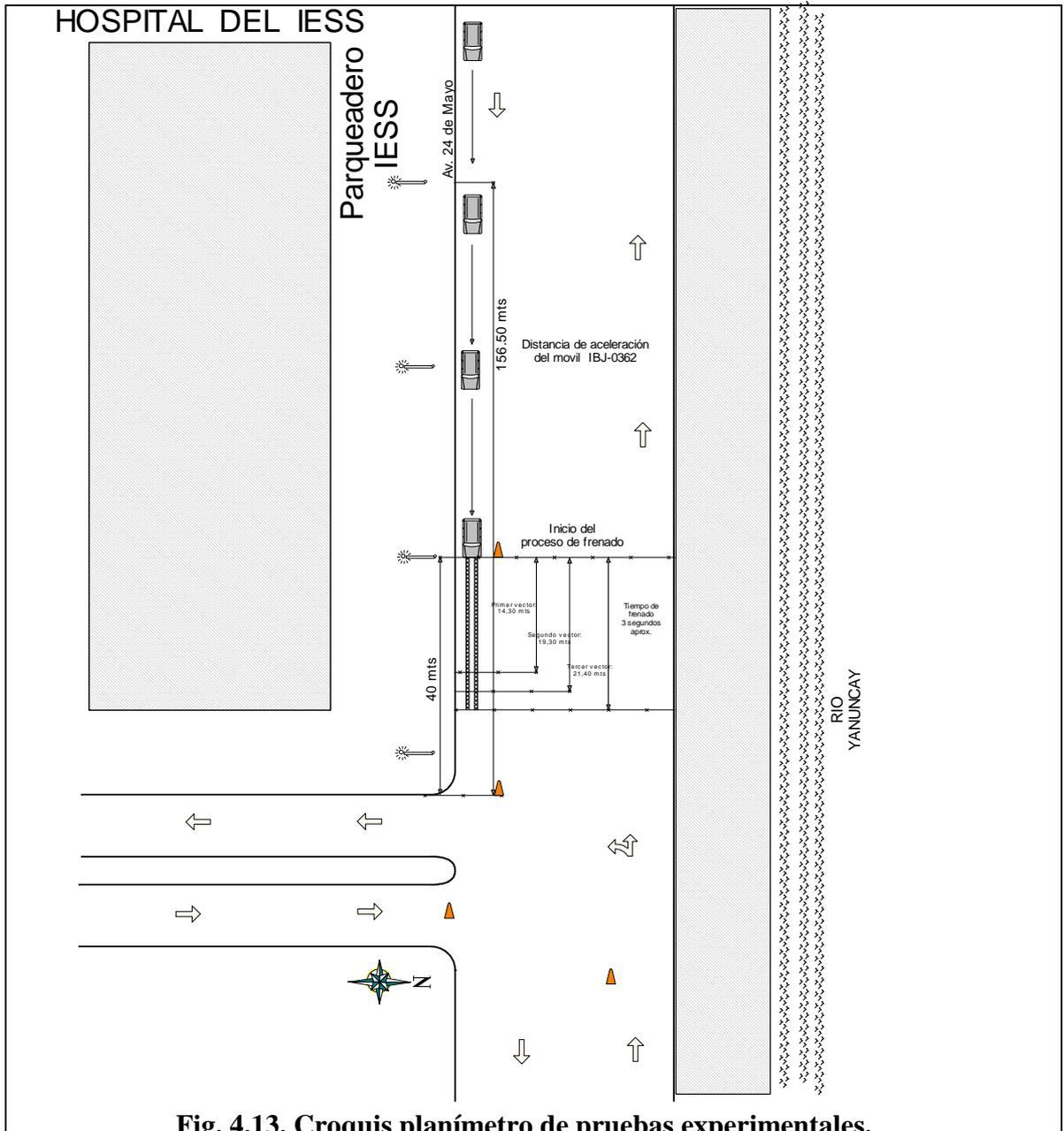


Fig. 4.13. Croquis planímtrico de pruebas experimentales.



Sección técnica de Planimetría OIAT-Azuay

Escala: 1:1000

Elaborado por: Tnt. Anl. Sist. J. Morán

SIMULACIÓN DE LA TRAYECTORIA DEL PROTOTIPO



Fig. 4.14. Imágenes de las pruebas efectuadas.

Fuente: OIAT-AZUAY.

Conclusiones:

Los resultados obtenidos del cálculo del modelo matemático de la velocidad por distancia de frenado y velocidad real del vehículo, al compararlos con la lectura del software del dispositivo, se establece que existe un margen mínimo de error porcentual indicados en la tabla adjunta, por cuanto se deduce que el **funcionamiento del dispositivo almacenamiento de variables durante la conducción es correcto** y está de acuerdo a la prueba establecida.

Es todo lo que podemos informar en honor a la verdad.

Dios, Patria y Libertad,

Sr. Insp. Rafael Santamaría S.

JEFE PROVINCIAL

OIAT-AZUAY

PERITO-INVESTIGADOR

Sr. Sub-Insp. 1 José Morán L.

SUB-JEFE PROVINCIAL

OIAT-AZUAY

PERITO-INVESTIGADOR

4.4.1 Datos registrados por el dispositivo.

Cabe mencionar que ciertos datos tabulados en el informe de la OIAT como tiempo de frenado y velocidad, están dados en base a lo registrado por el dispositivo, durante la prueba 2 como se muestra a continuación:

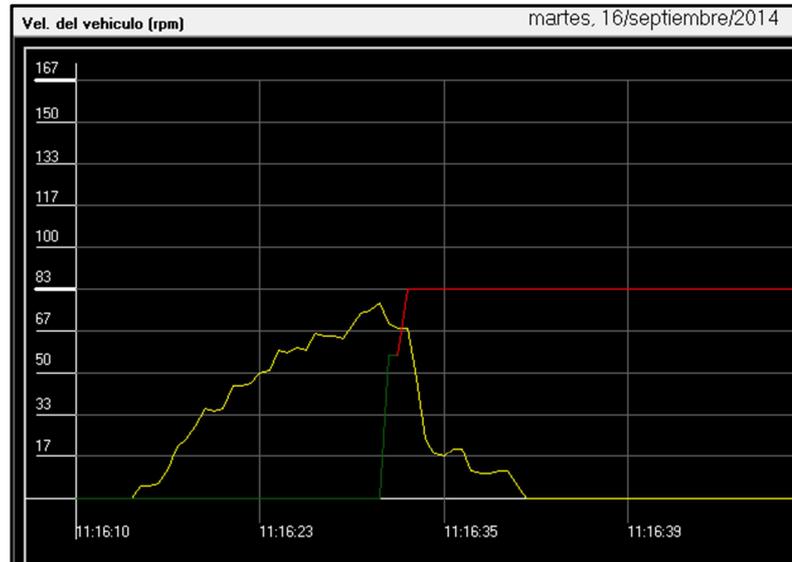


Fig. 4.15. Gráfica de velocidad y pulsado de freno en prueba 2.

Fuente: El Autor.

Como se muestra en la gráfica 4.15 se observa que la velocidad del vehículo (línea de color amarillo) empieza en 0 Km/h e incrementa en función del tiempo hasta aproximadamente una velocidad de 70 Km/h, entonces en este momento el conductor presiona el pedal de freno con una intensidad de frenado de emergencia (línea de color rojo), disminuyendo su velocidad hasta detener el vehículo por completo, para tener mayor precisión, se consulta la base de datos en el rango de hora señalada:

Fecha	Hora	Freno	Pulsante	Vel. (Km/h)	RPM
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:13	L	0	0	1160
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:14	L	0	5	960
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:15	L	0	5	1000
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:16	L	0	6	1360
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:16	L	0	12	2080
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:17	L	0	21	2840
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:18	L	0	24	3760
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:18	L	0	29	4520
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:19	L	0	36	4480
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:20	L	0	35	2760
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:20	L	0	36	3320
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:21	L	0	45	3560
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:22	L	0	45	3720
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:23	L	0	46	3920
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:23	L	0	50	4200
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:24	L	0	51	4480
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:25	L	0	59	4320
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:26	L	0	58	3520
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:26	L	0	60	3680
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:27	L	0	59	3720
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:28	L	0	66	3800
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:28	L	0	65	4080
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:29	L	0	65	3840
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:30	L	0	64	4120
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:31	L	0	69	4120
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:31	L	0	74	4200
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:32	L	0	75	4520
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:33	L	0	78	4400
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:33	M	1	70	4240

Tabla 4.10. Análisis de la base de datos de velocidad inicial y final.

Fuente: El Autor.

Durante el proceso de frenado siempre estarán presentes reacciones del conductor, tales como percepción de peligro, lo que hace decidir presionar el pedal de freno inmediatamente; esto se lo conoce como tiempo de reacción del conductor cuyos valores se los puede apreciar en la tabla siguiente:

Tiempo de reacción (s)			
Edad (años)	Día	Noche	Noche y vehículos en sentido contrario
18 – 25	0,5	0,8	1
26 – 40	1	1,3	1,5
41 – 55	1,5	1,8	2
56 o más	2,0	2,3	2,6

Tabla 4.11. Tiempos de reacción durante la conducción.

Fuente: <http://www.causadirecta.com/especial/tiempos-de-reaccion/tiempos-de-reaccion-en-funcion-de-la-edad-y-de-las-condiciones-de-visibilidad>.

Estos valores también pueden variar debido a las condiciones en las que se encuentra la persona como por ejemplo su estado de ánimo, ingesta de drogas o bebidas alcohólicas, etc.

También dentro de los cálculos existe un tiempo de reacción del sistema de frenos, es decir existe un tiempo desde que se inicia la acción sobre el sistema, hasta que éste actúa. Este es el tiempo empleado en aproximarse las zapatas y pastillas hacia los tambores y discos, siendo este de aproximadamente 0,3 segundos.

De la tabla 4.10, se observa que el vehículo arranca a las 11:16:13 y a las 11:16:33 alcanza una velocidad de 70Km/h, es decir a este vehículo le tomó 20 segundos conseguir esta velocidad. Se menciona que dadas las condiciones presentes y aerodinámicas del mismo, este necesita de mayor tiempo para alcanzar grandes velocidades. En ese momento se presiona el pedal de freno con intensidad emergente, finalizando esta acción a las 11:16:37 (4 segundos) en donde se disminuye la velocidad hasta 0 Km/h. Este tiempo de 4 segundos es el tiempo total de frenado, es decir la sumatoria total de los tiempos de reacción antes mencionados.

Fecha	Hora	Freno	Pulsante	Vel. (Km/h)	RPM
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:33	M	1	70	4240
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:33	M	1	68	3600
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:34	E	1	68	3600
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:34	E	1	48	2880
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:34	E	1	24	2400
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:35	E	1	18	1920
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:35	E	1	17	1680
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:35	E	1	20	1360
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:35	E	1	20	1120
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:35	E	1	11	960
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:36	E	1	10	880
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:36	E	1	10	840
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:36	E	1	11	880
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:36	E	1	11	880
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:37	E	1	5	920
martes, 16 de septiembre de 2014	11:16:37	E	1	0	920

Tabla 4.12. Análisis de la base de datos de velocidad y pulsación del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

Todo el evento tuvo una duración de aproximadamente 24 segundos.

Durante la tercera prueba realizada se obtuvieron los siguientes datos que a continuación lo analizamos:

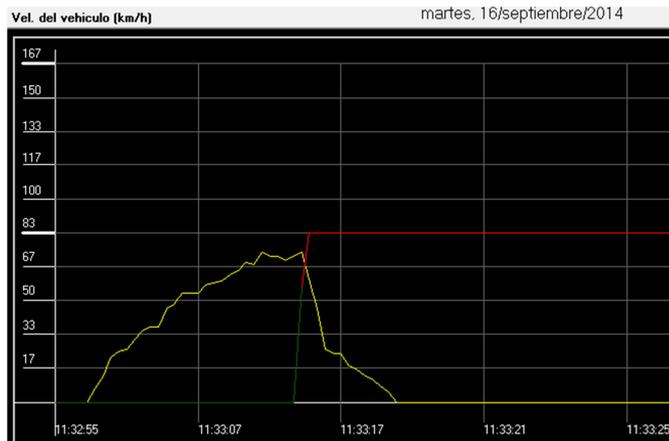


Fig. 4.16. Grafica de velocidad y pulsado de freno.

Fuente: El Autor.

De la figura 4.16 se deduce que el conductor llegó a una velocidad de aproximadamente 70 Km/h. En este punto se produce el frenado de emergencia y consecuentemente se detiene el vehículo, se procede a revisar la base de datos para mayor información.

Fecha	Hora	Freno	Pulsante	Vel. (Km/h)
martes, 16 de septiembre de 2014	11:32:57	L	0	0
martes, 16 de septiembre de 2014	11:32:57	L	0	7
martes, 16 de septiembre de 2014	11:32:58	L	0	13
martes, 16 de septiembre de 2014	11:32:59	L	0	22
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:00	L	0	25
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:00	L	0	26
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:01	L	0	31
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:02	L	0	35
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:02	L	0	37
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:03	L	0	37
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:04	L	0	46
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:05	L	0	48
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:05	L	0	54
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:06	L	0	54
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:07	L	0	54
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:07	L	0	58
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:08	L	0	59
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:09	L	0	60
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:10	L	0	63
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:10	L	0	65
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:11	L	0	69
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:12	L	0	68
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:12	L	0	74
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:13	L	0	72
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:14	L	0	72
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:15	L	0	70
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:15	L	0	72
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:16	M	1	74

Tabla 4.13. Análisis base de datos de velocidad inicial y final.

Fuente: El Autor.

El vehículo arranca a las 11:32:57, incrementando su velocidad hasta alcanzar los 74 Km/h a las 11:33:16 (19 segundos) según los datos obtenidos y en este punto se presiona el pedal de freno con las características antes descritas como se observa a continuación:

martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:16	M	1	74	3040
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:16	E	1	61	2680
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:16	E	1	46	2240
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:17	E	1	26	1880
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:17	E	1	24	1440
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:17	E	1	24	1440
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:17	E	1	18	880
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:17	E	1	16	760
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:18	E	1	13	800
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:18	E	1	11	760
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:18	E	1	8	840
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:18	E	1	5	760
martes, 16 de septiembre de 2014	11:33:19	E	1	0	800

Tabla 4.14. Análisis de la base de datos de velocidad y pulsación del pedal de freno.

Fuente: El Autor.

Al finalizar el frenado a las 11:33:19, es decir en 3 segundos, se puede argumentar que esta disminución en el tiempo es debido a situaciones tales como: neumáticos más calientes mejorando el efecto de frenado, mayor resistencia al avance, etc.

Mediante un simple cálculo aplicando la fórmula que a continuación se muestra, se procede a calcular la aceleración y desaceleración del vehículo para las pruebas anteriores:

$$Aceleración = \frac{Vf - Vi}{t}$$

Dónde:

$Vf = velocidad\ final.$

$Vi = velocidad\ inicial.$

$t = tiempo.$

Obteniendo los resultados mostrados en la tabla 4.15.

N° prueba	Datos aceleración	Datos frenado
2	Vi = 0 km/h (0 m/s)	Vi = 70 Km/h (19,4 m/s)
	Vf = 70 Km/h (19,4 m/s)	Vf = 0 km/h (0 m/s)
	t = 20 segundos	t = 4 segundos
3	Vi = 0 km/h (0 m/s)	Vi = 74 Km/h (20,56 m/s)
	Vf = 74 Km/h (20,56 m/s)	Vf = 0 km/h (0 m/s)
	t = 19 segundos	t = 3 segundos

Tabla 4.15. Datos de aceleración y frenado.

Fuente: El Autor.

Con los datos de la tabla anterior, se procede a calcular la aceleración y desaceleración, como se muestra a continuación:

N° prueba	Aceleración	Desaceleración
2	0,97 m/s ²	4,85 m/s ²
3	1,08 m/s ²	6,85 m/s ²

Tabla 4.16. Resultados de aceleración y desaceleración del vehículo.

Fuente: El Autor.

Según la American Association Highway and Transportation Officials y diversos autores, se obtienen los siguientes datos para conocer acerca del estado de frenos en función de la desaceleración.

- “Frenos en perfecto estado mayores a 6 m/s².
- Frenos en buen estado iguales a 5 m/s².
- Frenos en regular estado iguales a 4 m/s².
- Frenos en mal estado iguales o menores a 3 m/s²”.⁹

Como resultado de la tabla 4.16 se observa claramente que este tipo de vehículos al no ser aerodinámicos, el resultado se ve afectado con una muy baja aceleración, necesitando de más tiempo y pista para obtener altas velocidades; en cuanto a la desaceleración generada por el vehículo, se puede decir que el sistema de frenos se encuentra en buen estado según los valores de la tabla y valores del estado de frenos.

⁹ Fuente: <http://xn-- analisisdehuellasdefrenado-dlc.blogspot.com/>

CONCLUSIONES.

Después de haber investigado, construido y experimentado el dispositivo propuesto en este tema de tesis, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Dado el incremento vehicular y diferentes tendencias de conducción, es necesario la inclusión de dispositivos en los automotores como el elaborado en el presente tema, facilitando labores de investigación en cuanto a accidentes de tránsito se refiere, brindando mayor cantidad de datos de carácter técnico y reduciendo así el tiempo empleado en el levantamiento de la información.
- Cuando se realizaron las pruebas de campo del dispositivo prototipo conjuntamente con la O.I.A.T, se demostró que los vehículos que poseen un sistema de frenos convencionales al pulsar el pedal de freno ante una situación de emergencia (máxima fuerza muscular), se produce el bloqueo de los neumáticos alargando la distancia de frenado. En este caso en particular durante las 3 pruebas efectuadas durante el análisis de las huellas de frenado, se podría decir que prácticamente no quedaron marcas de huellas, donde en circunstancias reales de accidentes se podría llegar a falsas hipótesis por parte de los peritos e investigadores, demostrando que es necesario un sistema como el desarrollado.
- Con la base de datos y software elaborado para visualización de los datos almacenados, se permite un interfaz sencillo para el usuario en donde conjuntamente con software dedicados para criminalística y accidentes de tránsito, permiten el ingreso de información tales como: velocidad, trayectorias, frenado del vehículo, inclinaciones, lugar del accidente, entre otros, permitiendo simulaciones con una mayor exactitud y precisión de los hechos acontecidos.
- Al realizar el análisis de la información almacenada durante 7 segundos como estaba configurado inicialmente, no existía gran precisión en los datos llegando a obtener información interrumpida, por lo que se procedió a calibrar el dispositivo para un almacenamiento de 1 segundo, pudiendo

soportar la tarjeta SD la gran cantidad de información sin ningún inconveniente,

- Se puede alegar que al poder registrar grandes cantidades de información, necesariamente se requiere de un GPS con opciones de grabado de forma paralela al dispositivo.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda utilizar cable SFTP (Shielded Foiled Twisted Pair, par trenzado con blindaje global) para la instalación de los sensores y cableado en general, ya que con este se tiene mayor protección frente a interferencias gracias a su blindaje (de preferencia utilizar cable flexible).
- Para el sensor del volante de dirección se recomienda utilizar los de tipo analógico, ya que se evita problemas en cuanto a necesidad de una memoria externa y alimentación continua del sensor, también se aconseja utilizar mayor relación de transmisión del piñón de la columna de dirección hacia el piñón del sensor potenciómetro para obtener mayor precisión.
- Al tener circuitos que son alimentados con 5 V.C.C, se recomienda reducir el voltaje proveniente de la batería del vehículo en dos etapas, ya que la reducción de voltaje directamente de la batería provoca un recalentamiento en el regulador de voltaje. Se utilizaron dos reguladores un 7809 y un 7805, resolviendo el inconveniente antes mencionado.
- Para el diseño de circuitos electrónicos, se recomienda utilizar software que posean librerías completas ya que facilitan el uso de elementos electrónicos estandarizados para la elaboración de la placa.
- En referencia a los módulos electrónicos, utilizar siempre aquellos que son fáciles de conseguir comercialmente ya que al producirse algún fallo se dificulta su adquisición.
- Se recomienda utilizar un vehículo con mayores prestaciones aerodinámicas, logrando mejores resultados con este tipo de vehículos, De igual forma realizar pruebas del sistema de frenos con y sin ABS.
- Como opción adicional se sugiere utilizar cámaras a bordo, logrando mayor detalle de los análisis efectuados.

Bibliografía

- [1] (2014,) [Online]. <http://www.ecuador-vial.com/wp-content/uploads/2012/12/MANUAL-BASICO-DE-SENALIZACION-VIAL.pdf>.
- [2] (2014, Jun.) [Online]. <http://hiperdef.com/2010/06/sandisk-presenta-nueva-tarjeta-sd-de-un-solo-uso-con-100-anos-de-vida-util>
- [3] (2014,) [Online]. <http://www.boxsportcorporacion.com/senales-de-transito-preventivas.html>
- [4] (2014,) [Online]. <http://xn-- analisisdehuellasdefrenado-dlc.blogspot.com/>
- [5] (2014, May) [Online]. <http://www.molinaripixel.com.ar/notas/2012/como-elegir-una-tarjeta-de-memoria-para-tu-camara/>
- [6] I. E. I. PEREZ. (2014,) [Online]. <http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/i2c.htm>
- [7] Electroensaimada. (2014,) [Online]. <http://www.electroensaimada.com/i2c.html>.
- [8] (2014,) [Online]. <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>.
- [9] V. Garcia, "Hoja de datos del integrado DS1307," 2009.
- [10] M. T. Inc., "Hoja de datos del microcontrolador PIC 18F4550," 2006.
- [11] Everlight, "Hoja de datos del optointerruptor ITR8102," 2006.
- [12] M. Cascajosa, *INGENIERIA DE VEHICULOS*. México D.F.: Editorial Tébar Flores, 2005.
- [13] Francisco Aparicio Izquierdo, Carlos Vera Alvarez, Vicente Díaz López., *TERORIA DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES*. Madrid, 2001.

ANEXOS

PROGRAMACIÓN PARA EL MICROCONTROLADOR 18F4550.

program Pruebas

*****CONFIGURACION DE SDCARD*****

dim Mmc_Chip_Select as sbit at LATA5_bit

dim Mmc_Chip_Select_Direction as sbit at TRISA5_bit

*****CONFIGURACION DE RELOJ*****

dim seconds, minutes, hours, day, date, month, year as byte

*****CONFIGURACION DE CONEXIONES I2C*****

dim Soft_I2C_Scl as sbit at RD0_bit

Soft_I2C_Sda as sbit at RD1_bit

Soft_I2C_Scl_Direction as sbit at TRISD0_bit

Soft_I2C_Sda_Direction as sbit at TRISD1_bit

*****CONFIGURACION DE LCD*****

dim LCD_RS as sbit at RD7_bit

LCD_EN as sbit at RD6_bit

LCD_D7 as sbit at RD5_bit

LCD_D6 as sbit at RD4_bit

LCD_D5 as sbit at RD3_bit

LCD_D4 as sbit at RD2_bit

LCD_RS_Direction as sbit at TRISD7_bit

LCD_EN_Direction as sbit at TRISD6_bit

LCD_D7_Direction as sbit at TRISD5_bit

LCD_D6_Direction as sbit at TRISD4_bit

LCD_D5_Direction as sbit at TRISD3_bit

LCD_D4_Direction as sbit at TRISD2_bit

*****VARIABLES*****

DIM A0 AS WORD

DIM A1,A2,A3 AS WORD

DIM INCX, INCY, INCZ, s_freno AS BYTE

dim INCX2, INCY2, INCZ2 as short

dim freno as string [5]

*****VARIOS*****

DIM BOTON as BYTE

DIM pulsa as byte

DIM PANTALLA AS BYTE

DIM J AS BYTE

dim i as word

*****VARIABLES DE LCD*****

dim A0TXT as STRING[5]

dim A1txt as STRING[5]

dim A2txt as STRING[5]

dim A3txt as STRING[5]

dim pulsatxt as string [5]

dim incxtxt, incytxt as string[5]

*****VARIABLES SENSOR DIRECCION*****

dim grados, derecha, izquierda as word

dim volantetxt as string [5]

dim derechatxt as string[5]

```

dim izquierdatxt as string[5]

dim volante, derecha_sd, izquierda_sd as byte

*****VARIABLES DE BRUJULA*****

dim MSB,LSB as byte

DIM compass as word

dim compass2 as byte

dim compasstxt as string[5]

dim compass2txt as string[5]

*****VARIABLES DE SD CARD*****

dim Dato as string [16]

'dim tamano as longword

'dim tamano_txt as string [13]

dim graba_sd as byte

*****VARIABLES DE MODULOS CCP*****

DIM

    CCPR11 as Word

    OldVal as word

    NewVal as word

    periodo as float

    RPMStr as String[5]

    FRECUENCIA as float

    V_ANGULAR as word

    V_LINEAL as byte

```

CCPR22 as Word

OldVal_2 as Word

NewVal_2 as Word

periodo_2 as float

RPMStr_2 as String[5]

RPM_motor as word

RPM_motor_SD as byte

----- LECTURA DEL RTC -----

SUB PROCEDURE READ_TIME()

Soft_I2C_Start()

Soft_I2C_Write (0xD0)

Soft_I2C_Write(0)

Soft_I2C_Start()

Soft_I2C_Write(0xD1)

seconds = bcd2dec(Soft_I2C_Read(1))

minutes = bcd2dec(Soft_I2C_Read(1))

hours = bcd2dec(Soft_I2C_Read(1))

day = bcd2dec(Soft_I2C_Read(1))

date = bcd2dec (Soft_I2C_Read(1))

month = bcd2dec(Soft_I2C_Read(1))

year = bcd2dec(Soft_I2C_Read(0))

Soft_I2C_Stop()

END SUB

-----BRUJULA-----

SUB PROCEDURE BRUJULA()

Soft_I2C_Start()

Soft_I2C_Write(0x43) '42

'Soft_I2C_Write (0x41)

'Soft_I2C_Stop()

delay_ms(10)

soft_I2C_Start()

Soft_I2C_Write(0x43)

MSB = (Soft_I2C_Read(1))

LSB = (Soft_I2C_Read(0))

Soft_I2C_Stop()

compass = ((LSB) + (MSB)<< 8)/10

compass2=compass/2

END SUB

----- SALIDA PARA LCD-VALORES DE RTC-----

SUB PROCEDURE DISPLAY_TIME()

Lcd_Chr(1, 7, (date / 10) + 48)

Lcd_Chr(1, 8, (date mod 10) + 48)

Lcd_Chr(1, 10, (month / 10) + 48)

Lcd_Chr(1, 11, (month mod 10) + 48)

Lcd_Chr(1, 15, (year / 10) + 48)

Lcd_Chr(1, 16, (year mod 10) + 48)

Lcd_Chr(2, 7, (hours / 10) + 48)

```
Lcd_Chr(2, 8, (hours mod 10) + 48)
Lcd_Chr(2, 10, (minutes / 10) + 48)
Lcd_Chr(2,11, (minutes mod 10) + 48)
Lcd_Chr(2,13, (seconds / 10) + 48)
Lcd_Chr(2,14, (seconds mod 10) + 48)
```

END SUB

SUB PROCEDURE LCD_HORA()

```
Lcd_Out(1,1,"Fecha:")
```

```
Lcd_Chr(1,9,"/")
```

```
Lcd_Chr(1,12,"/")
```

```
Lcd_Out(1,13,"20")
```

```
Lcd_Out(2,1,"Hora:")
```

```
Lcd_Chr(2,9,":")
```

```
Lcd_Chr(2,12,":")
```

```
Lcd_Out(2,15," ")
```

END SUB

SUB PROCEDURE INIT_MAIN ()

*****CONFIGURACION DE PUERTOS*****

```
ADCON1 = 0X09
```

```
TRISA = 0x0F
```

```
TRISB = 0xDA
```

```
TRISC = 0x07
```

```
TRISD = 0x02
```

```
TRISE = 0X0B
```

LATA = 0

LATB = 0

LATC = 0

LATD = 0

LATE = 0

*****CONFIGURAMOS CCP1*****

INTCON = 192

T1con = %00100000

CCP1CON = 5

PIE1.CCP1IE = 1

PIR1.CCP1IF = 0

TMR1H = 0

TMR1L = 0

T1CON.TMR1ON = 1

*****CONFIGURAMOS CCP2*****

t3con = %00101000

CCP2CON = 5

PIE2.CCP2IE = 1

PIR2.CCP2IF = 0

TMR3H = 0

TMR3L = 0

t3con.tmr3on = 1

*****CONFIGURACION DE RELOJ PARA IGUALAR LA HORA*****

```
Soft_I2C_Init()      ' Iniciamos la comunicacion
Soft_I2C_Start()    ' señal de inicio
Soft_I2C_Write(0xD0) ' direccion del RTC
Soft_I2C_Write(0)   ' Empezamos desde la localizacion 0
soft_I2C_Write(0x80) ' Pausamos el contador
Soft_I2C_Write(0x31) ' Minutos
soft_I2C_Write(0x15) ' Horas (modo 12)
soft_I2C_Write(0x03) ' dias de la semana(1-7)
Soft_I2C_Write(0x03) ' Fecha
soft_I2C_Write(0x09) ' Mes
soft_I2C_Write(0x14) ' Año
Soft_I2C_Stop()
Soft_I2C_Start()
Soft_I2C_Write(0xD0)
soft_I2C_Write(0)
soft_I2C_Write(0x00)
Soft_I2C_Stop()
```

** Inicio de variables en cero**

```
TMR1H = 0
TMR1L = 0
TMR3H = 0
TMR3L = 0
V_LINEAL = 0
```

```

RPM_motor = 0

GRABA_SD = 0

pulsa = 0

BOTON = 1

PANTALLA = 1

volante=0

J = 0

i=0

grados = 0

END SUB

SUB PROCEDURE Interrupt ()

  IF pir1.ccp1if=1 THEN

    PIR1.CCP1IF = 0

    NewVal    = CCPR11 + OldVal

    OldVal    = Not(CCPR11)

  END IF

  IF pir2.ccp2if=1 THEN

    PIR2.CCP2IF = 0

    NewVal_2   = CCPR22 + OldVal_2

    OldVal_2   = Not(CCPR22)

  END IF

END SUB

```

```
SUB PROCEDURE BORRA_CCP1()
```

```
    NewVal=0
```

```
    OldVal=0
```

```
END SUB
```

```
SUB PROCEDURE BORRA_CCP2()
```

```
    NewVal_2=0
```

```
    OldVal_2=0
```

```
END SUB
```

```
SUB PROCEDURE rpm_velocidad()
```

```
*****SENSOR DE RPM Y VELOCIDAD*****
```

```
'RPM_MOTOR CCP2
```

```
    periodo_2 = NewVal_2
```

```
    periodo_2 = PERIODO_2 / 1000000
```

```
    RPM_motor = (((1/periodo_2) * (60) / 30 ) /4)
```

```
    RPM_motor_sd = RPM_motor / 40
```

```
    if RPM_motor_sd > 150 then
```

```
        RPM_motor_sd = 0
```

```
    end if
```

```
IF RPM_motor > 6000 THEN
```

```
    RPM_motor=0
```

```
END IF
```

```
borra_ccp2()
```

```
'VELOCIDAD DEL VEHICULO CCP1
```

```
periodo = NewVal
```

```
periodo = PERIODO / 1000000
```

```
FRECUENCIA = ((1/periodo)/20)
```

```
v_angular = (2 * 3.1416 * FRECUENCIA) / 3.90
```

```
V_lineal= (V_ANGULAR) * (0.351) * (3.6)
```

```
end if
```

```
IF V_LINEAL <=3 THEN
```

```
V_LINEAL = 0
```

```
END IF
```

```
IF V_LINEAL > 130 THEN
```

```
V_LINEAL=0
```

```
END IF
```

```
borra_ccp1()
```

```
END SUB
```

```
SUB PROCEDURE direccion()
```

```
grados = adc_read(5)
```

```
volante = grados>>2
```

```
IF volante > 125 THEN
    derecha = 0
    derecha_sd = 0
    IF volante >=128 THEN
        izquierda_sd = volante
        izquierda = (12 * VOLANTE - 1488)
    else
        izquierda_sd = 0
        izquierda = 0
    END IF
END IF
```

```
IF volante < 125 THEN
    izquierda = 0
    izquierda_sd=0
    IF volante <= 120 THEN
        derecha_sd = volante
        derecha = (-12 * VOLANTE + 1488)
    else
        derecha_sd = 0
        derecha = 0
    END IF
END IF
END SUB
```

```
SUB PROCEDURE s_inclinacion()
```

```
A1=adc_read(1)
```

```
INCX=A1>>2
```

```
A2=adc_read(2)
```

```
INCY=A2>>2
```

```
A3=adc_read(3)
```

```
INCZ=A3>>2
```

```
END SUB
```

```
SUB PROCEDURE S_FRENADO()
```

```
A0=adc_read(0)
```

```
s_freno = A0>>2
```

```
IF porte.1 = 0 THEN
```

```
    pulsa = 1
```

```
ELSE
```

```
    pulsa= 0
```

```
END IF
```

```
END SUB
```

```
SUB PROCEDURE VER_LCD()
```

```
IF PORTB.4 = 0 THEN
```

```
    J = J + 1
```

```
IF J = 1 THEN
```

```
    BOTON = INC(BOTON)
```

```
    LCD_CMD(_LCD_CLEAR)
```

```
end if
```

```
IF J > 2 THEN
```

```
    J = 3
```

```
END IF
```

```
else
```

```
    J = 0
```

```
END IF
```

```
PANTALLA = BOTON
```

```
IF BOTON = 6 THEN
```

```
    BOTON = 1
```

```
END IF
```

```
END SUB
```

```
SUB PROCEDURE GRABAR()
```

```
    Dato [0] = DATE
```

```
    Dato [1] = MONTH
```

```
    Dato [2] = YEAR
```

```
    Dato [3] = HOURS
```

```
Dato [4] = MINUTES
Dato [5] = SECONDS
Dato [6] = S_FRENO
Dato [7] = pulsa
Dato [8] = INCX
Dato [9] = INCY
Dato [10] = INCZ
Dato [11] = rpm_motor_sd
Dato [12] = V_LINEAL
Dato [13] = izquierda_sd
Dato [14] = derecha_sd
Dato [15] = compass2
Mmc_Fat_Write(Dato,16)
'portb.5=1
```

```
END SUB
```

```
main:
```

```
INIT_MAIN ()
```

```
*****CONFIGURACION DE LCD*****
```

```
Lcd_Init()
```

```
LCD_cmd(_lcd_clear)
```

```
Lcd_cmd(_lcd_cursor_off)
```

*****CONFIGURACION DE SD CARD*****

```
SPI1_Init_Advanced(_SPI_MASTER_OSC_DIV64,  
_SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE, _SPI_CLK_IDLE_LOW, _SPI_LOW_2_HIGH)  
'INICIAMOS EL SPI
```

```
SPI1_Init_Advanced(_SPI_MASTER_OSC_DIV4,  
_SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE, _SPI_CLK_IDLE_LOW, _SPI_LOW_2_HIGH)  
'HABILITAMOS SPI ALTA VELOCIDAD
```

```
delay_ms(25)
```

```
IF ( Mmc_Fat_Init()=0) THEN
```

```
    Mmc_Fat_Assign("DATOS.TXT", 0XA0)
```

```
    Mmc_fat_Append()
```

```
ELSE
```

```
    LCD_OUT(1,1,"NO SE ENCUENTRA")
```

```
    LCD_OUT(2,1,"**TARJETA SD**")
```

```
END IF
```

```
WHILE true
```

```
    'portb.5=0
```

```
    Read_Time()          'LECTURA DEL RTC
```

```
    'BRUJULA ()
```

*****SENSOR DE DIRECCION Y ANGULO DE GIRO*****

```
DIRECCION ()
```

*****SENSOR DE FRENADO*****

```
S_FRENADO()
```

```
IF S_FRENO > 170 THEN
```

```
    GRABAR()
```

```
END IF
```

```

*****SENSOR DE INCLINACION*****

s_inclinacion()

*****SENSOR DE RPM Y VELOCIDAD*****

rpm_velocidad()

*****GRABADO DE LA MEMORIA SD*****

GRABA_SD = INC(GRABA_SD)

IF GRABA_SD = 10 THEN

    GRABAR()

    GRABA_SD=0

END IF

*****VISULIAZCION PANTALLA LCD*****

VER_LCD()

SELECT CASE PANTALLA

CASE 1

    LCD_HORA()

    DISPLAY_TIME()

' CASE 7

' TAMANO=mmc_fat_get_file_size()

' LongWordToStr(TAMANO,TAMANO_TXT)

' LCD_OUT(1,1,"TAMANO ARCHIVO")

' LCD_OUT(2,1,TAMANO_TXT)

' LCD_out(2,11,"BYTE")

```

CASE 4

LCD_OUT(1,1,"SENSOR DE FRENO")

Lcd_out(2,1,"Frenado:")

'LCD_OUT(2,9, FRENO)

BYTETOSTR(S_FRENO,FRENO)

LCD_OUT(2,10,FRENO)

'IF s_freno > 115 then

' IF S_FRENO < 176 then

' lcd_out(2,9,"LEVE")

' end if

'end if

'IF s_freno > 176 THEN

' lcd_out(2,9,"EMERGENCIA")

'end if

bytetostr(pulsa,pulsatxt)

LCD_OUT(2,13,pulsatxt)

CASE 5

INCX2 = (1.7 * (incx) - 138)

INCy2 = (1.7 * (incy) - 138)

'Incz2 = (1.67 * (incz)-138)

```
'IF INCZ2 > 41 THEN
' lcd_out(2,11,"Volque")
' else
' lcd_out(2,11," ")
'end if
```

```
BYTETOSTR(INCX, A1TXT)
BYTETOSTR(INCY,A2TXT)
SHORTtostr(incx2, INCXTXT)
SHORTtostr(incy2, INCYTXT)
```

```
'BYTETOSTR(INC_z,A3_TXT)
'LCD_OUT(1,1," INCLINACIONES")
  lcd_out(1,1, A1txt)
  lcd_out(1,8, A2txt)
ICD_OUT(2,1,"X:  Y:")
LCD_OUT(2,3, INCXTXT)
LCD_OUT(2,11, INCYTXT)
'Lcd_out(2,12,A3_txt)
delay_ms(10)
```

CASE 2

```
wordtostr(derecha,derechatxt)
```

```
wordtostr(izquierda,izquierdatxt)
'bytetostr(volante,izquierda_txt)
Lcd_out(1,1,"Izquierda:")
Lcd_out(2,1,"Derecha:")
lcd_out(1,11,izquierdatxt)
Lcd_out(2,9,derechatxt)
```

CASE 3

```
LCD_OUT(1,1,"MOTOR:   RPM")
LCD_OUT(2,1,"VEL:    km/h")
wordtoStr(rpm_motor, RPMStr)
bytetoStr(v_lineal, RPMStr_2)
LCD_OUT(1,7, RPMStr)
LCD_OUT(2,5, RPMStr_2)
```

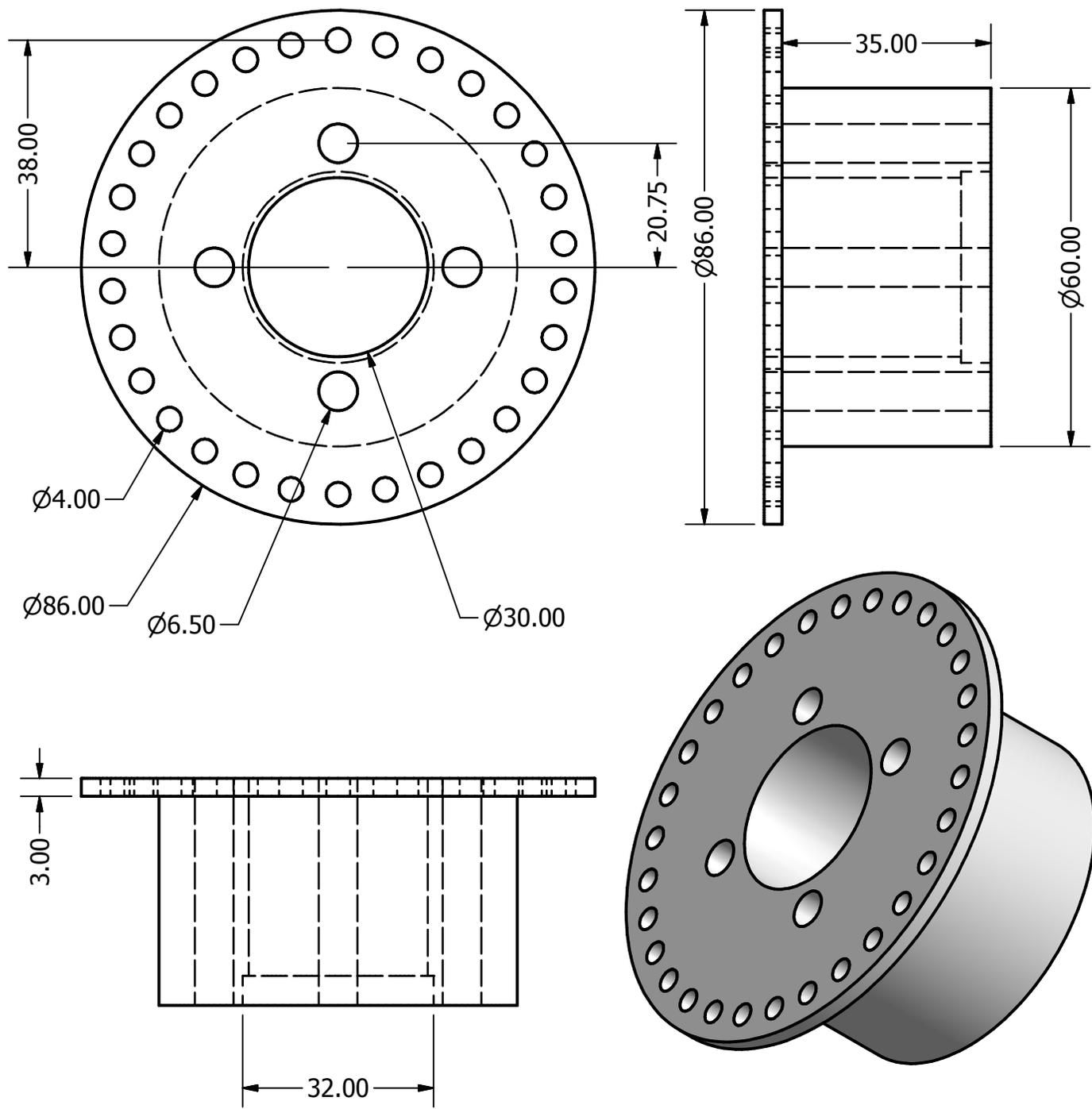
'CASE 6

```
' Lcd_out(1,1,"  Norte  ")
' wordtostr(compass,compasstxt)
' lcd_out(2,3,compasstxt)
' bytetostr(compass2,compass2txt)
' lcd_out(2,11,compass2_txt)
```

END SELECT

wend

end.



NOMBRE DEL ARCHIVO:

ACOPLE_RPM-1

FECHA:

01/03/2014

REALIZADO POR:

DIEGO GARCIA A.

APROBADO POR:

ING. GUSTAVO BRAVO Q.

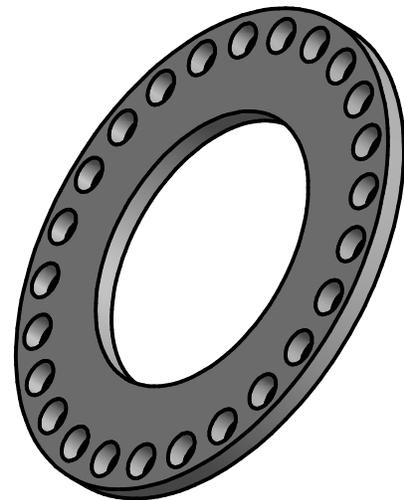
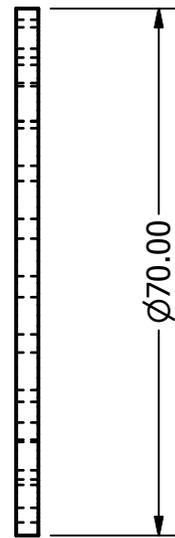
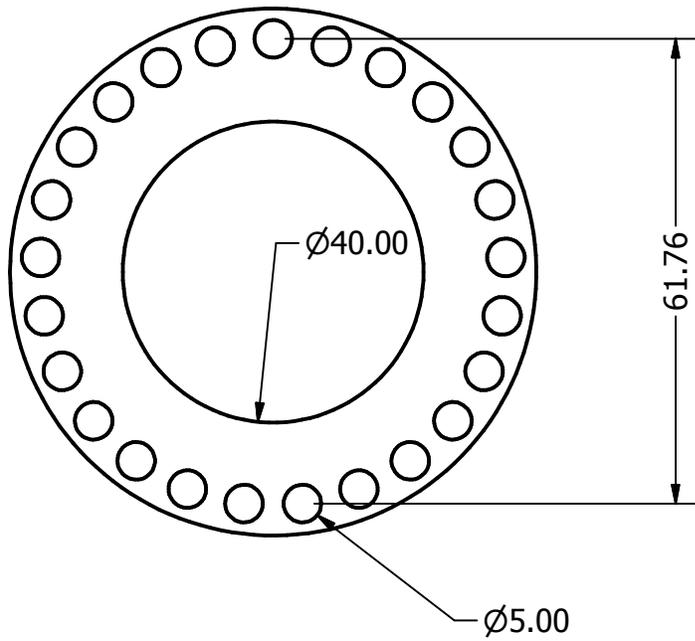
ESCALA:

1:1

N° HOJA:

1 DE 1

ACOPLE PARA POLEA DEL CIGUEÑAL PARA
EL SENSOR OPTICO DE RPM DEL MOTOR DE
COMBUSTION INTERNA



NOMBRE DEL ARCHIVO:
DISCO_VELOCIDAD

FECHA:
13/06/2014

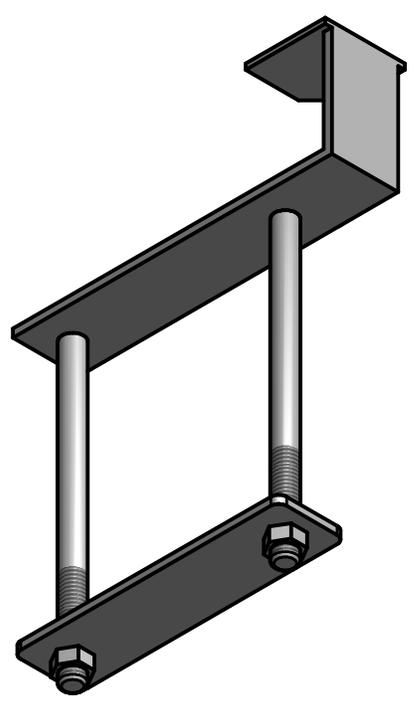
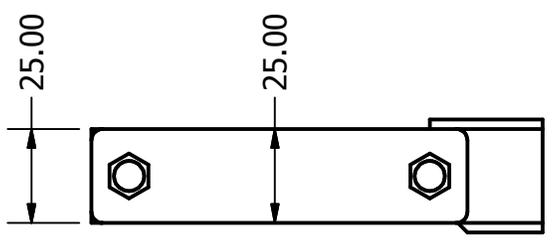
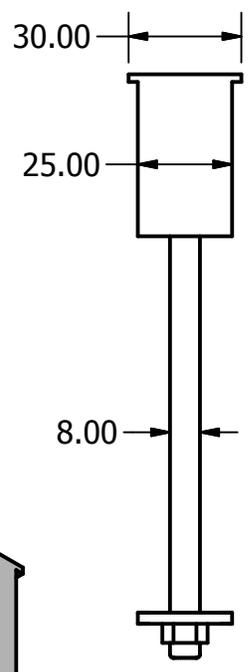
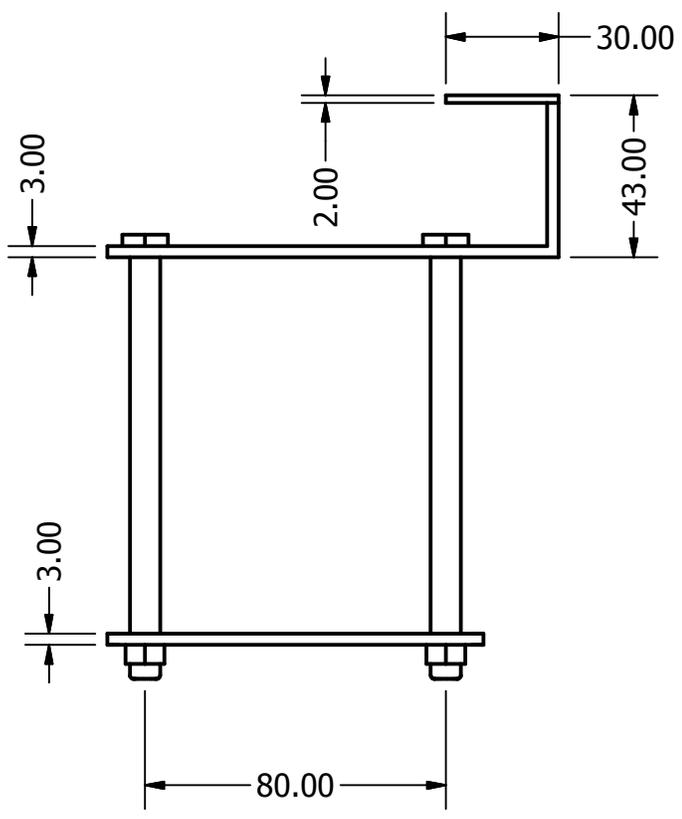
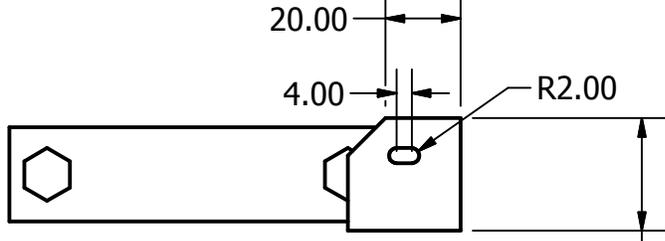
REALIZADO POR:
DIEGO GARCIA A.

APROBADO POR:
ING. GUSTAVO BRAVO Q.

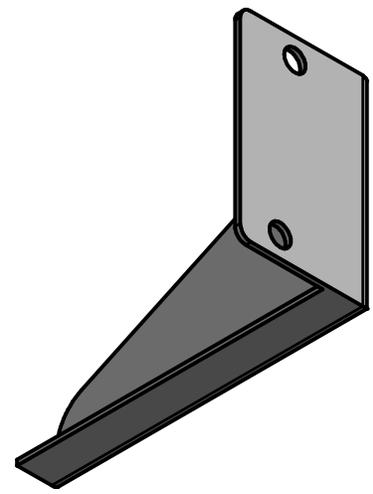
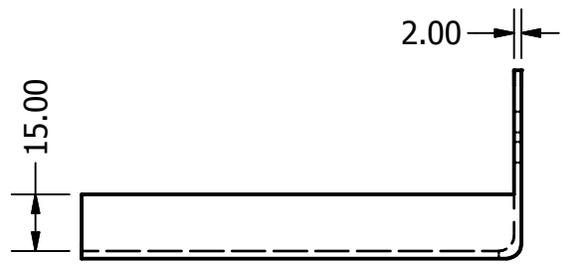
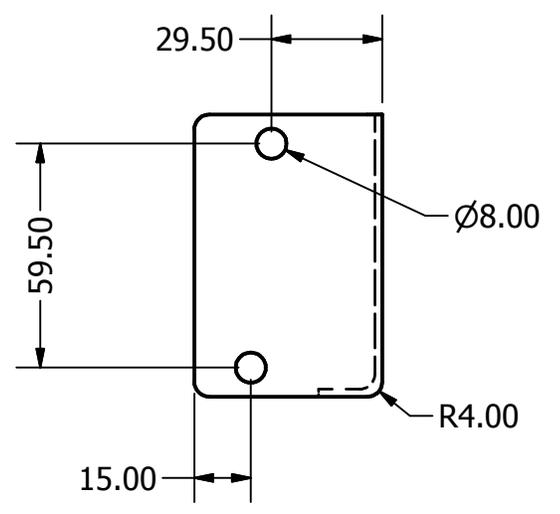
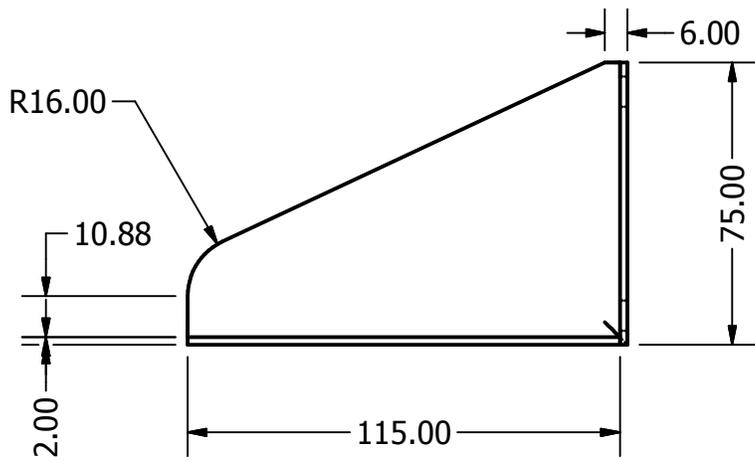
ESCALA:
1:1

N° HOJA:
1 DE 1

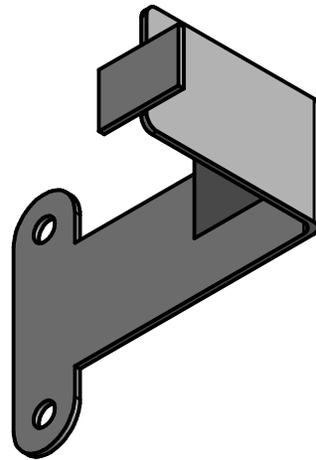
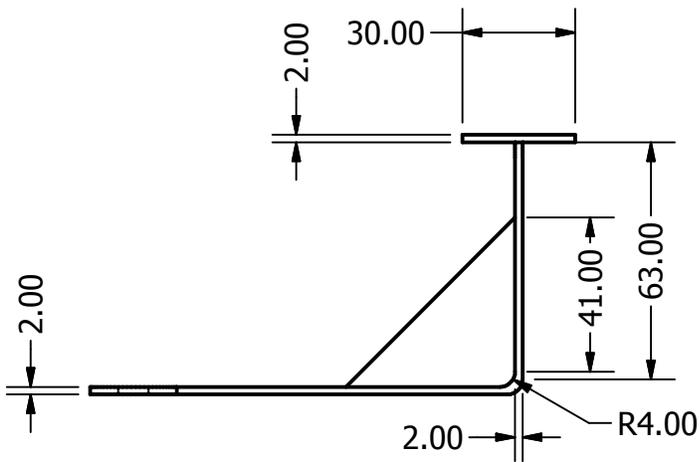
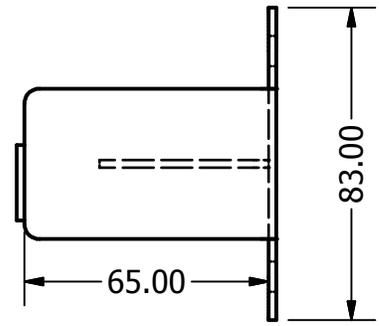
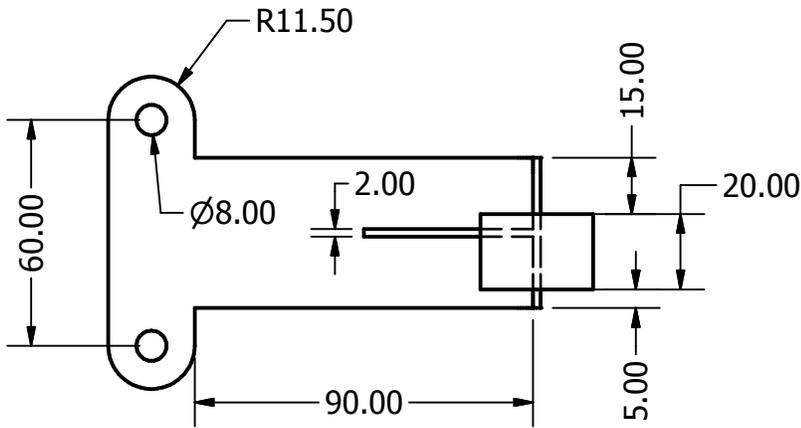
DISCO PARA SENSOR OPTICO DE
VELOCIDAD DEL VEHICULO



NOMBRE DEL ARCHIVO: soporte_sensor_direccion	SOPORTE DEL SENSOR DEL VOLANTE DE DIRECCION
FECHA: 18/07/2014	
REALIZADO POR: DIEGO GARCIA A.	
APROBADO POR: ING. GUSTAVO BRAVO Q.	
ESCALA: 1:2	
N° HOJA: 1 DE 1	



NOMBRE DEL ARCHIVO: SOPORTE	SOPORTE PARA EL SENSOR DE DESPLAZAMIENTO DEL PEDAL DE FRENO
FECHA: 02/03/2014	
REALIZADO POR: DIEGO GARCIA A.	
APROBADO POR: ING. GUSTAVO BRAVO Q.	
ESCALA: 1:2	
Nº HOJA: 1 DE 1	



NOMBRE DEL ARCHIVO:

SENSOR_RPM

FECHA:

09/03/2014

REALIZADO POR:

DIEGO GARCIA A.

APROBADO POR:

ING. GUSTAVO BRAVO Q.

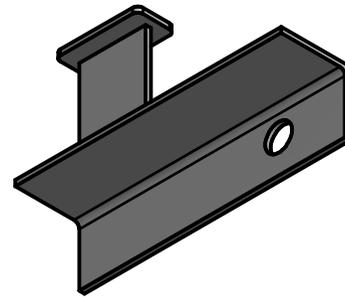
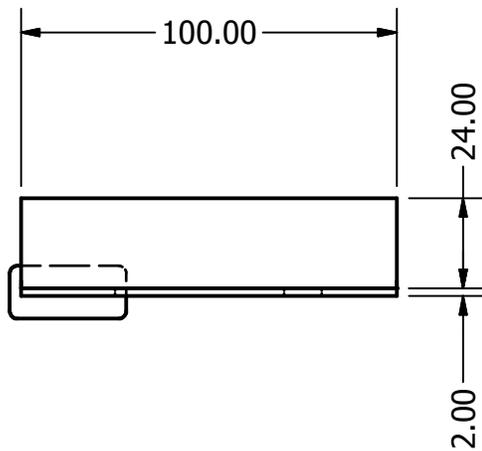
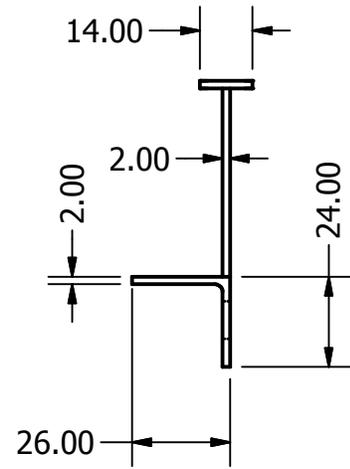
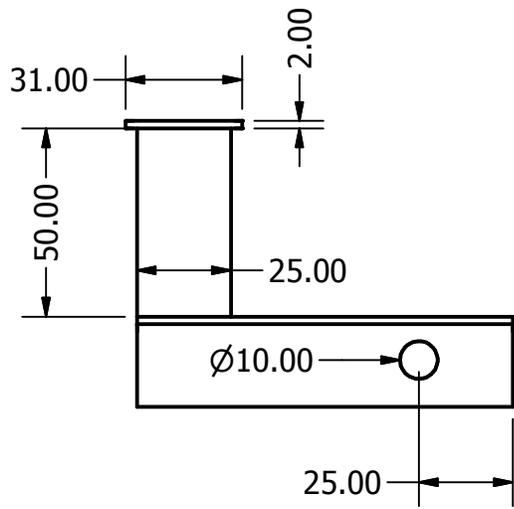
ESCALA:

1:2

Nº HOJA:

1 DE 1

SOPORTE DEL SENSOR DE R.P.M. DEL
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA.



NOMBRE DEL ARCHIVO:
SOPORTE_VELOCIDAD

FECHA:
23/05/2014

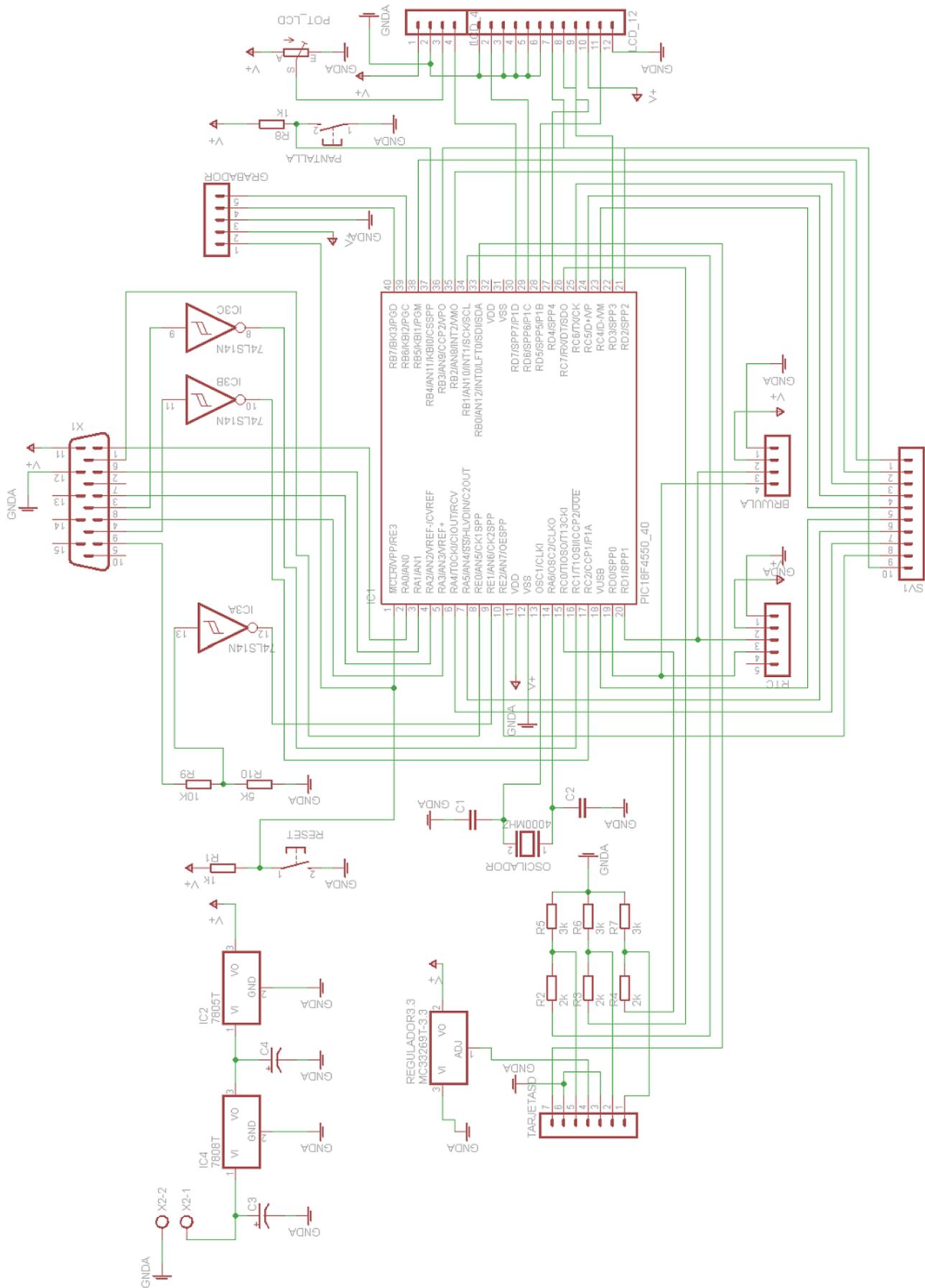
REALIZADO POR:
DIEGO GARCIA A.

APROBADO POR:
ING. GUSTAVO BRAVO Q.

ESCALA:
1:2

Nº HOJA:
1 DE 1

SOPORTE PARA EL SENSOR DE VELOCIDAD
DEL VEHICULO



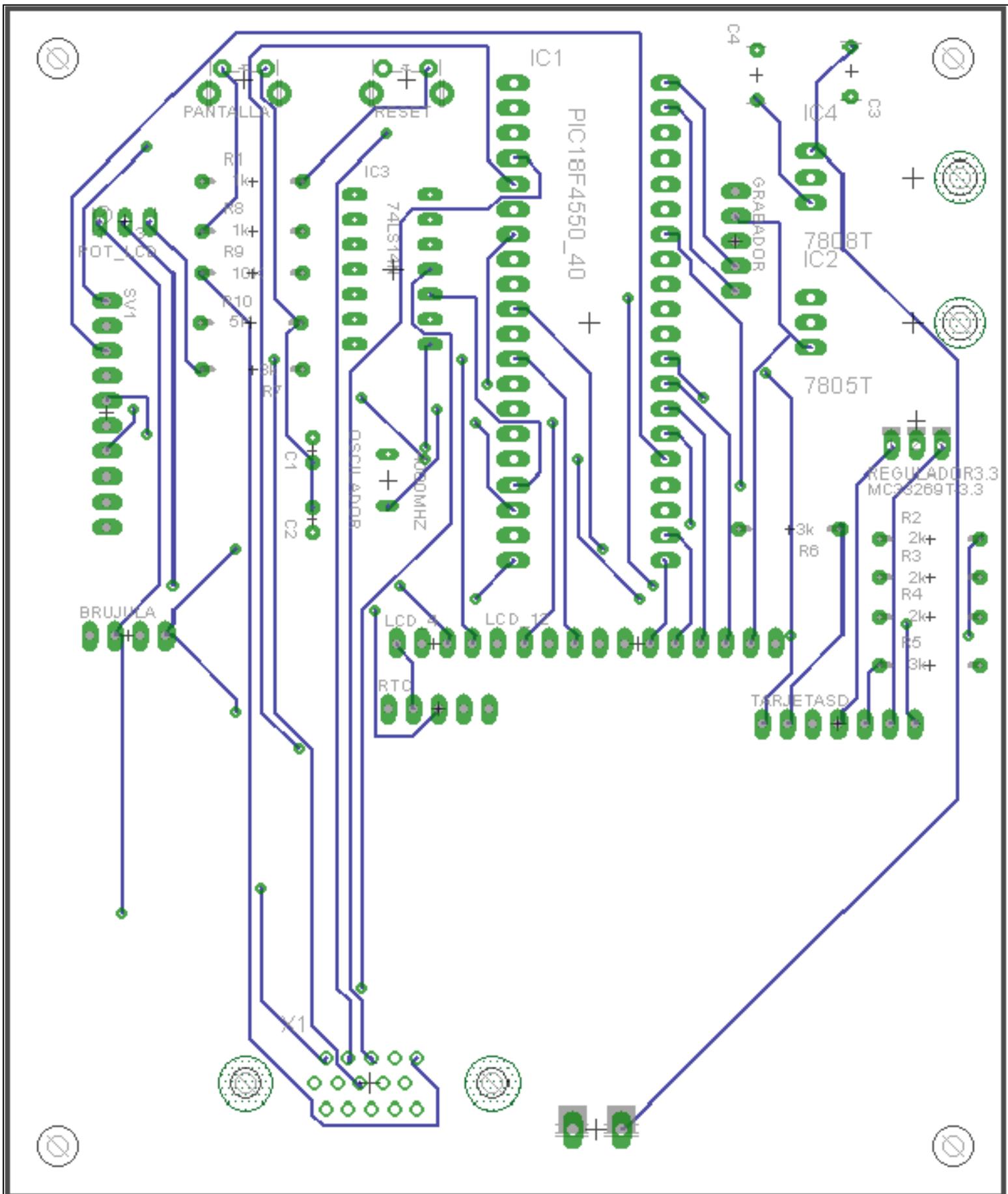
Fecha:
07/18/2014

Realizado por:
Diego Garcia A.

Aprobado por:
Ing. Gustavo Bravo Q.

CIRCUITO ELECTRONICO DEL SISTEMA PROTOTIPO DE ALMACENAMIENTO DE VARIABLES

N° Hoja:
1 de 1



HDM15 CONEC

X2

Fecha:
07/18/2014

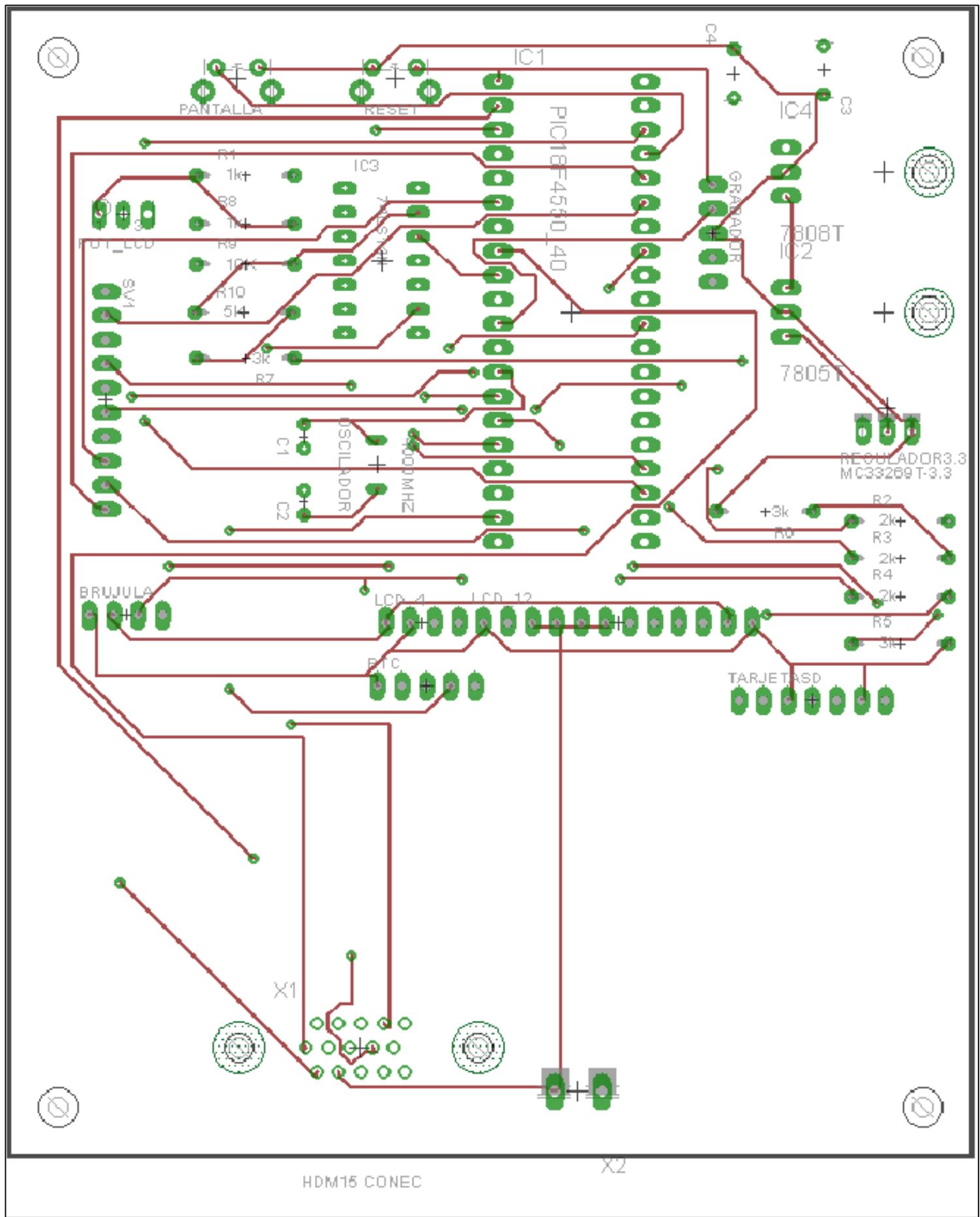
Realizado por:
Diego Garcia A.

Aprobado por:
Ing. Gustavo Bravo Q.

CIRCUITO INFERIOR SOBRE LA PLACA ELECTRONICA

Escala:
2 : 1

N° Hoja:
1 de 1



Fecha:
07/18/2014

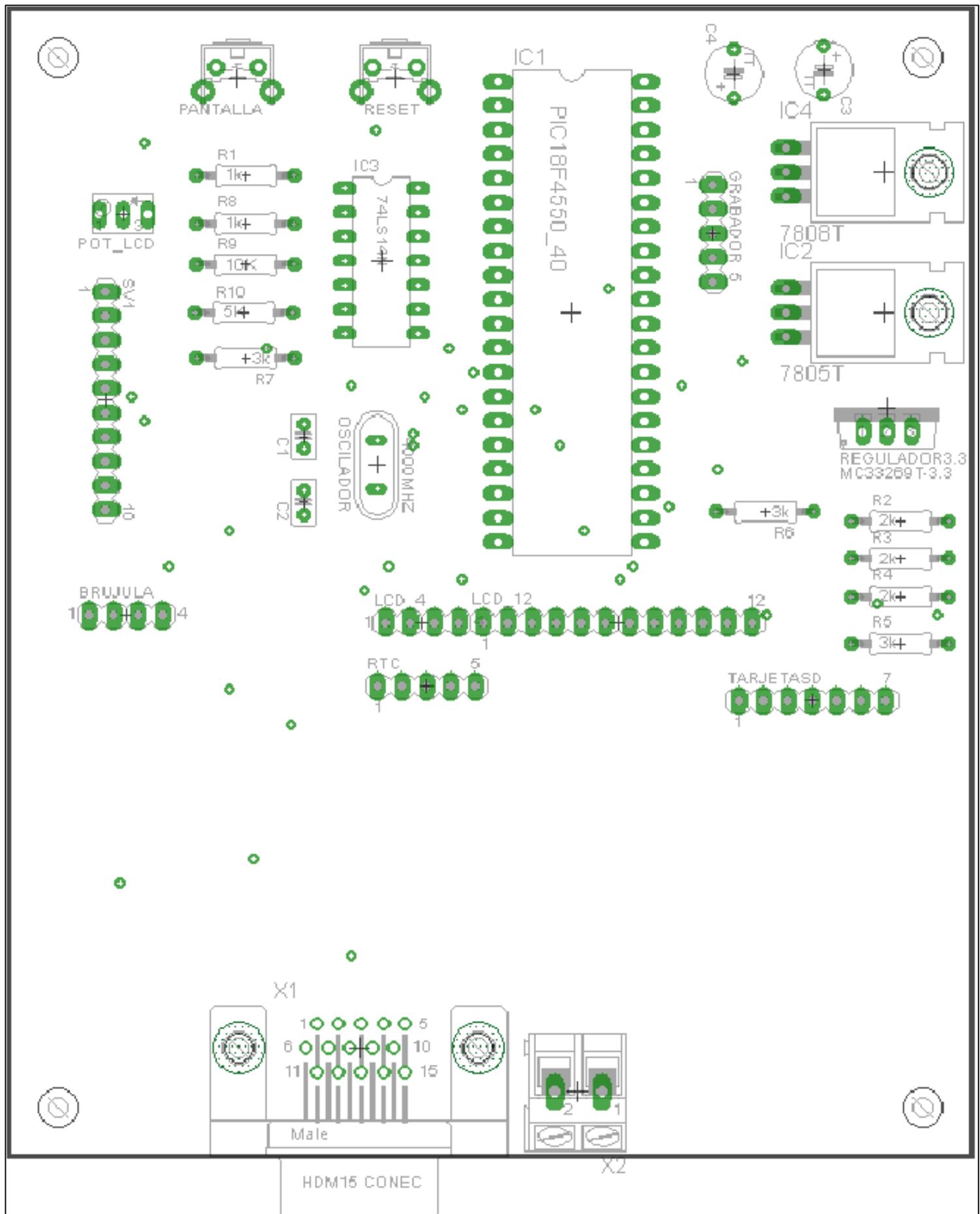
Realizado por:
Diego García A.

Aprobado por:
Ing. Gustavo Bravo Q.

CIRCUITO SUPERIOR SOBRE LA PLACA ELECTRONICA

Escala:
2 : 1

N° Hoja:
1 de 1



Fecha:
07/18/2014

Realizado por:
Diego García A.

Aprobado por:
Ing. Gustavo Bravo Q.

DISTRIBUCION DE COMPONENTES SOBRE LA PLACA ELECTRONICA

Escala:
2 : 1

Nº Hoja:
1 de 1



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 A typical
- Sleep mode currents down to 0.1 A typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns (T_{CY}/16)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D) with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

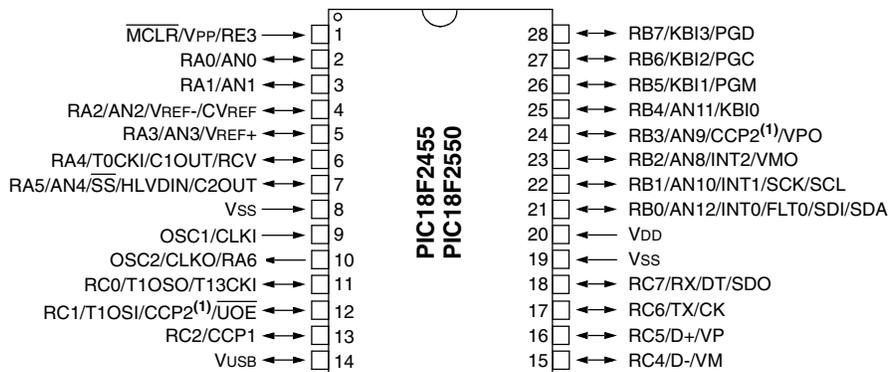
- C Compiler Optimized Architecture with optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EAUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

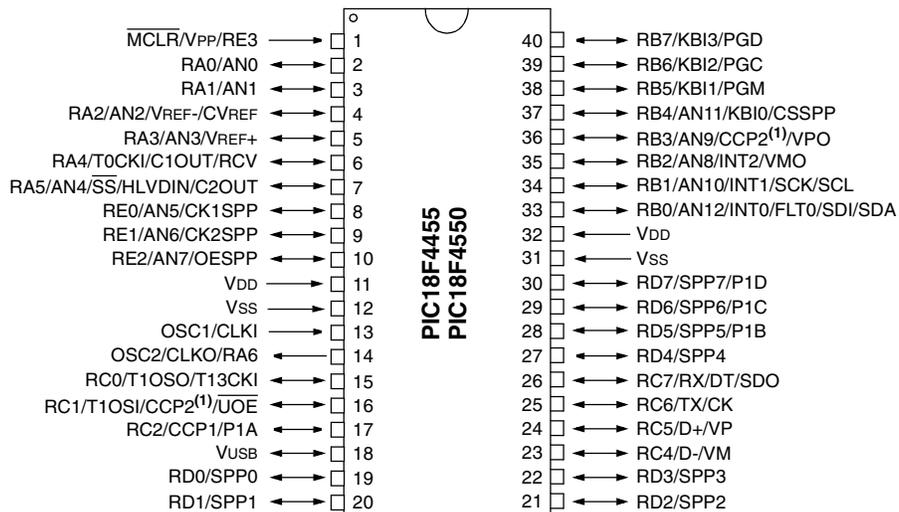
PIC18F2455/2550/4455/4550

Pin Diagrams

28-Pin PDIP, SOIC



40-Pin PDIP



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

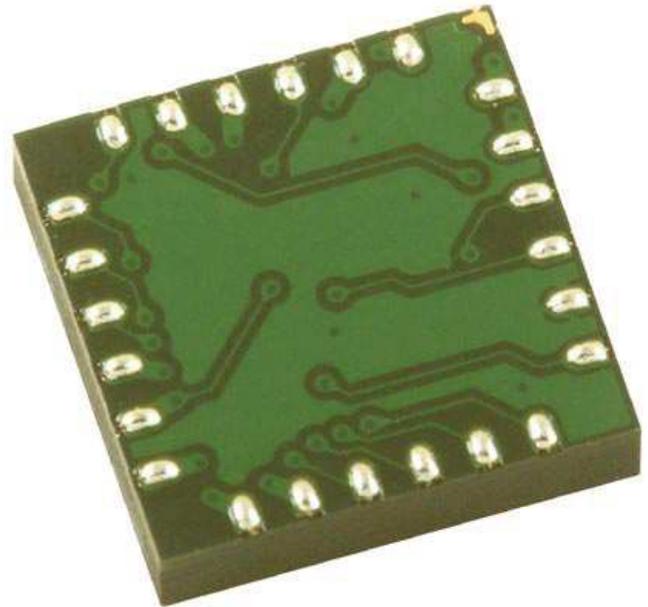
PIC18F2455/2550/4455/4550

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz			
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Data Memory (Bytes)	2048	2048	2048	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/ Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1	1	1	1
Streaming Parallel Port (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Comparators	2	2	2	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT			
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled			
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC	28-pin PDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

Digital Compass Solution HMC6352

The Honeywell HMC6352 is a fully integrated compass module that combines 2-axis magneto-resistive sensors with the required analog and digital support circuits, and algorithms for heading computation. By combining the sensor elements, processing electronics, and firmware in to a 6.5mm by 6.5mm by 1.5mm LCC package, Honeywell offers a complete, ready to use electronic compass. This provides design engineers with the simplest solution to integrate high volume, cost effective compasses into wireless phones, consumer electronics, vehicle compassing, and antenna positioning.



Honeywell continues to maintain product excellence and performance by introducing innovative solid-state magnetic sensor solutions. These are highly reliable, top performance products that are delivered when promised. Honeywell's magnetic sensor products provide real solutions you can count on.

FEATURES

- ▶ Compass with Heading Output
- ▶ Full Integration of 2-Axis Magnetic Sensors and Electronics
- ▶ Firmware Included
- ▶ Small Surface Mount Package (6.5 x 6.5 x 1.5mm, 24-pin LCC)
- ▶ Low Voltage Operation (2.7 to 5.2V)
- ▶ I²C 2-Wire Serial Interface
- ▶ Lead Free Package Construction
- ▶ Wide Magnetic Field Range (± 2 Oe)
- ▶ Set/Reset Strap Drive
- ▶ RoHS Compliant

BENEFITS

- ▶ A Complete Compass. Everything is Done.
- ▶ A Complete Digital Solution with Heading Output to Avoid Design of Hardware and Compassing Firmware Routines.
- ▶ Data Acquisition, Calibration, and Heading Computation Routines Included for Quick-to-Market Designs.
- ▶ Easy to Assemble & Compatible with High Speed SMT Assembly
- ▶ Compatible for Battery Powered Applications
- ▶ Works as a Slave to Customer's Master Processor (100kHz).
- ▶ Complies with Current Environmental Standards (RoHS)
- ▶ Sensor Can Be Used in Strong Magnetic Field Environments
- ▶ Stray Magnetic Field Protection and Temperature Compensation
- ▶ Lead Free and No Banned Substances

HMC6352 SPECIFICATIONS

Characteristics	Conditions ⁽¹⁾	Min	Typ	Max	Units
Supply Voltage	Vsupply to GND	2.7	3.0	5.2	Volts
Supply Current	Vsupply to GND				
	Sleep Mode (Vsupply = 3.0V)		1		μA
	Steady State (Vsupply = 3.0V)		1		mA
	Steady State (Vsupply = 5.0V)		2	10	mA
	Dynamic Peaks				mA
Field Range ⁽²⁾	Total applied field	0.10	-	0.75	gauss
Heading Accuracy	HMC6352		2.5		degRMS
Heading Resolution			0.5		deg
Heading Repeatability			1.0		deg
Disturbing Field	Sensitivity starts to degrade. Enable set/reset function to restore sensitivity.	20			gauss
Max. Exposed Field	No permanent damage and set/reset function restores performance.			10000	gauss
Operating Temperature	Ambient	-20		70	°C
Storage Temperature	Ambient	-55		125	°C
Peak Reflow Temperature	For Lead-Free SMT Reflow	230	-	240	°C
Moisture Sensivity	Max 240°C		MSL3		-
Output	Heading, Mag X, Mag Y				
Size	6.5 x 6.5 x 1.5				mm
Weight			0.14		grams

(1) Tested at 25°C except stated otherwise.

(2) Field upper limit can be extended by using external resistors across CA1/CA2 and CB1/CB2.

Pin Configuration/Package Dimensions

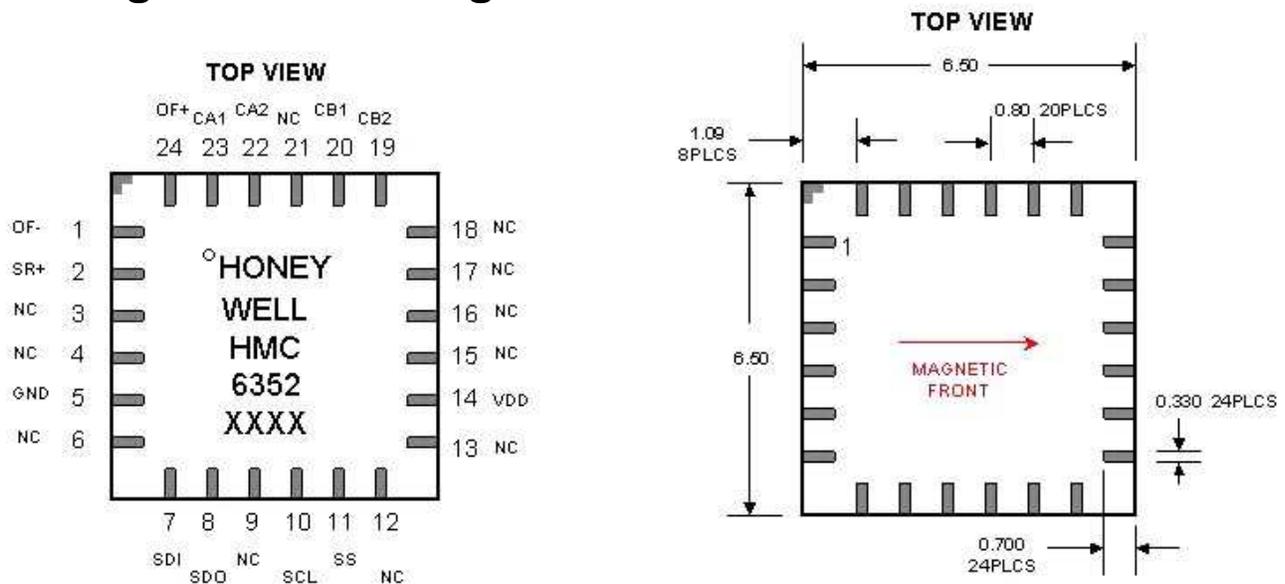


Table 1 – HMC6352 Interface Commands/Responses

Command Byte ASCII (hex)	Argument 1 Byte (Binary)	Argument 2 Byte (Binary)	Response 1 Byte (Binary)	Response 2 Byte (Binary)	Description
w (77)	EEPROM Address	Data			Write to EEPROM
r (72)	EEPROM Address		Data		Read from EEPROM
G (47)	RAM Address	Data			Write to RAM Register
g (67)	RAM Address		Data		Read from RAM Register
S (53)					Enter Sleep Mode (Sleep)
W (57)					Exit Sleep Mode (Wakeup)
O (4F)					Update Bridge Offsets (S/R Now)
C (43)					Enter User Calibration Mode
E (45)					Exit User Calibration Mode
L (4C)					Save Op Mode to EEPROM
A (41)			MSB Data	LSB Data	Get Data. Compensate and Calculate New Heading

Operational Controls

HMC6352 has two parameters; *Operational Mode* and *Output Mode*, which control its operation. The Operational Mode control byte is located at RAM register byte 74(hex) and is shadowed in EEPROM location 08(hex). This byte can be used to control the continuous measurement rate, set/reset function, and to command the HMC6352 into the three allowed operating modes; Standby, Query, and Continuous.

The Output Mode control byte is located at RAM register byte 4E(hex) and is not shadowed in the EEPROM, and upon power up the device is in the Heading output mode. This byte can be changed to get magnetometer data if necessary but is typically left in a default heading data mode.

Non-Volatile Memory

The HMC6352 contains non-volatile memory capability in the form of EEPROM that retains key operational parameters and settings for electronic compassing. Table 2 shows the balance of the EEPROM locations that the user can read and write to. Details on the features of these location bytes will be discussed in the following paragraphs.

Table 2 – HMC6352 EEPROM Contents

EE Address (hex)	Byte Description	Factory Default
00	I ² C Slave Address	42(hex)
01	Magnetometer X Offset MSB	factory test value
02	Magnetometer X Offset LSB	factory test value
03	Magnetometer Y Offset MSB	factory test value
04	Magnetometer Y Offset LSB	factory test value
05	Time Delay (0 – 255 ms)	01(hex)
06	Number of Summed measurements(1-16)	04(hex)
07	Software Version Number	> 01(hex)
08	Operation Mode Byte	50(hex)

Operational Modes

The HMC6352 has three operational modes plus the ability to enter/exit the non-operational (sleep) mode by command. Sleep mode sends the internal microprocessor into clock shutdown to save power, and can be brought back by the “W” command (wake). The “S” command returns the processor to sleep mode. The three operational modes are defined by two bits in the internal HMC6352 Operation Mode register. If the master device sends the “L” command, the current operational mode control byte in the RAM register is loaded into the internal EEPROM register and becomes the default operational mode on the next power-up. The application environment of the HMC6352 will dictate the most suitable operational mode.



±1.5g, ±6g Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer

The MMA7361L is a low power, low profile capacitive micromachined accelerometer featuring signal conditioning, a 1-pole low pass filter, temperature compensation, self test, 0g-Detect which detects linear freefall, and g-Select which allows for the selection between 2 sensitivities. Zero-g offset and sensitivity are factory set and require no external devices. The MMA7361L includes a Sleep Mode that makes it ideal for handheld battery powered electronics.

Features

- 3mm x 5mm x 1.0mm LGA-14 Package
- Low Current Consumption: 400 μ A
- Sleep Mode: 3 μ A
- Low Voltage Operation: 2.2 V – 3.6 V
- High Sensitivity (800 mV/g @ 1.5g)
- Selectable Sensitivity (\pm 1.5g, \pm 6g)
- Fast Turn On Time (0.5 ms Enable Response Time)
- Self Test for Freefall Detect Diagnosis
- 0g-Detect for Freefall Protection
- Signal Conditioning with Low Pass Filter
- Robust Design, High Shocks Survivability
- RoHS Compliant
- Environmentally Preferred Product
- Low Cost

Typical Applications

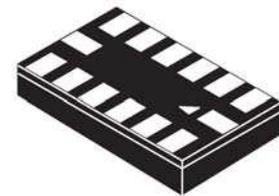
- 3D Gaming: Tilt and Motion Sensing, Event Recorder
- HDD MP3 Player: Freefall Detection
- Laptop PC: Freefall Detection, Anti-Theft
- Cell Phone: Image Stability, Text Scroll, Motion Dialing, E-Compass
- Pedometer: Motion Sensing
- PDA: Text Scroll
- Navigation and Dead Reckoning: E-Compass Tilt Compensation
- Robotics: Motion Sensing

ORDERING INFORMATION				
Part Number	Temperature Range	Package Drawing	Package	Shipping
MMA7361LT	-40 to +85°C	1977-01	LGA-14	Tray
MMA7361LR1	-40 to +85°C	1977-01	LGA-14	7" Tape & Reel
MMA7361LR2	-40 to +85°C	1977-01	LGA-14	13" Tape & Reel

MMA7361L

**MMA7361L: XYZ AXIS
 ACCELEROMETER
 \pm 1.5g, \pm 6g**

Bottom View



**14 LEAD
 LGA
 CASE 1977-01**

Top View

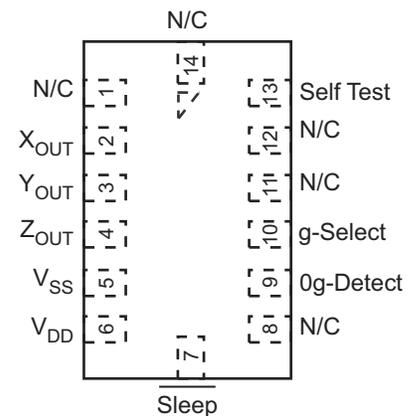


Figure 1. Pin Connections

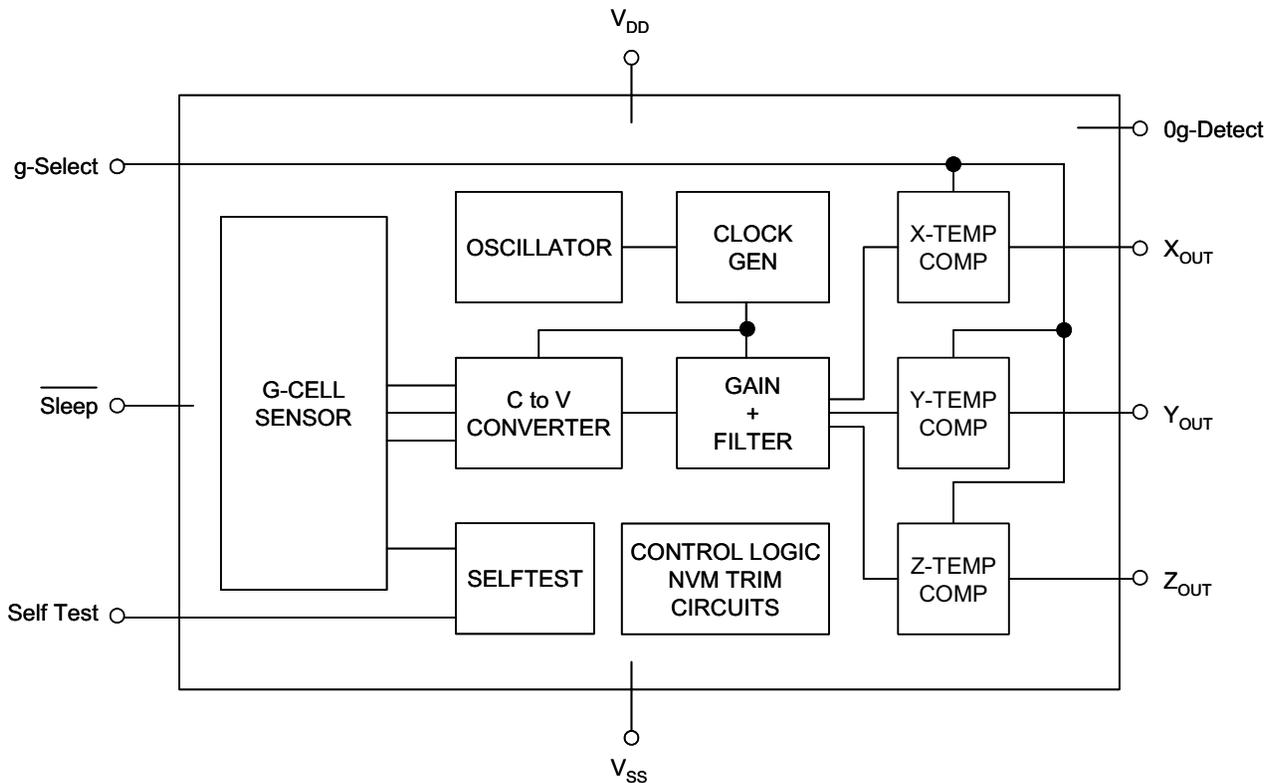


Figure 2. Simplified Accelerometer Functional Block Diagram

Table 1. Maximum Ratings

(Maximum ratings are the limits to which the device can be exposed without causing permanent damage.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Acceleration (all axis)	g_{max}	± 5000	g
Supply Voltage	V_{DD}	-0.3 to +3.6	V
Drop Test ⁽¹⁾	D_{drop}	1.8	m
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +125	°C

1. Dropped onto concrete surface from any axis.

ELECTRO STATIC DISCHARGE (ESD)

WARNING: This device is sensitive to electrostatic discharge.

Although the Freescale accelerometer contains internal 2000 V ESD protection circuitry, extra precaution must be taken by the user to protect the chip from ESD. A charge of over 2000 volts can accumulate on the human body or associated test equipment. A charge of this magnitude can

alter the performance or cause failure of the chip. When handling the accelerometer, proper ESD precautions should be followed to avoid exposing the device to discharges which may be detrimental to its performance.

Table 2. Operating CharacteristicsUnless otherwise noted: $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$, $2.2\text{ V} \leq V_{\text{DD}} \leq 3.6\text{ V}$, Acceleration = 0g, Loaded output⁽¹⁾

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Operating Range ⁽²⁾					
Supply Voltage ⁽³⁾	V_{DD}	2.2	3.3	3.6	V
Supply Current ⁽⁴⁾	I_{DD}	—	400	600	μA
Supply Current at Sleep Mode ⁽⁴⁾	I_{DD}	—	3	10	μA
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+85	$^{\circ}\text{C}$
Acceleration Range, X-Axis, Y-Axis, Z-Axis					
g-Select: 0	g_{FS}	—	± 1.5	—	g
g-Select: 1	g_{FS}	—	± 6.0	—	g
Output Signal					
Zero-g ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{DD}} = 3.3\text{ V}$) ^{(5), (6)}	V_{OFF}	1.485	1.65	1.815	V
Zero-g ⁽⁴⁾	V_{OFF}, T_A	-2.0	± 0.5	+2.0	$\text{mg}/^{\circ}\text{C}$
Sensitivity ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{DD}} = 3.3\text{ V}$)					
1.5g	$S_{1.5\text{g}}$	740	800	860	mV/g
6g	$S_{6\text{g}}$	190.6	206	221.5	mV/g
Sensitivity ⁽⁴⁾	S, T_A	-0.0075	± 0.002	+0.0075	$\%/^{\circ}\text{C}$
Bandwidth Response					
XY	$f_{-3\text{dBXY}}$	—	400	—	Hz
Z	$f_{-3\text{dBZ}}$	—	300	—	Hz
Output Impedance	Z_O	—	32	—	$\text{k}\Omega$
0g-Detect	$0g_{\text{detect}}$	-0.4	0	+0.4	g
Self Test					
Output Response					
$X_{\text{OUT}}, Y_{\text{OUT}}$	Δg_{STXY}	+0.05	-0.1	—	g
Z_{OUT}	Δg_{STZ}	+0.8	+1.0	+1.2	g
Input Low	V_{IL}	V_{SS}	—	$0.3 V_{\text{DD}}$	V
Input High	V_{IH}	$0.7 V_{\text{DD}}$	—	V_{DD}	V
Noise					
Power Spectral Density RMS (0.1 Hz – 1 kHz) ⁽⁴⁾	n_{PSD}	—	350	—	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
Control Timing					
Power-Up Response Time ⁽⁷⁾	t_{RESPONSE}	—	1.0	2.0	ms
Enable Response Time ⁽⁸⁾	t_{ENABLE}	—	0.5	2.0	ms
Self Test Response Time ⁽⁹⁾	t_{ST}	—	2.0	5.0	ms
Sensing Element Resonant Frequency					
XY	f_{GCELLXY}	—	6.0	—	kHz
Z	f_{GCELLZ}	—	3.4	—	kHz
Internal Sampling Frequency	f_{CLK}	—	11	—	kHz
Output Stage Performance					
Full-Scale Output Range ($I_{\text{OUT}} = 3\ \mu\text{A}$)	V_{FSO}	$V_{\text{SS}}+0.1$	—	$V_{\text{DD}}-0.1$	V
Nonlinearity, $X_{\text{OUT}}, Y_{\text{OUT}}, Z_{\text{OUT}}$	NL_{OUT}	-1.0	—	+1.0	%FSO
Cross-Axis Sensitivity ⁽¹⁰⁾	$V_{\text{XY}, \text{XZ}, \text{YZ}}$	-5.0	—	+5.0	%

1. For a loaded output, the measurements are observed after an RC filter consisting of an internal 32k Ω resistor and an external 3.3nF capacitor (recommended as a minimum to filter clock noise) on the analog output for each axis and a 0.1 μF capacitor on $V_{\text{DD}} - \text{GND}$. The output sensor bandwidth is determined by the Capacitor added on the output. $f = 1/2\pi * (32 \times 10^3) * C$. $C = 3.3\text{ nF}$ corresponds to $\text{BW} = 1507\text{HZ}$, which is the minimum to filter out internal clock noise.

2. These limits define the range of operation for which the part will meet specification.

3. Within the supply range of 2.2 and 3.6 V, the device operates as a fully calibrated linear accelerometer. Beyond these supply limits the device may operate as a linear device but is not guaranteed to be in calibration.

4. This value is measured with g-Select in 1.5g mode.

5. The device can measure both + and – acceleration. With no input acceleration the output is at midsupply. For positive acceleration the output will increase above $V_{\text{DD}}/2$. For negative acceleration, the output will decrease below $V_{\text{DD}}/2$.

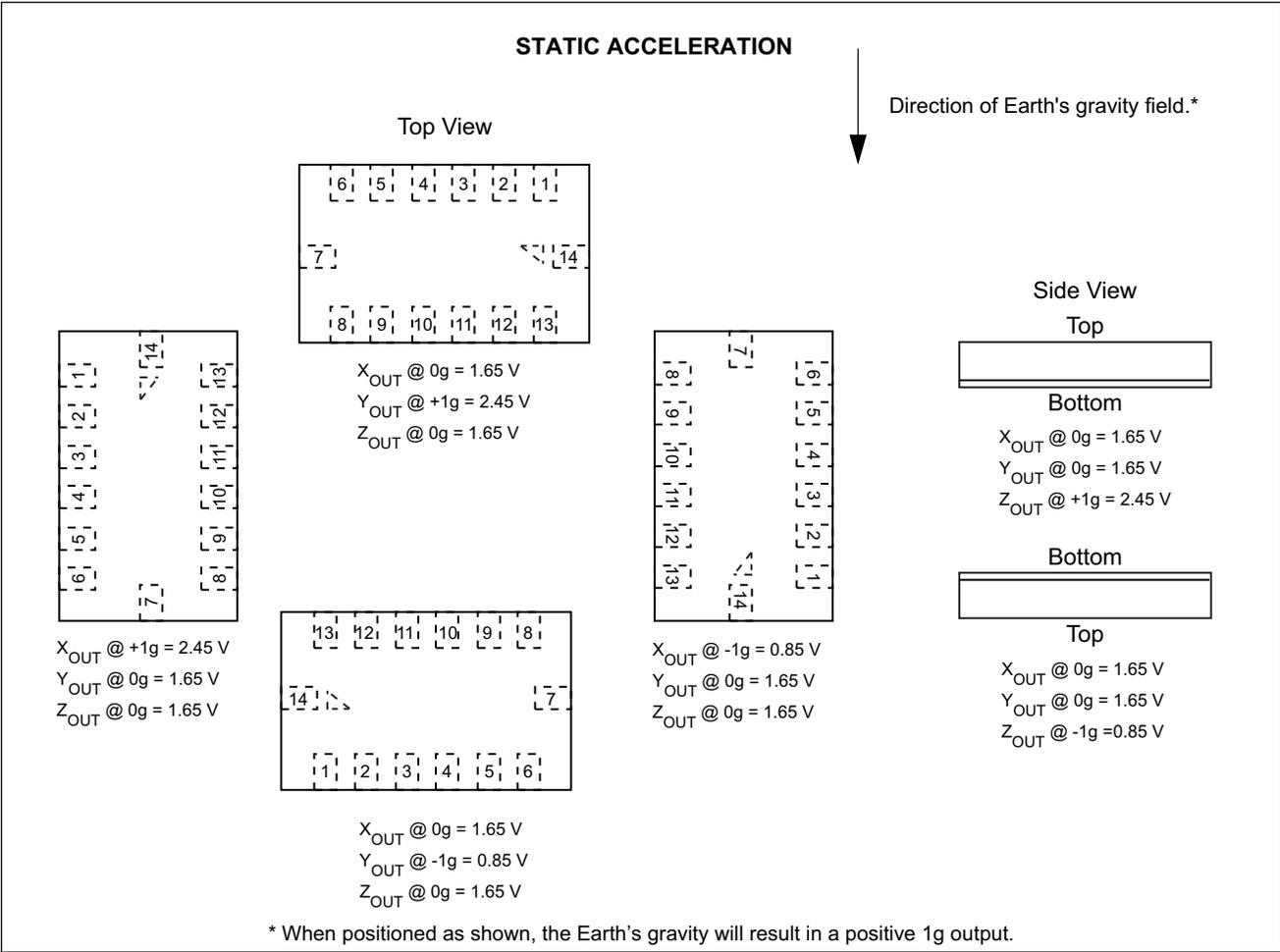
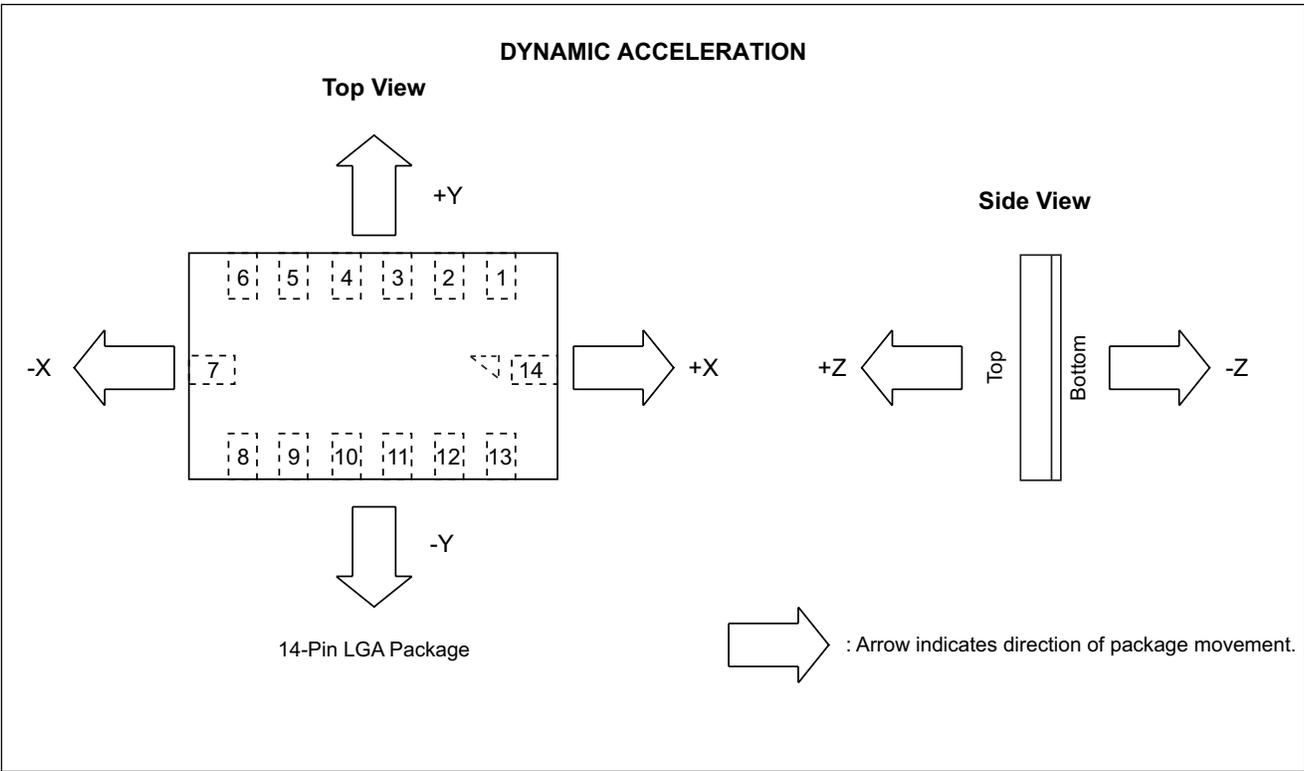
6. For optimal 0g offset performance, adhere to AN3484 and AN3447

7. The response time between 10% of full scale V_{DD} input voltage and 90% of the final operating output voltage.

8. The response time between 10% of full scale Sleep Mode input voltage and 90% of the final operating output voltage.

9. The response time between 10% of the full scale self test input voltage and 90% of the self test output voltage.

10. A measure of the device's ability to reject an acceleration applied 90° from the true axis of sensitivity.



GENERAL DESCRIPTION

The L1117 Series are positive and low dropout three-terminal voltage regulators with 1A output current capability. These devices are designed for use in low voltage applications that offers lower dropout voltage and faster transient response.

These devices are fully protected against over current faults, over temperature operation, reversed input polarity, reversed lead insertion, transient voltage spike ...etc.

On-Chips trimming the reference voltage to 2% and features the low dropout of maximum 1.45 volts.

The L1117 Series regulators offer fixed and adjustable voltage options available in the popular industry standard SOT-223, TO-220, TO-252 and TO-263 packages.

FEATURES

- Fixed 2.5V, 2.85V, 3.3V, 5V or adjustable output voltage
- Low dropout voltage: 1.2V typical at up to 1A
- Low ground current
- Fast transient response
- Current & thermal limiting
- Line regulation: 0.5% typical
- Load regulation: 0.5% typical
- SOT-223, TO-220, TO-252, TO-263 package

APPLICATIONS

- 2.85V active SCSI terminators
- 8-15V to 5V linear regulators
- 5V to 2.5V or 3.3V linear regulators
- Low voltage micro-controllers
- Battery Chargers
- Motherboard clock supplies
- Post regulator for switching supplies
- Micro-controllers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

● Maximum Supply Voltage	15V*	● Operating Junction Temperature Range	0 to 125 °C
● Power Dissipation	Internally Limited	● Storage Temperature Range	-40 to 150 °C
● Thermal Resistance Junction to Case, θ_{JC}	16 °C/W	● Lead Temperature (Soldering, 10 Seconds)	260 °C
● Thermal Resistance Junction to Ambient, θ_{JA}			
SOT-223	158 °C/W		
TO-252	70 °C/W		
TO-220	50 °C/W		
TO-263	60 °C/W		

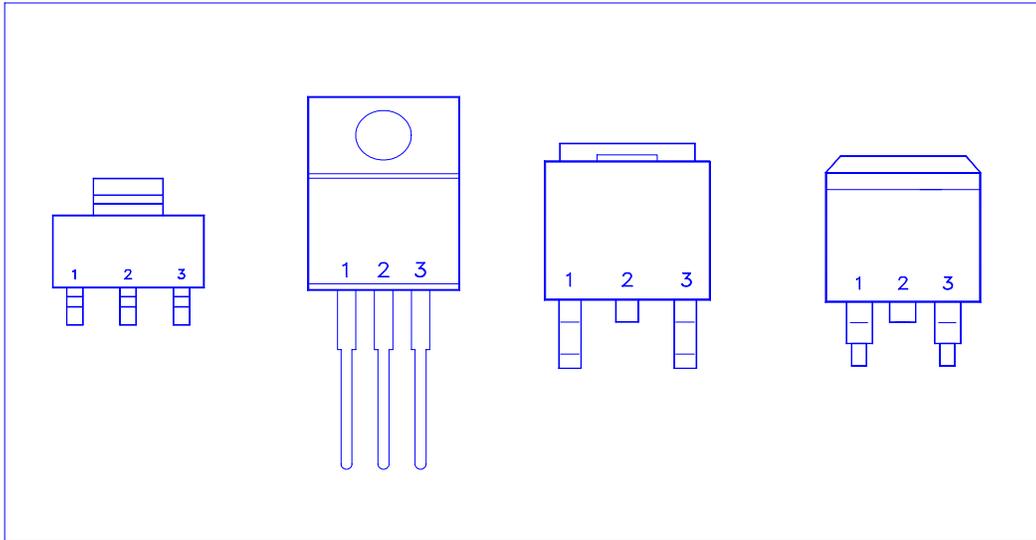
* When considering short circuits to ground, the maximum input-to-output differential voltage shall not be allowed greater than approximate 2~3V at values of supply voltage in excess of 10V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS for L1117-2.85(Unless otherwise specified, T_A = 25 °C)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Typical	Limits
Output Voltage (Fixed version)	V _O	V _{IN} = 5V, I _{OUT} = 10mA	V _O	2.793V _(Min) 2.907V _(Max)
Dropout Voltage	V _D	ΔV _O = 1%, I _{OUT} = 1A	1.2V	1.45V
Line Regulation	REG _(LINE)	(V _{OUT} + 1.5V) ≤ V _{IN} ≤ 8V, I _{OUT} = 10mA	0.5%	2.0%
Load Regulation	REG _(LOAD)	(V _{IN} - V _{OUT}) = 2V, 10mA ≤ I _{OUT} ≤ 1A	0.5%	2.0%
Minimum Load Current	I _O	1.5V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 5.75V	10mA	
GND Pin Current	I _{GND}		55μA	100μA
Current Limit	I _{CL}	V _{IN} - V _{OUT} = 2V	1.2A	1.1A (Min)
RMS Output Noise	V _N		0.003% of V _{OUT}	
Ripple Rejection Ratio	R _A	f = 120Hz, C _o =22μf, V _{IN} = 5V, I _{OUT} = 1A	72dB	60dB (Min)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS for L1117-3.3(Unless otherwise specified, T_A = 25 °C)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Typical	Limits
Output Voltage (Fixed version)	V _O	V _{IN} = 5V, I _{OUT} = 10mA	V _O	3.234V _(Min) 3.367V _(Max)
Dropout Voltage	V _D	ΔV _O = 1%, I _{OUT} = 1A	1.2V	1.45V
Line Regulation	REG _(LINE)	(V _{OUT} + 1.5V) ≤ V _{IN} ≤ 15V, I _{OUT} = 10mA	0.5%	2.0%
Load Regulation	REG _(LOAD)	(V _{IN} - V _{OUT}) = 2V, 10mA ≤ I _{OUT} ≤ 1A	0.5%	2.0%
Minimum Load Current	I _O	1.5V ≤ (V _{IN} - V _{OUT}) ≤ 5.75V	10mA	
GND Pin Current	I _{GND}		55μA	100μA
Current Limit	I _{CL}	V _{IN} - V _{OUT} = 2V	1.2A	1.1A (Min)
RMS Output Noise	V _N		0.003% of V _{OUT}	
Ripple Rejection Ratio	R _A	f = 120Hz, C _o =22μf, V _{IN} = 5V, I _{OUT} = 1A	72dB	60dB (Min)

PIN CONFIGURATIONS

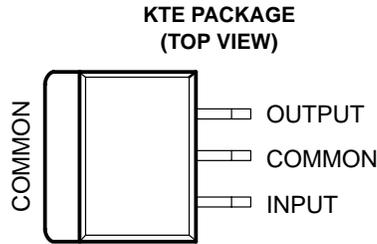
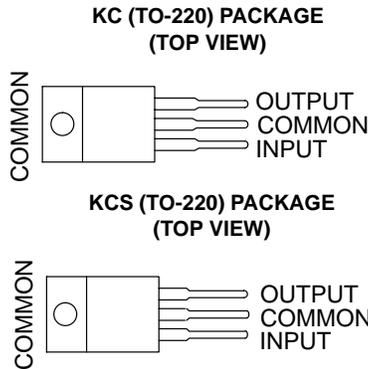
Pin #	Function
1	Adjust/Ground
2	Output
3	Input

Note: TAB is Output Pin

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{O(NOM)} (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	μA7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	μA7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	μA7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	μA7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C
TO-220 (KC)		Tube of 50	μA7815CKC	μA7815C	
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μA7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC	μA7824C	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT
V_I Input voltage	μA7805C	7	25	V
	μA7808C	10.5	25	
	μA7810C	12.5	28	
	μA7812C	14.5	30	
	μA7815C	17.5	30	
	μA7824C	27	38	
I_O Output current		1.5		A
T_J Operating virtual junction temperature	μA7800C series	0	125	°C

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10$ V, $I_O = 500$ mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5$ mA to 1 A, $V_I = 7$ V to 20 V, $P_D \leq 15$ W	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7$ V to 25 V	25°C		3	100	mV
	$V_I = 8$ V to 12 V			1	50	
Ripple rejection	$V_I = 8$ V to 18 V, $f = 120$ Hz	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5$ mA to 1.5 A	25°C		15	100	mV
	$I_O = 250$ mA to 750 mA			5	50	
Output resistance	$f = 1$ kHz	0°C to 125°C		0.017		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5$ mA	0°C to 125°C		-1.1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10$ Hz to 100 kHz	25°C		40		μV
Dropout voltage	$I_O = 1$ A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.2	8	mA
Bias current change	$V_I = 7$ V to 25 V	0°C to 125°C			1.3	mA
	$I_O = 5$ mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		750		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

APPLICATION INFORMATION

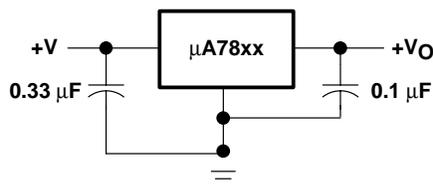


Figure 1. Fixed-Output Regulator

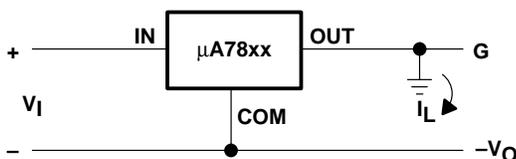
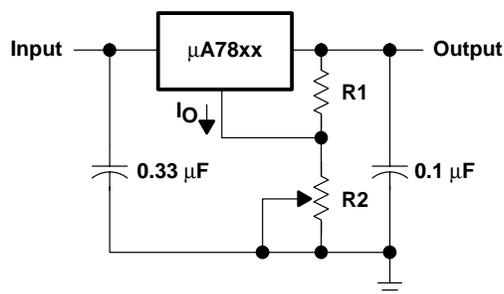


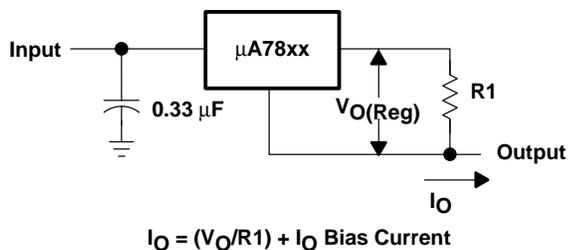
Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration (V_I Must Float)



NOTE A: The following formula is used when V_{xx} is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} + \left(\frac{V_{xx}}{R1} + I_O \right) R2$$

Figure 3. Adjustable-Output Regulator



$$I_O = (V_O/R1) + I_O \text{ Bias Current}$$

Figure 4. Current Regulator



SanDisk Secure Digital Card

Product Manual

Version 1.9

Document No. 80-13-00169

December 2003

SanDisk Corporation

Corporate Headquarters • 140 Caspian Court • Sunnyvale, CA 94089

Phone (408) 542-0500 • Fax (408) 542-0503

www.sandisk.com

2. Product Specifications

For all the following specifications, values are defined at ambient temperature and nominal supply voltage unless otherwise stated.

2.1. System Environmental Specifications

Table 2-1. System Environmental Specifications

Temperature	Operating: Non-Operating:	-25° C to 85° C -40° C to 85° C
Humidity	Operating: Non-Operating:	25% to 95%, non-condensing 25% to 95%, non-condensing
ESD Protection	Contact Pads: Non Contact Pad Area:	± 4kV, Human body model according to ANSI EOS/ESD-S5.1-1998 ± 8kV (coupling plane discharge) ± 15kV (air discharge) Human body model per IEC61000-4-2

2.2. Reliability and Durability

Table 2-2. Reliability and Durability Specifications

Durability	10,000 mating cycles
Bending	10N
Torque	0.15N.m or ±2.5 deg.
Drop Test	1.5m free fall
UV Light Exposure	UV: 254nm, 15Ws/cm ² according to ISO 7816-1
Visual Inspection/Shape and Form	No warpage; no mold skin; complete form; no cavities; surface smoothness ≤ -0.1 mm/cm ² within contour; no cracks; no pollution (oil, dust, etc.)
Minimum Moving Force of WP Switch	40 gf (ensures that the WP switch will not slide while it is inserted in the connector).
WP Switch Cycles	Minimum 1,000 Cycles @ slide force 0.4N to 5N

2.3. Typical Card Power Requirements

Table 2-3. Card Power Requirements

VDD (ripple: max, 60 mV peak to peak)	2.7 V – 3.6 V
---------------------------------------	---------------

(Ta = 25°C @3 V)

	Value	Measurement	Notes
Sleep	250	uA	Max
Read	65	mA	Max
Write	75	mA	Max

2.4. System Performance

Table 2-4. System Performance

	Typical	Maximum
Block Read Access Time Binary Products MLC Products	1.5msec 10msec	100msec 100msec
Block Write Access Time Binary Products MLC Products	24msec 40msec	250msec 250msec
CMD1 to Ready (after power up)	50msec	500msec
Sleep to Ready	1msec	2msec

NOTES: All values quoted are under the following conditions:

- 1) Voltage range: 2.7 V to 3.6 V.
- 2) Temperature range: -25° C to 85° C.
- 3) Are independent of the SD Card clock frequency.

2.5. System Reliability and Maintenance

Table 2-5. System Reliability and Maintenance Specifications

MTBF	> 1,000,000 hours
Preventive Maintenance	None
Data Reliability	< 1 non-recoverable error in 10 ¹⁴ bits read
Endurance	100,000 write/erase cycles (typical)

2.6. Physical Specifications

Refer to Table 2-6 and to Figures 2-1 through 2-3 for SD Card physical specifications and dimensions.

Table 2-6. Physical Specifications

Weight	2.0 g. maximum
Length	32mm ± 0.1mm
Width	24mm ± 0.1mm
Thickness	2.1mm ± 0.15mm (in substrate area only, 2.25mm maximum)

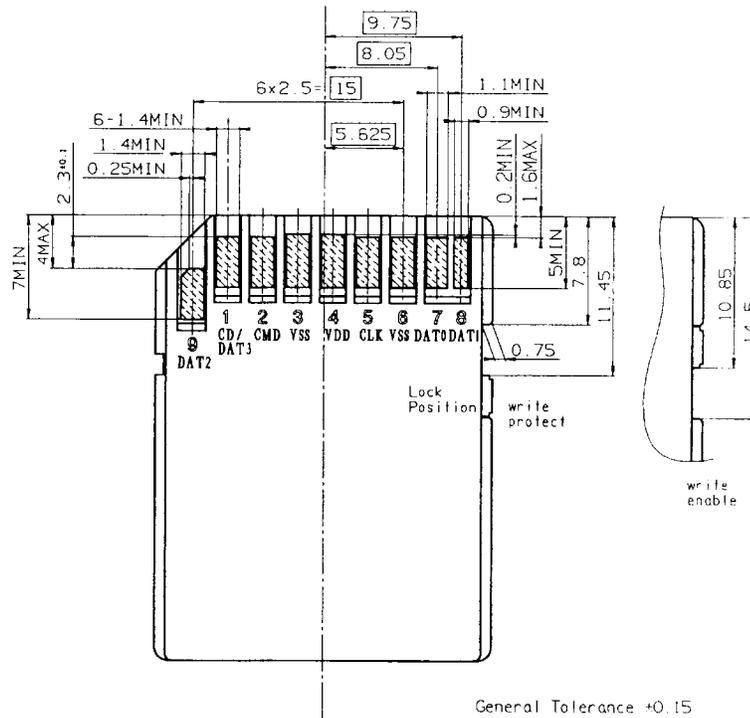


Figure 2-1. SD Card Dimensions

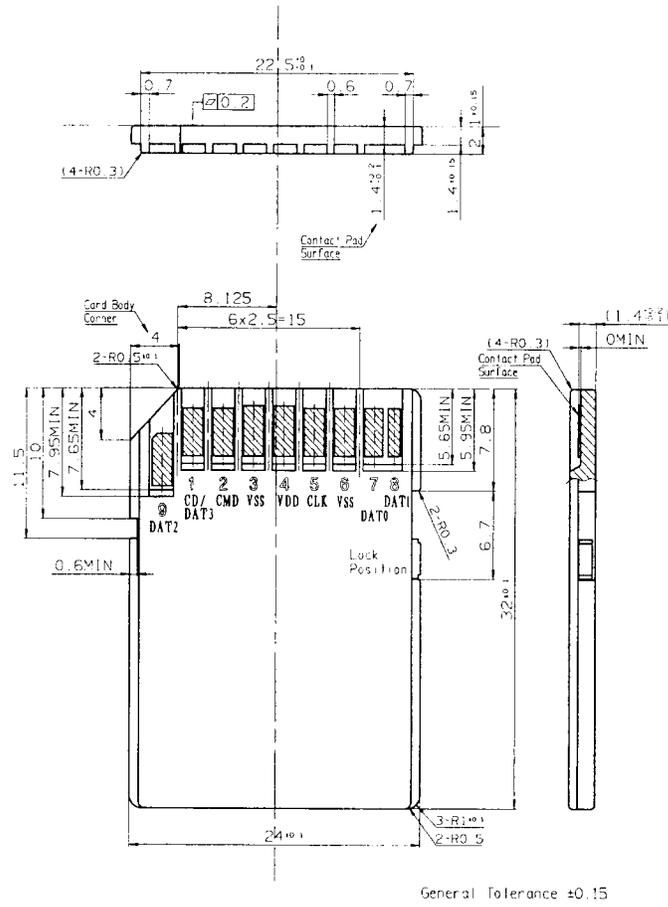


Figure 2-2. SD Card Dimensions

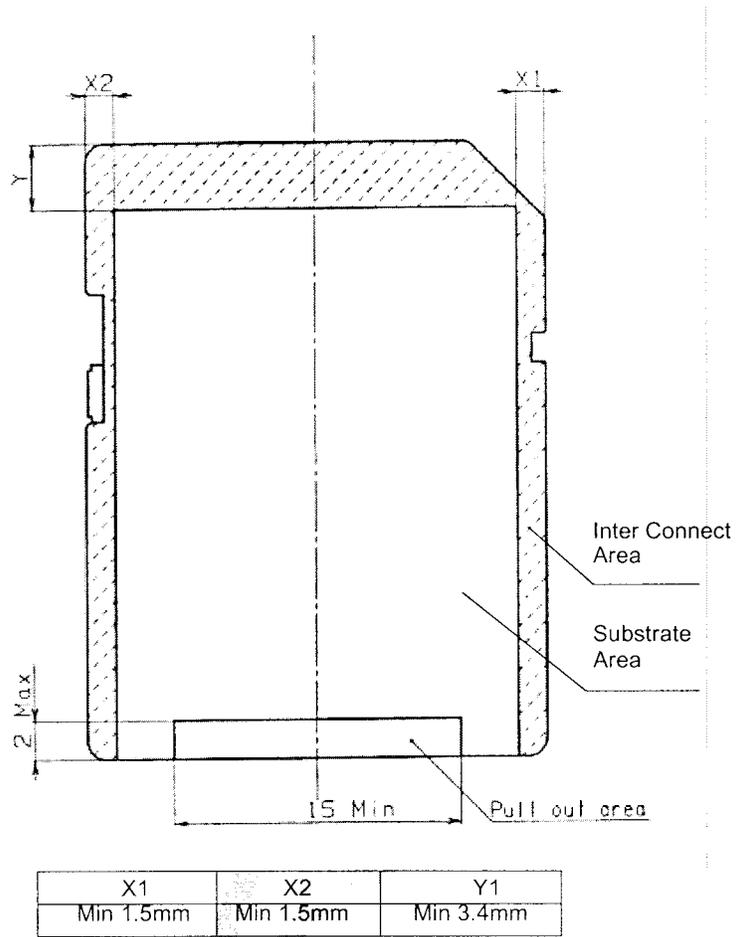


Figure 2-3. SD Card Dimensions

3. SD Card Interface Description

3.1. General Description of Pins and Registers

The SD Card has nine exposed contacts on one side (see Figure 3-1). The host is connected to the SD Card using a dedicated 9-pin connector.

3.1.1. Pin Assignments in SD Card Mode

Table 3-1 lists the pin assignments and definitions in SD Card Mode.

Table 3-1. SD Bus Mode Pad Definition

Pin #	Name	Type ¹	SD Description
1	CD/DAT3 ²	I/O ³	Card Detect/Data Line [Bit 3]
2	CMD	I/O	Command/Response
3	V _{SS1}	S	Supply voltage ground
4	V _{DD}	S	Supply voltage
5	CLK	I	Clock
6	V _{SS2}	S	Supply voltage ground
7	DAT0	I/O	Data Line [Bit 0]
8	DAT1	I/O	Data Line [Bit 1]
9	DAT2	I/O	Data Line [Bit 2]

NOTES: 1) S=power supply; I=input; O=output using push-pull drivers.

2) The extended DAT lines (DAT1-DAT3) are input on power up. They start to operate as DAT lines after the SET_BUS_WIDTH command. It is the responsibility of the host designer to connect external pullup resistors to all data lines even if only DAT0 is to be used. Otherwise, non-expected high current consumption may occur due to the floating inputs of DAT1 & DAT2 (in case they are not used).

3) After power up, this line is input with 50Kohm(+/-20Kohm) pull-up (can be used for card detection or SPI mode selection). The pull-up may be disconnected by the user, during regular data transfer, with SET_CLR_CARD_DETECT (ACMD42) command.

3.1.2. Pin Assignments in SPI Mode

Table 3-2 lists the pin assignments and definitions in SPI Mode.

Table 3-2. SPI Bus Mode Pad Definition

Pin #	Name	Type ¹	SPI Description
1	CS	I	Chip Select (Active low)
2	DataIn	I	Host to Card Commands and Data
3	VSS1	S	Supply Voltage Ground
4	VDD	S	Supply Voltage
5	CLK	I	Clock
6	VSS2	S	Supply Voltage Ground
7	DataOut	O	Card to Host Data and Status
8	RSV ⁽²⁾	I	Reserved
9	RSV ⁽²⁾	I	Reserved

NOTES: 1) S=power supply; I=input; O=output.

2) The 'RSV' pins are floating inputs. It is the responsibility of the host designer to connect external pullup resistors to those lines. Otherwise non-expected high current consumption may occur due to the floating inputs.

Each card has a set of information registers (refer to Table 3-3). Detailed descriptions are provided in Section 3.5.

Table 3-3. SD Card Registers

Name	Width	Description
CID	128	Card identification number: individual card number for identification.
RCA ¹	16	Relative card address: local system address of a card, dynamically suggested by the card and approved by the host during initialization.
CSD	128	Card specific data: information about the card operation conditions.
SCR	64	SD Configuration Register: information about the SD Card's special features capabilities.
OCR	32	Operation Condition Register

NOTE: 1) The RCA register is not available in SPI Mode.

The host may reset the cards by switching the power supply off and on again. The card has its own power-on detection circuitry which puts the card into an idle state after the power-on. The card can also be reset by sending the GO_IDLE (CMD0) command.

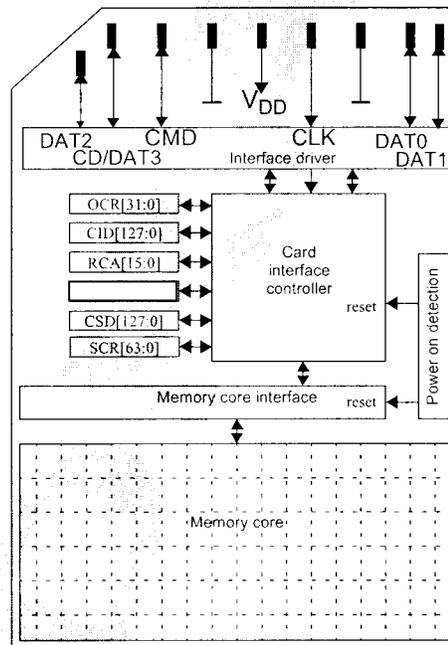


Figure 3-1. SD Card Architecture

3.2. SD Bus Topology

The SD bus has six communication lines and three supply lines:

- **CMD**—Command is a bi-directional signal. (Host and card drivers are operating in push pull mode.)
- **DAT0-3**—Data lines are bi-directional signals. (Host and card drivers are operating in push pull mode.)
- **CLK**—Clock is a host to cards signal. (CLK operates in push pull mode.)
- **VDD**—VDD is the power supply line for all cards.
- **VSS[1:2]**—VSS are two ground lines.

Figure 3-2 shows the bus topology of several cards with one host in SD Bus mode.

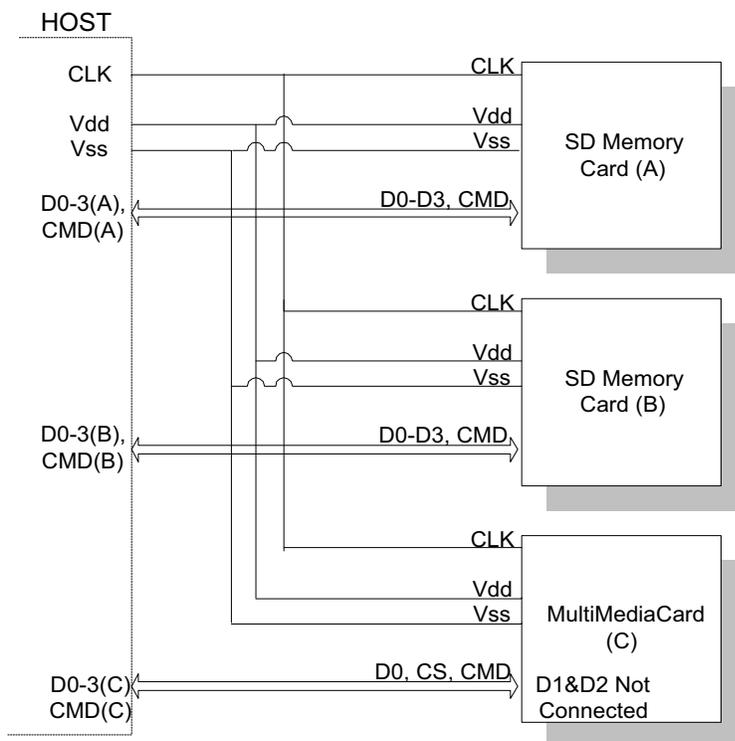


Figure 3-2. SD Card System Bus Topology

During the initialization process, commands are sent to each card individually, allowing the application to detect the cards and assign logical addresses to the physical slots. Data is always sent to each card individually. However, to simplify the handling of the card stack, after initialization, all commands may be sent concurrently to all cards. Addressing information is provided in the command packet.

The SD Bus allows dynamic configuration of the number of data lines. After power-up, by default, the SD Card will use only DAT0 for data transfer. After initialization, the host can change the bus width (number of active data lines). This feature allows an easy trade off between hardware cost and system performance.

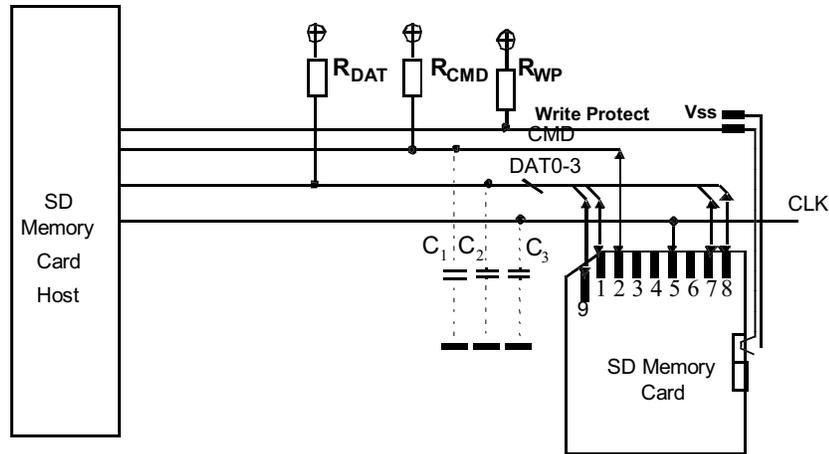


Figure 3-3. Bus Circuitry Diagram

R_{DAT} and R_{CMD} are pull-up resistors protecting the CMD and the DAT line against bus floating when no card is inserted or when all card drivers are in a hi-impedance mode. RWP is used for the Write Protect Switch. See Section 5.4.2 for the component values and conditions.

Hot Insertion/Removal

Hot insertion and removal are allowed. The SanDisk SD Card will not be damaged by inserting or removing it into the SD bus even when the power is up:

- The inserted card will be properly reset also when CLK carries a clock frequency f_{pp} .
- Data transfer failures induced by removal/insertion should be detected by the bus master using the CRC codes that suffix every bus transaction.

3.2.1. Power Protection

Cards can be inserted into or removed from the bus without damage. If one of the supply pins (V_{DD} or V_{SS}) is not connected properly, then the current is drawn through a data line to supply the card.

Data transfer operations are protected by CRC codes; therefore, any bit changes induced by card insertion and removal can be detected by the SD bus master. The inserted card must be properly reset also when CLK carries a clock frequency f_{pp} . If the hot insertion feature is implemented in the host, then the host has to withstand a shortcut between V_{DD} and V_{SS} without damage.

3.3. SPI Bus Topology

The SD Card SPI interface is compatible with SPI hosts available on the market. As any other SPI device the SD Card SPI channel consists of the following four signals:

- **CS**—Host to card Chip Select signal.
- **CLK**—Host to card clock signal.
- **DataIn**—Host to card data signal.
- **DataOut**—Card to host data signal.

Another SPI common characteristic, which is implemented in the SD Card as well, is byte transfers. All data tokens are multiples of 8-bit bytes and always byte aligned to the CS signal. The SPI standard defines the physical link only and not the complete data transfer protocol. In SPI Bus mode, the SD Card uses a subset of the SD Card protocol and command set.

The SD Card identification and addressing algorithms are replaced by a hardware Chip Select (CS) signal. A card (slave) is selected, for every command, by asserting (active low) the CS signal (see Figure 3-4). The CS signal must be continuously active for the duration of the SPI transaction (command, response and data). The only exception is card programming time. At this time the host can de-assert the CS signal without affecting the programming process.

The bi-directional CMD and DAT lines are replaced by uni-directional dataIn and dataOut signals. This eliminates the ability of executing commands while data is being read or written. An exception is the multi read/write operations. The Stop Transmission command can be sent during data read. In the multi block write operation a Stop Transmission token is sent as the first byte of the data block.

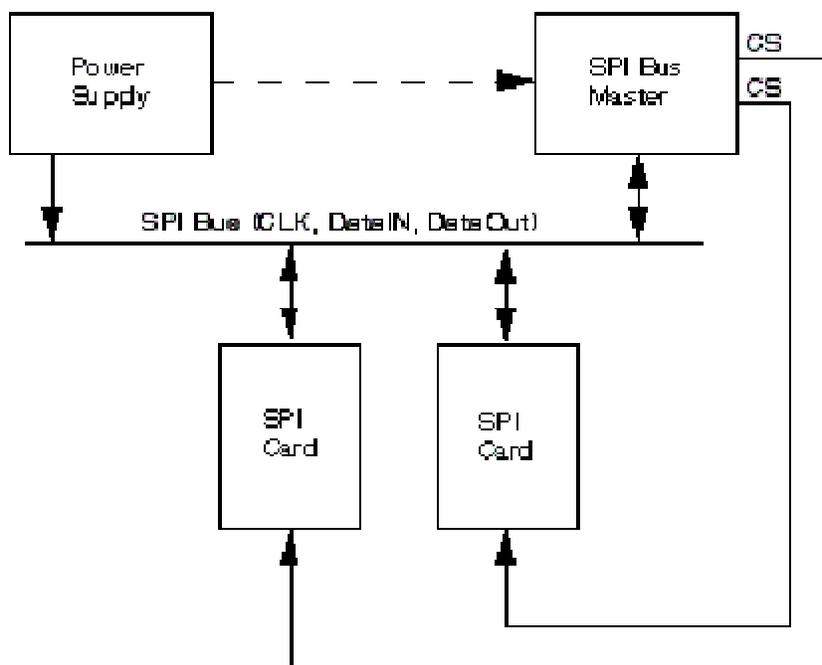


Figure 3-4. SD Card Bus System

3.3.1. Power Protection

Same as for SD Card mode.

3.4. Electrical Interface

The following sections provide valuable information for the electrical interface.