

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO
PARA EL ENCENDIDO TEMPORIZADO DE MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AUTOMOTRIZ**

CARLOS XAVIER ROSERO CHANDI

Latacunga, Octubre de 2009

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, CARLOS XAVIER ROSERO CHANDI, declaro que:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL ENCENDIDO TEMPORIZADO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Latacunga, Octubre de 2009.

Carlos Xavier Rosero Chandi

CC. 1002515821

AUTORIZACIÓN

Yo, CARLOS XAVIER ROSERO CHANDI,

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la biblioteca virtual de la institución del trabajo “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL ENCENDIDO TEMPORIZADO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Octubre de 2009.

Carlos Xavier Rosero Chandi

CC. 1002515821

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL ENCENDIDO TEMPORIZADO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA” fue desarrollado por CARLOS XAVIER ROSERO CHANDI, bajo nuestra supervisión, cumpliendo con normas estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Latacunga, Octubre de 2009.

Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Augusto Bourgeat
CODIRECTOR DE PROYECTO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Declaración de responsabilidad	ii
Autorización	iii
Certificación	iv
Índice de contenidos	v
Índice de figuras	ix
Índice de tablas	xiii
Índice de ecuaciones	xiv
Índice de anexos	xv
Resumen	xvi
Presentación	xvii
Capítulo I	1
I. Diseño y construcción de un sistema electrónico para el encendido temporizado de motores de combustión interna	
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificativo	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Metas	4
Capítulo II	5
II. Requerimientos / requisitos del dispositivo	
2.1. Descripción general	5
2.2. Requisitos del sistema	6
2.2.1. Requisitos en base al ambiente de trabajo	6
2.2.2. Requisitos en base a especificaciones de potencia	6
2.2.3. Requisitos en base al desempeño solicitado	6
2.3. Aproximación	7
2.3.1. Subsistema de sensado	7
2.3.2. Subsistema de procesamiento y configuración	9
2.3.2.1. Función de procesamiento	9
2.3.2.2. Función de configuración	10

2.3.3. Subsistema de visualización	10
2.3.4. Subsistema de respuesta	11
Capítulo III	12
III. Desarrollo	
3.1. Caracterización del hardware	12
3.1.1. Subsistema de sensado	12
3.1.1.1. Voltaje del acumulador	12
3.1.1.2. Temperatura del refrigerante	14
3.1.1.3. Cantidad de combustible	15
3.1.1.4. Velocidad angular del motor	16
3.1.1.5. Señales lógicas desde el vehículo	18
3.1.1.6. Sensor de marchas	20
3.1.2. Subsistema de procesamiento y configuración	22
3.1.2.1. Función de procesamiento	24
3.1.2.1.1. Conexión del microcontrolador de procesamiento	25
3.1.2.1.2. Consideraciones del oscilador	26
3.1.2.2. Función de configuración	27
3.1.2.2.1. Conexión del microcontrolador de configuración	28
3.1.2.2.2. Base de tiempo para reloj en tiempo real	29
3.1.2.2.3. Teclado	30
3.1.2.3. Conexión entre el microcontrolador de procesamiento y el de configuración	31
3.1.3. Subsistema de visualización	32
3.1.3.1. Visualizador local de variables medidas	33
3.1.3.2. Visualizador de configuración del sistema	34
3.1.3.3. Visualizador remoto	35
3.1.3.3.1. Transceptores ZIGBEE	36
3.1.3.3.2. Puente ZIGBEE – USB	38
3.1.4. Subsistema de respuesta	39
3.1.5. Alimentación del sistema	41
3.1.5.1. Fuente de alimentación del módulo implementado en el vehículo ..	41
3.1.5.2. Fuente de alimentación del puente ZIGBEE – USB	43

3.2. Diagrama esquemático general	43
3.3. Descripción general del firmware y software	45
3.3.1. Criterios de selección del lenguaje de programación	45
3.3.2. Firmware del microcontrolador de procesamiento	45
3.3.2.1. Programa principal	45
3.3.2.1.1. Modo de trabajo “Monitor”	47
3.3.2.1.2. Modo de trabajo “Temporizador”	49
3.3.2.1.3. Modo de trabajo “Parámetros Seguros”	51
3.3.2.1.4. Modo de trabajo “Configuración”	52
3.3.2.2. Interrupciones	53
3.3.2.2.1. Desbordamiento del TIMER1	54
3.3.2.2.2. Flanco activo en CCP2	55
3.3.2.2.3. Desbordamiento del TIMER2	56
3.3.2.2.4. Flanco activo en pin de interrupción externa INT2	58
3.3.2.2.5. Evento I ² C	59
3.3.2.3. Subrutinas especiales	60
3.3.2.3.1. Medición de voltaje	60
3.3.2.3.2. Medición de combustible	61
3.3.2.3.3. Medición de temperatura	62
3.3.3. Firmware del microcontrolador de configuración	63
3.3.3.1. Programa principal	63
3.3.3.1.1. Menú de petición de código de seguridad	65
3.3.3.1.2. Menú de configuración de hora y fecha	65
3.3.3.1.3. Menú de configuración de alarma	66
3.3.3.1.4. Menú de configuración de constantes de referencia	66
3.3.3.2. Subrutina de interrupción	67
3.3.4. Firmware del microcontrolador de puenteo entre ZIGBEE y USB	70
3.3.4.1. Programa principal	70
3.3.4.2. Subrutina de interrupción	72
3.3.5. Software de monitoreo en la PC	74
3.3.5.1. Controladores del dispositivo USB	74
3.3.5.2. Instrumento virtual en LabVIEW	76

3.3.6. Configuración de los módulos ZIGBEE	78
3.4. Diseño de las placas de circuito impreso	80
Capítulo IV	83
IV. Implementación y pruebas del sistema electrónico	
4.1. Montaje físico del sistema	83
4.2. Pruebas	86
4.2.1. Determinación de precisión en la adquisición de variables	87
4.2.1.1. Voltaje	88
4.2.1.2. Combustible	88
4.2.1.3. Temperatura	89
4.2.1.4. Velocidad angular	90
4.2.2. Determinación de precisión del reloj en tiempo real	91
4.2.3. Arranques temporizados según alarma	92
4.2.3.1. Verificación de activación del sistema con los tres tipos de alarma	92
4.2.3.2. Verificación de arranque con parámetros inseguros.....	92
4.2.3.3. Verificación de apagado ante parámetros inseguros o finalización de tiempo	93
4.3. Desempeño general del sistema	94
4.4. Presupuesto	95
4.5. Análisis costo – beneficio	96
V. Conclusiones	98
VI. Recomendaciones	99
VII. Bibliografía	100
VIII. Anexos	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de bloques del módulo para encendido temporizado de motores	7
Figura 3.1. Circuito de medición de voltaje	13
Figura 3.2. Conexión del medidor de temperatura	14
Figura 3.3. Circuito de medición de temperatura	15
Figura 3.4. Conexión del medidor de combustible	15
Figura 3.5. Circuito de medición de combustible	15
Figura 3.6. Circuito de medición de velocidad angular	16
Figura 3.7. Diagrama CTR vs IF, extraído de la hoja de datos del Fairchild 4N25	17
Figura 3.8. Adquisición de señales lógicas desde el sistema de gestión del automóvil	18
Figura 3.9. Adquisición de señales lógicas desde el sistema de gestión del motor	19
Figura 3.10. Configuración del arnés de encendido, el módulo de encendido temporizado y el suministro de corriente hacia el motor	20
Figura 3.11. Interfaces de las señales de llave insertada y luces guías encendidas	20
Figura 3.12. Circuito de sensado de marchas	21
Figura 3.13. Diagrama de bloques del PIC18F4550	24
Figura 3.14. PINOUT del PIC18F4550	25
Figura 3.15. Circuito del oscilador	27
Figura 3.16. PINOUT del PIC18F2550	28
Figura 3.17. Circuito del oscilador asociado al TIMER1 para generación de base de tiempo de 1 segundo	30
Figura 3.18. Diagrama de conexión entre el teclado hexadecimal y el microcontrolador	31
Figura 3.19. Diagrama de conexión entre el microcontrolador de procesamiento y el de configuración	32

Figura 3.20. Diagrama de conexión entre el módulo LCD de visualización local de variables y el microcontrolador, incluido el driver para control de la retroiluminación	34
Figura 3.21. Diagrama de conexión entre el módulo LCD de visualización del menú de configuración y el microcontrolador, incluido el driver para control de la retroiluminación	35
Figura 3.22. Diagrama de bloques que muestra la conexión de los dispositivos de visualización con el resto de subsistemas	35
Figura 3.23. Módulos XBEE	37
Figura 3.24. Conexión de los módulos XBEE	37
Figura 3.25. Diagrama del BRIDGE ZIGBEE – USB	38
Figura 3.26. Relevadores de potencia de estado sólido para el subsistema de respuesta	39
Figura 3.27. Circuito de alimentación del módulo para encendido temporizado de motores	41
Figura 3.28. Circuito de alimentación del BRIDGE ZIGBEE – USB	43
Figura 3.29. Diagrama esquemático general	44
Figura 3.30. Diagrama de flujo del programa principal del microcontrolador de procesamiento	46
Figura 3.31. Diagrama de flujo del modo de trabajo “Monitor”	48
Figura 3.32. Diagrama de flujo del modo de trabajo “Temporizador”	50
Figura 3.33. Diagrama de flujo del modo de trabajo “Parámetros Seguros” .	51
Figura 3.34. Diagrama de flujo del modo de trabajo “Configuración”	53
Figura 3.35. Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción del TIMER1	54
Figura 3.36. Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción del módulo CCP2	55
Figura 3.37. Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción por desbordamiento del TIMER2	58
Figura 3.38. Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción externa	59
Figura 3.39. Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción ante evento I ² C	60

Figura 3.40: Línea de tendencia utilizada para la medición de combustible .	61
Figura 3.41: Línea de tendencia utilizada para la medición de temperatura .	62
Figura 3.42. Diagrama de flujo del programa principal del microcontrolador de configuración	64
Figura 3.43. Diagrama de flujo de la rutina de interrupción en el programa de configuración	69
Figura 3.44. Diagrama de flujo del programa principal del microcontrolador de puenteo ZIGBEE – USB	71
Figura 3.45. Formato de trama enviada vía ZIGBEE	72
Figura 3.46. Rutina especial de interrupción por recepción UART	74
Figura 3.47. Pantalla principal del NI- VISA DRIVER WIZARD	75
Figura 3.48. Ventana del administrador de dispositivos de Windows, donde se observa que el módulo de puenteo ZIGBEE – USB ha sido reconocido como un dispositivo de LabVIEW	76
Figura 3.49. Diagrama de bloques del instrumento virtual para visualización remota de variables	77
Figura 3.50. Panel frontal del instrumento virtual para visualización remota de variables	78
Figura 3.51. Pantalla de configuración del módulo ZIGBEE de la base	80
Figura 3.52. Pantalla de configuración del módulo ZIGBEE del terminal remoto	80
Figura 3.53. Ruteo de la placa principal del módulo para encendido temporizado de motores	81
Figura 3.54. Ruteo de la placa de la estación base para conversión ZIGBEE – USB	82
Figura 4.1. Placa terminada del módulo de encendido temporizado	83
Figura 4.2. Placa terminada del puente ZIGBEE – USB	84
Figura 4.3. Módulos y cables de conexión	84
Figura 4.4. Disposición del sensor de marchas	85
Figura 4.5. Teclado y LCD para configuración	85
Figura 4.6. LCD para visualización local de variables	86
Figura 4.7. Disposición del módulo para encendido temporizado	86

Figura 4.8. Diagrama de dispersión de mediciones de voltaje	88
Figura 4.9. Diagrama de dispersión de mediciones de combustible	89
Figura 4.10. Diagrama de dispersión de mediciones de temperatura	90
Figura 4.11. Diagrama de dispersión de mediciones de velocidad angular ..	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla III.1. Tabla de verdad del codificador de prioridad 74LS148	21
Tabla III.2. Configuración de puertos del microcontrolador de procesamiento	26
Tabla III.3. Conexión de puertos del microcontrolador de configuración	28
Tabla III.4. Significado de señales lógicas negociadas entre los dos microcontroladores	32
Tabla III.5. Frecuencias de muestreo de las variables del sistema	57
Tabla III.6. Constantes de referencia del menú de configuración	67
Tabla III.7. Señalizadores en la trama transmitida inalámbricamente	73
Tabla III.8. Resumen de configuración de los módulos ZIGBEE	79
Tabla IV.1. Mediciones de voltaje en el automóvil	88
Tabla IV.2. Mediciones de combustible en el automóvil	89
Tabla IV.3. Mediciones de temperatura en el automóvil	89
Tabla IV.4. Mediciones de velocidad angular en el automóvil	90
Tabla IV.5. Mediciones de tiempo con el reloj	91
Tabla IV.6. Pruebas de activación de alarmas	92
Tabla IV.7. Pruebas de arranque con parámetros inseguros	92
Tabla IV.8. Pruebas de apagado ante parámetros inseguros	93
Tabla IV.9. Pruebas de apagado ante condiciones inseguras	94
Tabla IV.10. Error máximo de cada prueba ejecutada	94
Tabla IV.11. Costo de componentes electrónicos del módulo para encendido temporizado	96

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1: Divisor de voltaje	13
Ecuación 3.2: Frecuencia de corte de filtro pasabajo RC	13
Ecuación 3.3: Corriente a través de un regulador resistencia – zener	14
Ecuación 3.4: Potencia disipada por diodo zener	14
Ecuación 3.5: Corriente mínima a través del LED de un optoacoplador	17
Ecuación 3.6: Radio de transferencia en un optoacoplador	17
Ecuación 3.7: Voltaje en compuerta de MOSFET con transistor manejador bipolar	40
Ecuación 3.8: Voltaje de salida en regulador variable LM317	42
Ecuación 3.9: Período de conteo del TIMER1	54
Ecuación 3.10: Temporización máxima obtenida en el TIMER1	55
Ecuación 3.11: Obtención de frecuencia en función de período	56
Ecuación 3.12: Obtención de frecuencia angular para motores de 4 cilindros a partir de la frecuencia	56
Ecuación 3.13: Temporización en el TIMER2	57
Ecuación 3.14: Digitalización del voltaje	61
Ecuación 3.15: Modelo utilizado en el cálculo del combustible	62
Ecuación 3.16: Modelo utilizado en el cálculo de la temperatura	63
Ecuación 3.17: Combinaciones posibles en una clave de seguridad	65
Ecuación 3.18: Cálculo de la base de tiempo para el TIMER1	68
Ecuación 3.19: Cálculo de la frecuencia central de trabajo en los módulos XBEE	79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Manual de usuario del módulo para encendido temporizado de motores de combustión interna	103
Anexo B. Procedimiento general de arranque de motores gasolina	107
Anexo C. Procedimiento general de arranque de motores diesel	110
Anexo D. Calentamiento y funcionamiento a ralentí en motores gasolina ...	113
Anexo E. Calentamiento y funcionamiento a ralentí en motores diesel	115
Anexo F. Artículo para revista.....	117

RESUMEN

El presente trabajo detalla el diseño y pruebas de la aplicación autotrónica para el encendido temporizado de motores de combustión interna. El dispositivo se concibe básicamente como un sistema digital de monitoreo, empleado en la verificación de parámetros seguros de funcionamiento en motores térmicos. Posee además dos mecanismos de control: el primero, útil en el proceso de arranque del motor (con control de lazo abierto), y el segundo, usado como unidad de apagado inmediato ante presencia de parámetros no seguros (apagado de emergencia).

El sistema posee hardware empleado en el manejo del arranque y alimentación de corriente del motor, sensado de parámetros de funcionamiento, visualización local de variables, transmisión inalámbrica de datos medidos y calibración de constantes de referencia mediante una interfaz amigable.

Es importante resaltar que el control del funcionamiento a ralentí del motor de combustión interna, es realizado enteramente por los dispositivos electrónicos, electromecánicos o mecánicos intrínsecos destinados para este fin.

PRESENTACIÓN

Los procedimientos de arranque, calentamiento y sustento en ralentí, requieren de un método eficiente para garantizar vida útil extendida en los motores de combustión interna.

Con el transcurrir del tiempo, la fusión existente entre la electrónica de aplicación y la ingeniería automotriz, se ha vuelto más compacta. Por ello, existen innumerables aplicaciones conjuntas que día a día mejoran el desempeño de los motores térmicos.

La aplicación teórico – práctica del presente proyecto, no es la excepción. Se trata de un mecanismo diseñado para monitorear diferentes variables en el motor y determinar si ellas se encuentran dentro de niveles de seguridad especificados.

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

En el capítulo 3, el más importante en esta monografía, se detallan los criterios y procedimientos tomados en la caracterización del módulo. Allí se esboza su desarrollo.

Posteriormente, en el capítulo 4 se detallan los pormenores de la implementación física del sistema. También se describen las pruebas realizadas en la comprobación de su robustez y fiabilidad.

Bajo el epígrafe “conclusiones”, se concreta el esfuerzo y trabajo desarrollado a lo largo del proyecto.

CAPÍTULO I

IX. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL ENCENDIDO TEMPORIZADO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

9.1. ANTECEDENTES

Al margen de valores de eficiencia relativamente pobres y niveles altos de emisiones contaminantes, el motor de combustión interna ha sido el principal motor térmico de nuestra era. Su adaptación realmente variada se ubica dentro de la automoción, aeronáutica, propulsión naval y aplicación industrial.

La operación y el mantenimiento de MCIs, precisan complejidad aceptable y garantizan vida útil extendida. Dentro de su manipulación, existen dos ítems importantes: el procedimiento de arranque y el procedimiento de calentamiento y sustento en ralentí.

Varios aspectos como estrechez de tiempo, ignorancia de instrucciones de operación e inexperiencia en mantenimiento básico automotriz, conllevan a que el usuario / operador del motor realice procedimientos de calentamiento deficientes e incluso los suprima. La exigencia prematura de mediana y máxima carga, conlleva a desgaste temprano de piezas móviles de la máquina de combustión.

Motores de aplicación automotriz (móviles) e industrial (estacionarios), debido a falta de personal calificado, cuestiones burocráticas y / o planes de mantenimiento deficientes, no son encendidos con regularidad. Toleran el mismo problema vehículos almacenados por períodos largos de tiempo. Así, pueden suscitarse varios inconvenientes como: oxidación de conductos de admisión y escape, enmohecimiento de tanques de combustible, ruptura de intercambiadores de calor, sulfatado de contactos eléctricos, oxidación y trabado

de elementos internos móviles, erosión de cabezotes, bombas de agua y elementos en contacto con el refrigerante, entre otros.

El usuario / operador de motores móviles gasolina y especialmente diesel (autobuses, camiones, maquinaria pesada), suele tener la costumbre de dejar encendido el vehículo en ralentí durante largos períodos de tiempo, asunto que resulta en una penalización en economía de combustible y riesgo de permitir que circunstancias relevantes como sobrecalentamiento, falta de carburante y ralentí muy bajo con su correspondiente fallo en engrase, causen daños graves en el motor.

Hoy en día existen sistemas electrónicos que realizan funciones realmente complejas. Un ejemplo muy reciente patentado para Cummins es el módulo ICON (Control de Ralentí), el cual detecta cuando la temperatura de aceite se encuentra por debajo de cierto nivel, las baterías tienen tendencia a descargarse o la temperatura en la cabina no está dentro de parámetros de confort especificados, en cuyos casos, enciende el motor y lo mantiene a velocidad de ralentí. Otro sistema es el RADIOSTAR KING TIGER, un dispositivo de alarma que además de sus funciones anti – atraco, soporta el encendido y apagado remoto del motor mediante radiofrecuencia.

Los dos módulos mencionados y otros más, tienen aplicación funcional pero no completa y costos de adquisición e implementación altos. Además, no son mudables y están concebidos únicamente para ciertos motores diesel o vehículos de transmisión automática.

9.2. JUSTIFICATIVO

Se necesita de un sistema automatizado que encamine al MCI a cumplir itinerarios de encendido temporizado, consolide procedimientos de calentamiento eficientes y funcione como central de monitoreo de condiciones que aseguren arranques y funcionamiento protegidos; escoja decisiones acertadas para diferentes casos.

No están en auge aquellos sistemas complicados de maniobrar y poco amigables, sea cual fuere su aplicación. Bajo este concepto, preciso que hace falta un mecanismo electrónico que muestre una interfaz sencilla y fraterna con el operador, admita ajuste de tolerancias de medida y posea suficiente versatilidad para que, con ligeras modificaciones de hardware y firmware, consienta su empleo en cualquier tipo de MCI. Se requiere un equipo con índice costo – beneficio aceptable, vida útil larga, mantenimiento barato y repuestos accesibles en nuestro medio.

Creo imperiosa la elaboración de una aplicación que se oriente a dar soluciones a las necesidades citadas: se centrará en desarrollar un sistema electrónico fehaciente, que reduzca al mínimo la manipulación directa de un operador en los procedimientos de arranque, calentamiento y operación a ralenti del motor de combustión interna.

9.3. OBJETIVOS

En función de la problemática descrita en líneas previas, surge la idea de llevar a cabo el presente proyecto de tesis, cuyo objetivo fundamental consiste en: *diseñar y construir un módulo electrónico para el encendido temporizado de motores de combustión interna de cualquier característica.*

Dentro de este argumento primordial, los objetivos específicos son:

- Precisar los requerimientos que debe cumplir el sistema electrónico aplicable en la solución del problema, en base a procedimientos generales para arranque, calentamiento y sustento en ralenti de motores de combustión interna.
- Seleccionar los elementos electrónicos idóneos; concebir su funcionamiento con la ayuda de diagramas de bloque y de flujo.

- Aplicar software específico para programación de microcontroladores, dibujo de diagramas esquemáticos y diseño de placas de circuito impreso.
- Aplicar el módulo en un MCI real y probarlo para condiciones concretas de trabajo.
- Realizar un manual de usuario que sintetice modos de funcionamiento, programación, requerimientos y precauciones en su manipulación.

9.4. METAS

Con la culminación del presente proyecto espero conseguir lo siguiente:

- Implementar el módulo en varios tipos y marcas de motores a fin de determinar estándares de programación, calibraciones de tiempos de arranque, lapsos de encendido y procedimientos de control en ralentí.
- Tomar el diseño como base para la realización de otros sistemas aplicados al campo automotriz.

CAPÍTULO II

X. REQUERIMIENTOS / REQUISITOS DEL DISPOSITIVO

10.1.DESCRIPCIÓN GENERAL

El dispositivo es un sistema digital de monitoreo. Su función principal es verificar parámetros seguros de funcionamiento en motores de combustión interna.

El sistema posee varios mecanismos que le permiten:

- Sensar de manera precisa las variables implicadas en el funcionamiento seguro del motor.
- Visualizar localmente y en tiempo real el valor de las variables sensadas.
- Transmitir inalámbricamente los datos medidos hacia una base de monitoreo remoto con interfaz gráfica.
- Calibrar las constantes de referencia mediante una interfaz amigable con el usuario.
- Manejar un reloj en tiempo real con alarma, para despertar en momentos determinados.
- Proveer la alimentación de corriente al sistema de encendido (contacto).
- Manejar el motor de arranque del MCI.

En base a estas herramientas, las dos funciones derivadas del sistema son:

- Constituirse en una central electrónica de monitoreo de los motores de combustión interna, que permite al usuario verificar en tiempo real, local y remotamente, el valor de las variables implicadas en el funcionamiento seguro del motor.
- Permitir que los motores se enciendan en hora y fecha determinadas, de manera autónoma (sin asistencia del usuario), para realizar rutinas de calentamiento y funcionamiento en ralentí.

10.2.REQUISITOS DEL SISTEMA

Los requisitos que cumple el sistema se detallan teniendo en cuenta las condiciones del ambiente de trabajo, las especificaciones de potencia y las actividades que realiza.

10.2.1. REQUISITOS EN BASE AL AMBIENTE DE TRABAJO

- Inmunidad al ruido eléctrico generado por elementos del motor y vehículo.
- Indemnidad a la vibración.
- Capacidad de trabajo en severas temperaturas ambiente.
- Impacto exiguo en los sistemas del vehículo y motor.

10.2.2. REQUISITOS EN BASE A ESPECIFICACIONES DE POTENCIA

- Consumo de corriente mínimo, para evitar descarga del acumulador con su funcionamiento durante períodos largos de tiempo.
- Manejo de potencia suficiente para asegurar fiabilidad en la administración de sistemas que requieren grandes cantidades de corriente.
- Protección contra conexión invertida y sobrevoltaje.

10.2.3. REQUISITOS EN BASE AL DESEMPEÑO SOLICITADO

- Exactitud en la base de tiempo utilizada para el reloj en tiempo real.
- Margen de error pequeño en lectura e interpretación de señales análogas y pulsantes.
- Alta velocidad de adquisición, procesamiento y ejecución.
- Oportunidad de comunicación con dispositivos externos con el objeto de expandir sus aplicaciones.
- Seguridad en la señal RF y alcance moderado de ésta.

- Versatilidad en interfaces analógicas para poder medir señales desde sensores del sistema o provenientes del tablero de instrumentos del vehículo.
- Vida útil larga con mantenimiento mínimo.
- Accesibilidad a los elementos empleados y costo de adquisición relativamente bajo.

10.3.APROXIMACIÓN

En el diagrama mostrado en la figura 2.1, se puede observar la concepción básica del hardware, con bloques agrupados en subsistemas de acuerdo a las funciones generales: sensado, procesamiento y configuración, visualización, y respuesta.

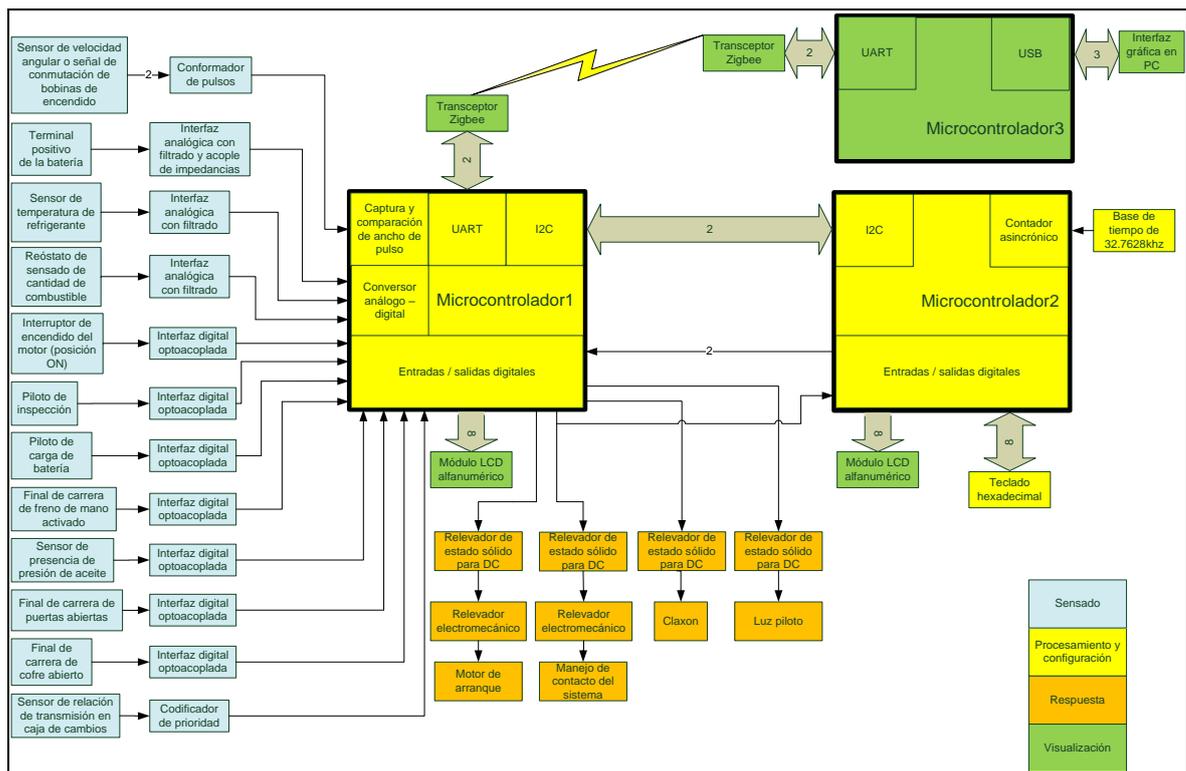


Figura 2.1: Diagrama de bloques del módulo para encendido temporizado de motores

10.3.1. SUBSISTEMA DE SENSADO

Fundamentalmente existen dos tipos de señales que ingresan al sistema: continuas y discretas.

Las señales continuas útiles en la gestión básica del motor son la temperatura de funcionamiento, cantidad de combustible y voltaje en el acumulador. Su velocidad de muestreo no es crítica, característica que permite mayor flexibilidad y oportunidad de dar prioridad a otros procesos, sobre las pertinentes conversiones análogo – digitales.

En vista de que el conversor análogo – digital de cualquier microcontrolador no admite voltajes mayores a los TTL, se usa divisores de voltaje para mitigar linealmente las señales provenientes de los elementos de sensado. Además, en el caso de la medición de tensión, existe un mecanismo de protección de altos voltajes del alternador, en aquel instante en que se quita contacto del motor y el regulador de voltaje del sistema de carga deja de funcionar.

La interferencia electromagnética y el ruido blanco están presentes en la mayoría de motores térmicos y en especial los encendidos por chispa. Se implementa filtros pasabajo pasivos que atenúan componentes altas de frecuencia, adheridas a las señales continuas muestreadas.

La velocidad angular en los motores diesel normalmente puede provenir de sensores de efecto hall o reluctancia variable. Los primeros emiten señales discretas unipolares de amplitud 5 ó 12V, y los otros, señales continuas (sinusoidales) de frecuencia media (8Khz para un reluctor de 60 dientes, en un motor que gira a un máximo de 8000rpms). Además, en los motores gasolina, la velocidad angular también puede ser tomada desde la señal de conmutación de la (s) bobina (s) de encendido.

En base al criterio anterior, el sistema posee una interfaz que puede mitigar eficientemente picos de voltaje inducidos en el circuito primario de las bobinas de encendido. Además realiza la conformación de pulsos al transformar señales sinusoidales e impulsos, en señales digitales de amplitud 5V. Conjuntamente, posee alta impedancia de entrada y filtros pasabanda pasivos que eliminan componentes altas de frecuencia, inducidas por la conmutación de las bobinas Tesla.

Por último, las señales lógicas corresponden a la activación del freno de estacionamiento, existencia de presión de lubricante, funcionamiento del sistema de carga de la batería, presencia de fallos en el motor, apertura de puertas, apertura del cofre del motor y posición de la llave en el arnés de encendido. Todas ellas se verifican mediante optoacopladores que transforman señales de 0 ó 12V no regulados, en sus correspondientes niveles TTL, con la ventaja de aislar eléctricamente los dos tipos de señales.

10.3.2. SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO Y CONFIGURACIÓN

Aquí, dos microcontroladores realizan funciones concretas y diferenciadas. Utilizan comunicación I²C para compartir variables necesarias en el funcionamiento del sistema.

10.3.2.1. Función de procesamiento

El primer controlador, base fundamental del mecanismo, digitaliza toda la información proveniente del motor y del vehículo, la compara con constantes previamente calibradas por el usuario, y toma decisiones en función del flujo determinado en su programa. Posee el hardware y firmware necesarios para realizar las siguientes funciones:

- Transformar las variables análogas en digitales, con alta resolución y error mínimo.
- Medir la frecuencia de señales pulsantes por el método de ancho de pulso.
- Convertir los valores numéricos en caracteres ASCII, para enviarlos a al subsistema de visualización.
- Recibir las variables de configuración desde el segundo controlador por medio de I²C.
- Medir el tiempo de funcionamiento del motor.

- Manejar el circuito de arranque, suministro de corriente al motor, claxon y luz piloto, dependiendo del resultado que proporcione su procesamiento.

10.3.2.2. Función de configuración

Aquí, el segundo microcontrolador se convierte en el eslabón que permite al usuario configurar parámetros de seguridad, hora del sistema y momento de la alarma. Entre sus funciones se encuentran:

- Generar el RTC (reloj en tiempo real) y sus funciones de alarma mediante firmware y una base de tiempo de 32.768khz en su contador asincrónico.
- Manejar el teclado hexadecimal.
- Emular un menú de configuración para facilitar al usuario la calibración de parámetros.
- Convertir los valores numéricos en caracteres ASCII, para enviarlos al subsistema de visualización.
- Enviar las constantes ajustadas por el usuario hacia el microcontrolador de procesamiento, vía I²C.

10.3.3. SUBSISTEMA DE VISUALIZACIÓN

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

Para ello, existen dos módulos LCD alfanuméricos. En el primero se muestran los valores tomados desde el motor en tiempo real. En el segundo se observa el menú de configuración, que permite al usuario calibrar todas las constantes de comparación del sistema.

Además, dos transceptores IEEE802.15.4 (ZIGBEE), en topología punto a punto, se convierten en un puente de radiofrecuencia entre el módulo UART del

microcontrolador de procesamiento y el módulo UART de un tercer controlador situado remotamente. Este último transforma los datos recibidos serialmente, en paquetes USB. Una aplicación gráfica propietaria, ayuda a la visualización de la información en cualquier PC.

10.3.4. SUBSISTEMA DE RESPUESTA

Comprende transistores de potencia con sus correspondientes interfaces. Su función es transformar las salidas digitales provenientes del microcontrolador de procesamiento, en suministros de corriente considerable. Estas permiten realizar las siguientes funciones:

- Administrar el suplemento de corriente del motor, es decir, alimentar el sistema de encendido.
- Suministrar potencia necesaria para activar el relevador del motor de arranque.
- Encender la lámpara testigo (luz piloto).
- Encender el claxon, si el sistema se encuentra implementado en un vehículo.

CAPÍTULO III

XI. DESARROLLO

11.1.CARACTERIZACIÓN DEL HARDWARE

No es práctico fabricar un elemento de aplicación universal, sin empezar basándolo en destinos más inmediatos. Tomo como inicio su empleo en el motor de un automóvil conocido, el vehículo Chevrolet Corsa Coupe 1.6 MPFI.

Justifico mi preferencia argumentando que es fácil tener la disposición inmediata y permanente de un auto sin mayor actividad, especialmente para la adquisición de parámetros, implementación del sistema y pruebas de funcionamiento. En contraste, es mucho menos accesible el uso de un motor estacionario o de la máquina de combustión de un automotor diesel de mediano o gran calado, porque éstos son artefactos cuya inmovilización para pruebas representaría pérdidas económicas significativas. No obstante, luego de implementar el sistema en éste vehículo, preveo su aplicación a la mayoría de motores, con ligeros cambios en firmware y hardware.

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

11.1.1. SUBSISTEMA DE SENSADO

11.1.1.1.Voltaje del acumulador

Conociendo que el voltaje de carga tolerado para un sistema de 12V está entre 13,8 y 14,4V, es necesario leer el valor directamente desde el acumulador a través de un divisor de tensión. El siguiente esquema aclara lo indicado:

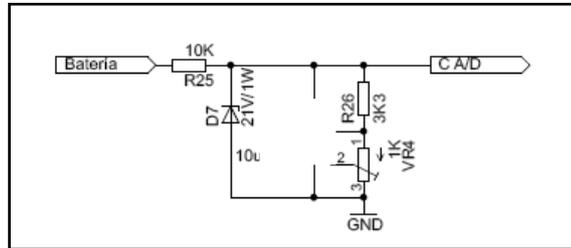


Figura 3.1: Circuito de medición de voltaje

En la figura 3.1, el divisor de voltaje formado por R25, R26 y VR4 (calibrado en 33.33Ω) mitiga en 4 veces el voltaje hacia el conversor análogo digital. Esto permite medir un máximo de 20.48V, antes del divisor. Lo anterior se debe a que el voltaje en el conversor del microcontrolador no debe sobrepasar la tensión de referencia, ajustada en este caso en 5.12V.

$V_{salida} = V_{entrada} \frac{(R_{26} + VR4)}{(R_{26} + VR4) + R_{25}}$	Ecuación 3.1: Divisor de voltaje
---	----------------------------------

$$V_{máximo} = 20.48V \frac{(3.3K + 33.3\Omega)}{(3.3K + 33.3\Omega) + 10K\Omega} = 5.12V$$

R25 y C12 forman un filtro pasabajo cuya frecuencia de corte superior es 1.6Hz.

$f_{corte} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{25} \cdot C_{12}}$	Ecuación 3.2: Frecuencia de corte de filtro pasabajo RC
--	---

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi \cdot 10K\Omega \cdot 10\mu F} = 1.6Hz$$

La misma resistencia R25 limita a 2.8mA la corriente que circula a través del zener D7, cuando el voltaje en la entrada sobrepasa los 22V. Para el diseño se

tomó un voltaje de entrada máximo de 50V, generado por el alternador cuando se quita contacto.

$I_{m\acute{a}xima} = \frac{V_{entrada} - V_z}{R_{25}}$	Ecuación 3.3: Corriente a través de un regulador resistencia – zener
---	--

$$I_{m\acute{a}xima} = \frac{50V - 22V}{10K\Omega} = 2.8mA$$

La potencia disipada por el zener cuando el voltaje toma su valor máximo, es de 61.6mW. Este valor es menor a su potencia nominal de 1W.

$P_{m\acute{a}xima} = I_{m\acute{a}xima} \cdot V_z$	Ecuación 3.4: Potencia disipada por diodo zener
---	---

$$P_{m\acute{a}xima} = 2.8mA \cdot 22V = 61.6mW$$

11.1.1.2. Temperatura del refrigerante

Esta señal se toma en el punto de conexión entre la bobina del medidor y el sensor de temperatura. El máximo voltaje que se medirá corresponde al valor nominal del regulador de voltaje que incorpora el tablero (10V).

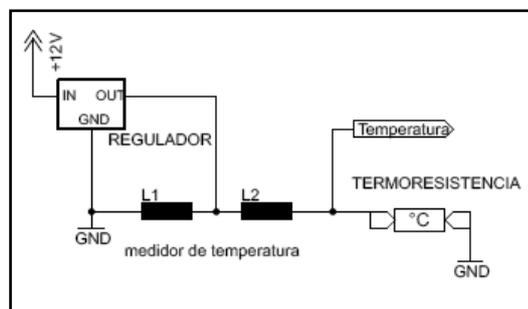


Figura 3.2: Conexión del medidor de temperatura

En la figura 3.3, el amplificador operacional LM358 en configuración de seguidor de voltaje, se constituye como un acoplador de impedancias (elevada impedancia en la entrada y baja impedancia en la salida). Lo anterior se traduce en protección del sistema ante picos de voltaje generados cuando se quita contacto y se apagan las bobinas de los medidores. La configuración del resto de componentes es idéntica a la analizada en el circuito de medición de voltaje, con división de voltaje de 1/4 y frecuencia de corte de 1.6Hz aproximadamente.

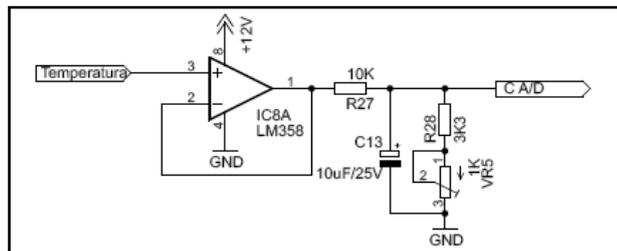


Figura 3.3: Circuito de medición de temperatura

11.1.1.3. Cantidad de combustible

Al igual que en la medición de temperatura, el conexionado del circuito se hace entre la bobina del medidor y el sensor, que en este caso es el flotador del tanque de combustible.

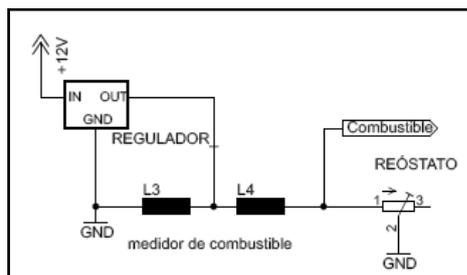


Figura 3.4: Conexión del medidor de combustible

El circuito pertinente es exactamente igual al del medidor de temperatura y por lo tanto se aplica el mismo criterio de diseño.

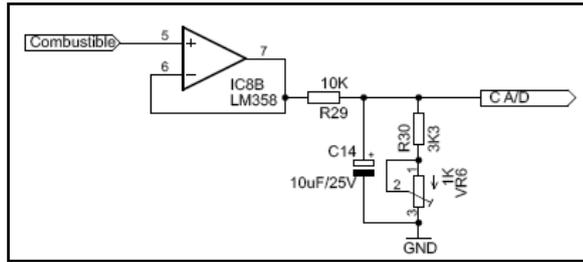


Figura 3.5: Circuito de medición de combustible

11.1.1.4. Velocidad angular del motor

Para este motor en particular, con encendido DIS de chispa desperdiciada, se toma las dos señales de control de las bobinas independientes, como mecanismo para la determinación de la frecuencia de trabajo del motor.

La corriente que proporcionan mencionadas señales es limitada, ya que el verdadero driver de potencia está dentro de las bobinas. Por esta razón, según la figura 3.6, las resistencias R4 y R5 poseen un valor relativamente grande. Esto se hace con el fin de limitar la corriente de consumo de los optoacopladores y evitar que el sistema de gestión del motor presente código de falla.

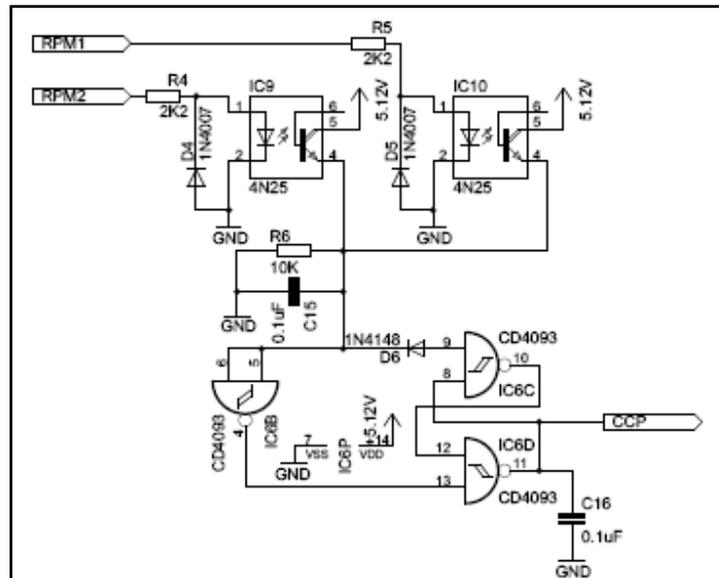


Figura 3.6: Circuito de medición de velocidad angular

Los diodos D4 y D5 en conexión antiparalela, impiden que voltajes reversos polaricen y quemen los delicados IRLEDs de los optoacopladores.

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

$I_{F\text{ mínima}} = \frac{V_{\text{mínimo}} - V_{\text{IRLED}}}{R}$	Ecuación 3.5: Corriente mínima a través del LED de un optoacoplador
--	---

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

Con una corriente de 0.512mA consumida por R6 en configuración PULL DOWN y de 15µA requerida por las dos entradas de la compuerta NAND (IC6B), el radio de transferencia de corriente máximo requerido por el sistema es de 0.135.

$CTR_{\text{máximo}} = \frac{I_{C\text{ máximo}}}{I_{F\text{ mínima}}}$	Ecuación 3.6: Radio de transferencia en un optoacoplador
---	--

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

El CTR requerido es muy inferior al especificado para esa corriente en el diagrama de la figura 3.7 (CTR=1.1), lo que afianza su operación para condiciones severas.

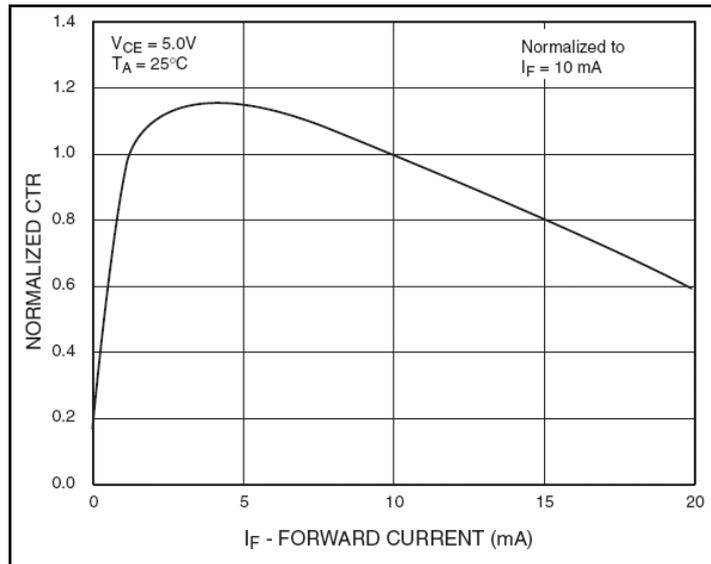


Figura 3.7: Diagrama CTR vs IF, extraído de la hoja de datos del Fairchild 4N25

Las tres compuertas NAND de tipo SCHMITT TRIGGER, en su configuración de LATCH, cumplen dos funciones: eliminar interferencia eléctrica originada por conmutación, y convertir señales imperfectas en formas digitales bien definidas.

En cuanto al funcionamiento de la interfaz, cuando cualquiera de las señales de conmutación excita los LEDS infrarrojos de los optoacopladores, un nivel lógico alto se asegura en la entrada del LATCH; si no hay presencia de señal, la resistencia R6 asegura un nivel lógico bajo.

Tanto C15 como C16 se comportan como cortocircuitos ante los cambios bruscos de voltaje (transientes). También evitan que los picos de ruido, se desplacen hacia el medidor de ancho de pulso en el microcontrolador.

11.1.1.5. Señales lógicas desde el vehículo

Activación del freno de estacionamiento, existencia de presión de lubricante, funcionamiento del sistema de carga, presencia de fallos en el motor, apertura de puerta del conductor o apertura del cofre del motor, son señales tomadas directamente desde el sistema de gestión. La configuración mostrada en la figura 3.8 aclara lo mencionado.

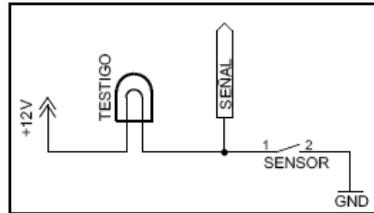


Figura 3.8: Adquisición de señales lógicas desde el sistema de gestión del automóvil

Las seis interfaces citadas son idénticas y por ello su análisis es similar. Cualquier piloto se enciende cuando se le deriva tierra; en este instante se cierra también el circuito del IRLED del optoacoplador, provocando que circule corriente entre emisor y receptor. Para un voltaje mínimo de 10V en el suministro de corriente del automóvil y una caída de voltaje máxima de 1.35V en el LED, según la ecuación 3.5 circulan 2.6mA.

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

Según la figura 3.7, con 2.6mA se consigue un CTR de 1.1. Este dato indica que puede circular hasta 2.86mA entre emisor y colector del receptor del 4N25. Aquel valor es suficiente para polarizar los pines de entrada del microcontrolador. El diodo en antiparalelo protege al LED del optoaislador, de picos de voltaje provocados por la conmutación de bobinas de relés, situación muy común en cualquier automóvil.

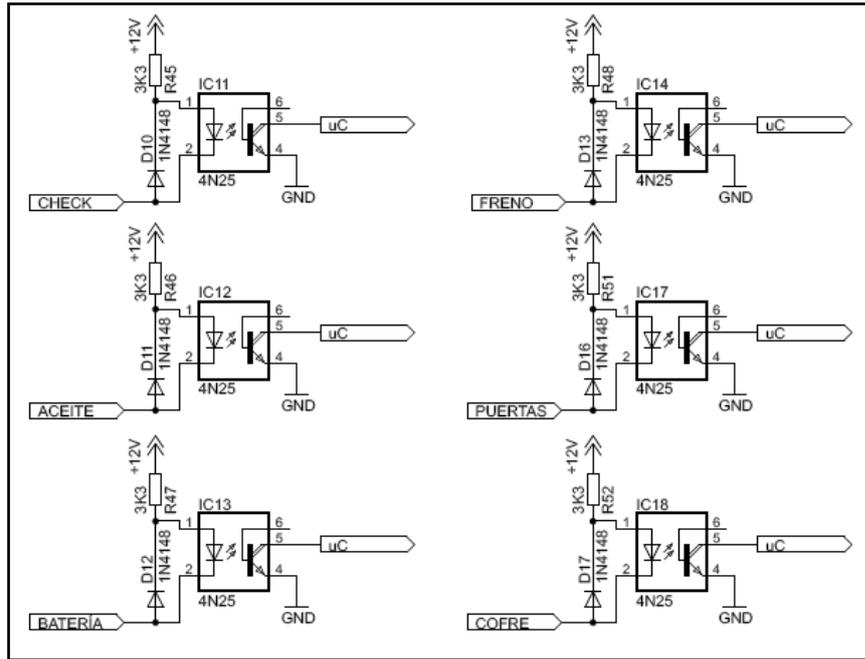


Figura 3.9: Adquisición de señales lógicas desde el sistema de gestión del motor

Cuando el usuario coloca la llave en el arnés de encendido y la gira hasta la posición ON, no proporciona corriente hacia el motor (contacto); en el sistema diseñado, únicamente suministra una señal lógica. La siguiente figura muestra el circuito.

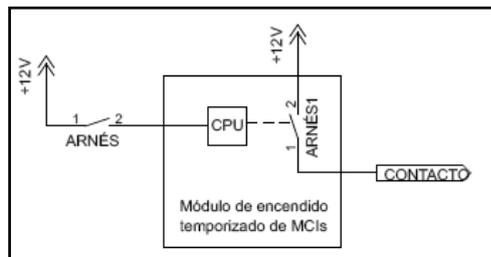


Figura 3.10: Configuración del arnés de encendido, el módulo de encendido temporizado y el suministro de corriente hacia el motor

Como se aprecia en la figura 3.11, las interfaces de llave insertada y luces guías encendidas poseen configuración afín. Estas interfaces tienen similitud con las seis anteriores, a excepción de que se activan con niveles altos, mas no con tierra. En todo caso, su desempeño es idéntico.

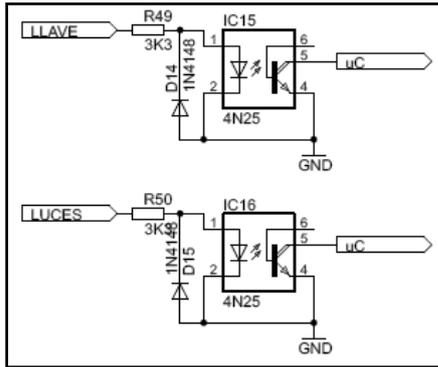


Figura 3.11: Interfaces de las señales de llave insertada y luces guías encendidas

11.1.1.6. Sensor de marchas

Consta de un arreglo de interruptores ubicado en el selector de la caja de cambios. Cuando una posición es seleccionada, las otras se desconectan. El codificador de prioridad de decadal a BCD (IC7), cumple las siguientes funciones:

Es una interfaz entre el microcontrolador de procesamiento y los interruptores de cada marcha. Sin su uso, se tendría que utilizar un optoacoplador por cada línea que se desee leer.

Ahorra pines de entrada en el microcontrolador ya que se necesitarían 8 líneas en vez de las 4 que se usan.

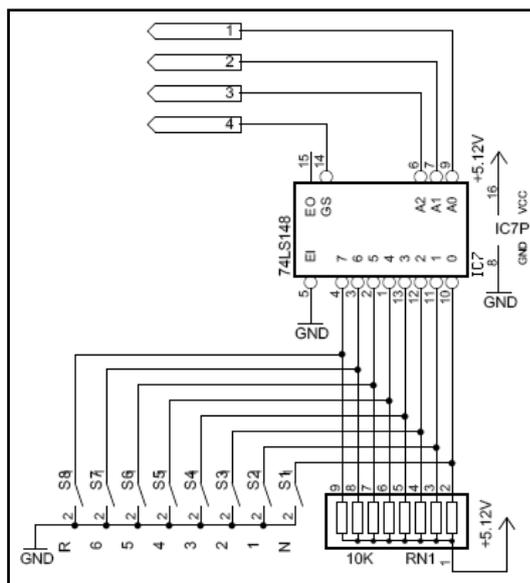


Figura 3.12: Circuito de sensado de marchas

Tal como se observa en la tabla de verdad del codificador, la activación de las entradas se realiza con lógica invertida (tierra). El circuito de sensado de marchas posee resistencias PULL UP de 10KΩ en cada una de las entradas. De esta forma se aseguran niveles lógicos altos cuando los interruptores no están activados.

Tabla III.1: Tabla de verdad del codificador de prioridad 74LS148

ENTRADAS										SALIDAS					MARCHA ACTIVADA
EI	0	1	2	3	4	5	6	7	A2	A1	A0	GS	EO		
H	X	X	X	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	-	
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	-	
L	X	X	X	X	X	X	X	L	L	L	L	L	H	R	
L	X	X	X	X	X	X	L	H	L	L	H	L	H	6	
L	X	X	X	X	X	L	H	H	L	H	L	L	H	5	
L	X	X	X	X	L	H	H	H	L	H	H	L	H	4	
L	X	X	X	L	H	H	H	H	H	L	L	L	H	3	
L	X	X	L	H	H	H	H	H	H	L	H	L	H	2	
L	X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	H	1	
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	N	

Una de las particularidades en este arreglo es que la entrada 7 tiene mayor prioridad sobre las otras entradas. Así, no importa qué estado lógico tengan las demás si la entrada con mayor prioridad se encuentra activada. Esta característica permite que si por cualquier razón se quedase activada la entrada 0 (asignada a la posición neutral de la palanca de cambios), el resto de entradas sobrepondrían su estado cuando sean activadas.

11.1.2. SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO Y CONFIGURACIÓN

A pesar de que varias familias de microcontroladores son eficaces en aplicaciones específicas, especialmente si en ellas predomina una característica concreta, los microcontroladores PIC de MICROCHIP son la mejor solución para el presente proyecto. Las siguientes son varias características convenientes en la concepción del sistema:

- Gran variedad de modelos que permiten elegir el que mejor responde a los requerimientos de la aplicación.
- Información y herramientas de desarrollo fáciles de conseguir y económicas.
- Sencillez de manejo gracias a su set de instrucciones tipo RISC; pocas pero muy poderosas.
- Buen promedio de parámetros velocidad, consumo, tamaño, alimentación.
- Conversor análogo – digital de varios canales.
- Temporizadores – contadores programables, con predivisores y postdivisores.
- Puerto de Comunicación Serie Síncrono con SPI e I²C, y puerto USART.
- EEPROM interna accesible por código.
- Fuentes de interrupción externas e internas.

Los microcontroladores PIC18F4550 y 18F2550, pertenecientes a la gama mejorada de MICROCHIP, tienen ciertas particularidades que se apegan a los requisitos del sistema. Poseen las mismas características internas, con la diferencia de que el primero tiene 40 pines y el segundo 28. Estas son las más relevantes:

- Memoria FLASH de 32Kbytes.
- Memoria RAM de 1.536Kbytes.
- Cuatro módulos temporizadores (TIMER0 a TIMER3).
- Dos módulos de captura, comparación y PWM.
- Módulo USART (Transmisor receptor síncrono asíncrono universal).
- Puerto serial síncrono maestro (MSSP) que soporta comunicación I2C en modos maestro y esclavo.
- Conversor análogo – digital de hasta 13 canales con resolución de 10bits, con tiempo de adquisición programable.
- Conexión de oscilador externo de hasta 20Mhz, pudiendo conseguirse hasta 48Mhz con PLL interno.
- Oscilador interno de ocho frecuencias seleccionables (desde 31Khz hasta 8Mhz).
- Oscilador secundario usando TIMER1 (contador asíncrono).

- Multiplicación en hardware de 8x8 en un ciclo de instrucción.
- Tres interrupciones externas.
- Niveles de prioridad para las interrupciones.
- Arquitectura optimizada para compilación en lenguaje C, con set extendido de instrucciones.
- Rango de voltaje de operación entre 4.2V y 5.5V.

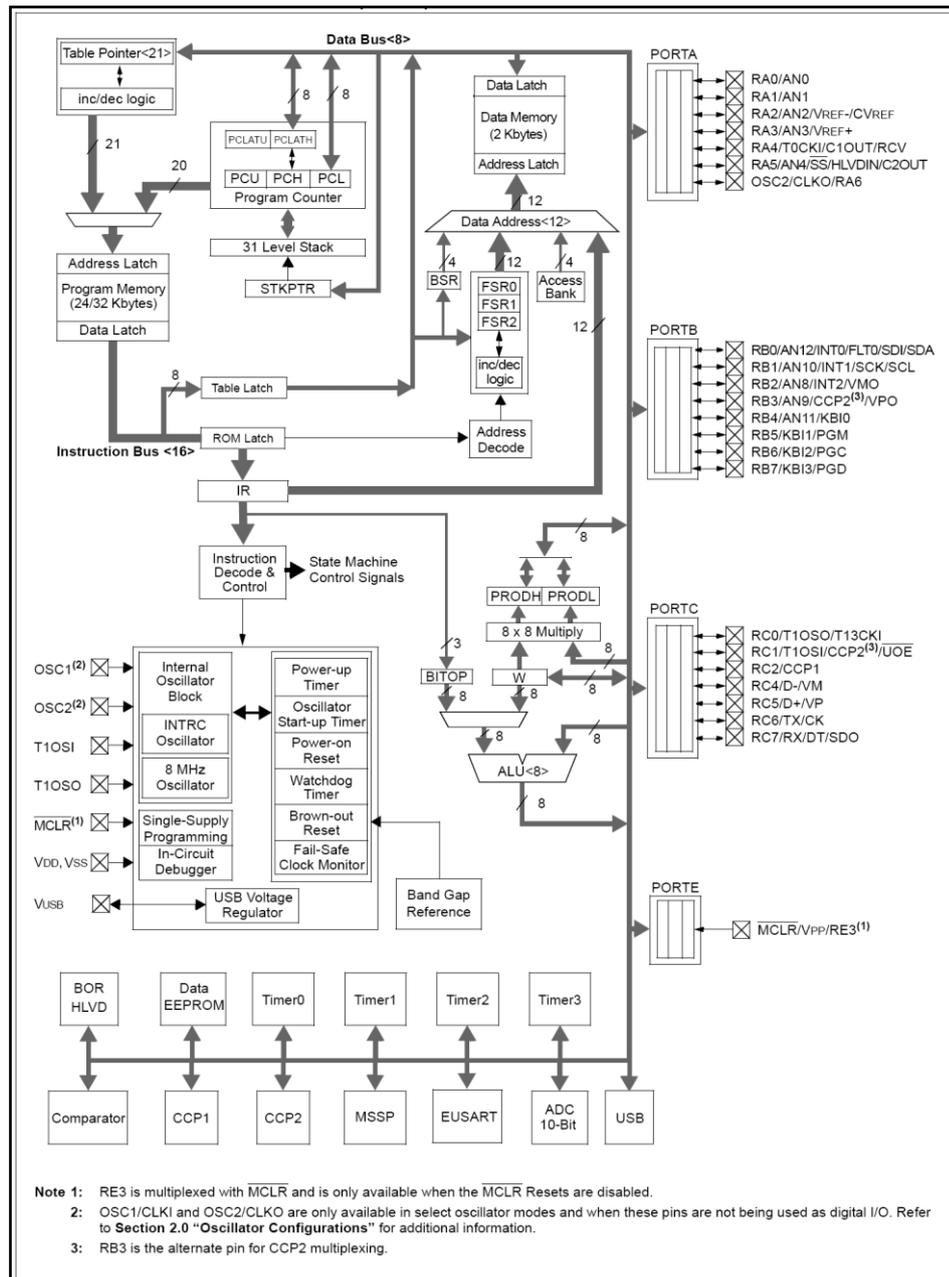


Figura 3.13: Diagrama de bloques del PIC18F4550

11.1.2.1. Función de procesamiento

El PIC18F4550 se encarga del procesamiento de la información, al adquirir todos los datos de las variables externas, manipularlos y entregarlos de forma adecuada para su visualización y envío remoto.

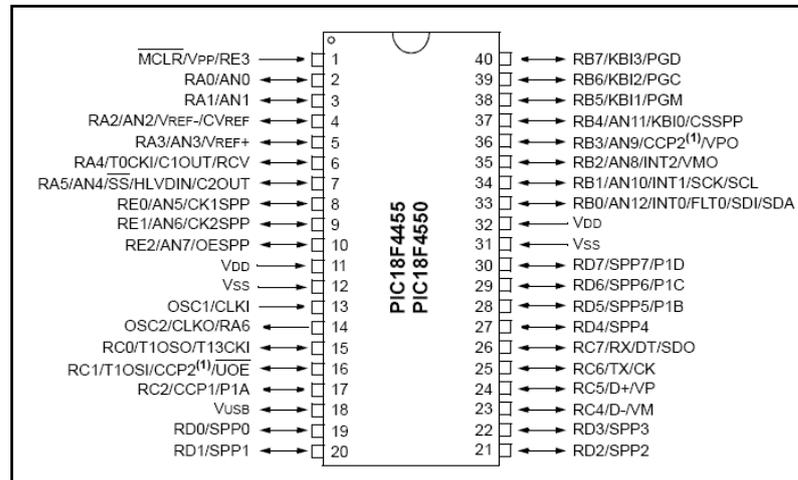


Figura 3.14: PINOUT del PIC18F4550

11.1.2.1.1. Conexión del microcontrolador de procesamiento

La siguiente tabla resume el destino de conexión de cada uno de los pines del microcontrolador. Define además si son entradas o salidas, y en el caso de ser entradas, si éstas son análogas o digitales.

Algunas características especiales de configuración del hardware del microcontrolador son:

- La referencia del convertor análogo – digital es el mismo voltaje de alimentación (5.12V).
- Todos los pines del puerto B y el puerto D configurados como entradas, tienen activadas las resistencias PULL UP internas correspondientes.

Tabla III.2. Configuración de puertos del microcontrolador de procesamiento

CONFIGURACIÓN DE PUERTOS MICROCONTROLADOR PIC18F4550					
	NOMBRE	PIN	E/S	A/D	FUNCIÓN / OBSERVACIÓN
PORTA	RA0/AN0	2	E	A	VOLTAJE DE BATERÍA
	RA1/AN1	3	E	A	NIVEL DE COMBUSTIBLE
	RA2/AN2	4	E	A	TEMPERATURA DE REFRIGERANTE
	RA3/AN3	5	S	D	RS LCD DE VISUALIZACIÓN LOCAL
	RA4/T0CKI	6	S	D	RW LCD DE VISUALIZACIÓN LOCAL
	RA5/AN4	7	S	D	E LCD DE VISUALIZACIÓN LOCAL
	OSC2/RA6	14	-	-	-
PORTB	RB0/SDA	33	E/S	D	LÍNEA DE DATOS DE BUS I ² C (ESCLAVO)
	RB1/SCL	34	E	D	LÍNEA DE RELOJ DE BUS I ² C (ESCLAVO)
	RB2/INT2	35	E	D	SEÑAL DE LLAVE INSERTADA
	RB3/CCP2	36	E	D	PILOTO DE INSPECCIÓN
	RB4/KBIO	37	E	D	PILOTO DE FRENO DE MANO
	RB5/PGM	38	E	D	SEÑAL DE COFRE ABIERTO
	RB6/PGC	39	E	D	SEÑAL DE PUERTAS ABIERTAS
	RB7/PGD	40	E	D	SEÑAL DE ALARMA DESDE UC2
PORTC	RC0/T1OSO	15	S	D	LUZ PILOTO
	RC1/T1OSI/CCP2	16	E	D	SEÑAL DE RPMS
	RC2/CCP1	17	S	D	ACTIVACIÓN RELÉ DE CONTACTO
	RC4/D-	23	E	D	PILOTO DE PRESIÓN DE ACEITE
	RC5/D+	24	E	D	SEÑAL DE AUTORIZACIÓN DE ENCENDIDO DESDE UC2
	RC6/TX	25	S	D	RECEPTOR MÓDULO XBEE
	RC7/RX	26	E	D	TRANSMISOR MÓDULO XBEE
PORTD	RD0/PSP0	19	E	D	A0 CODIFICADOR PRIORIDAD (POSICIÓN CAMBIOS)
	RD1/PSP1	20	E	D	A1 CODIFICADOR PRIORIDAD (POSICIÓN CAMBIOS)
	RD2/PSP2	21	E	D	A2 CODIFICADOR PRIORIDAD (POSICIÓN CAMBIOS)
	RD3/PSP3	22	E	D	GS CODIFICADOR PRIORIDAD (POSICIÓN CAMBIOS)
	RD4/PSP4	27	E/S	D	D4 LCD DE VISUALIZACIÓN LOCAL
	RD5/PSP5	28	E/S	D	D5 LCD DE VISUALIZACIÓN LOCAL
	RD6/PSP6	29	E/S	D	D6 LCD DE VISUALIZACIÓN LOCAL
	RD7/PSP7	30	E/S	D	D7 LCD DE VISUALIZACIÓN LOCAL
PORTE	RE0/AN5	8	S	D	ACTIVACIÓN DE MOTOR DE ARRANQUE
	RE1/AN6	9	S	D	ACTIVACIÓN DE BACKLIGHT LCD DE VISUALIZACIÓN LOCAL
	RE2/AN7	10	S	D	ACTIVACIÓN DE BOCINA
	MCLR/RE3	1	E	D	PILOTO DE CARGA DE BATERÍA

11.1.2.1.2. Consideraciones del oscilador

El oscilador del microcontrolador es de 10Mhz. Su selección proporciona equilibrio entre rapidez de procesamiento, y base de tiempo para el módulo de captura de pulsos.

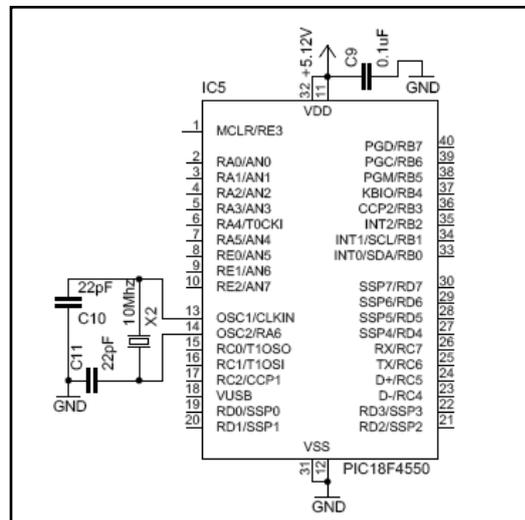


Figura 3.15: Circuito del oscilador

En la figura 3.15, X2 es un oscilador de cristal estándar que trabaja a 10Mhz con una precisión de $\pm 30PPM$, en un rango de temperatura entre -20 y 70°C. El valor de 22pF para los capacitores, está tomado en base a las recomendaciones de MICROCHIP, para obtener equilibrio entre la estabilidad de oscilación y el tiempo de inicialización del cristal. C10 controla la ganancia total del oscilador, mientras que C11 domina su ajuste de fase.

El microcontrolador trabaja en modo HS (HIGH SPEED) para proporcionar la ganancia suficiente en el manejo del cristal. Esto conlleva a un consumo de corriente mayor.

11.1.2.2. Función de configuración

El PIC18F2550 maneja la interfaz con el usuario. Permite calibrar las constantes entorno a las cuales, el sistema conocerá si las variables adquiridas están dentro de niveles seguros.

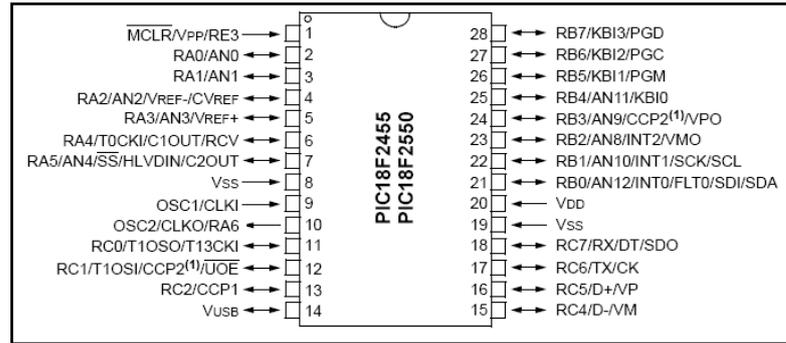


Figura 3.16: PINOUT del PIC18F2550

11.1.2.2.1. Conexión del microcontrolador de configuración

El destino de conexión de los pines del microcontrolador se detalla en la siguiente tabla.

Tabla III.3. Conexión de puertos del microcontrolador de configuración

CONFIGURACIÓN DE PUERTOS MICROCONTROLADOR PIC18F2550					
	NOMBRE	PIN	E/S	A/D	FUNCIÓN / OBSERVACIÓN
PORTA	RA0/AN0	2	S	D	D4 LCD MENÚ / FILA 1 TECLADO MATRICIAL
	RA1/AN1	3	S	D	D5 LCD MENÚ / FILA 2 TECLADO MATRICIAL
	RA2/AN2	4	S	D	D6 LCD MENÚ / FILA 3 TECLADO MATRICIAL
	RA3/AN3	5	S	D	D7 LCD MENÚ / FILA 4 TECLADO MATRICIAL
	RA4/T0CKI	6	S	D	RS LCD MENÚ
	RA5/AN4	7	S	D	RW LCD MENÚ
	OSC2/RA6	10	S	D	E LCD MENÚ
PORTB	RB0/SDA	21	E/S	D	LÍNEA DE DATOS DE BUS I ² C (MAESTRO)
	RB1/SCL	22	S	D	LÍNEA DE RELOJ DE BUS I ² C (MAESTRO)
	RB2/INT2	23	S	D	SEÑAL DE ALARMA HACIA UC1
	RB3/CCP2	24	S	D	SEÑAL DE AUTORIZACIÓN DE ENCENDIDO HACIA UC1
	RB4/KBIO	25	E	D	COLUMNA 1 TECLADO MATRICIAL
	RB5/PGM	26	E	D	COLUMNA 2 TECLADO MATRICIAL
	RB6/PGC	27	E	D	COLUMNA 3 TECLADO MATRICIAL
	RB7/PGD	28	E	D	COLUMNA 4 TECLADO MATRICIAL
PORTC	RC0/T1OSO	11	-	-	-
	RC1/T1OSI/CCP2	12	-	-	-
	RC2/CCP1	13	S	D	BUZZER
	RC4/D-	15	-	-	-
	RC5/D+	16	-	-	-
	RC6/TX	17	S	D	ACTIVACIÓN DE BACKLIGHT LCD MENÚ
	RC7/RX	18	E	D	SEÑAL LUCES GUÍAS ENCENDIDAS
PORTE	MCLR/RE3	1	E	D	SEÑAL DE CONTACTO ACTIVADO, DESDE UC1

Algunas características especiales de configuración del hardware del microcontrolador son:

- El bus de datos de la LCD está multiplexado con los pines de entrada al teclado hexadecimal. Cada vez que se accede al teclado, la LCD es deshabilitada y viceversa.
- Los pines (RB4 a RB7) tienen sus resistencias PULL UP activadas. De no ser así, la lectura del teclado hexadecimal sería susceptible al ruido.

11.1.2.2.2. Base de tiempo para reloj en tiempo real

En principio fue considerado el empleo del RTC DS1307 de Dallas, capaz de soportar el protocolo de comunicación I2C de Phillips. Su desventaja radicaba en que, al no poseer función de alarma, se tenía que forzar al microcontrolador para que permanezca todo el tiempo leyendo los datos de hora y fecha.

En base a mencionada desventaja, el RTC está implementado en firmware del microcontrolador. Se utiliza cierto algoritmo que genera una interrupción cada segundo y cohabita con el programa de desplazamiento mediante menús.

La base de tiempo que genera interrupciones cada segundo depende de un oscilador de cristal de 32.768Khz. La razón de elegir esta frecuencia es su valor estratégico, ya que con 32768 impulsos contados, se consigue fácilmente 1 segundo.

En la figura 3.17, el cristal X1 se encuentra conectado en paralelo a los pines T1OSO y T1OSI del módulo TIMER1, en configuración de contador asíncrono. Mencionado oscilador posee precisión de $\pm 20PPM$, en un rango de temperatura entre -10 y 60°C. A pesar de su poca precisión, es el único disponible en el mercado.

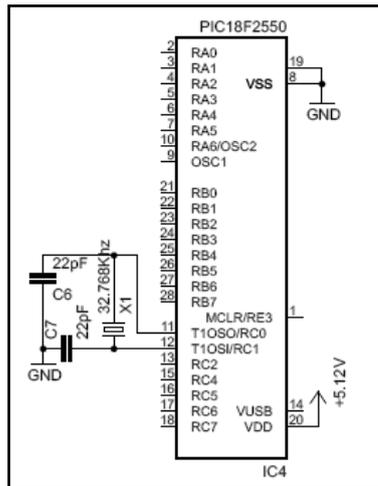


Figura 3.17: Circuito del oscilador asociado al TIMER1 para generación de base de tiempo de 1 segundo

El valor de los capacitores C14 y C15 se recomienda por el fabricante del microcontrolador.

11.1.2.2.3. Teclado

El teclado hexadecimal es un arreglo pasivo de interruptores. Su manejo se hace derivando a tierra sus cuatro entradas y leyendo sus cuatro salidas de manera secuencial. La figura 3.18 muestra su conexión con funciones multiplexadas con el módulo LCD de visualización de configuración. Este es un método necesario en el ahorro de pines entrada / salida.

En el manejo del teclado, las salidas RA0 a RA4 funcionan derivando masa secuencialmente. Las resistencias R41, R42, R43 y R44, limitan la corriente que circula entre un pin de entrada y uno de salida, cuando una tecla es pulsada. Además, cuando se está manejando la LCD, mencionadas resistencias evitan que la pulsación de una tecla cambie el estado lógico del bus de datos.

Las entradas RB4 a RB7 tienen sus resistencias PULL UP internas activadas. Así se evitan falsas señales de tecla activada, provocadas por voltajes inducidos.

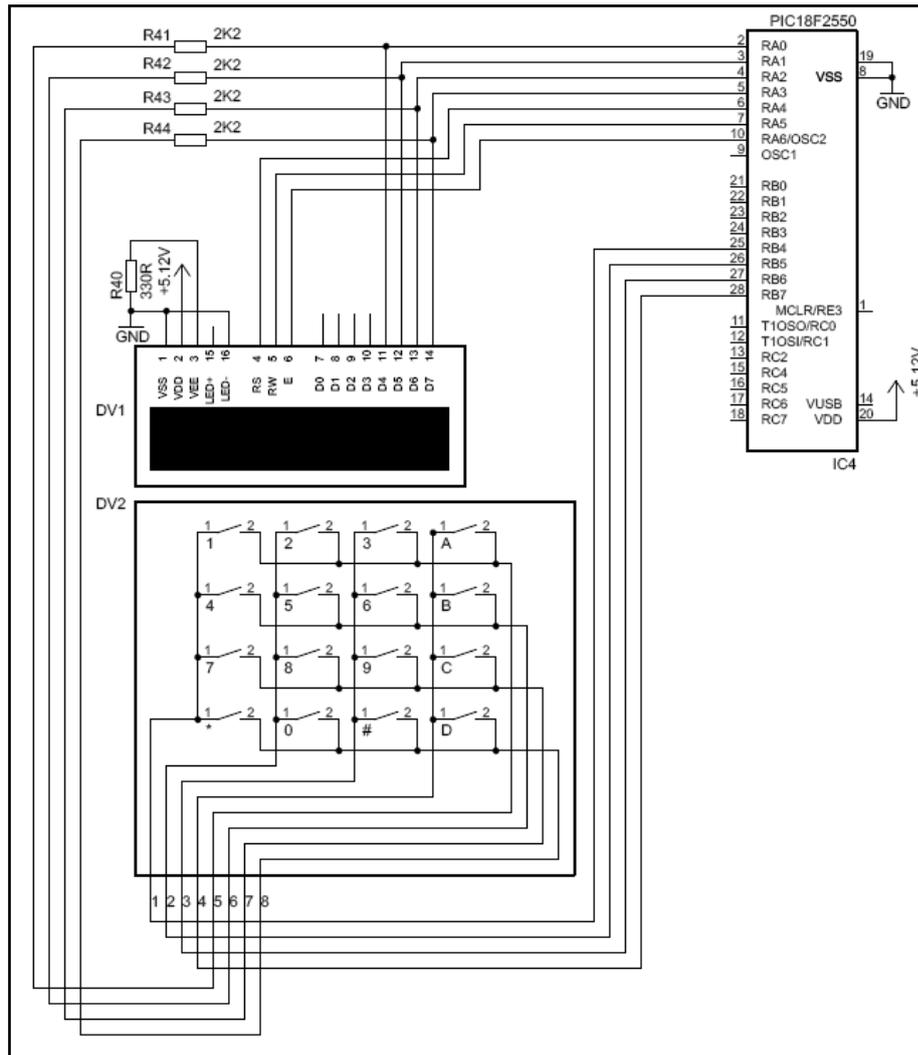


Figura 3.18: Diagrama de conexión entre el teclado hexadecimal y el microcontrolador

11.1.2.3. Conexión entre el microcontrolador de procesamiento y el de configuración

La comunicación de datos entre los dos microcontroladores se realiza a través del bus I²C implementado en hardware. En la figura 3.19, IC4 es el dispositivo maestro (provee señal de reloj, elige a quién enviar o de quién recibir datos). IC5 es el dispositivo esclavo.

Cuando el usuario termina de configurar las constantes de comparación en IC4, éste envía serialmente los nuevos datos hacia IC5, para que los guarde en su EEPROM y los cargue en RAM.

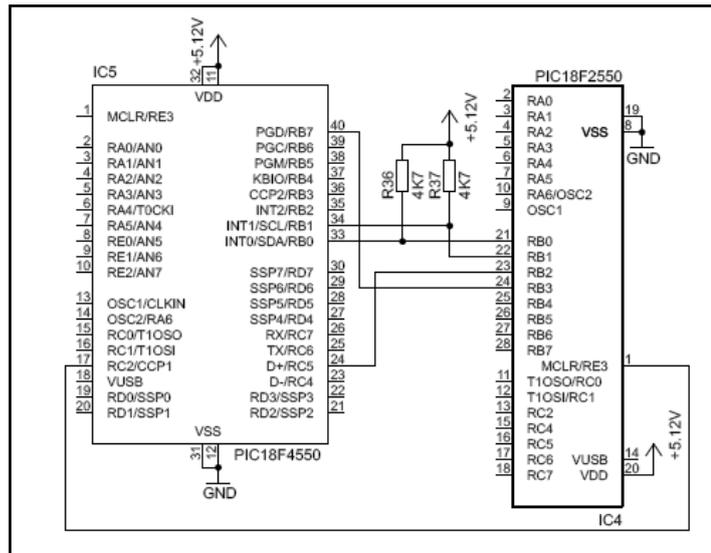


Figura 3.19: Diagrama de conexión entre el microcontrolador de procesamiento y el de configuración

Además de la comunicación serial sincrónica descrita, existen dos líneas usadas por IC4, para indicar a IC5 el modo de trabajo en el que debe funcionar.

Tabla III.4. Significado de señales lógicas negociadas entre los dos microcontroladores

PIN RB2	PIN RB3	SUCESO / MENSAJE
L	L	Alarma configurada por el usuario, en proceso. El sistema enciende el motor y lo mantiene así hasta encontrar un parámetro de peligro.
L	H	El usuario está configurando IC4. El microcontrolador IC5 se predispone a recibir el resultado de la configuración mediante I ² C.
H	L	Modo de monitoreo normal, se permite la administración de corriente al usuario.
H	H	Sistema bloqueado por clave. Para que el usuario pueda suministrar contacto, debe ingresar código de seguridad por teclado.

Por último, la entrada RE3 de IC4 se usa para detectar si el pin de salida RC2 de IC5, ha proporcionado señal de contacto para suministrar corriente al motor.

11.1.3. SUBSISTEMA DE VISUALIZACIÓN

Se manejan dos visualizadores locales que permiten al usuario leer en tiempo real el valor de las variables medidas, y utilizar el desplazamiento por menús para

configurar el dispositivo. Además, mediante comunicación inalámbrica, en el sitio remoto también se pueden verificar los datos adquiridos.

11.1.3.1. Visualizador local de variables medidas

Es una LCD con BACKLIGHT de 4 filas por 20 caracteres, con matriz de 5x7 píxeles y gobernada por un microcontrolador Hitachi 44780s. Las razones para preferirla sobre una LCD gráfica son:

- La más grande de las LCDs alfanuméricas, cuesta la mitad de la más pequeña de las GLCDs.
- Ahorra pines entrada / salida ya que se puede comunicar por un bus paralelo de 4 líneas, más 3 de control y 1 de encendido de retroiluminación. Una GLCD necesita aproximadamente 15 pines.
- El posicionamiento bidimensional en la LCD es de carácter – línea, en la GLCD es píxel – píxel. Este aspecto disminuye el tiempo de diseño.

Las patitas RA<5:3> del 18F4550, configuradas como salidas, manejan los tres pines de control ENABLE (habilitación), READ / WRITE (lectura / escritura) y REGISTER SELECT (selector de registro: instrucción / dato).

El bus de datos, implementado en las salidas RD<4:7> del microcontrolador, es de 4bits. Esta configuración disminuye la velocidad de respuesta del sistema, ya que las palabras de 8 bits se parten en 2 NIBBLES que se envían secuencialmente. Con esto se ahorra cuatro pines en el microcontrolador.

Los LEDs de retroiluminación de la LCD, son alimentados desde el suministro de corriente del vehículo y a través del DARLINGTON Q13. Esto se hace debido a que el consumo relativamente alto de los LEDs, provocaría calentamiento en los reguladores lineales de voltaje (suministros de alimentación de toda la circuitería).

La resistencia R32 limita la corriente suministrada por el pin de control, para no permitir que el DARLINGTON trabaje en saturación, sino en su zona activa. De esta manera se regula también la corriente que polariza los LEDs. El diodo D8, en antiparalelo, los protege de picos de voltaje.

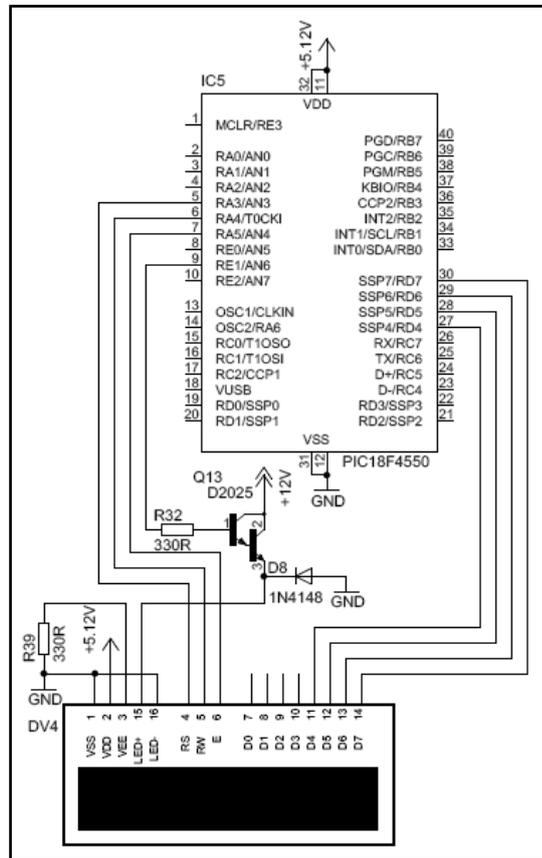


Figura 3.20: Diagrama de conexión entre el módulo LCD de visualización local de variables y el microcontrolador, incluido el driver para control de la retroiluminación

El ajuste de contraste se realiza al limitar la corriente que polariza al pin VEE, mediante la resistencia R39. Su valor se selecciona por experimentación.

11.1.3.2. Visualizador de configuración del sistema

El visualizador del menú de configuración es igual al de visualización local de variables medidas. Consiste en una LCD con BACKLIGHT de 4 filas por 20 caracteres. Su diagrama de conexión se observa en la figura 3.21.

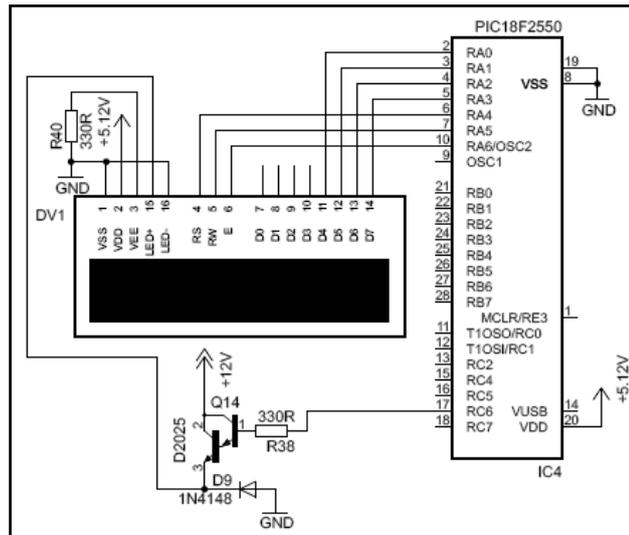


Figura 3.21: Diagrama de conexión entre el módulo LCD de visualización del menú de configuración y el microcontrolador, incluido el driver para control de la retroiluminación

11.1.3.3. Visualizador remoto

El visualizador remoto fue concebido en principio como un sistema SCADA (control de supervisión y adquisición de datos), para integrar monitoreo y control usando medios gráficos. Si bien el hardware está implementado fehacientemente, no se tiene más que una aplicación gráfica personalizada que únicamente realiza monitoreo. El siguiente diagrama de bloques muestra la disposición del subsistema:

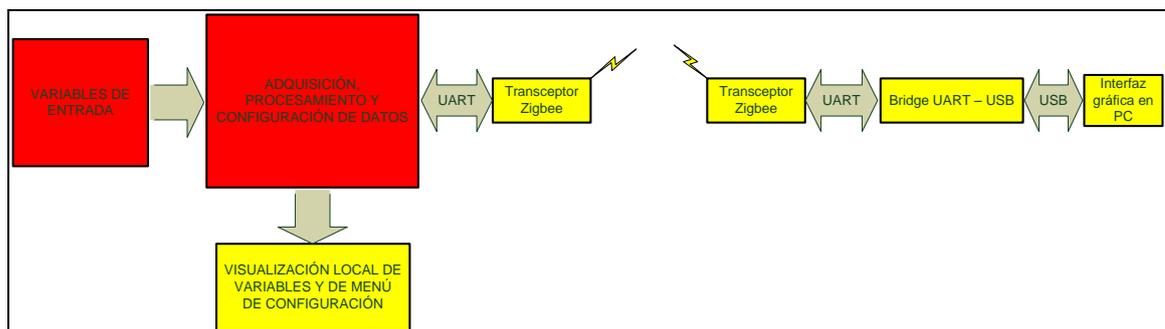


Figura 3.22: Diagrama de bloques que muestra la conexión de los dispositivos de visualización con el resto de subsistemas.

Como se observa en la figura 3.22, los datos adquiridos y visualizados localmente, también son enviados por bus UART hacia el primer transceptor

ZIGBEE. Éste envía por RF la información hacia el segundo transceptor, el cual la traslada hacia el microcontrolador de puenteo. Aquí los datos son empaquetados y enviados por USB para su interpretación en una interfaz gráfica de PC.

11.1.3.3.1. Transceptores ZIGBEE

El sistema se implementó sobre ZIGBEE debido a la disponibilidad de módulos en el mercado local. Esta tecnología presenta la ventaja de trabajar en los tres primeros estratos del modelo OSI (físico, enlace y red), a diferencia de cualquier módulo de RF comercial que sólo trabaja en la capa física.

El desempeño óptimo en la telemetría del sistema, indica que se podrían alcanzar mayores distancias cambiando únicamente la tecnología de RF usada.

Los módulos XBEE PRO son módulos de radio frecuencia que trabajan en la banda de 2.4Ghz con protocolo de comunicación 802.15.4 (redes de área personal, PAN), fabricados por MAXSTREAM.

Son utilizados en monitoreo de sistemas industriales, alarmas, aparatos domésticos, y cualquier aplicación que maneje una cantidad grande de sensores. Sus características más relevantes son:

- Alcance en interiores de hasta 100m y en exteriores hasta 1500m.
- Programación a través de una hyperterminal con interfaz serial, mediante comandos AT.
- Hasta 65000 direcciones distintas de red para redes de punto a punto y punto a multipunto.
- Seis conversores análogo – digitales y 8 entradas digitales, además de los pines Rx y Tx de UART.
- Bajo consumo de corriente y alimentación de 3.3V.

Sus desventajas radican en su corto alcance y bajo ancho de banda.

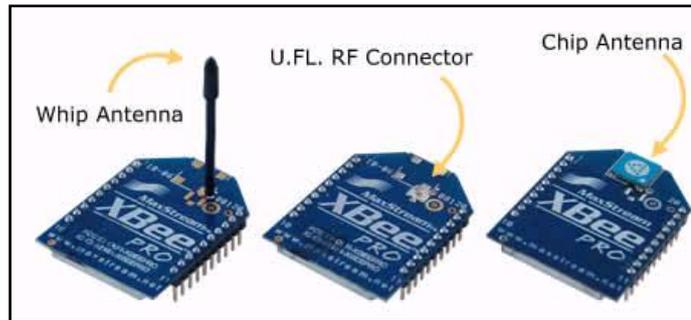


Figura 3.23: Módulos XBEE

La figura 3.24 indica cómo la conexión de los dos módulos XBEE es similar. DV5 se conecta al microcontrolador de procesamiento de datos y para esta aplicación se constituye como transmisor. DV3 se conecta al microcontrolador de puenteo con USB, y se constituye como receptor.

Las resistencias R54, R53 y VR7, forman un divisor de voltaje de 2/3. Su propósito es adecuar la señal lógica de alrededor de 5V proveniente del pin Tx del microcontrolador, en una señal de 3.3V apta para el módulo ZIGBEE. Lo mismo sucede con R34, R35 y VR3.

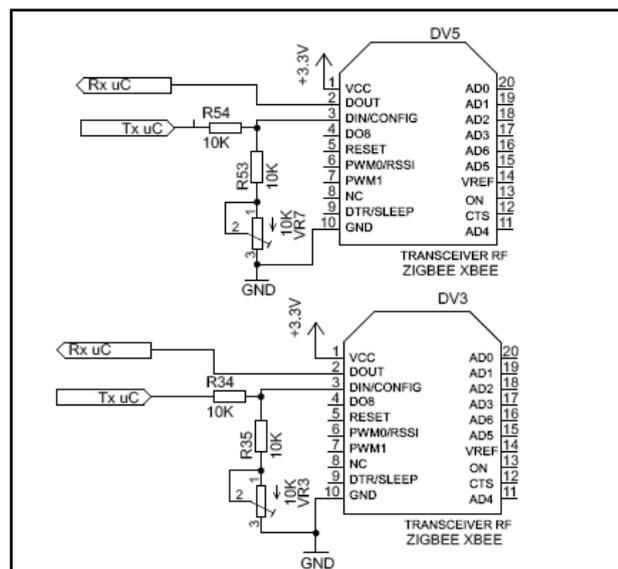


Figura 3.24: Conexión de los módulos XBEE

El capacitor C24 de 47uF es colocado en el pin VUSB por recomendación del fabricante, debido a que no se usa el regulador interno de voltaje para el transceptor USB.

11.1.4. SUBSISTEMA DE RESPUESTA

A este subsistema le corresponde la etapa de potencia. Esta permite al mecanismo tener la corriente necesaria para manejar la luz piloto, encender la bocina, proveer contacto y arrancar. Las cuatro funciones citadas tienen básicamente la misma interfaz, como se muestra en la figura 3.26.

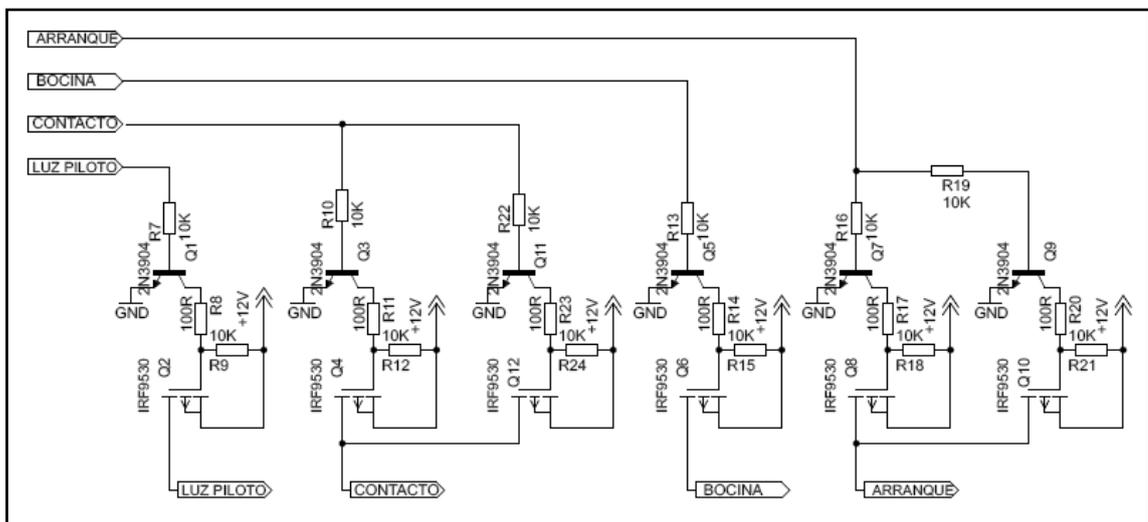


Figura 3.26: Relevadores de potencia de estado sólido para el subsistema de respuesta

El transistor de potencia seleccionado es el MOSFET canal P IRF9530. Las ventajas que presenta ante los bipolares es su gran resistencia a altas temperaturas de operación y manejo de corriente mucho mayor. Además, cuando se excita tiene una resistencia fuente – drenaje muy pequeña, lo que provoca una caída de potencia menor en su interior.

Las características importantes del IRF9530 son:

- Corriente de drenaje continua (ID) a 100°C, 8.2A.
- Temperatura de operación de 175°C.

- Facilidad de paralelaje.
- Resistencia fuente – drenaje (RDSon) de 0.30Ω.
- Diodo interno en antiparalelo.

En lo que respecta a su circuito manejador, cuando la salida del microcontrolador se pone en alto, el transistor NPN 2N3904 se polariza y permite el flujo de corriente entre emisor y colector. Entonces, se cierra el circuito del divisor de voltaje formado por la resistencia de 10KΩ y la de 100Ω. La constante del divisor es de 0.0099, lo que se traduce en un voltaje tendiente a cero en la compuerta del MOSFET, sin importar el voltaje de alimentación. Esto provoca que el transistor de potencia conduzca.

Con la ecuación 3.7 se calcula el voltaje obtenido en la compuerta del MOSFET, para una alimentación de 12V y una caída de voltaje nominal de 0.7V entre emisor y colector del transistor bipolar (V_{CE}).

$V_{GS} = (V_{entrada} - V_{CE}) \cdot \frac{R_8}{R_8 + R_9}$	Ecuación 3.7: Voltaje en compuerta de MOSFET con transistor manejador bipolar
---	---

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

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

Es importante aclarar que el MOSFET canal P normalmente se maneja con circuitos integrados que proporcionan voltaje negativo. La interfaz descrita tiene un desempeño aceptable, ya que en la práctica logra sacar 4A en el drenaje de este semiconductor.

Si bien las interfaces proporcionan corriente aceptable, se usan únicamente para activar las bobinas de relevadores electromecánicos. Esto se debe a que no es aconsejable que un semiconductor permanezca largos períodos de tiempo suministrando potencia considerable. La corriente nominal de consumo de un relé es de 200mA versus los 4A que podría suministrar cada IRF9530.

11.1.5. ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

11.1.5.1. Fuente de alimentación del módulo implementado en el vehículo

La tensión de alimentación se obtiene de la batería del automóvil, se filtra y se aplica regulada al resto del circuito. La fuente convierte el voltaje de casi 14V de entrada en dos tensiones constantes de 5.12V y 3.3V. El primer voltaje alimenta a todos los integrados del circuito, a excepción del módulo ZIGBEE que es alimentado por el segundo voltaje.

En la figura 3.27 la fuente de alimentación consta de un rectificador (D3, D1), una protección por sobretensión (R1, D2), un filtro de ruido (C1, C2, C3, C4), un regulador lineal fijo de 9V (IC1) y dos reguladores variables (IC2, IC3).

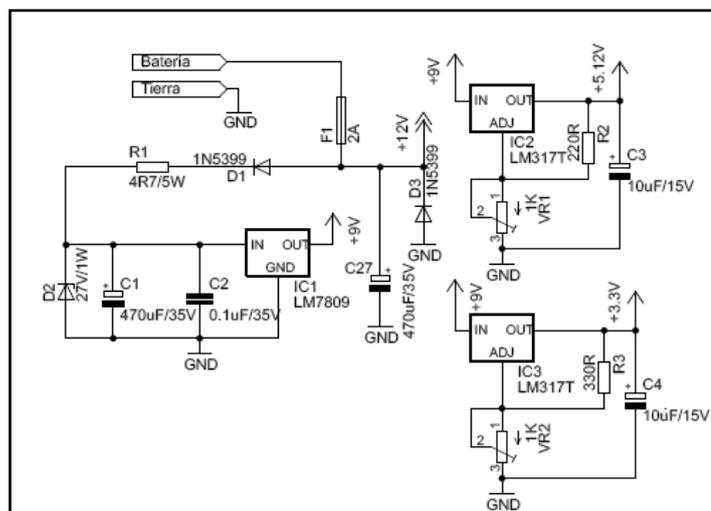


Figura 3.27: Circuito de alimentación del módulo para encendido temporizado de motores

El rectificador recorta picos negativos de ruido y protege el circuito cuando por error, se invierte la polaridad de la batería. Si esto sucede, el fusible F1 se destruye y el módulo se bloquea. De allí que la corriente nominal del fusible es la misma que del diodo D3.

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

La regulación de voltaje se hace en etapas: primero se regula a 9V y luego a 3.3 y 5.12V simultáneamente. De esta manera, la caída de voltaje de 10.7V y 8.88V respectivamente (considerando un voltaje de entrada de 14V), se disipa en algunos integrados. Así, los reguladores de voltaje se calientan menos.

La ecuación 3.8, extraída y adaptada desde la hoja de datos del LM317T, indica el voltaje de salida obtenido en IC2 con la configuración de resistencias R2 y VR1.

$V_{\text{regulación}} \cong \frac{R_2 + VR_1}{R_2} \cdot (1.25V)$	<p>Ecuación 3.8: Voltaje de salida en regulador variable LM317</p>
--	--

$$V_{\text{regulación}} \cong \frac{220\Omega + 681.12\Omega}{220\Omega} \cdot (1.25V) = 5.12V$$

La misma ecuación 3.8 adaptada para el regulador IC3 indica su voltaje de salida:

$$V_{\text{regulación}} \cong \frac{330\Omega + 541.2\Omega}{330\Omega} \cdot (1.25V) = 3.3V$$

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

11.1.5.2. Fuente de alimentación del puente ZIGBEE – USB

La tensión de alimentación es suministrada por un adaptador DC de 7.5V. El diodo D20 protege al circuito de picos negativos de ruido, mientras que C18, C19 y C20 son condensadores de desacople para evitar corrientes parásitas inducidas por los mismos reguladores.

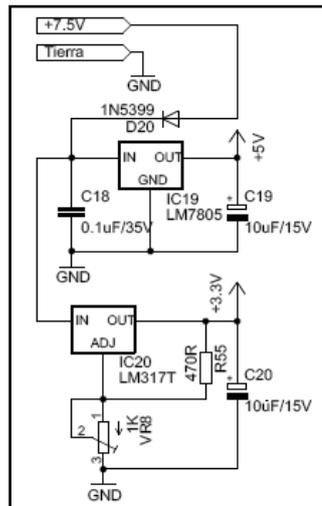


Figura 3.28: Circuito de alimentación del BRIDGE ZIGBEE – USB

Los reguladores IC19 e IC20 del circuito, pueden suministrar hasta 1A de corriente. Este valor es suficiente para polarizar al microcontrolador y al módulo XBEE, respectivamente.

La configuración de IC20 es similar a la usada para el regulador IC3. Su análisis es el mismo.

11.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO GENERAL

El diagrama esquemático general agrupa todos los circuitos estudiados, más ciertos componentes de igual importancia como son los condensadores de desacople. Así se evita que corrientes parásitas afecten a microcontroladores, módulos de visualización y módulos de radiofrecuencia. Además se incluyen conectores necesarios en su implementación física.

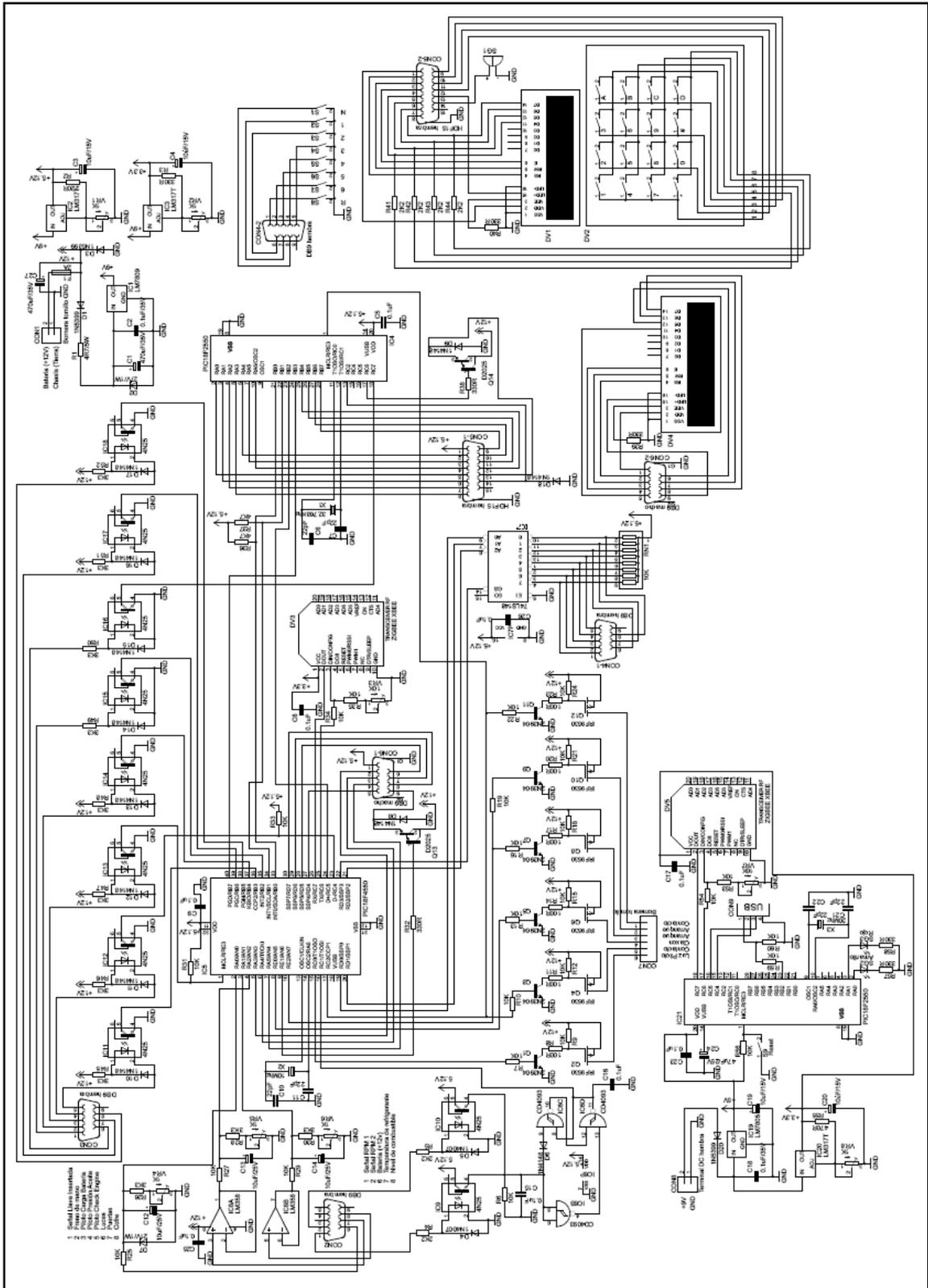


Figura 3.29: Diagrama esquemático general

11.3.DESCRIPCIÓN GENERAL DEL FIRMWARE Y SOFTWARE

11.3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Actualmente los desarrolladores de sistemas embebidos programan microcontroladores usando lenguajes de alto nivel, por ejemplo Lenguaje C. Estas son las razones:

- Es más fácil desarrollar programas.
- El mantenimiento del programa (corrección de errores semánticos y sintácticos) es rápido y fácil.
- Se pueden realizar operaciones matemáticas y lógicas complejas sin dificultad mayor.
- No se necesita conocer a fondo la RAM especial del microcontrolador.

En adición, el espacio de memoria que ocupa el código compilado en alto nivel es usualmente más grande que el desarrollado en ensamblador. Además, existen ciertas configuraciones específicas que las librerías no realizan.

A mi criterio, un programa relativamente eficiente, rápido de desarrollar y con funciones específicas se realiza en C y ensamblador a la vez.

En el presente trabajo hago uso del compilador de lenguaje C, PCH de CCS, hecho para microcontroladores PIC con OP CODE de 16 bits.

11.3.2. FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR DE PROCESAMIENTO

11.3.2.1.Programa principal

El programa empieza con la inicialización de pines, configuración de módulos

internos y activación de interrupciones. Luego permanece en un bucle infinito esperando a que ciertas condiciones se cumplan, para ir a los diferentes modos de trabajo. El siguiente diagrama de flujo muestra lo descrito.

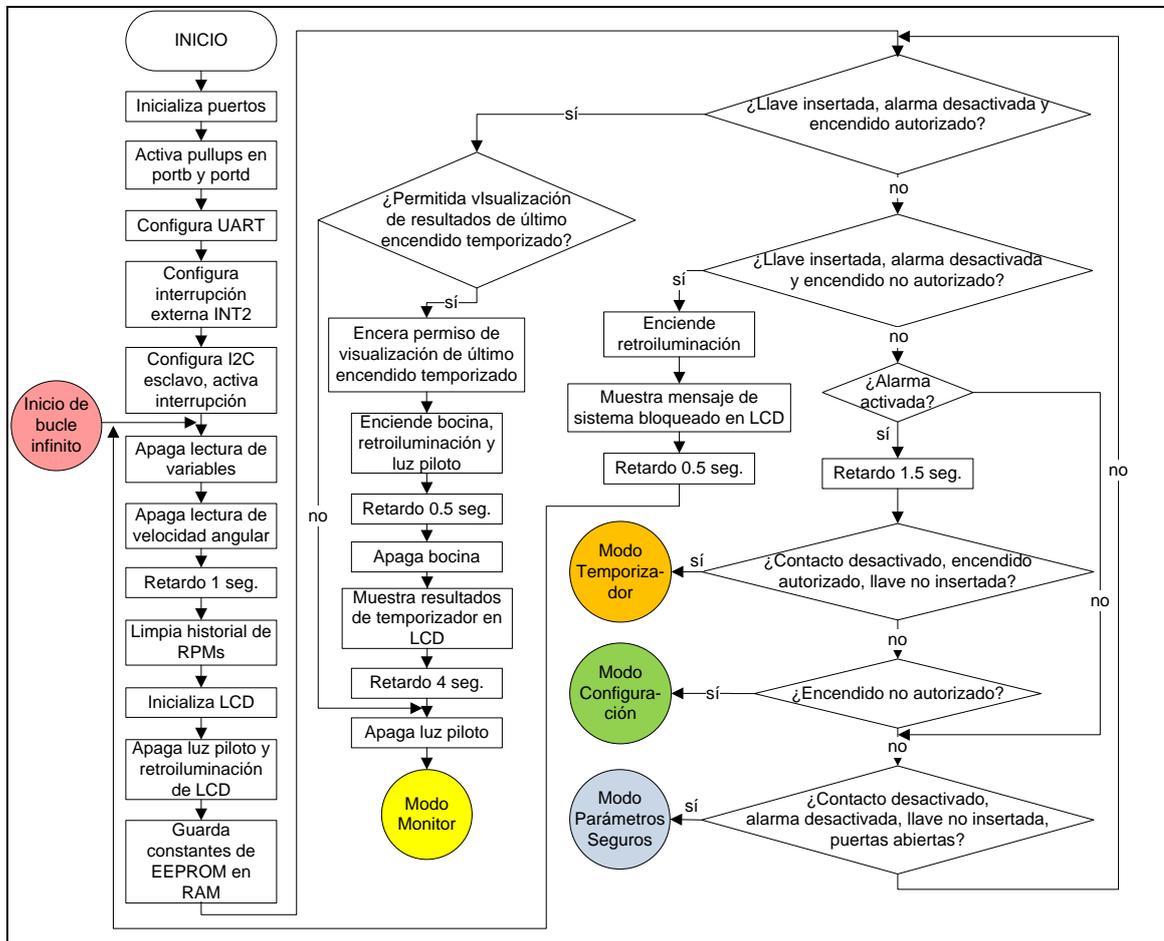


Figura 3.30: Diagrama de flujo del programa principal del microcontrolador de procesamiento

Los modos de trabajo no son más que segmentos de programa donde el microcontrolador realiza ciertas funciones específicas. En cada uno de ellos existen distintos parámetros de configuración. Por ejemplo, activación o desactivación de ciertas interrupciones, o respuesta diferente de algunas de ellas. Una vez terminado cualquier modo, el programa lleva el puntero hacia el inicio del bucle infinito.

Monitor, temporizador, parámetros seguros y configuración, son los nombres de los modos de trabajo. Éstos se determinan básicamente por dos señales lógicas

provenientes del microcontrolador de configuración, llamadas *alarma* y *autoriza_encendido*.

11.3.2.1.1. Modo de trabajo “Monitor”

Consiste en la lectura y visualización de las variables en un bucle cerrado, además de su envío a través del bus serial asincrónico. Las características de este modo son:

- La visualización local y envío remoto de las variables se realiza por interrupción, cada cierto período de tiempo.
- Cuando el usuario coloca la llave en la posición ON, el sistema detecta el evento por medio de la interrupción externa INT2. Luego, activa el pin correspondiente para suministrar contacto.
- Por otro lado, cuando el usuario quita la llave, el programa principal elige si quitar o no el contacto. Para ello, se revisa el historial de velocidades angulares. Si el motor ha venido de alta revolución, el sistema activa un retardo, luego del cual, lo apagará automáticamente.
- Existe un temporizador de precalentamiento que le indica al operador en qué momento arrancar el motor. Esto es útil en los motores diesel con bujías de incandescencia.
- Cada vez que el motor gira a la velocidad nominal de ralentí, se encuentra activado el freno de mano y la transmisión está en neutral, se activa un contador regresivo que, cuando termina, apaga el motor. Este procedimiento se realiza sin importar que la llave esté en la posición de contacto.

11.3.2.1.2. Modo de trabajo “Temporizador”

Se activa cuando el microcontrolador de configuración pone en bajo las señales alarma y autoriza_encendido. El algoritmo verifica que los valores de las variables adquiridas sean seguros. Además, arranca el motor y lo mantiene encendido mientras dure el tiempo configurado por el usuario, o hasta que se suscite una alerta por valores inseguros en las variables.

Si no se cumplen las siguientes medidas antes de encender el motor, el sistema indica la razón del arranque fallido en la LCD:

- Está desacoplada la transmisión (para garantizar seguridad, el equipo no sólo sensa posición neutral, sino todas las velocidades desde reversa hasta sexta).
- El freno de mano y / o bloqueo de ruedas se encuentran accionados.
- Existe la suficiente cantidad de combustible en el tanque.
- Las baterías tienen carga adecuada para arrancar.
- El lapso de mantenimiento indicado en el horómetro, no está vencido.
- El cofre del motor está cerrado, para evitar accidentes con personas que se encuentren haciendo mantenimiento.

Una vez encendido el motor, el sistema comprueba lo siguiente:

- Temperatura del motor.
- Cantidad de combustible en el tanque.
- Velocidad angular (RPMs del motor).
- Carga de la batería.
- Posición de la transmisión en neutral.
- Freno de mano y / o bloqueo accionados.
- Presión de aceite.
- Activación del piloto de inspección.
- Período de vida útil del aceite ó lapso de mantenimiento.
- Apertura del cofre.

Los valores medidos en las variables, se comparan con otros configurados por el usuario en la memoria no volátil. Si cualquiera de ellos sale de los mínimos y / o máximos de referencia, el sistema apaga el motor y muestra en la LCD la razón.

11.3.2.1.3. Modo de trabajo “Parámetros Seguros”

Este modo se activa en la finalización del modo de trabajo “Monitor”, luego de que el usuario estuvo operando manualmente el vehículo y lo apagó. La figura 3.33 lo describe:

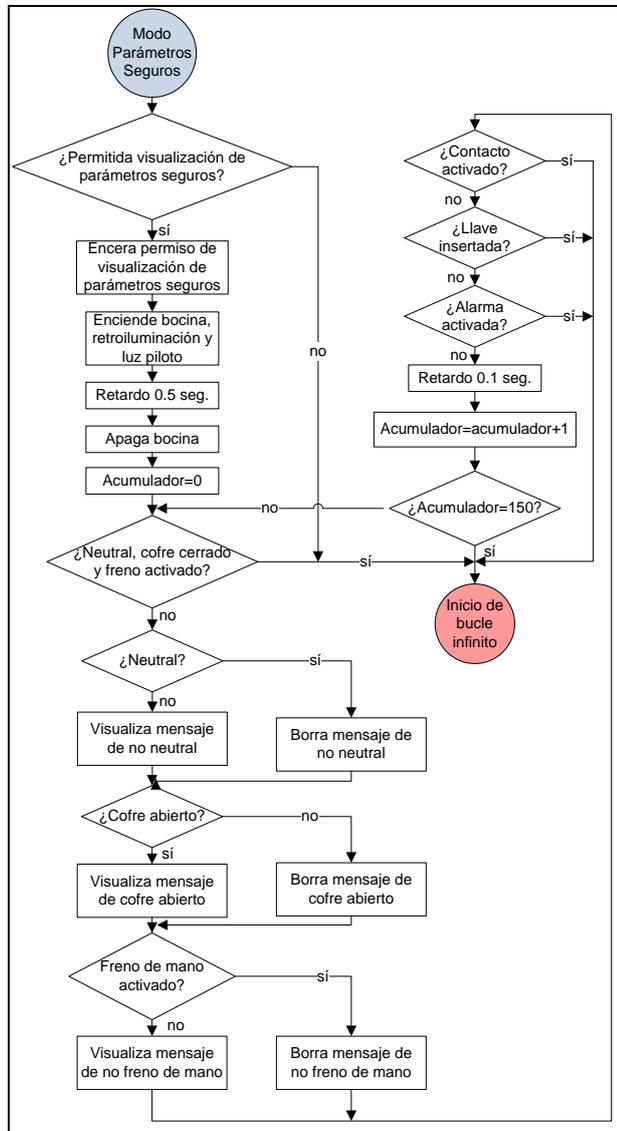


Figura 3.33: Diagrama de flujo del modo de trabajo “Parámetros Seguros”

El mecanismo espera a que se abra la puerta del conductor para verificar si la caja de cambios está en neutral, se encuentra activado el freno de mano y el cofre del motor está cerrado. Si cualquiera de las condiciones anteriores no se cumple, se enciende la bocina y en la LCD se muestra cuál de ellas no se está efectuando.

Este modo dura únicamente alrededor de 15 segundos y se ejecuta una sola vez, después de que el usuario apagó el motor y abrió la puerta. Luego de esto, no importa el número de veces que se abra la puerta.

El propósito de este modo es crear la costumbre de asegurar las tres condiciones necesarias, para un eventual arranque autónomo temporizado.

11.3.2.1.4. Modo de trabajo “Configuración”

Cuando el usuario entra al menú de configuración de constantes de referencia en el microcontrolador de configuración, éste pone en bajo la señal alarma, y en alto la señal *autoriza_encendido*. Entonces, el sistema recibe datos de configuración vía I²C.

La característica importante de este modo radica en que se desactiva la interrupción externa INT2, para no permitir al mecanismo, colocar contacto y encender el motor.

El proceso de recepción de datos termina, una vez que el microcontrolador de configuración ponga en alto la señal *autoriza_encendido*.

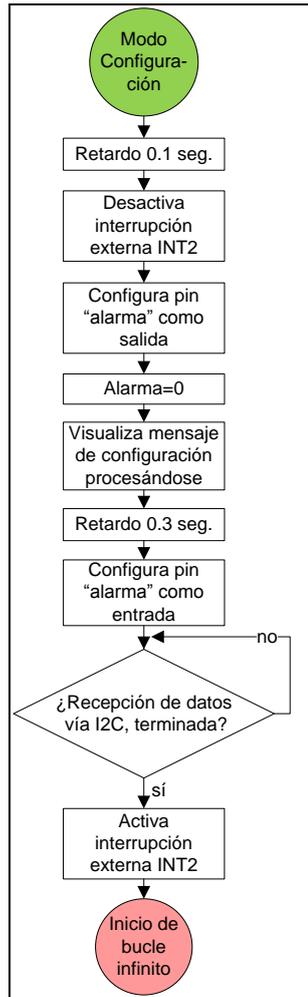


Figura 3.34: Diagrama de flujo del modo de trabajo “Configuración”

11.3.2.2. Interrupciones

Dada su naturaleza multifuncional, las interrupciones son tema muy importante en este programa.

El hardware del PIC18F4550 permite configurar prioridad en las interrupciones. Si una de menor importancia está ejecutándose, puede ser interrumpida por otra más relevante. Adicionalmente, cada interrupción se trata en un vector diferente.

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

- Desbordamiento del TIMER1.

- Flanco activo en CCP2.
- Desbordamiento del TIMER2.
- Flanco activo en el pin de interrupción externa INT2.
- Evento I²C.

11.3.2.2.1. Desbordamiento del TIMER1

Su implementación tiene relación directa con la interrupción CCP2. El módulo TIMER1 está configurado como temporizador (contador sincrónico con la señal del oscilador), con preescala de 8.

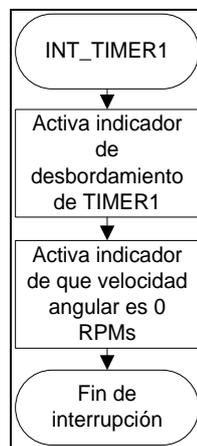


Figura 3.35: Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción del TIMER1

Teniendo en cuenta al oscilador de 10Mhz y que en los PICs un ciclo de máquina dura 4 ciclos de reloj, el período de conteo del TIMER1 es de 3.2μseg. En base a este resultado y a que la resolución del temporizador es 16bits, el tiempo máximo que se puede medir en el desbordamiento del TIMER1, es de 0.209712seg. Lo anterior se resume en los siguientes modelos:

$T_{\text{conteo}} = \frac{4}{F_{\text{osc}}} \cdot \text{preescala}$	<p>Ecuación 3.9: Período de conteo del TIMER1</p>
---	---

$$T_{\text{conteo}} = \frac{4}{10\text{Mhz}} \cdot 8 = 32.\mu\text{s}$$

$T_{m\acute{a}x} = \frac{4}{F_{osc}} \cdot 65535 \cdot preescala$	Ecuación 3.10: Temporización máxima obtenida en el TIMER1
---	---

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{4}{10Mhz} * 65535 * 8 = 0.209712seg$$

11.3.2.2.2. Flanco activo en CCP2

El módulo CCP2 está configurado en modo captura ante flancos ascendentes. Se realiza una interrupción cada vez que exista una señal transicional desde nivel lógico 0 hasta nivel lógico 1.

Como se observa en el diagrama de flujo, la rutina especial de interrupción reinicia el registro contador del TIMER1, pero también guarda el valor que tenía éste justo en el momento de la interrupción. Además, verifica si el TIMER1 se ha desbordado.

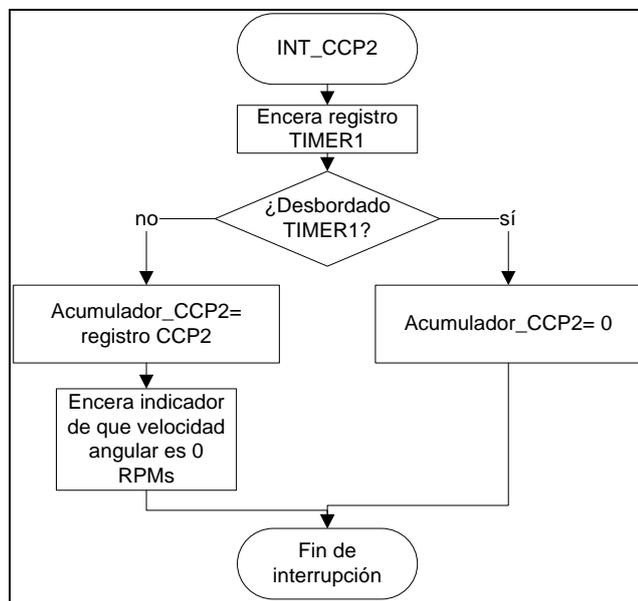


Figura 3.36: Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción del módulo CCP2

El beneficio práctico de esta interrupción y la de desbordamiento del TIMER1, se orienta a la medición de la velocidad angular del motor. Con los valores obtenidos

mediante las ecuaciones 3.9 y 3.10, se puede obtener la frecuencia máxima y mínima que es capaz de medir el módulo:

$f = \frac{1}{T}$	Ecuación 3.11: Obtención de frecuencia en función de período
-------------------	--

$$f_{\text{máx}} = \frac{1}{T_{\text{conteo}}} = \frac{1}{3.2\mu\text{s}} = 312.5\text{KHz}$$

$$f_{\text{mín}} = \frac{1}{T_{\text{máx}}} = \frac{1}{0.209712\text{seg}} = 4.768\text{Hz}$$

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

$w = \frac{f * 120}{\# \text{ cilindros}}$	Ecuación 3.12: Obtención de frecuencia angular para motores de 4 cilindros a partir de la frecuencia
--	--

$$w_{\text{máx}} = \frac{312.5\text{KHz} * 120}{4} = 9375000\text{RPM}$$

$$w_{\text{mín}} = \frac{4.768\text{Hz} * 120}{4} = 143.053\text{RPM}$$

En base a los resultados, si se divide el valor obtenido en el TIMER1 cada interrupción de CCP2, por el número 9375000, se obtiene la velocidad angular.

11.3.2.2.3. Desbordamiento del TIMER2

El TIMER2, configurado como temporizador ascendente con desbordamiento cada 24.99ms, se usa para dar la base de tiempo en la lectura de variables. Para ello, se utiliza preescala y postescala de 16. Con la ecuación 3.13 se calcula la temporización descrita:

$T = \frac{4}{f_{osc}} * preescala * (TIMER2 + 1) * postescala$	<p>Ecuación 3.13: Temporización en el TIMER2</p>
---	--

$$T = \frac{4}{10MHz} * 16 * (43 + 1) * 16 = 24.985ms$$

El período de desbordamiento medido varias veces, indica cada qué tiempo el sistema adquiere y visualiza una variable. La siguiente tabla refleja lo mencionado:

Tabla III.5: Frecuencias de muestreo de las variables del sistema

FRECUENCIAS DE MUESTREO DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA			
Variable	Número de interrupciones de TIMER2	Período de muestreo (Seg)	Frecuencia de muestreo (Hz)
Voltaje de la batería	20	0.5	2
Cantidad de combustible	80	2	0.5
Temperatura del refrigerante	80	2	0.5
Velocidad angular del motor	10	0.25	4
Incremento del horómetro	40	1	1
Marcha acoplada en caja de cambios	20	0.5	2
Activación de freno de mano	20	0.5	2
Apertura del cofre del motor	20	0.5	2
Presión de aceite deficiente	20	0.5	2
Apertura de puertas	20	0.5	2
Carga deficiente del alternador	20	0.5	2
Inspección en el motor	20	0.5	2

Es importante resaltar que la velocidad angular del motor únicamente es calculada y mostrada en la LCD cada período de muestreo. Su verdadera medición se hace con las interrupciones CCP2 y TIMER1.

Por otro lado, el horómetro usa el período de muestreo de 1seg no sólo para visualizar su valor en la LCD, sino como base de tiempo para incrementar el contador.

El envío de datos vía ZIGBEE se realiza cada vez que se adquiere y visualiza una variable, es decir, con la frecuencia de muestreo de ésta.

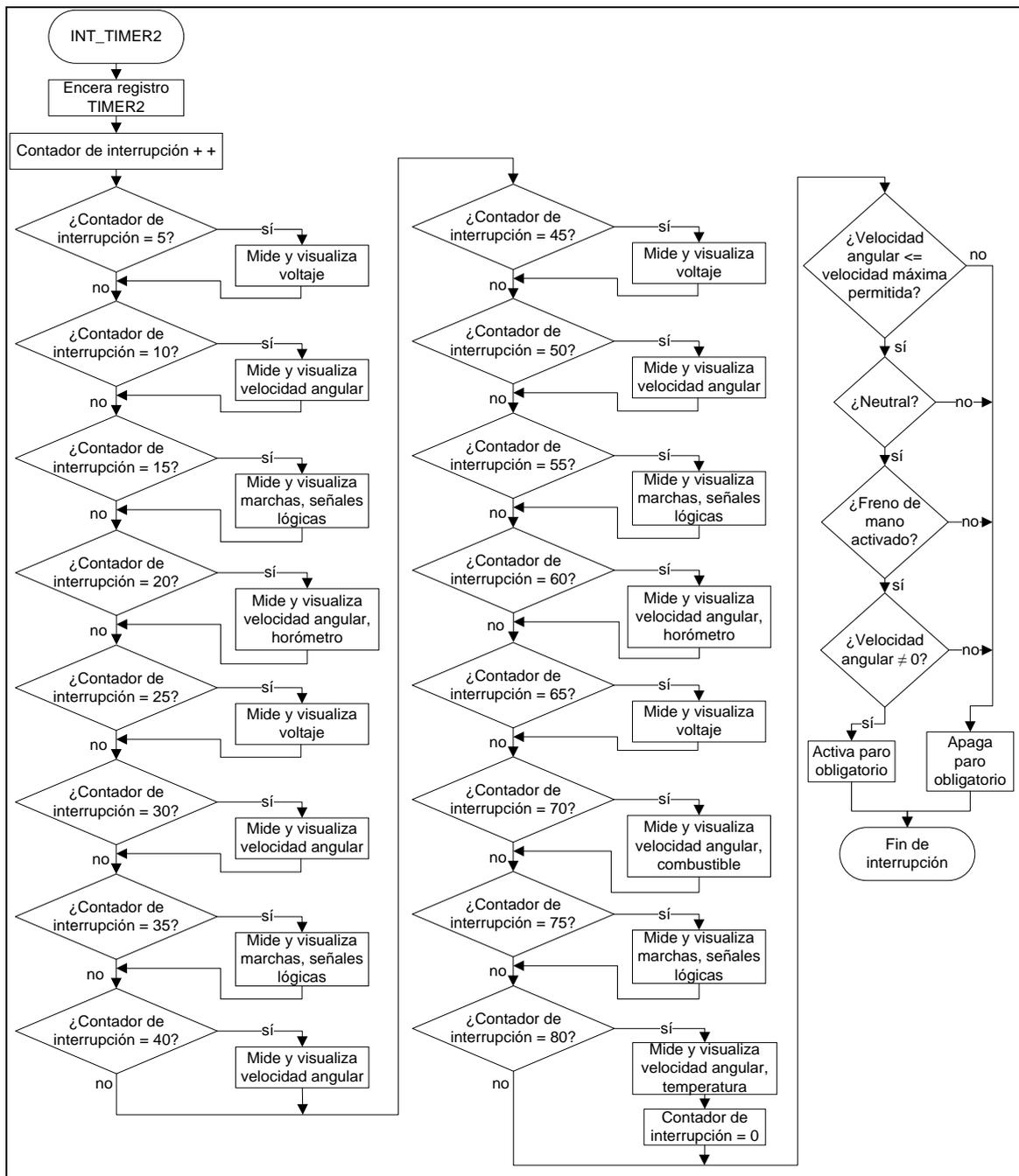


Figura 3.37: Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción por desbordamiento del TIMER2

11.3.2.2.4. Flanco activo en pin de interrupción externa INT2

La interrupción externa se usa para verificar la inserción de la llave en el arnés de encendido. Su implementación hace que el sistema reaccione rápidamente

suministrando o quitando contacto, según el estado del pin RB2 y ciertas condiciones medidas en el sistema. En la figura 3.38 se muestra la rutina de interrupción.

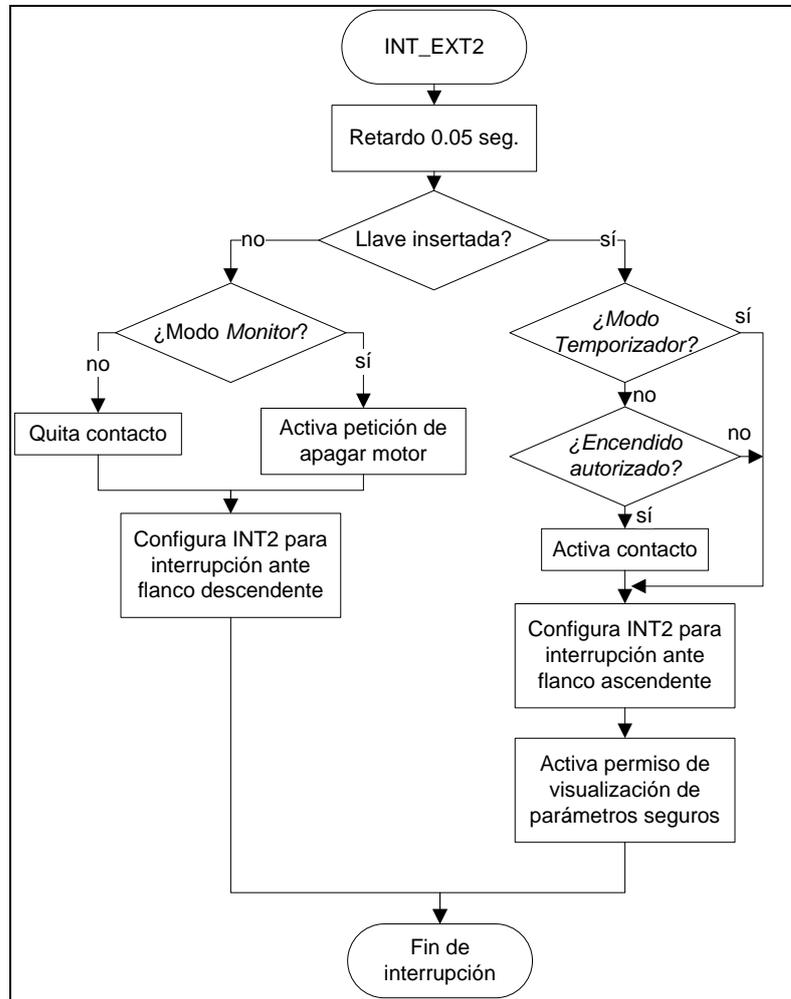


Figura 3.38: Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción externa

Esta rutina además de colocar contacto, reconfigura el módulo para que, si se realizó ante un flanco ascendente, la próxima vez se haga ante uno descendente.

11.3.2.2.5. Evento I²C

Ante una recepción de información desde el microcontrolador maestro, la rutina de interrupción toma los datos y los guarda en la memoria EEPROM. Estos datos pueden ser de dos tipos:

Constantes de referencia configuradas por el usuario como temperatura máxima, voltaje mínimo, velocidad angular mínima, velocidad angular máxima. Hora de inicio y hora de finalización de la temporización realizada.

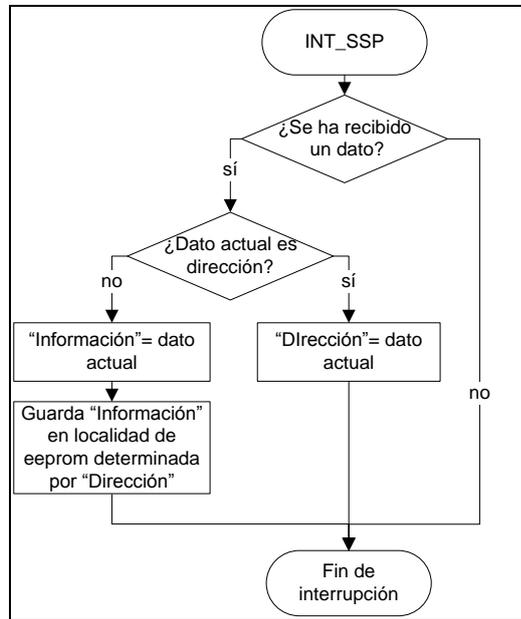


Figura 3.39: Diagrama de flujo de la rutina especial de interrupción ante evento I²C

11.3.2.3. Subrutinas especiales

A continuación se detallan los procedimientos realizados en la digitalización de las variables voltaje, temperatura, combustible y velocidad angular.

11.3.2.3.1. Medición de voltaje

Una característica importante del hardware es que la alimentación y la referencia de voltaje para el convertidor analógico – digital, se hacen con 5.12V. Por tanto, el valor resultante de la conversión con la que se adquiere el voltaje, se multiplica por 5.12V y se divide entre 1024 (resolución del convertidor).

Este valor estratégico de voltaje hace que el cociente de la división (5.12V/1024) sea exacto, resultando en menores imprecisiones por aproximación en los cálculos.

El valor se multiplica también por 4, debido a que el divisor de voltaje fue de 1/4. De esta manera, se obtiene finalmente el valor numérico real del voltaje.

$V = \frac{5.12V}{1024} * Valor_{CAD} * 4$	Ecuación 3.14: Digitalización del voltaje
--	---

11.3.2.3.2. Medición de combustible

El procedimiento de multiplicar el valor obtenido desde el conversor análogo – digital por la resolución del conversor y por el inverso del divisor de voltaje, también se realiza aquí. El valor que se obtiene está en voltios y para transformarlo a cantidad de combustible, se utiliza la función que caracteriza al sensor.

La figura 3.40, muestra la curva de dispersión resultante de la medición del voltaje para ciertas cantidades de combustible. Además se observa la línea de tendencia en base a la cual, se puede realizar un modelo matemático de aproximación.

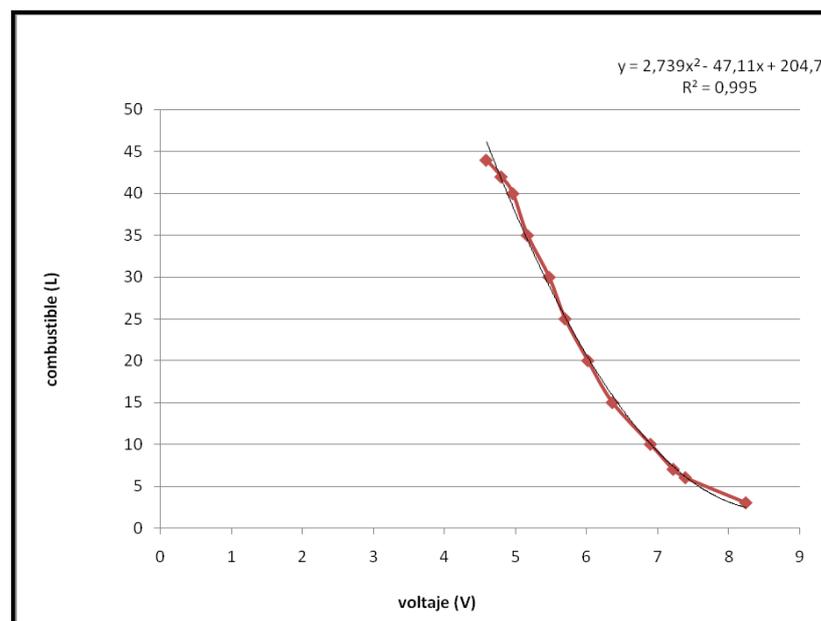


Figura 3.40: Línea de tendencia utilizada para la medición de combustible

Por tanto, la ecuación que relaciona al combustible C con el voltaje V , es la siguiente:

$C = 2.739V^2 - 47.11V + 204.7$	Ecuación 3.15: Modelo utilizado en el cálculo del combustible
---------------------------------	---

Donde el voltaje V , es calculado con el modelo de la ecuación 3.14.

11.3.2.3.3. *Medición de temperatura*

Debido a que la adquisición de temperatura y combustible tienen las mismas interfaces, el procedimiento para digitalizar las señales es similar. La curva de dispersión resultante de la medición del voltaje en función de la temperatura, así como también su línea de tendencia, se aprecian en la figura 3.41.

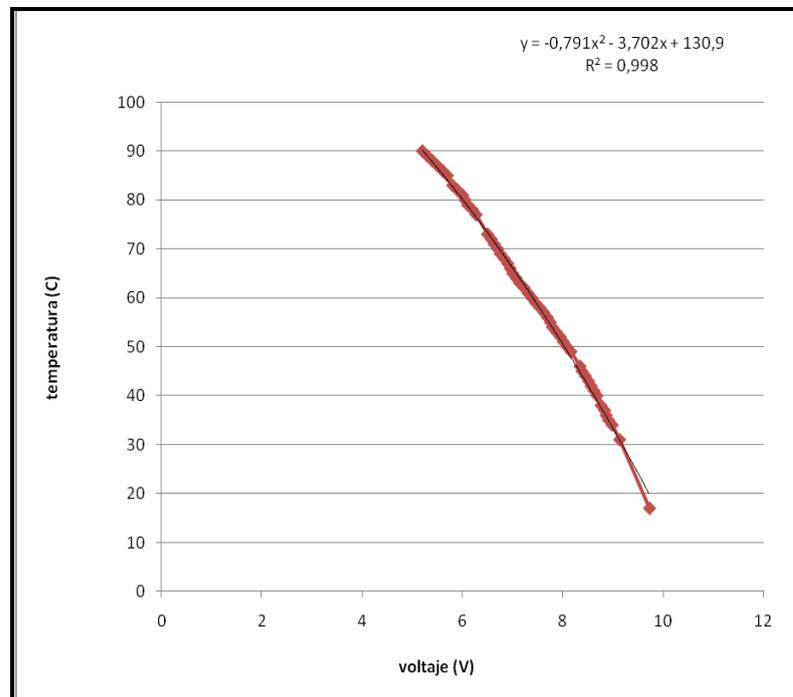


Figura 3.41: Línea de tendencia utilizada para la medición de temperatura

El modelo matemático de aproximación que relaciona la temperatura T con el voltaje V , es el siguiente:

$T = -0.791V^2 - 3.702V + 130.9$	Ecuación 3.16: Modelo utilizado en el cálculo de la temperatura
----------------------------------	---

Donde el voltaje V , es calculado con el modelo de la ecuación 3.14.

11.3.3. FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR DE CONFIGURACIÓN

11.3.3.1. Programa principal

El programa gobierna un módulo LCD y un teclado hexadecimal para navegar dentro de cierto sistema basado en menús, de manera similar al desplazamiento dentro de un teléfono móvil. Maneja un reloj en tiempo real programable en memoria volátil, implementado virtualmente con interrupciones cada segundo.

Utiliza memoria no volátil para grabar parámetros que el módulo debería aceptar como fehacientes, y almacenar dígitos de una clave implementada. Mantiene comunicación serial sincrónica con el microcontrolador de procesamiento, a fin de enviarle los parámetros establecidos por el usuario.

Debido a la extensa programación que requiere la interfaz gráfica de desplazamiento en menús, el diagrama de flujo de la figura 3.42, muestra únicamente los bloques principales que determinan su funcionamiento.

Este programa maneja dos pines de salida descritos como “señal de alarma” y “señal de autorización de encendido”, cuyas combinaciones de activación indicadas en la tabla 3.4, persuaden al microcontrolador de procesamiento de diferentes eventos suscitados en el programa local.

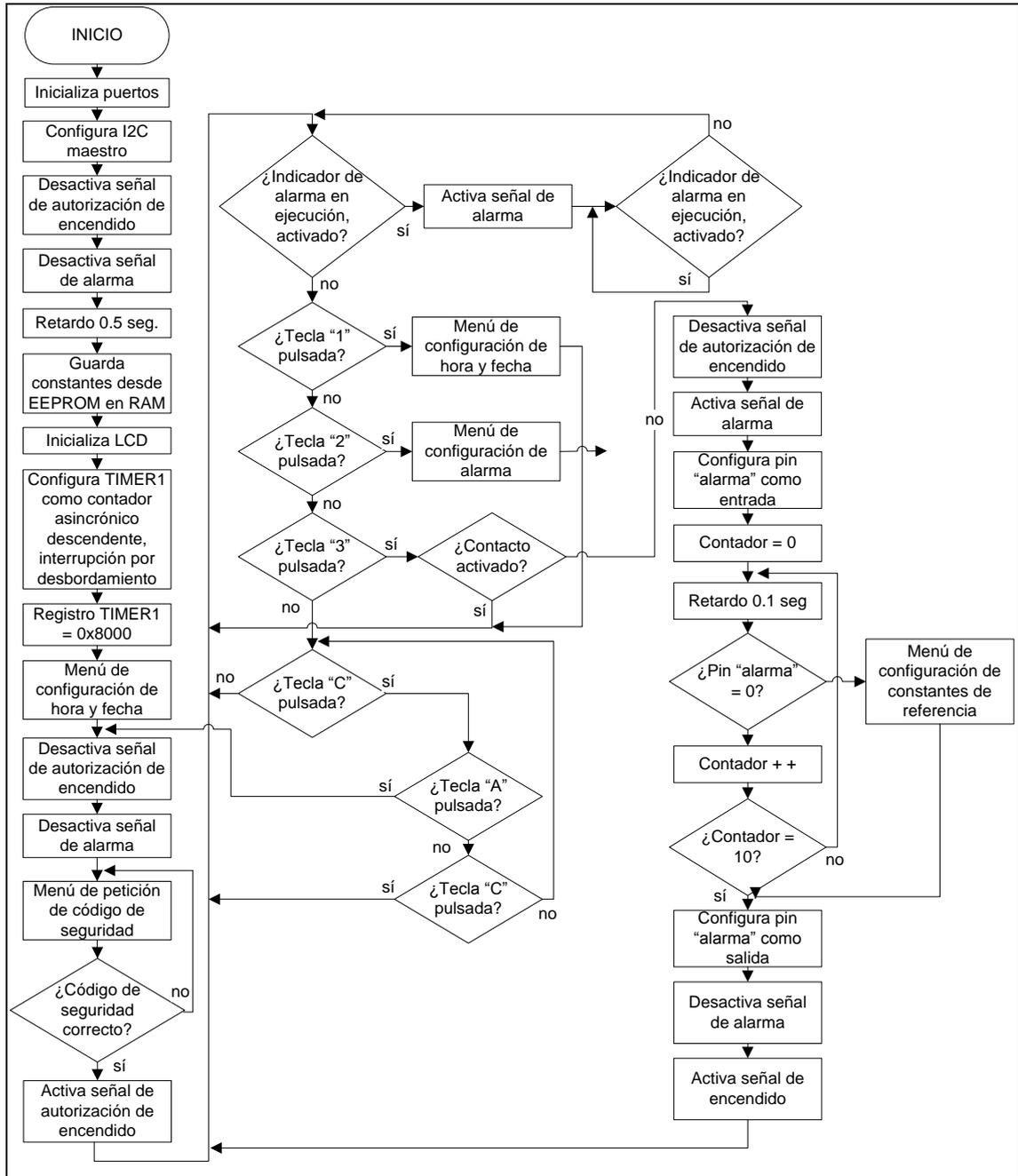


Figura 3.42: Diagrama de flujo del programa principal del microcontrolador de configuración

Los menús que se manejan son cuatro:

- Menú de petición de código de seguridad.
- Menú de configuración de hora y fecha.
- Menú de configuración de alarma.
- Menú de configuración de constantes de referencia.

11.3.3.1.1. Menú de petición de código de seguridad

Este menú demanda del ingreso de un código de seguridad de seis dígitos. Considerando que el largo de palabra es 6 y la base es 10 (cada dígito puede ser 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9), el siguiente modelo indica el total de combinaciones posibles.

$Combinaciones = Base^{palabra}$	Ecuación 3.17: Combinaciones posibles en una clave de seguridad
----------------------------------	---

$$Combinaciones = 10^6 = 1000000$$

Las siguientes, son características del menú:

Cada dígito ingresado es enmascarado en la pantalla con un asterisco (*), para evitar que se visualice el código de seguridad.

Existe un código de súper usuario que permite visualizar la contraseña vigente, en caso de olvido de la misma. El código es 100251582100.

El código se encuentra implementado en EEPROM, característica que lo hace permanente ante el corte de alimentación en el módulo.

11.3.3.1.2. Menú de configuración de hora y fecha

Este menú consiente el ingreso de hora y fecha con la respectiva discriminación de errores. Sus características son:

- Formato de hora militar (24 horas) con horas, minutos y segundos.
- Discriminación de errores en el ingreso de la hora.
- Ingreso de fecha incluyendo día de la semana, día del mes, mes y año.
- Discriminación de errores de ingreso de la fecha, verificando meses de 28, 30 y 31 días para años normales, y febreros de 29 días para años bisiestos.

11.3.3.1.3. Menú de configuración de alarma

Sus características son:

- Ingreso de hora de alarma con minutos y horas. Los segundos son excluidos.
- Discriminación de errores en la inserción de la hora.
- Discriminación de errores de ingreso de la fecha, verificando meses de 28, 30 y 31 días para años normales, y febreros de 29 días para años bisiestos.
- Tres tipos de alarma: alarma inmediata, alarma ciertos días de la semana, y alarma en una fecha particular.

Los tres tipos de alarma enumerados se describen a continuación:

- Alarma inmediata, donde el sistema despertará al verificar únicamente la coincidencia entre la hora actual y la hora configurada.
- Alarma ciertos días de la semana, en la que se verificará la coincidencia de la hora pero también del día de la semana. Se puede establecer que a cierta hora, el vehículo encienda unos días de la semana y otros no.
- Alarma en una fecha particular, donde el sistema confirmará la coincidencia no sólo de la hora, sino del día del mes, mes y año.

11.3.3.1.4. Menú de configuración de constantes de referencia

Las constantes de referencia son los valores numéricos en torno a los cuales, el sistema determinará si las variables leídas (temperatura, velocidad angular, voltaje, entre otras) indican circunstancias seguras para el funcionamiento del motor y vehículo.

Este menú permite al usuario navegar dentro de algunos submenús para configurar los parámetros indicados en la tabla 3.6.

Tabla III.6: Constantes de referencia del menú de configuración

CONSTANTE DE REFERENCIA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	UNIDADES	RESOLUCIÓN DE CONFIGURACIÓN
Temperatura máxima del refrigerante	60	100	Grados centígrados	1
Combustible mínimo	1	50	Litros	1
Voltaje mínimo de la batería	9.9	25.0	Voltios	0.1
Duración del pulso de arranque	500	3000	Milisegundos	100
Duración del precalentamiento de la cámara de combustión	0	30	Segundos	1
Aceleración mínima	500	1000	Revoluciones por minuto	100
Aceleración máxima	1100	2000	Revoluciones por minuto	100
Punto de cambio de marcha	1000	8000	Revoluciones por minuto	100
Tiempo de encendido durante alarma	02:00	19:59	Minutos, Segundos	00:01
Apagado obligatorio del motor	0	5	Minutos	1
Retardo de apagado del motor	0	50	Segundos	1
Período de mantenimiento	10	500	Horas	10
Código de seguridad	000000	999999	-	-

Luego de establecer localmente las constantes de referencia, éstas se guardan en la EEPROM del microcontrolador, pero también son enviadas hacia el controlador de procesamiento vía I²C.

11.3.3.2. Subrutina de interrupción

El programa principal se interrumpe cada segundo. Esto se debe a la configuración del TIMER1 como contador externo asincrónico. La señal pulsante proviene del cristal de 32.768Khz, cuyo período de oscilación es 30.5175µs.

Al iniciar el registro de trabajo del TIMER1 en el valor 32768, con cada pulso detectado, éste disminuirá en 1 unidad. Luego de pasar por 0, el registro toma el valor de 65535 (resolución del TIMER de 16bits), momento en el cual se desborda y se trata la rutina especial de interrupción en el vector correspondiente.

El siguiente cálculo asevera lo descrito:

$Temporización = TIMER1 * T_{osc}$	Ecuación 3.18: Cálculo de la base de tiempo para el TIMER1
------------------------------------	--

$$Temporización = 32768 * 30.5175 \mu s \cong 1 \text{ seg}$$

Según el diagrama de flujo de la figura 3.43, cada segundo la interrupción por desbordamiento del TIMER1 incrementa el reloj y la fecha. Este conteo se hace discriminando los meses de 28, 30 y 31 días para años normales, y 29, 30 y 31 días para años bisiestos.

Luego del tratamiento de la hora y fecha, el algoritmo verifica cada minuto (condición de 0 segundos), si el tiempo actual es igual al configurado para una alarma. En este caso, activa un indicador de “alarma en proceso” para que los próximos minutos no se siga verificando alarmas. Además, cada segundo decrementa un “contador de duración de alarma” y lo compara con la duración configurada por el usuario. Cuando los dos contadores son iguales, se encera el indicador de “alarma en proceso”, anunciando el fin del encendido temporizado.

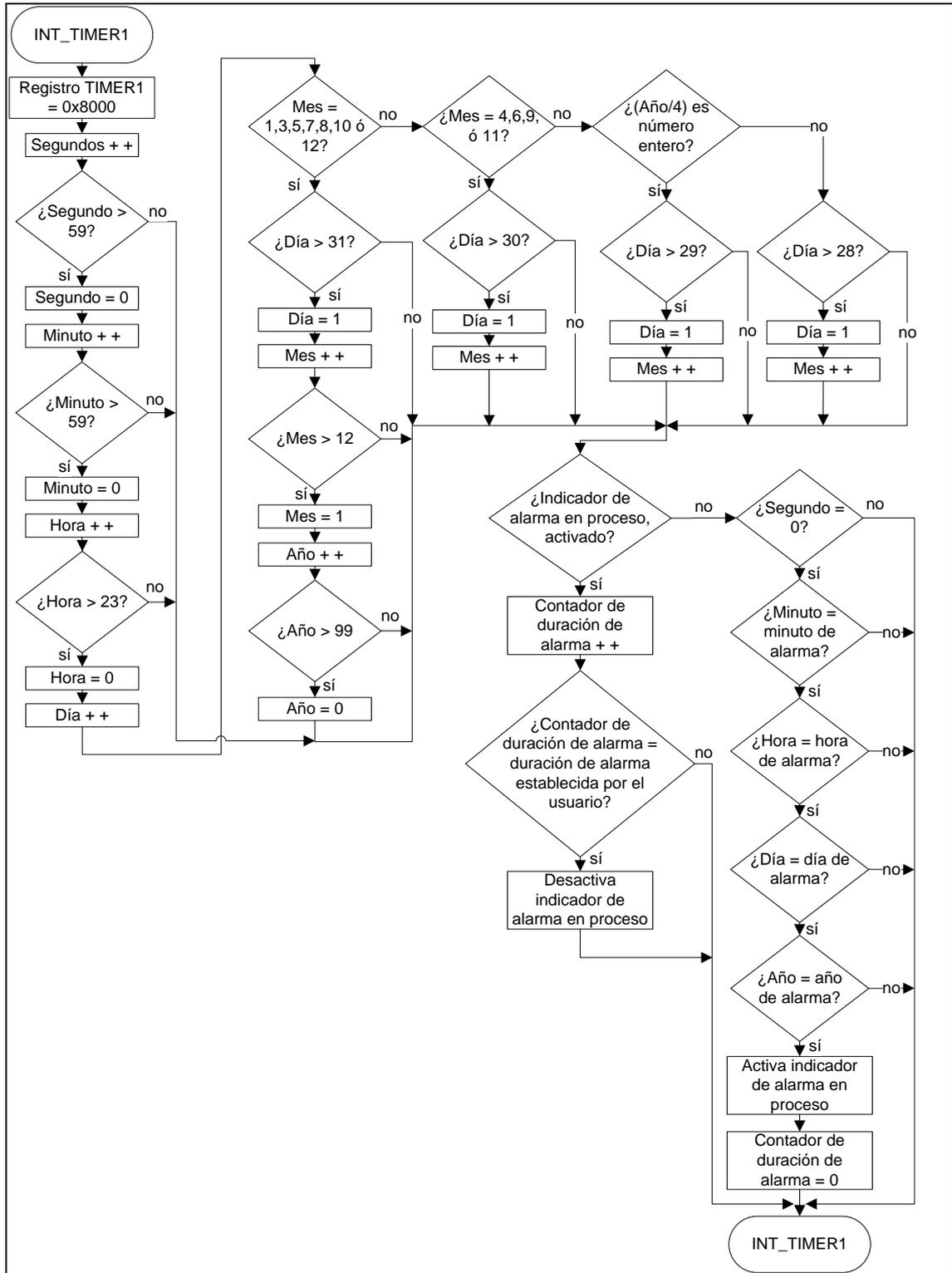


Figura 3.43: Diagrama de flujo de la rutina de interrupción en el programa de configuración

11.3.4. FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR DE PUENTE ENTRE ZIGBEE Y USB

11.3.4.1. Programa principal

La implementación del programa radica en la utilización del módulo USB interno del microcontrolador 18F2550. La frecuencia de oscilación necesaria para USB 2.0 es de 48 Mhz. Como se utiliza un cristal de 20 Mhz, se hace uso del módulo PLL interno del PIC para obtener la frecuencia requerida.

Según la hoja de datos, este módulo soporta los tipos de transferencia control, interrupción, isócrona y masiva. La transferencia masiva (BULK) se utiliza en este proyecto por las siguientes razones:

- Es útil para transferencias de datos donde el tiempo no es crítico.
- Puede enviar grandes cantidades de información sin estorbar en el bus, porque espera a que exista disponibilidad.
- En un bus USB vacío, es el tipo de transferencia más rápido.
- El HOST garantiza que la transferencia se complete eventualmente, pero no reserva un ancho de banda para ésta.
- Se maneja detección de errores.
- Soporta FULL SPEED (12Mbps en el mejor de los casos).
- La librería necesaria es suministrada por el Compilador CCS.

Como se observa en el diagrama de flujo de la figura 3.44, el programa inicializa el hardware USB indicando el tipo de transferencia BULK. Luego espera a ser enlazado y enumerado por el HOST del computador PC, momento en el cual, permite la interrupción ante recepción de datos vía UART.

En el proceso de enumeración, el microcontrolador responde a una serie de preguntas hechas por el HOST. Aquí, el dispositivo envía información sobre la identificación del fabricante, la versión del dispositivo, la versión de USB que éste

soporta, requerimientos de alimentación de corriente, entre otros. El HOST le da además una dirección para identificarlo.

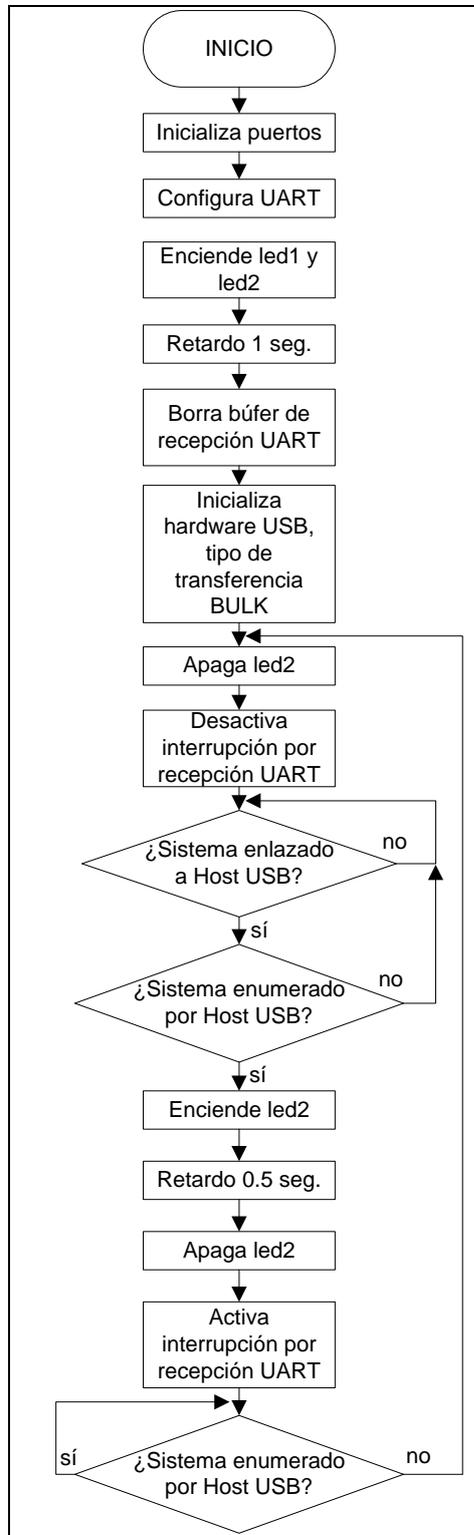


Figura 3.44: Diagrama de flujo del programa principal del microcontrolador de puenteo ZIGBEE – USB

Los parámetros más importantes configurados en la librería de manejo del módulo USB, son los siguientes:

- Activación de transferencia BULK y desactivación del método HID.
- Tamaño del búfer de transferencia de 32bytes.
- Nombre del dispositivo “Módulo de Telemetría”.
- Identificador de fabricante 0x04D8, reservado para los dispositivos USB de MICROCHIP.
- Identificador de producto 0x000B, correspondiente a la transferencia BULK de MICROCHIP.

11.3.4.2.Subrutina de interrupción

Es la que verdaderamente se encarga del puenteo de datos. La información es recibida desde el dispositivo remoto en el automóvil a nivel de bytes. Cada una de las cifras del valor numérico de las variables adquiridas en el microcontrolador de procesamiento, es transformada a su equivalente en ASCII.

Toda variable enviada está delimitada por una letra señalizadora y un LINE FEED (representado por espacios en blanco en la figura 3.45). Así, hay tantos señalizadores como variables recibidas. La figura muestra el formato de trama utilizado.

V1220 T8230 C9520 P0 E1 O1 D1 B1 K0 M1 H110 R1250 F

Figura 3.45: Formato de trama enviada vía ZIGBEE

Los caracteres ASCII V,T,C,P,E,O,D,B,K,M,H,R, indican el inicio y el tipo de dato, los espacios en blanco (valor hexadecimal 0x0A) indican el fin de cada dato, y el carácter F señala el fin de trama.

La siguiente tabla detalla el tipo de dato que representa cada señalizador ASCII.

Tabla III.7: Señalizadores en la trama transmitida inalámbricamente

SEÑALIZADOR ASCII	TIPO DE DATO
V	Voltaje del acumulador
T	Temperatura del refrigerante
C	Cantidad de combustible
P	Activación de freno de mano
E	Apertura de cofre de motor
O	Activación de piloto de presión de aceite deficiente
D	Apertura de puertas
B	Activación de piloto de carga deficiente
K	Activación de piloto de inspección (check engine)
M	Posición de la palanca de cambios
H	Horas de funcionamiento del motor
R	Velocidad angular del motor

El diagrama de flujo de la interrupción se muestra en la figura 3.46. Una vez que la rutina recibe el carácter F, verifica si el primer byte del búfer de recepción corresponde a cualquiera de los señalizadores. Esto se hace para evitar que tramas de datos incompletas o sin señalizadores sean transmitidas hacia el programa en la PC, ocasionando que se cuelgue. También permite la conexión y desconexión de la base y la estación remota en caliente.

Luego de verificar el fin de trama, la misma interrupción empaqueta el búfer de datos, lo manda a la PC vía USB y posteriormente lo borra. Maneja un LED cuya intermitencia indica el envío de cada paquete.

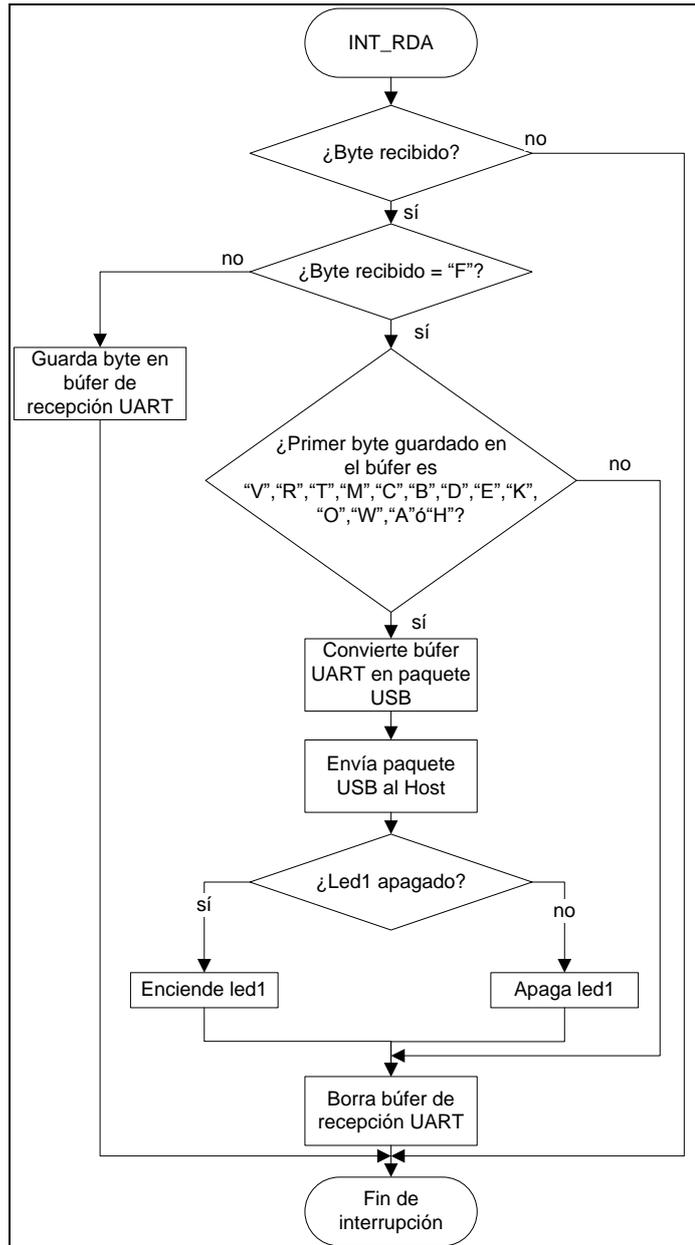


Figura 3.46: Rutina especial de interrupción por recepción UART

11.3.5. SOFTWARE DE MONITOREO EN LA PC

11.3.5.1. Controladores del dispositivo USB

En las PCs, Windows realiza la enumeración de un dispositivo USB sin la necesidad de programación del usuario. Sin embargo, para completar la enumeración en el primer enlace, este sistema operativo debe localizar un archivo INF que identifica el nombre y la localización del manejador de la unidad

conectada. Este manejador deberá estar configurado para conectar con un hardware cuyo VID y PID sea el mismo. Si los archivos requeridos están disponibles y el firmware funciona correctamente, el proceso de enumeración es generalmente invisible para el usuario.

El VID es un número de 16 bits que significa VENDOR IDENTIFICATION o código que identifica al fabricante del hardware a conectar. En este caso se utiliza el número 04D8h que identifica a Microchip. El PID es un número de 16 bits que significa PRODUCT IDENTIFICATION o código que identifica al hardware a conectar. Este programa usa el número 000Bh que identifica a la familia de los PIC18 de este fabricante.

El controlador del dispositivo fue generado por la herramienta NI-VISA DRIVER WIZARD, que permite generar un archivo .INF ingresando el VID y PID del dispositivo USB a conectar. Esta herramienta pertenece al paquete LABVIEW 8.5.

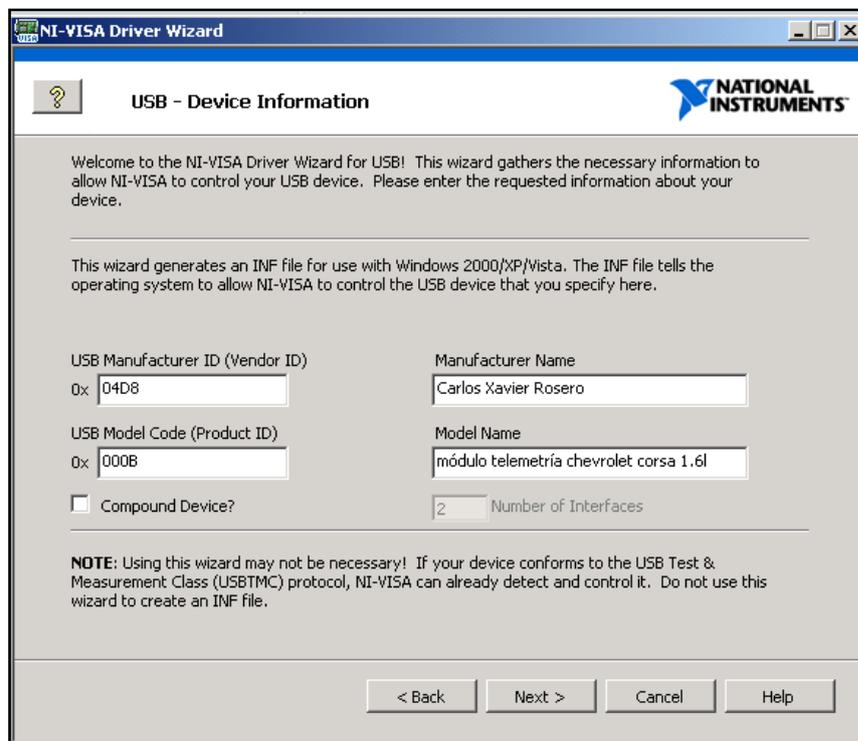


Figura 3.47: Pantalla principal del NI- VISA DRIVER WIZARD

Una vez obtenido e instalado el archivo .INF, el módulo de puenteo es reconocido como dispositivo USB perteneciente a LABVIEW.

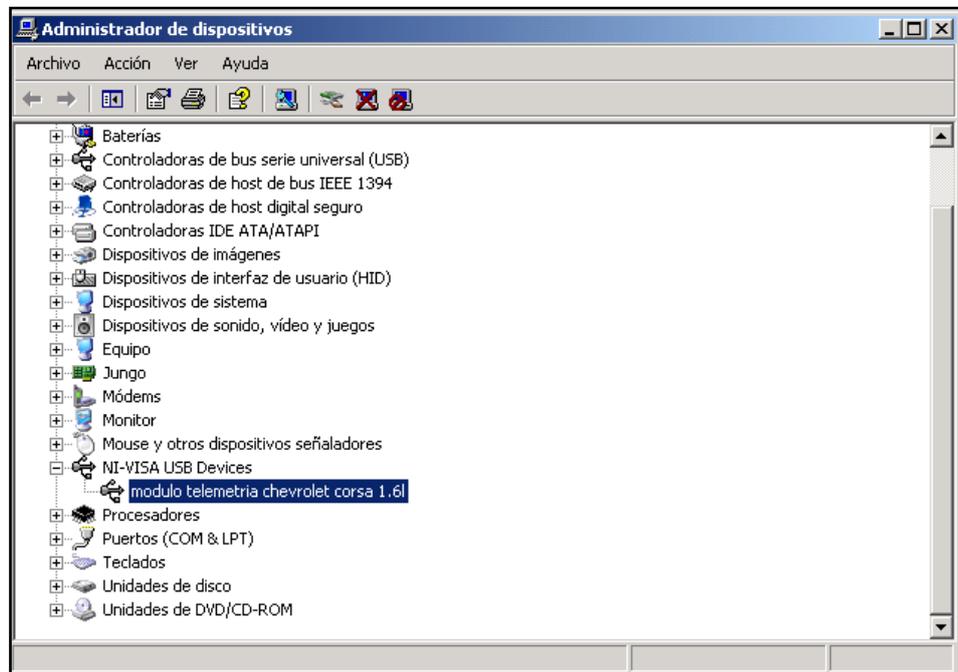


Figura 3.48: Ventana del administrador de dispositivos de Windows, donde se observa que el módulo de puenteo ZIGBEE – USB ha sido reconocido como un dispositivo de LabVIEW

11.3.5.2. Instrumento virtual en LabVIEW

El método usado es el NI-VISA USB RAW. Su característica principal radica en que NI-VISA provee el canal de comunicación pero el significado de los datos es específico a cada aplicación. El programa es de sencilla concepción y los bloques principales para manejar la comunicación USB son los de apertura, lectura y cierre de recurso VISA.

Cada cuadro de visualización discrimina el dato que le corresponde basándose en los señaladores de trama. Si en una trama recibida el señalizador es el mismo del cuadro, el dato que le precede es tomado hasta encontrar el fin de dato (representado por un LINE FEED).

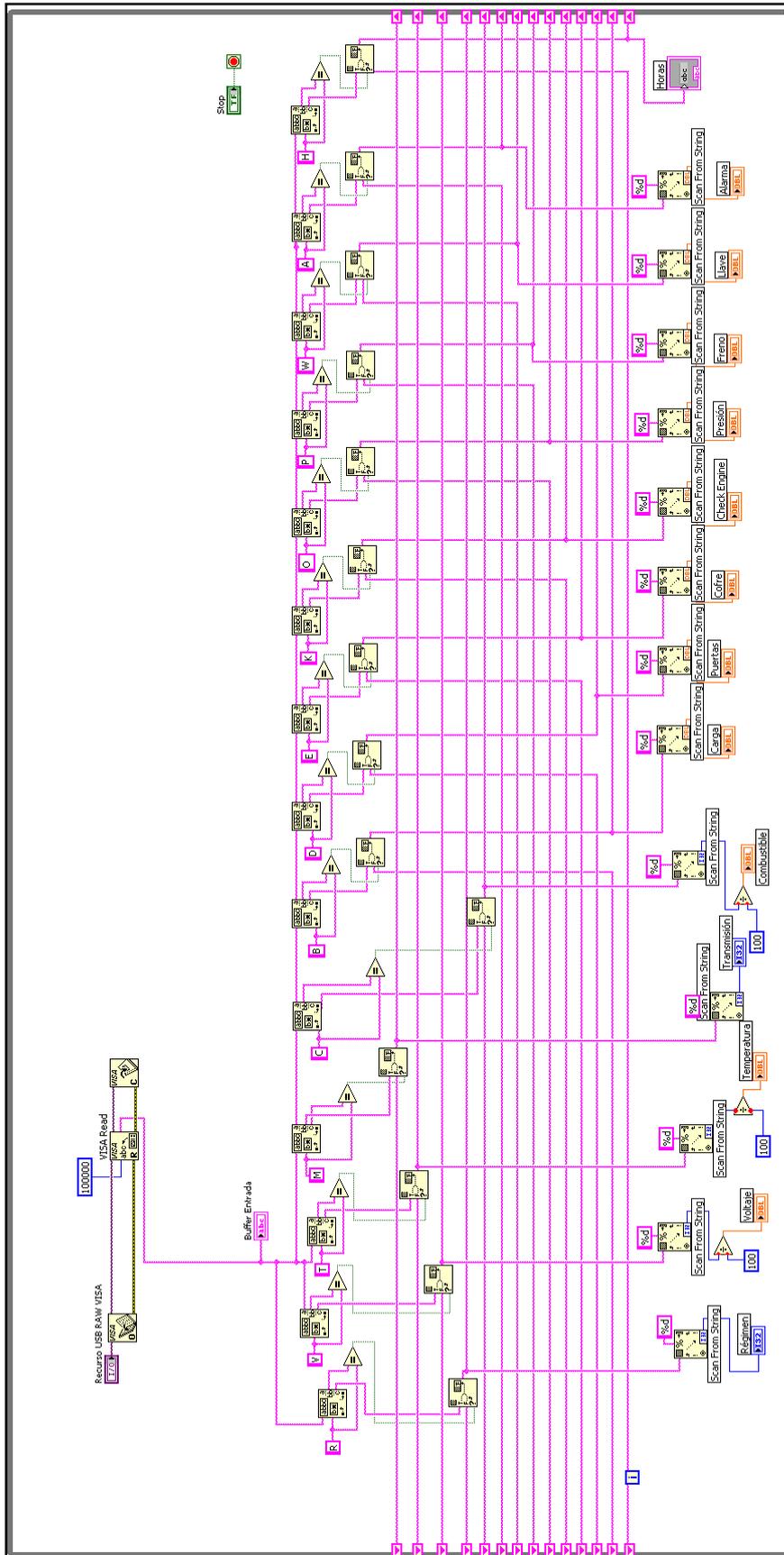


Figura 3.49: Diagrama de bloques del instrumento virtual para visualización remota de variables



Figura 3.50: Panel frontal del instrumento virtual para visualización remota de variables

11.3.6. CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS ZIGBEE

Se ha implementado una red PAN con los dos módulos ZIGBEE funcionando en configuración PEER TO PEER (punto a punto). Los parámetros básicos que permiten realizar lo indicado son los siguientes:

- Dirección propia de cada módulo.
- Dirección del otro dispositivo con que se conectará.
- Velocidad de transmisión.
- Canal.
- Nombre del dispositivo.
- PAN ID.

Para ello, los módulos se conectan al puerto COM1 (DB9) de una PC, mediante interfaz RS232 / TTL.

Los parámetros de configuración de los módulos se observan en la siguiente tabla:

Tabla III.8: Resumen de configuración de los módulos ZIGBEE

PARÁMETRO	MÓDULO 1	MÓDULO 2	DESCRIPCIÓN
MY	1001	1002	Dirección propia
DL	1002	1001	Dirección del otro dispositivo
BD	3	3	9600bps
CH	0x1A	0x1A	Freq=2.485Ghz
NI	ZIGBEE_USB	CORSA1600	Nombre propio
ID	2000	2000	Identificador de red (PAN ID)
PL	4	4	Máxima potencia (0dB)

Según la tabla anterior, la dirección MY del primer dispositivo es la dirección DL del otro, y viceversa. Esto indica que para esta configuración punto a punto, es necesario que las direcciones de los dispositivos remotos estén autenticadas.

Además, los dos dispositivos trabajan a la misma potencia (la máxima disponible), en el mismo canal, a similar velocidad de transmisión y obviamente con la misma identificación de PAN. Con estas configuraciones se asegura que la red sea privada, a pesar de que cualquier dispositivo ZIGBEE se encuentre en las cercanías.

La frecuencia central de trabajo de los dispositivos viene dada por:

$F_{central} = 2.405Ghz + (CH - 0x0B) * 5Mhz$	Ecuación 3.19: Cálculo de la frecuencia central de trabajo en los módulos XBEE
---	--

$$F_{central} = 2.405Ghz + (0x1A - 0x0B) * 5Mhz = 2.485Ghz$$

Las figuras 3.51 y 3.52, muestran las pantallas obtenidas en la configuración de los dos módulos XBEE.

```
+++
OK
ATRE
OK
ATMY 1001
OK
ATDL 1002
OK
ATDH 0
OK
ATBD 3
OK
ATCH 0X1A
OK
ATNI ZIGBEE_USB
OK
ATID 2000
OK
ATPL 4
OK
ATWR
OK
ATCN
OK_
```

0:06:01 conectado Autodetect. Detectar auton DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir

Figura 3.51: Pantalla de configuración del módulo ZIGBEE de la base

```
+++
OK
ATRE
OK
ATMY 1002
OK
ATDL 1001
OK
ATDH 0
OK
ATBD 3
OK
ATCH 0X1A
OK
ATNI CORSA1600
OK
ATID 2000
OK
ATPL 4
OK
ATWR
OK
ATCN
OK
```

0:00:23 conectado Autodetect. Detectar auton DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir

Figura 3.52: Pantalla de configuración del módulo ZIGBEE del terminal remoto

11.4.DISEÑO DE LAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO

El diseño de las placas se realizó cuidando que los circuitos de potencia estén lo suficientemente lejos de los microcontroladores. Además, dibujando los condensadores de desacople lo más cercano posible a los integrados. Todo esto para eliminar interferencias.

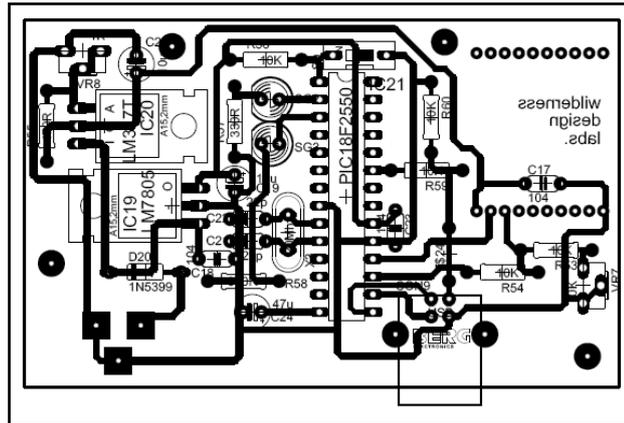


Figura 3.54: Ruteo de la placa de la estación base para conversión ZIGBEE – USB

CAPÍTULO IV

XII. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

La implementación del módulo en el automóvil se realizó procurando causar el menor impacto en su cableado.

Las conexiones de las entradas destinadas al sensado de los pilotos y de las señales analógicas, fueron realizadas directamente en el tablero de instrumentos.

Las señales de conmutación de las bobinas se conectaron en las salidas de la ECU destinadas para ello.

En lo que respecta al sensor de marchas, su mecanismo se colocó en el selector de la caja de cambios (todas las marchas) y en la palanca (sólo neutral).

12.1.MONTAJE FÍSICO DEL SISTEMA

Luego de fabricadas las placas impresas, se las colocó en cajas.



Figura 4.1: Placa terminada del módulo de encendido temporizado



Figura 4.2: Placa terminada del puente ZIGBEE – USB

La siguiente figura indica todos los componentes del sistema.

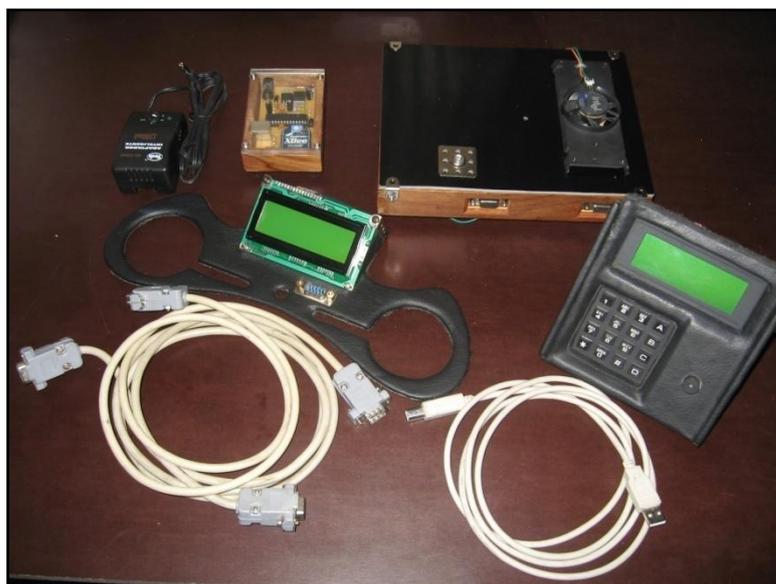


Figura 4.3: Módulos y cables de conexión

Primeramente se colocó el arreglo de interruptores para sensado de marchas en el vehículo. Esto se hizo en el selector de la caja de cambios.



Figura 4.4: Disposición del sensor de marchas

Posteriormente se ubicó el mueble que contiene el teclado y la LCD para configuración. El sitio escogido fue en la parte central inferior del salpicadero.



Figura 4.5: Teclado y LCD para configuración

La siguiente figura muestra la disposición de la LCD para visualización local, colocada frente al operador, sobre el tablero del vehículo.

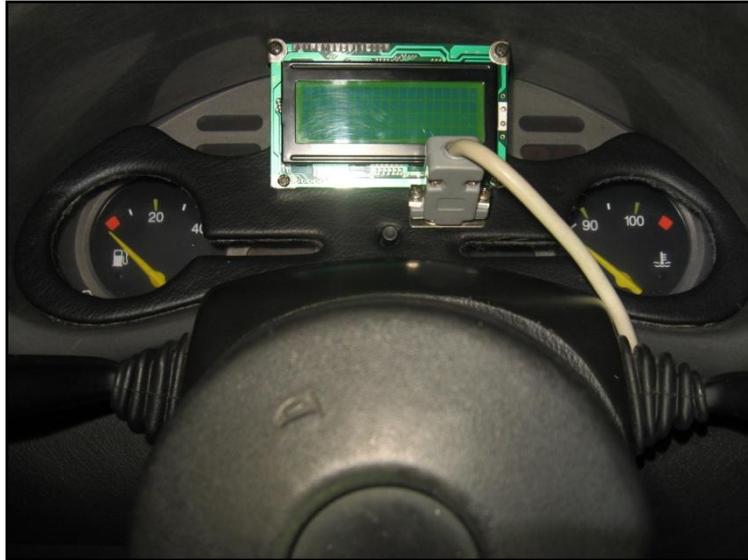


Figura 4.6: LCD para visualización local de variables

El módulo de encendido temporizado está situado en la guantera, sobre una base metálica fabricada para este propósito.

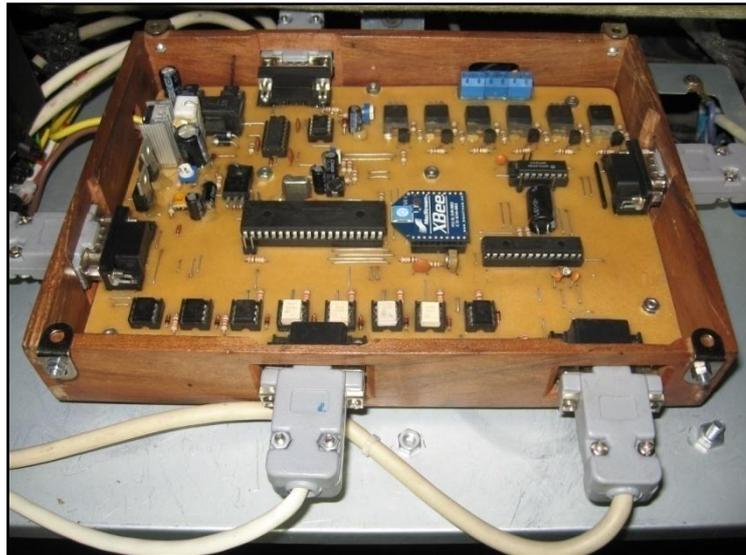


Figura 4.7: Disposición del módulo para encendido temporizado

12.2.PRUEBAS

A lo largo del desarrollo del proyecto, se realizaron múltiples pruebas tanto a nivel de firmware como de hardware; pruebas individuales y con todo el sistema

funcionando. Las pruebas individuales más importantes consistieron básicamente en lo siguiente:

- Verificación del adecuado funcionamiento de las interfaces utilizadas; así mismo la interacción de éstas con el microcontrolador de procesamiento.
- Verificación de comunicación entre el microcontrolador de procesamiento y el de configuración, así como también entre los microcontroladores y sus respectivas pantallas LCD.
- Verificación de la adecuada actualización de datos en la LCD de visualización local y en la interfaz de visualización remota.
- Pruebas con las diferentes tramas manejadas en la transmisión inalámbrica de datos.
- Adecuada recepción de datos por parte del software en la PC, observando la correcta manipulación de las tramas recibidas.
- Permanencia de las constantes de referencia cambiadas, una vez configuradas y retirada la alimentación del sistema.
- Veracidad en el reloj calendario, al discriminar febreros de 28 y 29 días, y meses de 30 y 31 días.

Después de superadas todas las pruebas individuales, se procedió con la verificación del funcionamiento de todo el sistema en conjunto, una vez instalado en el vehículo.

12.2.1. DETERMINACIÓN DE PRECISIÓN EN LA ADQUISICIÓN DE VARIABLES

El instrumento utilizado para comparar los valores adquiridos por el sistema, es un multímetro automotriz SNAP – ON BLUEPOINT MT586.

Las muestras se tomaron con el vehículo encendido para observar posibles fluctuaciones debidas a corrientes parásitas.

12.2.1.1. Voltaje

Se utilizó un potenciómetro para poder variar el voltaje desde la batería.

Tabla IV.1: Mediciones de voltaje en el automóvil

<i>MUESTRA</i>	<i>MEDICIÓN CON SNAP – ON MT586 (V)</i>	<i>MEDICIÓN EN EL SISTEMA DE ENCENDIDO TEMPORIZADO (V)</i>	<i>Error (%)</i>
1	10,07	10,1	-0,29791
2	10,62	10,6	0,188324
3	11,01	11,0	0,090827
4	11,52	11,5	0,173611
5	11,98	12,0	-0,16694
6	12,57	12,6	-0,23866
7	12,99	13,0	-0,07698
8	13,40	13,4	0
9	14,02	14,0	0,142653
10	14,37	14,4	-0,20877

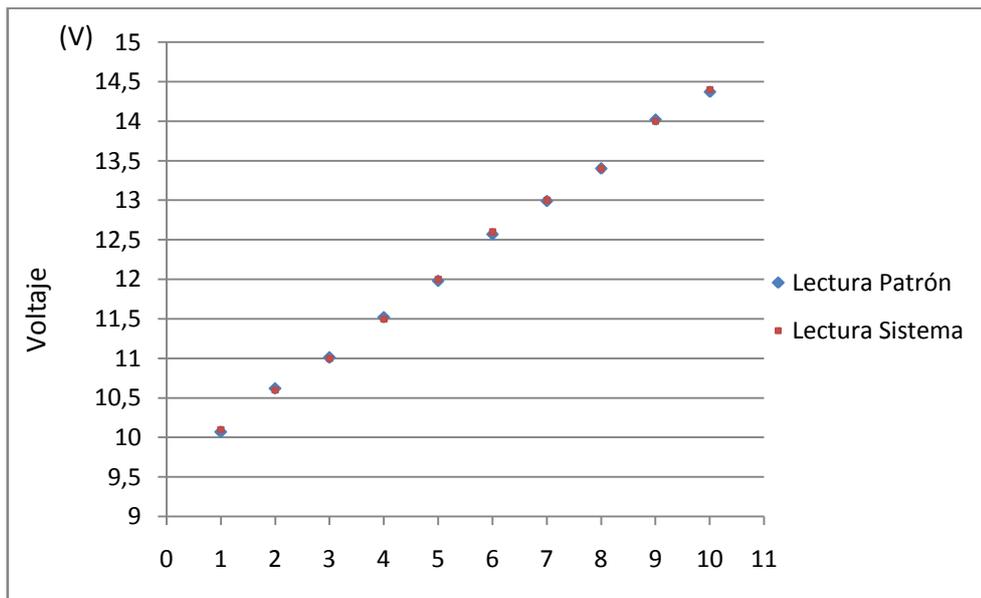


Figura 4.8: Diagrama de dispersión de mediciones de voltaje

12.2.1.2. Combustible

El muestreo se realizó adicionando medidas de combustible al tanque, que estuvo en inicio vacío.

Tabla IV.2: Mediciones de combustible en el automóvil

MUESTRA	Cantidad de combustible adicionada (L)	MEDICIÓN EN EL SISTEMA DE ENCENDIDO TEMPORIZADO (L)	Error (%)
1	7	7,4	-5,71429
2	10	10,1	-1
3	15	15,8	-5,33333
4	20	20,4	-2
5	25	25,2	-0,8
6	30	28,9	3,66667
7	35	34,4	1,714286
8	40	38,3	4,25
9	42	41,7	0,714286
10	44	46,2	-5

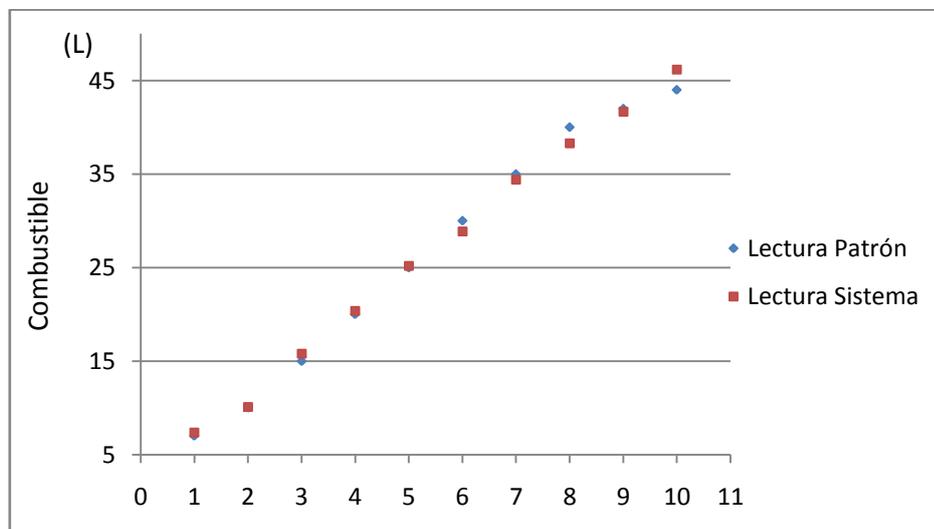


Figura 4.9: Diagrama de dispersión de mediciones de combustible

12.2.1.3. Temperatura

Tabla IV.3: Mediciones de temperatura en el automóvil

MUESTRA	MEDICIÓN CON SNAP – ON MT586 (°C)	MEDICIÓN EN EL SISTEMA DE ENCENDIDO TEMPORIZADO (°C)	Error (%)
1	50	49,4	1,2
2	56	55,7	0,535714
3	61	61,8	-1,31148
4	65	66,2	-1,84615
5	70	70,6	-0,85714
6	77	76,6	0,519481
7	81	80,1	1,111111
8	86	85,2	0,930233
9	90	90	0
10	95	95,7	-0,73684

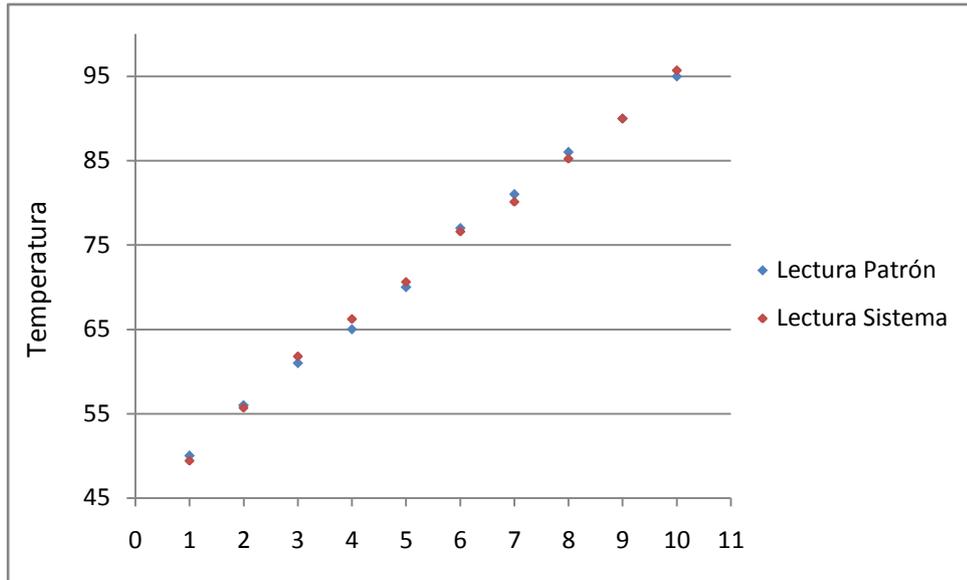


Figura 4.10: Diagrama de dispersión de mediciones de temperatura

12.2.1.4. Velocidad angular

Tabla IV.4: Mediciones de velocidad angular en el automóvil

MUESTRA	MEDICIÓN CON SNAP – ON MT586 (RPM)	MEDICIÓN EN EL SISTEMA DE ENCENDIDO TEMPORIZADO (RPM)	Error (%)
1	890	860	3,370787
2	1050	1020	2,857143
3	1520	1480	2,631579
4	2010	1960	2,487562
5	2480	2420	2,419355
6	2990	2930	2,006689
7	4010	3970	0,997506
8	5100	5050	0,980392
9	6050	6000	0,826446
10	6820	6770	0,733138

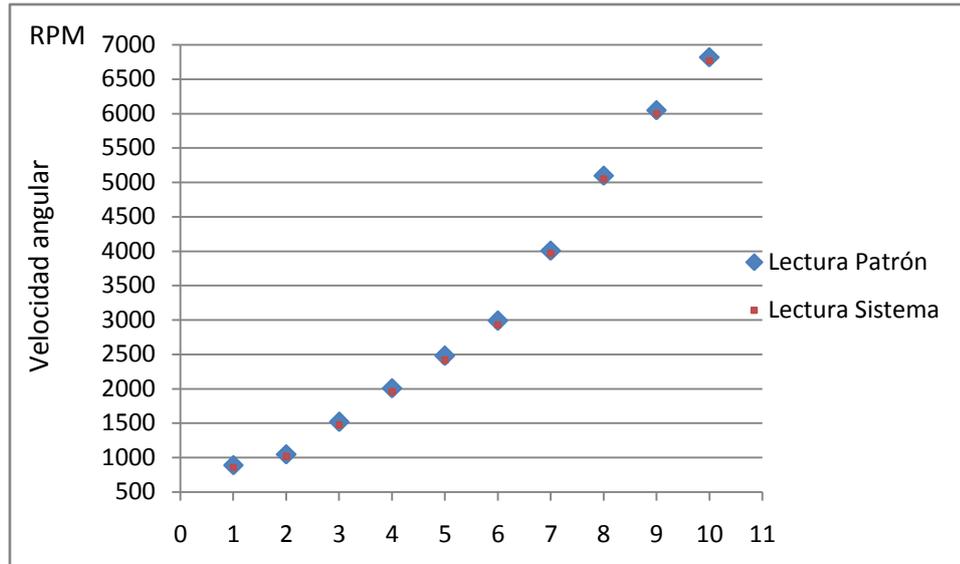


Figura 4.11: Diagrama de dispersión de mediciones de velocidad angular

12.2.2. DETERMINACIÓN DE PRECISIÓN DEL RELOJ EN TIEMPO REAL

Para esta medición se tomó como referencia el reloj de una PC HP Pavilion dv6000.

Se hicieron tres mediciones, cada una en un período de tiempo de 10 días. Luego de cada prueba, se modificó el valor cargado en el TIMER1, a fin de calibrar digitalmente el reloj.

Tabla IV.5: Mediciones de tiempo con el reloj

MUESTRA	VALOR CARGADO EN REGISTRO TIMER1	TIEMPO EN PC HP PAVILION DV6000 (Seg)	TIEMPO MEDIDO EN EL SISTEMA (Seg)	ERROR (%)
1	0x8000	10días=864000	863996	0,000463
2	0x7FFE	10días=864000	863998	0,000231
3	0x7FFF	10días=864000	864002	-0,00023

12.2.3. ARRANQUES TEMPORIZADOS SEGÚN ALARMA

12.2.3.1. Verificación de activación del sistema con los tres tipos de alarma

El propósito de esta prueba fue verificar que el reloj / alarma / calendario, implementado virtualmente en el microcontrolador de configuración, realice correctamente la función de alerta ante los tres tipos de alarma permitidos. La siguiente tabla resume los resultados obtenidos en las distintas pruebas.

Tabla IV.6: Pruebas de activación de alarmas

PRUEBA	HORA	FECHA	DÍAS	OBSERVACIONES
Ejecución de alarma tipo "una vez"	16H00	-	-	Resultado satisfactorio, el sistema puso contacto para verificar parámetros seguros.
Ejecución de alarma tipo "días"	17H00	10/09/09	-	Resultado satisfactorio, el sistema puso contacto para verificar parámetros seguros.
Ejecución de alarma tipo "fecha"	18H00	-	Lunes, miércoles, viernes	Resultado satisfactorio, los tres días el sistema puso contacto para verificar parámetros seguros.

12.2.3.2. Verificación de arranque con parámetros inseguros

Se comprobó si el sistema arranca el vehículo ante cualquier alarma configurada, sin existir condiciones seguras para el funcionamiento.

Tabla IV.7: Pruebas de arranque con parámetros inseguros

PRUEBA	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Apertura del cofre del motor	Alarma configurada, cofre del motor abierto	El sistema no arranca, quita contacto e indica mensaje "arranque fallido, finalización por cofre abierto"
Ausencia de posición neutral en palanca de cambios	Alarma configurada, palanca de cambios en 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, reversa	El sistema no arranca, quita contacto e indica mensaje "arranque fallido, finalización por no neutral"
Desactivación de freno de mano	Alarma configurada, freno de mano desactivado	El sistema no arranca, quita contacto e indica mensaje "arranque fallido, finalización por no freno de mano"
Combustible mínimo	Alarma configurada, combustible medido menor al configurado	El sistema no arranca, quita contacto e indica mensaje "arranque fallido, finalización por combustible mínimo"
Voltaje mínimo de la batería	Alarma configurada, voltaje medido menor al configurado	El sistema no arranca, quita contacto e indica mensaje "arranque fallido, finalización por batería descargada"

Además se retiró el conector que une a la ECU con el sensor CKP. Con esto se logró que el módulo de encendido temporizado observe condiciones seguras para el arranque, pero el motor no encienda debido a la falta de señal del sensor.

El resultado de esta última prueba fue que el sistema arrancó 3 veces con la duración de pulso de arranque configurada. Luego, quitó el contacto e indicó el mensaje "arranque fallido, finalización por intentos excesivos".

12.2.3.3. Verificación de apagado ante parámetros inseguros o finalización de tiempo

Esta prueba sirvió para comprobar la respuesta del microcontrolador de procesamiento, ante parámetros no seguros de funcionamiento.

Las pruebas se realizaron variando una a una las constantes de referencia, mientras el sistema permanecía encendido. Los resultados se observan en la tabla.

Tabla IV.8: Pruebas de apagado ante parámetros inseguros

PARÁMETRO OBSERVADO	VALOR CONFIGURADO	VALOR MEDIDO	RESULTADO
Temperatura máxima del refrigerante	70°C	70.1°C	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por temperatura alcanzada"
Combustible mínimo	10L	9.8L	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por combustible mínimo"
Voltaje mínimo de la batería	13V	12.9V	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por batería descargada"
Aceleración mínima	900rpm	850rpm	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por ralentí bajo"
Aceleración máxima	1200rpm	1250rpm	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por ralentí alto"
Tiempo de encendido durante alarma	05min00seg	05min00seg	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por fin de tiempo"
Período de mantenimiento	20horas	20horas	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por mantenimiento"

Posteriormente se realizaron pruebas forzando condiciones a las que el sistema de encendido temporizado considera inseguras. La tabla indica lo expuesto.

Tabla IV.9: Pruebas de apagado ante condiciones inseguras

PRUEBA	DISPOSICIÓN SEGURA INICIAL	DISPOSICIÓN FORZADA	OBSERVACIONES
Apertura del cofre del motor	Cofre cerrado	Cofre abierto	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por cofre abierto"
Ausencia de posición neutral en palanca de cambios	Neutral	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, reversa	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por no neutral"
Desactivación del freno de mano	Freno activado	Freno desactivado	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por no freno de mano"
Inserción de la llave	Llave no insertada en el arnés	Llave colocada en posición ON	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por llave insertada"
Activación de luz piloto de carga deficiente, en el tablero	Piloto apagado	Piloto encendido	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por carga deficiente"
Activación de luz piloto de presión de aceite deficiente, en el tablero	Piloto apagado	Piloto encendido	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por presión aceite baja"
Activación de luz piloto CHECK ENGINE, en el tablero	Piloto apagado	Piloto encendido	El módulo apaga el vehículo e indica mensaje "arranque exitoso, finalización por "inspección"

12.3. DESEMPEÑO GENERAL DEL SISTEMA

De las anteriores pruebas se puede resaltar que todas las mediciones arrojaron valores muy satisfactorios, en relación a los patrones utilizados. En la siguiente tabla se muestra el error máximo obtenido con cada una de las variables medidas.

Tabla IV.10: Error máximo de cada prueba ejecutada

VARIABLE MEDIDA	ERROR MÁXIMO (%)
Voltaje	-0,20877
Combustible	-5,71429
Temperatura	-1,84615
Velocidad angular	3,370787
Base de tiempo	0,000231

La inserción de error en la medición de voltaje, se debe únicamente a la aproximación a una cifra decimal que realiza el algoritmo. Con respecto a los errores presentados en las mediciones de combustible y temperatura, se

justifican ya que el programa de adquisición utiliza un modelo de tendencia, más no una ecuación perfectamente compatible con la variable.

En lo referente al tiempo, luego de la calibración y debido a la baja calidad del oscilador implementado, el sistema tiene un error de 2 segundos cada 10 días. Esto proyecta un atraso de 73 segundos por año (1 minuto y 13 segundos). Es importante resaltar que como es conocido, un aumento en la temperatura ambiente causa que cualquier oscilador incremente su frecuencia, y viceversa. Por lo tanto, esta proyección es relativa a la temperatura ambiente.

Por otro lado, las pruebas de funcionamiento del sistema completo en el vehículo, indican que el dispositivo es seguro. Por lo tanto, su implementación sobre motores móviles y estacionarios es recomendable.

12.4.PRESUPUESTO

El presupuesto describe los costos de los elementos del módulo. No se detallan los costos del software debido a que se utilizaron versiones de demostración. Además, las herramientas fueron suministradas por el laboratorio.

Tabla IV.11: Costo de componentes electrónicos del módulo para encendido temporizado

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>VALOR UNITARIO</i>	<i>VALOR TOTAL</i>
Microcontrolador PIC18F4550	1	8.50	8.50
Microcontrolador PIC18F2550	2	8.00	16.00
Regulador de voltaje LM7805	2	0.50	1.00
Regulador de voltaje LM317T	3	0.50	1.50
Codificador de prioridad 74LS148	1	0.50	0.50
Compuerta nand Schmitt trigger CD4093	1	0.50	0.50
Optoacoplador 4N25	10	0.60	6.00
Conector DB9 acodado	4	0.50	2.00
Conector DB15 acodado	1	0.70	0.70
Conector DB9 con case	6	0.60	3.60
Conector DB15 con case	3	0.80	2.40
Conector USB tipo B	1	0.80	0.80
Conector DC	1	0.30	0.30
Zócalo PDIP	18	0.20	3.60
Módulo ZIGBEE XBEE PRO	2	40	80
Módulo LCD 20x4 con BACKLIGHT	2	22.00	44.00
Teclado hexadecimal con teclas plásticas	1	6.00	6.00
Adaptador inteligente DC 7.5V	1	7.00	7.00
MOSFET canal P IRF9530	6	1.50	9.00
Darlington NPN D2025	2	0.60	1.20
Transistor 2N3904	6	0.10	0.60
Cristal 10Mhz	1	5.60	5.60
Cristal 20Mhz	1	0.60	0.60
Cristal 32.768Khz	1	0.80	0.80
Cable USB	1	1.20	1.20
Cable UTP cat. 5e (1m)	6	0.30	1.80
Cables varios	1	3.00	3.00
Trimmer 1K	5	0.30	1.50
Placa de baquelita A4	1	2.50	2.50
Elementos de soldadura	1	5.00	5.00
Elementos varios (resistencias, capacitores y leds)	1	6.00	6.00
Caja de base de puenteo ZIGBEE - USB	1	5.00	5.00
Caja de módulo de encendido temporizado	1	10.00	10.00
Caja de LCD de configuración	1	15.00	15.00
Caja de LCD de visualización local	1	15.00	15.00
TOTAL (USD)			268.20

12.5. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

Un proyecto de las mismas características que el presente, tiene un costo de implementación que fluctúa entre 1800 y 2000 dólares. Si se utilizan versiones de

demostración en lo referente al software, se tendría gran utilidad en su ejecución.

El dispositivo está en plena capacidad de ser competitivo con sistemas profesionales, debido a la cantidad de servicios que presta con hardware reducido. Además, su naturaleza programable lo hace versátil ante distintas características de los motores.

Se concluye que el sistema tiene bajo costo en relación de su gran desempeño.

XIII. CONCLUSIONES

- El módulo electrónico realizado se constituye como un sistema de monitoreo de motores de combustión interna. Su apertura a configuración de constantes de referencia, permite que se realicen los procedimientos generales para arranque, calentamiento y sustento en ralentí de cualquier motor.
- Los elementos electrónicos que forman parte del sistema son dispositivos vigentes y de gama mejorada, características que incrementaron la respuesta eficiente del módulo pero provocaron su encarecimiento.
- El sistema cumple con creces los requerimientos planteados en su concepción: impacto exiguo de implementación, alta velocidad de procesamiento, indemnidad a condiciones de trabajo en los motores (ruido, temperatura, vibración), versatilidad y precisión de las variables adquiridas.
- El desarrollo eficiente de este mecanismo se debió en gran parte a las herramientas de programación utilizadas. El compilador CCS es un instrumento profesional altamente competente, mientras que LabVIEW permite realizar aplicaciones realmente complejas de nivel industrial. Además, EAGLE facilita en gran proporción el diseño de esquemáticos y PCBs.
- Los resultados emitidos en las pruebas de funcionamiento indicaron que el módulo para el encendido temporizado de motores de combustión interna, es un sistema confiable, barato y versátil.
- La realización de un manual de usuario permitió dejar disponible una herramienta útil para facilitar la familiarización del operador con el sistema.

XIV. RECOMENDACIONES

- Se deberían anexar a la malla curricular, materias referentes a diseño autotrónico. De esta manera, aplicaciones como la presente no se realizarían en trabajos de tesis, sino que serían parte del conocimiento general del alumno de Ingeniería Automotriz.
- Las interfaces y las rutinas de programación detalladas a lo largo de este escrito, podrían servir para realizar sistemas más complejos de instrumentación electrónica en el automóvil.
- Se recomienda el uso del presente trabajo escrito, como punto de partida para la realización de sistemas enmarcados en la telemetría y el telecontrol.

XV. BIBLIOGRAFÍA

- AXELSON Jan, *USB Complete: Everything You Need to Develop Custom USB Peripherals*, Third Edition, Lakeview Research LLC, Madison WI 53704 – USA, 2006.
- IBRAHIM Dogan, *Advanced PIC Microcontroller Projects in C*, Elsevier, Burlington MA 01803 – USA, 2008.
- IBRAHIM Dogan, *Microcontroller Based Applied Digital Control*, John Wiley & Sons, England, 2006.
- BATES Martin, *Interfacing PIC Microcontrollers: Embedded Design by Interactive Simulation*, Elsevier, Burlington MA 01803 – USA, 2006.
- JOHNSON David, *Análisis Básico de Circuitos Eléctricos*, Quinta Edición, Prentice, 1995.
- MUHAMMAD Rashid, *Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*, Tercera Edición, Pearson Educación, México, 2004.
- MALVINO Albert Paul, *Principios de Electrónica*, Sexta Edición, McGraw – Hill, España, 2002.
- LAJARA VIZCAÍNO José Rafael, *LabVIEW: Entorno Gráfico de Programación*, Alfaomega – Marcombo, Barcelona – España, 2007.
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC, *Embedded Control Handbook*, Microchip Technology Inc, Arizona – USA, 1997.
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC, *PIC18F2455/2550/4455/4550 Datasheet*, Microchip Technology Inc, Arizona – USA, 2007.

- RAMOS RAMOS Guillermo, Electrónica *Digital y Circuitos Integrados*, CEKIT Compañía Editorial Tecnológica, Pereira – Colombia, 2000.
- VARIOS, *Mantenimiento y Reparación de Automóviles*, MIR, Moscú – Rusia, 1995.
- VARIOS, *Electricidad del Automóvil: Encendido y Accesorios*, CEAC, España, 1999.

XVI. ANEXOS

**ANEXO A. MANUAL DE USUARIO DEL MÓDULO PARA
ENCENDIDO TEMPORIZADO DE MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA**

MANUAL DE USUARIO DEL MÓDULO PARA ENCENDIDO TEMPORIZADO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

INFORMACIÓN GENERAL

El sistema para encendido temporizado de motores de combustión interna está diseñado para realizar las siguientes tareas:

- Monitorea digitalmente las variables de funcionamiento tales como voltaje de la batería, temperatura de régimen, cantidad de combustible, revoluciones del motor, posición de la palanca de cambios, luces indicadoras del sistema de gestión del vehículo, entre otros. Para ello hace uso de su pantalla LCD en la que se verifica el resultado de la adquisición de datos.
- Monitorea remotamente las variables del motor mediante la implementación de un sistema SCADA. El módulo ubicado en el vehículo se comunica inalámbricamente con la base conectada a una PC. Una interfaz gráfica en este computador permite observar en tiempo real el funcionamiento del motor.
- Maneja un horómetro para mantenimiento. Este reloj se incrementa siempre que el motor esté encendido. Está concebido para tratar eficazmente los períodos de mantenimiento.
- Enciende el motor en forma autónoma (sin asistencia de operador alguno), ante la ejecución de alarmas programadas por el usuario en su reloj interno. El operador puede configurar hora y / o fecha para el advenimiento de alarmas. Para ello el módulo compara las variables de funcionamiento, con constantes preconfiguradas. Ante parámetros inseguros en el arranque o mantenimiento en ralentí, el dispositivo apaga de emergencia al motor.
- Bloquea el encendido del motor convirtiéndose en un dispositivo anti – atraco. Para desbloquear el encendido se debe usar una clave de seis dígitos.

MODOS DE OPERACIÓN

El dispositivo tiene dos modos básicos de operación:

1. Modo monitor

El sistema se comporta como un tablero digital, permitiendo visualizar local y remotamente, el valor de las variables medidas en el vehículo. Posee tres funciones adicionales:

- **Paro obligatorio:** Se activa automáticamente cada vez que el motor se encuentra a velocidad de ralentí, con la palanca de cambios en neutral y con el freno de mano activado. Una vez cumplidos estos tres requisitos, el dispositivo apaga el motor en la finalización de cierto temporizador.
- **Retardo de paro:** Cada vez que el usuario desea apagar el motor quitando la llave del arnés de encendido, el dispositivo verifica el historial de revoluciones de los últimos 10 segundos. Si se determina que el motor estuvo en alta revolución, se activa un temporizador que mantiene la máquina encendida durante un tiempo determinado. Con la finalización del temporizador, el motor se apaga.
- **Pre calentamiento:** Cuando el operador coloca contacto en el vehículo, el sistema verifica si la temperatura del motor es menor a 15°C. De suscitarse esto, activa un temporizador con el que se sugiere al usuario, esperar hasta que las bujías de pre calentamiento incrementen la temperatura de la cámara de combustión.

2. Modo temporizador

Ante el suceso de una alarma configurada, el sistema enciende al motor autónomamente. En el proceso de arranque verifica parámetros seguros para el funcionamiento, entre los que destacan la posición de la palanca de cambios

en neutral, la activación del freno de mano, el voltaje suficiente en las baterías y una cantidad aceptable de combustible. Si cualquiera de ellos indica valores no permitidos, el módulo aborta el arranque e indica un código de falla.

Una vez encendido, además de las medidas anteriores, se comprueba los monitores lógicos de gestión, la vigencia del horómetro, el correcto régimen y la validez del temporizador de encendido.

El motor se apagará cuando se termine el temporizador de encendido o cuando se genere una alarma que indique funcionamiento inseguro.

PRECAUCIONES

- Procure no olvidar la clave de bloqueo del dispositivo. De suscitarse, consulte con el fabricante para solventar el problema.
- No configure las constantes de comparación para el funcionamiento del motor. Este ajuste se debe realizar solamente por personal especializado.
- Desactive el encendido temporizado cuando el vehículo se encuentre en lugares sin ventilación adecuada. Los gases de desecho de cualquier motor de combustión son tóxicos y pueden ocasionar la muerte.
- Ante mantenimiento, desconecte la batería para evitar un eventual encendido del motor y posibles accidentes.
- Cada vez que apague el motor, mantenga la costumbre de activar el freno de mano y colocar la palanca de cambios en neutral.

**ANEXO B. PROCEDIMIENTO GENERAL DE ARRANQUE
DE MOTORES GASOLINA**

PROCEDIMIENTO GENERAL DE ARRANQUE DE MOTORES GASOLINA

El siguiente proceso detalla cómo arrancar un motor gasolina:

1. Aplique el freno de estacionamiento o verifique si está activado.
2. Introduzca la llave en el interruptor de la llave de ignición.
3. Desactive (o apague) cualquier carga eléctrica que pueda estar encendida: receptor de radio, luces, ventilador de calefacción, aire acondicionado, limpiaparabrisas. Así, se asegurará que la batería trabaje con toda su carga para el motor de arranque.
4. Coloque la palanca de cambios en la posición neutral (neutro).
5. Pise el pedal de embrague para disminuir la resistencia suministrada por la transmisión y aligerar el esfuerzo del motor de arranque y la batería.
6. Si el motor está frío y su alimentación se hace por carburador, active el mecanismo de choke antes de arrancar. Los sistemas de inyección electrónica detectan un motor con temperatura baja y activan el inyector de arranque en frío ó abren un conducto bypass de aire en la admisión Así, entregan mayor cantidad de combustible y aseguran un funcionamiento estable con el motor frío o en condiciones ambientales frías.
7. Gire el interruptor de ignición a la posición ON (encendido). Verifique que todas las luces indicadoras del panel de control estén excitadas.
8. Gire el interruptor de ignición a la posición START (arranque) para conectar el arrancador. Encienda el motor hasta que arranque. Si el motor no enciende dentro de los siguientes 10 segundos, retire la llave.
9. Cuando haya arrancado el motor, observe el manómetro de aceite (si lo tiene), o espere a que el piloto de presión de aceite se apague. Si no lo hace durante los siguientes 5 segundos después de arrancar el motor, deténgalo. No vuelva a arrancarlo hasta que haya encontrado el problema.

Siga las siguientes instrucciones para no dañar el motor o sus componentes en el proceso de arranque:

- No conecte el motor de arranque durante más de 10 segundos a la vez.

- Espere 30 segundos para dar un nuevo arranque y no insista si el motor no enciende después de algunas tentativas.
- No ponga a funcionar el motor de arranque cuando el motor está encendido. Los engranajes del volante y arrancador chocarán o se trabarán, ocasionándose daños en ellos.

**ANEXO C. PROCEDIMIENTO GENERAL DE ARRANQUE
DE MOTORES DIESEL**

PROCEDIMIENTO GENERAL DE ARRANQUE DE MOTORES DIESEL

Para arrancar un motor diesel se sigue generalmente el siguiente proceso:

1. Aplique los frenos de estacionamiento.
2. Introduzca la llave en el interruptor de la llave de ignición.
3. Desactive (o apague) los siguientes sistemas antes de arrancar el motor: el freno de escape, el eje trasero de dos velocidades (póngalo en baja, si lo tiene), el calefactor del bloque (si está equipado).
4. Desenganche la transmisión: coloque la palanca de cambios en la posición neutral (neutro).
5. Desconecte (oprime) el embrague (en transmisiones manuales).
6. Gire el interruptor de ignición a la posición ON (encendido). En temperaturas normales, no es necesario aplicar el acelerador. Si el motor tiene la luz indicadora "WAIT TO START" (espere para arrancar) y ésta se encuentra activa, aguarde hasta que se apague (aproximadamente 60 segundos) antes de tratar de arrancar el motor. Los ciclos para el calentamiento de cada máquina a diferentes temperaturas ambientales variarán.
7. Gire el interruptor de ignición a la posición START (arranque) para conectar el motor de arranque. Encienda el motor hasta que arranque. Si el motor no enciende dentro de los siguientes 30 segundos, retire la llave.
8. Cuando haya arrancado el motor, observe el manómetro de aceite. La presión de aceite debe aumentar dentro de los siguientes 5 a 15 segundos después de arrancar el motor. Si la presión de aceite no aumenta, detenga el motor. No vuelva a arrancarlo hasta que haya encontrado el problema. En la mayoría de motores diesel la presión de aceite en ralentí debe ser de aproximadamente 15psi.
9. Incremente lentamente la velocidad del motor para proporcionar lubricación adecuada a los cojinetes y para permitir que la presión de aceite se estabilice.

Es recomendable seguir estas instrucciones para no dañar el motor o sus componentes en el proceso de arranque:

- No conecte el motor de arranque durante más de 30 segundos a la vez.
- Espere 2 minutos entre cada intento de arrancar el motor. Esto permitirá que el motor de arranque se enfríe y dará tiempo para que las baterías recuperen la potencia.
- Si el motor no arranca después de un par de intentos, podría haber una falla en el motor o en el sistema correspondiente. Haga los ajustes necesarios antes de intentar arrancar de nuevo la máquina (algunos motores de arranque están equipados con protección contra sobrearranques).
- No ponga a funcionar el motor de arranque cuando el motor está encendido. Los engranajes del volante y arrancador chocarán o se trabarán, ocasionándose graves daños en ellos.
- Espere hasta que se registre la presión de aceite del motor en el manómetro antes de dejar funcionando en ralentí o acelerar al motor a más de 400 rpm por encima de la velocidad de ralentí.
- Tenga en cuenta que la operación continua con una baja temperatura de refrigerante, por debajo de 60°C, o con una alta temperatura de refrigerante, arriba de los 100°C, puede dañar el motor.

**ANEXO D. CALENTAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO A
RALENTÍ EN MOTORES GASOLINA**

CALENTAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO A RALENTÍ EN MOTORES GASOLINA

Algunas recomendaciones son las siguientes:

- El motor debe alcanzar la temperatura normal de funcionamiento con el vehículo en movimiento y no parado en ralentí. No aplique plena carga mientras el motor no ha alcanzado la temperatura normal de operación.
- Cuando el trayecto que se va a recorrer fuese corto, caliente antes el motor hasta que la aguja indicadora de temperatura, alcance la marca de temperatura normal de operación. Estas precauciones evitan la dilución del aceite lubricante y la formación de depósitos de goma que perjudican la lubricación y reducen la vida útil del motor.
- No deje funcionando solo al motor por mucho tiempo. En caso de sobrecalentamiento, el usuario no será alertado por el indicador de temperatura para tomar los cuidados necesarios.
- Desconecte si fuese posible, los dispositivos que consumen mucha carga de la batería: calefactor, acondicionador de aire, accesorios, etc. cuando el motor va a estar por mucho tiempo en ralentí.

**ANEXO E. CALENTAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO A
RALENTÍ EN MOTORES DIESEL**

CALENTAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO A RALENTÍ EN MOTORES DIESEL

El propósito de calentar el motor es permitir que se haga una película de aceite entre los pistones, ejes y cojinetes mientras éste alcanza gradualmente la temperatura de funcionamiento.

El proceso de calentamiento es el siguiente:

1. Cuando haya arrancado el motor, póngalo a funcionar aproximadamente a 100 rpm más de la velocidad de ralentí mientras revisa los sistemas vitales del motor: presión de aceite, presión de aire, salida del alternador.
2. Antes de poner una carga al motor, continúe el calentamiento de 300 a 400 rpm más que la velocidad de ralentí, de 3 a 5 minutos. Cuando esté arrancando un motor frío, aumente la velocidad del motor lentamente para asegurarse de que están lubricando correctamente los cojinetes y para permitir que la presión de aceite se estabilice. Es de vital importancia calentar bien los motores turbocargados para evitar que los conductos externos de aceite que van hacia el turbo, retrasen el flujo de lubricante, haciendo que el engrase en los cojinetes del turbocargador sea menor.
3. Continúe calentando el motor hasta que la temperatura del refrigerante alcance por lo menos los 50°C. A esta temperatura, puede utilizar una aceleración parcial (más de 400 rpm sobre la velocidad de ralentí). Espere a que el refrigerante esté por lo menos a 70°C antes de ponerlo a funcionar a máxima carga.
4. En la mayoría de casos, el funcionamiento del motor a ralentí por períodos largos de tiempo simplemente hace que se desperdicie combustible. No permita que el motor gire a rpm bajas (400 a 600 rpm), durante más de 5 minutos. El funcionamiento a ralentí por períodos largos de tiempo cuando el motor ya ha alcanzado la temperatura de funcionamiento, podría disminuir la temperatura del motor y ocasionar que los anillos del pistón se peguen, los inyectores se obstruyan y posiblemente que se dañe el motor por falta de lubricación.

ANEXO F. ARTÍCULO PARA REVISTA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL ENCENDIDO TEMPORIZADO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

La operación y el mantenimiento de MCIs, precisan complejidad aceptable y garantizan vida útil extendida. Dentro de su manipulación, existen dos ítems importantes: el procedimiento de arranque y el procedimiento de calentamiento y sustento en ralentí.

Con el transcurrir del tiempo, la fusión existente entre la electrónica de aplicación y la ingeniería automotriz, se ha vuelto más compacta. Por ello, existen innumerables aplicaciones conjuntas que día a día mejoran el desempeño de los motores térmicos.

La presente aplicación teórico – práctica, detalla el diseño y pruebas de la aplicación autotrónica para el encendido temporizado de motores de combustión interna.

APROXIMACIÓN

El dispositivo se concibe básicamente como un sistema digital de monitoreo, empleado en la verificación de parámetros seguros de funcionamiento en motores térmicos. Posee además dos mecanismos de control: el primero, útil en el proceso de arranque del motor (con control de lazo abierto), y el segundo, usado como unidad de apagado inmediato ante presencia de parámetros no seguros (apagado de emergencia).

Sus funciones primitivas consisten en:

- Sensar de manera precisa las variables implicadas en el funcionamiento seguro del motor.
- Visualizar localmente y en tiempo real el valor de las variables sensadas.

- Transmitir inalámbricamente los datos medidos hacia una base de monitoreo remoto con interfaz gráfica.
- Calibrar las constantes de referencia mediante una interfaz amigable con el usuario.
- Manejar un reloj en tiempo real con alarma, para despertar en momentos determinados.
- Proveer la alimentación de corriente al sistema de encendido (contacto).
- Manejar el motor de arranque del MCI.

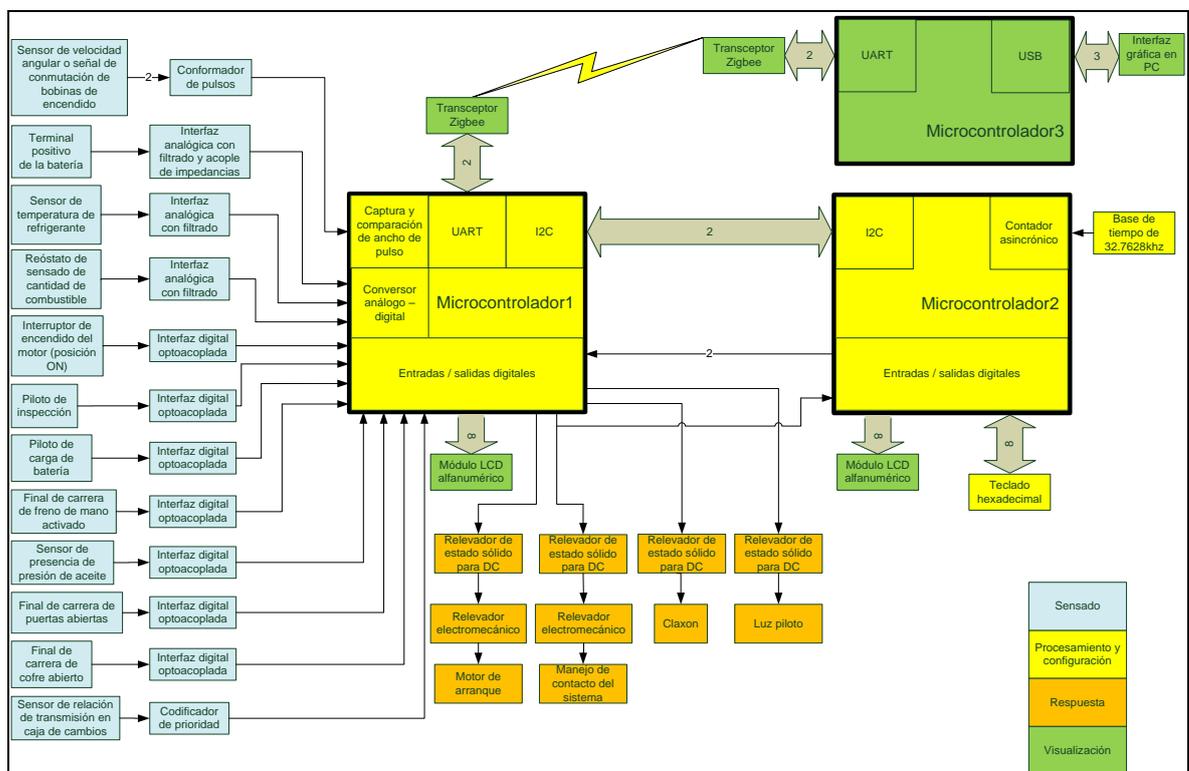


Figura 1: Diagrama de bloques del módulo para encendido temporizado de motores

En el diagrama a bloques de la figura 1 se observan los subsistemas de sensado, procesamiento y configuración, visualización, y respuesta.

En base a estas herramientas, las dos funciones derivadas del sistema son:

- Constituirse en una central electrónica de monitoreo de los motores de combustión interna, que permite al usuario verificar en tiempo real, local y

remotamente, el valor de las variables implicadas en el funcionamiento seguro del motor.

- Permitir que los motores se enciendan en hora y fecha determinadas, de manera autónoma (sin asistencia del usuario), para realizar rutinas de calentamiento y funcionamiento en ralentí.

Subsistema de sensado

Las señales continuas útiles en la gestión básica del motor son la temperatura de funcionamiento, cantidad de combustible y voltaje en el acumulador. Su velocidad de muestreo no es crítica, característica que permite mayor flexibilidad y oportunidad de dar prioridad a otros procesos, sobre las pertinentes conversiones análogo – digitales.

La interferencia electromagnética y el ruido blanco están presentes en la mayoría de motores térmicos y en especial los encendidos por chispa. Se implementa filtros *pasabajo* pasivos que atenúan componentes altas de frecuencia, adheridas a las señales continuas muestreadas.

La velocidad angular en los motores diesel normalmente puede provenir de sensores de efecto hall o reluctancia variable. Los primeros emiten señales discretas unipolares de amplitud 5 ó 12V, y los otros, señales continuas (sinusoidales) de frecuencia media (8Khz para un reluctor de 60 dientes, en un motor que gira a un máximo de 8000rpms). Además, en los motores gasolina, la velocidad angular también puede ser tomada desde la señal de conmutación de la (s) bobina (s) de encendido.

En base al criterio anterior, el sistema posee una interfaz que puede mitigar eficientemente picos de voltaje inducidos en el circuito primario de las bobinas de encendido. Además realiza la conformación de pulsos al transformar señales sinusoidales e impulsos, en señales digitales de amplitud 5V. Conjuntamente, posee alta impedancia de entrada y filtros pasabanda pasivos que eliminan

componentes altas de frecuencia, inducidas por la conmutación de las bobinas Tesla.

Por último, las señales lógicas corresponden a la activación del freno de estacionamiento, existencia de presión de lubricante, funcionamiento del sistema de carga de la batería, presencia de fallos en el motor, apertura de puertas, apertura del cofre del motor y posición de la llave en el arnés de encendido. Todas ellas se verifican mediante optoacopladores que transforman señales de 0 ó 12V no regulados, en sus correspondientes niveles TTL, con la ventaja de aislar eléctricamente los dos tipos de señales.

Subsistema de procesamiento y configuración

Aquí, dos microcontroladores realizan funciones concretas y diferenciadas. Utilizan comunicación I²C para compartir variables necesarias en el funcionamiento del sistema.

Función de procesamiento

El primer controlador, base fundamental del mecanismo, digitaliza toda la información proveniente del motor y del vehículo, la compara con constantes previamente calibradas por el usuario, y toma decisiones en función del flujo determinado en su programa. Posee el hardware y firmware necesarios para realizar las siguientes funciones:

- Transformar las variables análogas en digitales, con alta resolución y error mínimo.
- Medir la frecuencia de señales pulsantes por el método de ancho de pulso.
- Convertir los valores numéricos en caracteres ASCII, para enviarlos a al subsistema de visualización.
- Recibir las variables de configuración desde el segundo controlador por medio de I²C.

- Medir el tiempo de funcionamiento del motor.
- Manejar el circuito de arranque, suministro de corriente al motor, claxon y luz piloto, dependiendo del resultado que proporcione su procesamiento.

Función de configuración

Aquí, el segundo microcontrolador se convierte en el eslabón que permite al usuario configurar parámetros de seguridad, hora del sistema y momento de la alarma. Entre sus funciones se encuentran:

- Generar el RTC (reloj en tiempo real) y sus funciones de alarma mediante firmware y una base de tiempo de 32.768khz en su contador asincrónico.
- Manejar el teclado hexadecimal.
- Emular un menú de configuración para facilitar al usuario la calibración de parámetros.
- Convertir los valores numéricos en caracteres ASCII, para enviarlos al subsistema de visualización.
- Enviar las constantes ajustadas por el usuario hacia el microcontrolador de procesamiento, vía I²C.

Subsistema de visualización

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

Para ello, existen dos módulos LCD alfanuméricos. En el primero se muestran los valores tomados desde el motor en tiempo real. En el segundo se observa el menú de configuración, que permite al usuario calibrar todas las constantes de comparación del sistema.

Además, dos transceptores IEEE802.15.4 (ZIGBEE), en topología punto a punto, se convierten en un puente de radiofrecuencia entre el módulo UART del microcontrolador de procesamiento y el módulo UART de un tercer controlador situado remotamente. Este último transforma los datos recibidos serialmente, en paquetes USB. Una aplicación gráfica propietaria en LabVIEW, ayuda a la visualización de la información en cualquier PC.

El visualizador remoto fue concebido en principio como un sistema SCADA (control de supervisión y adquisición de datos), para integrar monitoreo y control usando medios gráficos. Si bien el hardware está implementado fehacientemente, no se tiene más que una aplicación gráfica personalizada que únicamente realiza monitoreo. El siguiente diagrama de bloques muestra la disposición del subsistema:

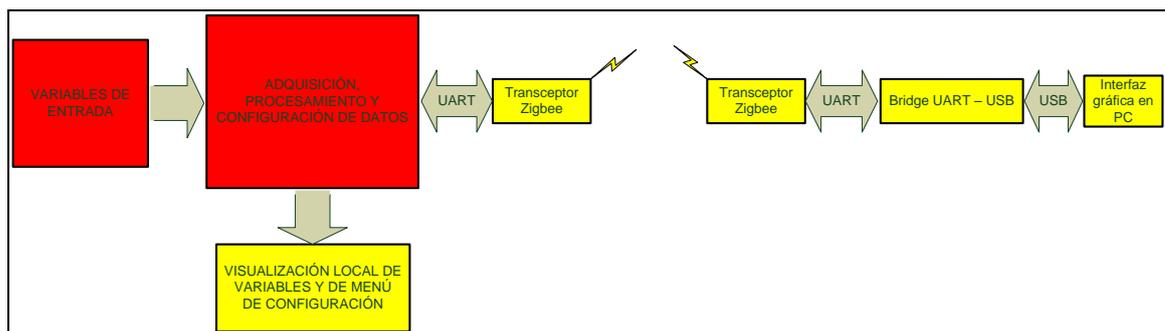


Figura 2: Diagrama de bloques que muestra la conexión de los dispositivos de visualización con el resto de subsistemas.

Como se observa en la figura 2, los datos adquiridos y visualizados localmente, también son enviados por bus UART hacia el primer transceptor ZIGBEE. Éste envía por RF la información hacia el segundo transceptor, el cual la traslada hacia el microcontrolador de puenteo. Aquí los datos son empaquetados y enviados por USB para su interpretación en la interfaz gráfica de PC.

Subsistema de respuesta

Comprende transistores de potencia de tecnología MOSFET con sus correspondientes interfaces. Su función es transformar las salidas digitales

provenientes del microcontrolador de procesamiento, en suministros de corriente considerable. Estas permiten realizar las siguientes funciones:

- Administrar el suplemento de corriente del motor, es decir, alimentar el sistema de encendido.
- Suministrar potencia necesaria para activar el relevador del motor de arranque.
- Encender la lámpara testigo (luz piloto).
- Encender el claxon, si el sistema se encuentra implementado en un vehículo.

ESTRATEGIAS UTILIZADAS

Sistema operativo en tiempo real

La programación del microcontrolador para adquisición de variables se basa en un algoritmo multiproceso (RTOS, sistema operativo en tiempo real). Así se consigue mantener diversos procesos de adquisición a la vez, utilizando activamente las interrupciones de prioridad, los temporizadores y la memoria RAM.

Tabla 1: Frecuencias de muestreo de las variables del sistema

FRECUENCIAS DE MUESTREO DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA			
Variable	Número de interrupciones de TIMER2	Período de muestreo (Seg)	Frecuencia de muestreo (Hz)
Voltaje de la batería	20	0.5	2
Cantidad de combustible	80	2	0.5
Temperatura del refrigerante	80	2	0.5
Velocidad angular del motor	10	0.25	4
Incremento del horómetro	40	1	1
Marcha acoplada en caja de cambios	20	0.5	2
Activación de freno de mano	20	0.5	2
Apertura del cofre del motor	20	0.5	2
Presión de aceite deficiente	20	0.5	2
Apertura de puertas	20	0.5	2
Carga deficiente del alternador	20	0.5	2
Inspección en el motor	20	0.5	2

La utilización de lógica FUZZY para la verificación de parámetros seguros en el encendido autónomo del motor, permitió que el sistema reaccione de manera correcta ante situaciones de emergencia como sobrecalentamiento, deficiencia en presión de aceite, enclavamiento de marcha, ralentí alto o bajo, entre otros.

Es importante resaltar que la velocidad angular del motor únicamente es calculada y mostrada en la LCD cada período de muestreo. Su verdadera adquisición se hace con el método de medición de ancho de pulso

Por otro lado, el horómetro usa el período de muestreo de 1seg no sólo para visualizar su valor en la LCD, sino como base de tiempo para incrementar el contador.

Modelos de aproximación

Se usan modelos matemáticos de tendencia, en base a curvas de dispersión formadas por datos muestreados en la temperatura y el voltaje. Este método permite mejor precisión de adquisición de datos desde sensores cuyas curvas características son desconocidas.

La figura 3 muestra la curva de dispersión resultante de la medición del voltaje para ciertas cantidades de combustible. Además se observa la línea de tendencia en base a la cual, se puede realizar un modelo matemático de aproximación.

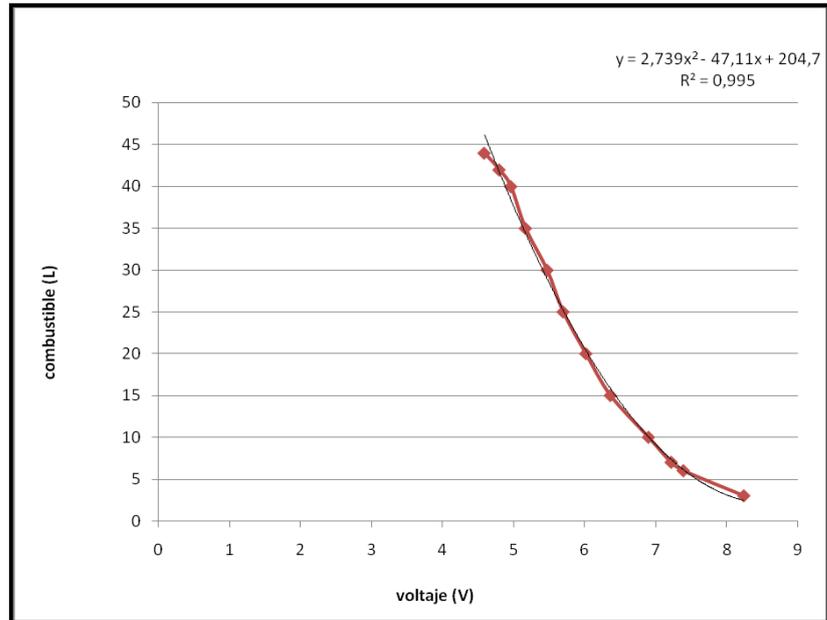


Figura 3. Línea de tendencia utilizada para la medición de combustible

Debido a que la adquisición de temperatura y combustible tienen las mismas interfaces, el procedimiento para digitalizar las señales es similar. La curva de dispersión resultante de la medición del voltaje en función de la temperatura, así como también su línea de tendencia, se aprecian en la figura 4.

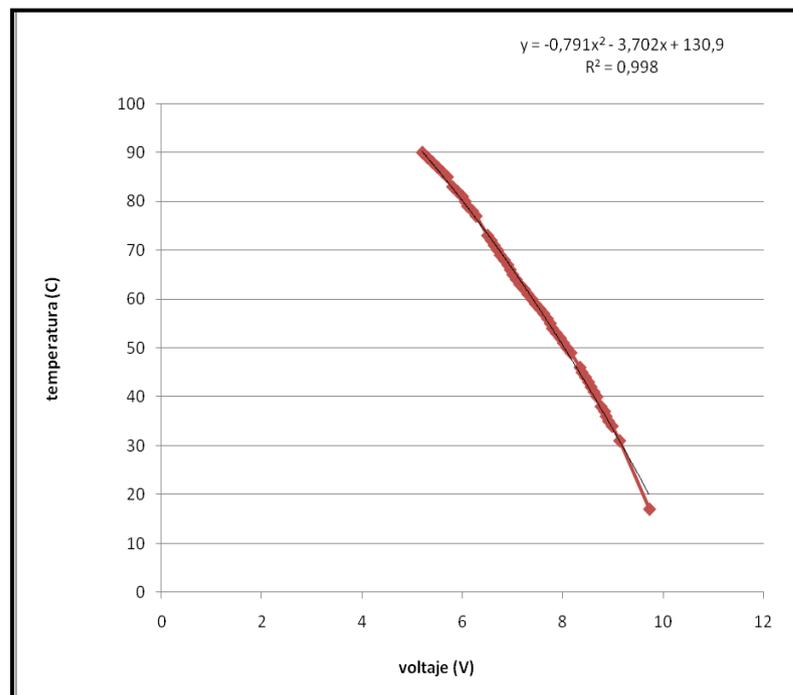


Figura 4. Línea de tendencia utilizada para la medición de temperatura

Programación en lenguaje C

Actualmente los desarrolladores de sistemas embebidos programan microcontroladores usando lenguajes de alto nivel, por ejemplo Lenguaje C. Estas son las razones:

- Es más fácil desarrollar programas.
- El mantenimiento del programa (corrección de errores semánticos y sintácticos) es rápido y fácil.
- Se pueden realizar operaciones matemáticas y lógicas complejas sin dificultad mayor.
- No se necesita conocer a fondo la RAM especial del microcontrolador.

En adición, el espacio de memoria que ocupa el código compilado en alto nivel es usualmente más grande que el desarrollado en ensamblador. Además, existen ciertas configuraciones específicas que las librerías no realizan.

A mi criterio, un programa relativamente eficiente, rápido de desarrollar y con funciones específicas se realiza en C y ensamblador a la vez.

En el presente trabajo hago uso del compilador de lenguaje C, PCH de CCS, hecho para microcontroladores PIC con OP CODE de 16 bits.

Comunicación USB

La implementación radica en la utilización del módulo USB interno del microcontrolador 18F2550. La frecuencia de oscilación necesaria para USB 2.0 es de 48 Mhz. Como se utiliza un cristal de 20 Mhz, se hace uso del módulo PLL interno del PIC para obtener la frecuencia requerida.

Este módulo soporta los tipos de transferencia control, interrupción, isócrona y masiva. La transferencia masiva (BULK) se utiliza en este proyecto por las siguientes razones:

- Es útil para transferencias de datos donde el tiempo no es crítico.
- Puede enviar grandes cantidades de información sin estorbar en el bus, porque espera a que exista disponibilidad.
- En un bus USB vacío, es el tipo de transferencia más rápido.
- El HOST garantiza que la transferencia se complete eventualmente, pero no reserva un ancho de banda para ésta.
- Se maneja detección de errores.
- Soporta FULL SPEED (12Mbps en el mejor de los casos).

El programa inicializa el hardware USB indicando el tipo de transferencia BULK. Luego espera a ser enlazado y enumerado por el HOST del computador PC.

En el proceso de enumeración, el microcontrolador responde a una serie de preguntas hechas por el HOST. Aquí, el dispositivo envía información sobre la identificación del fabricante, la versión del dispositivo, la versión de USB que éste soporta, requerimientos de alimentación de corriente, entre otros. El HOST le da además una dirección para identificarlo.

Comunicación ZIGBEE

El sistema se implementó sobre ZIGBEE debido a la disponibilidad de módulos en el mercado local. Esta tecnología presenta la ventaja de trabajar en los tres primeros estratos del modelo OSI (físico, enlace y red), a diferencia de cualquier módulo de RF comercial que sólo trabaja en la capa física.

El desempeño óptimo en la telemetría del sistema, indica que se podrían alcanzar mayores distancias cambiando únicamente la tecnología de RF usada.

Los módulos XBEE PRO son módulos de radio frecuencia que trabajan en la banda de 2.4Ghz con estándar de comunicación 802.15.4 (redes de área personal, PAN), fabricados por MAXSTREAM.

Utilización de señalizadores en la trama de datos enviada inalámbricamente

La información enviada desde el dispositivo remoto ubicado en el motor hasta el puente ZIGBEE – USB, se realiza a nivel de bytes. Cada una de las cifras del valor numérico de las variables adquiridas en el microcontrolador de procesamiento, es transformada a su equivalente en ASCII.

Toda variable enviada está delimitada por una letra señalizadora y un LINE FEED (representado por espacios en blanco en la figura 4). Así, hay tantos señalizadores como variables recibidas. La figura muestra el formato de trama utilizado.

V1220 T8230 C9520 P0 E1 O1 D1 B1 K0 M1 H110 R1250 F

Figura 4. Formato de trama enviada vía ZIGBEE

Los caracteres ASCII V,T,C,P,E,O,D,B,K,M,H,R, indican el inicio y el tipo de dato, los espacios en blanco (valor hexadecimal 0x0A) indican el fin de cada dato, y el carácter F señala el fin de trama.

La siguiente tabla detalla el tipo de dato que representa cada señalizador ASCII.

Tabla 2. Señalizadores en la trama transmitida inalámbricamente

SEÑALIZADOR ASCII	TIPO DE DATO
V	Voltaje del acumulador
T	Temperatura del refrigerante
C	Cantidad de combustible
P	Activación de freno de mano
E	Apertura de cofre de motor
O	Activación de piloto de presión de aceite deficiente
D	Apertura de puertas
B	Activación de piloto de carga deficiente
K	Activación de piloto de inspección (check engine)
M	Posición de la palanca de cambios
H	Horas de funcionamiento del motor
R	Velocidad angular del motor

En el programa del microcontrolador de puenteo, una vez que se recibe el carácter F, se verifica si el primer byte del búfer de recepción corresponde a cualquiera de los señalizadores. Esto se hace para evitar que tramas de datos

incompletas o sin señalizadores sean transmitidas hacia el programa en la PC, ocasionando que se cuelgue. También permite la conexión y desconexión de la base y la estación remota en caliente.



Figura 5. Instrumento virtual para visualización remota de variables

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de verificar fehacientemente errores semánticos y sintácticos en la programación de los tres microcontroladores, de los módulos ZIGBEE y del instrumento virtual en LabVIEW, las pruebas consistieron en comparar las variables adquiridas con valores en instrumentos de precisión. Además se realizaron pruebas de encendido del motor ante hora de alarma configurada y parámetros inseguros. Los resultados arrojados fueron satisfactorios.

La inserción de error en la medición de voltaje, se debe únicamente a la aproximación a una cifra decimal que realiza el algoritmo. Con respecto a los errores presentados en las mediciones de combustible y temperatura, se justifican ya que el programa de adquisición utiliza un modelo de tendencia, más no una ecuación perfectamente compatible con la variable.

Tabla 3. Error máximo de cada prueba ejecutada

VARIABLE MEDIDA	ERROR MÁXIMO (%)
Voltaje	-0,20877
Combustible	-5,71429
Temperatura	-1,84615
Velocidad angular	3,370787
Base de tiempo	0,000231

En lo referente al tiempo, luego de la calibración y debido a la baja calidad del oscilador implementado, el sistema tiene un error de 2 segundos cada 10 días. Esto proyecta un atraso de 73 segundos por año (1 minuto y 13 segundos). Es importante resaltar que como es conocido, un aumento en la temperatura ambiente causa que cualquier oscilador incremente su frecuencia, y viceversa. Por lo tanto, esta proyección es relativa a la temperatura ambiente.

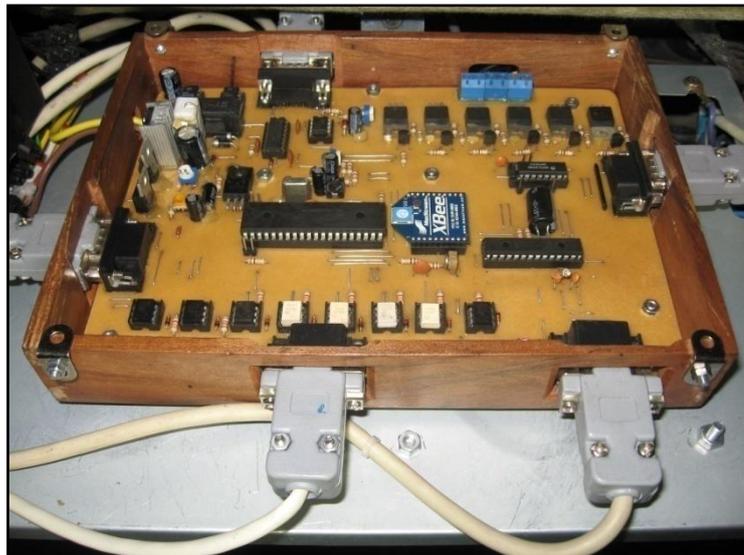


Figura 6. Disposición del módulo para encendido temporizado

Por otro lado, las pruebas de funcionamiento del sistema completo en el vehículo, indican que el dispositivo es seguro. Su implementación sobre motores móviles y estacionarios es recomendable.



Figura 7. Módulos y cables de conexión