

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“SISTEMA DE MONITOREO DE PRESIÓN DE
AIRE EN NEUMÁTICOS DE AUTOMÓVIL”**

REALIZADO POR:

XAVIER EDUARDO TOAPANTA MEDINA

SANGOLQUÍ – ECUADOR

MARZO DEL 2006

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto titulado:

“SISTEMA DE MONITOREO DE PRESIÓN DE AIRE EN NEUMÁTICOS DE AUTOMÓVIL”

Ha sido desarrollado en su totalidad, por el señor: **XAVIER EDUARDO TOAPANTA MEDINA** con **C.I. 171455385-4** y, bajo nuestra dirección.

Ing. Rodolfo Gordillo
DIRECTOR

Ing. Jaime Andrango
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

En primer lugar deseo agradecer a Dios por brindarme unos excelentes padres, una ejemplar familia, sobretodo por darme salud y vida.

Deseo agradecer con todo mi corazón a mis amados y abnegados padres, Eduardo y Lilia, quienes con su amor, comprensión, carisma, abnegación y apoyo han hecho posible la finalización de este pequeño paso pero muy importante en mi vida.

A mis queridos hermanos y sobrino, que supieron comprenderme y acompañarme incondicionalmente en los días felices y tristes de mi vida.

A toda mi familia tanto materna como paterna, quienes con sus sabios consejos, paciencia y trabajo han sido un gran ejemplo de superación y honestidad que pondré en mi diario vivir.

A mis recordados amigos de colegio y barrio, quienes con su amistad han sido un pilar para la obtención de esta meta.

A mis amigos de toda una vida, mis compañeros de aula “Los Saurios Inc.”, con quienes comprendimos que para alcanzar una meta hay que luchar incansablemente; siempre los recordaré: Andrés., Paúl, Richard., Fernando, Marco A., Marco G., Juan, Rodrigo, Christian, Paco, Byron, César, Fausto, Ingo, Santiago, Dalton.

Al personal de “Lightcom” quienes han colaborado con sus sugerencias técnicas para el desarrollo del proyecto y a la ESPE porque fue mi segundo hogar, nunca la olvidaré.

A todos mis recordados maestros de la ESPE, en especial a los Sres. Ing. Rodolfo Gordillo e Ing. Jaime Andrango, director y codirector respectivamente, quienes con sus enseñanzas y comentarios hicieron que finalizara satisfactoriamente el proyecto.

Deseo expresar mi profundo y sincero agradecimiento al amigo y compañero, Sr. Ing. Alejandro Proaño G. quién con su desinteresada y valiosa ayuda permitió que mi proyecto saliera adelante.

MIL GRACIAS A TODOS

Xavier E. Toapanta M.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con especial cariño a mis padres y hermanos, con quienes esperamos con mucho anhelo alcanzar este objetivo.

A mi familia de papá y mamá, ya que sin su apoyo espiritual no hubiese llegado a un feliz término de mi carrera.

A las personas de mi familia que no nos acompañan físicamente sino espiritualmente, y que siempre nos iluminan y en especial a mis abuelitos: papito Ramón, papito Reynaldo y mamita Beatriz quienes están en el cielo.

A todos los integrantes de mi querida Facultad FIE que siempre velarán por el constante progreso de la facultad y del país.

Xavier Eduardo Toapanta M.

PRÓLOGO

El constante avance de la tecnología, especialmente en el área de la electrónica ha obligado a las industrias a nivel mundial ir también a la par con este avance tecnológico. Por ejemplo, la industria automotriz no ha sido la excepción en quedarse marginado en este campo por lo que ha desarrollado innumerables aplicaciones, ya sea para mejorar en aspectos como: eficiencia en el desempeño del automotor, comodidad del usuario, seguridad del usuario, etc.

Por consiguiente, el presente proyecto desarrollado pretende ser un pequeño aporte más, pero sí importante en lo relacionado con la seguridad del usuario. El proyecto desarrollado titulado “Sistema de monitoreo de presión de aire en neumáticos de automóvil” es entonces un ejemplo de una aplicación de la electrónica en la actualidad en el área automotriz no difundido en nuestro medio y que recientemente han puesto atención las industrias de países desarrollados debido a los múltiples accidentes a causa de fallas de presión en los neumáticos ya sea por falta o exceso de presión.

Además, el uso de microcontroladores de radiofrecuencia, como componentes principales del sistema, ayudará al diseñador a tener una idea más clara y extensa de la utilización en diferentes áreas y aplicaciones de estos dispositivos no muy conocidos ni empleados en nuestro medio.

Este sistema prototipo tiene como fin monitorear constantemente la presión de aire en los neumáticos de un automóvil, ya sea que éste se encuentre en movimiento o estático. El reporte de los valores de presión leídas se podrán observar en una pantalla líquida situada en el panel de control del conductor.

El capítulo 1 empieza con una pequeña introducción al proyecto, luego se sigue con una breve historia del automóvil y la incidencia de la electrónica en los últimos años en la industria automotriz y; finalmente se detalla las características básicas, partes principales,

tipos de neumáticos, nomenclatura, cuidado de los neumáticos: alineación, balanceo, rotación, problemas diversos en los neumáticos: convergencia, divergencia, camber, presión baja, presión alta.

En el capítulo 2 se realiza una descripción general de las etapas, descripción de los dispositivos principales del sistema como son los microcontroladores de radiofrecuencia y el sensor de presión SP12T.

En el capítulo 3 se detalla en forma completa el desarrollo del diseño técnico efectuado como es la programación de la tarjeta de transmisión: lectura del sensor de presión, ignorar la interferencia existente y transmisión de datos; decodificación y validación de la información obtenida; y presentación de datos en la etapa de visualización. También contiene las correspondientes explicaciones de los diagramas de flujo de la programación que controlan tanto al microcontrolador transmisor como al microcontrolador decodificador. Además se presenta los diagramas esquemáticos de los circuitos implementados así como los diagramas PCB creados por Protel99 para la generación del ruteado de las pistas de todos los circuitos.

El capítulo 4 comprende las pruebas y análisis de resultados obtenidos del sistema; deducción de la ecuación lineal de funcionamiento del sensor, corrección de errores en software o hardware y pruebas finales de campo del sistema.

En el capítulo 5 se realizó un breve estudio de mercadeo acerca del impacto comercial en nuestro medio del sistema, por parte del usuario particular y del sector comercial. Análisis de resultados del estudio efectuado. También se hace referencia el costo del proyecto prototipo desarrollado así como su costo actual.

Adicionalmente se adjunta una sección de anexos en el que constan: hojas de especificaciones técnicas de los dispositivos electrónicos empleados, códigos de la programación del microcontrolador de radiofrecuencia transmisor y del microcontrolador decodificador de la información y los cuestionarios de preguntas realizados para el estudio.

Finalmente, espero que el presente escrito ayude para posteriores investigaciones a los lectores, ya sea para innovar este mismo proyecto o para extender su conocimiento en el uso de los microcontroladores de radiofrecuencia.

Xavier E. Toapanta M.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
CAPITULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción del proyecto	1
1.2. Historia del automóvil	2
1.3. La revolución electrónica del automóvil	3
1.4. Características del neumático	6
1.4.1. Consideraciones para elegir el neumático adecuado	6
1.4.2. Descripción del neumático	7
1.4.2.1. Banda de rodamiento	8
1.4.2.2. Cinturón (estabilizador)	8
1.4.2.3. Capa radial	8
1.4.2.4. Costado (pared)	8
1.4.2.5. Sellante	9
1.4.2.6. Relleno	9
1.4.2.7. Refuerzo de la ceja (talón)	9
1.4.2.8. Ribete	9
1.4.2.9. Talón	9
1.5. Tipos de neumáticos	9
1.5.1. Neumáticos para autopistas	9
1.5.2. Neumáticos para nieve	10
1.5.3. Neumáticos para toda temporada	10
1.5.4. Neumáticos de alto desempeño	10
1.5.5. Neumáticos de toda temporada/alto desempeño	10
1.6. Tipos de construcción	10
1.6.1. Neumáticos convencionales	10
1.6.2. Neumáticos radiales	11

1.7. Nomenclatura _____	12
1.7.1. Índice de desgaste _____	14
1.7.2. Tracción _____	14
1.7.3. Temperatura _____	14
1.8. Clasificación del tamaño del neumático _____	15
1.8.1. Descripción de las dimensiones de los neumáticos _____	15
1.8.1.1. Diámetro total _____	15
1.8.1.2. Ancho de sección _____	15
1.8.1.3. Ancho de la sección de rodadura _____	16
1.8.1.4. Profundidad de la sección de rodadura _____	16
1.8.1.5. Altura de sección _____	16
1.8.1.6. Ancho de rin _____	16
1.8.1.7. Diámetro nominal de rin _____	16
1.8.1.8. Radio estático con carga _____	16
1.8.1.9. Ancho de sección con carga _____	16
1.8.1.10. Espacio mínimo entre duales _____	16
1.8.1.11. Revoluciones por milla _____	16
1.9. Cuidado de los neumáticos _____	17
1.9.1. Cuidado y mantenimiento de los neumáticos _____	17
1.9.1.1. Alineación _____	17
1.9.1.2. Balanceo _____	17
1.9.1.3. Rotación de las llantas _____	17
1.10. Problemas mecánicos _____	19
1.10.1. Convergencia _____	19
1.10.2. Divergencia _____	19
1.10.3. Camber _____	20
1.11. Recomendaciones para el inflado de los neumáticos _____	21
1.11.1. Baja presión _____	22
1.11.2. Exceso de presión _____	23
1.11.3. Presión correcta _____	24
1.11.4. Efectos de la sobrecarga _____	24
1.12. Arreglos dobles _____	26

CAPÍTULO 2	28
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA	28
2.1 Componentes principales del sistema	28
2.2. Descripción general de las etapas del proyecto	29
2.3. Características generales de los PIC de radiofrecuencia y sensor de presión	31
2.3.1. Descripción del dispositivo rfPIC12F675	31
2.3.1.1. Organización de la memoria de programa	32
2.3.1.2. Organización de la memoria de datos	32
2.3.1.3. Registros de configuración	34
2.3.1.4. Descripción de pines	39
2.3.1.5. Modulación ASK	41
2.3.2. Descripción del receptor rfRXD0420	42
2.3.3. Sensor de presión SP12T	45
2.3.3.1. Descripción	45
2.3.3.2. Valores de operación máximos y mínimos del SP12T	45
2.3.3.3. Condiciones de operación recomendadas	46
2.3.3.4. Salidas wake up y reset	47
2.3.3.5. Protocolo SPI	48
2.3.3.6. Comandos del protocolo SPI	50
2.3.3.7. Byte de STATUS	52
2.3.3.8. Byte de presión	53
2.3.3.9. Byte de temperatura	53
2.3.3.10. Byte de voltaje de alimentación	54
2.3.3.11. Características de entradas/salidas digitales	54
2.3.3.12. Corriente de mantenimiento	54
2.3.3.13. DATA PROM	55
2.3.3.14. Recarga de la PROM	55
2.3.3.15. Registro de protección SHADOW	55
2.3.3.16. Voltaje de alimentación bajo	55
2.3.3.17. Temperatura alta	56
2.3.3.18. Descripción de pines del SP12T	56

CAPÍTULO 3	58
DISEÑO TÉCNICO	58
3.1. Aspectos generales	58
3.2. Etapa de transmisión	59
3.2.1. Software y hardware de programación del rfPIC12F675	59
3.2.1.1 Software de programación del rfPIC12F675	61
3.2.1.1.1. Visión global del programador	61
3.2.1.1.2. Interfaz de programación del kit de arranque PICKit 1 FLASH	61
3.2.1.1.3. Descarga del proyecto de MPLAB	62
3.2.1.1.4. Archivo automático de recarga	63
3.2.1.1.5. Verificador de código de programa	64
3.2.1.1.6. Read device	64
3.2.1.1.7. Code protect - Código de protección	65
3.2.1.1.8. Erase	65
3.2.1.1.9. Borrado total	66
3.2.1.1.10. Oscilador 2.5 KHz OSC	68
3.2.1.2. Preparación del módulo de transmisión para la operación de grabado	69
3.2.1.3. Hardware del módulo transmisor rfPIC12F675	70
3.2.1.3.1. Valores de presión para el funcionamiento normal de los neumáticos	73
3.2.2. Diagrama de flujo del programa principal del transmisor rfPIC12F675	74
3.2.2.1. Explicación del diagrama de flujo del pic de transmisión	77
3.2.3. Diagrama esquemático del circuito del sensor SP12T	81
3.3. Etapa de recepción	81
3.3.1. Diagrama de flujo del programa de la etapa de recepción	83
3.3.2. Explicación del diagrama de flujo de la etapa de recepción	85
3.3.3 Indicaciones para la implementación del sistema en los cuatro neumáticos	89
3.3.3.1 Primera opción	89
3.3.3.2. Segunda opción	93
3.3.4. Diagrama de los circuitos de la etapa de recepción y etapa de visualización	94

CAPÍTULO 4 _____ **96**

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE MONITOREO **96**

4.1. Ecuación de funcionamiento del sensor de presión _____	96
4.2. Colocación y pruebas del sensor-transmisor en el neumático _____	97
4.3. Revisión y corrección de los códigos de los programas de transmisión y recepción _____	100
4.4. Pruebas de campo _____	105

CAPÍTULO 5 _____ **106**

BREVE ESTUDIO DE MERCADO _____ **106**

5.1. Introducción _____	106
5.2. Investigación descriptiva _____	106
5.3. Determinación de la población y muestra _____	107
5.3.1. Población _____	107
5.3.2. Muestra _____	107
5.4. La encuesta _____	108
5.5. Análisis de resultados _____	108
5.5.1. Análisis de resultados de las encuestas a usuarios particulares _____	109
5.5.2. Análisis de resultados de las encuestas a empresas varias _____	113
5.6. Costos del sistema de monitoreo _____	116

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción del proyecto

El avance inexorable de la tecnología electrónica aplicada al mundo automotriz ha tratado de cubrir todas las necesidades que el automotor requiere y en especial la del usuario, por lo que las industrias automotrices tienen una gran herramienta de apoyo para suplir tales necesidades.

Una de esas necesidades importantes a tener en cuenta por las industrias es la seguridad del usuario las cuales han sido cubiertas en un gran porcentaje; no obstante, hay partes del automotor que no han sido consideradas como es el caso de los neumáticos que es una sección de vital importancia en el funcionamiento del automotor y que requiere especial atención. Es por esto que el proyecto desarrollado trata de dar esa atención a esta parte del automotor monitoreando la presión en los neumáticos y así proporcionar mayor seguridad al usuario para de esta manera tratar de evitar posibles percances.

Además para la implementación de este sistema de monitoreo se hizo uso de microcontroladores de radiofrecuencia, dispositivos no muy conocidos ni empleados en nuestro medio razón por la cual la utilización de estos dispositivos nos proporcionará una visión más extensa de sus aplicaciones ya sea a nivel industrial o doméstico.

1.2. Historia del automóvil

El primer paso fueron los vehículos propulsados a vapor. Se piensa que los primeros intentos iniciales de producirlos se llevaron a cabo en China, a fines del siglo XVII, pero registros documentales señalan que en 1769 el inventor francés Nicholas-Joseph Cugnot presentó el primer vehículo propulsado a vapor. Era un triciclo de unas 4,5 toneladas, con ruedas de madera, cuyo motor estaba montado sobre los cigüeñales de las ruedas de un carro para transportar cañones. Su prototipo se estrelló pero la idea sería retomada y desarrollada en Inglaterra en los años siguientes.

Hasta 1840, se construyeron en este país más de cuarenta carros y tractores propulsados a vapor. Por 1836, incluso, circulaban regularmente unos nueve de estos automotores a vapor, capaces de transportar cada una entre diez y veinte pasajeros a una velocidad de 24 km./h.

La búsqueda se concentraba en alguna forma más práctica de mover los carros autopropulsados. Y la solución apareció en Europa en el año de 1860, cuando el belga Etienne Lenoir patentó en Francia el primer motor a explosión capaz de ser usado sobre ideas aparecidas en Inglaterra a fines del siglo XVIII, pero habrían de pasar seis años hasta que el alemán Gottlieb Daimler construyera en 1866 el primer automóvil propulsado por un motor de combustión interna. Su prototipo era un gigante de casi dos toneladas de peso que fue presentado en la Exposición de París de 1867, fue la base para la nueva industria.

Después de años de trabajo, Daimler ideó una variante de apenas 41 kg. que sería el precursor de todos los motores posteriores a explosión. Sobre esta planta motriz el ingeniero mecánico Karl Benz diseñó el primer vehículo utilizable impulsado por un motor de combustión interna; era un pequeño triciclo que empezó a funcionar a principios de 1885 y fue patentado en el año de 1886. El mismo Benz presentó un primer automóvil de cuatro ruedas con su marca en 1893 y construyó un carro de carrera en 1899. Pero si bien su empresa había sido pionera, a principios del nuevo siglo había quedado algo relegada por negarse a incorporar los adelantos más modernos logrados por otros precursores. Todo lo cual hizo que en 1926 se fusionara con la Daimler Motoren Gesellschaft para integrar la Daimler-Benz, que sería la predecesora de la famosísima Mercedes Benz.

A inicios del siglo XIX se incrementa la competencia entre las nacientes fábricas y también la preocupación por mejorar los diferentes sistemas del automóvil, como frenos, amortiguadores, carburación, transmisión y arranques. La rueda inflable había sido inventada en 1875 por el escocés Robert W. Thompson, pero ya la había mejorado por John Boyd Dunlop, quien en 1888 patentó un neumático que pasó a utilizarse en automóviles y bicicletas. En 1897, Robert Bosch consiguió desarrollar un magneto de encendido de aplicación práctica y casi simultáneamente comenzó a funcionar el motor de autoencendido de Rudolf Diesel, que no requería de un sistema eléctrico de ignición. Además, el combustible para los motores comunes no era problema, porque el alemán, Eilhard Mitscherlich había descubierto la bencina en 1833, con lo cual ya estaba disponible el hidrocarburo líquido que pasó a llamarse nafta por derivación de un vocablo ruso: naphta.

A finales del siglo XIX, el francés Louis Renault armó su primer auto en un taller instalado en los fondos de la casa de sus padres. En 1892, el norteamericano Henry Ford armó su primera máquina rodante con motor a nafta y en 1908 lanzó el Ford T, pero su nombre acapararía la fama cuando a partir de 1913 disminuyó significativamente los costos al instalar en su fábrica de Highland Park la primera cadena de montaje. Ford vendió 15.000.000 de unidades de su Ford T entre 1908 y 1928 y su marca sólo pudo ser batida en 1972 por otro popular automóvil, el Escarabajo de Volkswagen. Además se debe nombrar también a otros pioneros que forjaron la historia del automóvil como por ejemplo a Charles Stuart Rolís, Ettore Bugatti, Ferdinand Porsche, Armand Peugeot, André Citroën, Ferruccio Lamborghini, Enzo Ferrari.

1.3. La Revolución electrónica del automóvil

En 1974, un grupo de ingenieros de Europa, identificaron cincuenta y cinco áreas probables donde la electrónica podría aplicarse y tener un papel decisivo en el desarrollo de los automóviles.

En 1982, treinta y siete de esas tecnologías, incluyendo subsistemas electrónicos, estaban en producción, en las que se puede mencionar los sistemas de inyección electrónica de gasolina (EFI), antibloqueo de freno (ABS), bloqueo automático de puertas

(ADL), control automático de cruceo (ACC), diagnóstico de abordaje (ODS), recuerdo de mantenimiento y consumo de combustible entre otros.

En 1993, el 93% de las tecnologías eran una realidad y equipaban a vehículos de media y alta gama. Asimismo, se detectaron nuevas áreas donde la tecnología electrónica podía aplicarse y que aquellos ingenieros no pudieron imaginar. Al respecto, se puede mencionar los sistemas de control de tracción (TCS), 4 ruedas directrices, ductos de inducción de aire controlados electrónicamente, sintetizadores y reconocimiento de voz, control de carga eléctrica entre otros.

La aplicación de la electrónica en el automóvil está íntimamente relacionada con el desarrollo y la evolución de componentes electrónicos tales como el diodo, el transistor y los circuitos integrados. Inicialmente, estos circuitos integrados fueron del tipo analógico. Estos dispositivos permitieron el desarrollo de radios, relojes, reguladores integrales de alternadores y encendidos de estado sólido. La principal ventaja que manifestaron estos dispositivos era su confiabilidad, reducción de peso y la velocidad de respuesta respecto de los componentes convencionales.

Al inicio de la década de 1970, los motores encendidos por chispa presentaban un pobre desempeño respecto al consumo de combustible y las emisiones gaseosas. Algunas de las razones de su pobre desempeño eran la ineficacia de los sistemas de control empleados para el ajuste de los distintos parámetros operativos. Estos sistemas de control eran poco precisos, de baja velocidad de respuesta e incapaces de ajustar tales parámetros a los infinitos regímenes de marcha propios de los motores. Por otra parte, el costo de mantenimiento necesario era elevado, con frecuentes paradas durante su vida operativa. El sistema de encendido de los motores encendidos por chispa fue una de las áreas donde la electrónica se mostró rápidamente como un medio eficaz de control. Este sistema emplea un ruptor (platino) para la interrupción de la corriente eléctrica del circuito primario. Alrededor de los 10,000 km este dispositivo comenzaba dar muestras de desgaste, que incrementaba el consumo de combustible y las emisiones gaseosas y deterioraba el funcionamiento general de la planta motriz. Esto obligaba al mantenimiento periódico y a su reemplazo alrededor de los 15000 km. Los sistemas de encendido electrónico

reemplazaron al ruptor por un circuito electrónico que realizando el corte de corriente primaria. Esto permitió reducir sensiblemente el mantenimiento del sistema de encendido.

A fines de la década de 1970, los circuitos integrados digitales ampliaron la capacidad funcional de los sistemas electrónicos, cuando solucionaron problemas de temperatura y de sensibilidad ambiental que manifestaban los circuitos integrados analógicos. Los microprocesadores son el corazón operacional de las unidades de control electrónico de todos los sistemas del automóvil controlados electrónicamente.

En la década de 1980, los microprocesadores de 4 y 8 bits evolucionaron hacia los de 16 bits permitiendo el desarrollo y la optimización de los sistemas de inyección electrónica de gasolina (EFI), gestión electrónica de motor (EEM), antibloqueo de freno (ABS), suspensión de dureza variable (ECS), de navegación y guiado, dirección y climatización controlada electrónicamente. Comparados con los primeros microprocesadores, los actuales han reducido sus dimensiones físicas notablemente y han incrementado su capacidad operacional alrededor de veinte y cinco veces.

En cambio en la década de 1990, un área que impacto significativamente en la aplicación de la electrónica fue el desarrollo de sensores inteligentes que permitió el diseño de sistemas integrados de transmisión de potencia, freno, dirección, navegación y diagnóstico de a bordo. La industria automotriz comprendió que debía optimizar sus diseños considerando los requerimientos, capacidades y limitaciones del conductor. Los diseñadores de automóviles comenzaron a pensar en automóviles como un sistema integrado y no como un conjunto de piezas y sistemas independientes. Esta filosofía de diseño incrementó notablemente el contenido de los sistemas eléctricos - electrónicos. La arquitectura de los nuevos vehículos incluye los microprocesadores de 32 bits, redes multiplexadas estandarizadas, sistema de gestión de energía con alternadores de 42 [V], convertidores 42 a 14 [V] y módulos de gestión de energía y carga.

La introducción de los sistemas electrónicos y la tecnología asociada a los componentes ocurrida en las últimas tres décadas ha sido una verdadera revolución tecnológica. El objetivo para los próximos años de la industria es el desarrollo de automóviles que puedan transportar 5 pasajeros cuyo consumo sea de 33 kms por litro de

combustible. Este objetivo solo será posible alcanzarlo con la aplicación intensiva de la electrónica.

1.4. Características del neumático

1.4.1. Consideraciones para elegir el neumático adecuado

En el mercado existen una gran cantidad de fabricantes que ofrecen neumáticos para toda clase de vehículos. Sin embargo, si se desconocen los parámetros básicos para elegir la llanta adecuada, a menudo se cometen errores que están en contra de la seguridad y la economía del usuario.

La mayoría de los conductores casi nunca prestan atención a sus neumáticos salvo cuando comienzan a dar problemas o se hace necesario cambiarlos. Muchos consumidores acostumbran comprar sus neumáticos apresuradamente sin pensar en las características de su vehículo, así como también en las diferencias que existen entre los diferentes tipos de neumáticos.

Las llantas forman parte de los sistemas de suspensión, frenos y dirección del automóvil e influyen de manera decisiva en la seguridad, maniobrabilidad, manejo general del vehículo e incluso en el consumo de combustible. Por ello es recomendable adquirir neumáticos de la misma medida y tipo que los originales, ya que el fabricante los ha seleccionado con base en parámetros de confort, resistencia de rodamiento, velocidad, “agarre”, entre otros, aunque también las llantas originales no siempre se adecúan a todos los casos, pues cada conductor tienen necesidades y requerimientos distintos.

Para elegir los neumáticos debe hacerse tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tipo de vehículo que conduce.
- La forma en que maneja.
- El tipo de camino que recorre cada día.
- Las condiciones del camino.

- Las condiciones climáticas.

Primero hay que definir en que condiciones de camino rodarán los neumáticos como por ejemplo una autopista. Ahora hay que tener en cuenta: el tipo de clima en el que opera el vehículo, las condiciones del camino, si circula más cotidianamente en autopistas o en ciudad, y otras condiciones de manejo que le ayudarán a escoger el tipo de neumático que requiere.

- **Seleccionar el tamaño adecuado del neumático.** Toda la tecnología existente no le ayudará, si se hace una mala elección en el tamaño del neumático que su vehículo requiere. El tamaño adecuado del neumático y demás especificaciones referentes al diseño de su vehículo las podrá encontrar en el manual del propietario así como también en las fichas técnicas de los fabricantes de los neumáticos.
- **Aprender a leer la designación del neumático.** En la pared externa o capa exterior del neumático aparece una serie de números y letras los cuales le proporcionarán información acerca de las características del mismo.
- Al momento de comprar el neumático es importante que tome en cuenta aspectos tales como precio y calidad. En ocasiones el consumidor encuentra alta calidad en los neumáticos que requiere pero su precio es también alto. Recuerde que es mejor comprar neumáticos con distribuidores autorizados aunque tenga que pagar un poco más por ellos, ya que ellos le podrán garantizar el neumático.
- Considere factores como la capacidad de carga y la tracción de los neumáticos, vida estimada en kilómetros, temperatura de operación, garantía, etc.

1.4.2. Descripción del neumático

En la Figura 1.1. se puede observar la sección transversal de un neumático radial.

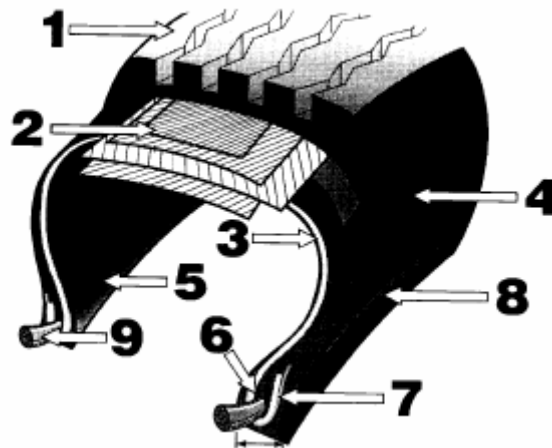


Figura. 1.1. Sección transversal de un neumático radial

Las partes fundamentales de un neumático radial son:

1.4.2.1. Banda de rodamiento. Esta parte, generalmente de hule, proporciona la interfase entre la estructura de la llanta y el camino. Su propósito principal es proporcionar tracción y frenado.

1.4.2.2. Cinturón (estabilizador). Las capas del cinturón (estabilizador), especialmente de acero, proporcionan resistencia al neumático, estabiliza la banda de rodamiento y protege a ésta de picaduras.

1.4.2.3. Capa radial. La capa radial, junto con los cinturones, contienen la presión de aire. Dicha capa transmite todas las fuerzas originadas por la carga, el frenado, el cambio de dirección entre la rueda y la banda de rodamiento.

1.4.2.4. Costado (pared). El hule del costado (pared) está especialmente compuesto para resistir la flexión y la intemperie proporcionando al mismo tiempo protección a la capa radial.

1.4.2.5. Sellante. Una o dos capas de hule especial (en neumáticos sin cámara) preparado para resistir la difusión del aire. El sellante en estos neumáticos reemplaza la función de las cámaras.

1.4.2.6. Relleno. Piezas también de hule con características seleccionadas, se usan para llenar el área de la ceja (talón) y la parte inferior del costado (pared) para proporcionar una transición suave del área rígida de la ceja, al área flexible del costado.

1.4.2.7. Refuerzo de la ceja (talón). Es otra capa colocada sobre el exterior del amarre de la capa radial, en el área de la ceja, que refuerza y estabiliza la zona de transición de la ceja al costado.

1.4.2.8. Ribete. Elemento usado como referencia para el asentamiento adecuado del área de la ceja sobre el rin.

1.4.2.9. Talón. Es un cuerpo de alambres de acero de alta resistencia utilizado para formar una unidad de gran robustez. El talón es el ancla de cimentación de la carcasa, que mantiene el diámetro requerido de la llanta en el rin.

1.5. Tipos de neumáticos

Existen varios tipos de neumáticos para cada estación del año. De igual manera, en el caso de neumáticos para camiones, estos presentan diseños de acuerdo a la posición que ocuparan en el vehículo. A continuación se describen de manera general las características de dichos neumáticos.

1.5.1. Neumáticos para autopistas

También llamados neumáticos para verano, están diseñados para proporcionar la tracción adecuada al vehículo en caminos tanto lluviosos como secos.

1.5.2. Neumáticos para nieve

Proporcionan máxima tracción en condiciones donde el camino es cubierto por una capa de hielo. La banda rodante está diseñada para proporcionar el máximo agarre en estas condiciones, además está construida de un material especial que le permite trabajar en climas helados.

1.5.3. Neumáticos para toda temporada

Están diseñados para ser operados tanto en condiciones lluviosas así como de nevadas. Proporcionan una buena manejabilidad y ofrecen los beneficios de los neumáticos para autopistas.

1.5.4. Neumáticos de alto desempeño

Ofrecen un alto grado de manejabilidad, agarre y desempeño, además de soportar altas temperaturas y altas velocidades.

1.5.5. Neumáticos de toda temporada/alto desempeño

Ofrecen todas las características de los neumáticos anteriores tanto en caminos secos y lluviosos.

1.6. Tipos de construcción

1.6.1. Neumáticos convencionales

Este tipo de neumático se caracteriza por tener una construcción diagonal que consiste en colocar las capas de manera tal, que las cuerdas de cada capa queden inclinadas con respecto a línea del centro orientadas de ceja a ceja, como se muestra en la Figura 1.2.

Este tipo de estructura brinda al neumático dureza y estabilidad que le permiten soportar la carga del vehículo. La desventaja de este diseño es que proporciona al

neumático una dureza que no le permite ajustarse adecuadamente a la superficie de rodamiento ocasionando un menor agarre, menor estabilidad en curvas y mayor consumo de combustible.



Figura. 1.2. Neumático convencional

1.6.2. Neumáticos radiales

En la construcción radial, las cuerdas de las capas del cuerpo van de ceja a ceja formando semi óvalos. Son ellas las que ejercen la función de soportar la carga. Sobre las capas del cuerpo, en el área de la banda de rodamiento, son montadas las capas estabilizadoras. Sus cuerdas corren en sentido diagonal y son ellas las que soportan la carga y mantiene la estabilidad del neumático como se indica en la Figura 1.3.

Este tipo de construcción permite que el neumático sea más suave que el convencional lo que le permite tener mayor confort, manejabilidad, adherencia a la superficie de rodamiento, tracción, agarre, y lo más importante contribuye a la reducción del consumo de combustible.



Figura. 1.3. Neumático radial

1.7. Nomenclatura

Las letras y símbolos que aparecen moldeados en el costado del neumático proporcionan información muy útil que se debe conocer. Estos códigos proporcionan información del tamaño y dimensión del neumático como es el ancho de sección, relación de aspecto, tipo de construcción, diámetro del rin, presión máxima de inflado, avisos importantes de seguridad e información adicional.

La designación del tamaño del neumático dependerá de la codificación que se utilice. La codificación dependerá a su vez del sistema que se use, por ejemplo el Métrico, Métrico Europeo, Alfa-Métrico, Numérico, LT-Métrico y el de Flotación. Este código incluye letras y números los cuales tienen los siguientes significados:

- R** Neumático radial.
- B** Neumático con cinturón textil.
- D** Neumático convencional.
- P** Neumático para autos de pasajeros.
- T** Neumático para camiones (truck).
- LT** Neumático para camiones ligeros (camionetas).

El siguiente ejemplo muestra el costado de una llanta para automóvil en la Figura 1.4.

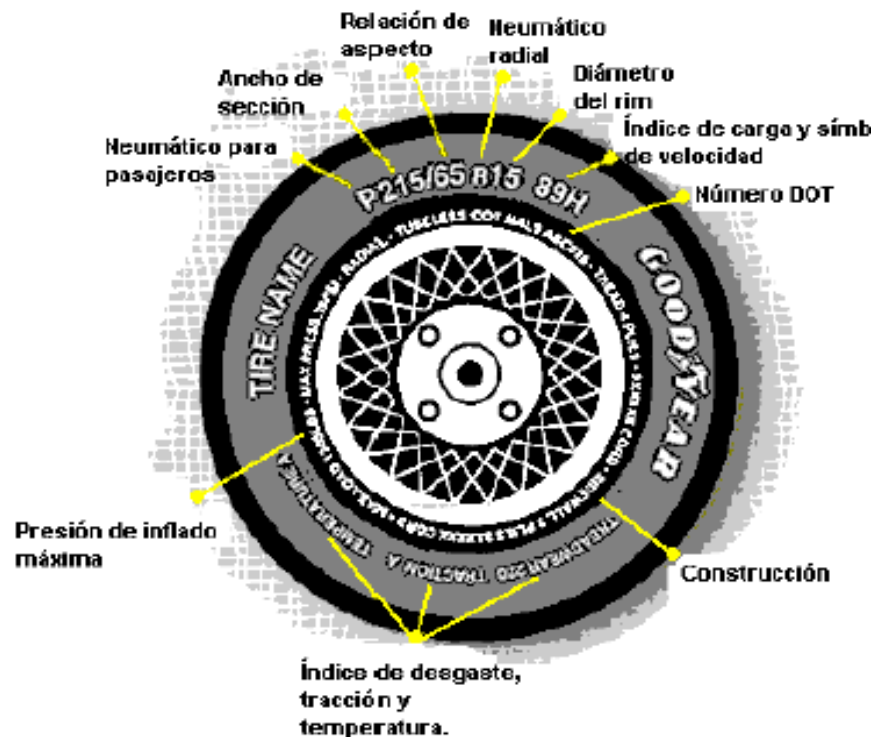


Figura. 1.4. Nomenclatura de un neumático

donde:

- P Indica el uso para automóviles de pasajeros.
- 215 Representa la anchura máxima entre costados de la llanta en milímetros.
- 65 Es la relación entre la altura y la anchura de la llanta y se le llama relación de aspecto.
- R Significa la construcción radial del neumático.
- 15 Es el diámetro del rin en pulgadas.

Algunos neumáticos especifican el servicio o bien muestran el índice de carga y la clasificación de velocidad. El índice de carga asigna números desde 0 hasta 279 que

corresponden a la capacidad de carga del neumático a su máxima presión de inflado. El símbolo de velocidad determina la máxima velocidad que el neumático puede alcanzar.

- 89 Especifica el índice de carga.
- H Símbolo de velocidad.

Los neumáticos también muestran la máxima presión de inflado en psi (libras por pulgada cuadrada), los factores de desempeño del neumático en cuanto al índice de desgaste, tracción y resistencia a la temperatura.

1.7.1. Índice de desgaste

El índice de desgaste del neumático es una clasificación comparativa con base en el valor de desgaste del neumático probada bajo condiciones controladas sobre una vía especificada. Así un neumático con grado 200 podrá durar dos veces más en el camino o vía de prueba bajo las condiciones de la prueba especificada que una de grado cien.

1.7.2. Tracción

La clasificación de los grados de tracción va de la mayor a la menor y son A, B y C. Estas representan la capacidad de las llantas para frenar sobre pavimento mojado, medida bajo condiciones controladas sobre superficies de prueba de asfalto y concreto.

1.7.3. Temperatura

La clasificación de los grados de temperatura va de la mayor a la menor y son A, B y C. Estas representan la resistencia de los neumáticos a la generación de calor por fricción al ser probadas en el laboratorio bajo condiciones controladas.

1.8. Clasificación del tamaño del neumático

1.8.1. Descripción de las dimensiones de los neumáticos

Esto se puede ver en la Figura 1.5.

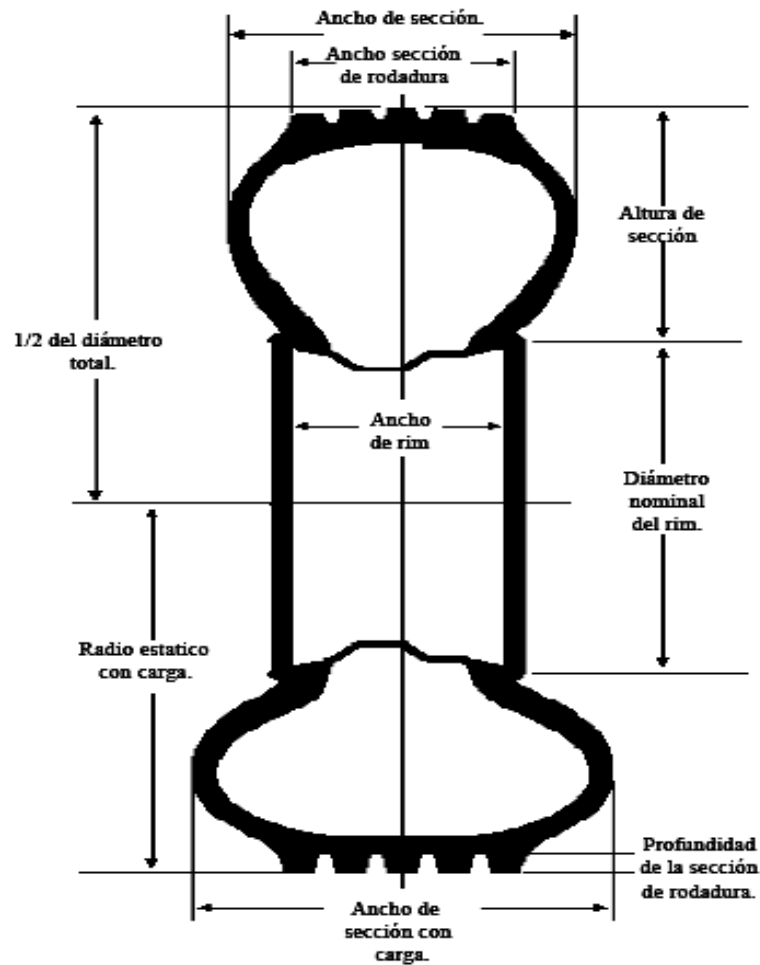


Figura. 1.5. Dimensiones del neumático

1.8.1.1. Diámetro total. Es la distancia medida desde un extremo de la banda rodante hasta el opuesto estando el neumático sin carga.

1.8.1.2. Ancho de sección. Es la medida de la sección transversal excluyendo rebordes del neumático.

1.8.1.3. Ancho de la sección de rodadura. Es la distancia que existe entre los extremos de la banda rodante estando el neumático sin carga.

1.8.1.4. Profundidad de la sección de rodadura. Es la mayor profundidad de la ranura existente entre la banda de rodamiento y su base.

1.8.1.5. Altura de sección. Es la distancia entre el asiento de ceja hasta la banda de rodamiento, estando el neumático sin carga.

1.8.1.6. Ancho de rin. Es la distancia transversal entre los costados del asiento de la ceja del rin.

1.8.1.7. Diámetro nominal de rin. Es el diámetro del rin medido desde el asiento de ceja hasta el extremo opuesto del mismo.

1.8.1.8. Radio estático con carga. Es la distancia entre el centro del eje del vehículo y la superficie de rodamiento estando el neumático soportando su máxima capacidad de carga.

1.8.1.9. Ancho de sección con carga. Es el ancho de sección máximo que el neumático obtiene al estar soportando su máxima capacidad de carga.

1.8.1.10. Espacio mínimo entre duales. Es la distancia mínima aceptada entre los centros de las ruedas en un arreglo dual.

1.8.1.11. Revoluciones por milla. Es el número de revoluciones que da el neumático en una milla (1 milla= 1609km) a una velocidad de 55mph (88km/h) y se indica en la pared lateral del neumático.

1.9. Cuidado de los neumáticos

1.9.1. Cuidado y mantenimiento de los neumáticos

Una vez que se ha seleccionado el neumático, debe cerciorarse de darle un mantenimiento adecuado. La duración de un neumático depende tanto de condiciones de uso como de las características propias del vehículo que la soporta. Algunos aspectos para prolongar la vida de los neumáticos y garantizar su seguridad podemos citar:

1.9.1.1. Alineación. Es un servicio indispensable para mantener la estabilidad y durabilidad del neumático. Debe hacerse aproximadamente cada 10,000 km. Una mala alineación suele ser la mayor causa de desgastes irregulares, sobre todo si el neumático presenta ángulos de convergencia y divergencia, según el caso. Si la dirección tiende a irse de un lado a otro y no regresa a su posición original después de un giro, con seguridad los neumáticos delanteros están desalineados.

1.9.1.2. Balanceo. Las llantas fuera de balanceo pueden perder miles de kilómetros de vida útil. Para lograr el mejor desempeño de una llanta es necesario que el peso del conjunto llanta-rin esté distribuido uniformemente. Una parte pesada en la llanta y el ensamble (conjunto llanta-rin) deberá ser balanceada con precisión.

Este es un procedimiento por medio del cual se ajustan los pesos de la llanta y del rin para mantener un equilibrio correcto entre ambos. Existen dos tipos de balanceo. El primero es el estático, en el cual se colocan pequeños pesos en el rin para contrarrestar este desequilibrio. El otro tipo es el dinámico que toma en cuenta la distribución del peso que debe añadirse a la rueda para lograr estabilidad. Si las ruedas no están balanceadas sufrirán desgaste prematuro, además de producir vibraciones e incomodidad al conducir.

1.9.1.3. Rotación de las llantas. Pasar los neumáticos del eje de tracción a los ejes de no tracción contribuye a aumentar su durabilidad y alargar su vida hasta en un 20%, siempre y cuando todos los neumáticos sean del mismo tipo. Es recomendable hacerlo entre los 5 mil y 10 mil kilómetros.

La técnica básica de rotación es un simple patrón “X” para automóviles y camionetas. En vehículos de tracción delantera por ejemplo, la llanta trasera izquierda va al lugar de la delantera derecha y la llanta trasera derecha a la delantera izquierda; las llantas delanteras se mueven directamente a la parte trasera. Lo contrario se aplica para vehículos de tracción trasera. Esto se puede observar en la Figura 1.6.

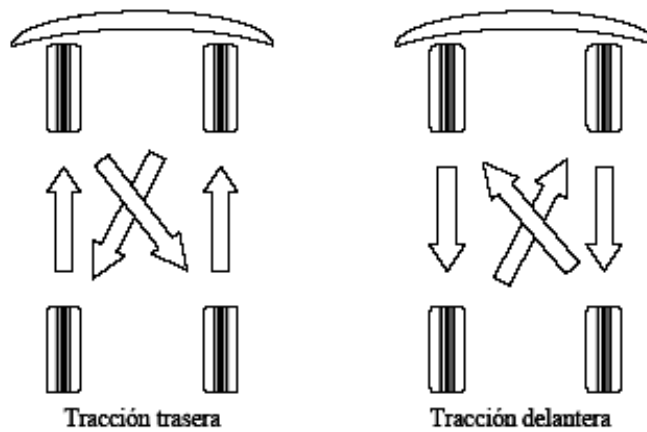


Figura. 1.6. Rotación de los neumáticos

En el caso de camiones y vehículos pesados, se recomienda aplicar la siguiente técnica como muestra la Figura 1.7.

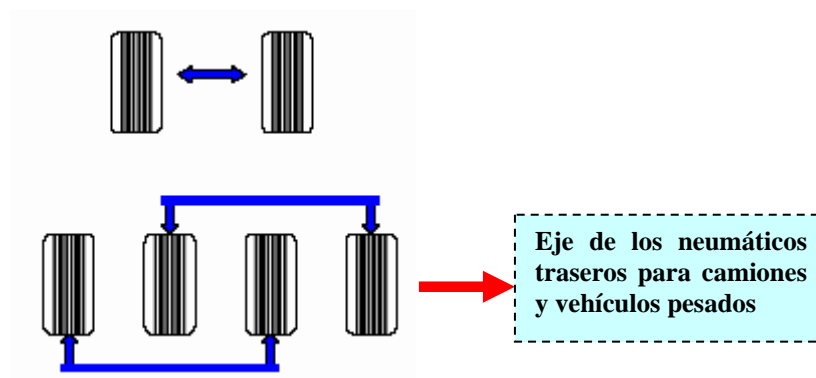


Figura. 1.7. Rotación de neumáticos para vehículos pesados

No se debe olvidar que la rotación deberá hacerse entre llantas del mismo tipo.

1.10. Problemas mecánicos

1.10.1. Convergencia

Esto significa que los bordes delanteros de las llantas delanteras o traseras están más cercanos entre sí que los bordes traseros, como se señala en la Figura 1.8. La convergencia contrarresta la tendencia de las llantas delanteras a divergir cuando un automóvil alcanza velocidades altas.

Todos los vehículos de transporte vienen con una convergencia positiva para que al estar en movimiento, las ruedas tiendan a quedar paralelas. Esto ocurre porque el eje delantero, al ser empujado, permite una abertura de las ruedas, dentro de los límites de operación de los componentes de la dirección. Por lo tanto si las terminales estuvieren flojas más de lo normal tenderán a abrirse más, generando convergencia negativa. Si el desgaste del neumático aparece a partir del hombro externo, indicará convergencia positiva en exceso.

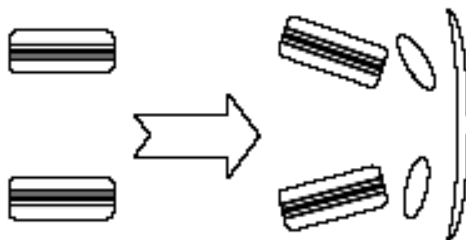


Figura. 1.8. Convergencia en un neumático

1.10.2. Divergencia

Significa que los bordes traseros de las llantas, ya sean del eje trasero o delantero, estarán más cerca entre sí que los bordes delanteros, como se indica en la Figura 1.9. La

divergencia se usa comúnmente en autos de tracción delantera para contrarrestar la tendencia a converger mientras se conduce a velocidades altas. Alguna divergencia es necesaria para que los automóviles giren.

El ángulo de divergencia en curvas, resultante de la inclinación de los brazos auxiliares del sistema de dirección, permite que la rueda interna en la curva, gire más que la externa, si las dos entrasen a la curva en paralelo, la rueda interna sufriría un arrastre lateral, de afuera hacia adentro.

Esto es debido a que la externa comanda la curva, dada la transferencia de peso sobre la misma y la interna no tendría otra salida que arrastrarse para acompañarla en la curva. Si se tienen averías en los brazos auxiliares, estarán afectadas la convergencia y la divergencia en curvas, ambas produciendo el mismo síntoma de desgaste en los neumáticos (desgaste escamado a partir de los hombros internos, en dirección al centro de la banda de rodamiento). Esto ocurrirá porque las ruedas se abrirán más de lo necesario.

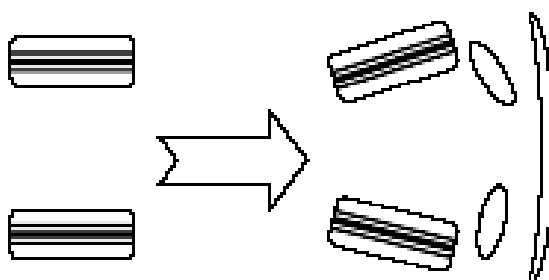


Figura. 1.9. Divergencia en un neumático

1.10.3. Camber

El camber es el ángulo que se forma por una parte una línea imaginaria de la rueda con una línea vertical y perpendicular al piso, como se indica en la Figura 1.10. El camber puede ser hacia dentro (camber negativo) o hacia fuera (camber positivo).

Todos los vehículos de transporte vienen con camber positivo, pues cuando el vehículo recibe su carga y es puesto en movimiento, la tendencia de las ruedas es de abrirse en la parte inferior. El ángulo de camber dado en el vehículo es calculado para que las ruedas queden lo más próximo de la vertical posible cuando ellas están en movimiento (sin quedar negativas), y es dado en la fundición del mango del eje. Por eso no es regulable.

Cuando el eje se desvía por sobrecarga, el camber queda negativo y el desgaste de los neumáticos se producirá a partir de los hombros internos, esto es porque las ruedas habrán quedado muy abiertas en la parte inferior.

El desgaste por camber incorrecto se acentúa en los hombros del neumático, no solo por la alteración de la distribución de peso, si no principalmente por generar dos diámetros diferentes dirigidos por el radio inferior, girando en torno al mismo eje. El diámetro menor tendrá que arrastrarse un poco más en cada vuelta para mantenerse acompañado con el mayor. Este desgaste, aunque es a partir de los hombros como en el caso de la convergencia, se diferencia por ser de tipo liso (arrastre direccional y no lateral).

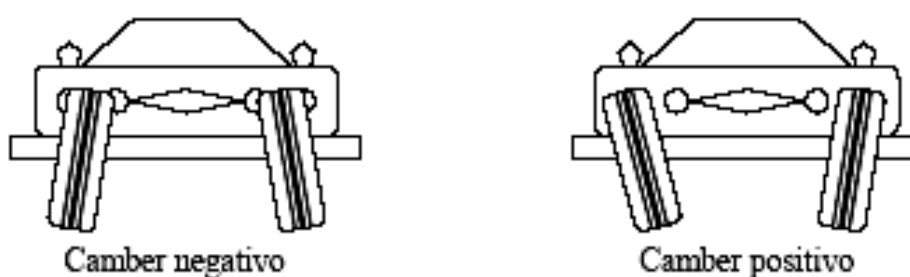


Figura. 1.10. Camber en un neumático

1.11. Recomendaciones para el inflado de los neumáticos

Una presión de inflado apropiada es la práctica más importante de mantenimiento para asegurar una larga vida del neumático. Si se utiliza los neumáticos recomendados por

el fabricante del vehículo entonces siempre mantenga la presión de aire indicada por el mismo. Si decide cambiar los neumáticos por otros que no son recomendados por el fabricante del vehículo, entonces tendrá que ajustarse a las indicaciones del fabricante del neumático.

1.11.1. Baja presión

Una gran cantidad de automovilistas circulan con los neumáticos por debajo de la presión correcta, lo que ocasiona inestabilidad durante la marcha, desgaste acelerado en los extremos de la banda de rodamiento, aumento en el consumo de combustible y baja respuesta en situaciones de frenado.

La baja presión de aire en los neumáticos genera un exceso de calor interno lo que ocasiona un decremento en la durabilidad de los materiales mismos. Por otro lado, el neumático tendrá un desgaste más pronunciado en los hombros, dado el contacto irregular de la banda de rodamiento con el pavimento, como se observa en la Figura 1.11.

Asimismo habrá también pérdida de la renovabilidad pues el desgaste de la carcasa o casco será mayor, inclusive se puede llegar a la pérdida prematura de la carcasa. El exceso de flexión en los costados debido a la baja presión lleva a la rotura circunferencial o agrietamiento en la carcasa.

Además la baja presión contribuye al incremento en el consumo de combustible ya que la banda rodante tiene mayor contacto con el pavimento lo que se traduce en una mayor resistencia al rodamiento.

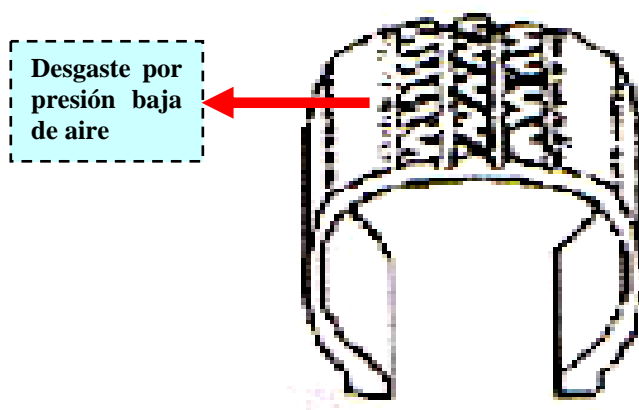


Figura. 1.11. Desgaste del neumático por presión baja de aire

1.11.2. Exceso de presión

Por el contrario si se transita con exceso de presión, la banda de rodamiento se desgasta en el centro, ya que es la única parte de su superficie que hace contacto con el suelo. Ello dificulta la maniobrabilidad y reduce la respuesta del sistema de dirección. Además esto repercute en la estabilidad general del automóvil.

Cuando la presión de aire del neumático es excedida, la durabilidad del mismo se reduce ya que propiciará que exista más aire caliente dentro del neumático. Se presenta un desgaste mayor en el centro del neumático, ya que el apoyo en este punto es mayor debido al arqueado que sufre la banda de rodamiento, como se señala en la Figura 1.12.

Con el exceso de presión, el neumático se torna más susceptible a daños por impacto. Su capacidad de absorción disminuye a razón inversa del aumento de la presión pudiendo sufrir roturas en la carcasa. El aspecto de seguridad se vera afectado debido a la poca deformación del neumático lo que ocasionará que no exista un buen contacto entre la banda y la superficie de rodamiento haciendo peligroso el manejo.

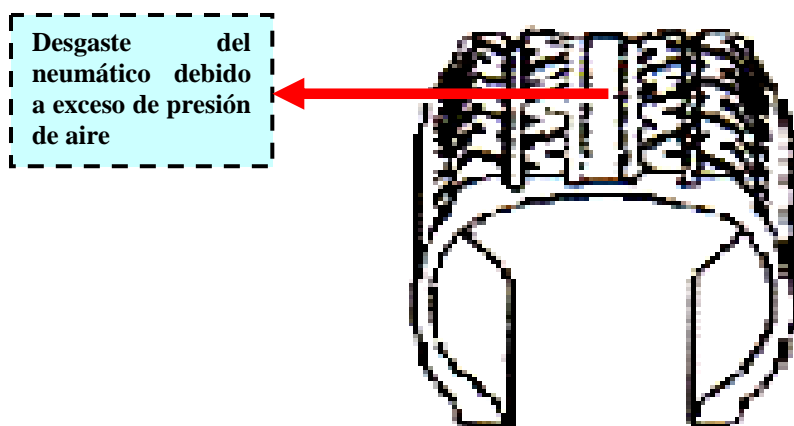


Figura. 1.12. Desgaste del neumático por exceso de presión de aire

1.11.3. Presión correcta

Cuando la presión es correcta, los neumáticos tienen mejor agarre, soportan mejor los baches y el peso de la carga, trabajan a temperaturas más bajas lo que evita un desgaste prematuro y lo más importante, contribuyen al ahorro de combustible.

Por ello es importante que siempre cheque el nivel de presión de los neumáticos. Se debe hacer cuando estos estén fríos ya sea cuando el vehículo haya recorrido menos de 1 Km, o bien 3 horas después de haber finalizado el recorrido. No se debe olvidar revisar también el neumático de repuesto.

Es recomendable revisar la presión por lo menos cada semana, cuando vaya a realizar un viaje con carga y/o antes de hacer un viaje largo.

1.11.4. Efectos de la sobrecarga

Algunas veces se confunde la sobrecarga con la falta de presión. La sobrecarga se da cuando el peso incidente sobre el neumático excede lo especificado en su capacidad de carga, independientemente de la presión con la cual puede estar. Como no se debe calibrar

al neumático con presión por arriba de la máxima indicada en la tabla para su capacidad de carga, normalmente los dos problemas se suman. Por esto, la sobrecarga puede dar como resultado pérdidas aún más acentuadas que la baja presión aislada.

El primer efecto de la sobrecarga es la pérdida de kilometraje. En la Figura 1.13 se observa que una sobrecarga de apenas el 10%, provoca una pérdida del 15% en la vida útil del neumático. Además, el consumo de combustible aumenta y pueden causar eventuales daños prematuros en la carcasa lo que provoca que no sean renovables.

Si se excede el límite de carga del neumático, ocasionará un exceso de presión. Esto provocará una especie de arco irregular del neumático, resultando también en una pérdida de contacto, tracción y adherencia, con desgaste más pronunciado en el centro de la banda de rodamiento. El neumático se vuelve, aún más susceptible a daños por impactos.

Por otra parte, una baja presión también ocasiona pérdida de vida útil del neumático. En la misma Figura 1.13, se observa que una falta de 20% de presión (80% de la presión especificada) lleva a una pérdida del 25% (75% de servicio) en el rendimiento del neumático.

Con la baja presión el neumático se flexionará y no tendrá un acoplamiento correcto con el suelo, desgastándose más en los hombros y perdiendo el contacto necesario para la tracción y adherencia adecuadas. La flexión pronunciada del neumático en movimiento aumenta su temperatura interna y el esfuerzo sobre la carcasa, causan además aumento de combustible y desgaste en la banda de rodamiento.

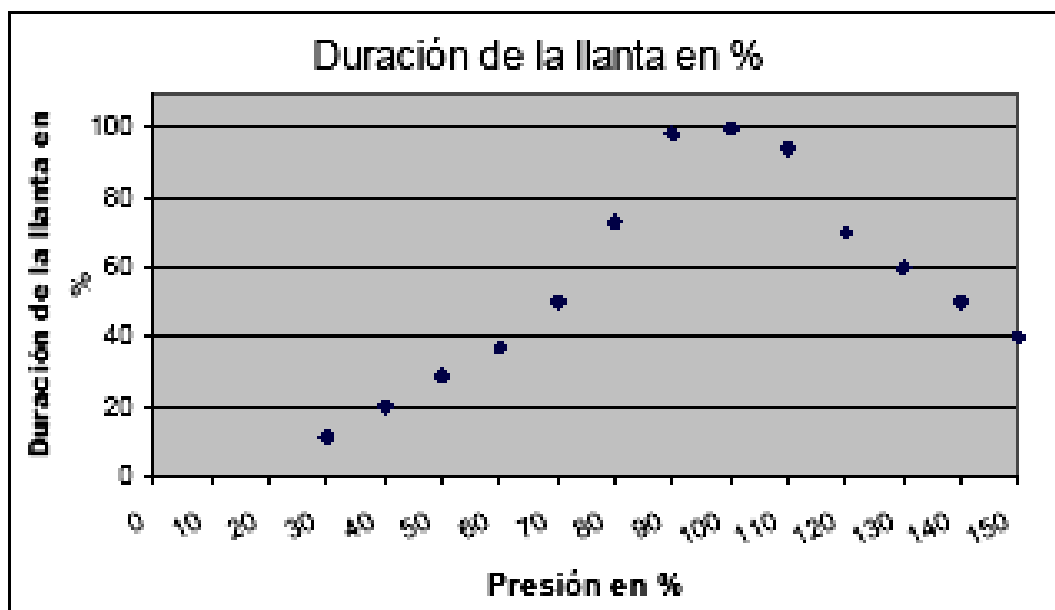


Figura. 1.13. Vida de duración de un neumático (%) Vs. presión (%)

1.12. Arreglos dobles

Cada llanta de un conjunto debe tener el mismo diámetro que su compañera. Si fueran diferentes, la de mayor diámetro quedará con una carga desproporcionada y la menor tendrá un asentamiento irregular sobre el suelo, presentado un desgaste multiescamado. Cuando existe un mal pareo entre los conjuntos en el mismo eje, la menor no sólo tendrá una carga desproporcionada, además dará un número mayor de vueltas para alcanzar a la mayor, lo cual provocará problemas.

Las llantas no deben tener diferencias mayores de 7 milímetros de diámetro o 21 milímetros de perímetro con relación a su pareja. El mal pareo por arriba del límite en ruedas dobles, causa exceso de carga en la llanta mayor y desgaste excesivo por arrastre en la menor.

Utilizar siempre neumáticos de la misma medida y del mismo tipo en ejes dobles. Tampoco monte llantas en rines con diferente medida al de la llanta. No mezclar

neumáticos radiales con convencionales en el mismo eje, debido a que éstas tienen comportamientos diferentes.

Además se debe considerar el espacio mínimo entre los neumáticos dobles que le recomienda el fabricante, ya que así evitaría calentamiento de las mismas traducándose en pérdida de vida útil de sus neumáticos.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

2.1 Componentes principales del sistema

El sistema de monitoreo ha implementarse está constituido por los siguientes componentes o subsistemas principales:

- Transmisor – sensor
- Receptor – dispositivo decodificador
- Interfaz visual

Todos los componentes del sistema estarán ubicados en diferentes localidades del automóvil como en el interior del neumático, parte externa del chasis del automóvil y en el panel de control. El componente transmisor-sensor basado en el rPIC12F675 estará ubicado en el interior del neumático, la parte de receptor-decodificador se instalará en un lugar cercano al neumático que contiene el transmisor-sensor y finalmente la interfaz visual que se colocará en el panel de control del automóvil.

La disposición de los componentes del sistema en el automóvil se puede apreciar en la Figura 2.1.

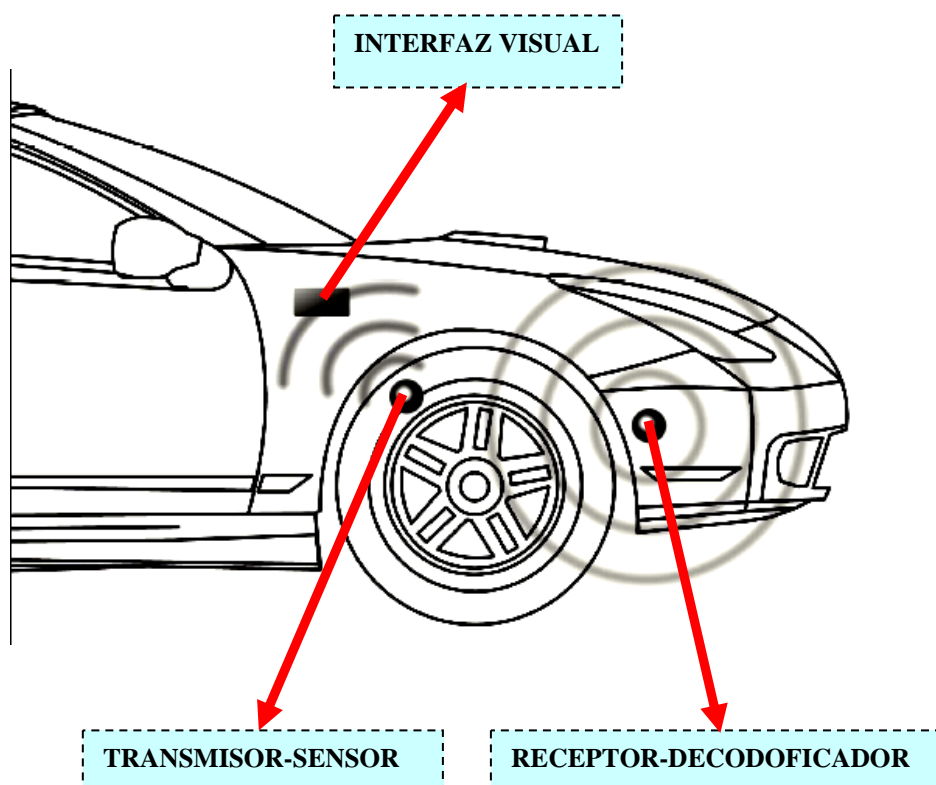


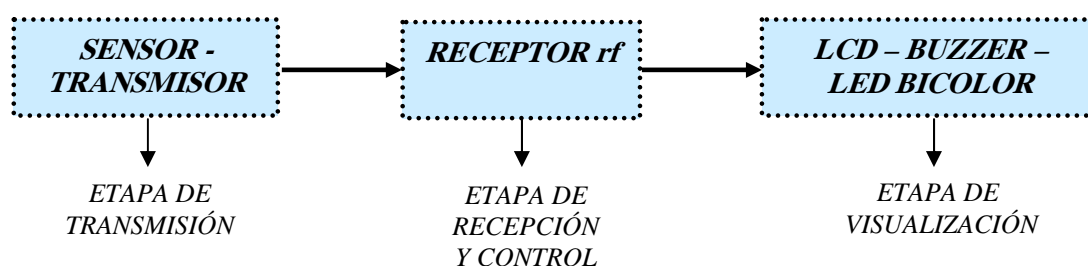
Figura.2.1. Ubicación de los componentes del sistema

2.2. Descripción general de las etapas del proyecto

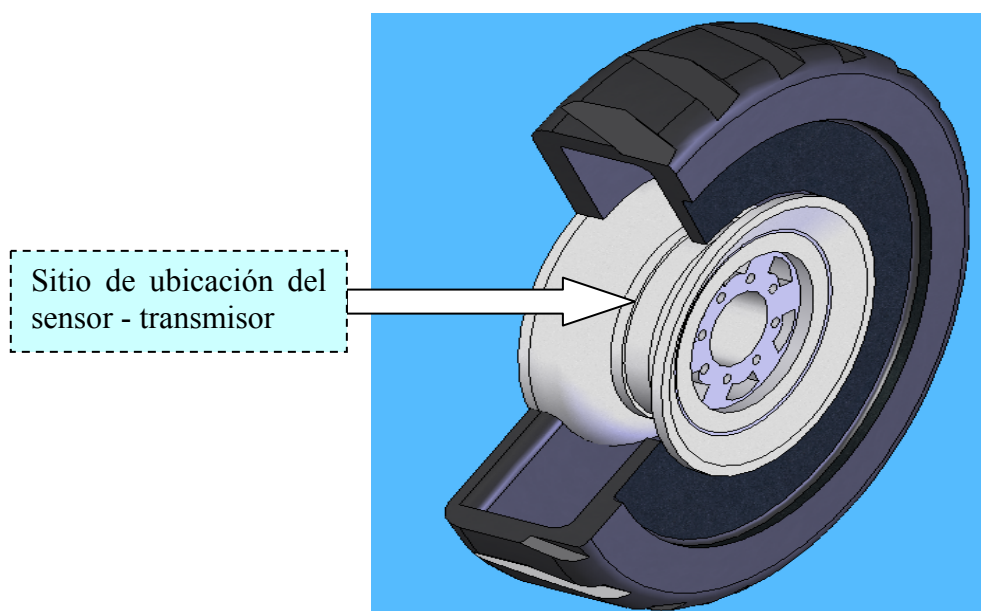
La aplicación de este proyecto consiste en monitorear la presión de aire en los neumáticos de automóvil con estos pics de radiofrecuencia. Esto se lo realizará con una tarjeta de transmisión, una tarjeta de recepción, un sensor de presión y una tarjeta de control, las cuales se detallarán con más detenimiento posteriormente.

Una primera etapa es la de transmisión, la cual estará conformada por una tarjeta de transmisión y un sensor de presión. El transmisor modulará las lecturas obtenidas por el sensor mediante modulación ASK a una frecuencia de portadora de 433.92 MHz. Este conjunto se ubicará en la parte interior del neumático debido a las características propias del sensor que requiere estar en el interior del neumático para que de esta manera realice las correspondientes mediciones de presión de aire existentes en el neumático.

Luego de tomar las mediciones, el conjunto transmisor- sensor envía estas mediciones vía radiofrecuencia hacia otra etapa llamada etapa de recepción, la cual tendrá la misión de recibir las mediciones y demodularlas para ser transmitir las a una etapa de control a través de un pin en forma serial. La etapa de control es la encargada de realizar la codificación y visualización de los datos de presión; esto se lo hará mediante un PIC, un display de cristal líquido LCD, un buzzer y un diodo emisor de luz LED bicolor. Estos tres últimos elementos se colocarán en el panel de control del automotor. El diagrama de bloques del sistema y lugar de ubicación del transmisor - sensor se indica en la Figura 2.2.



a)



b)

Figura. 2.2. a) Diagrama esquemático del sistema de monitoreo, b) sitio de colocación del sensor- transmisor

2.3. Características generales de los PIC de radiofrecuencia y sensor de presión

2.3.1. Descripción del dispositivo rfPIC12F675

El rfPIC12F675 es un microcontrolador que se ubica en la clasificación de la gama enana con relación a otro tipo de PIC. Tiene características muy similares a un PIC común y corriente, no obstante la diferencia principal radica en la etapa de radiofrecuencia de transmisión. Entre las características más relevantes de este PIC podemos citar:

- Posee un cristal interno de 4 MHz.
- Capaz de trabajar con cristal externo de 4 MHz.
- Capacidad de interrupciones.

Memoria:

- Memoria de programa FLASH de 8K x 14 bytes.
- Memoria EEPROM de 128 x 8 bytes.
- Memoria RAM de 64 x 8 bytes.
- Código de protección programable.
- Seis pines de entrada/salida bidireccionales, poseen weak pull-ups e interrupción por cambio en los pines.
- Comparador analógico.
- Conversor análogo-digital de 10 bits en cuatro canales.
- Timer 0: temporizador/contador de 8 bits con un prescaler de 8 bits.
- Timer 1: temporizador/contador de 16 bits con un prescaler de 3 bits.
- 100000 ciclos de escritura/borrado en memoria FLASH
- 1000000 ciclos de escritura/borrado en memoria EEPROM.

Transmisor UHF ASK/FSK

- Potencia de salida: +10 dBm a -12 dBm
- Tasa de datos en modulación ASK: 0 – 40 Kbps.

- Posee un cristal oscilador, VCO, filtro de lazo (loop filter) y un amplificador de potencia.

Este rfPIC12F675 es un PIC que se encuentra en la clasificación de la gama enana o baja (12FXXX) cuya principal característica es ser de reducido tamaño de con relación a otra clase de PICs. Se alimentan con un voltaje de corriente continua comprendido entre 2.5 V a 5 V, y consumen menos de 2 mA cuando trabajan a 5 V y 4 MHz. El formato de sus instrucciones puede ser de 12 o 14 bits.

2.3.1.1. Organización de la memoria de programa. El rfPIC tiene un contador de programa de 13 bits capaz de direccionar un espacio de programa de memoria de 8K x 14. Sólo los primeros 1K x 14(0000_h – 03FF_h) para el dispositivo rfPIC12F675 es físicamente implementado. El vector reset está en la dirección 0000_h y el vector interrupción está en la dirección 0004_h.

2.3.1.2. Organización de la memoria de datos. La memoria de datos está dividida en dos bancos, ver Figura 2.3 las cuales contiene Registros de Propósito General y Registro de Funciones Especiales. El registro de las funciones especiales están localizadas en las 32 primeras localizaciones de cada banco. Las localizaciones 20_h a 5F_h son para los registro de propósito general implementadas como RAM estática y mapeado a través de los dos bancos.

File Address		File Address	
Indirect addr. ⁽¹⁾	00h	Indirect addr. ⁽¹⁾	80h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h
PCL	02h	PCL	82h
STATUS	03h	STATUS	83h
FSR	04h	FSR	84h
GPIO	05h	TRISIO	85h
	06h		86h
	07h		87h
	08h		88h
	09h		89h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch
	0Dh		8Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh
TMR1H	0Fh		8Fh
T1CON	10h	OSCCAL	90h
	11h		91h
	12h		92h
	13h		93h
	14h		94h
	15h	WPU	95h
	16h	IOC	96h
	17h		97h
	18h		98h
CMCON	19h	VRCON	99h
	1Ah	EEDATA	9Ah
	1Bh	EEADR	9Bh
	1Ch	EECON1	9Ch
	1Dh	EECON2 ⁽¹⁾	9Dh
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh
ADCON0	1Fh	ANSEL	9Fh
	20h		A0h
General Purpose Registers 64 Bytes		accesses 20h-5Fh	
	5Fh		DFh
	60h		E0h
	7Fh		FFh
Bank 0		Bank 1	

 Unimplemented data memory locations, read as '0'.
 1: Not a physical register.

Figura. 2.3. Memoria de datos del rPIC12F675

2.3.1.3. Registros de configuración. Los registros a configurar son registros usados por el CPU del microcontrolador para controlar la operación deseada del dispositivo.

Entre los registros de configuración del microcontrolador más importantes podemos citar:

➤ **Registro STATUS**

Registro STATUS (03_h o 83_h)

IRP	RP1	RP0	\overline{TO}	\overline{PD}	Z	DC	C
bit 7							bit 0

bit 7 **IRP:** Bit reservado y debe mantenerse en cero.

bit 6 **RP1:** Bit reservado y debe mantenerse en cero.

bit 5 **RP0:** Bit de registro que selecciona el banco.

1 = Banco 1 (80_h - FF_h)

0 = Banco 0 (00_h - 7F_h)

bit 4 \overline{TO} : Bit de tiempo fuera

1 = Después de energía alta o de las instrucciones CLRWDT o SLEEP.

0 = Tiempo fuera en el WDT ocurrido.

bit 3 \overline{PD} : Bit de energía baja

1 = Después de energía alta o para la instrucción CLRWDT.

0 = Para la ejecución de la instrucción SLEEP.

bit 2 **Z:** Bit cero

1 = El resultado de una operación aritmética o lógica es cero.

0 = El resultado de una operación aritmética o lógica no es cero.

- bit 1 **DC:** Dígito bit de carry / $\overline{\text{borrow}}$
 Para las instrucciones ADDWF, ADDLW, SUBLW, SUBWF.
 Para *borrow* la polaridad es invertida.
 1 = Hay carry en el 4º bit menos significativo del resultado ocurrido.
 0 = No hay carry en el 4º bit menos significativo del resultado ocurrido.
- bit 0 **C:** Bit de carry / $\overline{\text{borrow}}$
 Para las instrucciones ADDWF, ADDLW, SUBLW, SUBWF.
 1 = Hay carry en el bit más significativo del resultado obtenido.
 0 = No hay carry en el bit más significativo del resultado obtenido.

➤ **Registro OPTION**

Registro OPTION (81h)

$\overline{\text{GPPU}}$	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
bit 7							bit 0

- bit 7 $\overline{\text{GPPU}}$: Bit habilitador de pull-up en GPIO.
 1 = GPIO pull-ups están deshabilitados.
 0 = GPIO pull-ups están habilitados por valores de puerto match
 individuales.
- bit 6 **INTEDG:** Bit selector de interrupción de flanco.
 1 = Se interrumpe por flanco ascendente en el pin GP2/INT.
 0 = Se interrumpe por flanco descendente en el pin GP2/INT.
- bit 5 **T0CS:** Bit de selección de reloj TMR0 de origen.
 1 = Transición en el pin GP2/T0CK1.
 0 = Instrucción interna de ciclo de reloj (CLKOUT).

- bit 4 **T0SE:** Bit de selección de origen del flanco TMR0.
 1 = Incrementa la transición de alto a bajo en el pin GP2/T0CK1.
 0 = Incrementa la transición de bajo a alto en el pin GP2/T0CK1.
- bit 3 **PSA:** Bit de asignación del escalador.
 1 = El escalador es asignado al WDT.
 0 = El escalador es asignado para el módulo TIMER0.
- bit 2-0 **PS2-PS0:** Bits de selección de la razón del escalador.

Tabla. 2.1. Selección del escalador

<i>VALOR DE BIT</i>	<i>RAZÓN DE TMR0</i>	<i>RAZÓN DE WDT</i>
000	1 : 2	1 : 1
001	1 : 4	1 : 2
010	1 : 8	1 : 4
011	1 : 16	1 : 8
100	1 : 32	1 : 16
101	1 : 64	1 : 32
110	1 : 128	1 : 64
111	1 : 256	1 : 128

➤ **Registro INTCON**

Registro INTCON (0B_h o 8B_h)

GIE	PEIE	TOIE	INTE	GPIE	TOIF	INTF	GPIF
bit 7							bit 0

-
- bit 7 **GIE:** Bit habilitador de la interrupción global.
1 = Habilita todas las interrupciones desenmascaradas.
0 = Deshabilita todas las interrupciones.
- bit 6 **PEIE:** Bit habilitador de interrupciones periféricas.
1 = Habilita todas las interrupciones periféricas desenmascaradas.
0 = Deshabilita todas las interrupciones periféricas.
- bit 5 **TOIE:** Bit habilitador de interrupción por desborde del TMR0.
1 = Habilita las interrupciones del TMR0.
0 = Deshabilita las interrupciones del TMR0.
- bit 4 **INTE:** Bit habilitador de interrupción externa del GP2/INT.
1 = Habilita la interrupción externa del GP2/INT.
0 = Deshabilita la interrupción externa del GP2/INT.
- bit 3 **GPIE:** Bit habilitador de interrupción por cambio de puerto.
1 = Habilita la interrupción por cambio de puerto en el GPIO.
0 = Deshabilita la interrupción por cambio de puerto en el GPIO.
- bit 2 **TOIF:** Bit bandera por interrupción de desborde del TMR0.
1 = El registro TMR0 tiene desborde (debe ser limpiado por software).
0 = El registro TMR0 no tiene desborde.
- bit 1 **INTF:** Bit Bandera de Interrupción externa en GP2/INT.
1 = Ocurrió una interrupción externa (se pone a cero por software).
0 = No ha ocurrido una interrupción externa en GP2/INT.
- bit 0 **GPIF:** Bit bandera de interrupción por cambio de puerto.
1 = Cuando en uno de los más pequeños entre los pines GP5-GP0 cambian de estado (se pone a cero por software).
0 = Ninguno de los pines GP5 a GP0 han cambiado de estado.

➤ **Registros GPIO y TRISIO**

Registro GPIO (05_h)

-	-	GPIO5	GPIO4	GPIO3	GPIO2	GPIO1	GPIO0	
bit 7								bit 0

bit 7-6 No implementado. Se lee como “0”.

bit 5-0 **GPIO:** Pines I/O de propósito general.

1 = Se habilita el puerto.

0 = No se habilita el puerto.

Registro TRISIO (85_h)

-	-	TRSIO5	TRSIO4	TRSIO3	TRSIO2	TRSIO1	TRSIO0	
bit 7								bit 0

bit 7-6 No implementado. Se lee como “0”

bit 5-0 **TRISIO:** Bit de control de tri-estado de I/O de propósito general.

1 = Pin GPIO es configurado como una entrada. (Tres estados).

0 = Pin GPIO es configurado como una salida.

Nota: TRISIO <3> siempre debe leer “1”.

➤ **Registro ANSEL**

Registro ANSEL - ANALOG SELECT REGISTER - (9Fh)

-	ADCS2	ADCS1	ADCS0	ANS3	ANS2	ANS1	ANS0
bit 7							bit 0

bit 7: No implementado. Se lee como "0".

bit 6-4 **ADCS:** Bit selector de reloj del conversor A/D.

000 = $F_{OSC/2}$.

001 = $F_{OSC/8}$

010 = $F_{OSC/32}$

x11 = F_{RC} (reloj obtenido del oscilador interno dedicado máx. 500 KHz)

100 = $F_{OSC/4}$

101 = $F_{OSC/16}$

110 = $F_{OSC/64}$

bit 3-0 **ANS3-ANS0:** Bit selector análogo.

Entre funciones análogas o digitales en los pines AN respectivamente.

1 = Entrada análoga. El pin es asignado como entrada análoga ⁽¹⁾.

0 = I/O digital. El pin es asignado para puerto o función especial.

2.3.1.4. Descripción de pines

- **GP0/AN0/CIN+**

El pin GP0 es configurable para que éste pueda funcionar como:

- I/O de propósito general.
- Una entrada análoga para el conversor A/D.
- Una entrada análoga para el comparador.

- **GP1/AN1/CIN-/VREF**

El pin GP1 es configurable para que éste pueda funcionar como:

- I/O de propósito general.
- Una entrada análoga para el conversor A/D.
- Una entrada análoga para el comparador.
- Una entrada del voltaje de referencia para el conversor A/D.

- **GP2/AN2/T0CKI/INT/COUT**

El pin GP2 es configurable para que éste pueda funcionar como:

- I/O de propósito general.
- Una entrada análoga para el conversor A/D.
- La entrada del reloj para el TMR0.
- Interrupción externa para la activación de flanco.
- Salida digital del comparador.

- **GP3/MCLR/VPP**

El pin GP3 es configurable para que éste pueda funcionar como:

- Una entrada de propósito general.
- Master Clear Reset.

- **GP4/AN3/T1G/OSC2/CLKOUT**

El pin GP4 es configurable para que éste pueda funcionar como:

- I/O de propósito general.
- Una entrada análoga para el conversor A/D.
- Entrada a TMR1.

- Conexión al cristal/resonador.
- Salida del reloj.

- **GP5/T1CKI/OSC1/CLKIN**

El pin GP4 es configurable para que éste pueda funcionar como:

- I/O de propósito general.
- Entrada de reloj a TMR1.
- Conexión al cristal/resonador.
- Entrada del reloj.

2.3.1.5. Modulación ASK. En modulación ASK son transmitidos variando la potencia de salida. El pin DATAASK habilita el PA (amplificador de potencia), conmutando este pin cambia la salida de radiofrecuencia ya sea para prendido a apagado. En modo ASK, los pines DATA_{FSK} y FSK_{OUT} no son utilizados, y ambos pines se deben conectar a tierra.

Un ejemplo de un circuito típico de modulación ASK es indicado en la Figura 2.4.

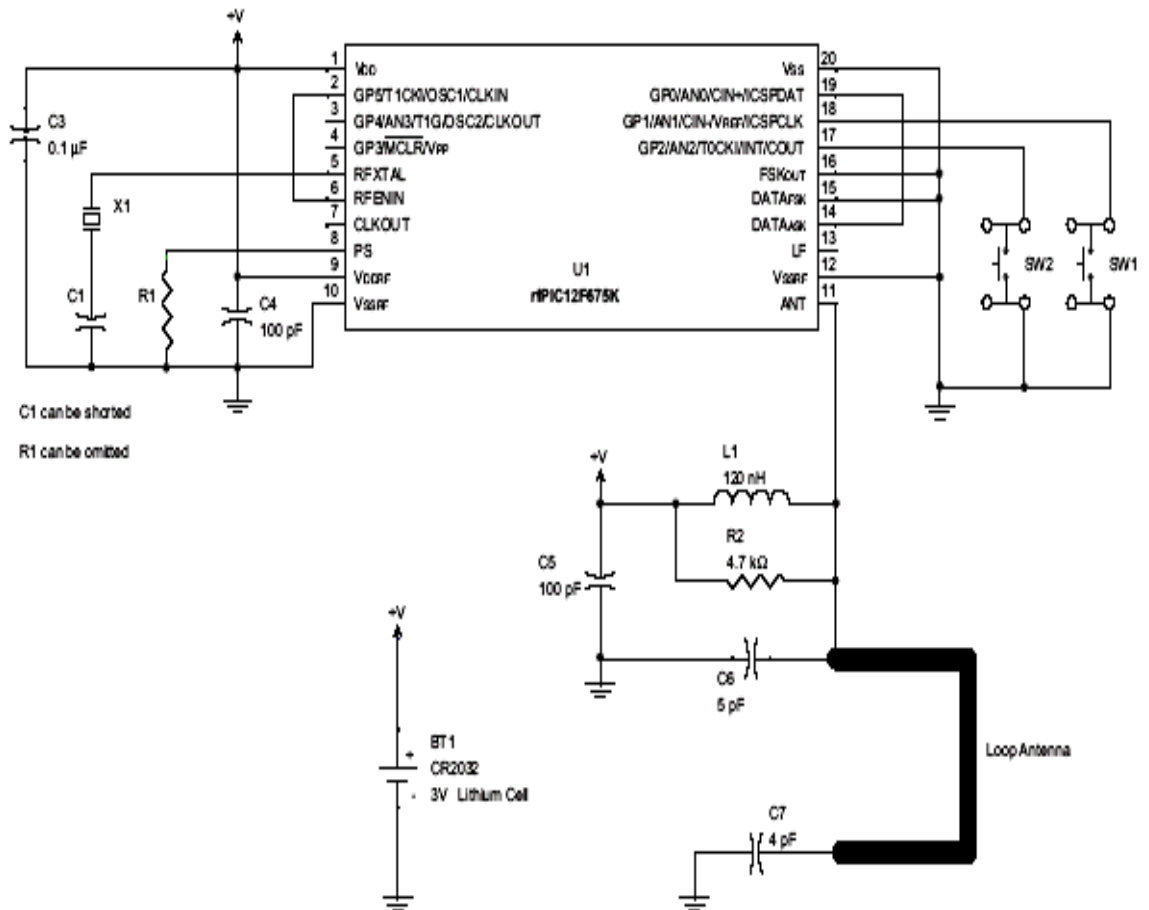


Figura. 2.4. Esquema de un transmisor ASK típico

2.3.2. Descripción del receptor rRXD0420

Los microcontroladores receptores rRXD0420/0920 son de bajo costo, frecuencia de radio de recepción de corto rango compacta por lo que requiere un mínimo de componentes externos para un sistema de recepción completa. El rRXD0420 cubre la frecuencia recibida en el rango de 300 MHz a 450 MHz, en cambio el rRXD0920 cubre las frecuencias de 800 MHz a 930 MHz. El rRXD0420 y rRXD0920 comparten una arquitectura común. Estos están configurados para trabajar en la modulación ASK y FSK o modulación FM. Los rRXD0420 y rRXD0920 compatibles con los rPIC y la serie de rHCS de los transmisores de RF.

Entre las características principales de este dispositivo podemos citar:

- Arquitectura del receptor de conversión superheterodino simple de bajo costo.
- Compatible con los transmisores RF de las series rfPIC y rfHCS.
- El rango de frecuencia recibida es, ver Tabla.2.2:

Tabla 2.2. Rango de frecuencias de los rfRXD0420/920

<i>DISPOSITIVO</i>	<i>RANGO DE FRECUENCIA</i>
rfRXD0420	300 MHz – 400 MHz
rfRXD0920	800 MHz – 930 MHz

- Máxima tasa de datos:
 - ASK: 80 Kbps NRZ
 - FSK: 40 Kbps NRZ
- Rango de la frecuencia intermedia: 455 KHz a 1.4 MHz.
- Rango del indicador de potencia de la señal recibida (RSSI): 70 dB.
- Máxima modulación en frecuencia FM: 15 KHz.
- Bajo consumo de corriente en modo standby o modo activo
 - rfRXD0420
 - 8.2 mA
 - < 100 nA en standby.
 - rfRXD0920
 - 9.2 mA
 - < 100 nA en standby.

- Amplio rango de temperatura:
 - -40 °C a + 85 °C.

Aplicaciones

- Comando y control remoto inalámbrico.
- Sistemas de seguridad inalámbricas.
- Para baja potencia de telemetría.
- En receptores FM de baja potencia.
- Automatización de casas.
- Sensores remotos.

La antena de este dispositivo tiene una impedancia típica de 50 Ω . La longitud de la antena debería ser un cuarto de la longitud de onda (λ) de la frecuencia recibida. La impedancia típica de un cuarto de longitud de onda de una antena alámbrica es de 36 λ . Por ejemplo, la longitud de onda de 433.92 MHz es:

$$\lambda = \frac{c}{f_R}$$

donde:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m / s}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{433.92 \text{ MHz}} = 0.69 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$0.25 \lambda = 17.3 \text{ cm o } 6.8 \text{ pulgadas}$$

2.3.3. Sensor de presión SP12T

2.3.3.1. Descripción. El sensor de presión para aire SP12T tiene la capacidad para trabajar en el rango de 50 a 1400 KPa. Este sensor tiene una interfase serial digital para la comunicación con microcontroladores. Está provisto de 14 pines pequeños además no requiere componentes externos. El SP12T puede ser utilizado para mediciones de presión, temperatura y voltaje de alimentación. En la Figura 2.5 se indica el diagrama de bloques del SP12T.

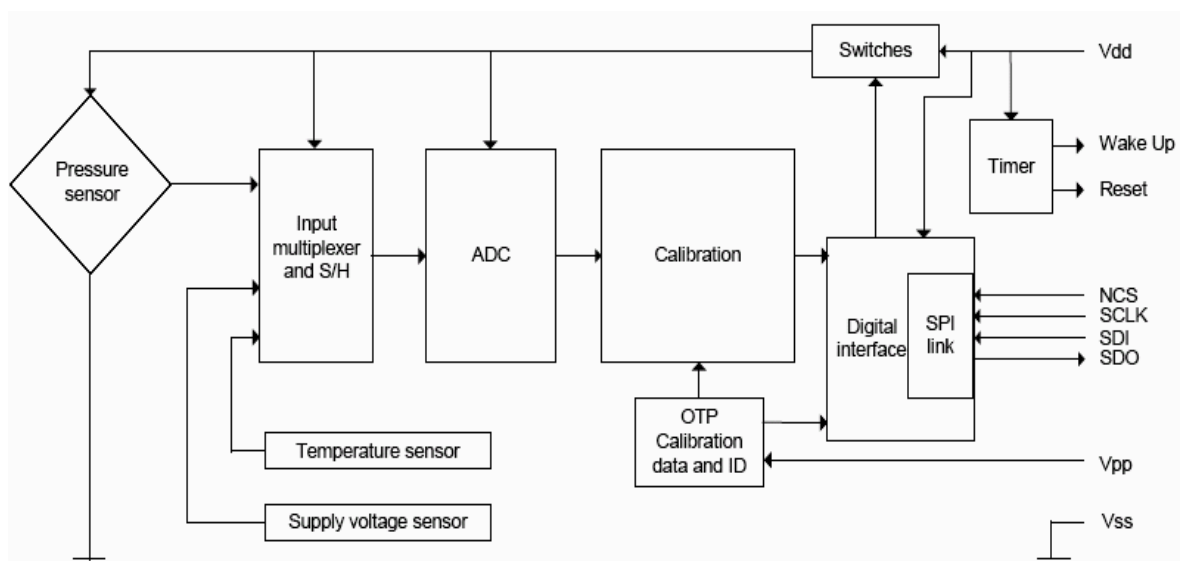


Figura 2.5. Diagrama de bloques del SP12T

2.3.3.2. Valores de operación máximos y mínimos del SP12T. Estos valores se muestran a continuación en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Valores máximos de las variables del SP12T

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Presión de entrada		3300	KPa
Temperatura de almacenamiento	- 40	150	°C
Temperatura en aplicación	- 40	150	°C
Temperatura en aplicación, pasajera	- 140	175	°C
Voltaje de alimentación	- 0.3	6.0	V
Voltaje de entrada, cualquier pin	- 0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
Protección, match up	- 100	100	mA
Protección de ESD (máquina)	- 200	200	V
Protección de ESD (hombre)	- 2	2	V
Choque mecánico		2000	g
Aceleración estática		2000	g

donde:

- **ESD:** Descarga electrostática
- **g:** gravedad $- 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right]$

2.3.3.3. Condiciones de operación recomendadas. Estos valores se señalan en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Valores de operación recomendados

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidades
Rango de temperatura, operacional	- 40	125	°C
Voltaje de alimentación durante la medición	2.1	3.6	V
Voltaje de alimentación entre mediciones	1.8	5.5	V
Presión de entrada	50	1400	V

La temperatura leída por el SP12T tiene una desviación de la temperatura actual, misma que se corrige por la ecuación:

$$\Delta T_{corr} = -0.92 + 0.004 * T_{SP12T} + 0.0002 * T_{SP12T}^2$$

donde: T_{SP12T} es la temperatura reportada por SP12T, y

ΔT_{corr} es la temperatura de corrección

ΔT_{corr} debe sustraerse de la temperatura reportada del SP12T para obtener una mayor exactitud.

2.3.3.4. Salidas wake up y reset. El SP12T está provisto de dos salidas, Wake up y Reset, las cuales pueden ser usadas como una interrupción o reset para el microcontrolador. Cada salida proporciona un pulso en intervalos constantes. Las señales de salida del wake up y reset son activadas con señales en bajo.

El SP12T tiene dos osciladores: uno de baja potencia que oscila en los 2.5 KHz se usa para medir los intervalos de tiempo, y un oscilador de 2 MHz usadas para las mediciones y transmisión de datos. Debido al uso de estos dos osciladores conlleva a obtener un bajo consumo de corriente.

Debido a esto existe un bajo consumo de corriente, el oscilador de baja potencia es sensible tanto a la variación de temperatura como a la variación del voltaje de alimentación. Para mantener longitudes constantes en los intervalos de tiempo bajo diferentes condiciones, el oscilador de baja potencia es comparado con el oscilador de 2 MHz durante cada medición y la corrección es aplicada a la cuenta en que sucede el intervalo. Toda esta operación se denomina auto calibración. La estabilidad del intervalo de tiempo depende del cambio en la temperatura o voltaje de alimentación desde la última medición.

2.3.3.5. Protocolo SPI. La interfase SPI es un protocolo de comunicación para microcontroladores externos, en la que la máxima frecuencia del reloj serial es de 500 KHz.

Este protocolo, utiliza cuatro pines para la transferencia de datos que se detallan a continuación: un pin habilitador o enable (NCS), pin para la señal de reloj (SCLK), un pin para el envío de información (SDO) y uno para la recepción de información. (SDI), es decir mantiene una comunicación full duplex entre el master que en nuestro caso es el PIC transmisor con el esclavo, el sensor. El envío de datos se efectúa en cada flanco ascendente de reloj mientras tanto que la recepción de datos se ejecuta en cada flanco descendente de reloj.

Cuando el NCS está en alto cualquier señal en los pines SCLK y SDI son ignorados, y SDO es llevado a un estado de alta impedancia.

Durante la transición de alto a bajo en NCS, la palabra de respuesta del protocolo SPI es multiplexado desde el latch(es) que fue (fueron) definidos por el último comando presente en el registro de desplazamiento. El pin SCLK debe estar en bajo cuando NCS cambia a bajo.

En cada flanco ascendente del reloj después que NCS ha ido a nivel bajo, la palabra resultante es serialmente desplazada hacia fuera del sensor por el pin SDO, se empieza por el bit menos significativo, LSB.

En cada flanco descendente de reloj luego que NCS ha ido a nivel bajo, la nueva palabra resultante se envía en forma serial al sensor a través del pin SDI, empieza por el bit menos significativo, LSB.

Los bits de comando de la palabra del protocolo SPI recibida se decodifican para determinar la dirección de destino de los bits de datos. Una vez que ha transcurrido el octavo flanco descendente, la siguiente transición de bajo a alto en NCS causa que los bits almacenados en el registro de desplazamiento SP12T se transfieran al interior del latch cuya dirección fue codificada desde los bits de comandos del SPI del registro de desplazamiento

Si el número de pulsos de reloj antes de que NCS vaya a alto son diferentes a 0, 8 o 16, un filtro digital impide la ejecución del comando recibido. (Un pulso válido con cero pulsos de reloj causará que el anterior comando sea ejecutado una vez más).

El Indicador de falla de Status (FSI) realiza la operación lógica OR de todos los bits del registro STATUS, a excepción del sexto bit. El FSI está presente en el pin SDO luego que NCS ha ido a bajo y antes que SCLK vaya a alto, esto se indica en la Figura.2.6.

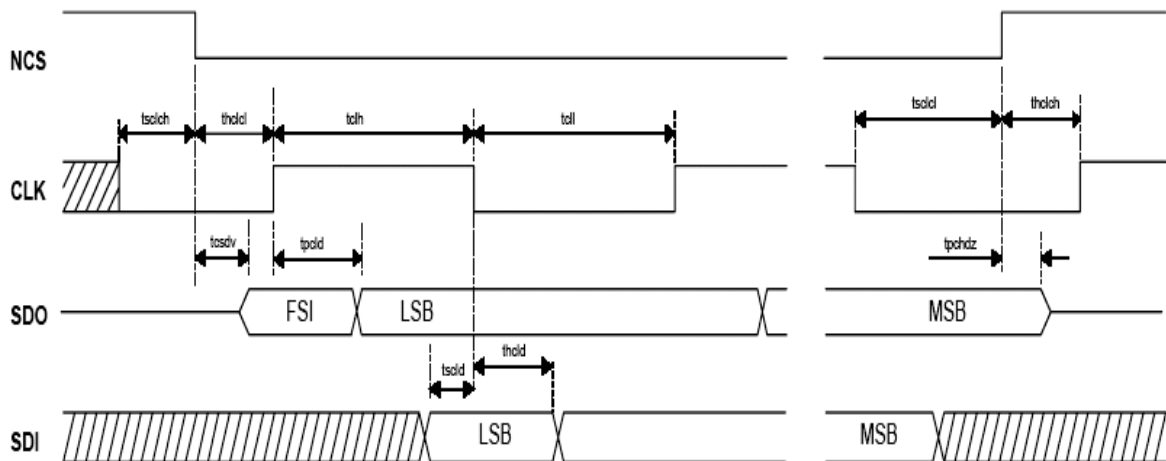


Figura 2.6. Diagrama de tiempos del protocolo SPI

El FSI es válido solamente antes del byte respuesta que contiene los valores de las mediciones resultantes. Si la señal FSI se encuentra en alto, por lo menos uno de los bits de error en el byte de STATUS puesto a “1”, y las mediciones deben ser reejecutadas.

Este protocolo tiene una cierta similitud con el protocolo I²C, el cuál a diferencia del protocolo SPI el I²C utiliza solamente tres pines para transferir datos los cuales son: a) un pin habilitador o enable, b) un pin para la señal de reloj y, c) uno para el envío y recepción de datos. Para ejecutar la transferencia de datos se debe definir si se desea enviar o recibir información, esto se lo puede llevar a cabo mediante las instrucciones de:

DIRECCIÓN	OPERACIÓN	DATOS
-----------	-----------	-------

Entonces si se requiere enviar datos, como primer paso se debe enviar una dirección en donde se va a almacenar la información, luego se define la operación a realizar, que para el caso corresponde a una operación de escritura y finalmente el envío de la información.

Pero si se desea recibir datos el único cambio respecto a lo anterior está en el tipo de operación a realizar; es decir, una operación de lectura.

2.3.3.6. Comandos del protocolo SPI. Los comandos esperados con un byte de datos adicional están señalados con una letra “A” en la dirección de la columna. En aquellos comandos en los que se requieren de este byte de datos adicional, tanto el byte como el comando deben ser enviados como una palabra de 16 bits, con el NCS en bajo para 16 ciclos de SCLK. Si NCS cambia a alto entre el byte de dato y el comando, el byte de dato será interpretado como un comando separado. En la Tabla 2.5 se presenta los comandos del protocolo SPI para el sensor SP12T.

Tabla 2.5. Comandos del protocolo SPI

<i>COMANDO</i>	<i>CÓDIGO</i>	<i>DIR</i>	<i>RESPUESTA</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
MEASURE_P	00110001		Lee el código del comando de atrás	Lectura de presión
RCPDH	00101100		Dato de presión compensado, byte alto	Debe ser leído primero (antes del byte bajo)
RCPDL	00101101		Dato de presión compensado, byte bajo	Debe ser leído segundo (después del byte alto)
RRPDH	00001000		Dato crudo de presión, byte alto	Lee los datos crudos de presión, byte alto
RRPDL	00000100		Dato crudo de presión, byte bajo	Lee los datos crudos de presión, byte bajo
READIDH	00111101		Identificador (ID), byte alto	Lee el identificador, byte alto
READIDM	00111000		Identificador (ID), byte medio	Lee el identificador, byte medio
READIDL	00110100		Identificador (ID), byte bajo	Lee el identificador, byte bajo
MEASURE_T	10101101		Lee el código de comando de atrás	Lectura de la temperatura
RCTMP	10110000		Dato de temperatura compensada	Lee la temperatura compensada
MEASURE_B	00100101		Lee el código de comando de atrás	Lectura del voltaje de alimentación
RCBD	00101001		Dato del voltaje de alimentación compensada	Lee el dato de alimentación compensada
RSR	10110101		Registro STATUS	Lee el registro STATUS
READ	10111000	A	Un byte del registro	Lee un byte del

			SHADOW	registro SHADOW
OTP_PWR	11110110	A	Lee el código de comando de atrás	Prende / apaga la energía del OTP
READDR	11000001	A	Lee el registro en direcciones aplicadas	Lee la dirección aplicada (prueba del SPI)
STANDBY	00000001		Última respuesta repetida	Va a modo standby y transfiere al módulo de transmisión la respuesta de la medición del comando anterior
LDOTP	10111100		Lee el código de comando de atrás	Reset del SP12T: carga el contenido de OTP al registro Shadow
SETWK	00101110	A	Lee el código de comando de atrás	Coloca un intervalo de longitud del Wake up en la dirección de campo (1-256 seg)
GETWK	00101111		Valor programado del intervalo del wake up	Lee la longitud anterior del intervalo de Wake up

Si un comando no válido es recibido, no se realizará ninguna acción y en la palabra de respuesta serán asignados todos los bits a “0” (cero HEX). Los tres bytes del código de identificación son programados en la PROM del SP12T.

2.3.3.7. Byte de STATUS. El detalle de los bits que conforman el byte del registro STATUS se indica en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Contenido del byte de STATUS

<i>BIT</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>NOTA</i>
0	Desborde/no Desborde	ADC o compensación
1	Error de paridad en los datos PROM	
2	Control de error en el registro SHADOW	
3	Recargar la PROM / RESET interno	Se pone a “1” durante el RESET y la recarga de la PROM (use la secuencia completa del RESET)
4	Medida no especificada debido al bajo voltaje de alimentación	0: Voltaje de alimentación correcta 1: Voltaje de alimentación bajo ($V_{DD} < 2.1$)
5	Falla en el sensor (falla mecánica en el sensor o daño en circuitería interna)	0: No error 1: Sensor de presión o circuito interno dañado
6	No se usa	
7	Medición en progreso	0: Medición completada (dato puede ser leído) 1: Medición en progreso (dato no está disponible)

2.3.3.8. Byte de presión. La presión, en KPa, es obtenida multiplicando el valor en este byte por la resolución de la presión y sustrayendo la cantidad de cincuenta (50 KPa) que es el valor del offset del sensor. La resolución típica de la presión es 2.97 KPa / lsb para una temperatura entre de -40 a 125 °C y un voltaje de alimentación entre 2.1 a 3.6 V.

2.3.3.9. Byte de temperatura. La temperatura, en °C, se obtiene restando 50 del valor de este byte.

2.3.3.10. Byte de voltaje de alimentación. El voltaje de alimentación, en voltios, se obtiene multiplicando el valor en este byte por 0.0184, y sumando 1.73.

2.3.3.11. Características de entradas/salidas digitales. Estas características se resumen en la Tabla.2.7.

Tabla 2.7. Características de las de entradas/salidas digitales

Parámetro		Especificación			Condiciones ambientales		
	Unidad	Mín.	Típico	Máx.	Temperatura oC	Voltaje de alimentación VDD [V]	Máx. corriente de carga [mA]
Entrada lógica en bajo (VIL)	V			0.2 - V_{DD}	- 40 a 125	1.8 – 3.6	
Entrada lógica en alto	V	$0.8 - V_{DD}$			- 40 a 125	1.8 – 3.6	
Fuga en la entrada	μA	- 1		1	- 40 a 125	1.8 – 3.6	
Salida lógica en bajo	V		0.1	0.2	- 40 a 125	1.8 – 3.6	1
Salida lógica en alto	V	$V_{DD} - 0.25$			- 40 a 125	1.8 – 3.6	1

2.3.3.12. Corriente de mantenimiento. Es la corriente generada por el SP12T cuando solamente el oscilador de baja potencia (2 KHz) y el contador de intervalo se están ejecutando.

2.3.3.13. DATA PROM. La PROM contiene la calibración de datos y el código de identificación (ID). Este es leído en el power-on reset, cuando el contenido se ha copiado al registro SHADOW. La PROM contiene un bit de paridad. Si sucede un error en la paridad durante la lectura de la PROM, el SP12T entrará al estado de recarga en la PROM.

2.3.3.14. Recarga de la PROM. En este estado, el SP12T leerá el contenido de la PROM de nuevo en intervalos de 1 segundo hasta tener una lectura completa en forma exitosa.

La lectura de la PROM puede fallar por dos razones:

- Error en la paridad en la DATA PROM
- Lectura interrumpida debido a un voltaje de alimentación inferior mínimo requerido para la operación de lectura.

El FSI se pondrá en “1” si un comando es activado (vía protocolo SPI) mientras el SP12T está en el estado de recarga de la PROM.

2.3.3.15. Registro de protección SHADOW. Inmediatamente después de copiar el contenido de la PROM al registro SHADOW, el dato es almacenado y verificado en cada ciclo de medición de aquí en adelante. Si se detecta un error, el SP12T entrará al estado de recarga de la PROM.

2.3.3.16. Voltaje de alimentación bajo. Un voltaje de alimentación inferior a 2.1 V (nominal) tiene dos consecuencias:

- Interrupción en la lectura de la PROM
- Las mediciones realizadas no son garantizadas

El SP12T usa un circuito separado con una señal de salida, llamada VMIN, para detectar esta condición. $VMIN = 1$ ocurrirá si $VDD < 2.1 \pm 0.1$ V.

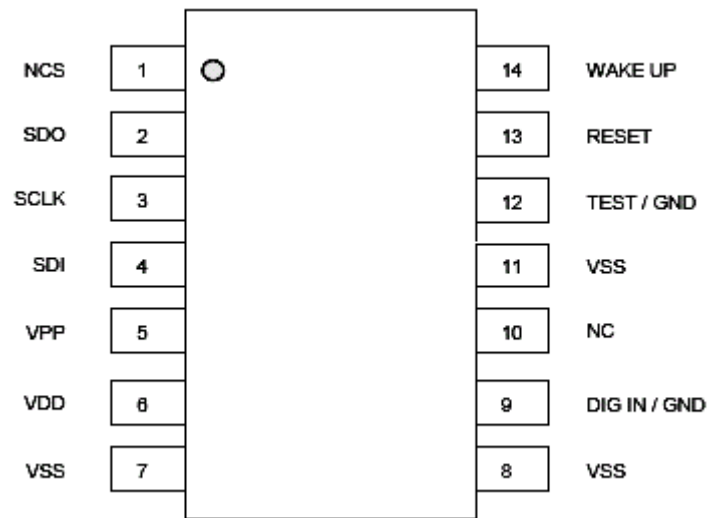
Si el voltaje de alimentación es la causa para que la información en el registro shadow se altere, el SP12T entrará al estado de la recarga de la PROM.

2.3.3.17. Temperatura alta. Si una alta temperatura causa que la información en el registro shadow se altere, el SP12T entrará al estado de recarga de la PROM.

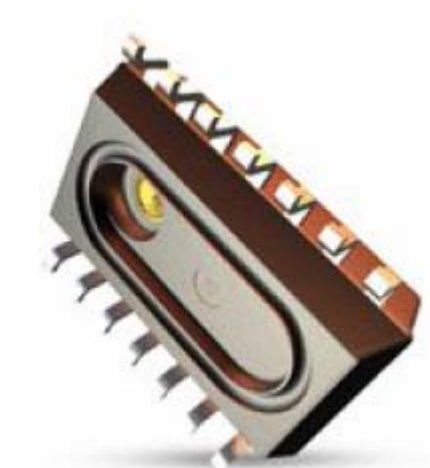
2.3.3.18. Descripción de pines del SP12T. Esta descripción se detalla en la Tabla 2.8 y en la Figura 2.7.

Tabla 2.8. Descripción de pines del SP12T

<i>PIN N°</i>	<i>NOMBRE</i>	<i>FUNCIÓN</i>	<i>NOTA</i>
1	NCS	Chip Select (se activa en bajo)	
2	SDO	Salida de dato serial	
3	SCLK	Entrada de reloj serial	
4	SDI	Entrada de dato serial	
5	VPP	Voltaje de programación	No conectar
6	VDD	Voltaje de alimentación	
7	VSS	Conectar a tierra	A tierra en aplicación
8	VSS	Conectar a tierra	A tierra en aplicación
9	DIG IN/GND	Entrada digital de fabricación	A tierra en aplicación
10	NC	No se usa	A tierra en aplicación
11	VSS	Conectar a tierra	A tierra en aplicación
12	TEST/GND	Prueba de fabricación	A tierra en aplicación
13	RESET	Reset a la señal de salida	
14	WAKE UP	Wake up a la señal de salida	



a)



b)

Figura 2.7. a) Distribución de pines del SP12T, b) Aspecto físico del SP12T

CAPITULO 3

DISEÑO TÉCNICO

3.1. Aspectos generales

La aparición de los microcontroladores ha dado lugar a que el campo tecnológico haya dado un paso considerable hacia un mundo contemporáneo capaz de satisfacer aún más las diferentes exigencias que propone las facetas socio-económicas en los tiempos actuales.

Los microcontroladores más comunes son una excelente herramienta para desarrollar un sin número de aplicaciones a nivel industrial, comerciales, o domésticas por ser flexibles, económicos y estar al alcance del usuario en el mercado comercial. No obstante, estos microcontroladores pueden no cubrir ciertos requerimientos como por ejemplo la ubicación de éstos en ciertos sitios donde no son accesibles, tal es el caso del interior de un neumático de automóvil.

En vista de tal situación y de algunas otras existentes que pueden darse, los fabricantes de los microcontroladores han tratado de suplir tal necesidad mediante la creación de microcontroladores de radiofrecuencia, como es el caso de la compañía MICROCHIP con su producto PICs de radiofrecuencia.

Es por esto que en el presente se tiene el propósito de hacer uso de esta gama de microcontroladores no muy conocidas en nuestro medio, para de esta manera proporcionarnos una visión más extensa del alcance y bondades de dichos dispositivos electrónicos.

Desafortunadamente el proyecto fue implementado para un solo neumático en razón de la adquisición de un solo sensor de presión. Esto se debe a que el fabricante del sensor SP12T utilizado en el proyecto no facilitaba estos dispositivos a usuarios particulares a menos que sea para empresas automotrices grandes a nivel internacional y con un número mínimo de dispositivos a adquirir de 800 unidades.

La elección de este sensor de presión se lo realizó tomando en cuenta sus principales características con relación a otros sensores como son: rango de presión ideal para la medición de presión en los neumáticos de un automóvil (SP12T: 50 – 1400 KPa), la respuesta de lectura de la presión está dada en forma digital por lo que facilita el acople a un microcontrolador, no necesita componentes externos para su funcionamiento y requiere un voltaje de alimentación comprendido entre 2.1 V – 3.6 V.

Esta última característica es la que tuvo más incidencia en la elección del sensor SP12T, puesto que la alimentación de voltaje del sensor se la va a tomar del módulo de transmisión, la cual suministra solamente 3.2 V. En cambio la utilización de otros sensores requería un voltaje de alimentación para su funcionamiento de 5 V, voltaje que no era capaz de suministrar el módulo de transmisión.

En secciones posteriores se detallará la información técnica necesaria, tanto en la parte de hardware como en software para la implementación del sistema en los cuatro neumáticos.

3.2. Etapa de transmisión

La etapa de transmisión está constituida por el sensor de presión de aire SP12T y la tarjeta de transmisión de radiofrecuencia cuyo elemento principal es el rfPIC12F675.

3.2.1. Software y hardware de programación del rfPIC12F675

Como primer paso, se debe realizar una breve reseña tanto del software como del hardware utilizado para la programación del rfPIC12F675, todo este material viene incorporado en el kit de trabajo de la MICROCHIP de PICS de radiofrecuencia adquirido

para el desarrollo del proyecto, como podemos observar en la Figura 3.1 los dos módulos de radiofrecuencia, y en la Figura 3.2 se muestra el programador del PIC transmisor.

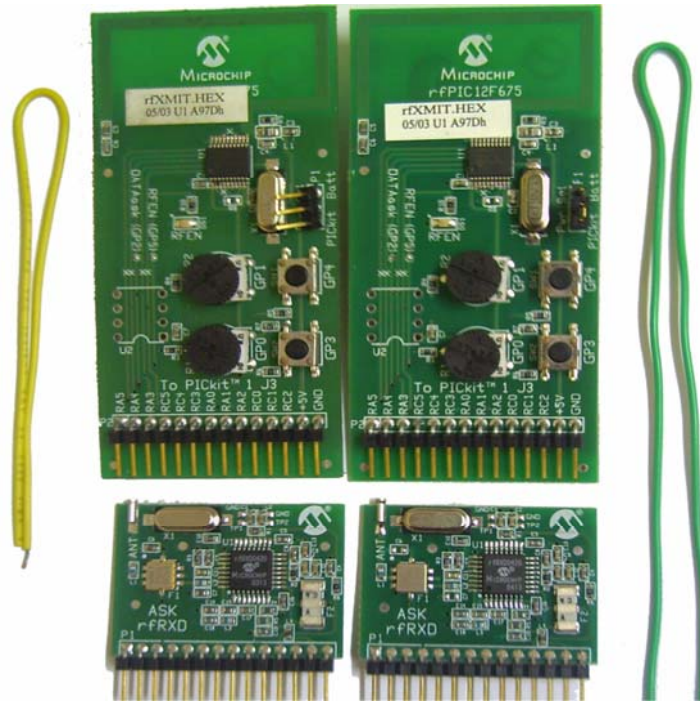


Figura. 3.1. Módulos de radiofrecuencia

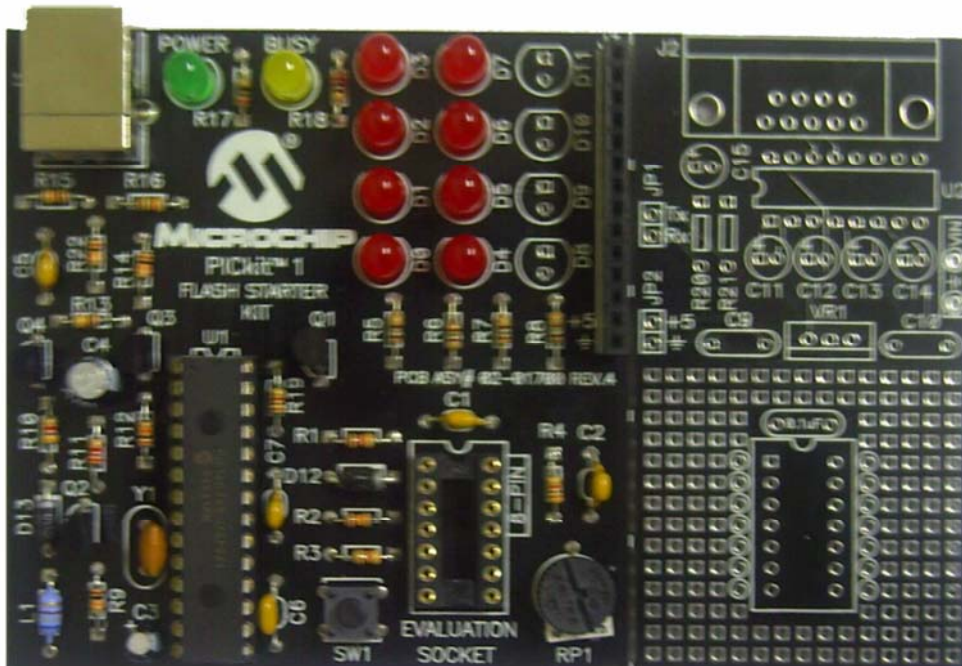


Figura.3.2. Programador del PIC transmisor

Este kit está provisto de:

- Un par de tarjetas (transmisión-recepción) de radiofrecuencia que trabajan a una frecuencia de 315 MHz en modulación ASK.
- Un par de tarjetas (transmisión-recepción) de radiofrecuencia que trabajan a una frecuencia de 433.92 MHz en modulación ASK.
- El circuito programador del rfPIC12F675.
- CDs que contiene software del compilador MPLAB, manuales del diseño de las tarjetas de radiofrecuencia, diseño del programador del PIC de transmisión, ejemplos de prácticas, etc.

3.2.1.1 Software de programación del rfPIC12F675. El rfPIC12F675 utiliza el software de compilación MPLAB de la Microchip para su programación, el cual es un compilador de simulación de PICS; el lenguaje de programación a utilizarse en el transmisor es el de bajo nivel o lenguaje de máquina (assembler), el cual es un lenguaje conocido por la mayoría de los usuarios que trabajan con microcontroladores. Ahora, se describirá en forma rápida el manejo del software del programador propio del rfPIC12F675.

3.2.1.1.1. Visión global del programador. El programador a utilizar es el PICKit 1 FLASH de la MICROCHIP, posee una interfaz fácil de usar para programar chips de la familia de 8/14 pines o microcontroladores flash. El kit de ayuda del programador viene con todo lo que se necesita para programar, evaluación y desarrollo de aplicaciones empleando los dispositivos de la Microchip de la familia de dispositivos de 8 / 14 pines o microcontroladores flash. Además este kit cubre información acerca de entradas / salidas, interrupciones, convertidores análogo-digital A/D, comparadores, tabla de datos y tiempos.

3.2.1.1.2. Interfaz de programación del kit de arranque PICKit 1 FLASH. Para ejecutar el software se selecciona inicio > programas > PICKit/(tm) 1 FLASH Starter Kit y la interfaz de programación aparecerá como aparece en la Figura 3.3:

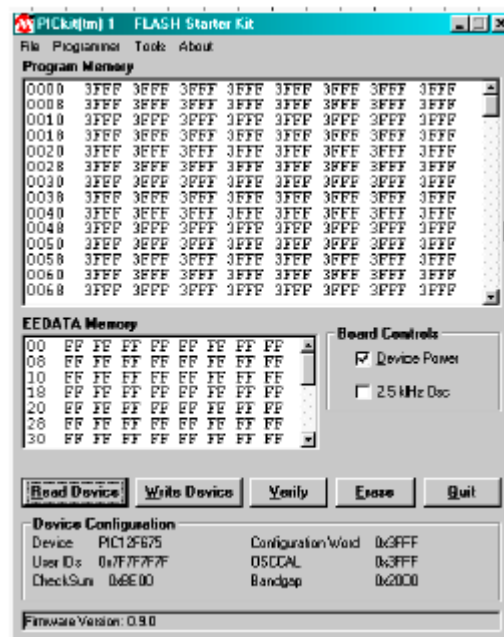


Figura. 3.3. Interfaz de programación del PICKIT 1 Flash

Revisar que Device Power se haya seleccionado. Esta es una función predeterminada indicando que el dispositivo de poder está prendido.

3.2.1.1.3. Descarga del proyecto de MPLAB. Para descargar un programa compilado al PICKIT 1 FLASH Starter Kit, se selecciona File > Import > HEX como se muestra en la Figura 3.4.

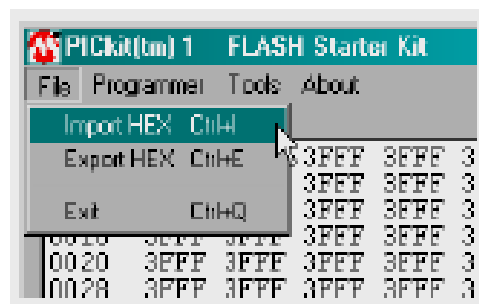


Figura. 3.4. Importación del archivo HEX

Examinar el archivo HEX requerido y haga clic en Open. El código es desplegado en el Program Memory y en la ventana EEDATA Memory. Después que el archivo HEX es importado, se escribe el programa en el dispositivo haciendo clic en el botón Write Device. El programa existente será borrado y reemplazado por el nuevo. El estado del programa escrito es desplegado en el estado de barra localizado en el fondo de la ventana interfaz. Si lo escrito es exitoso, la barra de estado se volverá verde y desplegará “write successful” como se indica en la Figura 3.5.

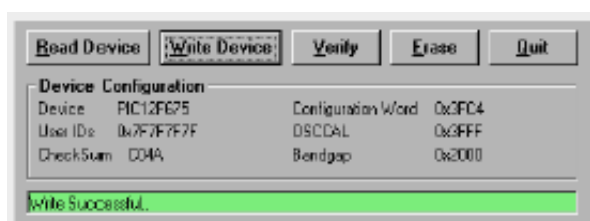


Figura. 3.5. Ventana de escritura exitosa

Si lo escrito falla, la barra de estado se tornará de color rojo y desplegará el mensaje “checksum verify failed”, como se muestra en la Figura 3.6.

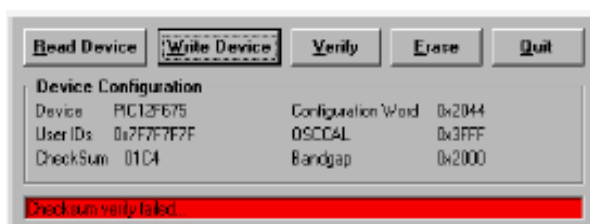


Figura.3.6. Ventana de error en la escritura

Si el error es desplegado, escribir el programa en el dispositivo de nuevo.

3.2.1.1.4. Archivo automático de recarga. En modo normal de operación, el archivo HEX es actualizado con cada construcción en MPLAB IDE. Esto garantiza que la última versión construida por MPLAB IDE será escrita en el dispositivo.

3.2.1.1.5. Verificador de código de programa. Esta función verifica el programa escrito en el dispositivo otra vez en el archivo HEX. Esto compara todas las áreas de memoria incluyendo el programa, EEDATA y configuración.

Para verificar el código importe el archivo HEX y haga clic en Verify. Si el código es el mismo, la barra de estado se tornará verde y desplegará “Verified Successfully” como se indica en la Figura 3.7.

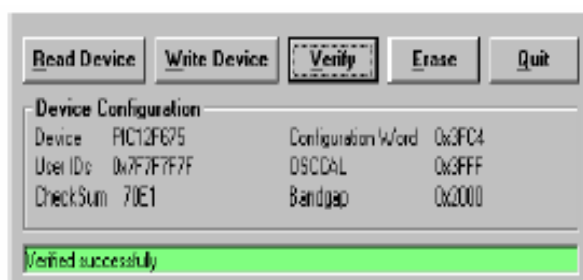


Figura. 3.7. Ventana de verificación de código

Si encuentra un conflicto, la barra de estado se tornará roja y desplegará el error “Verify Failed...Error in Program Memory”, como se muestra en la Figura 3.8.

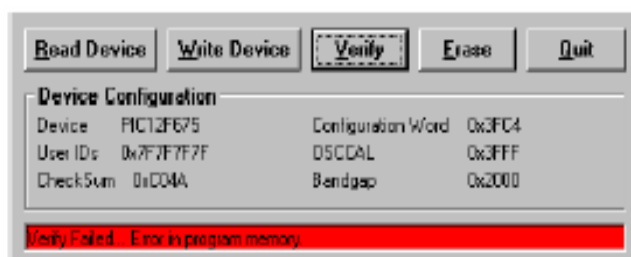


Figura. 3.8. Ventana de error de código

3.2.1.1.6. Read device. Para ver el código escrito en el dispositivo, haga clic en Read Device. El código es desplegado en el Program y la ventana EEDATA Memory para su revisión.

3.2.1.1.7. Code protect - Código de protección. Esta función habilita las características del código de protección del dispositivo. Para proteger el código deben seguirse los siguientes pasos:

- 1.- Importe el archivo HEX.
- 2.- Seleccione Tools > Code Protect Device como se muestra en la Figura 3.9.
- 3.- Hacer clic en Write Device.

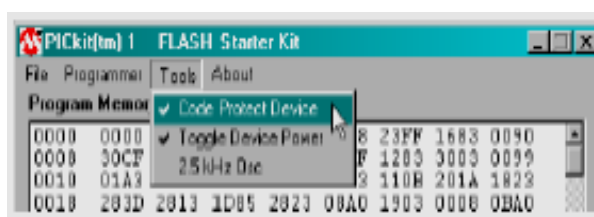


Figura. 3.9. Ventana de protección de código

Si el dispositivo es leído luego que ha estado con el código de protección, el Program y la ventana EEDATA Memory será desplegada con ceros.

3.2.1.1.8. Erase. La función Erase borra el código del dispositivo. Sin embargo, esta función no es normalmente utilizada ya que la función Write Device realiza un borrado previo a la escritura del código en el dispositivo.

Para borrar el código en el dispositivo con la función Erase, seleccionar el botón Erase, o se selecciona Programmer > Erase del menú de herramientas, como se indica en la Figura 3.10.

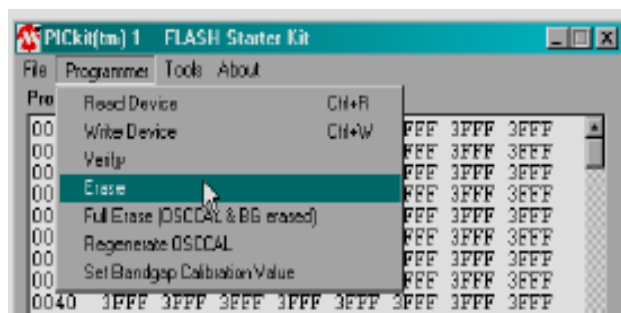


Figura. 3.10. Borrado del dispositivo

3.2.1.1.9. Borrado total. A diferencia de la función Erase, la función Full Erase permite al usuario no solamente borrar el dispositivo, sino también los valores del OSCCAL y el Bandgap Calibration. Realizar un borrado total no es necesario en el curso normal de eventos, es por ello que no se suele recomendar. Esta función sólo se utiliza si el OSCCAL o el Bandgap han sido alterados.

Para realizar un borrado total se selecciona Programmer > Full Erase (OSCCAL & BG erased) de la barra de herramientas como se indica en la Figura 3.9.

Una vez que el borrado total es completado, se regenera el OSCCAL y se resetea los valores de los bits del Bandgap Calibration.

La función Regenerate OSCCAL ejecuta el programa en el dispositivo para recalculer el valor de calibración del oscilador.

Para regenerar el valor del OSCCAL se selecciona Programmer > Regenerate OSCCAL de la barra de herramientas tal como muestra en la Figura 3.11.

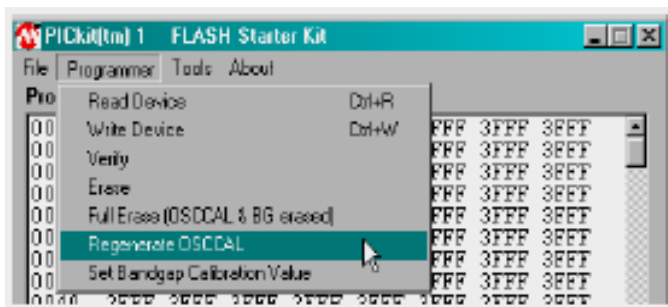


Figura. 3.11. Regeneración del OSCCAL (Valor calibración del oscilador)

Para enviar el Bandgap Calibration Value seleccione Programmer > Set Bandgap Calibration Value del menú de herramientas tal como se indica en la Figura 3.12.

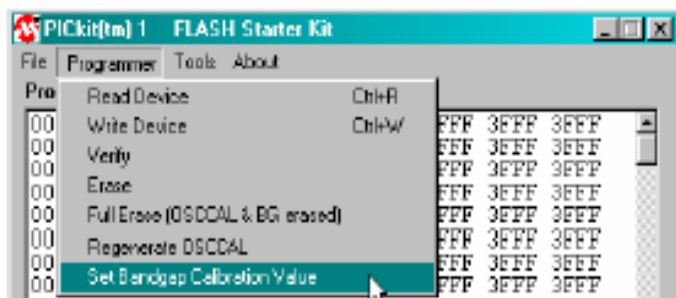


Figura. 3.12. Regeneración del valor de calibración bandgap

Entonces la ventana Write Bandgap Calibration Value aparecerá como se muestra en la Figura 3.13, debe seleccionarse un valor del bit de la lista y luego hacer clic en OK.



Figura. 3.13. Valor del bit de selección del bandgap

El bit de valor del Bandgap aparecerá en el cuadro de Device Configuration como se muestra en la Figura 3.14.

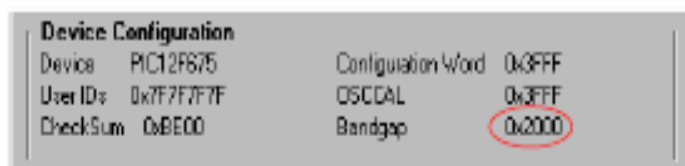


Figura. 3.14. Configuración del dispositivo

3.2.1.1.10. Oscilador 2.5 KHz OSC. Esta opción proporciona una señal de onda cuadrada para auto calibrar el oscilador interno RC del pic de radiofrecuencia, esto se puede ver en la Figura 3.15.



Figura. 3.15. Panel de control

3.2.1.2. Preparación del módulo de transmisión para la operación de grabado

- Paso 1: Seleccionar el módulo de transmisión con el que se trabajará, éste debe ser de la misma frecuencia que el del módulo de recepción.
- Paso 2: Encender el módulo de transmisión posicionando el jumper en la posición de la batería (batt) y el pin central (Pwr Sel P1), esto hace que se conecte a una batería de litio de 3.2 V. En cambio, para el proceso de programación del PIC, el jumper se debe colocar entre el pin central (Pwr Sel P1) y PICKkit, esto se indica en la Figura 3.16.

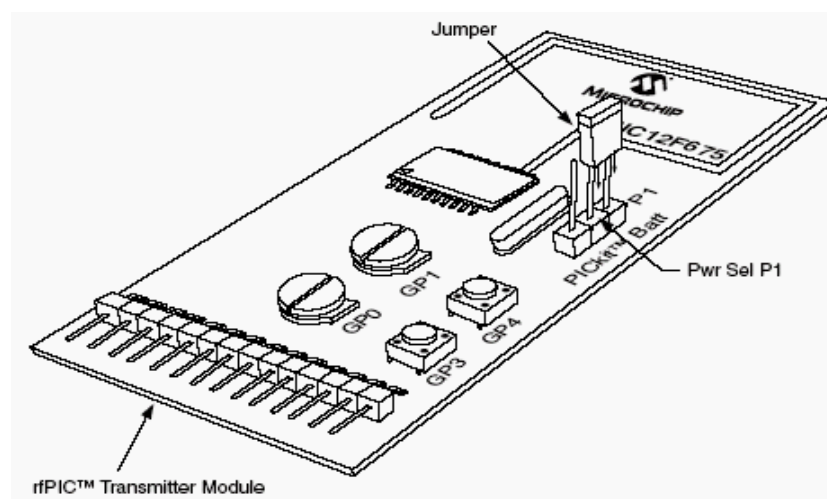


Figura. 3.16. Transmisor rfPIC

- Una vez que se tenga colocado en forma correcta el jumper para la grabación de la tarjeta de transmisión se insertará ésta en el zócalo del circuito programador como se indica en la Figura 3.17, previo a este proceso se deberá remover del zócalo el PIC16F676.

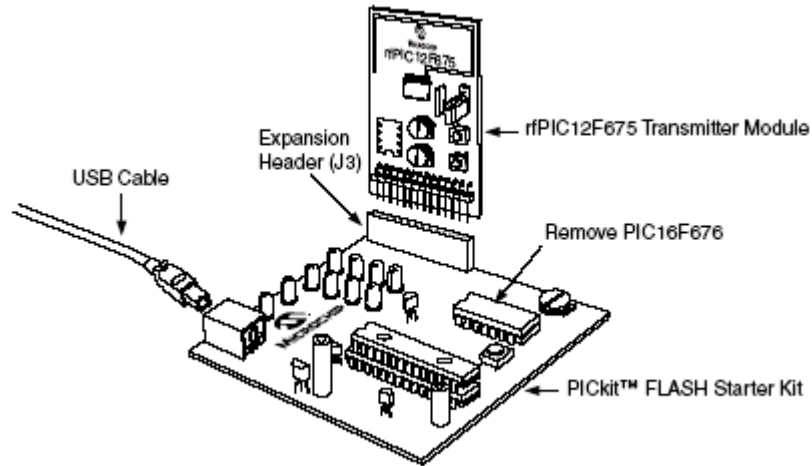


Figura. 3.17. Programación del módulo de transmisión en el circuito programador

3.2.1.3. Hardware del módulo transmisor rfPIC12F675. El hardware del módulo de transmisión ha sido desarrollado de modo que sea didáctico y por ende usado en las prácticas, puesto que tiene incorporado potenciómetros, pulsadores para facilitar el desarrollo y comprensión de tales prácticas. Ahora se va a indicar en la Figura 3.18 y en la Tabla 3.1 la distribución de pines dispuesta en la tarjeta de transmisión para una mejor identificación de la misma.

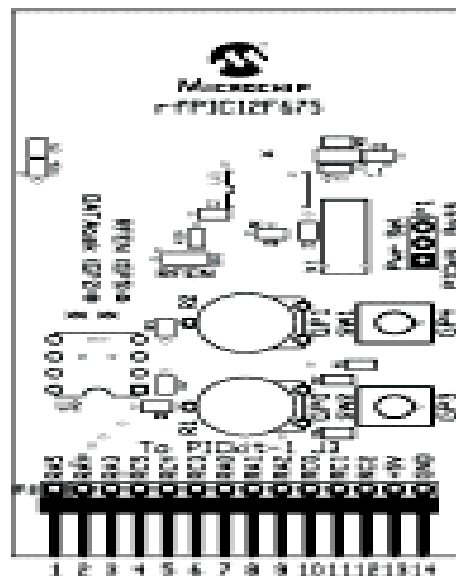


Figura. 3.18. Disposición de pines de la tarjeta de transmisión

Tabla 3.1. Descripción de los pines en la tarjeta de transmisión

PIN	DESCRIPCIÓN
1	GP5
2	GP4
3	GP3
4,5,6	No conexión
7	GP0
8	GP1
9	GP2
10,11,12	No conexión
13	Alimentación: 2.00 – 5.5 [Vdc]
14	Tierra

Como se mencionó en secciones anteriores, en el kit de desarrollo de los PICs de radiofrecuencia viene dotado de dos pares de tarjetas (transmisor - receptor), los cuales están diseñados para trabajar a dos diferentes frecuencias que son 315 MHz y 433.92 MHz; pero para nuestra aplicación se va a trabajar con la tarjeta de 433.92 MHz en razón que, al ser analizadas en un osciloscopio las señales, especialmente en el módulo de recepción de los dos conjuntos de tarjetas, se puede observar que la tarjeta de 315 MHz es la más susceptible, en el sitio de pruebas (Valle de los Chillos), a las interferencias producidas por otras fuentes en relación con la tarjeta de 433.92 MHz.

A continuación, se cita las fuentes de interferencias existentes en la zona de pruebas captadas por las tarjetas de radiofrecuencia:

- ◆ 315 MHz – Servicios para enlace.
- ◆ 433.92 MHz – Meteorología satelital.

En la Figura 3.19 se puede apreciar, con la ayuda de un osciloscopio, la interferencia existente en la tarjeta de recepción de 433.92 MHz, la cual será ignorada mediante un filtro digital desarrollado por software.

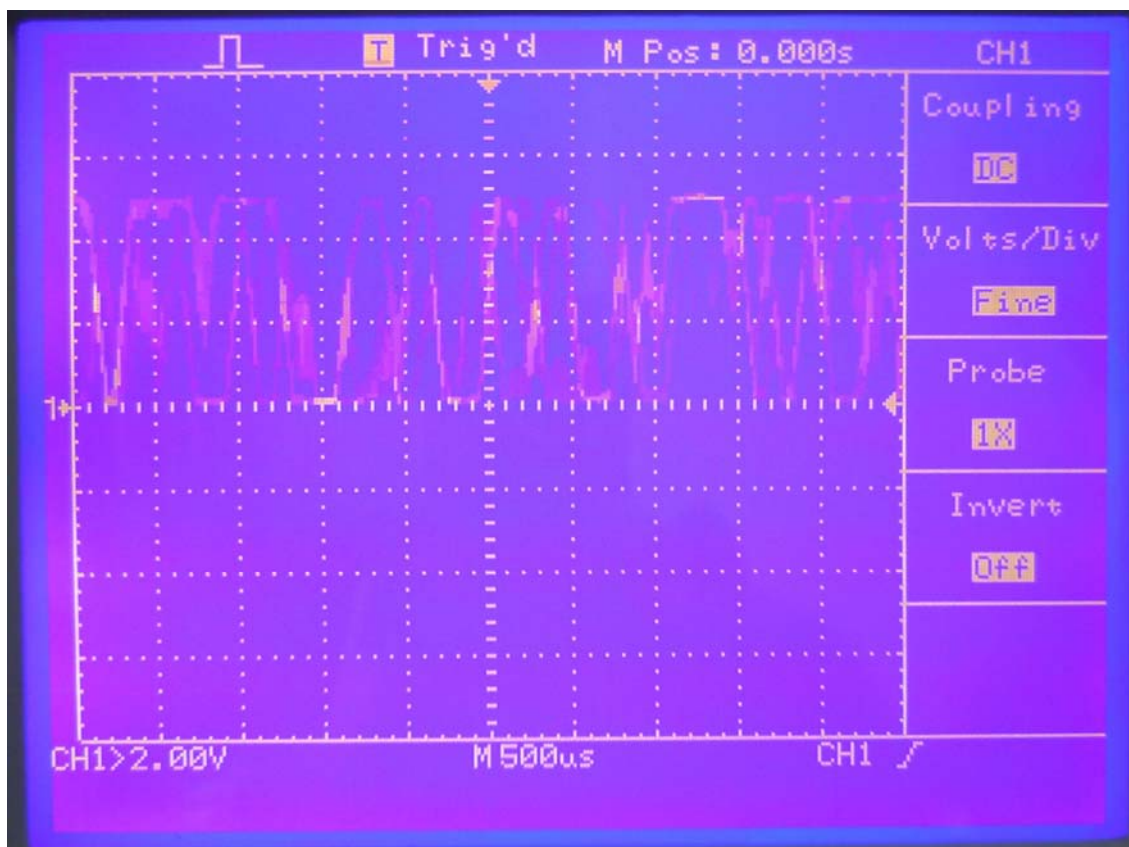


Figura 3.19. Interferencia en la tarjeta de recepción

Con relación a la potencia de la señal del transmisor, los dos pares de tarjetas tienen una potencia de salida de +10 dBm a -12 dBm, estos valores se transforman a sus equivalentes en [mW] mediante la ecuación:

$$P(mW) = 10^{\left(\frac{dBm}{10}\right)}$$

Así se obtienen valores de 10 [mW] a 0.06309 [mW] respectivamente. Con estos valores de la potencia de salida, la distancia de transmisión puede realizarse hasta unos 30m o 100 pies sí el transmisor y el receptor están en línea de vista, aunque esta distancia puede reducirse aproximadamente a unos 12m sí el transmisor y el receptor no están en línea de vista a causa de la presencia de obstáculos entre las tarjetas. Además, se debe señalar que la tasa de transmisión de datos (ancho de banda) es de 0 – 40 Kbps.

3.2.1.3.1. Valores de presión para el funcionamiento normal de los neumáticos. Antes de empezar con la programación del PIC transmisor, se debe tener en cuenta que el rango de presión en los neumáticos sea el normal para su correcto funcionamiento y por ende tenga una vida útil más prolongada.

Estos valores dependen del tipo de neumático que utiliza el automotor, es decir, el automotor puede ser de carga pesada (camiones, trailer, vehículos de trabajo pesado), de carga liviana (camionetas), de pasajeros o automóvil.

Para el presente proyecto se hará la aplicación en el neumático de un automotor de carga liviana. Esta elección se realizó en base a la presión de trabajo en los neumáticos de este automotor, por cuanto la presión de trabajo definirá el tipo de sensor a emplear.

El costo del sensor es proporcional al rango de presión que esté en capacidad de medir, dependiendo del tipo de neumático que posea el vehículo.

Entonces el sensor adquirido para utilizar en el neumático para este tipo de automotor es el SP12T de la fábrica Sensoron, el cual tiene un rango de medición entre 50 KPa y 1400 KPa.

Cabe indicar que existe otro sensor de presión del mismo fabricante, SP12; el mismo que tiene un rango o span de medición entre 100 – 450 KPa, el cual perfectamente puede servir para medir automotores de carga liviana. La Tabla 3.2 nos indica las presiones de funcionamiento normal en los diferentes tipos de neumáticos de un automotor.

Tabla. 3.2. Valores de presión en los neumáticos para diferente tipo de automotores

	MÍNIMA (lb/plg ² o psi)	MEDIA (lb/plg ² o psi)	MÁXIMA (lb/plg ² o psi)
AUTOMÓVIL	28	29	30
CAMIONETA	30	35	40
CAMIÓN	85	90	95

Estos valores de presiones en los neumáticos señalados en la Tabla 3.1 son establecidos por los fabricantes, quienes además recomiendan que la presión más adecuada para un normal funcionamiento de los neumáticos sea la presión de valor medio.

Entonces como el valor de la presión recomendada en los neumáticos de un automóvil es de 29 psi, podemos convertir este valor a su equivalente en KPa mediante la ecuación:

$$\text{Valor (KPa)} = 6.89 * \text{Valor (lbs/ pulg}^2\text{)}$$

Se obtiene un valor de 199.81 KPa; y por lo tanto este valor se encuentra dentro del rango de presión que puede medir el sensor SP-12T, es decir, de 50 KPa a 1400 KPa.

3.2.2. Diagrama de flujo del programa principal del transmisor rPIC12F675

El programa principal que comandará al rPIC12F675 se ha desarrollado en lenguaje de bajo nivel o assembler debido a que el software de programación del PIC de transmisión (PicKit) en la versión disponible en el kit de desarrollo adquirido, únicamente acepta el archivo.HEX creado por el software compilador MPLAB; y este software de programación es el que controla a la vez al circuito de programación del PIC transmisor.

El programa desarrollado está basado en las características del sensor de presión, ya que éste requiere del pic de transmisión unos comandos para la transmisión de datos con el

protocolo SPI (Interface Serial Periférico), revisado en el Capítulo 2, el cual nos servirá para definir los parámetros deseados a medir.

El diagrama de flujo del programa que controla el PIC de transmisión se presenta en la Figura 3.20.

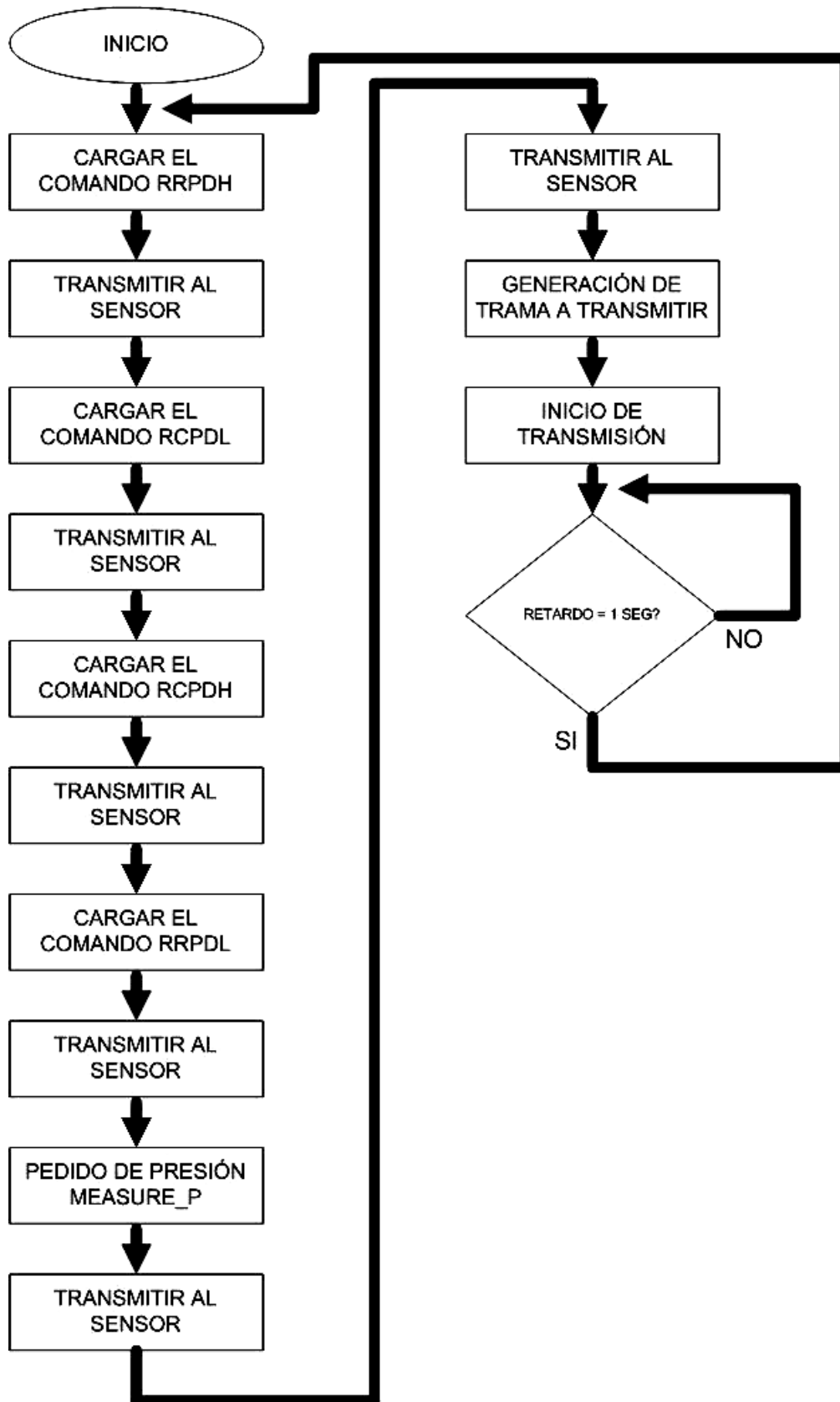


Figura. 3.20. Diagrama de flujo del programa del PIC transmisor

3.2.2.1. Explicación del diagrama de flujo del pic de transmisión. Como se mencionó anteriormente en la Tabla 3.1, los valores máximo y mínimo de presión determinarán si el neumático está con la presión correcta para su normal desempeño en el automotor, por lo que, estos valores críticos serán detectados e indicados en la interfaz visual, LCD. Además el inconveniente por la presencia de interferencia en la zona se corrigió con un filtro compuesto por las tramas de bytes de inicio de transmisión (A1D) y un byte de finalización (B). Una parte del código del programa fuente se indicará luego de cada explicación respectiva del diagrama de flujo.

El programa que controla este módulo de transmisión empieza con: la declaración del PIC a emplear, declaración de etiquetas, palabra de configuración, deshabilitación de interrupciones globales, habilitación de entradas digitales, declaración de entradas/salidas. Esto se puede observar en una parte del código que se presenta a continuación:

```

;*****
; Palabra de configuración
;*****
__CONFIG      _CPD_OFF & _CP_OFF & _BODEN_OFF & _MCLRE_OFF &
_PWRTE_OFF & _WDT_OFF & _INTRC_OSC_NOCLKOUT

;*****
; Declaración de variables
;*****
dato          equ h'21'
sensor        equ h'24'
xor           equ h'25'
total_xor     equ h'26'
dpresion      equ h'2B'
-----
-----

```

```

;*****
; Declaración de entradas/salidas
;*****
clrf      TRISIO
banksel  OPTION_REG
movlw    b'00001000'
movwf    OPTION_REG
bcf      INTCON,7
banksel  ANSEL
bcf      ANSEL,0
bcf      ANSEL,1
bcf      ANSEL,2
bcf      ANSEL,3
banksel  TRISIO
movlw    b'11001000' ;
movwf    TRISIO
banksel  GPIO

```

A continuación, se cargan al PIC transmisor los comandos para ser transmitidos hacia el sensor, con la finalidad de que éste entregue la respuesta del estado actual de presión existente en el neumático.

```

;*****
; Comandos del sensor
;*****
movlw    b'00110001'
call     mpresion
movlw    b'00001000'
call     mpresion

```

El siguiente paso es la generación de una trama de bytes a transmitir; en este caso se ha designado que A1D sean la trama de bytes de inicio de transmisión de datos. Como trama de byte de fin de transmisión de datos será B. Todos estos bytes están tomados en código ASCII. La razón para hacer que haya tres bytes de bits de inicio y un byte de bit de parada es debido a que la interferencia existente en la zona de pruebas hace que se pierda o distorsione la información real a transmitir al módulo receptor. Para resolver este problema se ha colocado los tres bytes de inicio a los cuales afectarán la interferencia y no al dato real. Además se realizó la operación lógica “xor” entre los bytes A1DB; con este resultado también se hace la operación “xor” con el dato que transmite el sensor, y este resultado final se lo almacena en un registro de memoria “xor_total” para ser enviado a la etapa de recepción; este dato del registro xor_total será comparado en la etapa de recepción. El proceso de las operaciones lógicas “xor” anteriores se conoce como “checksum”; esto se puede observar en la Figura 3.21 y en una parte del código del programa.

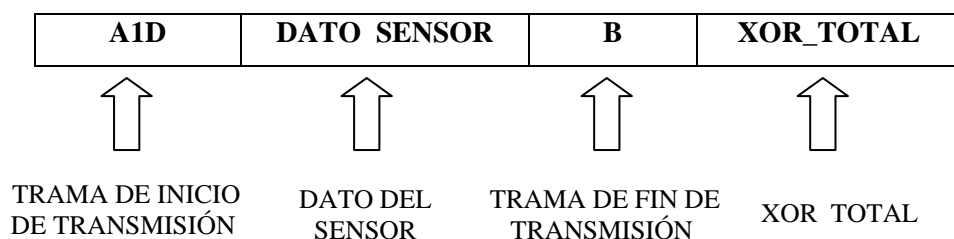


Figura.3.21. Generación del checksum

```

;*****
; Bit de inicio y bit de parada
;*****
movlw    "A"
movwf    dato
call     transmitir
movlw    "1"
movwf    dato
call     transmitir
movlw    "D"
movwf    dato
    
```

```

call    transmitir
movfw   sensor
movwf   dato
call    transmitir
movlw   "B"
movwf   dato
call    transmitir
movfw   xor
movwf   dato
call    transmitir
    
```

La transmisión de datos se la realiza con comunicación serial RS232; es decir, se va a generar en el PIC transmisor los tiempos exactos de los bits de inicio y parada que utiliza la transmisión serial; la velocidad de transmisión de datos a utilizar es de 2400 bps, sin paridad, 8 bits de datos; el tiempo de un bit entonces es 416 μ s, por lo que el receptor revisa el bit de arranque cada 208 μ s y luego cada 416 μ s. Lo mencionado anteriormente se puede ver en la Figura 3.22.

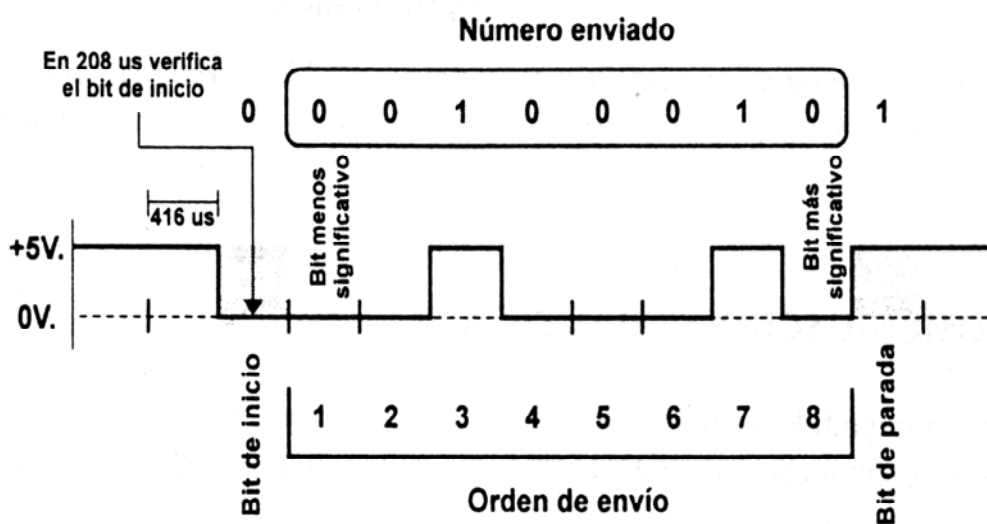


Figura.3.22. Tiempos para la comunicación serial empleado

Una vez generado los bytes que harán la función de bit de inicio y parada así como el tiempo de bit se puede iniciar la transmisión del dato que envía el sensor hacia la etapa de recepción. La transmisión de datos se hace cada 4 segundos.

El código fuente completo y comentado realizado en lenguaje assembler del rfPIC transmisor se detalla en la sección de anexos.

3.2.3. Diagrama esquemático del circuito del sensor SP12T

El circuito del sensor es muy simple, por cuanto éste no requiere de componentes externos adicionales, como se mencionó en el Capítulo 2. Teniendo en cuenta que el módulo del pic transmisor está ya implementado, sólo requiere del diagrama esquemático del sensor de presión. Las conexiones entre los pines del sensor con los pines del pic transmisor se indican en la Figura 3.23.

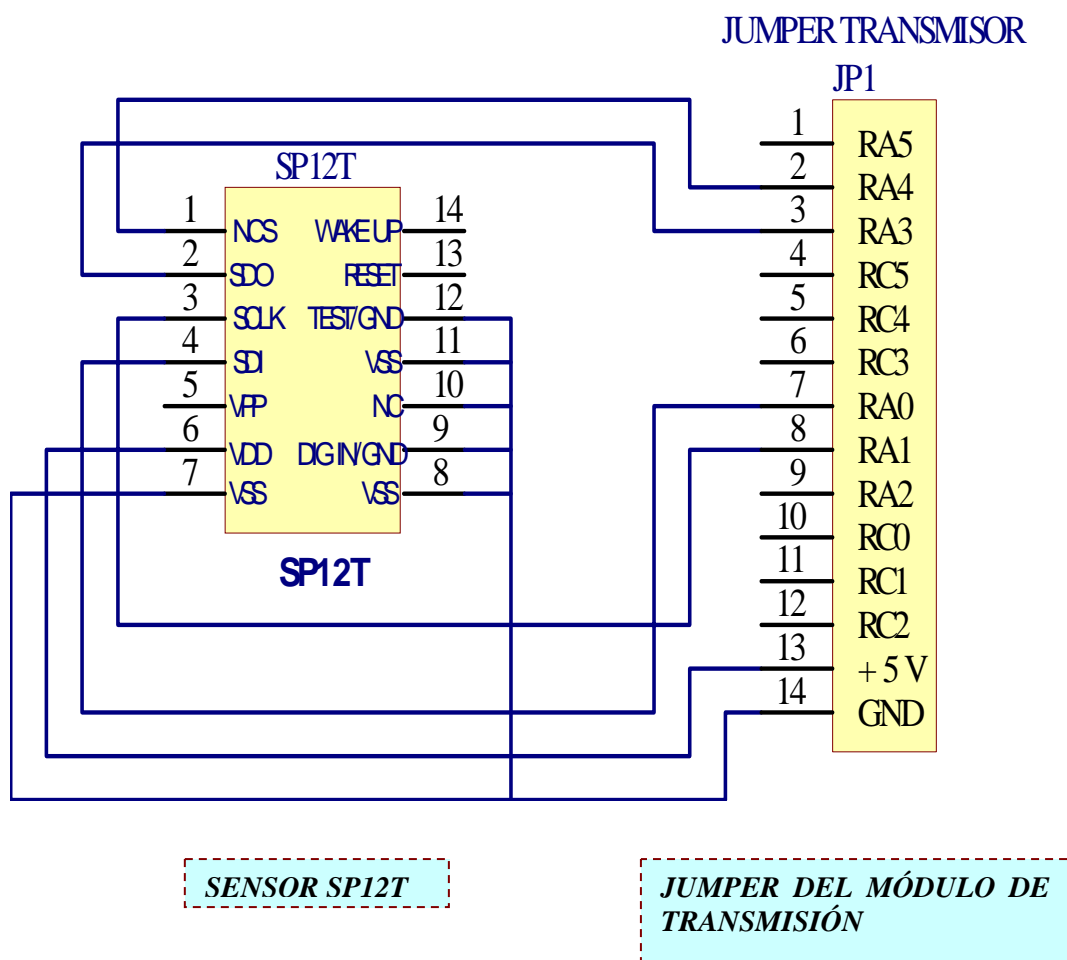


Figura. 3.23. Diagrama de conexiones sensor - transmisor

3.3. Etapa de recepción

Esta etapa comprende al PIC receptor, rRX0420 que es el encargado de recibir la información enviada por el PIC de transmisión. Este dispositivo trabaja en modulación ASK al igual que el pic transmisor.

Los pics de transmisión disponen de dos frecuencias de trabajo que ya se señaló en la Tabla 2.2 del Capítulo 2.

El pic receptor tiene la particularidad de no ser programable, es decir, es un dispositivo que solamente recibe la información para que esta información pueda ser tratada mediante otro proceso de acuerdo a nuestros requerimientos.

La información recibida por el PIC receptor está dada en forma digital y se la obtiene en un solo pin (11 o RC1) del zócalo de la tarjeta por lo que el trabajo de decodificar la información que llega del transmisor tiene un cierto grado de dificultad. Es necesario además considerar la interferencia existente en el área de pruebas. La disposición y descripción de los pines en la tarjeta de recepción se puede observar en la Figura 3.24 y Tabla 3.3 respectivamente.

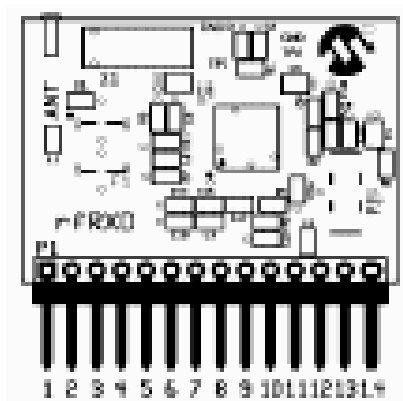


Figura. 3.24. Disposición de pines de la tarjeta de recepción

Tabla. 3.3. Descripción de pines de la tarjeta de recepción

<i>PIN</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
1-10	No conexión
11	Salida de datos
12	No conexión
13	Alimentación: 2.5 – 5.5 [Vdc]
14	Tierra
ANTENA	Conexión de la antena

Debido a que hay que decodificar la información del PIC receptor y para resolver este inconveniente, se optó por emplear el PIC 16F870, de uso y venta común en el mercado. Este microcontrolador a más de decodificar la información, controlará la interfaz visual de monitoreo que comprende el LCD, un diodo bicolor y un buzzer piezoeléctrico.

3.3.1. Diagrama de flujo del programa de la etapa de recepción

El programa para el PIC 16F870 fue realizado utilizando el software compilador MICROCODE. Se utilizó este compilador debido a que es fácil de entender, flexible y conocido por los usuarios. En la Figura 3.25 se ilustra el diagrama de flujo del programa que comanda PIC 16F870.

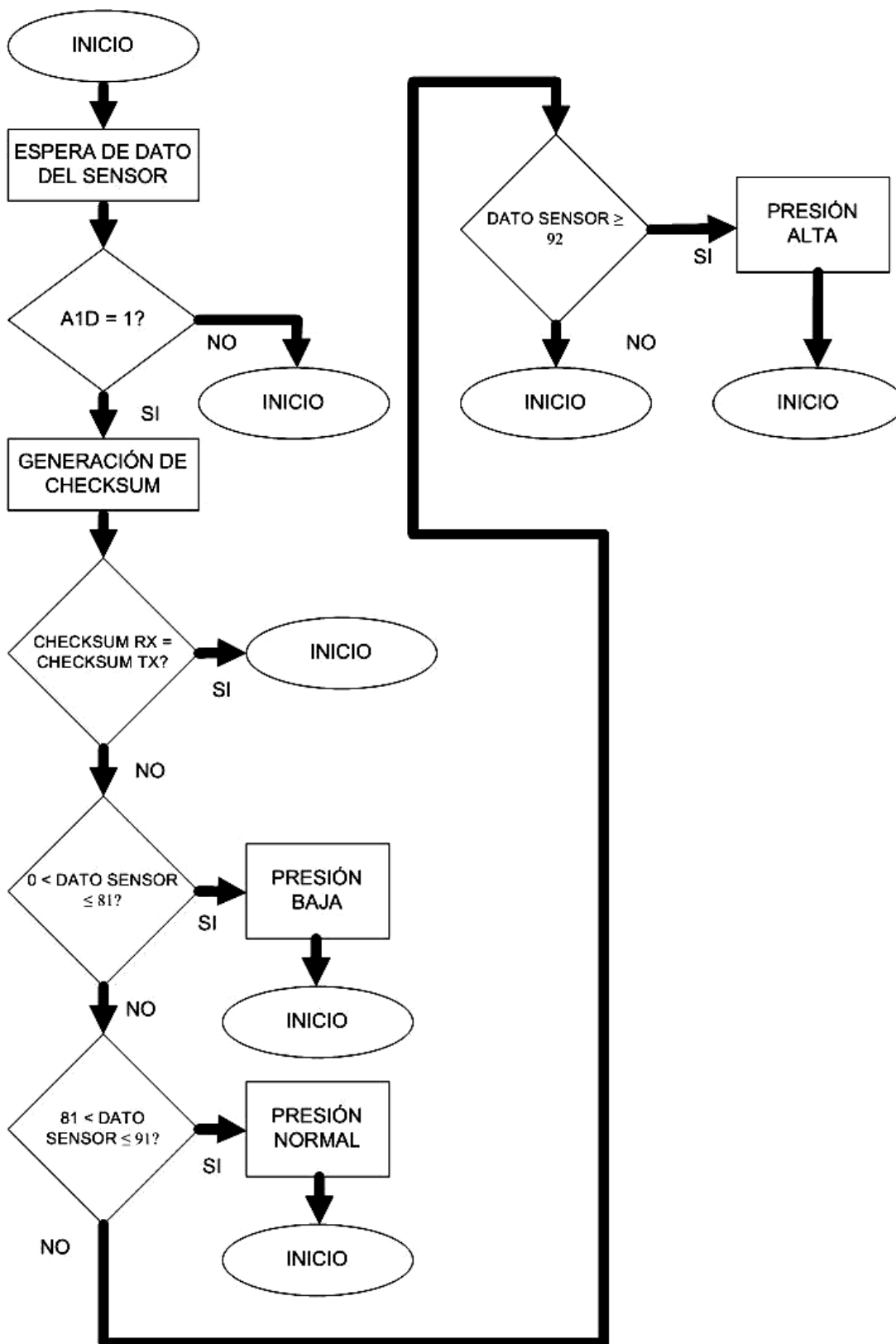


Figura. 3.25. Diagrama de flujo del programa en la etapa de recepción

3.3.2. Explicación del diagrama de flujo de la etapa de recepción

Como se describió en secciones anteriores, el pic receptor de radiofrecuencia no puede ser programado. Además dado que la señal recibida por parte de la etapa de transmisión aparece sólo en el pin RC4 de la tarjeta receptora, es necesario la utilización de un microcontrolador, en este caso se utilizó el PIC 16F870 para decodificar esta señal, algunas partes del código del programa fuente se indicará luego de las explicaciones correspondientes del diagrama de flujo, con el fin de aclarar más la explicación.

Entonces de la misma manera, en la etapa de transmisión, se va a empezar con la configuración del PIC 16F870 de entrada/salida de datos por los pines de los puertos del mismo, sus librerías para trabajar con módulos LCD, la configuración de salida digital en el puerto A y declaración de variables.

```

‘ *****
‘ Declaración de librerías y variables
‘ *****

DEFINE LCD_DREG PORTB
DEFINE LCD_DBIT 4
DEFINE LCD_RSREG PORTB

        -----
        -----

trisb.2=0
trisa.0=0
trisa.2=0
trisc.2=1
check    var byte
dato     var byte[1]
dato2    var byte[2]
x        var byte

        -----

```

Luego, el PIC espera el dato que envía la etapa de transmisión; al llegar los primeros datos compara si lo recibido es el código ASCII de los caracteres A1D que representa el bit de inicio de la comunicación serial RS232 para luego recibir al dato real de presión que envía el sensor.

```

' *****
' Comunicación serial y bytes de inicio A1D
' *****

INICIO:
serin2 portc.2,396,100,INICIO,[wait("A1D"),str dato\1,str dato2\2]

```

Asimismo, se realizó un “checksum” o verificación de la misma forma que se realizó en la etapa de transmisión con los mismos procedimientos; es decir, el valor de 52 es el resultado de la operación lógica “xor” entre los bytes A, 1 y D; de esta manera se determinará si el dato de presión recibido es correcto; luego se realiza una nueva operación lógica “xor” entre el valor 52 y dato2[0] que representa el byte “B” obteniendo un resultado1 y finalmente se realiza la operación “xor” entre resultado1 y dato[0] que representa el dato que lee el sensor para obtener un resultado2. Si el resultado2, que es el checksum generado en la etapa de recepción, es igual al checksum generado en la etapa de transmisión que está en la variable dato2[1], significa que el dato enviado por el sensor es válido y no se ha distorsionado durante el transcurso de la transmisión. Los bytes que representan los caracteres A, 1, D y B así como el dato de la lectura del sensor son recibidos en código ASCII.

```

' *****
' Verificar el checksum
' *****

check=52
check=check ^ dato[0]      ; resultado1
check=check ^ dato2[0]    ; resultatdo2
if check= dato2[1] then dato_valido

```

goto INICIO

Controlado que el dato de presión no sufra cambio alguno, se procede a comparar ahora el rango de presión permitido en los neumáticos para la presentación en el LCD. Teniendo en cuenta que la presión normal en un neumático de automóvil de carga liviana (camioneta, buseta pequeña, etc.) está en el rango de 28 psi a 32 psi (192.2 KPa – 220.48 KPa) ya se puede hacer la presentación en el LCD de los valores correspondientes de presión con sus respectivos mensajes. También se debe recordar que el sensor nos da las lecturas de medición de presión en kilopascales (KPa).

En el caso que los valores de presión sean menores a 192.2 KPa o mayores a 220.48 KPa, en el LCD presentarán los mensajes de “PRESIÓN BAJA” o “PRESIÓN ALTA” respectivamente; a la vez que un led bicolor y un buzzer piezoeléctrico nos dará señales de alarma.

```

' *****
' Lectura de la presión
' *****

dato_valido:
dato_tabla=dato[0]
gosub TABLA
if (dato_tabla < 77) then presenta1
if (dato_tabla >= 77) and (dato_tabla <= 96) then presenta2
if (dato_tabla > 96) then presenta3

```

GOTO INICIO

```

' *****
' Presión baja
' *****

  presion_baja:
  low portb.2
  high porta.0

```

```
pause 10  
lcdout $fe,$80,"PRESION MUY BAJA "  
lcdout $fe,$c0,"CAMBIE SU LLANTA "  
pause 100  
goto INICIO
```

El código fuente completo y comentado en el compilador Microcode para el PIC 16F870 se detalla en la sección de anexos.

En la Figura 3.26, se muestran las señales transmitidas por el conjunto sensor – transmisor tomado en un osciloscopio hacia la tarjeta de recepción. En este gráfico se puede observar que la interferencia existente en la zona de pruebas ha sido ignorada casi por completo en la etapa de recepción. Esto se logró desarrollando un filtro digital por software descrito en secciones anteriores.

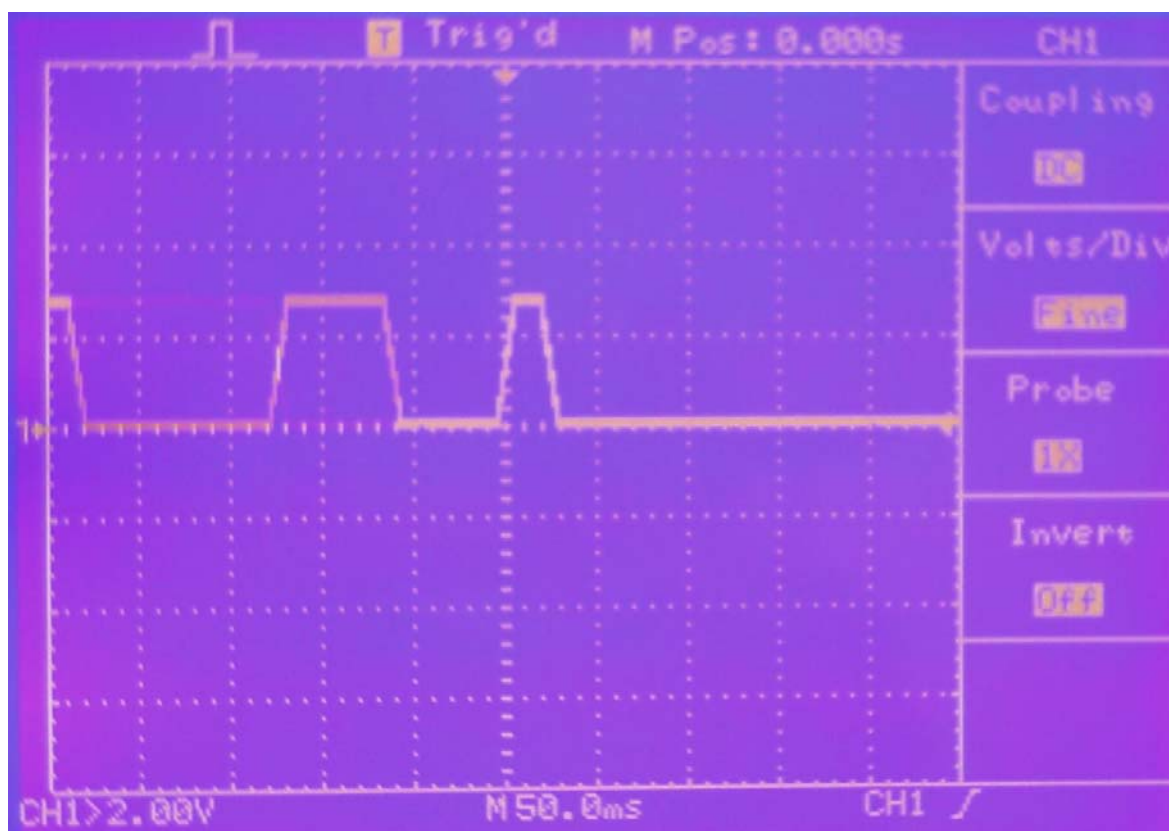


Figura. 3.26. Señal transmitida por el sensor – transmisor en la etapa de recepción

3.3.3 Indicaciones para la implementación del sistema en los cuatro neumáticos.

Para implementación del sistema a los cuatro neumáticos tenemos dos opciones:

3.3.3.1 Primera opción. Consiste en colocar un conjunto sensor-transmisor en cada uno de los cuatro neumáticos del automóvil, y tener un solo circuito receptor constituido por el pic de radiofrecuencia y el microcontrolador encargado de la decodificación de la información así como la presentación al usuario por medio del LCD. Este diagrama de bloques se indica en la Figura 3.27.

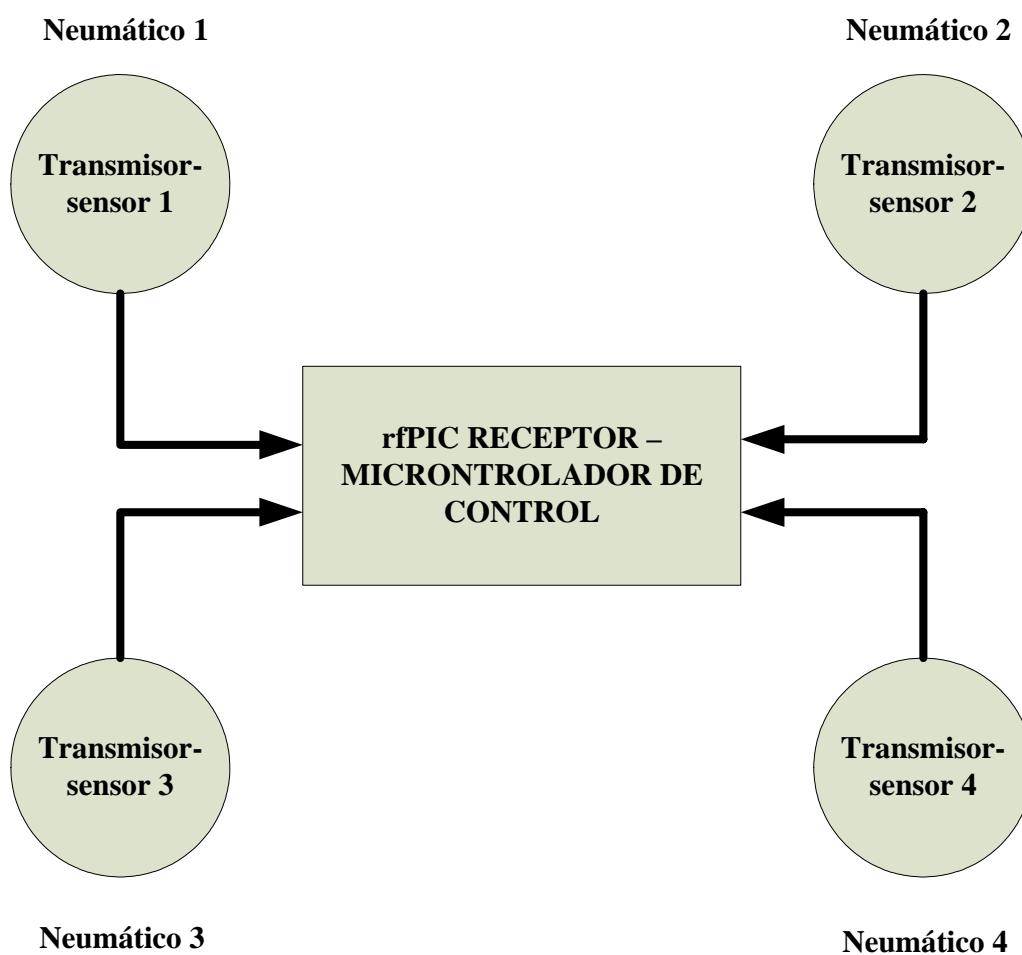


Figura 3.27. Primera opción de implementación del sistema en los cuatro neumáticos

En este sistema los transmisores de radiofrecuencia de los cuatro neumáticos se deben diferenciar uno del otro, además deben estar a la misma frecuencia de trabajo al igual que la tarjeta de recepción de radiofrecuencia; esto es necesario realizar por cuanto los cuatro transmisores no deben transmitir información en el mismo instante en razón que la tarjeta de transmisión no puede distinguir al identificador de un transmisor que envía la información.

Para lograr la independencia de cada transmisor se debe realizar cambios en el programa del pic transmisor en la parte de asignación de tramas del bytes de fin de transmisión de datos, es decir cada uno de los transmisores de datos tendrán la misma trama de bytes de inicio y distintos bytes de fin de transmisión distintos. Entonces los bytes de inicio y fin de transmisión pueden ser considerados como identificadores de cada uno de los transmisores. Por ejemplo las tramas de bytes de inicio y fin de transmisión pueden ser asignadas a los cuatro transmisores según se indica la Tabla 3.4:

Tabla. 3.4. Asignación de bytes de inicio y fin de transmisión

	Bytes de inicio de transmisión	Byte de fin de transmisión
Transmisor-sensor 1	A1D	B
Transmisor-sensor 2	A1D	C
Transmisor-sensor 3	A1D	D
Transmisor-sensor 4	A1D	E

Como se observa en la Tabla 3.4 solo el byte de fin de transmisión son distintos entre ellos, por lo que los identificadores de los transmisores son también diferentes.

El código de programa para los cuatro pics transmisores es exactamente el mismo que para un solo neumático, con la diferencia que el byte de fin de transmisión de datos para los cuatro neumáticos son distintos (B, C, D y E).

```
*****
;
; Bit de parada transmisor 1
*****
movlw    "B"
movwf    dato
call     transmitir
movfw    xor
movwf    dato
call     transmitir

*****
;
; Bit de parada transmisor 2
*****
movlw    "C"
movwf    dato
call     transmitir
movfw    xor
movwf    dato
call     transmitir

*****
;
; Bit de parada transmisor 3
*****
movlw    "D"
movwf    dato
call     transmitir
movfw    xor
movwf    dato
call     transmitir
```



```

;*****
; Bit de parada transmisor 4
;*****
movlw    "E"
movwf   dato
call    transmitir
movfw   xor
movwf   dato
call    transmitir

```

En cambio, el código de programa en la etapa de recepción tiene un ligero cambio para la recepción de datos de los cuatro neumáticos. En este programa es necesario distinguir a cada uno de los neumáticos, esto se hace mediante el byte de fin de transmisión de datos.

```

;*****
‘ Diferenciación de los bytes de fin de transmisión en microcode
;*****
dato_valido:
if dato2[0]=66 then llanta1 ‘ Compara si es “B” (B = 66 en ASCII)
if dato2[0]=67 then llanta2 ‘ Compara si es “C” (C = 67 en ASCII)
if dato2[0]=68 then llanta3 ‘ Compara si es “D” (D = 68 en ASCII)
if dato2[0]=69 then llanta4 ‘ Compara si es “E” (E = 69 en ASCII)
goto INICIO

;*****
‘ Copiado del dato de presión recibido en la variable dato[0] de las 4 llantas
;*****

llanta1:
presion1=dato[0]
flag1=1
GOTO ARRIBO_4_LLANTAS

```

```
llanta2:  
presion2=dato[0]  
flag2=1  
GOTO ARRIBO_4_LLANTAS
```

```
llanta3:  
presion3=dato[0]  
flag3=1  
GOTO ARRIBO_4_LLANTAS
```

```
llanta4:  
presion4=dato[0]  
flag4=1
```

El código del programa completo del pic de la etapa de recepción se detalla en la sección de Anexos.

3.3.3.2. Segunda opción. Esta alternativa está compuesta de cuatro transmisores de radiofrecuencia acoplados al sensor de presión, las cuales están colocadas en el interior de cada neumático. Cada uno de los transmisores tiene su correspondiente tarjeta de recepción de radiofrecuencia, y a la vez estas cuatro tarjetas de recepción se acoplan a un microcontrolador central de uso común.

Este microcontrolador tiene la función de diferenciar los datos de presión de los cuatro neumáticos, así como de controlar la etapa de visualización. La Figura 3.28 indica los diagramas de bloques de esta segunda opción.

La implementación del sistema mediante la primera opción es la más recomendable, en razón que ocupa menos número de tarjetas de recepción de radiofrecuencia y por ende disminuye el valor económico del sistema. En cambio, para la segunda opción se necesita para cada transmisor su respectivo receptor por lo que se incrementa más componentes electrónicos y consecuentemente también su costo económico.

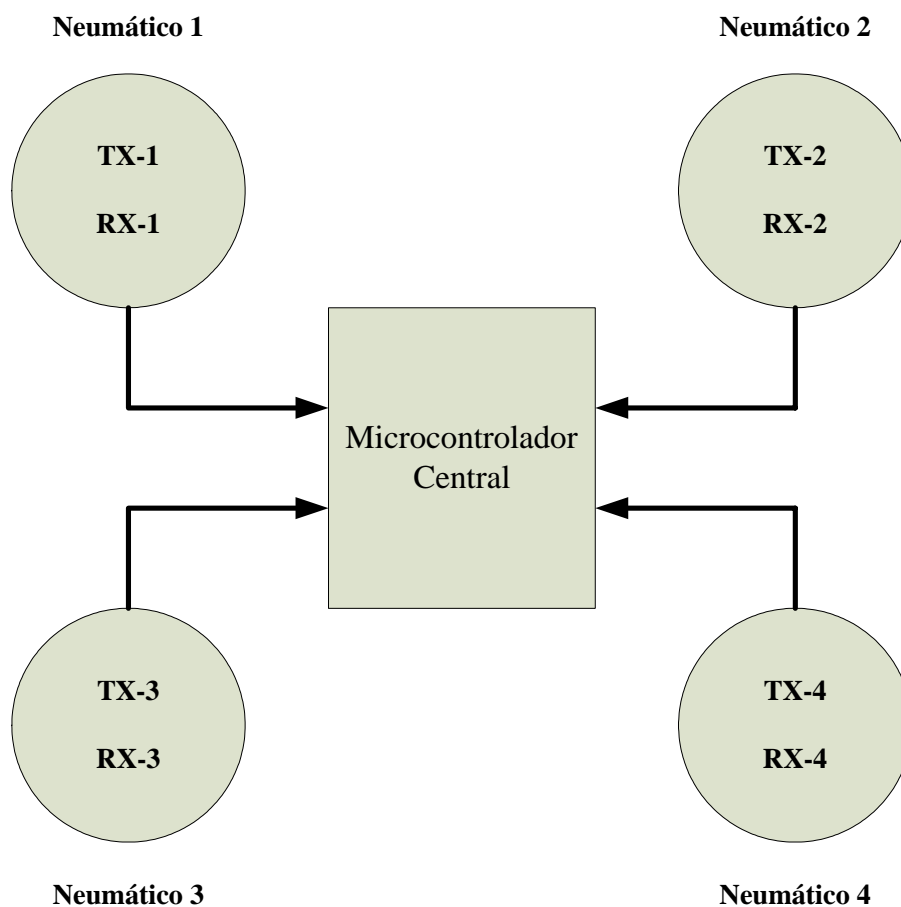


Figura. 3.28. Segunda opción de implementación del sistema

3.3.4. Diagrama de los circuitos de la etapa de recepción y etapa de visualización

El diagrama esquemático de este circuito está dividido en dos partes, el circuito de control en el que consta como parte principal el PIC 16F870 y su circuito de configuración correspondiente; y especialmente la tarjeta de recepción. Además constan de elementos como reguladores de voltaje de 5 y 6 [V], diodo de protección, switch on-off, etc. El segundo diagrama comprende el circuito de visualización formado por el LCD, un diodo bicolor y un buzzer piezoeléctrico.

Los diagramas esquemáticos de todos los circuitos implementados, tanto de la parte del conjunto pic transmisor – sensor así como de la parte de recepción – visualización, se presentan en la sección de Anexos.

Además, todos los diagramas de los circuitos están hechos en PROTEL 99, que es un software de simulación para el diseño de tarjetas electrónicas. Estos archivos realizados en PROTEL 99 se los adjuntará en el CD correspondiente que respalda la documentación del proyecto así como en la sección de anexos.

Los diagramas PCB de los archivos de impresión de Protel 99 en las capas de la Top Layer, Button Layer, Top Overlode y Mecánica 4 tanto del transmisor-sensor así como de la etapa de recepción y visualización se indican de la misma manera en la sección de anexos.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE MONITOREO

En este capítulo se presentan resultados y análisis de las pruebas efectuadas con el sistema de monitoreo implementado, esto se lo realiza con el fin de establecer los correctivos necesarios si fuese el caso, haciendo para tal efecto un análisis crítico y técnico del inconveniente suscitado.

4.1. Ecuación de funcionamiento del sensor de presión

Concluido el hardware y software del sistema de monitoreo, tanto el programa del PIC transmisor como del PIC receptor - decodificador, se procedió a realizar la primera prueba de funcionamiento del mismo; el análisis de resultados empezó con la determinación de la ecuación de funcionamiento del sensor, el cual se determinó mediante la revisión del datasheet básico de éste proporcionado por el fabricante así como por experimentación, se logró establecer que se trata de un sensor de tipo lineal.

La ecuación de este sensor tiene la forma:

$$y = mx - b$$

donde:

y = Valor de presión absoluta medida (KPa).

m = Resolución mínima del sensor (KPa/lb).

x = Valor de presión medida por el sensor (KPa).

b = Offset inicial de medición (KPa).

Cabe señalar que “ m ” es la pendiente de la ecuación, que en este caso es la resolución definida por el fabricante y cuyo valor es 2.97 KPa/lsb; la variable “ x ” representa el valor medido por el sensor e indicado en el LCD, y la variable “ b ” es el offset de presión inicial de medición del sensor cuyo valor es 50 KPa.

Entonces, para obtener la presión real en el neumático se debe multiplicar el valor medido por el sensor con su resolución establecida y luego restar el offset inicial.

4.2. Instalación y pruebas del sensor-transmisor en el neumático

Terminado los programas tanto la parte de transmisión como la parte de recepción se procedió a realizar las pruebas con el neumático con el fin de determinar si el sistema funcionaba en forma correcta.

Como primer paso se procedió a colocar el conjunto sensor-transmisor en el interior del neumático, es decir se le adhirió fijamente en el rin del neumático para evitar la desconexión del sensor y módulo de transmisión como se puede apreciar en la Figura 4.1.



Figura. 4.1. Colocación del sensor-transmisor en el rin del neumático

Después de haber fijado el conjunto sensor-transmisor en el rin se cierra el neumático para comenzar a llenarlo con aire según se muestra en la Figura 4.2



Figura. 4.2. Llenado de aire en el neumático

Concluido el inflado del neumático se procede a preparar el circuito de recepción simultáneamente con la interfaz visual para lograr observar las lecturas de presión existentes en el interior del neumático que proporcionaba el sensor SP12T.

Como primer dato se presión se introdujo 32 psi, para luego de esto ir bajando la presión de aire gradualmente y poder tomar nota de la presión en cada intervalo; esto debe realizarse hasta un valor de presión aproximado de 9 psi (62.01 KPa) que es el valor mínimo que puede detectar este sensor utilizado en la aplicación, según las pruebas realizadas para este caso.

De la misma manera se hizo la operación viceversa en el neumático, es decir, se introdujo aire hasta sobrepasar levemente los límites de funcionamiento de presión del neumático y poder observar los datos de presión enviados por el sensor en la interfaz como se ilustra en la Figura 4.3.

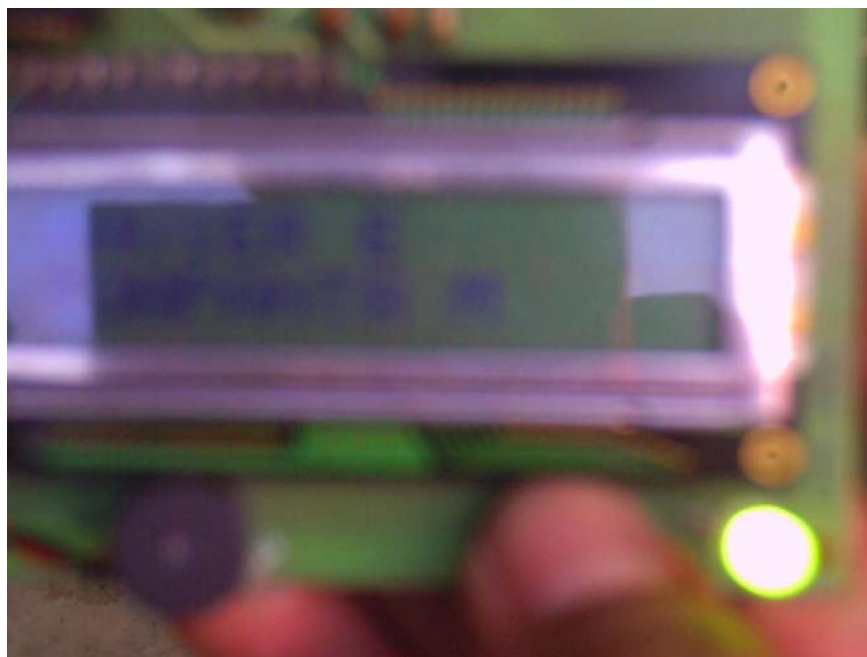


Figura. 4.3. Lectura de datos de presión en la interfaz visual

Los resultados de la primera experiencia efectuada, así como todas las posteriores efectuadas, se ilustrarán en tablas de datos. La tabla de datos de la primera prueba se puede advertir en la Tabla 4.1.

Tabla.4.1. Valores de presión de la primera prueba del sistema de monitoreo

PRESIÓN REAL		LECTURA DEL SENSOR EN EL LCD
Psi (lbs/plg ²)	KPa	KPa
30	207.200	67
28	193.394	65
26	179.580	61
24	165.760	59
20	138.390	53
16	110.511	46
12	82.880	41
10	69.069	34
9	62.160	26

Al realizar las operaciones indicadas anteriormente para cada uno de los valores de presión reales existente en el neumático, de la Tabla 4.1, se puede observar que los resultados de estos cálculos no son iguales a los valores reales de presión y, por lo tanto, el sensor no estuvo calibrado correctamente por lo que se requería revisar el programa que realiza la comunicación entre el módulo de transmisión y el sensor debido a que es en la etapa de transmisión donde se coloca para su ejecución los comandos principales del sensor de presión SP12T.

4.3. Revisión y corrección de los códigos de los programas de transmisión y recepción

En esta revisión del programa del PIC transmisor se pudo notar que faltaban instrucciones de programa que envía los comandos de compensación de presión del módulo transmisor hacia el sensor, los cuales debían seguir el orden de escritura como lo indica el datasheet del sensor; es decir:

```
movlw    b'00110001' ; MEASURE_P
call     mpresion

movlw    b'00001000'  ; RRPDH
call     mpresion

movlw    b'00101101'  ; RCPDL
call     mpresion

movlw    b'00101100'  ; RCPDH
call     mpresion

movlw    b'00000100'  ; RRPDL
call     mpresion

movlw    b'00110001'  ; MEASURE_P
call     mpresion
```

Terminado de añadir este código en el programa original se procedió a realizar nuevamente las pruebas en el neumático. En esta segunda prueba el resultado no obtuvo un cambio favorable, pues los valores de presión del sensor no se alteraron y los valores de presión fueron muy similares a los presentados en la Tabla 4.1.

En vista de tal situación, hubo la necesidad de realizar una nueva revisión tanto al programa de la parte de transmisión como a la de recepción para poder detectar y corregir algún error u omisión de código de programa.

Es así que en el programa de transmisión se pudo advertir que la subrutina que genera el tiempo de bit (416 us) para transmitir datos a 2400 bps no producía este tiempo, razón por la cual, el sistema no tenía un correcto funcionamiento. Detectado el error se

realizó las correcciones necesarias para generar el tiempo de bit correcto cuyo código final es:

```
◆──────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────  
; *****  
; FUNCIÓN DE TIEMPO PARA GENERAR EL BIT DE INICIO (416us)  
  
demora    ;subrutina para hacer bit inicio/parada  
  
    movlw  d'70'  
    movwf  contador1  
  
time  
    nop  
    nop  
    nop  
    decfsz contador1,1  
goto     time  
  
return  
◆──────────────────────────────────────────────────────────────────────────────────
```

Con estos nuevos cambios se realizó una prueba más en el neumático obteniéndose como resultados los valores que se indican en la Tabla 4.2. Entonces, al efectuarse las operaciones en la ecuación del sensor para cada uno de los valores de presión con el fin de determinar el valor real de presión, se llegó a obtener valores similares a los de la presión real, por lo que se logró calibrar correctamente el sensor con una buena aproximación.

Tabla.4.2. Resultados de la segunda prueba del sistema de monitoreo

PRESIÓN REAL		LECTURA DEL SENSOR EN EL LCD		
psi (lbs/plg ²)	KPa	1ra Medición (KPa)	2da Medición (KPa)	3ra Medición (KPa)
32	220.48	217.30	217.30	214.33
29	199.80	196.51	193.54	196.51
27	186.03	184.66	187.60	187.60
25	172.25	172.75	175.72	172.75
23	158.47	157.90	157.90	157.90
21	144.69	143.05	146.02	143.05
19	130.91	131.17	131.17	131.17
17	117.13	116.32	119.29	119.29
15	103.35	101.47	104.44	104.44
13	89.57	89.59	92.52	92.52
11	75.79	74.74	77.71	77.71
9	62.01	65.83	62.86	62.86

Pero al realizar las pruebas obteniendo los resultados esperados se pudo notar un pequeño inconveniente que consistía en la demora de la respuesta del sensor hacia la etapa de recepción, por lo que para mejorar la velocidad de respuesta del sensor se realizó unos pequeños cambios de calibración en el código de programa del transmisor y recepción

Con referencia al código del programa del pic transmisor, el único cambio se hizo aumentando la tasa de envío de datos (cinco), que son leídos por el sensor y llevados hacia la etapa de recepción. En un principio se enviaba una sola vez los datos leídos por el sensor.

lazo2

```
bsf      GPIO,5      ;Habilto el pin 5 de RF en el pic transmisor
movlw   d'5'        ;Cargo el número de veces de envío a "contador7"
movwf   contador7
; -----
; Transmisión de byte de inicio (A1D) y byte de parada (B)
; -----
```

```
decfsz  contador7,1 ; decremento el número de veces de transmisión (5)
goto    lazo2
```

```
bcf     GPIO,5      ; deshabilitar el enable de RF
```

Mientras tanto en el programa de la etapa de recepción se realizó el cambio en la instrucción "serin2", en el que el parámetro "50", que significa el tiempo de espera (ms) del dato válido del sensor, es muy corto por lo que el dato no puede ser captado en ese tiempo y debe esperar otro ciclo de tiempo de 50 ms para luego ser comparado si el dato recibido es el mismo que envía el sensor; si no es el mismo dato espera nuevamente otros 50 ms para volver a verificar si el dato recibido es el correcto y así sucesivamente.

INICIO:

```
serin2      portc.2,396,50,INICIO,[wait("A1D"),str dato\1,str dato2\2]
```

Mediante pruebas se logró establecer un tiempo de 100 ms en reemplazo de los 50 ms. Entonces, con los cambios en los códigos de programa en la etapa de transmisión así como en la etapa de recepción y realizando una nueva toma de datos se obtuvo los mismos valores de presión como los señalados en la Tabla 4.2, con la diferencia de tener una mayor rapidez de respuesta del sensor de presión.

4.4. Pruebas de campo

Una vez realizado los todos los ajustes de software y hardware, se procedió a realizar las pruebas con el automotor en movimiento con los componentes del sistema instalados en el automotor. La respuesta del sistema fue la esperada, ya que la lectura del sensor fue el mismo valor de presión con que se infló el neumático, es decir 30 psi. Estas pruebas se realizaron en calzadas planas. La prueba no duró más que unos minutos, en razón que no se tenía la certeza del normal funcionamiento cuando el transmisor-sensor se encuentre en movimiento, si en el caso que el sensor de presión sufriese algún daño no se disponía de otro sensor de presión para su reemplazo por su dificultad en adquirirlo de nuevo. Además el circuito transmisor-sensor al ser un poco grande físicamente necesitaba ser acoplado al rin del neumático con mayor precisión y seguridad. La respuesta del conjunto sensor-transmisor ante diferentes velocidades del automotor fue normal hasta una velocidad aproximada de 75 Km/h. A esta velocidad el conjunto sensor-transmisor dejó de transmitir, debido a que el conjunto sensor-transmisor se habían desconectado por no haber estado adherido fijamente al rin del neumático.

CAPÍTULO 5

BREVE ESTUDIO DE MERCADO

5.1. Introducción

En este capítulo se detalla en forma breve y concisa un estudio del impacto en los usuarios que pueden estar interesados en adquirir el proyecto desarrollado. Esto se lo hace con el fin de tratar de identificar el mercado donde podría tener aplicación práctica el proyecto, haciéndolo conocer como un producto relativamente nuevo en automóviles en nuestro medio y que puede contribuir a incrementar la vida útil de los neumáticos y principalmente proporcionando más seguridad al usuario.

5.2. Investigación descriptiva

El estudio realizado tiene el carácter de investigación descriptiva por cuanto en ella se describen los aspectos más característicos de personas, situaciones o cosas, es decir, aquellas propiedades que las hacen reconocibles ante los ojos de los demás.

Una de las funciones principales de la investigación descriptiva es la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio, así como la descripción respectiva de sus partes, categorías de dicho objeto.

Un ejemplo para citar de investigación descriptiva es la investigación de encuesta nacional de hogares, empresas, etc.

5.3. Determinación de la población y muestra

Antes de empezar con la selección de la muestra de investigación se estableció como objetivo conocer el impacto del sistema en los mercados comerciales automotrices o afines así como en los usuarios particulares. La entrada al mercado del sistema dependerá de la novedad del producto y su aplicación así como el costo económico del mismo.

Como el estudio a tratar es de tipo descriptivo, por cuanto, se va a describir las bondades que ofrece el sistema así como determinar la situación económica del usuario para adquirir el sistema. El procedimiento realizado para el estudio de mercado fue mediante encuestas.

5.3.1. Población

Como concepto de población se puede manifestar que es el conjunto de todos los elementos o individuos que tienen ciertas características similares y sobre las cuales se desea hacer la investigación.

Para nuestro caso la población viene dado por dos categorías: usuarios particulares y empresas comerciales.

Las encuestas realizadas se efectuaron en la parroquia de Cumbayá perteneciente a la provincia de Pichincha, para los usuarios particulares así como para el caso de empresas varias.

5.3.2. Muestra

Muestra es la parte de la población que se elige, y de la cual se va a obtener toda la información para el desarrollo del estudio.

Para definir la muestra se debe seguir los siguientes pasos:

- **Definir la población.** Como se mencionó anteriormente se consideró la población de estudio en dos categorías: usuarios particulares y empresas comerciales.

- **Determinar el tamaño de la muestra.** Esto se determinó mediante la fórmula de muestreo aleatorio simple.
- **Elegir un procedimiento de muestreo.** El procedimiento empleado fue mediante encuestas.
- **Seleccionar la muestra.** Con respecto a los usuarios particulares se escogieron en forma aleatoria a personas que forman parte del parque automotor; en cambio se escogieron como empresas comerciales a las que ofrecen servicio de mantenimiento a neumáticos, empresas de transporte interparroquial, cooperativa de taxis y transportación de carga liviana.

5.4. La encuesta

El contenido de la encuesta trata de conscientizar al usuario de la necesidad de cubrir el parámetro de la seguridad como objetivo principal, así como el de incrementar el grado de desempeño del automóvil.

La realización de la encuesta tiene el propósito de obtener información del posible cliente, como por ejemplo:

- Determinar la acogida que tendría el producto en el mercado proyectado.
- Establecer cuál sería nuestro cliente mayoritario.
- Conocer la cantidad económica que estarían dispuestos a cancelar los usuarios.

Los cuestionarios de las encuestas de las dos categorías se encuentran en la sección de anexos.

5.5. Análisis de resultados

Las encuestas realizadas como se mencionó anteriormente, se realizaron en dos categorías: la primera realizada a usuarios particulares y la segunda hecha a empresas diversas; esto de hacer dos categorías de encuestas es con el fin de conocer las opiniones del sistema desde el punto de vista particular, así como las opiniones desde el punto de vista de la empresa.

5.5.1. Análisis de resultados de las encuestas a usuarios particulares

Para la realización de este tipo de encuestas se tomaron en consideración dos aspectos:

- Que al tratarse de un producto prototipo, la encuesta se realizó en una población pequeña, la población escogida fue la parroquia de Cumbayá.
- En esta población se encuentran usuarios de posibilidades económicas media y alta, por lo que este tipo de usuarios pueden ser el cliente mayoritario del producto, ya sea que lo adquieran por seguridad personal o simplemente por satisfacer su ego propio.

En el sector de Cumbayá hay aproximadamente 21078 habitantes con un parque automotor que se aproxima a los 3000 automóviles, de los cuales unos 1960 aproximadamente son automóviles cuyos modelos son superiores al año 1998, los cuales pertenecen a propietarios de posición económica aceptable.

A partir de los 1960 automóviles se estableció el número para el tamaño de la muestra para la realización de las encuestas mediante la ecuación de muestreo aleatorio simple, que se indica a continuación:

$$n = \frac{S^2}{\frac{\xi^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N}}$$

donde:

n: tamaño necesario de la muestra.

Z: margen de confiabilidad (para una confiabilidad del 95%, $Z = 1.96$).

S: desviación estándar de la población conocida ($S = 0.4$).

ξ : error o diferencia máxima entre la media muestral y la media de la población que se está dispuesto a aceptar para una confiabilidad del 95% ($\xi = 0.05$).

N: tamaño de la población (automóviles) ($N = 1960$).

Entonces el número de usuarios a encuestar (tamaño de la muestra) sería:

$$n = \frac{S^2}{\frac{\xi^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N}} = \frac{(0.4)^2}{\frac{(0.05)^2}{(1.96)^2} + \frac{(0.4)^2}{1960}} = 217 \text{ usuarios}$$

Los sitios de la población de Cumbayá escogidos para la realización de las encuestas fueron: el centro comercial principal, Universidad “San Francisco de Quito” y gasolineras del lugar.

Los resultados a las preguntas más importantes de la encuesta por parte de los usuarios particulares se detallan a continuación:

- Un 88% de los encuestados afirman haber tenido en algún momento inconvenientes especialmente por presión de aire baja en los neumáticos; mientras que el 12% restante mencionan no haber tenido problemas de presión por realizar un continuo chequeo de los neumáticos. Esto se puede observar en la Figura 5.1.

INCONVENIENTES EN LA PRESIÓN DE LOS NEUMÁTICOS

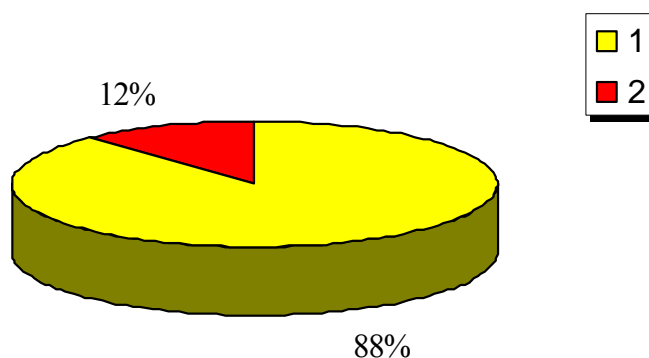


Figura. 5.1. Problemas de presión en los neumáticos en los usuarios

Donde: ■ Han tenido problemas con la presión en los neumáticos.
■ No han tenido problemas.

- De la misma manera, un 94% de los encuestados manifiestan conocer de la existencia de accidentes automovilísticos por problemas de presión en los neumáticos, mientras que un 6% desconocen accidentes debido a estas fallas. Esto se ilustra en la Figura 5.2.

ACCIDENTES POR PROBLEMAS DE PRESIÓN DE AIRE

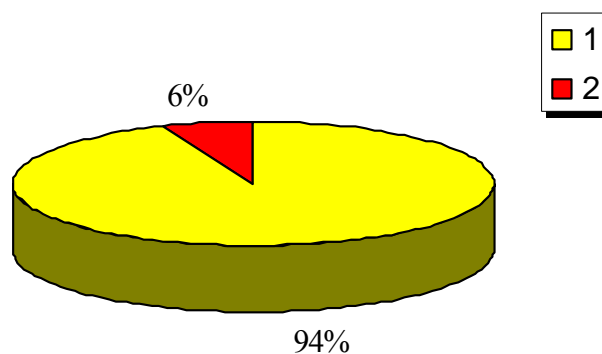


Figura. 5.2. Conocimiento de los usuarios de accidentes por problemas de presión

Donde:

- Usuarios conocen de accidentes de tránsito por problemas de presión.
- Usuarios no conocen de accidentes de tránsito.

- Un 89% de los encuestados afirman que les interesaría contar con el sistema de monitoreo, por cuanto manifiestan que la seguridad de éstos es muy importante así como también la prolongación de la vida útil del neumático; en tanto que un 11% aseguran que no necesitan el sistema ya que realizan una revisión constante de los neumáticos en los centros de servicio respectivos. En la Figura 5.3 se indica las cifras antes mencionadas.

INTERÉS DEL USUARIO EN EL SISTEMA DE MONITOREO

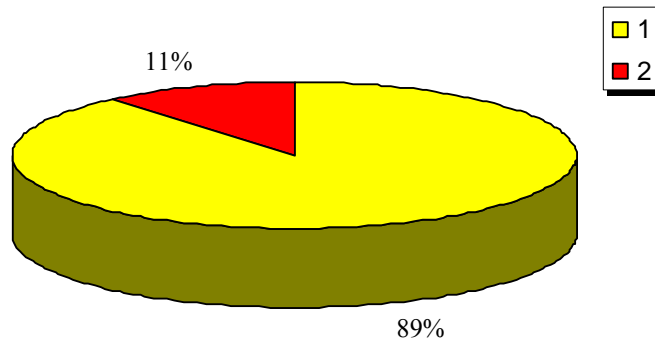


Figura. 5.3. Interés de adquisición del sistema por parte del usuario

Donde:

- Interés del usuario en el sistema.
- No le interesa el sistema al usuario.

- El costo de adquisición del sistema que estaría dispuesto a pagar la mayoría de usuarios encuestados es de \$530.00 que representa el 94%. Los encuestados también enuncian como un valor de pago la cantidad de \$560.00 que representa un 4% y en menor proporción el valor de \$590.00 que es un 2%. Estas cifras se indican en la Figura 5.4.

COSTO A CANCELAR EL USUARIO POR EL SISTEMA

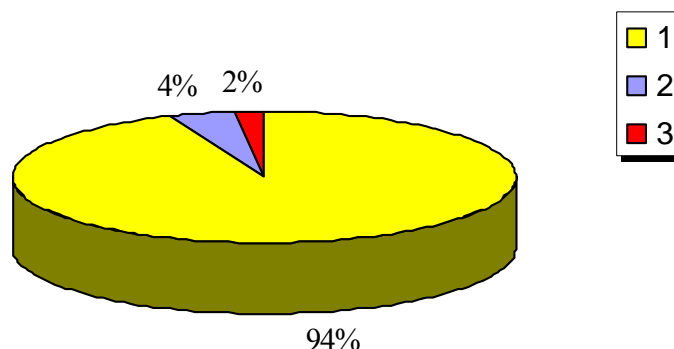


Figura. 5.4. Costo que estaría en capacidad de pagar el usuario por el sistema de monitoreo

- Donde:
- Valor de \$530.00 propuesto por el usuario por el sistema de monitoreo.
 - Valor de \$560.00 propuesto por el usuario por el sistema de monitoreo.
 - Valor de \$590.00 propuesto por el usuario por el sistema de monitoreo.

Con los resultados anteriores se puede concluir que en gran parte de los usuarios particulares encuestados, están interesados en la adquisición del sistema de monitoreo en razón del factor seguridad principalmente, y en segundo plano para extender la vida útil de los neumáticos. Con relación al factor económico que es un parámetro fundamental, la mayoría de encuestados afirman que estarían dispuestos a pagar la cantidad de \$530.00 por el sistema, aunque creen que el costo es algo elevado. También señalan como sugerencia la complementación del sistema para que éste pueda regular la presión de aire, ya sea para aumentar o disminuir la presión en los neumáticos.

5.5.2. Análisis de resultados de las encuestas a empresas varias

La encuesta de esta categoría también fue realizada en la parroquia de Cumbayá, la cual está dirigida a empresas que ofrecen servicios de mantenimiento de neumáticos, empresas de transportación de carga liviana y pública. Con esta encuesta se desea saber si producto es conocido a nivel empresarial, o si conocen de algún sistema de monitoreo

continuo en nuestro medio. También se desea conocer el valor económico que pagarían las empresas en caso del interés en el sistema.

Las empresas tomadas en consideración para la realización de las encuestas fueron: transportes “Tumbaco”, transportes “Pifo”, transportes “Yaruquí”, cooperativa de camionetas “Cumbayá”, cooperativa de taxis “Lasanes”, cooperativa de taxis “Cumbayá”, llantas y servicios “Super Tecnicentro – Continental General Tyre”, y taller mantenimiento de autos “Toyota”, dando un número total de ocho empresas encuestadas en esta población.

Entre los resultados obtenidos a las preguntas principales formuladas en el cuestionario se detallan a continuación:

- En todas las cooperativas de transporte encuestadas, algunas de sus unidades de servicio han tenido inconvenientes por llantas de presión baja principalmente.
- Seis de las siete empresas encuestadas no conocen acerca de un sistema de monitoreo continuo de presión en los neumáticos de automóviles en nuestro medio aparte de los servicios ofrecidos por las empresas de mantenimiento de neumáticos. La empresa restante sabe que el sistema sólo poseen busetas de transporte público interprovincial o urbano y últimamente en automóviles de lujo. Estos resultados se señalan en la Figura 5.5.

CONOCIMIENTO DE LA EMPRESA DE UN SISTEMA DE MONITOREO

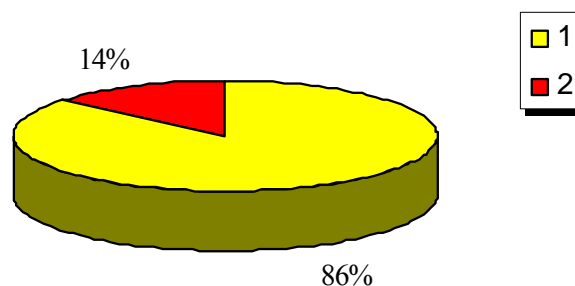


Figura. 5.5. Conocimiento de la empresa del sistema de monitoreo en el mercado

Donde:

- La empresa desconoce de un sistema de monitoreo en nuestro medio.
 - Conocen de un sistema en transporte público.
- La cooperativa de taxis “Lasanes” y la cooperativa de transporte “Tumbaco” podrían adquirir el sistema y las seis empresas restantes no están interesadas en el sistema básicamente por razones económicas; estos valores se pueden observar en la Figura 5.6.

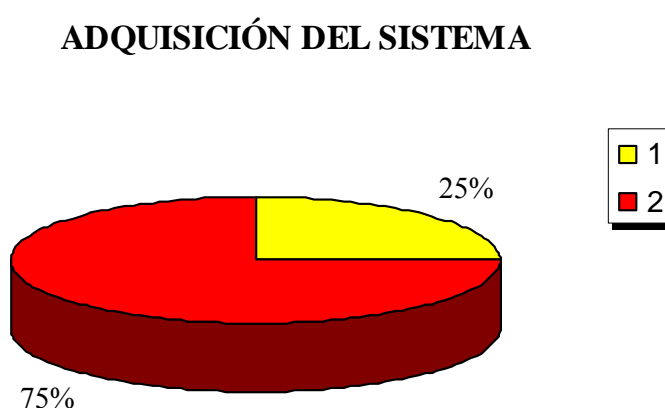


Figura. 5.6. Representación de las empresas interesadas en adquirir el sistema

Donde:

- Empresas están interesadas en adquirir el sistema.
 - Las empresas no están interesadas en el sistema.
- Con relación al costo económico del sistema, la cooperativa de taxis manifiesta que pagarían un valor de \$530 del sistema para los cuatro neumáticos mientras que la cooperativa de transporte interparroquial “Tumbaco” pagaría la cantidad de \$620 por el sistema incorporado a las seis llantas.

Con la información de la encuesta efectuada a las diferentes zonas de Cumbayá se puede concluir que sólo dos empresas estarían interesadas en el sistema, aunque éstas manifiestan que su costo parece elevado.

Además expresan algunas empresas que han escuchado de un sistema de monitoreo de presión de aire relativamente nuevo, que viene incorporado en buses de transportación pública así como en automóviles de último modelo de lujo.

Asimismo sugieren ciertas empresas para que el sistema fuese ideal, debería también regular la presión de aire en los neumáticos en un tiempo futuro.

En cuanto al costo las empresas interesadas estarían dispuestas a cancelar la cantidad aproximada de \$530 para incorporar el sistema a automotores de cuatro neumáticos y \$620 para automotores de seis neumáticos.

5.6. Costos del sistema de monitoreo

Los gastos realizados para la implementación del Sistema de Monitoreo, se detallan a continuación en la Tabla 5.1.

Tabla.5.1. Análisis de costos del sistema de monitoreo de presión de aire en neumáticos de automóvil

Material	#	Precio \$
Kit de desarrollo para pics de radiofrecuencia (tarjetas, programador, cds, etc.)	1	200,00
Sensor de presión SP12T (importación)	1	100,00
Pantalla de cristal líquido (LCD)	1	14,00
Pic 16F870	1	4,50
Reguladores de voltaje	2	03,00
Resistencias	3	0,21
Capacitores	4	0,60
Diodo emisores de luz bicolor (LED)	1	0,15
Bornera	1	2,00
Cable RIBBON (cable de bus de datos)	2 [m]	0,80
Placas de montaje	3	50,00
Varios		3,00
TOTAL		378,26

Como se puede apreciar en la Tabla 5.1 el proyecto prototipo tiene un costo elevado, en la que el kit de desarrollo de pics de radiofrecuencia en conjunto con el sensor de presión representan el mayor valor económico en el proyecto.0 Esto se debe a que el kit de desarrollo de las tarjetas de radiofrecuencia es el primer prototipo del fabricante, estos vienen diseñados como módulos de prácticas para el aprendizaje y el manejo por parte del usuario.

Además de las tarjetas, el kit consta de cds de ayuda, el grabador de las tarjetas de transmisión y cable USB, implementos que hacen que el costo se eleva aún más.

De la misma forma, el sensor de presión por ser de fabricante europeo y relativamente nuevo en el mercado, hizo que la adquisición del mismo haya llevado un tiempo algo extenso, aunque el dispositivo se lo obtuvo como una muestra y no tuvo costo alguno a más del costo de importación.

No obstante, en la actualidad los módulos de radiofrecuencia en el mercado se pueden adquirir no como un kit de desarrollo, sino como tarjetas de radiofrecuencia (sin pulsadores y potenciómetros) independientemente del grabador, cds y cables. El costo de estas tarjetas actualmente es aproximadamente \$30.00 para la tarjeta de transmisión y \$35.00 la tarjeta de recepción.

Con relación al costo actual del sensor SP12 para automóviles, es \$35.00, con la desventaja que es un precio de venta al por mayor.

Con estos nuevos precios reales tanto en las tarjetas de radiofrecuencia como en el sensor de presión SP12, y con los mismos valores de los otros elementos, el total del costo actual del proyecto está dado en la Tabla 5.2.

Tabla. 5.2. Costo actual del proyecto

Materiales	Cuatro neumáticos		Seis neumáticos	
	Cantidad	Precio	Cantidad	Precio
Tarjetas de transmisión de radiofrecuencia	4	140,00	6	210,00
Tarjeta de recepción de radiofrecuencia	1	35,00	1	35
Sensor de presión SP12	4	140,00	6	210,00
Pantalla de cristal líquido (LCD)	1	14,00	1	14,00
Pic 16F870	1	4,50	1	4,50
Reguladores de voltaje	2	3,00	2	3,00
Resistencias	3	0,21	3	0,21
Capacitores	4	0,60	4	0,60
Diodo emisores de luz bicolor (LED)	1	0,15	1	0,15
Bornera	1	2,00	1	2,00
Cable RIBBON (bus de datos)	2 [m]	0,80	2 [m]	0,80
Placas de montaje	6	110,00	8	160,00
Diseño de prototipo electrónico		80,00	----	80,00
TOTAL		530,00		620,00

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se ha dado cumplimiento con los objetivos propuestos, es así que se ha diseñado e implementado el sistema de monitoreo de presión de aire en neumáticos de automóvil.
- En razón que el pic receptor no se puede programar, se tuvo que utilizar un microcontrolador de uso común para decodificar la información proveniente de la etapa de transmisión.
- El sistema de monitoreo, basado en las encuestas efectuadas en la parroquia de Cumbayá, tiene una acogida aceptable en la mayoría de usuarios.
- En el sitio de pruebas, pudo determinarse que las interferencias existentes en el ambiente generaban conflictos. Por esta razón se realizó un filtro por software para ignorar esta interferencia.
- Se ha constatado el correcto funcionamiento del sistema a diferentes velocidades del automotor. La velocidad máxima de prueba fue de 75 Km/h. El tamaño físico de la tarjeta de transmisión y la dificultad de adherirla fijamente al rin del neumático, no permitió verificar el funcionamiento del sistema a velocidades mayores a 75 Km/h.
- La fuente de alimentación de voltaje de la tarjeta de transmisión que suministra al pic y al sensor de presión continuamente tiene un tiempo de duración de un mes; tiempo muy reducido para el funcionamiento del sistema, y que a la vez ocasiona molestias al usuario por el mantenimiento del mismo.

RECOMENDACIONES

- En miras a la producción se recomienda no utilizar las tarjetas de transmisión para desarrollo por disponer de elementos ajenos a su uso específico y que utilizan espacio y energía innecesarios. Esto facilitará la instalación en el rin del neumático y asegurará la integridad física de la tarjeta.
- Se recomienda utilizar una batería de mejores características en corriente por hora, para suministrar al pic de transmisión y al sensor de presión. Esto tiene el propósito de extender el tiempo de funcionamiento del sistema de monitoreo como un mínimo de seis meses.
- Se propone complementar a este proyecto la implementación de una nueva etapa, la cual a más de monitorear la presión de aire tenga la capacidad de autorregular dicha presión según sea necesario, ya sea para disminuir o aumentar la presión de aire en los neumáticos. Esta recomendación se basa por sugerencia de los clientes encuestados.

BIBLIOGRAFÍA

ANGULO USATEGUI, José M.

ANGULO MARTINEZ, Ignacio

ROMERO YESA, Susana, *Microcontroladores PIC diseño práctico de aplicaciones segunda parte PIC 16F87X*, (2da edición), editorial: Concesión Fernández Madrid, España, 2004, 230 paginas

REYES, Carlos, *Aprenda rápidamente a programar Microcontroladores PIC 16F62X, 16F81X, 12F6XX*, 1ª ed., Gráficas Ayerve, Ecuador – 2004, Capítulo 5.9 Comunicación, p 118 – 133

BERNAL, César Augusto, *Metodología de la investigación para administración y economía*, 1ra edición, editorial: Prentice Hall, Bogotá, Colombia 2000, 259 páginas.

Otros medios

www.microchip.com (sitio web), Microchip

www.mecanique.co.uk (sitio web), MicroCode

www.icprog.com (sitio web), Icprog

www.infineon.com/cmc_upload/documents/091/339/SP12_techinfo.pdf, sensor de presión

www.sensor.no, sensor de presión SP12T.

www.frentesocial.gov.ec, consulta de población – Cumbayá -

www.emsat.gov.ec, operadoras de transporte pública – Cumbayá –

A N E X O S

ANEXO 1

CÓDIGO DE PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR TRANSMISOR DE RADIOFRECUENCIA

```
; //////////////////////////////////////
```

```
; Programa del Transmisor
```

```
; //////////////////////////////////////
```

```
list      p=12f675      ; Directiva para definir el procesador
```

```
#include  <p12f675.inc>
```

```
errorlevel -302      ; Suprime el mensaje 302 debido al cambio de banco
```

```
__CONFIG      _CPD_OFF & _CP_OFF & _BODEN_OFF & _MCLRE_OFF &  
_PWRTE_OFF & _WDT_OFF & _INTRC_OSC_NOCLKOUT ; Palabra de config.
```

```
contador1 equ h'20'
```

```
dato      equ h'21' ; dato que voy a transmitir
```

```
cont      equ h'22' ; contador de transmision
```

```
cont1     equ h'23' ; contador de transmision1
```

```
sensor    equ h'24' ; dato del sensor
```

```
xor       equ h'25' ; checksum
```

```
total_xor equ h'26'
```

```
contador4 equ h'27'
```

```
contador5 equ h'28'
```

```
presion   equ h'29'
```

```
comando   equ h'2A'
```

```
dpresion  equ h'2B'
```

```
bandera   equ h'2C'
```

```
contador6 equ h'2D'
```

```
contador7 equ h'2E'
```

```
org h'00' ;vector de inicio
```

```
goto inicio
```

inicio

```
clrf TRISIO ; A "0" TRISIO para que el led no se prenda apenas se energize la targeta
banksel OPTION_REG ;Voy al banco donde está el reg. OPTION_REG
movlw b'00001000' ; Deshabilito el pull-up("1")(bit7),preescaler asigno al
; WDT(bit3) poniendo "1"; los demás bits poner a "0"
movwf OPTION_REG ; Cargo al reg. OPTION_REG
bcf INTCON,7 ; Pongo "0" para desahabilitar el bit 7(interrupcion global)
banksel ANSEL ; Voy al banco donde está el reg. ANSEL
bcf ANSEL,0 ; Pongo los bits<0-3> en "0" para hacer I/O digitales
bcf ANSEL,1
bcf ANSEL,2
bcf ANSEL,3
banksel TRISIO ; Voy al banco donde esta reg. TRISIO
movlw b'11001000' ; Habilito bit 5 y bit 2 para que sean salidas
; (bit 2 transmite y bit 5 para enable de RF y prender LED).
movwf TRISIO ; Cargo al reg. TRISIO
banksel GPIO ; Regreso al banco donde esta el reg. GPIO
call demora
bcf GPIO,5 ; Voy a deshabilitar el enable de RF
```

```
; //////////////////////////////////////
```

```
; realiza el xor de los datos
```

```
; //////////////////////////////////////
```

```
movlw d'118' ; xor entre A 1 D B, es siempre es constante (118)
```

```
movwf total_xor
```

```
monitoreo_sensor
```

```
revisando
```

```
movlw b'00110001' ; MEASURE_P
```

```
call mpresion
```

```
movlw b'00001000' ;RRPDH
```

```
call mpresion
```

```

movlw b'00101101' ; RCPDL
call mpresion
movlw b'00101100' ; RCPDH
call mpresion
movlw b'00000100' ; RRPDL
call mpresion
movlw b'00110001' ; MEASURE_P
call mpresion
movf presion,W
movwf xor
movf presion,W
movwf sensor
movfw xor
xorwf total_xor,0
movwf xor
movlw d'5'
movwf contador7
call habilitar_rf2
call demora
goto monitoreo_sensor
habilitar_rf2
lazo2
bsf GPIO,5 ; Habilito el pin de RF,que ese pin por el diseño de la tarjeta del Tx.
call demora
movlw "A" ; Envio la letra A bit inicio
movwf dato
call transmitir
movlw "1" ; Envio el num 1 bit inicio
movwf dato
call transmitir
movlw "D" ; Envio la letra D bit inicio
movwf dato
call transmitir

```

```

movfw sensor ; Envio dato del sensor
movwf dato
call transmitir
movlw "B" ; Envio la letra B bit fin
movwf dato
call transmitir
movfw xor ; Envio dato del sensor
movwf dato
call transmitir
decfsz contador7,1
goto lazo2
bcf GPIO,5 ; Voy a deshabilitar el enable de RF
return

```

```

; *****

```

```

; FUNCIÓN DE TIEMPO PARA BIT DE INICIO (416us)

```

```

; *****

```

```

demora ; subrutina para hacer bit inicio/parada
movlw d'70' ;pongo en reg w ese numero para hacer el tiempo de bit de
; inicio(416us)y velocidad de 2400 bits/seg.
movwf contador1
time
nop
nop
nop
decfsz contador1,1 ; decremento en 1 el valor de contador1 para que salga de
; este ciclo al hacerse 0 contador1 que tiene 255
goto time
return

```

```

; *****
; FUNCIÓN DE TIEMPO PARA MEDIO BIT DE INICIO
; *****
demora_mitad; subrutina para hacer bit inicio/parada
movlw d'35' ; pongo en reg w ese numero para hacer el tiempo de bit de inicio (416us)
; y velocidad de 2400 bits/seg.
movwf contador1
time2
nop
nop
nop
decfsz contador1,1 ; decremento en 1 el valor de contador1 para que salga de este
; ciclo al hacerse 0 contador1 que tiene 35
goto time2
return
interrupcion
retfie

```

```

; *****
; FUNCION TRANSMITIR DATOS
; *****
transmitir
; *****
; BIT DE INICIO (1 EN ALTO Y MEDIO EN BAJO)
; *****
bsf GPIO,2
call demora
bcf GPIO,2
call demora_mitad

```

; *****

; **DATOS**

; *****

btfsfsc dato,0

bsf GPIO,2 ;Primer bit 0 de dato.

btfsfss dato,0

bcf GPIO,2 ;Primer bit 0 de dato

call demora

btfsfsc dato,1

bsf GPIO,2 ; Primer bit 1 de dato

btfsfss dato,1

bcf GPIO,2 ; Primer bit 1 de dato

call demora

btfsfsc dato,2

bsf GPIO,2 ; Primer bit 2 de dato

btfsfss dato,2

bcf GPIO,2 ; Primer bit 2 de dato

call demora

btfsfsc dato,3

bsf GPIO,2 ; Primer bit 3 de dato

btfsfss dato,3

bcf GPIO,2 ; Primer bit 3 de dato

call demora

btfsfsc dato,4

bsf GPIO,2 ; Primer bit 4 de dato

btfsfss dato,4

bcf GPIO,2 ; Primer bit 4 de dato

call demora

btfsfsc dato,5

```
bsf GPIO,2 ;Primer bit 5 de dato
bcf GPIO,2 ;Primer bit 5 de dato
call demora
```

```
    btfsc dato,6
    bsf GPIO,2 ;Primer bit 6 de dato
    btfss dato,6
    bcf GPIO,2 ;Primer bit 6 de dato
    call demora
    btfsc dato,7
    bsf GPIO,2 ; Primer bit 7 de dato
    btfss dato,7
    bcf GPIO,2 ; Primer bit 7 de dato
    call demora
```

```
    bsf GPIO,2 ; Bit de parada1
    call demora
    bsf GPIO,2 ; Bit de parada2
    call demora
    return
```

```
;*****
```

```
; FUNCIÓN DE TIEMPO DE 1seg
```

```
;*****
```

```
un4segundo
```

```
nop
```

```
nop
```

```
movlw d'255' ; pongo en reg W ese número
```

```
movwf contador4 ; pongo el contenido de reg w en la direccion de contador4
```

```
time5 ; ciclo de "nop"
```

```
call nops
```

```
call nops
```

```
call nops
```

```
call nops
```



```
call nops
call nops
call nops
call nops
call nops
call nops
decfsz contador4,1 ; decremento en 1 el valor de contador1 para que salga de este
                    ; ciclo al hacerse 0 contador1 que tiene 255.
goto time5        ; regresa al ciclo time
call time6        ; llamo a la funcion time1 que es la q generar otro ciclo de "nop", time1
                    ; esta anidado en la funcion tiempo
return           ; retorna a "call tiempo que esta en inicio"
```

```
time6
movlw d'255'      ; pongo en reg w ese numero
movwf contador5  ; pongo el contenido de reg w en la direccion de contador3
nop
```

```
time7            ; ciclo de nop
```

```
call nops
call nops
call nops
call nops
call nops
call nops
call nops
call nops
call nops
call nops
```

```
decfsz contador5,1 ; decremento en 1 el valor de contador1 para que salga de este
                    ; ciclo al hacerse 0 contador3 que tiene 255
goto time7         ; regresa al ciclo time7
```

return

; *****

; **FUNCION DE NOPS**

; *****

nops

 nop ;1

 nop

 nop

 nop

 nop ;5

 nop

 nop

 nop

 nop

 nop ;10

 nop

 nop

 nop

 nop

 nop ;15

 nop

 nop

 nop

 nop

 nop ;20

 nop

 nop

 nop

 nop

 nop ;25

 nop

 nop

 nop

```
nop
nop      ;30
nop
nop
nop
nop
nop      ;35
nop
nop
nop
nop
nop      ;40
nop
nop
nop
nop
nop      ;45
nop
nop
nop
nop
nop      ;50
return
```

```
*****
```

```
; FUNCIÓN mpresion (Mide la Presión) - PROTOCOLO SPI
```

```
*****
```

```
mpresion
movwf comando
clrf dpresion      ; presion en cero
```

; *****

; **Condiciones iniciales**

; *****

bsf GPIO,4 ; NCS en alto
bcf GPIO,1 ; clock en bajo
call miliseg

bcf GPIO,4 ; Habilito NCS
call miliseg
btfss GPIO,3
bcf bandera,0
btfsc GPIO,3
bsf bandera,0

; *****

; **bit 0**

; *****

bsf GPIO,1 ; clock en alto ya puedo leer FSI
call miliseg
btfss GPIO,3 ; leo primer dato (bit 0)
bcf dpresion,0
btfsc GPIO,3
bsf dpresion,0
btfss comando,0
bcf GPIO,0 ; SDI
btfsc comando,0
bsf GPIO,0 ; SDI
call miliseg
bcf GPIO,1 ; clock en bajo
call miliseg

```
; *****  
; bit 1  
; *****  
bsf GPIO,1 ; clock en alto ya puedo leer FSI  
call miliseg  
btfss GPIO,3 ; leo dato1 (bit 1)  
bcf dpresion,1  
btfsc GPIO,3  
bsf dpresion,1  
btfss comando,1  
bcf GPIO,0 ; SDI  
btfsc comando,1  
bsf GPIO,0 ; SDI  
call miliseg  
bcf GPIO,1 ; clock en bajo  
call miliseg
```

```
; *****  
; bit 2  
; *****  
bsf GPIO,1 ; clock en alto ya puedo leer FSI  
call miliseg  
btfss GPIO,3 ; leo dato 2 (bit 2)  
bcf dpresion,2  
btfsc GPIO,3  
bsf dpresion,2  
btfss comando,2  
bcf GPIO,0 ; SDI  
btfsc comando,2  
bsf GPIO,0 ; SDI  
call miliseg  
bcf GPIO,1 ; clock en bajo  
call miliseg
```

```
; *****  
; bit 3  
; *****  
bsf GPIO,1 ; clock en alto ya puedo leer FSI  
call miliseg  
btfss GPIO,3 ; leo dato 3 (bit 3)  
bcf dpresion,3  
btfsc GPIO,3  
bsf dpresion,3  
btfss comando,3  
bcf GPIO,0 ; SDI  
btfsc comando,3  
bsf GPIO,0 ; SDI  
call miliseg  
bcf GPIO,1 ; clock en bajo  
call miliseg
```

```
; *****  
; bit 4  
; *****  
bsf GPIO,1 ; clock en alto ya puedo leer FSI  
call miliseg  
btfss GPIO,3 ; leo dato 4 (bit 4)  
bcf dpresion,4  
btfsc GPIO,3  
bsf dpresion,4  
btfss comando,4  
bcf GPIO,0 ; SDI  
btfsc comando,4  
bsf GPIO,0 ; SDI  
call miliseg  
bcf GPIO,1 ; clock en bajo  
call miliseg
```

; *****

; bit 5

; *****

bsf GPIO,1 ; clock en alto ya puedo leer FSI

call miliseg

btfs GPIO,3 ; leo dato 5 (bit 5)

bcf dpresion,5

btfs GPIO,3

bsf dpresion,5

btfs comando,5

bcf GPIO,0 ; SDI

btfs comando,5

bsf GPIO,0 ; SDI

bcf GPIO,1 ; clock en bajo

call miliseg

; *****

; bit 6

; *****

bsf GPIO,1 ; clock en alto ya puedo leer FSI

call miliseg

btfs GPIO,3 ; leo dato 6 (bit 6)

bcf dpresion,6

btfs GPIO,3

bsf dpresion,6

btfs comando,6

bcf GPIO,0 ; SDI

btfs comando,6

bsf GPIO,0 ; SDI

bcf GPIO,1 ; clock en bajo

call miliseg

```

; *****
; bit 7
; *****
bsf GPIO,1 ; clock en alto ya puedo leer FSI
call miliseg
btfss GPIO,3 ; leo dato 7 (bit 7)
bcf dpresion,7
btfsc GPIO,3
bsf dpresion,7
btfss comando,7
bcf GPIO,0 ; SDI
btfsc comando,7
bsf GPIO,0 ; SDI
call miliseg
bcf GPIO,1 ; clock en bajo
call miliseg

```

```

; *****
; condicion final
; *****
bsf GPIO,4 ; NCS en alto
call miliseg
bsf GPIO,1 ; clock en alto
movf dpresion,W
movwf presion
return

```

```

; *****
; FUNCIÓN DE TIEMPO 1ms
; *****
miliseg

```

```

movlw d'200' ; pongo en reg. W ese numero para hacer obtener 10ms.
movwf contador6

```



```
time8
call nops
decfsz contador6,1 ; decremento en 1 el valor de contador6 para que salga de
                    ; este ciclo al hacerse 0 contador1 que tiene 200
goto time8
return

end ; Fin del programa
```

ANEXO 2

CÓDIGO DE PROGRAMA DE LA ETAPA DE RECEPCIÓN

```
*****
'* Name   : RECEPTOR.BAS      *
'* Author : Xavier Toapanta M  *
'* Notice : Copyright (c) 2005 ESPE *
'* Date   : 09/09/05           *
'* Version : 1.0                *
*****
```

```
‘ *****
```

‘ Declaración de variables y librerías

```
‘ *****
```

```
DEFINE LCD_DREG PORTB
DEFINE LCD_DBIT 4
DEFINE LCD_RSREG PORTB
DEFINE LCD_RSBIT 1
DEFINE LCD_EREG PORTB
DEFINE LCD_EBIT 0
```

```
adcon1=7
```

```
trisc.2=1      'entrada de dato
trisd.2=0      'led principal verde
trisa.0=0      'led aviso critico
trisa.2=0      'bocina
```

```
check    var byte
dato     var byte[1]
dato2    var byte[2]
x        var byte
y        var byte
dato_tabla var byte
fraccion_psi var byte
entero_psi var byte
fraccion_kpa var byte
entero_kpa var byte
```

```
aux1      var WORD
aux3      var WORD
```

```
lcdout $fe, 1
dato_tabla=0
low portb.2
```

```
for x=0 to 2
high porta.2
high porta.0
```

```
pause 400
low porta.2
low porta.0
pause 400
```

```
next x
```

```
high portb.2
low porta.0
low porta.2
PAUSE 5
```

```
lcdout $fe, 1
lcdout $fe, $80," XAVIER E "
lcdout $fe, $c2,"TOAPANTA M "
PAUSE 3000
```

```
lcdout $fe, 1
lcdout $fe, $80," MEDIDOR DE "
lcdout $fe, $c4," PRESION "
PAUSE 3000
aux1=0
aux3=0
```

‘ *****

‘ **Recepción de datos**

‘ *****

INICIO:

serin2 portc.2,396,100,INICIO,[wait("A1D"),str dato\1,str dato2\2]

‘ *****

‘ **Verifico el checksum**

‘ *****

check=52

check=check ^ dato[0]

check=check ^ dato2[0]

if check= dato2[1] then dato_valido

goto INICIO

dato_valido:

dato_tabla=dato[0]

gosub TABLA

if (dato_tabla < 77) then presenta1

if (dato_tabla >= 77) and (dato_tabla <= 96) then presenta2

if (dato_tabla > 96) then presenta3

GOTO INICIO

presenta1:

aux3=0

aux1=aux1+1

if aux1=1 then alarma

goto presion_baja

alarma:

low portb.2

for x=0 to 3

high porta.0

high porta.2

```
pause 300
low porta.0
low porta.2
pause 200
next x
```

```
‘ *****
```

```
‘ Presión baja
```

```
‘ *****
```

```
presion_baja:
low portb.2
high porta.0
pause 10
lcdout $fe,$80,"PRESION MUY BAJA "
lcdout $fe,$c0,"CAMBIE SU LLANTA"
pause 100
goto INICIO
```

```
‘ *****
```

```
‘ Presión normal
```

```
‘ *****
```

```
presenta2:
low porta.0
high portb.2
pause 10
aux1=0
aux3=0
lcdout $fe,$80," PRESION NORMAL "
lcdout $fe,$c0,dec entero_psi,",",dec fraccion_psi,"psi ",dec entero_kpa,",",dec
fraccion_kpa,"Kpa"
pause 100
goto INICIO
```

‘ *****

‘ **Presión alta**

‘ *****

presenta3:

aux1=0

aux3=aux3+1

if aux3=1 then alarma3

goto presion_alta

alarma3:

low portb.2

for x=0 to 3

high porta.0

high porta.2

pause 600

low porta.0

low porta.2

pause 80

next x

high portb.2

pause 10

presion_alta:

low portb.2

high porta.0

pause 10

lcdout \$fe,\$80,"PRESION MUY ALTA "

lcdout \$fe,\$c0," * EXPLOSION * "

pause 100

goto INICIO

‘ *****

‘ **Tabla de los rangos de presión normal**

‘ *****

TABLA:

```
IF dato_tabla < 77 then BAJO
IF dato_tabla = 77 then VALOR_77
IF dato_tabla = 78 then VALOR_78
IF dato_tabla = 79 then VALOR_79
IF dato_tabla = 80 then VALOR_80
IF dato_tabla = 81 then VALOR_81
IF dato_tabla = 82 then VALOR_82
IF dato_tabla = 83 then VALOR_83
IF dato_tabla = 84 then VALOR_84
IF dato_tabla = 85 then VALOR_85
IF dato_tabla = 86 then VALOR_86
IF dato_tabla = 87 then VALOR_87
IF dato_tabla = 88 then VALOR_88
IF dato_tabla = 89 then VALOR_89
IF dato_tabla = 90 then VALOR_90
IF dato_tabla = 91 then VALOR_91
IF dato_tabla = 92 then VALOR_92
IF dato_tabla = 93 then VALOR_93
IF dato_tabla = 94 then VALOR_94
IF dato_tabla = 95 then VALOR_95
IF dato_tabla = 96 then VALOR_96
IF dato_tabla > 96 then ALTO
GOTO INICIO
```

BAJO:

RETURN

VALOR_77:
entero_psi=25
fraccion_psi=93
fraccion_kpa=69
entero_kpa=178
RETURN

VALOR_78:
entero_psi=26
fraccion_psi=36
fraccion_kpa=66
entero_kpa=181
RETURN

VALOR_79:
entero_psi=26
fraccion_psi=79
fraccion_kpa=63
entero_kpa=184
RETURN

VALOR_80:
entero_psi=27
fraccion_psi=22
fraccion_kpa=60
entero_kpa=187
RETURN

VALOR_81:
entero_psi=27
fraccion_psi=65
fraccion_kpa=57
entero_kpa=190
RETURN

VALOR_82:
entero_psi=28
fraccion_psi=08
fraccion_kpa=54
entero_kpa=193
RETURN

VALOR_83:
entero_psi=28
fraccion_psi=52
fraccion_kpa=51
entero_kpa=196
RETURN

VALOR_84:
entero_psi=28
fraccion_psi=95
fraccion_kpa=48
entero_kpa=199
RETURN

VALOR_85:
entero_psi=29
fraccion_psi=38
fraccion_kpa=45
entero_kpa=202
RETURN

VALOR_86:
entero_psi=29
fraccion_psi=81
fraccion_kpa=45
entero_kpa=205
RETURN

VALOR_87:
entero_psi=30
fraccion_psi=24
fraccion_kpa=39
entero_kpa=208
RETURN

VALOR_88:
entero_psi=30
fraccion_psi=67
fraccion_kpa=36
entero_kpa=211
RETURN

VALOR_89:
entero_psi=31
fraccion_psi=10
fraccion_kpa=33
entero_kpa=214
RETURN

VALOR_90:
entero_psi=31
fraccion_psi=53
fraccion_kpa=30
entero_kpa=217
RETURN

VALOR_91:
entero_psi=31
fraccion_psi=96
fraccion_kpa=27
entero_kpa=220
RETURN

VALOR_92:
entero_psi=32
fraccion_psi=40
fraccion_kpa=24
entero_kpa=223
RETURN

VALOR_93:
entero_psi=32
fraccion_psi=83
fraccion_kpa=21
entero_kpa=226
RETURN

VALOR_94:
entero_psi=33
fraccion_psi=26
fraccion_kpa=18
entero_kpa=229
RETURN

VALOR_95:
entero_psi=33
fraccion_psi=69
fraccion_kpa=15
entero_kpa=232
RETURN

VALOR_96:
entero_psi=34
fraccion_psi=12
fraccion_kpa=12
entero_kpa=235
RETURN

ALTO:
RETURN

END

ANEXO 3

CÓDIGO DE PROGRAMA DE LA ETAPA DE RECEPCIÓN PARA CUATRO NEUMÁTICOS

```
*****
'* Name   : CUATRO_NEUMÁTICOS.BAS   *
'* Author : Xavier Toapanta M       *
'* Date   : 20/02/06                 *
*****
```

```
' *****
' Declaración de variables y librerías
' *****
```

```
DEFINE LCD_DREG PORTB
DEFINE LCD_DBIT 4
DEFINE LCD_RSREG PORTB
DEFINE LCD_RSBIT 1
DEFINE LCD_EREG PORTB
DEFINE LCD_EBIT 0
```

```
adcon1=7
```

```
trisc.2=1      'entrada de dato
trisb.2=0      'led principal verde
trisa.0=0      'led aviso critico
trisa.2=0      'bocina
```

```
check         var byte
dato          var byte[1]
dato2         var byte[2]
x             var byte
y             var byte
dato_tabla    var byte
fraccion_psi  var byte
entero_psi    var byte
entero_kpa    var byte
flag1         VAR BYTE 'flag de llanta1
presion1      var byte 'presion llanta1
```

```
flag2          VAR BYTE 'flag de llanta2
presion2       var byte 'presion llanta2
flag3          VAR BYTE 'flag de llanta3
presion3       var byte 'presion llanta3
flag4          VAR BYTE 'flag de llanta4
presion4       var byte 'presion llanta4
llanta1_psi    var byte 'presion actual llanta1
llanta2_psi    var byte 'presion actual llanta2
llanta3_psi    var byte 'presion actual llanta3
llanta4_psi    var byte 'presion actual llanta4
fraccion_llanta1 var byte
fraccion_llanta2 var byte
fraccion_llanta3 var byte
fraccion_llanta4 var byte
```

```
lcdout $fe, 1
dato_tabla=0
low portb.2
```

```
for x=0 to 2
high porta.2
high porta.0
```

```
pause 400
low porta.2
low porta.0
pause 400
next x
```

```
high portb.2
low porta.0
low porta.2
PAUSE 5
```



```
lcdout $fe, 1
lcdout $fe, $80," XAVIER E "
lcdout $fe, $c2,"TOAPANTA M "
```

```
PAUSE 3000
```

```
lcdout $fe, 1
lcdout $fe, $80," MEDIDOR DE "
lcdout $fe, $c4," PRESION "
PAUSE 3000
cont=0
```

```
' *****
```

```
' Recepción de datos de presión
```

```
' *****
```

```
INICIO:
```

```
serin2 portc.2,396,100,INICIO,[wait("A1D"),str dato\1,str dato2\2]
```

```
' *****
```

```
' Verifico el checksum
```

```
' *****
```

```
check=52
```

```
check=check ^ dato[0] '52 xor con "dato sensor" = resulatdo1
```

```
check=check ^ dato2[0] 'resultado1 xor con "byte de fin" = resultado2
```

```
if check= dato2[1] then dato_valido 'resultado2 es igual a checksum dato2[1] entonces
goto INICIO
```

```
' *****
```

```
' Compara el byte de fin de transmisión de cada neumático
```

```
' *****
```

```
dato_valido:
```

```
if dato2[0]=66 then llanta1 ' B = 66 en ASCII
```

```
if dato2[0]=67 then llanta2 ' C = 67 en ASCII
```

```
if dato2[0]=68 then llanta3 ' D = 68 en ASCII
```

```
if dato2[0]=69 then llanta4 ' E = 69 en ASCII
goto INICIO
```

```
llanta1:
presion1=dato[0]
flag1=1
GOTO ARRIBO_4_LLANTAS
```

```
llanta2:
presion2=dato[0]
flag2=1
GOTO ARRIBO_4_LLANTAS
```

```
llanta3:
presion3=dato[0]
flag3=1
GOTO ARRIBO_4_LLANTAS
```

```
llanta4:
presion4=dato[0]
flag4=1
```

```
ARRIBO_4_LLANTAS:
```

```
cont=cont+1
if cont=12 then ANTES_TABLA
IF (flag1=1) AND (flag2=1) AND (flag3=1) AND (flag4=1) THEN ANTES_TABLA
goto INICIO
```

```
ANTES_TABLA:
dato_tabla=presion1
GOSUB TABLA
llanta1_psi=entero_psi
fraccion_llanta1=fraccion_psi
```

```
dato_tabla=presion2
GOSUB TABLA
llanta2_psi=entero_psi
fraccion_llanta2=fraccion_psi
```

```
dato_tabla=presion3
GOSUB TABLA
llanta3_psi=entero_psi
fraccion_llanta3=fraccion_psi
```

```
dato_tabla=presion4
GOSUB TABLA
llanta4_psi=entero_psi
fraccion_llanta4=fraccion_psi
```

```
lcdout $fe,$80," NEUMATICO1  NEUMATICO2 "
'lcdout $fe,$c0,dec llanta1_psi,"psi ",dec llanta2_psi
lcdout $fe,$c0,dec llanta1_psi," ",",DEC fraccion_llanta1,"psi ",dec llanta2_psi," ",",DEC
fraccion_llanta2
pause 2000
```

```
lcdout $fe,1
```

```
lcdout $fe,$80," NEUMATICO3  NEUMATICO4 "
lcdout $fe,$c0,dec llanta3_psi," ",",DEC fraccion_llanta3,"psi ",dec llanta4_psi," ",",DEC
fraccion_llanta4
pause 4000
```

```
lcdout $fe,1
```

```
flag1=0:flag2=0:flag3=0:flag4=0
cont=0
```

GOTO INICIO

TABLA:

```
IF dato_tabla < 77 then BAJO
IF dato_tabla = 77 then VALOR_77
IF dato_tabla = 78 then VALOR_78
IF dato_tabla = 79 then VALOR_79
IF dato_tabla = 80 then VALOR_80
IF dato_tabla = 81 then VALOR_81
IF dato_tabla = 82 then VALOR_82
IF dato_tabla = 83 then VALOR_83
IF dato_tabla = 84 then VALOR_84
IF dato_tabla = 85 then VALOR_85
IF dato_tabla = 86 then VALOR_86
IF dato_tabla = 87 then VALOR_87
IF dato_tabla = 88 then VALOR_88
IF dato_tabla = 89 then VALOR_89
IF dato_tabla = 90 then VALOR_90
IF dato_tabla = 91 then VALOR_91
IF dato_tabla = 92 then VALOR_92
IF dato_tabla = 93 then VALOR_93
IF dato_tabla = 94 then VALOR_94
IF dato_tabla = 95 then VALOR_95
IF dato_tabla = 96 then VALOR_96
IF dato_tabla > 96 then ALTO
```

GOTO INICIO

BAJO:

RETURN

VALOR_77:

entero_psi=25

fraccion_psi=93

RETURN

VALOR_78:
entero_psi=26
fraccion_psi=36
RETURN

VALOR_79:
entero_psi=26
fraccion_psi=79
RETURN

VALOR_80:
entero_psi=27
fraccion_psi=22
RETURN

VALOR_81:
entero_psi=27
fraccion_psi=65
RETURN

VALOR_82:
entero_psi=28
fraccion_psi=08
RETURN

VALOR_83:
entero_psi=28
fraccion_psi=52
RETURN

VALOR_84:
entero_psi=28
fraccion_psi=95
RETURN

VALOR_85:
entero_psi=29
fraccion_psi=38
RETURN

VALOR_86:
entero_psi=29
fraccion_psi=81
RETURN

VALOR_87:
entero_psi=30
fraccion_psi=24
RETURN

VALOR_88:
entero_psi=30
fraccion_psi=67
RETURN

VALOR_89:
entero_psi=31
fraccion_psi=10
RETURN

VALOR_90:
entero_psi=31
fraccion_psi=53
RETURN

VALOR_91:
entero_psi=31
fraccion_psi=96
RETURN

VALOR_92:
entero_psi=32
fraccion_psi=40
RETURN

VALOR_93:
entero_psi=32
fraccion_psi=83
RETURN

VALOR_94:
entero_psi=33
fraccion_psi=26
RETURN

VALOR_95:
entero_psi=33
fraccion_psi=69
RETURN

VALOR_96:
entero_psi=34
fraccion_psi=12
RETURN

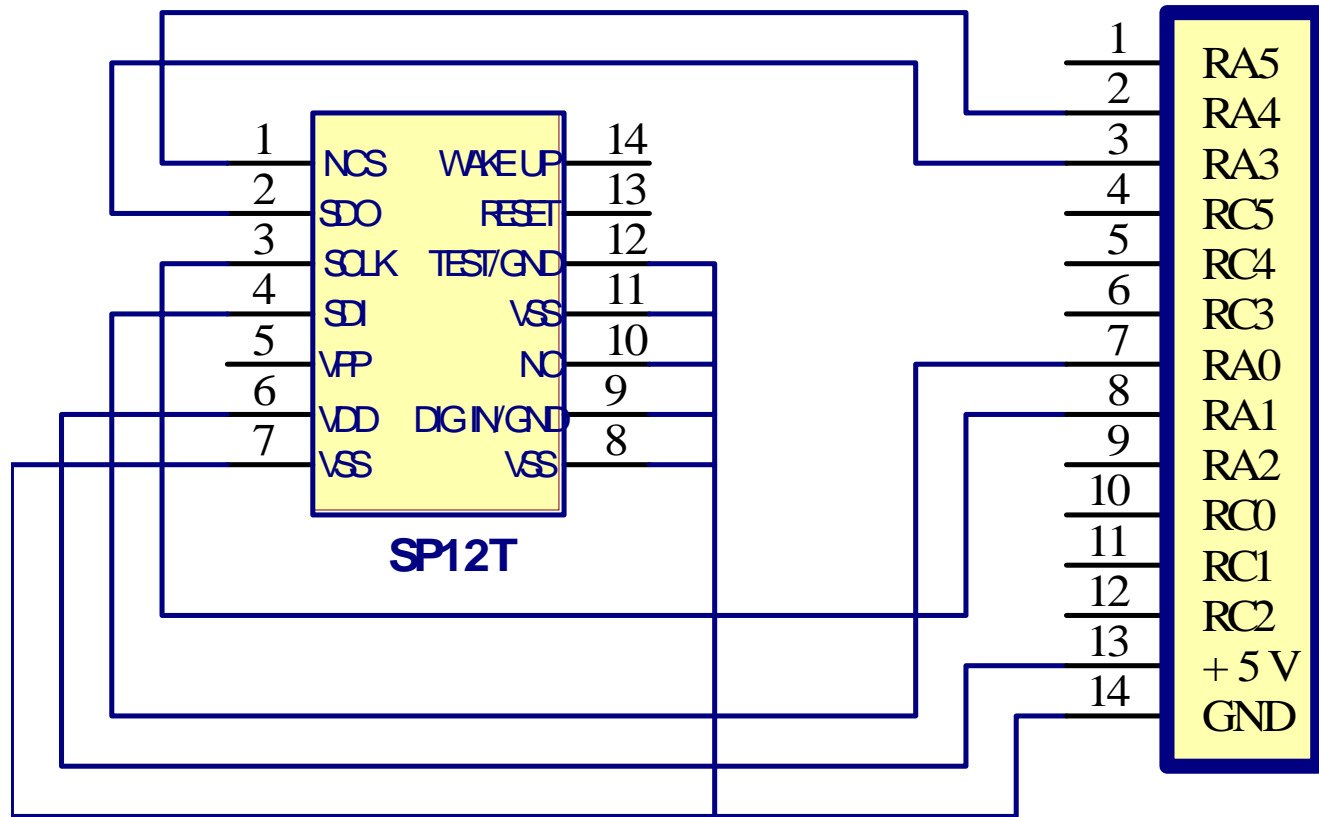
ALTO:
RETURN

END

ANEXO 4

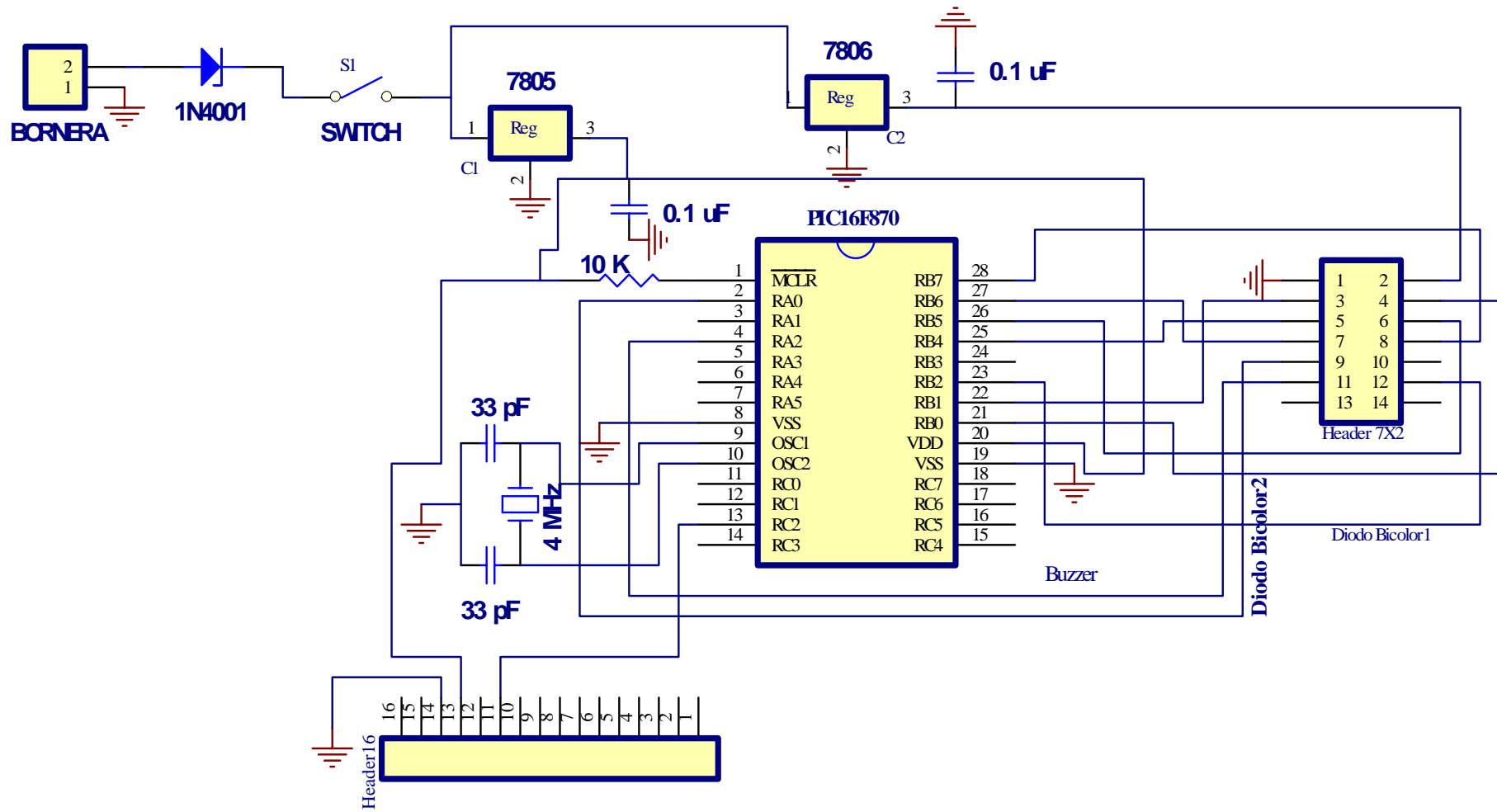
DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LOS CIRCUITOS DEL SISTEMA DE MONITOREO

ESQUEMÁTICO - CIRCUITO SENSOR – TRANSMISOR –

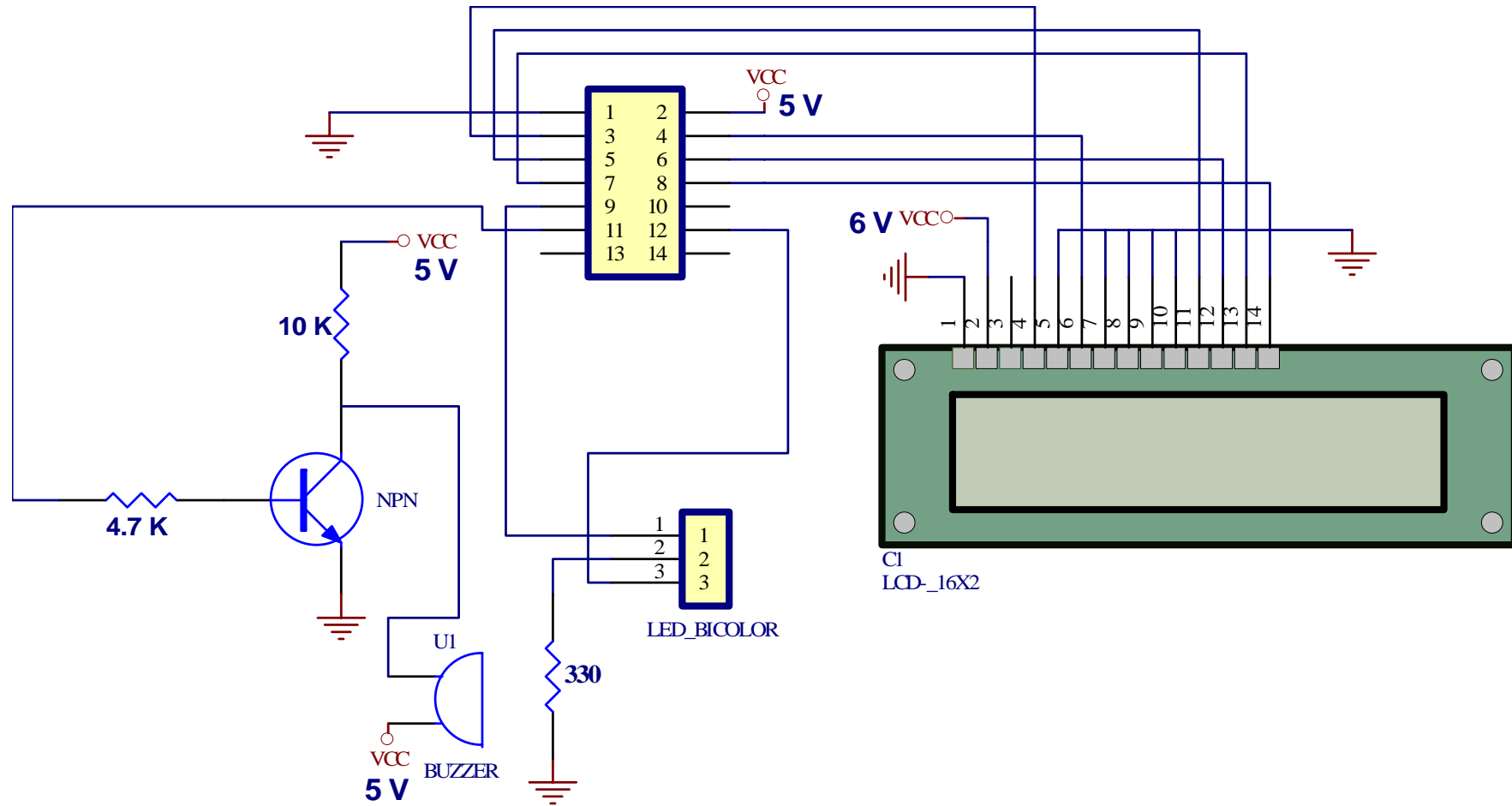


**JUMPER DEL MODULO
TRANSMISOR**

ESQUEMÁTICO – ETAPA DE CONTROL –



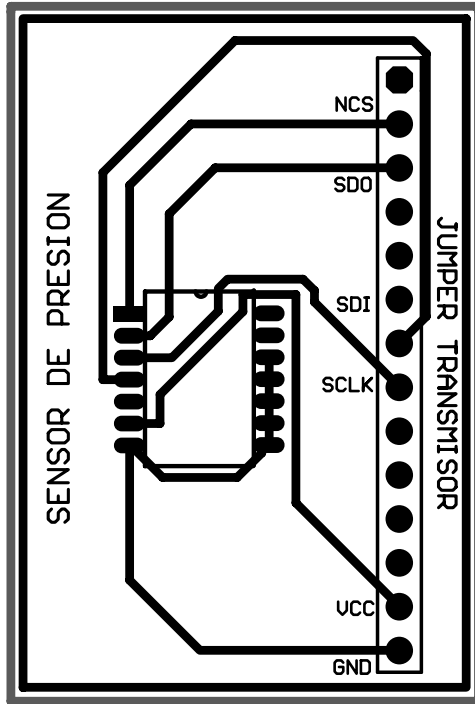
ESQUEMÁTICO – ETAPA DE VISUALIZACIÓN –



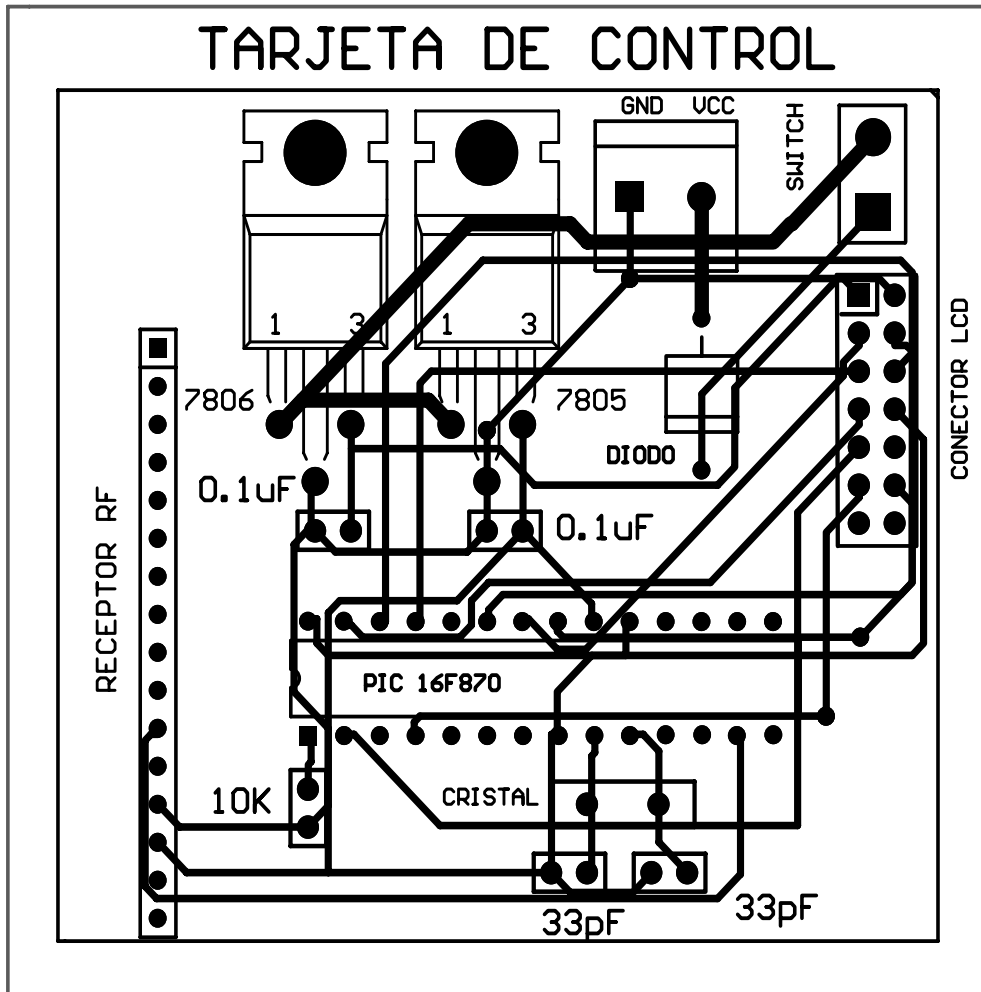
ANEXO 5

ESQUEMAS PCB DE LAS PLACAS DEL SISTEMA

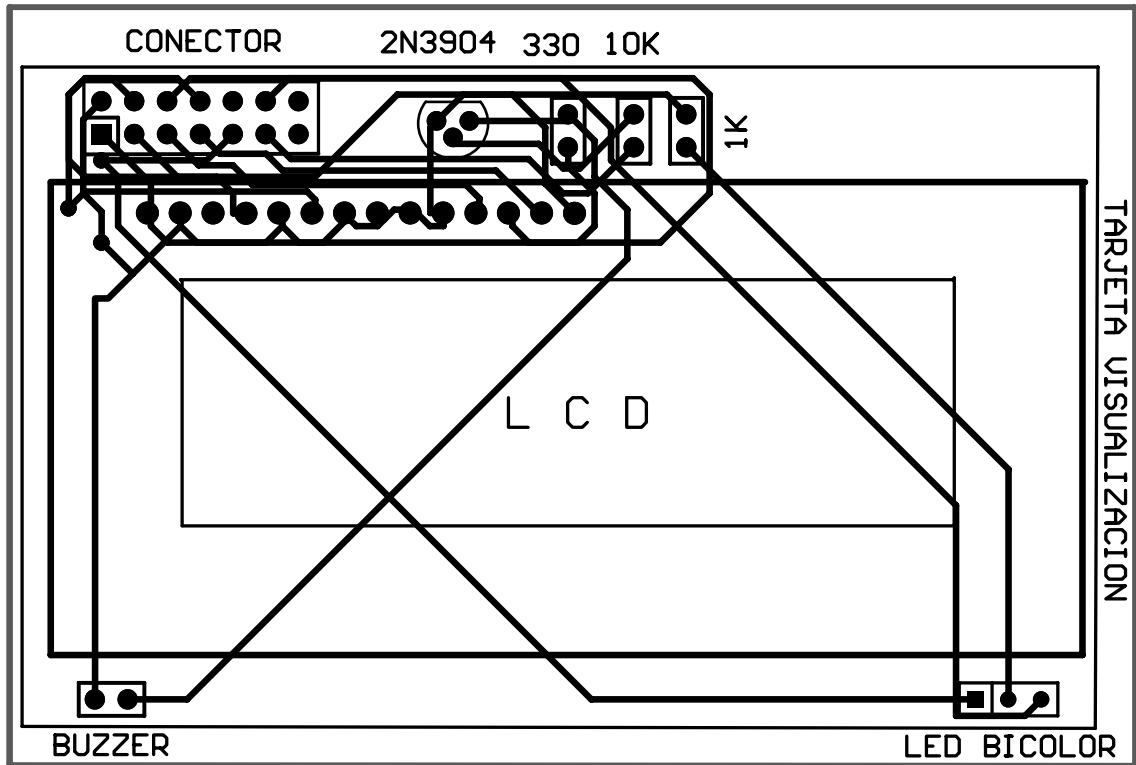
PCB “TRANSMISOR – SENSOR”



PCB "TARJETA DE CONTROL"



PCB "TARJETA DE VISUALIZACIÓN"



ANEXO 6

CUESTIONARIO DE LAS ENCUESTAS

ENCUESTA USUARIOS PARTICULARES

SISTEMA DE MONITOREO DE PRESIÓN DE AIRE - AUTOMÓVILES -

CUESTIONARIO

1. ¿Conoce usted si la presión actual en sus neumáticos es la correcta?

SI NO

2. ¿Ha tenido problemas con una llanta baja o con llanta con presión en exceso?

SI NO

3. ¿Conoce de accidentes por fallas de presión en los neumáticos?

SI NO

4. ¿Desearía prevenir inconvenientes por problemas de presión baja o presión elevada en los neumáticos?

SI NO

5. ¿Le interesaría contar con un sistema electrónico que le informe el estado de la presión en los neumáticos, activación de alarmas para presión baja o presión en exceso, indicado en una pantalla del panel de control?

SI NO

6. ¿Qué valor estimado pagaría por el sistema antes mencionado?

\$530 \$560 \$590

7. ¿Desearía que a este sistema se le complemente una etapa que pueda regular la presión de aire, ya sea para aumentar o disminuir la presión en los neumáticos?

SI

NO

OBSERVACIONES

ENCUESTA EMPRESAS

SISTEMA DE MONITOREO DE PRESIÓN DE AIRE

CUESTIONARIO

1. ¿Qué tipo de servicio ofrece la empresa?

TRANSPORTE

2. ¿Qué método emplea la cooperativa para el chequeo del estado de la presión en los neumáticos de las unidades?

Manual

Uso de instrumentos electrónicos o mecánicos

3. ¿Las unidades han tenido inconvenientes o accidentes debido a fallas por baja o exceso de presión de aire en los neumáticos?

SI

NO

EMPRESAS VARIAS

4. ¿La empresa ofrece servicios para monitorear la presión de los neumáticos en los automóviles?

SI

NO

5. ¿Conoce la empresa de algún sistema de monitoreo continuo de la presión de aire en los neumáticos?

SI

NO

6. ¿Le interesaría a la empresa / cooperativa contar con un sistema electrónico que le informe continuamente el estado de presión en los neumáticos, activación de alarmas para presión baja o elevada, mostrado en una pantalla en el panel de control?

SI NO

7. ¿Qué valor estimado pagaría la empresa por el sistema antes mencionado?

Cuatro neumáticos

\$530 \$560 \$590

Seis neumáticos

\$620 \$650 \$680

8. ¿Desearía que a este sistema se le complemente a futuro una etapa que pueda regular la presión de aire, ya sea para aumentar o disminuir la presión en los neumáticos?

SI NO

OBSERVACIONES

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág
CAPÍTULO 1	
Figura 1.1 Sección transversal de un neumático radial _____	8
Figura 1.2 Neumático convencional _____	11
Figura 1.3 Neumático radial _____	12
Figura 1.4 Nomenclatura de un neumático _____	13
Figura 1.5 Dimensiones de un neumático _____	15
Figura 1.6 Rotación de los neumáticos _____	18
Figura 1.7 Rotación de neumáticos para vehículos pesados _____	18
Figura 1.8 Convergencia en un neumático _____	19
Figura 1.9 Divergencia en un neumático _____	20
Figura 1.10 Camber en un neumático _____	21
Figura 1.11 Desgaste del neumático por presión baja de aire _____	23
Figura 1.12 Desgaste del neumático por exceso de presión de aire _____	24
Figura 1.13 Vida de duración de un neumático (%) Vs. presión (%) _____	26
CAPÍTULO 2	
Figura 2.1 Ubicación de los componentes del sistema _____	29
Figura 2.2 a) Diagrama esquemático del sistema de monitoreo, b) sitio de colocación del sensor-transmisor _____	30
Figura 2.3 Memoria de datos del rPIC12F675 _____	33
Figura 2.4 Esquema de un transmisor ASK típico _____	42
Figura 2.5 Diagrama de bloques del SP12T _____	45
Figura 2.6 Diagrama de tiempos del protocolo SPI _____	49
Figura 2.7 a) Distribución de pines del SP12T, b) aspecto físico del SP12T _____	57

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Módulos de radiofrecuencia _____	59
Figura 3.2 Programador del PIC transmisor _____	60
Figura 3.3 Interfaz de programación PICkit 1 Flash _____	61
Figura 3.4 Importación del archivo HEX _____	62
Figura 3.5 Ventana de escritura exitosa _____	62
Figura 3.6 Ventana de error en la escritura _____	63
Figura 3.7 Ventana de verificación de código _____	63
Figura 3.8 Ventana de error de código _____	64
Figura 3.9 Ventana de protección de código _____	65
Figura 3.10 Borrado del dispositivo _____	66
Figura 3.11 Regeneración del OSCCAL (Valor de calibración del oscilador) _____	67
Figura 3.12 Regeneración del valor de calibración bandgap _____	67
Figura 3.13 Valor del bit de selección del bandgap _____	68
Figura 3.14 Configuración del dispositivo _____	68
Figura 3.15 Panel de control _____	68
Figura 3.16 Transmisor rfPIC _____	69
Figura 3.17 Programación del módulo de transmisión en el circuito programador _____	70
Figura 3.18 Disposición de pines de la tarjeta de transmisión _____	70
Figura 3.19 Interferencia en la tarjeta de recepción _____	72
Figura 3.20 Diagrama de flujo del programa del Pic transmisor _____	76
Figura 3.21 Generación del checksum _____	79
Figura 3.22 Tiempos para la comunicación serial _____	80
Figura 3.23 Diagrama de conexiones sensor-transmisor _____	81
Figura 3.24 Disposición de pines de la tarjeta de recepción _____	82
Figura 3.25 Diagrama de flujo del programa en la etapa de recepción _____	84
Figura 3.26 Señal transmitida por el sensor-transmisor en la etapa de recepción _____	88
Figura 3.27 Primera opción de implementación del sistema en los cuatro neumáticos _____	89
Figura 3.28 Segunda opción de implementación del sistema _____	94

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 Colocación del sensor-transmisor en el rin del neumático _____	98
Figura 4.2 Llenado de aire en el neumático _____	98
Figura 4.3 Lectura de datos de presión en la interfaz visual _____	99

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 Problemas de presión en los neumáticos en los usuarios _____	110
Figura 5.2 Conocimiento de los usuarios de accidentes por problemas de presión _____	111
Figura 5.3 Interés de adquisición del sistema por parte del usuario _____	112
Figura 5.4 Costo que estaría en capacidad de pagar el usuario por el sistema de monitoreo _____	113
Figura 5.5 Conocimiento de la empresa del sistema de monitoreo en el mercado ____	114
Figura 5.6 Representación de las empresas interesadas en adquirir el sistema _____	115

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido **Pág.**

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Selección del escalador _____	36
Tabla 2.2 Rango de frecuencias de los rfRX0420/920 _____	43
Tabla 2.3 Valores máximos de las variables del SP12T _____	46
Tabla 2.4 Valores de operación recomendadas _____	47
Tabla 2.5 Comandos del protocolo SPI _____	51
Tabla 2.6 Contenido del byte de STATUS _____	53
Tabla 2.7 Características de las entradas / salidas digitales _____	54
Tabla 2.8 Descripción de pines del SP12T _____	56

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Descripción de los pines de la tarjeta de transmisión _____	71
Tabla 3.2 Valores de presión en los neumáticos para diferente tipo de automotores _____	74
Tabla 3.3 Descripción de los pines de la tarjeta de recepción _____	83
Tabla 3.4 Asignación de bytes de inicio y fin de transmisión _____	90

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1 Valores de presión de la primera prueba del sistema de monitoreo _____	100
Tabla 4.3 Resultados de la segunda prueba del sistema de monitoreo _____	103

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1 Análisis de costos del sistema de monitoreo de presión de aire en neumáticos de automóvil _____	117
Tabla 5.2 Costo actual del proyecto _____	119

GLOSARIO

A

ASK. Modulación por desplazamiento en amplitud.

C

CPU. Unidad de Procesamiento Central

Es el cerebro del microcontrolador y es aquí donde todas las operaciones aritméticas y lógicas son realizadas.

E

EPROM. Erase Program Read Only Memory

Este tipo de memoria es grabado a través de un dispositivo llamado grabador y este a su vez es gobernado por un computador personal, posee una ventana de cristal en la parte superior la cual permite el ingreso de rayos ultravioletas para realizar el borrado y programarla nuevamente.

EEPROM. Electrical Erase Program Read Only Memory

La grabación en este tipo de memoria se efectúa a través de un grabador al igual que las memorias OTP y EPROM pero el borrado se realiza eléctricamente en el mismo grabador.

ESD. Descarga electrostática.

H

HARDWARE. Conjunto de todos los componentes tangibles del sistema.

I

ISM. Industrial, científica y médica.

Banda de frecuencias cuyo rango está entre los 2.40 GHz y 2.4835 GHz. Esta banda no precisa licencia.

L

LO. Oscilador local.

P

PA. Power amplifier

Amplificador de potencia.

PC. Computador personal.

PIC. Circuito Integrado Programable

Dispositivo digital que acepta o lee datos aplicados a cierto número de líneas de entrada y los procesa de acuerdo a las instrucciones secuenciales de un programa almacenado en su memoria y suministra o escribe los resultados del proceso en un cierto número de líneas de salida.

R

RAM. Random Access Memory

Es una memoria de datos en la cual el acceso es randómico, es de lectura y escritura.

RF. Radio frecuencia.

ROM. Read Only Memory

En esta memoria se graba el programa en el proceso de fabricación mediante el uso de máscaras, esto quiere decir que no se podrá manipular dicho programa ni borrarlo para realizar la grabación de otro programa.

RS232. Estándar de comunicación entre dispositivos, donde los datos son transmitidos en forma serial como variaciones de voltaje.

S

SOFTWARE. Conjunto de componentes intangibles del sistema, tales como programas y archivos.

SPI. Serial Peripheral Interface

La interfase SPI es un protocolo de comunicación para microcontroladores externos. Emplea cuatro pines para la transferencia de datos: pin de enable (NCS), pin para la señal de reloj (SCLK), pin para el envío de información (SDO) y uno para la recepción de información. (SDI). Mantiene comunicación full duplex. Es similar al protocolo I²C.

V

VCO. Oscilador controlado por voltaje.

FECHA DE ENTREGA

El Proyecto de grado fue entregado a la Facultad de Ingeniería Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a _____ del 2006

Ing. Tnte. Crnel. E.M. Xavier Martínez
Decano de la Facultad de Ingeniería Electrónica

Dr. Jorge Carvajal
Secretario Académico

Xavier Eduardo Toapanta Medina
Autor