



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

## **DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
MONITOREO Y REGISTRO DE LA PRESIÓN DE LOS  
NEUMÁTICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA ZIGBEE**

**AUTOR: CARLOS LUIS GARCÍA VILLARREAL**

**DIRECTOR: ING. EDDIE GALARZA**

**CODIRECTOR: ING. DANILO ZAMBRANO**

**LATACUNGA**

**2016**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

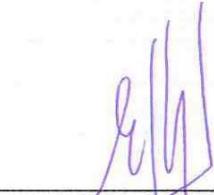
## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y REGISTRO DE LA PRESIÓN DE LOS NEUMÁTICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA ZIGBEE”*** realizado por el señor **CARLOS LUIS GARCÍA VILLARREAL**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **CARLOS LUIS GARCÍA VILLARREAL** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de enero del 2016



---

ING. EDDIE GALARZA  
DIRECTOR



---

ING. VÍCTOR ZAMBRANO  
CODIRECTOR



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CARLOS LUIS GARCÍA VILLARREAL**, con cédula de identidad N° **1803933587** declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y REGISTRO DE LA PRESIÓN DE LOS NEUMÁTICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA ZIGBEE”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 20 de enero del 2016

---

CARLOS LUIS GARCÍA VILLARREAL

C.C. 1803933587



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, **CARLOS LUIS GARCÍA VILLARREAL**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y REGISTRO DE LA PRESIÓN DE LOS NEUMÁTICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA ZIGBEE”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 20 de enero del 2016

Una firma manuscrita en tinta azul que dice 'Carlos García'.

CARLOS LUIS GARCÍA VILLARREAL

C.C. 1803933587

## **DEDICATORIA**

A todo ser y energía que estuvieron presentes durante el desarrollo de mi existencia, de mi carrera y el presente proyecto de titulación.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres Laura y Luis, por ser el pilar fundamental de todo lo que soy, haber fomentado y apoyado el desarrollo de mi ser, tanto en formación académica, intelectual, espiritual y haber inculcado valores a lo largo de toda mi vida, y siempre brindarme su apoyo en toda circunstancia.

A mi hermana Denisse, pues siempre ha estado ahí en las buenas y en las malas acompañándome, cuidándome y presionándome para concluir el actual proyecto.

A mi abuelita Maura, que en todo momento me ha sabido manifestar y extenderme su completo apoyo.

A los Ingenieros Galarza y Zambrano en su rol de Director y Codirector respectivamente del presente proyecto quienes han tenido mucha paciencia durante el extenso tiempo de desarrollo del mismo y que me han brindado su tiempo y conocimiento.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

### CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1. Planteamiento del Proyecto.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Planteamiento del Problema.....	2
1.1.3. Descripción Resumida del Proyecto.....	2
1.1.4. Justificación e Importancia.....	3
1.1.5. Proyectos Relacionados.....	4
1.1.6. Objetivos del Proyecto.....	4
1.1.7. Metas del Proyecto.....	5
1.1.8. Hipótesis.....	5
1.2. Zigbee.....	6

1.2.1.	Introducción.....	6
1.2.2.	Definición, Estándar IEEE 802.15.4.....	14
1.2.3.	Características, Ventajas y Desventajas.....	14
1.2.4.	Estructura y Tipos de Dispositivos.....	17
1.2.5.	Funcionalidad, Topología y Tipos de Tráfico de Datos.....	19
1.2.6.	Seguridad.....	23
1.3.	Sistema de Monitoreo de Presión de Neumáticos o TPMS.....	25
1.3.1.	Introducción e Historia.....	25
1.3.2.	Tipos de TPMS.....	27
1.3.3.	Ventajas.....	30
1.4.	Neumáticos.....	31
1.4.1.	Introducción e Historia.....	31
1.4.2.	Tipos de Neumáticos.....	32
1.4.3.	Dimensiones y Simbología.....	34
1.4.4.	Cámara, Válvula e Inflado.....	41

## **CAPÍTULO II**

	<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>45</b>
2.1.	Sensores de Presión.....	45
2.2.	Descripción de la Señal.....	49
2.3.	Diseño y Desarrollo de los Circuitos.....	49
2.4.	Diseño y Desarrollo de la Programación.....	59
2.5.	Implementación Del Sistema.....	60

## **CAPÍTULO III**

	<b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
3.1.	Generalidades.....	62
3.2.	Pruebas Experimentales.....	62

3.2.1.	Prueba Preliminar.....	62
3.2.2.	Prueba de Operación del Dispositivo.....	65
3.3.	Obtención de Resultados.....	65
3.4.	Análisis de Resultados.....	72
3.5.	Análisis de Costos.....	74
3.6.	Análisis de Comercialización.....	74
3.6.1.	Costo.....	75
3.6.2.	Tamaño e Instalación.....	75

## **CAPÍTULO IV**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
4.1. Conclusiones.....	77
4.2. Recomendaciones.....	79
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>
<b>NETGRAFÍA.....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>83</b>

**ANEXO A:** PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO RECEPTOR  
(TARJETA ARDUINO UNO R3)

**ANEXO B:** PROGRAMACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS  
TRANSMISORES (TARJETA ARDUINO FIO)

**ANEXO C:** CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE RELOJ EN  
TIEMPO REAL (SPARKFUN RTC DS1307 MODULE)

**ANEXO D:** INFORMACIÓN DE LA TARJETA ARDUINO UNO R3

**ANEXO E:** INFORMACIÓN DE LA TARJETA ARDUINO FIO

**ANEXO F:** INFORMACIÓN DEL TRANSMISOR XBEE S1

**ANEXO G:** INFORMACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN  
MPX5500D

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de Carga Máxima.....	41
Tabla 2. Disposición de los transmisores.....	64
Tabla 3. Prueba Preliminar.....	65
Tabla 4. Prueba de operación del dispositivo.....	67
Tabla 5. Código de Colores.....	70
Tabla 6. Elementos Adquiridos.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de Tecnologías Inalámbricas.....	7
Figura 2. Malla de Red ZigBee.....	9
Figura 3. Cambios de ruta de malla de Red ZigBee.....	10
Figura 4. Varios proveedores de ZigBee en Automatización de Hogar.....	13
Figura 5. Estructura.....	18
Figura 6. Red Zigbee.....	20
Figura 7. Configuración Punto a Punto.....	21
Figura 8. Topología de Árbol.....	22
Figura 9. Dimensiones de los neumáticos.....	36
Figura 10. Neumático 135/80 R 14 80P.....	37
Figura 11. Códigos de neumáticos.....	38
Figura 12. Dimensiones del neumático.....	38
Figura 13. Neumático y su Simbología.....	40
Figura 14. Partes de un neumático.....	42
Figura 15. Partes de la válvula.....	44
Figura 16. Tipos de sensores.....	45
Figura 17. Estructura de un Sensor de Presión Piezoresistivo de Silicón.....	46
Figura 18. Circuito Puente Wheatstone.....	47
Figura 19. Sensor MPX5500D.....	47
Figura 20. Curva del sensor MPX5500D.....	48
Figura 21. Elementos del Transmisor.....	51
Figura 22. Dispositivo de transmisión de datos.....	52
Figura 23. Proceso del Transmisor.....	53
Figura 24. Elementos del Receptor.....	55
Figura 25. Elementos del Receptor de Datos.....	56
Figura 26. Elementos del Receptor de Datos.....	57
Figura 27. Proceso del Receptor.....	58
Figura 28. Ubicación de los Transmisores y Receptor.....	61
Figura 29. ID de cada neumático.....	63
Figura 30. Configuración para la Prueba de Funcionamiento Preliminar.....	64
Figura 31. Configuración para la Prueba de Operación del Dispositivo.....	65

Figura 32. Recomendación de presiones de inflado del vehículo de pruebas  
.....71

Figura 33. Neumático del vehículo de Pruebas 165/70R14 81S.....72

## RESUMEN

El presente proyecto se trata del diseño e implementación de un sistema de monitoreo y registro de la presión de los neumáticos de un vehículo, el cual permite al conductor visualizar valores de presión que puede ser interpretados y almacenados en tiempo real para posteriormente analizar el comportamiento de las mismas tomando como muestra un trayecto en carretera, con el fin de extender la vida útil del neumático, para reducir la accidentabilidad producida por el deterioro, así como también reducir el consumo del combustible. Los elementos que se han utilizado en el desarrollo de este sistema de medición son de código abierto, ésta plataforma de elementos electrónicos llamada Arduino está basada en hardware y software de fácil utilización. Éste sistema se lo realizó principalmente con dos tipos de tarjetas llamadas Arduino UNO R3 y Arduino FIO, y, para la comunicación entre ellas se utiliza un estándar inalámbrico conocido como ZigBee. La encargada de enviar la información sobre la medición a tiempo real de cada neumático es la tarjeta Arduino FIO sobre la cual va conectada un sensor de presión, un transmisor inalámbrico Xbee y una batería. Los datos enviados por cada uno de los 4 transmisores van a ser receptados por la tarjeta Arduino UNO R3 que va a tener un aditamento conocido como SHIELD para el transmisor inalámbrico Xbee. Los datos van a ser registrados cada 6 segundos en un archivo en una memoria micro SD que va a estar conectada también mediante un SHIELD al dispositivo receptor, y, como proceso paralelo al registro de la información, éstas mediciones van a ser mostradas a tiempo real en una pantalla LCD de 20x4.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **ZIGBEE**
- **ARDUINO**
- **AUTOMÓVILES**
- **NEUMÁTICOS**
- **MEDIDOR DE PRESIÓN**

## **ABSTRACT**

This project is about the design and implementation of a monitoring and logging system of a vehicle's tires pressure, which allows the driver to display pressure values can be interpreted and stored in real time in order to analyze the behavior of them taking as a sample a road course, in order to extend the lifetime of the tire to reduce accidents caused by deterioration, and to reduce fuel consumption. The items that have been used in the development of this measurement system are open source, this electronic devices platform called Arduino is based on easy to use hardware and software. This system was made primarily with two types of boards called Arduino UNO R3 and Arduino FIO, and for the communication between them is used a wireless standard known as ZigBee. The responsible of sending the real-time information of the measurement of every tire is the Arduino FIO board, on which is connected a pressure sensor, a Xbee wireless transmitter and a battery. The data, sent by all of the 4 transmitters will be receipt by the Arduino UNO R3 board, which will have an attached SHIELD for the Xbee wireless transmitter. The data will be logged every 6 seconds on a file in a micro SD memory that will be connected with a SHIELD to the receiver device, and, as a parallel process of the information logging, this measurements will be shown real-time on a 20x4 LCD display

### **KEY WORDS:**

- **ZIGBEE**
- **ARDUINO**
- **AUTOMOBILES**
- **TIRES**
- **PRESSURE MEASUREMENT**

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1. Planteamiento del Proyecto

#### 1.1.1. Antecedentes

La función de un profesional de la Escuela Politécnica del Ejército extensión Latacunga, es de buscar desarrollar e implementar tecnologías que sean de utilidad con el fin de brindar mejores condiciones en cuanto al transporte y buscando que éstas favorezcan a un gran sector de la población.

En el Ecuador, los accidentes tránsito están situados entre las principales causas de muerte violenta, esto es debido, entre varias causales, a la falta de seguridades que los vehículos ofrecen a los usuarios.

Situando en primer plano la seguridad del conductor y ocupantes, el tema de tesis responde al deseo de realizar un monitoreo y registro de la presión de los neumáticos con un sistema de advertencia, el cual indique al conductor el momento en el cual el/los neumático(s) estén significativamente desinflado(s).

Ya que los neumáticos están siempre en contacto con suelo, demandan ciertos controles y monitoreo continuo de la condición en la que se encuentran, en este caso, la variable que estará siendo censada y en la que nos enfocaremos será la presión de los mismos.

Actualmente con la tecnología que contamos podemos realizar todo tipo de mediciones, y transmitir estas en forma inalámbrica, para a su vez que

sean proyectados en una pantalla, y mantener un constante chequeo de las presiones de los neumáticos.

### **1.1.2. Planteamiento del Problema**

En el Ecuador, la mayoría de vehículos no dispone de estos sistemas de monitoreo de presión de los neumáticos. Este tipo de interfaces no han sido consideradas como exigencias de seguridad en los vehículos, y, debido a que vienen incorporados en los vehículos de alta gama y su mantenimiento y recambio son costosos no son tomados en cuenta como un implemento esencial en cuanto a seguridad vehicular.

El tema fue escogido ya que actualmente son altas las exigencias de seguridad vehicular y hay muy pocos los vehículos que vienen con este tipo de monitoreo. Se ha planteado el diseño e implementación de un sistema (el cual puede ser adaptado a vehículos en los que se necesite monitoreo) que indique la presión a tiempo real de cada neumático y que este alarme al conductor si existiese una condición desfavorable y a su vez crear un registro para poder realizar un análisis posterior del mismo.

Con este proyecto lo que se busca es fomentar un interés en los entes de control vehicular, usuarios, transportistas para que este tipo de dispositivos sean considerados de alta importancia para que se incorporen en aquellos vehículos antiguos que no lo tienen y forme parte de los requisitos de aquellos vehículos nuevos que ingresan al país, y así con el uso de la tecnología se brinde una verdadera seguridad y bienestar a los usuarios.

### **1.1.3. Descripción Resumida del Proyecto**

La finalidad del proyecto es diseñar e implementar un dispositivo que registre y nos muestre las presiones de los neumáticos a tiempo real y nos alarme el momento en que sea registrada una presión no adecuada en uno o varios neumáticos.

Para realizar la transmisión de datos se seleccionó la tecnología Zigbee por sus prestaciones en cuanto a autonomía de energía y la transmisión inalámbrica de datos.

#### **1.1.4. Justificación e Importancia**

La justificación de este proyecto se basa en que:

- El comportamiento dinámico de un neumático está cercanamente conectado con su presión.
- Hay varios factores como distancia de frenado, estabilidad lateral que requieren que los neumáticos estén inflados a las presiones que los fabricantes los recomiendan.
- Una extrema presión baja puede llevar a una sobrecarga térmica y mecánica causada por un sobrecalentamiento y consecuentemente, una destrucción repentina del neumático en sí.
- Adicionalmente, la eficiencia de combustible y el recubrimiento del neumático son afectados severamente por presiones bajas.
- La pérdida de presión de los neumáticos es algo normal, y luego de un año, incluso uno nuevo, aunque apropiadamente montado, puede perder entre 20 y 60 kPa (es decir entre 3 y 9 psi), es un 10% o eventualmente más de su presión inicial.

Lo que se busca mejorar con este tipo de dispositivo es:

- Ahorros de combustible, ya que por cada 10% de pérdida de presión en cada neumático en un vehículo, se produce un 1% de reducción en la economía de combustible. Este ahorro, no solo es significativo para el

usuario, también resulta en un millonario ahorro en lo que a subsidio de combustibles se refiere.

- Aumento de la vida útil del neumático. Las pérdidas de presión son la causa número 1 de falla, contribuye a su desintegración, sobrecalentamientos, entre otras causas.
- Reducción de daños estructurales, causados por la absorción de impactos.
- Un menor tiempo de parada y mantenimientos.
- Seguridad vehicular mejorada ya que las llantas desinfladas llevan a fallas, resultando en accidentes los cuales pueden causar muerte, heridas de gravedad, etc.
- Eficiencia ambiental, ya que no se emitiría tanto monóxido de carbono por neumáticos con bajas presiones.

### **1.1.5. Proyectos Relacionados**

#### **Tesis**

Diseño e implementación de un módulo data logger enlazados con una red zigbee, para registros de datos de variables ambientales.

#### **Autor**

William Patricio Tigse Bravo

### **1.1.6. Objetivos del Proyecto**

### **a. Objetivo General**

- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo y registro de la presión de los neumáticos utilizando tecnología Zigbee.

### **b. Objetivos Específicos**

- Obtener información esencial para el desarrollo del proyecto.
- Diseñar los circuitos electrónicos y la programación a ser utilizada para la implementación del proyecto.
- Realizar pruebas de funcionamiento.
- Crear una interfaz mediante la cual van a ser proyectadas a tiempo real las presiones obtenidas de cada neumático.

### **1.1.7. Metas del Proyecto**

- Diseño de los circuitos electrónicos al final de la décima semana de ejecución del proyecto.
- 
- Programación desarrollada al final de la semana dieciséis de ejecución del proyecto.
- 
- Sistema implementado para el final de la semana treinta y uno de ejecución del proyecto.
- 
- Sistema de monitoreo y registro de la presión de los neumáticos utilizando tecnología Zigbee en operación en el plazo de nueve meses a partir de la aprobación del plan de tesis.

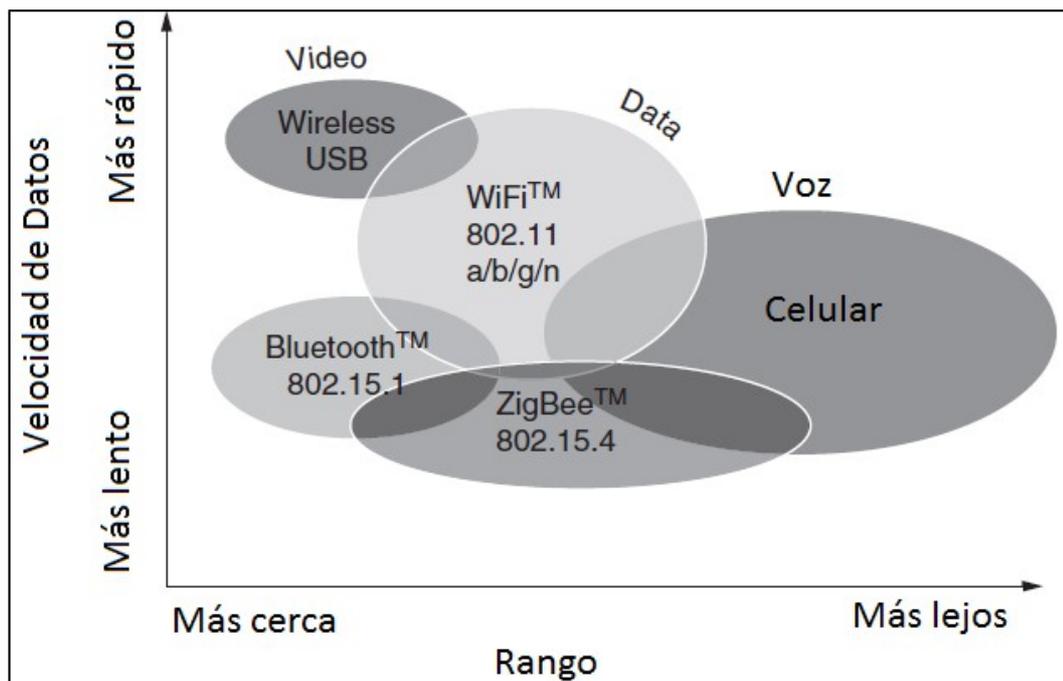
### **1.1.8. Hipótesis**

¿Es posible crear un sistema de monitoreo y registro de la presión de los neumáticos utilizando tecnología Zigbee con el objetivo de incrementar la seguridad vehicular?

## **1.2. Zigbee**

### **1.2.1. Introducción**

Según (Gislason, 2008), el estándar de red inalámbrica de Zigbee se ajusta a un mercado en el cual hay varios tipos de tecnologías inalámbricas (ver Figura 1.), y, aunque la mayoría de los estándares inalámbricos están tratando de ir más rápido, Zigbee apunta a bajas tasas de transferencia de datos. Mientras que otros protocolos inalámbricos están en constante desarrollo y añaden cada vez más y características, Zigbee apunta a un segmento muy pequeño que cabe en microcontroladores de 8-bits. Mientras que otras tecnologías inalámbricas buscan proporcionar los últimos avances a internet o entregar varios tipos de transmisión de medios de alta definición, Zigbee tan solo busca controlar una lámpara o enviar datos de temperatura a un termostato. Otras tecnologías inalámbricas están diseñadas para funcionar por horas o quizá días con pilas, Zigbee está diseñado para funcionar durante años, y, otras tecnologías inalámbricas proporcionan 12 a 24 meses de vida útil, los productos Zigbee pueden brindar normalmente décadas o más de uso.



**Figura 1. Comparación de Tecnologías Inalámbricas**

**Fuente:** (Gislason, 2008)

La categoría del mercado a la cual Zigbee atiende se denomina "redes de sensores inalámbricos y control", o simplemente, "control inalámbrico." De hecho, el lema de Zigbee es, "Control inalámbrico que simplemente funciona." El mercado de control inalámbrico tiene una serie de necesidades específicas para que Zigbee sea ideal, de acuerdo a lo que dice (Gislason, 2008), debido a que es:

**a. Altamente confiable.**-Generalmente, el control inalámbrico, no tiene los mismos recursos que normalmente se asocian con una llamada de teléfono celular (comunicación inalámbrica) en la cual es necesario moverse para encontrar una mejor recepción, o esperar a probar de nuevo más tarde. Zigbee consigue una alta fiabilidad utilizando varias tecnologías, entre las que se incluyen:

- IEEE 802.15.4 con O-QPSK y DSSS
- CSMA-CA

- 16-bit CRCs
- Reconocimiento en cada salto
- Malla de red para encontrar rutas confiables
- Reconocimientos de extremo a extremo para verificar que los datos llegaron a su destino.

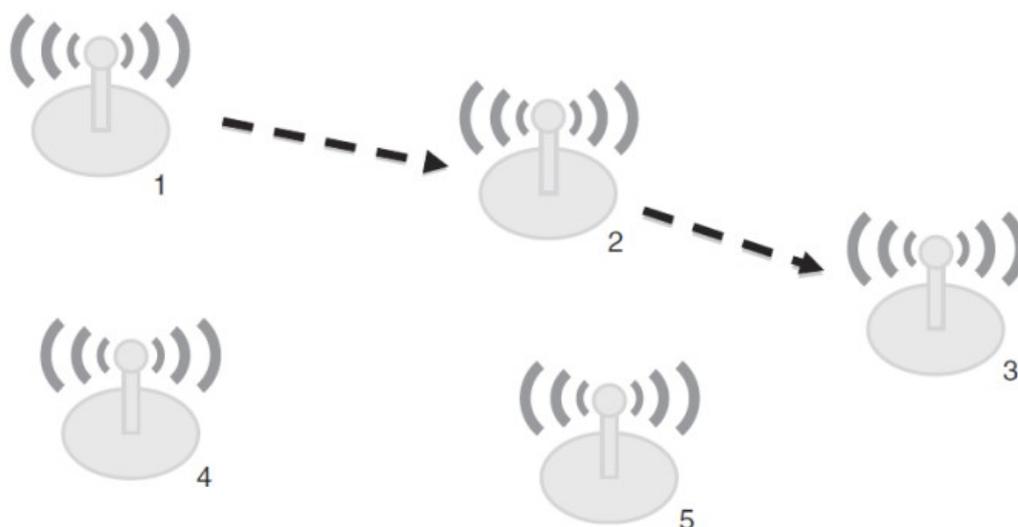
La primera se basa en una muy confiable, la tecnología inalámbrica de bajo rango, la Especificación IEEE 802.15.4. Esta especificación es muy moderna, la robusta tecnología de radio construida por IEEE con más de 40 años de experiencia. Utiliza una combinación de tecnologías [O-QPSK (Offset-Quadrature Phase-Shift Keying) y DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)] que proporcionan un excelente rendimiento para entornos con baja señal y ruido.

Zigbee utiliza CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance) para aumentar la fiabilidad. Antes de transmitir, escucha el canal. Cuando el canal está libre, comienza a transmitir. Esto evita que las radioseñales interfieran unas con otras, causando datos corruptos. CSMA/CA es similar a lo que se hace en las conversaciones. Espera a que el otro que está hablando termine de hacerlo, y luego habla.

Zigbee utiliza un código cíclico de detección de errores de 16-bits y una codificación extra en cada paquete que es transmitido. Esto garantiza que la información de los paquetes enviados sean correctos. Cada paquete se reintenta hasta tres veces (para un total de cuatro transmisiones). Si el paquete no puede pasar después de la cuarta transmisión, Zigbee informa al nodo emisor para que se haga algo al respecto. Otra forma en que Zigbee logra fiabilidad es a través de la creación de redes de malla. Las redes en malla esencialmente proporcionan tres capacidades mejoradas para una red inalámbrica:

- Rango extendido a través de multi-hop,
- Formación de la red ad-hoc, y
- Descubrimiento automático de red y auto-ajuste.

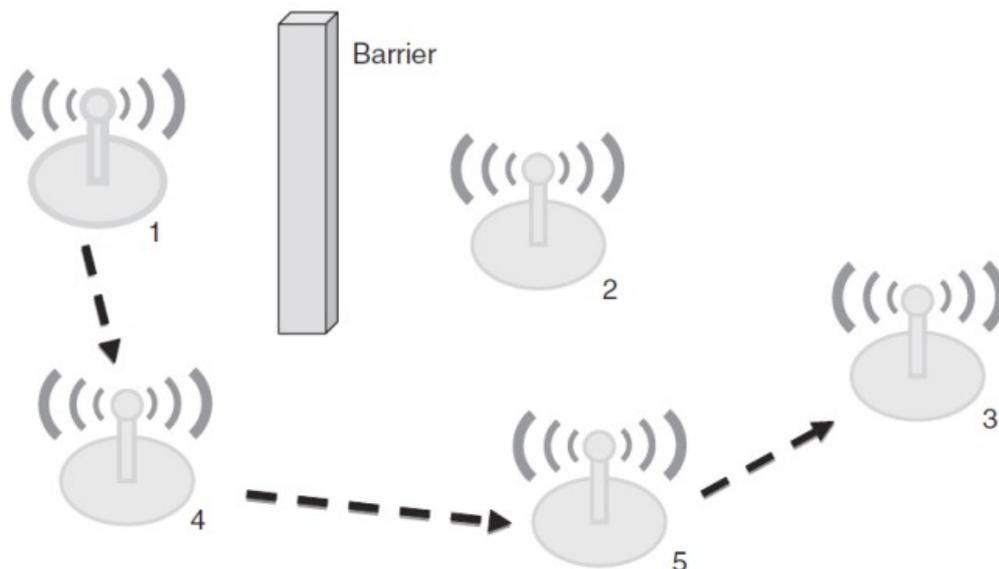
Con mallas de redes, los datos del primer nodo pueden llegar a cualquier otro nodo en la red Zigbee, independientemente de la distancia, siempre y cuando haya suficientes radios entre ellos para pasar el mensaje (véase la Figura 2.). El Nodo 1 desea comunicarse con el nodo 3, pero está fuera del radio de alcance. Automáticamente se da cuenta de la mejor ruta y así nodo 1 envía la información al nodo 2, que lo renvía al nodo 3.



**Figura 2. Malla de Red ZigBee**

**Fuente:** (Gislason, 2008)

Supongamos ahora que con el pasar del tiempo, algo le pasa a esta ruta. Tal vez el nodo 2 ha sido eliminado o muere, o algunas barreras intervienen, como una pared de hormigón o de un gran tanque de agua. Esto no molesta en absoluto a Zigbee, este automáticamente detectará el fallo de la ruta y la ruta alrededor de la obstrucción (ver Figura 3.).



**Figura 3. Cambios de ruta de malla de Red ZigBee**

**Fuente:** (Gislason, 2008)

Además de la red de malla, proporciona radiodifusión fiable, una técnica para distribuir un mensaje a muchos nodos en la red. También proporciona la multidifusión, que puede enviar un mensaje a cualquier grupo dado de nodos. Como una técnica de respaldo de enrutamiento, proporciona un árbol de enrutamiento para aumentar la red de malla Zigbee en sistemas de RAM limitada. También proporciona confirmaciones automáticas de extremo a extremo. Su aplicación puede saber si un paquete particular fue recibido por el otro nodo. Con todos estos intentos, filtra cualquier paquete recibido que esté duplicado, por tanto su aplicación no tiene que hacerlo.

**b. Rentable.-** Zigbee es muy barato. Y parece que cada vez es menos costoso. El bajo costo de Zigbee no es sólo por los costos bajos del silicio. Zigbee es un estándar internacional y tiene disponibilidad de los módulos debido a esto es un ahorrador de costos. Los distribuidores de módulos tal como Digi International, Panasonic y LS Research proveen módulos pre-certificados, listos para comunicarse inmediatamente cuando estén fuera de la caja. Utilizando este enfoque, el único costo de desarrollo es el software, e incluso que se puede reducir mediante el uso de los programas de ejemplo que vienen con los kits de Zigbee, o el software incorporado en los módulos.

Otro aspecto que mantiene bajo el costo es una elección cuidadosa por la Zigbee Alliance de utilizar patentes de tecnologías libres. Se utiliza la encriptación de seguridad AES-128 bit, un estándar que no tiene patentes asociadas con ella y tiene libre acceso alrededor del mundo. También utiliza AODV, un algoritmo de red de malla en el dominio público.

**c. Bajo consumo.-** La red de Zigbee puede funcionar durante años con un par de pilas AA. Dependiendo de la aplicación, estos dispositivos pueden durar toda la vida útil de las baterías, lo que significa que si ha puesto baterías en un estante de un cuarto a temperatura ambiente con nada conectado a ellas, se quedarán sin energía tan rápido como lo harían si estuvieran participando en una red Zigbee, después de unos cinco años. Y no significa que los radios Zigbee no consumen energía, tan solo que si se lo maneja de forma adecuada, los dispositivos pueden durar mucho tiempo.

El verdadero secreto del bajo consumo de energía en Zigbee, además de que los radios y microcontroladores que pueden dormir, es el ciclo de trabajo mínimo. Un nodo en una red Zigbee no necesita mantenerse en contacto constante con la red para permanecer en la red. De hecho, las redes Zigbee son por lo general bastante silenciosas. Un sensor de temperatura puede reportar solo una vez por hora, a menos que la temperatura cambie repentinamente. Un interruptor de luz puede ser activado de 6 a 10 veces por día, posiblemente menos.

**d. Altamente seguro.-** Para asegurar la red, Zigbee utiliza la NIST (National Institute of Standards and Technology) AES (Advanced Encryption Standard). El estándar AES-128, es un cifrador de bloques que cifra y descifra paquetes de una forma que es muy difícil de romper. Es uno de los estándares más conocidos y respetados. Las razones por las cuales fue adoptada por Zigbee son las siguientes:

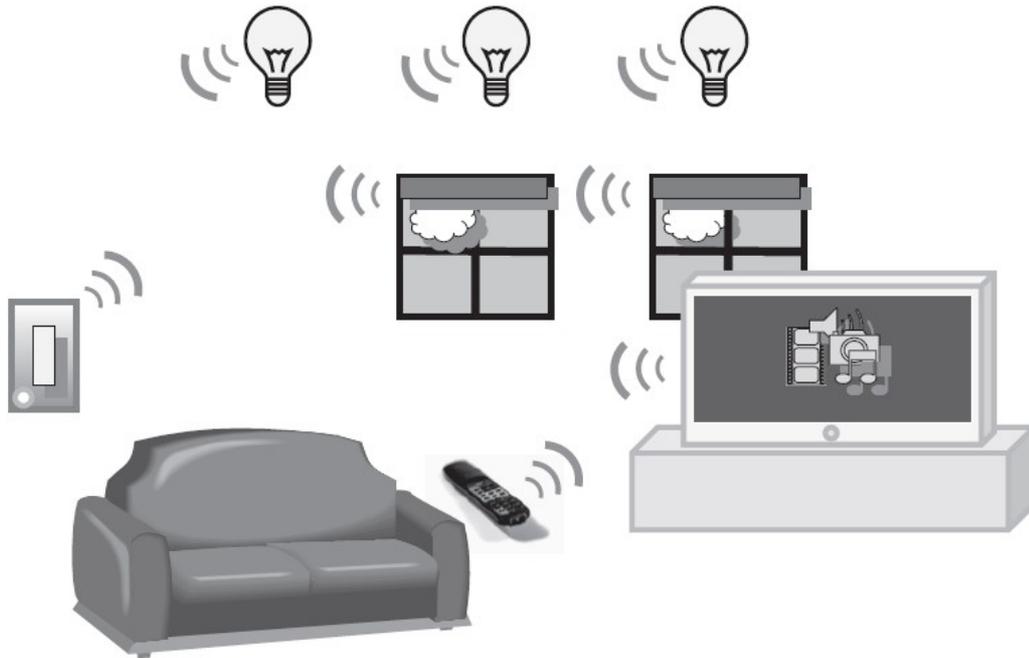
- Es un estándar internacionalmente reconocido y de confianza.
- Es libre de infracciones de patentes.

- Es implementable en un procesador de 8-bits.

Zigbee ofrece cifrado, lo que significa que los paquetes que no se puedan entender por los nodos oyentes que no conocen la clave, y autenticación, lo que significa que un nodo malicioso no puede inyectar paquetes falsos en la red y esperar a que los nodos de Zigbee hagan otra cosa que desecharlos. Zigbee Alliance ha sido muy cuidadosa de asegurar las soluciones de seguridad.

**e. Estándar global abierto.-** Como sea que se mire, ZigBee es global, ZigBee es abierto, y ZigBee está estandarizado. ZigBee utiliza como base la especificación del estándar IEEE 802.15.4 para las capas bajas de MAC y física. IEEE define un estándar de radio fiable en la banda de 2,4 GHz que puede ser utilizado en todo el mundo. Esta norma puede ser libremente descargada desde [www.ieee.org](http://www.ieee.org).

La especificación ZigBee ha sido desarrollada por la ZigBee Alliance, un organismo de normalización con más de 250 empresas asociadas de todos los continentes del mundo (con excepción de la Antártida). Además de la compatibilidad, ZigBee también define el nivel de compatibilidad de aplicaciones a través de *Perfiles de Aplicaciones*. Estos describen cómo varios objetos de aplicación se conectan y trabajan juntos, como las luces e interruptores, controles remotos y televisores. Los *Perfiles de Aplicación* también especifican un conjunto de pruebas para verificar la compatibilidad entre aplicaciones de diferentes proveedores. De hecho, de una red Zigbee se espera que tenga productos de muchos vendedores y que todos interoperen. Una red de hogar puede ser como la que se muestra en la Figura 4.



**Figura 4. Varios proveedores de ZigBee en Automatización de Hogar**

**Fuente:** (Gislason, 2008)

**f. Baja tasa de datos.-** Con el fin de lograr bajo costo y baja potencia, y teniendo en cuenta el espacio de aplicación y los mercados a los que Zigbee apunta, la Zigbee Alliance decidió mantener el protocolo designado por un entorno de baja tasa de datos. Los transceptores son half dúplex, lo que significa que están transmitiendo o recibiendo, pero no ambos al mismo tiempo, lo que también es un factor en la reducción de la eficacia en el rendimiento de funcionamiento de 20 a 25 kbps.

También se espera que los radios compartan canales, tal vez con otras Redes Zigbee u otras tecnologías inalámbricas. Las redes Zigbee cuenta con hasta 16 canales en el espacio de 2.4 GHz, separados por 5 MHz cada uno.

Cada canal está físicamente separado de los otros canales, pero Zigbee se espera opere en entornos en los que el número de redes puede ser altamente denso (tal cual sería en apartamentos y condominios).

Los transceptores Zigbee comparten el espectro de 2.4 GHz con otras tecnologías inalámbricas incluyendo WiFi, Bluetooth, algunos teléfonos

inalámbricos y hasta hornos de microondas. Para ser buenos ciudadanos espectrales y coexistir con estas otras tecnologías, Zigbee ha decidido mantener bajas sus tasas de datos en aplicaciones. Es un protocolo muy discreto.

### **1.2.2. Definición, Estándar IEEE 802.15.4**

En (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008) se explica que se le ha dado como nombre de ZigBee a un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica el cual es utilizado para difusiones digitales de baja latencia y bajo consumo, éste está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal o WPAN que significa Wireless Personal Area Network cuyo objetivo es que sea utilizado cuando se necesite seguridad en la comunicación y tasas bajas de envíos de datos. El ESTÁNDAR IEEE 802.15.4 define el nivel físico y el control de acceso al medio LR-WPAN que significa "Redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos". La revisión más actual de este estándar fue aprobado en el 2006.

### **1.2.3. Características, Ventajas y Desventajas**

(Universidad Nacional de Ingeniería, 2008) refiere las características, ventajas y desventajas que se encuentran listadas a continuación.

#### **a. Características**

- A ZigBee que se lo conoce también "HomeRF Lite", es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s.
- El alcance de este protocolo está comprendido entre 10 m a 75 m.

- Zigbee usa las bandas libres ISM (6) de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EE.UU.).
- Se puede configurar una red ZigBee que puede estar formada por hasta 255 nodos los cuales los cuales fueron diseñados para consumir menos energía que otros protocolos inalámbricos.
- Un sensor equipado con un transmisor ZigBee puede ser alimentado con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años.
- La fabricación de un transmisor ZigBee consta de menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente.
- Tiene diferentes tipos de conexiones en red tales como estrella, punto a punto, malla, árbol.
- Acceso de canal mediante CSMA/CA (7) (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones).
- Se ofrece un mejor soporte para las redes más grandes, teniendo a disposición más opciones de gestión, flexibilidad y desempeño.
- Nueva capacidad para dividir mensajes más largos y permitir la interacción con otros protocolos y sistemas.
- Las redes cambian los canales de comunicación en forma dinámica en caso que ocurran interferencias.
- El conjunto fue optimizado para grandes redes con gestión de red agregada y herramientas de configuración.
- Ofrece una optimización adicional de tráfico necesaria para las grandes redes.

- El conjunto fue mejorado con capacidades seguras para poner en marcha el servicio inalámbrico.
- El conjunto fue sintonizado específicamente para optimizar el flujo de información en las grandes redes.

#### **b. Ventajas**

- Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto.
- Diseñado para el direccionamiento de información y el refrescamiento de la red.
- Opera en la banda libre de ISM 2.4 Ghz para conexiones inalámbricas.
- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.
- Alojamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida.
- Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.
- Detección de Energía (ED).
- Bajo ciclo de trabajo - Proporciona larga duración de la batería.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.
- Hasta 65.000 nodos en una red.
- 128-bit AES de cifrado - Provee conexiones seguras entre dispositivos.

- Son más baratos y de construcción más sencilla.

### **c. Desventajas**

- La tasa de transferencia de datos es muy baja.
- Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnologías.
- Zigbee trabaja de manera que no puede ser compatible con Bluetooth en todos sus aspectos porque no llegan a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos.
- Tiene menor cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN.

## **1.2.4. Estructura y Tipos de Dispositivos**

### **Estructura**

En la Figura 5. se muestra la estructura de la arquitectura en capas. Según (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008) las primeras dos capas, la física y la de acceso al medio MAC, son definidas por el estándar IEEE 802.15.4. La Zigbee Alliance define las capas superiores, corresponden las de red y de aplicación. Éstas contienen: perfiles del uso, ajustes de seguridad y mensajería.



**Figura 5. Estructura**

**Fuente:** (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008)

La entidad de datos crea y gestiona las unidades de datos del nivel de red a partir de la carga útil del nivel de aplicación y realiza el ruteo en base a la topología de la red en la que el dispositivo se encuentra. Las funciones de control del nivel controlan la configuración de nuevos dispositivos y el establecimiento de nuevas redes; puede decidir si un dispositivo colindante pertenece a la red e identifica nuevos enrutadores y vecinos. El control puede detectar así mismo la presencia de receptores, lo que posibilita la comunicación directa y la sincronización a nivel MAC.

La trama general de operaciones (GOF) es una capa que existe entre la de aplicaciones y el resto de capas. La GOF suele cubrir varios elementos que son comunes a todos los dispositivos, como el subdireccionamiento, los modos de direccionamientos y la descripción de dispositivos, como el tipo de

dispositivo, potencia, modos de dormir y coordinadores de cada uno. Utilizando un modelo, la GOF especifica métodos, eventos, y formatos de datos que son utilizados para constituir comandos y las respuestas a los mismos. La capa de aplicación es la más alta definida por la especificación y, por tanto, la interfaz efectiva entre el nodo ZigBee y sus usuarios. En él se ubican la mayor parte de los componentes definidos por la especificación.

### **Tipos de Dispositivos**

Según su papel en la red, como lo describe (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008), éstos se definen en:

- a. **Coordinador Zigbee (Zigbee Coordinator, ZC):** Este tipo de dispositivo es el más completo, debe haber uno de estos por red. Entre sus funciones están: controlar la red, controlar las rutas que cada dispositivo debe seguir.
- b. **Router Zigbee (Zigbee Router, ZR):** Éste se encarga de interconectar a los dispositivos separados en la topología de la red, y ofrece un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- c. **Dispositivo final (Zigbee End Device, ZED):** Tiene la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo coordinador o un router, pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos, debido a eso este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, incrementando la vida media de sus baterías.

### **1.2.5. Funcionalidad, Topología y Tipos de Tráfico de Datos**

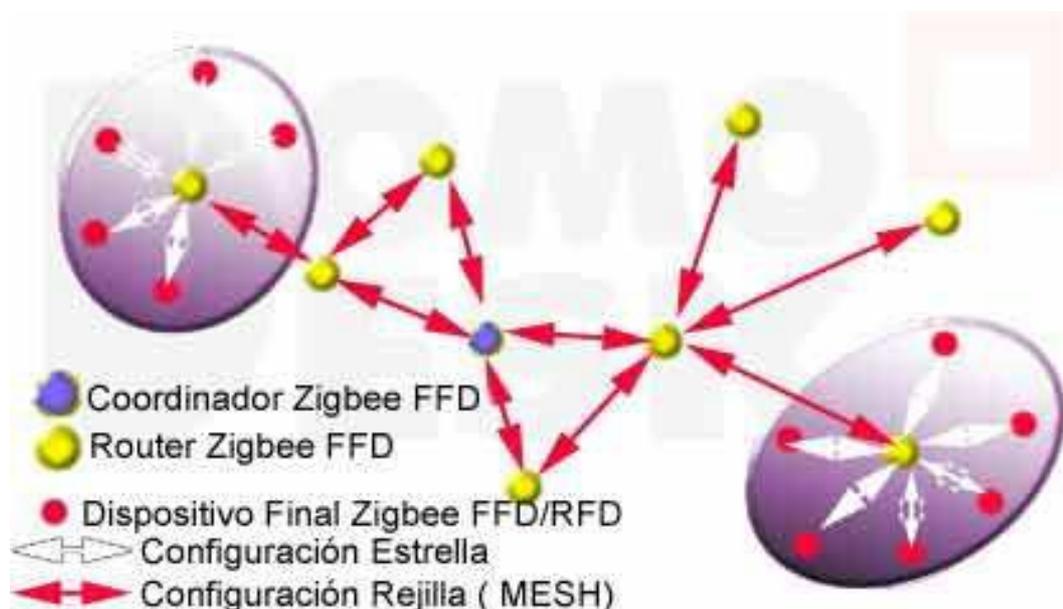
#### **Funcionalidad**

Basándose en su funcionalidad, puede plantearse una segunda clasificación según (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008):

- Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): También conocidos como nodo activo. Debido que dispone de memoria adicional y capacidad de computar, éste puede funcionar como Coordinador o Router ZigBee, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen como interfaces con los usuarios.
- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): Se lo conoce también como nodo pasivo, éste tiene capacidad y funcionalidad limitadas con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad.

### Topología

La capa de red soporta múltiples configuraciones de red incluyendo estrella, árbol, punto a punto y rejilla (malla).



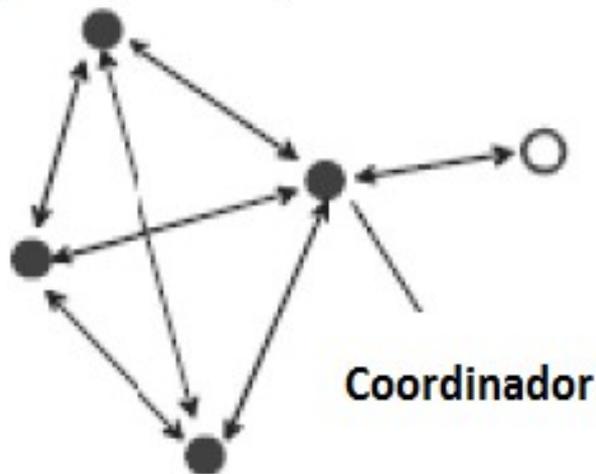
**Figura 6. Red Zigbee**

**Fuente:** (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008)

En la configuración en estrella, uno de los dispositivos tipo FFD asume el rol de coordinador de red y es responsable de inicializar y mantener los dispositivos en la red. Todos los demás dispositivos Zigbee, conocidos con el nombre de dispositivos finales, hablan directamente con el coordinador. En

la configuración de rejilla, el coordinador ZigBee es responsable de inicializar la red y de elegir los parámetros de la red, pero la red puede ser ampliada a través del uso de routers ZigBee. El algoritmo de encaminamiento utiliza un protocolo de pregunta-respuesta (request-response) para eliminar las rutas que no sean óptimas, la red final puede tener hasta 254 nodos. Utilizando el direccionamiento local, se puede configurar una red de más de 65000 nodos ( $2^{16}$ ). Para la topología punto a punto, existe un solo FFD Coordinador. A diferencia con la topología estrella, cualquier dispositivo puede comunicarse con otro siempre y cuando estén en el mismo rango de alcance circundante. Las aplicaciones orientadas para el monitoreo y control de procesos industriales, redes de sensores inalámbricos, entre otros, son ampliamente usados por estas redes. Proveen confiabilidad en el enrutamiento de dato (multipath routing) (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008).

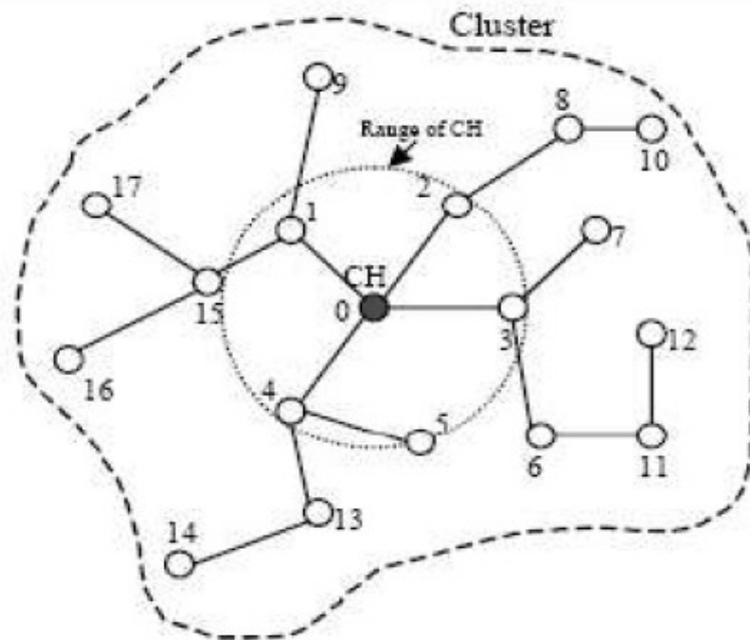
### Topología de punto a punto



**Figura 7. Configuración Punto a Punto**

**Fuente:** (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008)

La topología de árbol es un caso especial de topología de conexión punto a punto, en la cual muchos dispositivos son FFD y los RFD pueden conectarse como un nodo único al final de la red. Cualquiera de los FFD restantes pueden actuar como coordinadores y proveer servicios de sincronización hacia otros dispositivos o coordinadores.



**Figura 8. Topología de Árbol**

**Fuente:** (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008)

### Tipos de Tráfico de Datos

Según (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008) ZigBee/IEEE 802.15.4 dirige tres tipos de tráfico típicos:

- a. Cuando el dato es periódico: La aplicación dicta la proporción, el sensor se activa, chequea los datos y luego se desactiva.
- b. Cuando el dato es intermitente: La aplicación, u otro estímulo, determina la proporción, como en el caso de los detectores de humo. El dispositivo necesita sólo conectarse a la red cuando la comunicación se hace necesaria. Este tipo habilita el ahorro óptimo en la energía.
- c. Cuando el dato es repetitivo: La proporción es a priori fija. Dependiendo de las ranuras de tiempo, los dispositivos operan para tiempos fijos.

### 1.2.6. Seguridad

Según (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008), la seguridad de las transmisiones y de los datos son puntos clave en la tecnología ZigBee. Utiliza el modelo de seguridad de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la cual especifica 4 servicios de seguridad.

*Control de accesos.*- El dispositivo mantiene una lista de los dispositivos comprobados en la red.

*Datos Encriptados.*- Los cuales usan una encriptación con un código de 128 bits.

*Integración de tramas.*- Protegen los datos de ser modificados por otros.

*Secuencias de refresco.*- Comprueban que las tramas no han sido reemplazadas por otras.

El controlador de red comprueba estas tramas de refresco y su valor, para ver si son las esperadas.

### Modelo Básico de Seguridad

En (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008) se refiere a que las claves son la base de la arquitectura de seguridad y, como tal, su protección es fundamental para la integridad del sistema. Las claves nunca deben transportarse utilizando un canal inseguro, si bien existe una excepción momentánea que se da en la fase inicial de la unión de un dispositivo desconfigurado a una red. La red ZigBee debe tener particular cuidado, pues una red ad-hoc puede ser accesible físicamente a cualquier dispositivo externo y el entorno de trabajo no se puede conocer de antemano.

Las aplicaciones que se ejecutan en concurrencia utilizando el mismo transceptor deben, así mismo, confiar entre sí, ya que por motivos de coste

no se asume la existencia de un cortafuegos entre las distintas entidades del nivel de aplicación. Los distintos niveles definidos dentro de la pila de protocolos no están separados criptográficamente, por lo que se necesitan políticas de acceso, que se asumen correctas en su diseño. Este modelo de confianza abierta (open trust) posibilita la compartición de claves disminuyendo el coste de forma significativa.

No obstante, el nivel que genera una trama es siempre el responsable de su seguridad. Todos los datos de las tramas del nivel de red han de estar cifradas, ya que podría haber dispositivos maliciosos, de forma que el tráfico no autorizado se previene de raíz. De nuevo, la excepción es la transmisión de la clave de red a un dispositivo nuevo, lo que dota a toda la red de un nivel de seguridad único. También es posible utilizar criptografía en enlaces punto a punto.

### **Arquitectura de Seguridad**

Como se menciona en (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008), ZigBee utiliza claves de 128 bits en sus mecanismos de seguridad. Una clave puede asociarse a una red (utilizable por los niveles de ZigBee y el subnivel MAC) o a un enlace. Las claves de enlace se establecen en base a una clave maestra que controla la correspondencia entre claves de enlace. Como mínimo la clave maestra inicial debe obtenerse por medios seguros (transporte o preinstalación), ya que la seguridad de toda la red depende de ella en última instancia. Los distintos servicios usarán variaciones unidireccionales de la clave de enlace para evitar riesgos de seguridad.

Es claro que la distribución de claves es una de las funciones de seguridad más importantes. Una red segura encarga a un dispositivo especial la distribución de claves: el denominado centro de confianza (trust center). En un caso ideal los dispositivos llevarán precargados de fábrica la dirección del centro de confianza y la clave maestra inicial. Si se permiten vulnerabilidades momentáneas, se puede realizar el transporte como se ha descrito. Las aplicaciones que no requieran un nivel especialmente alto de

seguridad utilizarán una clave enviada por el centro de confianza a través del canal inseguro transitorio.

Por tanto, el centro de confianza controla la clave de red y la seguridad punto a punto. Un dispositivo sólo aceptará conexiones que se originen con una clave enviada por el centro de confianza, salvo en el caso de la clave maestra inicial. La arquitectura de seguridad está distribuida entre los distintos niveles de la siguiente manera:

El subnivel MAC puede llevar a cabo comunicaciones fiables de un solo salto. En general, utiliza el nivel de seguridad indicado por los niveles superiores. El nivel de red gestiona el ruteo, procesando los mensajes recibidos y pudiendo hacer una difusión de peticiones. Las tramas salientes usarán la clave de enlace correspondiente al ruteo realizado, si está disponible; en otro caso, se usará la clave de red.

El nivel de aplicación ofrece servicios de establecimiento de claves y las aplicaciones, y es responsable de la difusión de los cambios que se produzcan en sus dispositivos a la red. Estos cambios podrían estar provocados por los propios dispositivos o en el centro de confianza, que puede ordenar la eliminación de un dispositivo de la red, por ejemplo.

### **1.3. Sistema de Monitoreo de Presión de Neumáticos o TPMS**

#### **1.3.1. Introducción e Historia**

Según (Wikipedia, 2015) el TPMS (*Tire Pressure Monitoring System*, o *Sistema de Monitoreo de Presión de Neumáticos*) es un sistema electrónico diseñado para monitorear la presión del aire en el interior de los neumáticos en los distintos tipos de vehículos. El TPMS reporta la información de presión de neumáticos en tiempo real al conductor del vehículo, puede ser a través de un medidor, una pantalla, o una luz de advertencia cuando la presión esté baja.

Ya que la presión en los neumáticos ejerce una importante influencia en la seguridad y eficiencia de los vehículos, este sistema fue adoptado por primera vez en Europa a manera de una característica opcional para los vehículos de lujo de pasajeros en los 80's. El primer vehículo de pasajeros en adoptar el TPMS fue el Porsche 959 en 1986, utilizando un sistema de radios de rueda hueca desarrollado por PSK. En 1996 Renault utiliza el Sistema PAX para el Scenic y en 1999 el PSA Peugeot Citroën decidió adoptar TPMS como una característica estándar en el Peugeot 607. Al año siguiente (2000), Renault lanzó el Laguna II, el primer vehículo del mundo de tamaño mediano de pasajeros en ser equipado con TPMS como una característica estándar.

En los Estados Unidos, el retiro neumáticos de Firestone a finales de 1990 (la cual estaba vinculada a más de 100 muertes por volcamientos debidos a la separación de la banda de rodadura), empujó a la administración de Clinton a legislar la *TREAD Act* (Transportation Recall Enhancement, Accountability and Documentation Act).

Aquella ley dispuso la utilización de una tecnología TPMS adecuada en todos los vehículos de motores ligeros vendidos después del 1 de septiembre del 2007. Esta fase comenzó en octubre del 2005 cubriendo el 20%, y alcanzó el 100% de los modelos fabricados en septiembre del 2007. A partir de 2008 en los Estados Unidos y desde el 1 de noviembre del 2012 en la Unión Europea, todos los modelos nuevos de vehículos de turismo deben estar equipados con TPMS.

Después de que se aprobó la Ley *TREAD*, muchas empresas han respondido a la nueva oportunidad de mercado mediante la creación y puesta en mercado de productos TPMS que utilizan métodos simples de obtención de la presión de los neumáticos y datos de temperatura, módulos ubicados en las ruedas con un transmisor de radio alimentado con baterías.

La introducción de los neumáticos run-flat y los neumáticos de emergencia por varios fabricantes de vehículos y neumáticos ha motivado a hacer por lo menos algunos TPMS básicos obligatorios al usar este tipo de llantas. Con estos neumáticos, el conductor puede no notar que uno de ellos está pinchado, por lo tanto se introdujeron los llamados "sistemas de alerta de run flat". Estos corresponden a la primera generación de iTPMS basados en el radio de rodadura del neumático, lo que garantiza que estos neumáticos no sean utilizados más allá de sus limitaciones, usualmente a 80 km/h de velocidad y 80 km de distancia.

### **1.3.2. Tipos de TPMS**

En (Wikipedia, 2015) se establece 2 tipos de dispositivos: Directos e Indirectos, los cuales se detallan a continuación:

#### **TPMS Directos (dTPMS)**

Se emplean sensores de presión en cada neumático, ya sea interno o externo. Los sensores miden físicamente la presión en cada llanta y reportan al tablero de instrumentos del vehículo o en un monitor los valores de presión a tiempo real de cada una de ellas. A veces también se mide la temperatura en el interior del neumático.

Estos sistemas pueden identificar el inflado en cualquier combinación, ya sea en forma individual o a los cuatro neumáticos, simultáneamente. Muchos productos TPMS pueden mostrar las presiones de los neumáticos en tiempo real sin importar si el vehículo está en movimiento o estacionado. Hay muchas soluciones, pero todas ellas tienen que enfrentar los problemas de la vida limitada de la batería y la exposición a ambientes difíciles.

Si los sensores están montados en el exterior de la rueda, están en peligro de daños mecánicos, fluidos agresivos y otras sustancias, así como el robo. Si se montan en el interior del aro, ya no son fácilmente accesibles

para dar servicio o cambio de la batería; adicionalmente, la comunicación de RF (Radio Frecuencia) tiene que superar los efectos de amortiguación del neumático que incrementa la necesidad de energía. Para que los sensores de dTPMS realicen sus funciones requieren unos cuantos componentes externos, tales como:

- sensor de presión,
  
- convertidor analógico-digital,
  
- microcontrolador,
  
- controlador del Sistema,
  
- oscilador,
  
- transmisor de radiofrecuencia,
  
- receptor de baja frecuencia, y
  
- regulador de voltaje (gestión de la batería).

La mayoría de los dTPMS equipados originalmente, tienen los sensores montados en el interior de las llantas, ya que las baterías no son intercambiables, si fuese necesario un cambio de batería, significa que todo el sensor tendrá que ser sustituido y el recambio es posible sólo con las ruedas desmontadas, por este motivo la vida útil de la batería se convierte en un parámetro crucial.

Con el fin de ahorrar energía y prolongar la vida de la batería, la mayoría de los sensores dTPMS no transmiten información cuando no están rodando o se aplica un sistema de comunicación especial de dos vías que permite activar al sensor en el momento requerido por el vehículo.

## **TPMS INDIRECTOS (iTPMS)**

Este sistema no utiliza sensores de presión física, pero las presiones de aire se miden mediante el control de las velocidades de rotación de las ruedas individuales. Los sistemas iTPMS de primera generación utilizan el efecto de que un neumático poco inflado tiene un diámetro ligeramente menor (y por lo tanto la velocidad tangencial menor) que uno inflado correctamente. Estas diferencias se pueden medir a través de los sensores de velocidad de las ruedas de los sistemas ABS (Sistema antibloqueo de ruedas) y ESC (Control de estabilidad electrónico).

Los iTPMS de segunda generación pueden detectar simultáneamente la falta de inflado de los cuatro neumáticos utilizando el análisis del espectro de las ruedas individuales, que puede realizarse en software utilizando técnicas avanzadas de procesamiento de señales. El análisis del espectro se basa en el principio de que ciertas frecuencias del conjunto de neumático/rueda son muy sensibles a la presión de inflado. Estas oscilaciones por lo tanto, pueden ser controladas a través de procesamiento avanzado de las señales que generan la velocidad de las ruedas.

Los iTPMS no pueden medir o mostrar los valores de presión absoluta, que son relativas, por naturaleza, y tienen que hacerlo a través del conductor una vez que los neumáticos se comprueban y todas las presiones ajustadas correctamente. La reposición se hace normalmente, ya sea por un botón físico o en un menú del ordenador de a bordo.

iTPMS es, en comparación con dTPMS, más sensible a las influencias de diferentes neumáticos y las influencias externas tales como la superficie de carretera y la velocidad o estilo de conducción. El procedimiento de restablecimiento, seguido por una fase de aprendizaje automático de típicamente 20 a 60 minutos de conducción en las que el iTPMS aprende y almacena los parámetros de referencia antes de que sea completamente activa, anula muchos de los antes mencionados parámetros, pero no todos

ellos. El iTPMS no necesita ningún hardware adicional, piezas, residuos electrónicos o tóxicos, tampoco servicio alguno (más allá del reajuste regular), ya que son considerados como fáciles de manejar y muy amigables.

### **1.3.3. Ventajas**

Según (Wikipedia, 2015), el comportamiento dinámico de un neumático está relacionada con su presión de inflado. Los factores clave como la distancia de frenado y la estabilidad lateral requiere que las presiones se ajusten y se mantengan según lo especificado por el fabricante del vehículo. Una baja presión extrema puede incluso conducir a la sobrecarga térmica y mecánica causada por el sobrecalentamiento, y, posteriormente la destrucción súbita del propio neumático. También influye sobre la eficiencia de combustible así como el desgaste de los neumáticos que se ven gravemente afectados por la baja presión. En los neumáticos no sólo se fuga el aire en caso de pinchazo, también se fuga aire de forma natural, y en un año, incluso en un neumático nuevo, montado adecuadamente pueden perder de 20 a 60 kPa (3-9 PSI), aproximadamente el 10% o más de su presión inicial, y se puede resumir las ventajas más significativas sobre la utilización de TPMS, en:

**a. Ahorro de combustible:** Por cada 10% de la baja de presión en los neumáticos de un vehículo, se producirá un incremento del 1% en consumo de combustible.

**b. Duración de la vida útil del neumático:** Los neumáticos desinflados son la causa número uno de la falla de las llantas y contribuye a la desintegración del neumático, la acumulación de calor, separación de las capas y las averías de pared lateral/carcasa. Por otra parte, al rodar con un neumático aunque sea momentáneamente con una presión inadecuada, se rompe la carcasa y evita la posibilidad de rencauchado. Hay que tener en cuenta que no todos los fallos repentinos en los neumáticos son causados

por la baja presión, los daños estructurales causados, por ejemplo, al golpear bordillos afilados o baches, también puede conducir a fallas repentinas en las llantas, incluso cierto tiempo después del incidente. Estos fallos no se pueden detectar de forma proactiva por cualquier TPMS.

*c. Disminución del tiempo de inactividad y mantenimiento:* Los neumáticos desinflados conducen a costosas horas de tiempo de inactividad y mantenimiento.

*d. Mayor seguridad:* Los neumáticos desinflados provocan fallas, lo que resulta en cifras altas en cuanto a accidentabilidad, heridos y muertes por año. Además, los neumáticos correctamente inflados añaden una mayor estabilidad, maniobrabilidad y eficiencia de frenado. Proporciona una mayor seguridad para el conductor, el vehículo, la carga y terceros en el camino.

*e. Eficiencia ambiental:* Los neumáticos desinflados liberan de más de 57.5 mil millones libras de contaminantes de monóxido de carbono innecesarias a la atmósfera cada año en los Estados Unidos.

## **1.4. Neumáticos**

### **1.4.1. Introducción e Historia**

Según (Wikipedia, 2015), un **neumático**, es una pieza de caucho de forma toroidal que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas. Su principal función es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento, posibilitando el arranque, avance y frenado. Los neumáticos tienen hilos que los refuerzan. Dependiendo de la orientación de estos, se clasifican en diagonales o radiales, siendo los últimos un estándar para la mayor parte de los automóviles modernos. En 1888 en Belfast, Irlanda del Norte, John Boyd Dunlop, desarrolló el primer neumático con cámara de aire para el triciclo de su hijo.

Con el fin de dar solución al traqueteo, John Dunlop infló unos tubos de goma con una bomba de aire para inflar balones. Posteriormente los envolvió con una lona para protegerlos y los pegó sobre las llantas de las ruedas del triciclo. En aquel entonces, la mayoría de las ruedas tenían llantas con goma maciza, siendo los neumáticos los que brindaban un mayor confort. Desarrolló la idea y patentó el neumático con cámara el 7 de diciembre de 1889. Sin embargo, dos años después de que le concedieran la patente, a Dunlop le informaron que la patente fue invalidada por el inventor escocés Robert William Thomson, quien había patentado la idea en Francia en 1847 y en Estados Unidos en 1891. Dunlop ganó una batalla legal contra Robert William Thomson y revalidó su patente. El desarrollo del neumático con cámara de Dunlop llegó en un momento crucial durante la expansión del transporte terrestre (Neumáticos Pneus, 2015).

#### **1.4.2. Tipos de Neumáticos**

En (Neumáticos Pneus, 2015) se establece una categorización según la temporada de utilización, esta clasificación se la hace para que los neumáticos se adapten mejor las condiciones climáticas:

- *De verano.*- Es posible utilizar este tipo de neumáticos a lo largo del año si el trabajo que realiza el vehículo, los desplazamientos realizados y el clima así lo permiten. Bajo condiciones de lluvia o nieve éste rendirá menos, incluso nada si el desgaste del neumático es de consideración. Sin embargo, este neumático tendrá un mejor rendimiento en suelo seco.
- *De invierno.*- El desgaste en estos varía en función de la utilización del vehículo, desplazamientos realizados y del clima. Este tipo de neumáticos deben estar en buen estado debido a que si presentan desgaste no serán eficaces ni en la nieve ni en suelo mojado.
- *Para toda temporada.*- Estos pueden ser utilizados en todo tipo de suelo y condición climática, pero no serán tan eficaces, no tendrán la misma

adherencia en suelo seco como un neumático de verano y tampoco tendrán el mismo agarre como un neumático para lluvia o nieve.

Según (Dirección de Transporte CONAE, 2015) y (Wikipedia, 2015), se estableció una clasificación según su tipo de construcción:

- *Diagonales.*- Este tipo de neumático tiene la característica de una construcción diagonal, la que consiste en colocar las capas de forma que queden inclinadas con respecto a línea del centro, orientadas de ceja a ceja. Con este tipo de estructura se brinda al neumático dureza y estabilidad que le permiten soportar la carga del vehículo. La desventaja de este diseño es que le proporciona al neumático una dureza que no le permite ajustarse apropiadamente a la superficie de rodamiento lo que ocasiona menor agarre, menor estabilidad en curvas y mayor consumo de combustible.
- *Radiales.*- En esta construcción, las cuerdas de las capas del cuerpo van de ceja a ceja formando semióvalos, estas son las que tienen 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. Los neumáticos radiales son más suaves que el convencional o diagonal 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.
- *Autoportante.*- Es un neumático Run Flat, en esta construcción las capas de material se colocan unas sobre otras en línea recta, sin sesgo, también en los flancos. Este sistema permite dotar de mayor resistencia a la cubierta aunque es menos confortable por ser más rígida, se usa en vehículos deportivos y tiene la ventaja de poder rodar sin presión de aire a una velocidad limitada, sin perder su forma.

En (Wikipedia, 2015) se ha realizado una clasificación según su uso de cámara, los cuales son:

- Tubetype.- Aquellos que usan cámara y una llanta específica para ello. No pueden montarse sin cámara.
- Tubeless o sin cámara.- Estos neumáticos no emplean cámara. Para evitar la pérdida de aire tienen una parte en el interior del neumático llamada talón que, cómo tiene unos aros de acero en su interior, evitan que se salga de la llanta. En la actualidad se emplean en la mayoría de los vehículos.

### **1.4.3. Dimensiones y Simbología**

Según (Dirección de Transporte CONAE, 2015) las dimensiones de los neumáticos son las siguientes:

- a. Diámetro total.- Es la distancia medida desde un extremo de la banda rodante hasta el opuesto estando el neumático (sin carga).
- b. Ancho total.- Es la medida de la sección transversal del neumático estando éste sin carga. Esta medida incluye los costados de la llanta.
- c. Ancho de sección.- Es la medida de la sección transversal excluyendo rebordes del neumático.
- d. Ancho de la sección de rodadura.- Es la distancia que existe entre los extremos de la banda rodante estando el neumático sin carga.
- e. Profundidad de la sección de rodadura.- Es la mayor profundidad de la ranura existente entre la banda de rodamiento y su base.

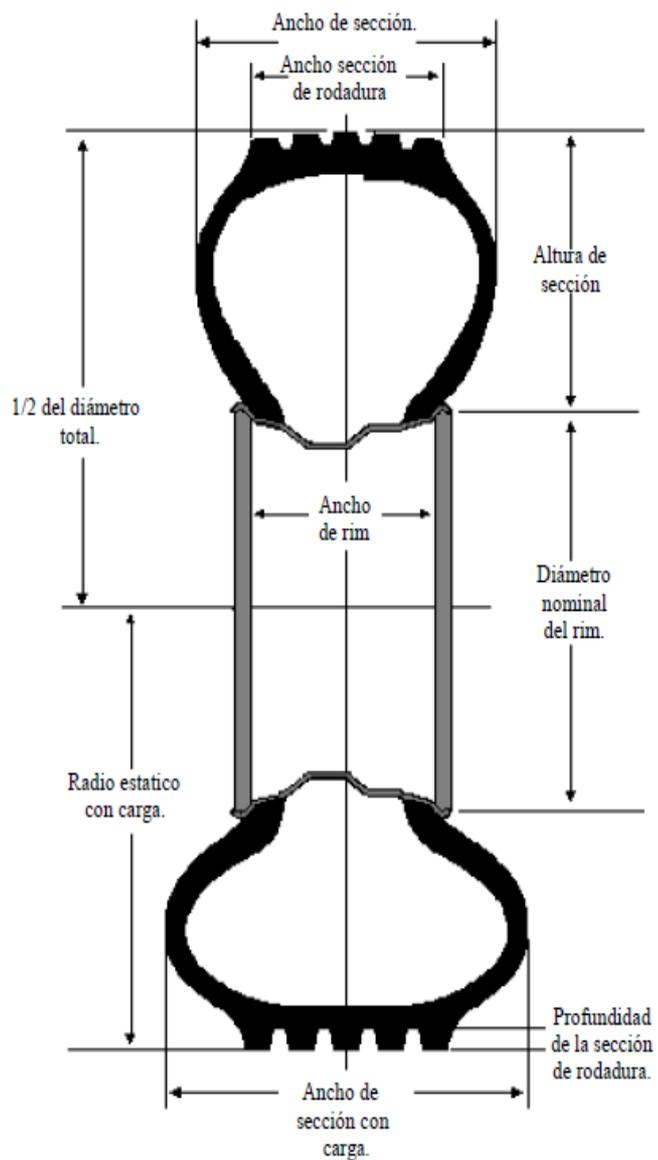
**f.** Altura de sección.- Es la distancia entre el asiento de ceja hasta la banda de rodamiento, estando el neumático sin carga.

**g.** Ancho de rim.- Es la distancia transversal entre los costados del asiento de la ceja del rim.

**h.** Diámetro nominal de rim.- Es el diámetro del rim medido desde el asiento de ceja hasta el extremo opuesto del mismo.

**i.** 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.

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



**Figura 9. Dimensiones de los neumáticos**

**Fuente:** (Dirección de Transporte CONAE, 2015)

En La simbología y dimensiones de un neumático se representan en la Figura 9.:



**Figura 10. Neumático 135/80 R 14 80P**

**Fuente: [ CITATION neumático \l 12298 ]**

a. El primer número es la anchura seccional nominal del neumático en milímetros, desde un borde de la banda de rodadura hasta el otro.

b. El segundo número indica la altura del perfil y se expresa en porcentaje respecto de la anchura. En algunas cubiertas se prescinde del mismo, considerando que equivale a un perfil 80.

c. La "R" indica que la construcción de la carcasa del neumático es de tipo "radial". Si por el contrario, la construcción fuese de tipo "diagonal" (habitual en algunos equipos agrícolas e industriales), se utilizaría el símbolo "-".

d. El tercer número es el diámetro de la circunferencia interior del neumático en pulgadas, o también, el diámetro de la llanta o rim sobre la que se monta.

e. El cuarto número indica el índice de carga del neumático. Este índice se rige por unas tablas en que se recogen las equivalencias en kg del mismo. En el ejemplo el índice "91" equivale a 615 kg por cubierta.

f. Finalmente la letra indica la velocidad máxima a la que el neumático podrá circular sin romperse o averiarse. Cada letra equivale a una velocidad y en el ejemplo el código W supone una velocidad de hasta 270 km/h.

**225/50R16 91W**

*a b c d e f*

Figura 11. Códigos de neumáticos

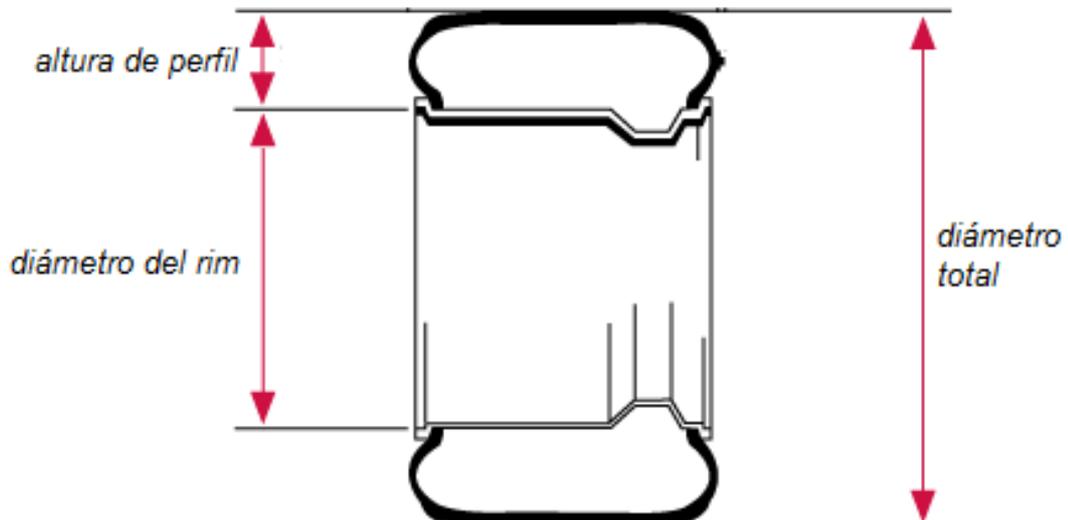


Figura 12. Dimensiones del neumático

### Simbología en Neumáticos

En (Wikipedia, 2015) se establece que los neumáticos son descritos por un código alfanumérico, el cual ha sido incluido a forma de relieve en los

flancos del neumático. Estos códigos especifican sus dimensiones y algunas de sus limitaciones, tales como su capacidad de carga o velocidad máxima. A veces en el flanco interior se encuentra información que no está en el exterior, y viceversa.

La mayor parte de estas medidas están en el sistema internacional; aunque ciertos vehículos especiales usan una numeración específica para camiones ligeros. El código ISO Métrico consiste en conjunto de letras y números, los cuales son representados por los siguientes símbolos:

Una letra (o letras) opcional indicando el vehículo hacia el que va dirigido el neumático en cuestión:

**P:** Vehículo de pasajeros

**LT:** Camión ligero

**ST:** Trailer especial

**T:** Uso temporal (para ruedas de repuesto)

Número de 3 dígitos: La anchura seccional nominal del neumático en milímetros, desde un borde de la banda de rodadura hasta el otro.

**/:** Separación (Sin significado)

Número de dos dígitos: La relación de aspecto entre la altura del perfil y la anchura del neumático, como un porcentaje. Si no está presente este dato, se toma como que equivale a un 82%. Si el número es mayor que 200, entonces es el diámetro total del neumático en milímetros.

Construcción de la carcasa del neumático:

**B:** Cintas opuestas

D: Diagonal

R: Radial

Si no está presente este dato, se toma como que es de cintas cruzadas.

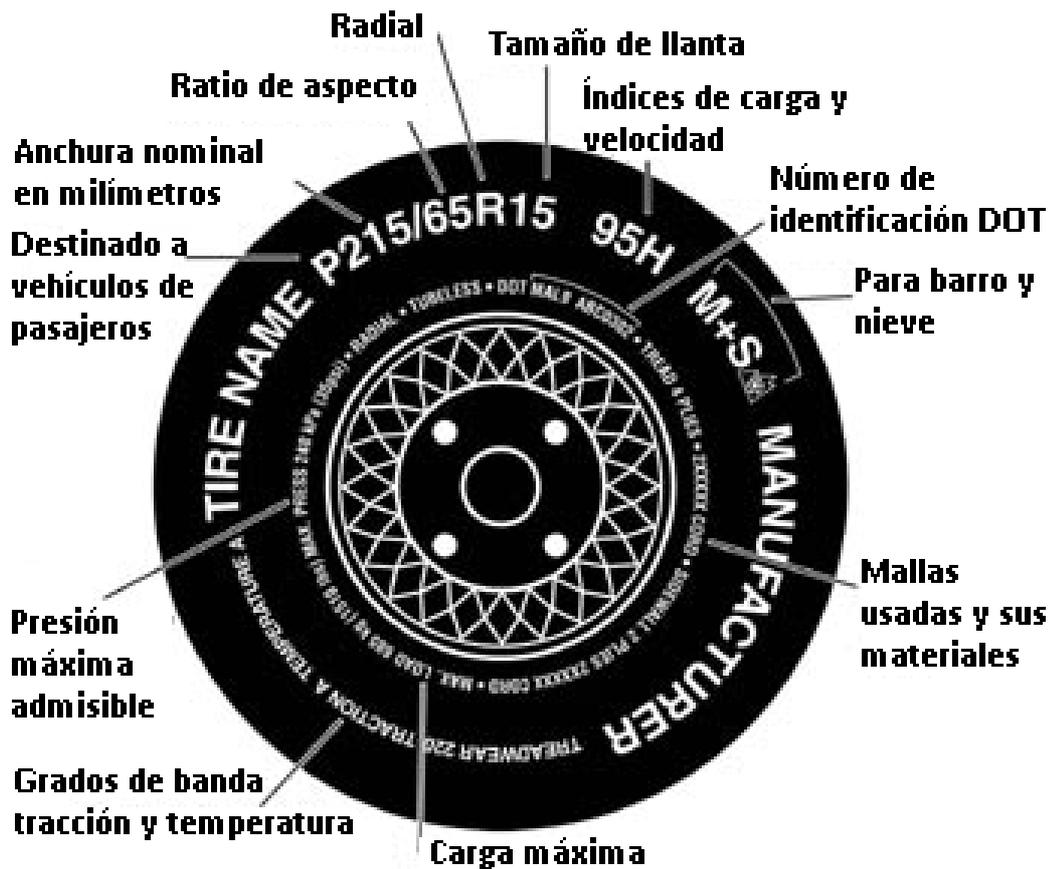


Figura 13. Neumático y su Simbología

Fuente: (Wikipedia, 2015)

Número de 2 dígitos: Diámetro en pulgadas de la llanta para la que el neumático está diseñado específicamente. Número de dos o tres dígitos: Índice de carga, ver Tabla 1 Letra suelta o conjunto de una letra y un número: Índice de velocidad.

**Tabla 1.****Rangos de Carga Máxima**

Código de carga	Carga máxima (kg)
20	80
30	106
35	121
40	136
45	165
50	190
55	218
60	250
65	290
70	335
75	387
80	450
85	515
90	600
95	690
100	800
105	925
110	1060
115	1215
120	1400

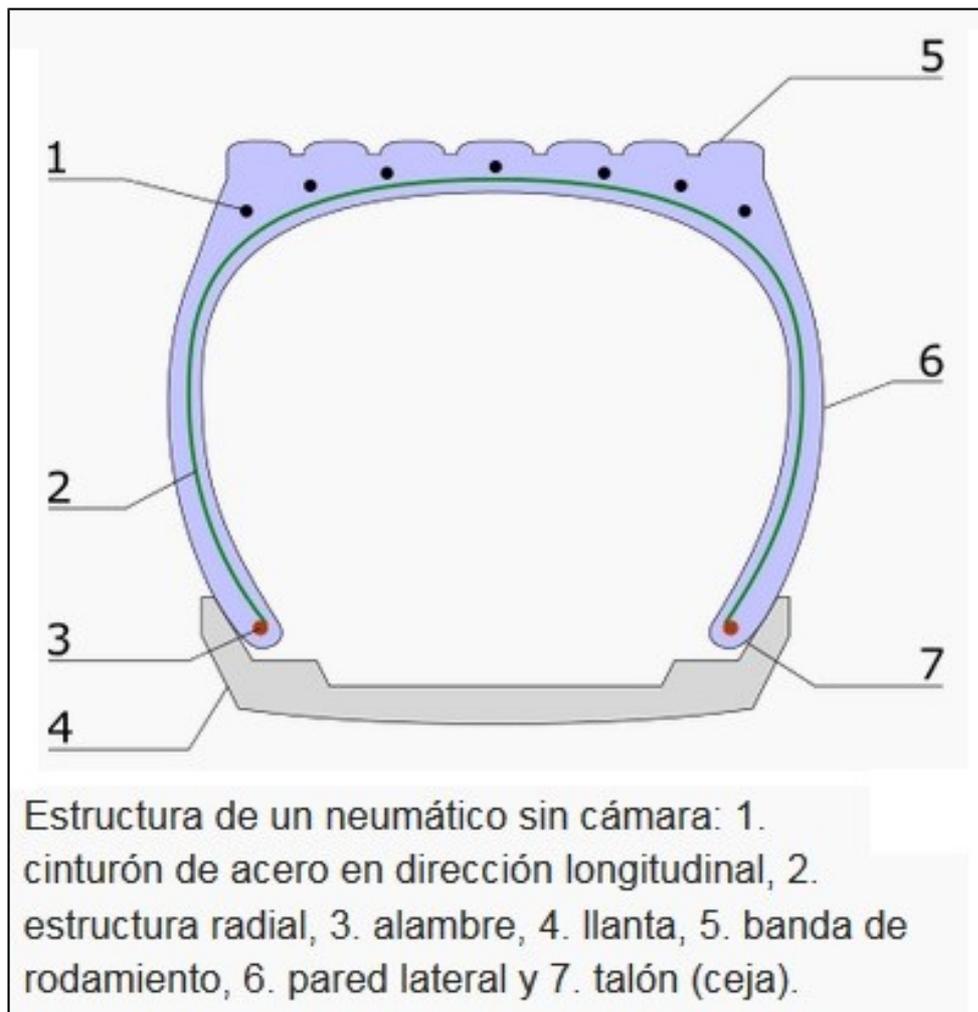
**Fuente:** (Wikipedia, 2015)

**1.4.4. Cámara, Válvula e Inflado****Cámara de Aire**

Según (Wikipedia, 2015), las cámaras de aire son globos que tienen forma toroidal y hechos de un material impermeable para impedir las fugas de aire. Las cámaras se insertan dentro del neumático y se inflan a través de la válvula insertada para retener el aire en su interior. En las cubiertas que no tienen cámara, la válvula está soportada en la rueda metálica y se ancla mediante un rebaje en la goma.

## Neumáticos con y sin Cámara

En (Slideshare, 2015), la diferencia básica se encuentra dentro del neumático, los que no tienen cámara presentan un caucho en la parte interna, llamada *liner*, es la que garantiza la retención del aire.



**Figura 14. Partes de un neumático**

**Fuente:** (Wikipedia, 2015)

Las ventajas de los neumáticos sin cámara son:

- Menor peso del conjunto,
- Tiene una lenta pérdida de presión al pincharse,

- El conjunto sufre un menor calentamiento,
- Menor número de ítems en el conjunto,
- Mayor facilidad en las operaciones de montaje y desmontaje.

## Válvula

En (Wikipedia, 2015), se explica que la válvula hay que sustituirla en cada cambio de neumático, ya que ésta sufre las incidencias del neumático y sufre desgaste por la contención continua del aire.

La válvula consta de:

- Bulbo*.- Es la parte baja que engancha la cámara o rueda.
- Tube*.- Es la parte alargada, que une la boquilla de inflado con el interior de la rueda y mediante el cual llega el aire introducido hasta el compartimento creado por la conjunción del neumático y la rueda; puede ser de diferentes materiales como metal, plástico reciclado, goma o una combinación de cualquiera de ellos.
- Obús*.- Es una pieza pequeña que se encuentra junto a la boquilla de inflado, tiene un muelle que permite deslizar el tope para que pueda entrar el aire en los momentos de llenado. Tiene una función estanca, la cual solo si el muelle y la junta de goma están en perfecto estado se puede cumplir.
- Tapón*.- Es realmente importante ya que evita daños en el obús y en la boquilla de inflado de la válvula, adicionalmente suele tener una junta de goma que al atornillar en la boca de la válvula evita que salga el aire y también evita que ingrese suciedad que pueda influir en la pérdida de aire.



**Figura 15. Partes de la válvula**

### **Inflado**

Según (Wikipedia, 2015), en su interior el neumático va relleno con aire a presión, y dependiendo el tipo de vehículo necesitará más o menos presión. Es de vital importancia realizar chequeos de la presión periódicamente ya que un neumático con una presión por debajo de la recomendada por el fabricante situaciones peligrosas como falta de agarre, riesgo de desenllantado lo que desembocaría en una pérdida de control del vehículo, progresiva degradación del estado del neumático, además, influye en el incremento de consumo de combustible del vehículo. Por el contrario, cuando existe una presión excesiva a la recomendada se genera incomodidad en el rodaje debido a la pérdida de amortiguación, y, si la presión es excesivamente alta hay riesgo de que se pierda el control del vehículo.

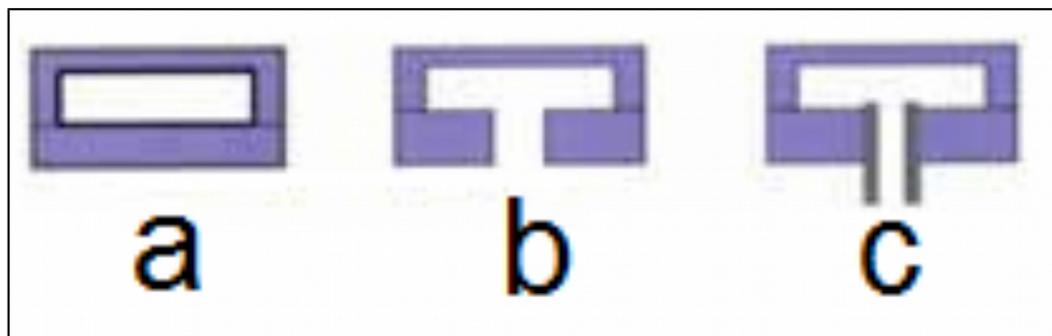
## CAPÍTULO II

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

#### 2.1. Sensores de Presión

Según (Sensorland, 2015), con la era del vapor, llegó la demanda de instrumentos de medición de presión, donde los desplazamientos mecánicos fueron trasladados a un puntero, en la actualidad estos aún están en uso. La *metrología de la Presión* es la tecnología de transducción de la presión en una magnitud eléctrica. Normalmente, una construcción de diafragma se utiliza con medidores de deformación actuando como elementos resistivos. Bajo la deformación inducida por la presión, los valores resistivos cambian.

En la tecnología capacitiva, el diafragma de presión es una placa de un condensador que cambia su valor bajo el desplazamiento inducido por la presión. La medición de la presión utilizando tecnología de membrana mide la diferencia en la presión de los dos lados del diafragma. Dependiendo de la presión correspondiente, utilizamos los términos absolutos, donde el valor de referencia es el vacío (Figura 16. a), el indicador, donde la referencia es la presión atmosférica (Figura 16. b), o diferencial, donde el sensor tiene dos puertos de la medida de dos diferentes presión (Figura 16. c).

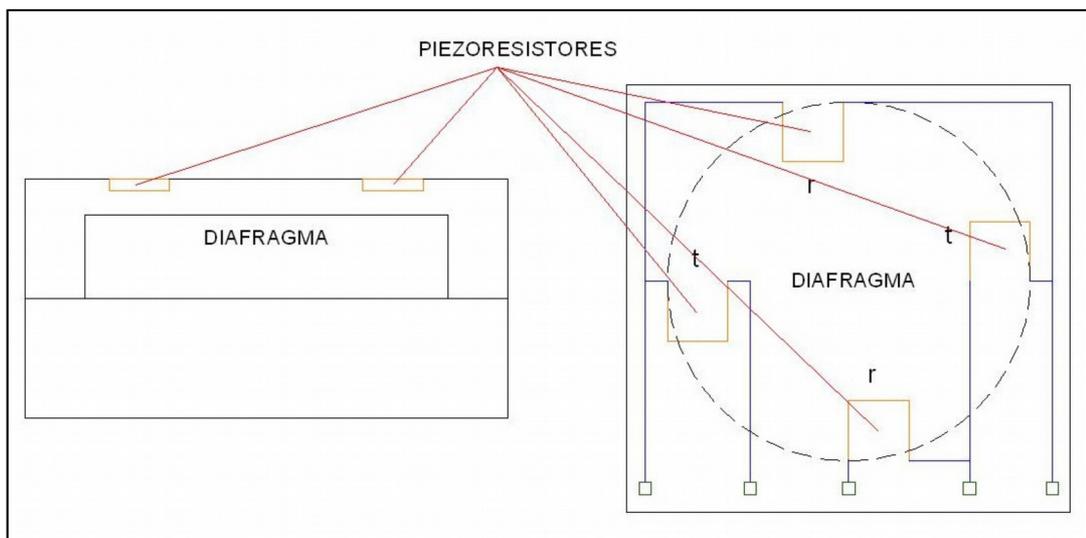


**Figura 16. Tipos de sensores**

**Fuente:** (Sensorland, 2015)

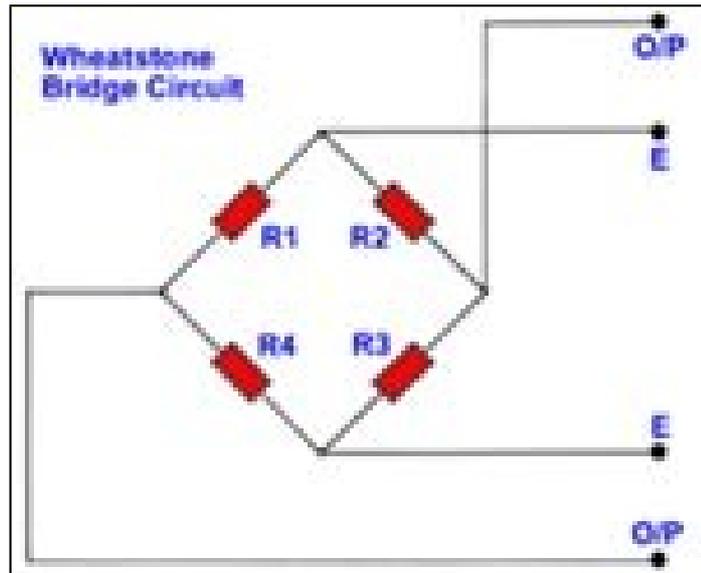
### Sensor de Presión Piezoresistivos o de Celda de Silicón

Este tipo de sensores de presión consisten en un diafragma de silicón micro mecanizado con medidores de deformación piezoresistivos, unidos a una placa de soporte de silicón o de vidrio.



**Figura 17. Estructura de un Sensor de Presión Piezoresistivo de Silicón**

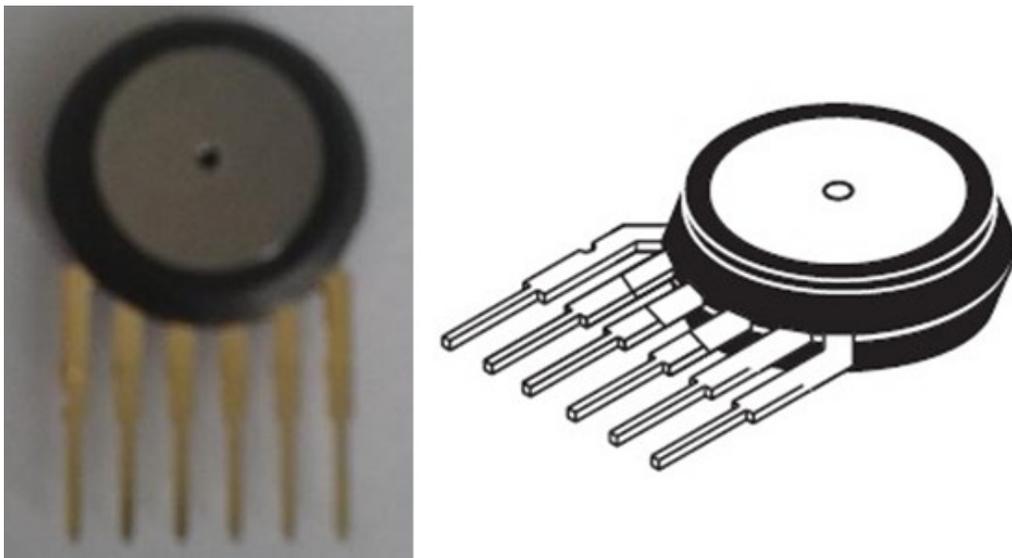
Las resistencias tienen un valor de aprox. 3,5 kOhm. La deformación inducida debido a la presión aumenta el valor de los resistores radiales  $r$ , y disminuyen el valor de los resistores  $t$  transversales al radio. Las resistencias están conectadas en un puente Wheatstone, la salida del cual es directamente proporcional a la presión.



**Figura 18. Circuito Puento Wheatstone**

**Fuente:** (Sensorland, 2015)

En el presente proyecto se utiliza el sensor de presión MPX5500D cuyas especificaciones técnicas se incluyen en el Anexo 1, el cual según el diseño del proyecto se coloca dentro de cada neumático (a más de algunos circuitos y alimentación) para realizar el monitoreo de la presión. En la Figura 19. se presentan las imágenes del sensor en mención:

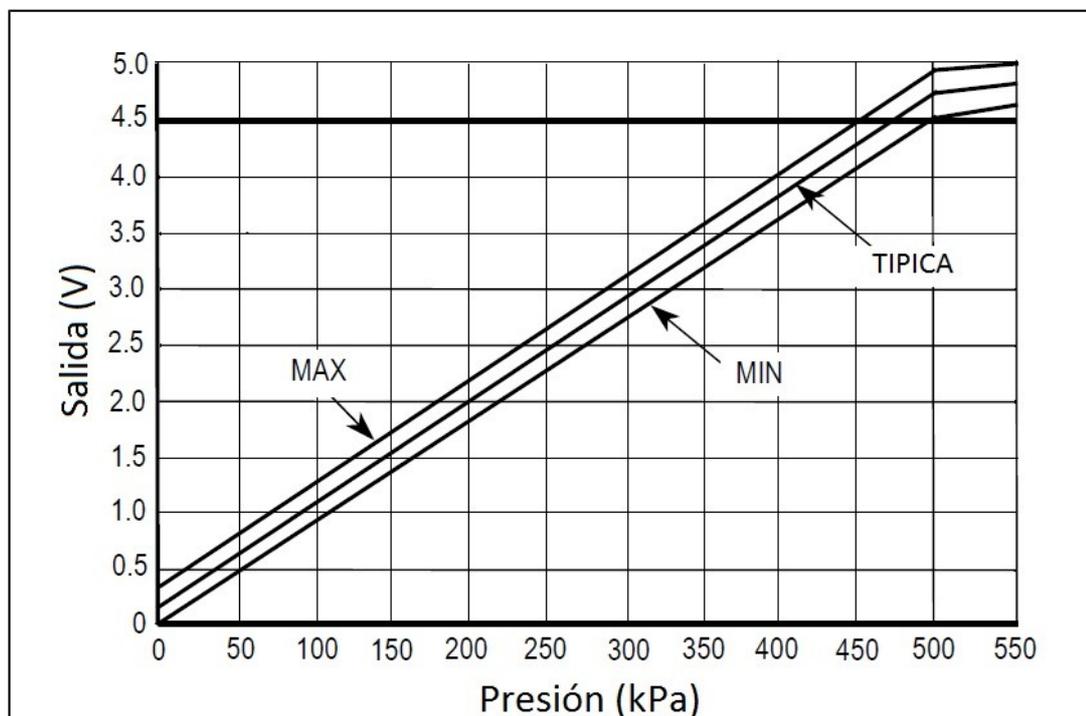


**Figura 19. Sensor MPX5500D**

**Fuente:** (Freescale, 2009)

Según (Freescale, 2009), el transductor piezo resistivo serie MPX5500 es un sensor de presión de silicio monolítico diseñado para una amplia gama de aplicaciones. Este transductor patentado de elemento único combina técnicas avanzadas de micro mecanizado, metalización de película delgada y procesamiento bipolar para proporcionar una señal analógica precisa de salida de alta calidad que es proporcional a la presión aplicada.

Entre sus características se tiene que su rango de operación en cuanto a la presión es de 0 a 500 kPa ó de 0 a 72.5 PSI, el voltaje de salida de su señal es de 0.2 a 4.7 V, tiene un error máximo del 2.5% cuando opera entre temperaturas de 0° a 85°C, es un elemento durable de un solo cuerpo de resina epoxi. La Figura 20. muestra la señal de salida relativa a la presión de entrada, aquella que va a ser monitoreada en cada neumático. Las curvas típica, mínima y máxima de salida que se muestran son para una operación en temperaturas entre 0° y 85°C.



**Figura 20. Curva del sensor MPX5500D**

**Fuente:** (Freescale, 2009)

## 2.2. Descripción de la Señal

La señal que se obtiene en la salida del sensor utilizado en el presente proyecto es *analógica*, y corresponde a la curva típica, tal como se muestra en la Figura 20. Al disponer de una curva lineal es de gran importancia para fines de utilización de los datos obtenidos, que se realice una conversión analógica-digital ya que esta salida tiene un voltaje que varía entre 0,2 y 4,7 Voltios dependiendo de la presión que para este sensor es de 0 a 500 kPa ó 0 to 72.5 PSI.

Según (Wikipedia, 2015) la conversión analógica-digital (CAD) o digitalización consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales, con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etc.) y hacer la señal resultante (la digital) más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

La conversión ayuda a tener una mejor comprensión de cómo la variación del voltaje afecta y está ligada la presión interna del neumático, la cual puede estar en kPa o PSI la que finalmente se indicará en la LCD Display con el que se cuenta para el presente proyecto. La conversión análoga a digital va a ser realizada únicamente por código en el *Dispositivo Transmisor* previo a la transmisión, revisar Anexo 2 en el cual se indica la programación con la cual va a trabajar el transmisor.

## 2.3. Diseño y Desarrollo de los Circuitos

Para esta sección, se consideraron varios factores para que el hardware escogido cumpla con los requisitos del proyecto. Entre los factores se encuentran:

- a. Tamaño: El hardware a utilizar debe ser lo más compacto posible.

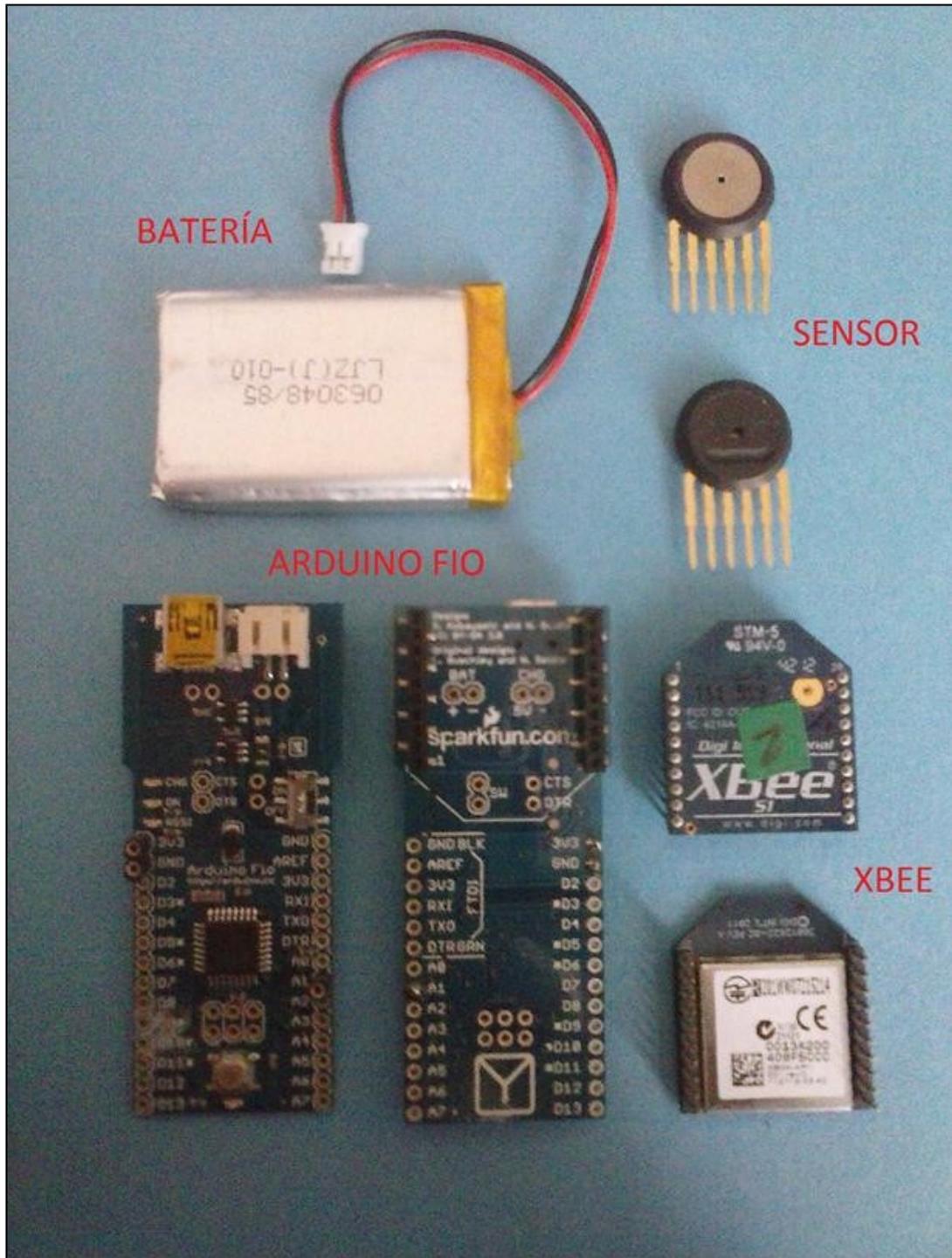
**b.** Compatibilidad: El hardware en general debe ser de fácil obtención, compatible con sistemas operativos que se manejan comúnmente. Los programadores deben ser de complejidad media y con abundante documentación.

**c.** Alimentación: Debe tener un tipo de alimentación que permita a los dispositivos que se colocan dentro de los neumáticos contar con un mayor nivel de autonomía y que sus fuentes de alimentación sean recargables.

**d.** Versatilidad: Que mediante el avance del proyecto se puedan hacer las adaptaciones necesarias conforme a los requisitos o modificaciones pertinentes.

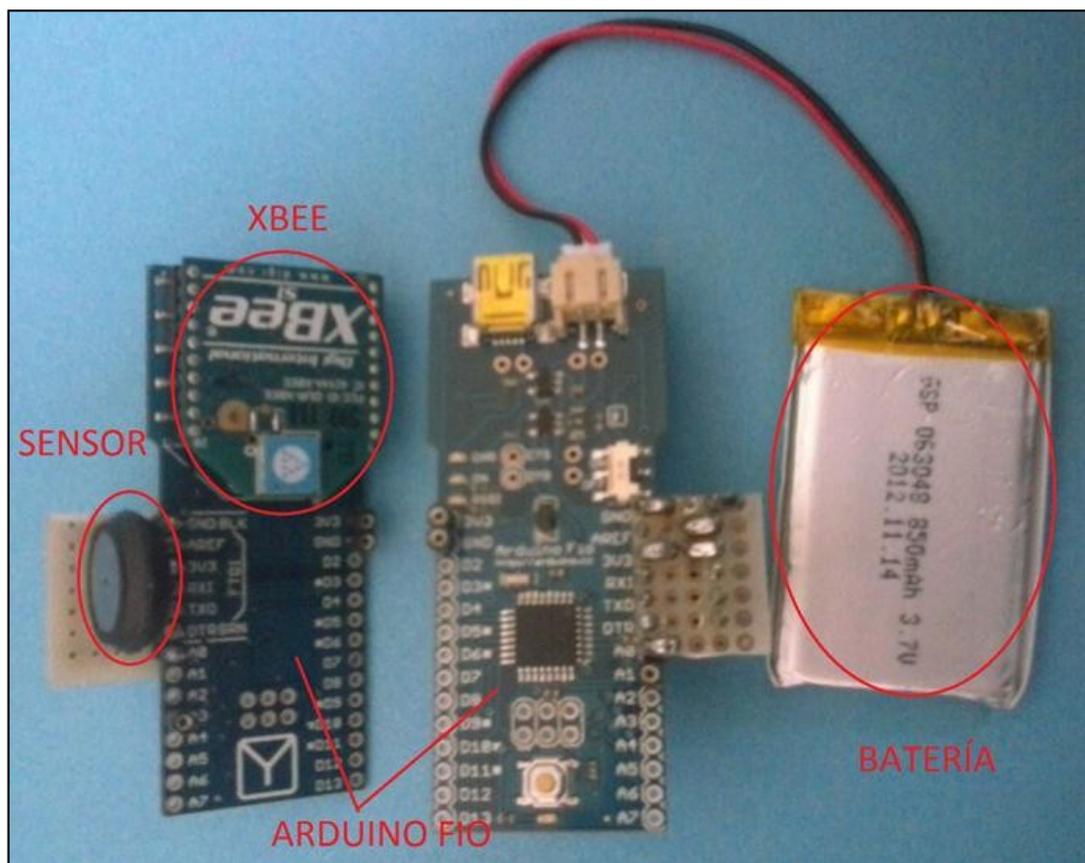
Teniendo en cuenta lo anterior, para el desarrollo del presente proyecto se ha escogido lo siguiente para los dispositivos que van a transmitir los datos se utilizan los siguientes elementos:

- 4 xbee S1,
- 4 Arduino FIO,
- 4 Baterías de Polímero de Ion Litio,
- 4 Sensores MPX5500D.



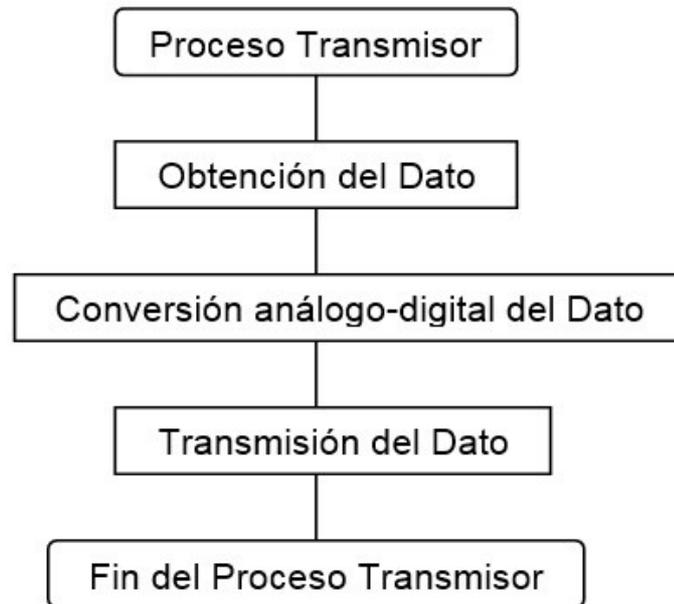
**Figura 21. Elementos del Transmisor**

Los elementos que mencionados van a estar armados tal como se muestra en la Figura 22.



**Figura 22. Dispositivo de transmisión de datos**

Esta configuración de hardware va a realizar la medición de la presión dentro del neumático para posteriormente transmitirlo, proceso que se indica en el diagrama de flujo de la Figura 23.:



**Figura 23. Proceso del Transmisor**

**Proceso Transmisor:** Aquí se produce la inicialización de los servicios. Se llama a que inicialice el pin que necesito utilizar como receptor del valor que se mide en el neumático mediante el sensor de presión. En este paso también se realiza el ajuste inicial de los valores que tiene cada variable de presión, para obtener un dato preciso del valor que se obtiene en cada medición y no un valor anterior.

**Obtención del Dato:** Ésta operación se la realiza en cada neumático, en los cuales va un conjunto de elementos al cual llamamos transmisor y que consta de (Sensor de presión, Arduino FIO, Xbee y una batería). En las lecturas de presión de cada neumático se va a tener una identificación única (identificación por neumático).

**Conversión análogo-digital del Dato:** En esta sección, de un mapeo inicial que lo realiza el sensor, del cual se obtiene una gráfica, se realiza una conversión para cada dato con el fin de que el dato obtenido pueda ser interpretado por el usuario, entregando un dato que es un valor numérico.

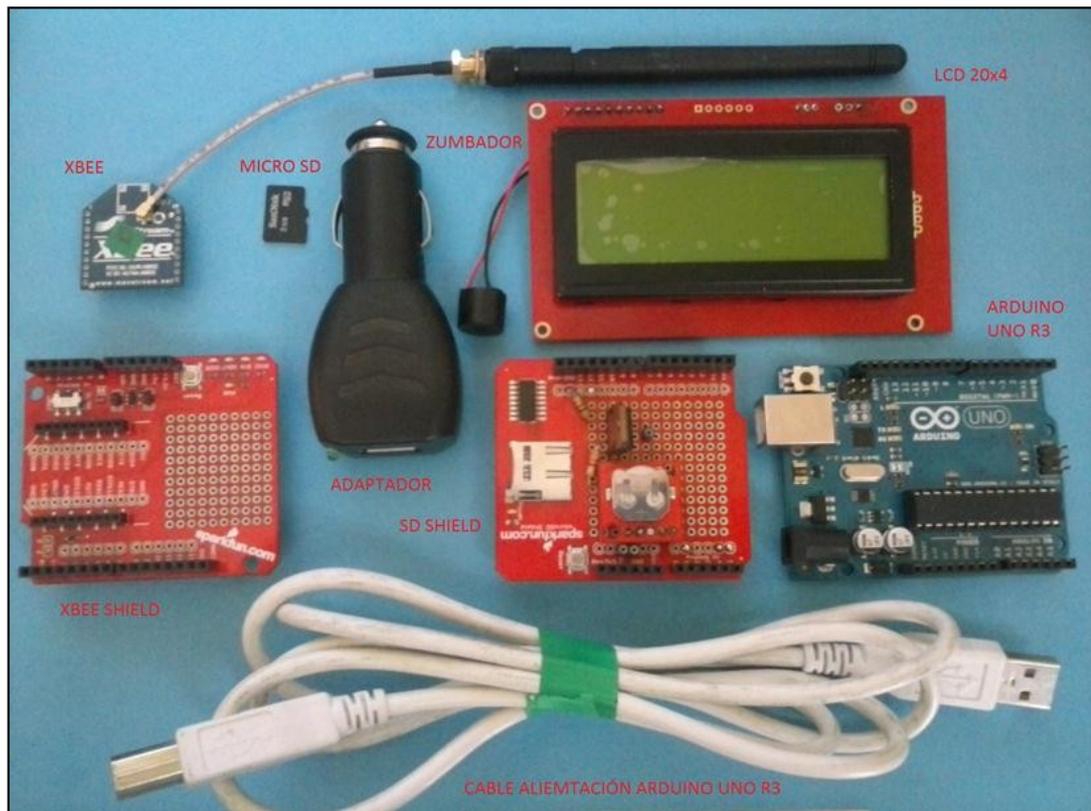
**Transmisión del dato:** Una vez obtenido el valor en cada dispositivo transmisor, y luego de haber sido convertido a un dato digital, es momento de que el dato sea enviado.

**Fin del Proceso Transmisor:** Se da por concluido el ciclo de obtención, conversión y transmisión de información para que el ciclo empiece nuevamente y desde el principio.

La programación completa referente a la Figura 23. está incluida en el Anexo B.

Para la recepción, registro y monitoreo de datos se utilizan los siguientes elementos:

- 1 Arduino UNO R3,
- 1 Micro SD Shield,
- 1 Xbee Shield,
- 1 Micro SD card,
- 1 xbee S1,
- 1 LCD 20X4,
- 1 Módulo de tiempo,
- 1 zumbador,
- Fuente de alimentación USB, adaptador de carro de 5V DC,
- Cable USB de A a B.



**Figura 24. Elementos del Receptor**

Estos elementos van a estar armados de acuerdo a la configuración que se muestra en la Figura 25. y Figura 26.:

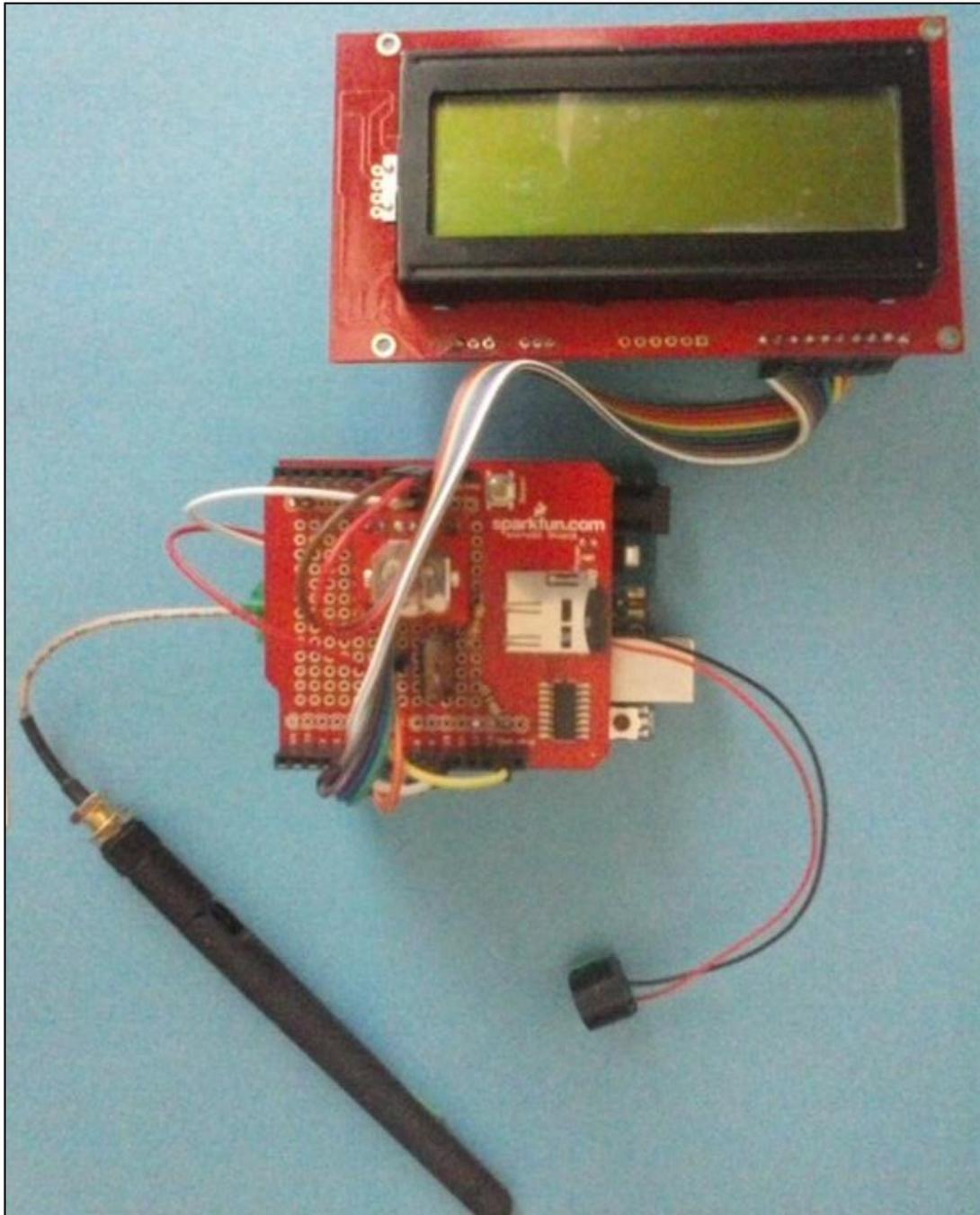
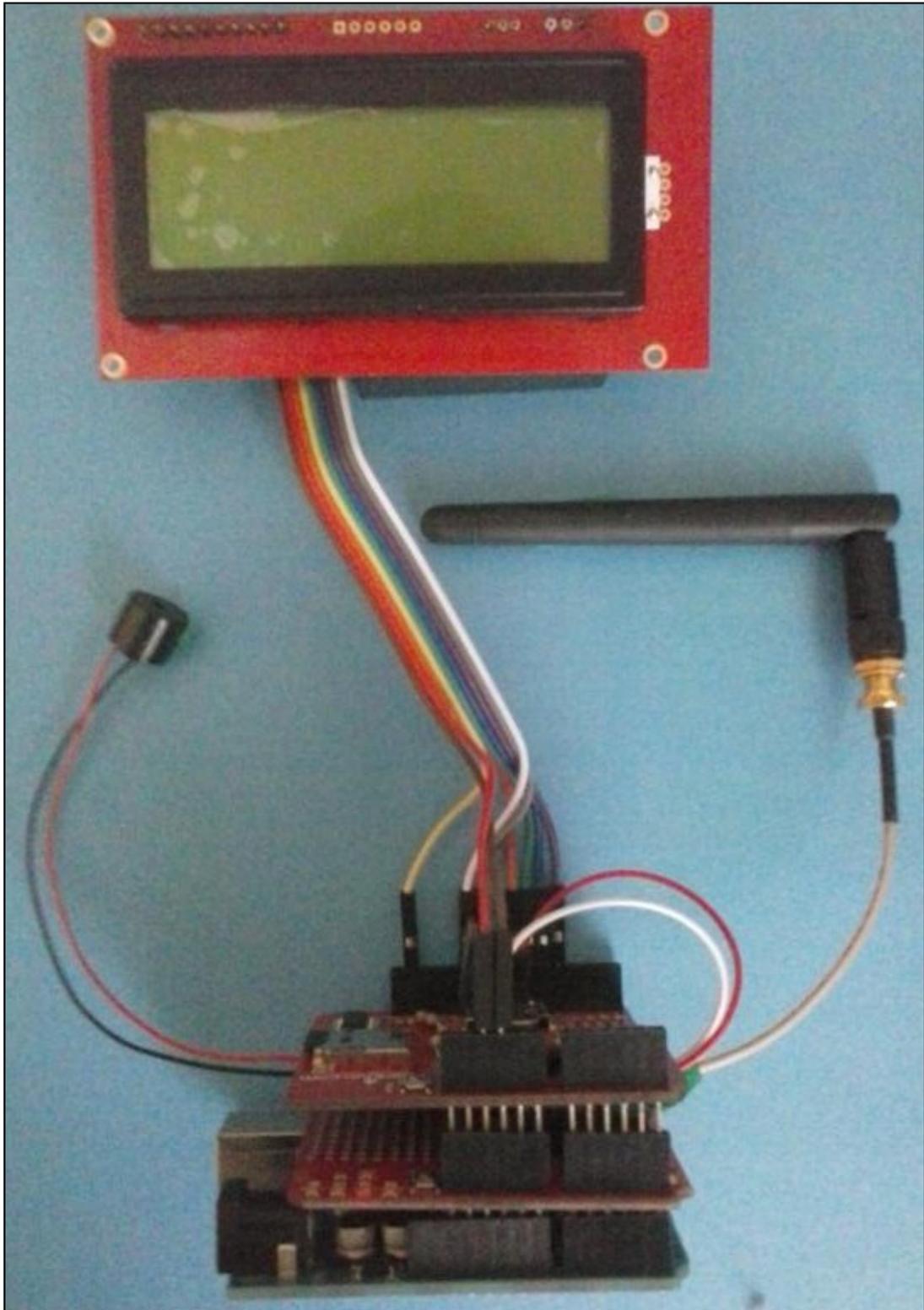
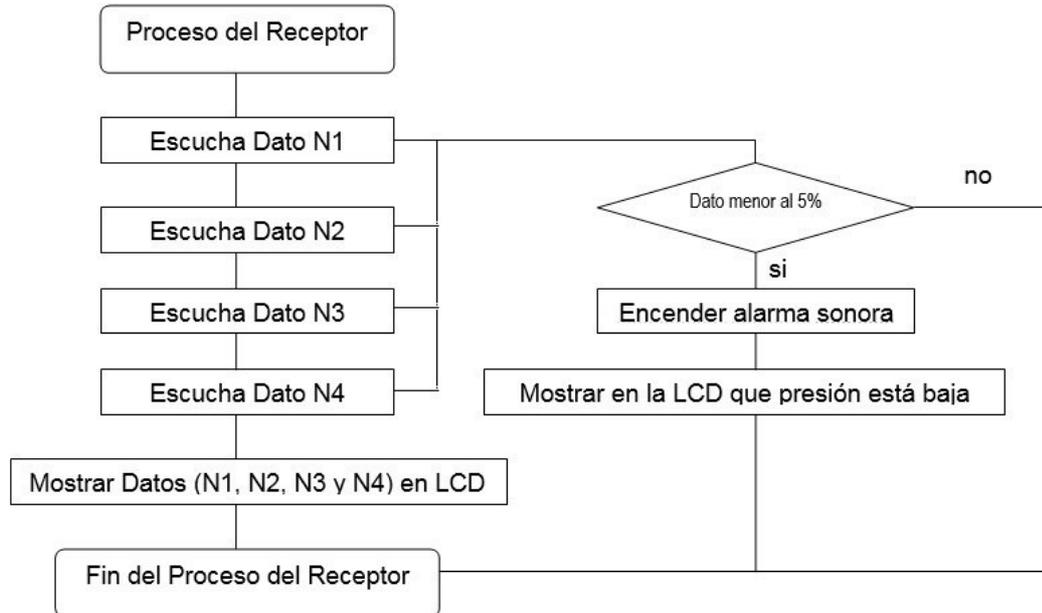


Figura 25. Elementos del Receptor de Datos



**Figura 26. Elementos del Receptor de Datos**

Esta configuración de hardware va a realizar el proceso que se muestra en la Figura 27.:



**Figura 27. Proceso del Receptor**

**Proceso del Receptor:** Este es el inicio de la secuencia de escucha de datos, en la cual se definen las variables, librerías, puertos de recepción, puertos de envío de datos así como también se define en una función que va a ser utilizada en cada repetición de la programación.

**Escucha de datos N1, N2, N3, y N4:** Ésta es una de las funciones más importantes del dispositivo receptor, en éste paso se realiza la recepción de cada uno de los datos (que cada dispositivo transmisor envía y que tiene una codificación única) para a su vez ser almacenada en cada escucha de datos.

**Mostrar Datos N1, N2, N3, y N4 en LCD:** Aquí se muestran los datos obtenidos en el paso anterior, los cuales fueron almacenados para este paso, y se los muestra en una pantalla de cristal líquido de 20x4, en una ubicación específica y cada dato con su identificación debida, con el fin de brindar al usuario del vehículo la información a tiempo real de los valores de presión que se tienen en cada uno de los neumáticos.

**Dato menor al 5%:** Si es que un valor de presión que se lo puede establecer como predeterminado en la programación (al cual se debe inflar

los neumáticos y éstas varían dependiendo de las marcas de los neumáticos, y, modelo y marca del vehículo) estuviera por debajo del 5% **una alarma sonora** es activada para que el usuario ponga atención a dicha presión baja, y adicionalmente se muestra en la **pantalla** que el neumático **N1, N2, N3 y/o N4 tiene una presión baja.**

**Fin del Proceso del Receptor:** Al igual que en el diagrama de flujo del dispositivo transmisor, éste también marca el fin de esta secuencia: iniciar los servicios, recibir datos y mostrar datos, para que toda la programación vuelva a ser iniciada.

La programación completa referente a la Figura 27. está incluida en el Anexo A.

Elementos adicionales:

- 1 Xbee Explorer,
- Cable USB de A a B,
- Cable USB mini B.

## **2.4. Diseño y Desarrollo de la Programación**

En lo que respecta a la programación, se ha utilizado el software *Arduino 1.0* el cual es el programador para el hardware que se está utilizando y dispone de una amplia documentación la cual ha servido para desarrollar la programación. El software de Arduino se lo encuentra en varias versiones y para diferentes plataformas, la versión utilizada es Arduino 1.0 para Windows. El desarrollo se lo ha realizado utilizando información y guías que se encuentran en la documentación de Arduino. Para ver la programación de ambos dispositivos revise los Anexos A y B.

## 2.5. Implementación Del Sistema

El Sistema que se ha desarrollado a lo largo del Proyecto de Tesis va a ser implementado de la siguiente forma:

- En cada neumático se coloca un *Dispositivo Transmisor* de las lecturas de presión, el cuál como se dijo en el presente capítulo, va a ser el que mida la presión, la codifique y envíe al *Dispositivo Receptor*,
- Un *Dispositivo Receptor*, el cual va a recibir las 4 lecturas de los *Dispositivos Transmisores* los que van a ser mostrados en una pantalla LCD los valores en tiempo real de cada neumático.

En la Figura 28. se muestra la ubicación de los dispositivos transmisores en el vehículo.

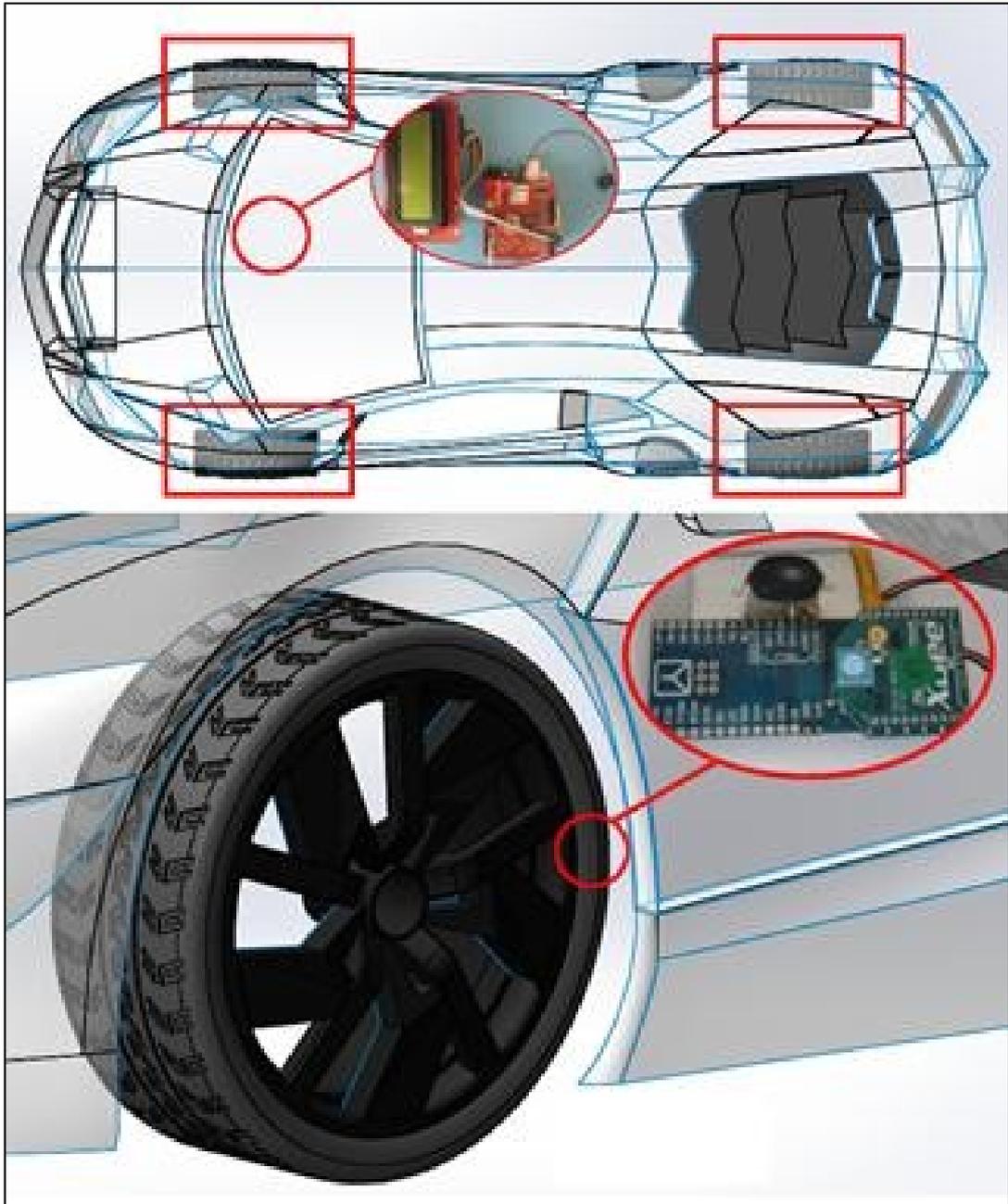


Figura 28. Ubicación de los Transmisores y Receptor

## **CAPÍTULO III**

### **PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **1.1. Generalidades**

En el presente capítulo se realiza el análisis del comportamiento del sistema que se ha desarrollado. Se realizaron dos pruebas, la primera en la que se demuestra de una forma general que el sistema transmite los datos de las variables que se emplean, la segunda en la que ya el sistema es implementado y puesto en funcionamiento, esta prueba se la realizó con el vehículo estático, y la segunda con el vehículo en movimiento. Las pruebas en mención que han sido realizadas, brindan una retroalimentación sobre los errores que se producen, corregirlos y realizar mejoras. Los datos obtenidos de los resultados de las pruebas realizadas servirán para la obtención de las conclusiones derivadas del presente proyecto.

#### **1.2. Pruebas Experimentales**

Después de haber realizado los análisis de las señales, el diseño de los sistemas que van a trabajar en conjunto, es necesario que poner a prueba la fiabilidad de éste dispositivo.

##### **1.2.1. Prueba Preliminar**

Para probar que los circuitos, su configuración, su programación y los datos obtenidos estén correctos, es necesario realizar un test sobre el desempeño del sistema desarrollado. A partir de la información recopilada obtener conclusiones y realizar los cambios necesarios para mejorarlo. En el test se va a probar la comunicación entre transmisores y receptor, cada señal recibida de cada neumático tiene una identificación N1, N2, N3 y N4. La disposición de los transmisores se la puede ver en la Figura 29. También

se va a hacer una revisión de los valores que son transmitidos y que se van a registrar en un archivo.

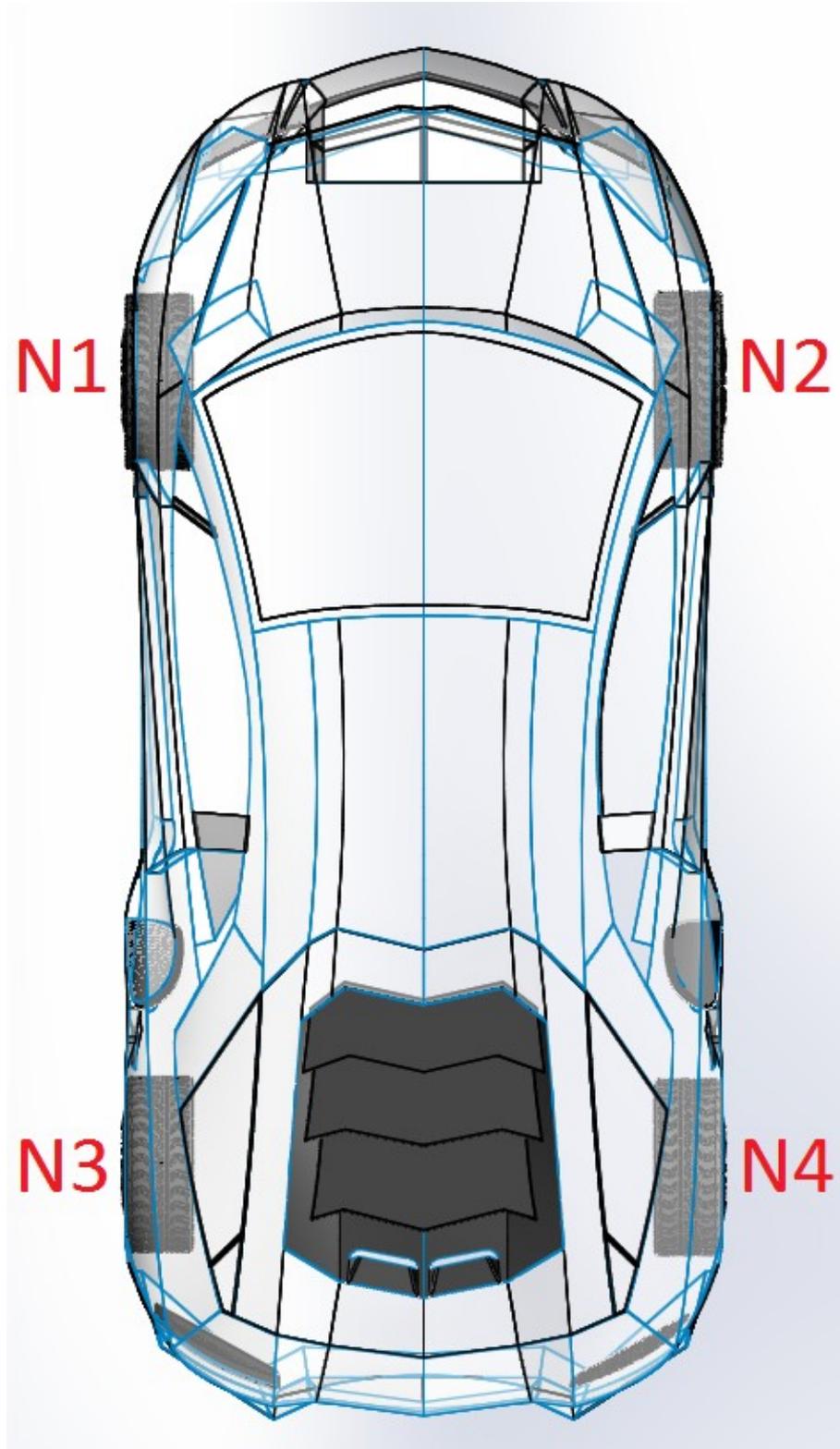
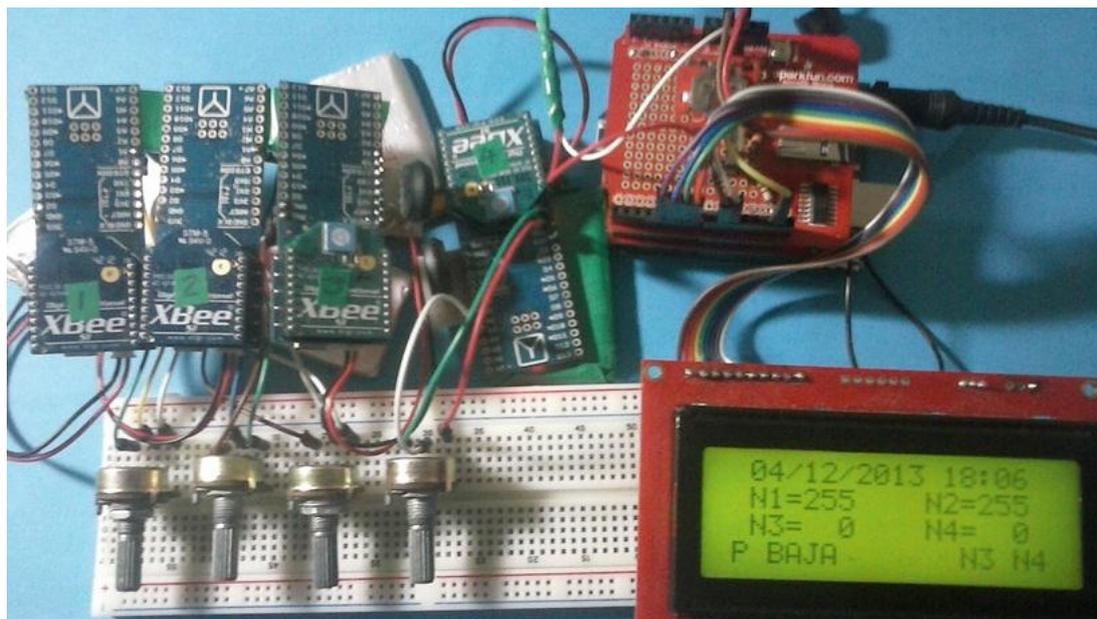


Figura 29. ID de cada neumático

**Tabla 2.****Disposición de los transmisores**

TRANSMISOR	UBICACIÓN EN EL VEHÍCULO	NEUMÁTICO
T1	FRONTAL DERECHA	N1
T2	FRONTAL IZQUIERDA	N2
T3	POSTERIOR DERECHA	N3
T4	POSTERIOR IZQUIERDA	N4

En la Figura 30. se muestra como la prueba preliminar de funcionamiento es llevada a cabo, en la cual cada transmisor que va a ir dentro de un neumático (de acuerdo a la disposición que se indicó en la Figura 29.) va a transmitir un dato que varía entre 0 y 255 dependiendo de la selección que se tenga en cada potenciómetro.

**Figura 30. Configuración para la Prueba de Funcionamiento Preliminar**

En esta prueba preliminar se utilizó los cuatro dispositivos transmisores y el receptor de datos en el cual se generó un archivo llamado "DATOS.txt" en una microSD de 2GB. Los datos fueron registrados cada 6 segundos en el archivo mencionado. El archivo "DATOS.txt" se lo exportó al programa LibreOffice Calc de la suite de LibreOffice en el cual se lo puede visualizar como tabla.

### 1.2.2. Prueba de Operación del Dispositivo

A ésta prueba se la realizó de igual manera que en la anterior, con los cuatro dispositivos transmisores de datos y el receptor, la única diferencia es que en la presente prueba cada uno de los dispositivos transmisores (los cuales comprenden: un Arduino FIO como placa base en la cual van a ir el transmisor de datos Xbee, el sensor de presión y la batería) fueron colocados dentro del neumático correspondiente del vehículo de prueba y el receptor fue ubicado en el habitáculo del mismo vehículo en una zona donde esté al alcance visual del conductor. Al igual que en la prueba anterior, se generó un archivo llamado "DATOS.txt" en la misma microSD de 2GB (el archivo anterior se lo cambió de nombre para mantenerlo como referencia posterior y para poder obtener el nuevo archivo con las nuevas mediciones de cada una de las presiones de los neumáticos). Se repite el mismo tipo de registro de información, los datos fueron registrados cada 6 segundos en el archivo mencionado.



**Figura 31. Configuración para la Prueba de Operación del Dispositivo**

### 1.3. Obtención de Resultados

Los resultados obtenidos en ambas pruebas son las siguientes:

**Tabla 3.****Prueba Preliminar**

N1	N2	N3	N4	DÍA	MES	AÑO	HORA	MINUTO	SEGUNDO
0	0	0	0	15	11	2015	18	27	57
0	0	0	0	15	11	2015	18	28	3
0	0	0	0	15	11	2015	18	28	9
118	0	0	0	15	11	2015	18	28	15
121	0	0	0	15	11	2015	18	28	21
255	0	0	0	15	11	2015	18	28	27
255	0	0	0	15	11	2015	18	28	33
255	0	0	0	15	11	2015	18	28	39
255	52	0	0	15	11	2015	18	28	45
255	109	0	0	15	11	2015	18	28	51
255	166	0	0	15	11	2015	18	28	57
255	255	0	0	15	11	2015	18	29	3
255	255	0	0	15	11	2015	18	29	9
255	255	49	0	15	11	2015	18	29	15
255	255	107	0	15	11	2015	18	29	21
255	255	156	0	15	11	2015	18	29	27
255	255	249	0	15	11	2015	18	29	33
255	255	255	0	15	11	2015	18	29	39
255	255	255	0	15	11	2015	18	29	45
255	255	255	53	15	11	2015	18	29	51
255	255	255	168	15	11	2015	18	29	57
255	255	255	255	15	11	2015	18	30	3
255	255	255	255	15	11	2015	18	30	9
255	255	255	125	15	11	2015	18	30	15
255	179	255	124	15	11	2015	18	30	21
255	179	255	124	15	11	2015	18	30	27
255	179	255	124	15	11	2015	18	30	33
126	179	0	124	15	11	2015	18	30	39
0	255	0	255	15	11	2015	18	30	45
0	255	0	255	15	11	2015	18	30	51
0	255	0	255	15	11	2015	18	30	57
255	255	0	255	15	11	2015	18	31	3
255	255	0	255	15	11	2015	18	31	9
0	0	0	138	15	11	2015	18	31	15
0	96	0	0	15	11	2015	18	31	21
53	96	46	14	15	11	2015	18	31	27
255	213	46	14	15	11	2015	18	31	33
255	255	255	255	15	11	2015	18	31	39
255	255	255	255	15	11	2015	18	31	45

De la Tabla 3., las primeras 4 columnas N1, N2, N3, N4 (correspondientes a la disposición de los transmisores ver Figura 29., Figura 31. y Tabla 2.) en cada neumático se tienen valores comprendidos entre 0 y 255, en donde se consideró una resolución de la conversión analógica digital para realizar las pruebas de funcionamiento que se las ha venido efectuando desde el principio que, como se explicó anteriormente, fueron realizadas para ir

haciendo las correcciones de programación, chequeo de envío y recepción de datos, verificación de programación y funcionamiento, etc. Ésta información corresponde a la variación desde la mínima resistencia que corresponde al valor “0” y la máxima resistencia que corresponde al valor “255”, valores los que se obtiene de los potenciómetros que se utilizó simulando la medición de presiones dentro del neumático.

Desde la quinta columna hasta la décima, como se indica al inicio de la Tabla 2., corresponden a el momento exacto en que los datos de las presiones fueron leídas, a éstos se los almacena inmediatamente, siendo éstas **DÍA, MES, AÑO, HORA, MINUTO y SEGUNDO**.

**Tabla 4.**  
**Prueba de operación del dispositivo**

N1	N2	N3	N4	DÍA	MES	AÑO	HORA	MINUTO	SEGUNDO
35	35	35	35	7	12	2015	9	32	55
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	1
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	7
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	13
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	19
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	25
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	31
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	37
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	43
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	49
35	35	35	35	7	12	2015	9	33	55
35	35	35	35	7	12	2015	9	34	1
35	35	35	35	7	12	2015	9	34	7
35	35	35	35	7	12	2015	9	34	13
35	35	35	35	7	12	2015	9	34	19
35	35	35	35	7	12	2015	9	34	25
35	35	35	35	7	12	2015	9	34	31
35	35	35	35	7	12	2015	9	34	37
35	35	35	35	7	12	2015	9	34	43
35	35	35	35	7	12	2015	9	34	49
29	35	35	35	7	12	2015	9	34	55
29	35	35	35	7	12	2015	9	35	1
29	35	35	35	7	12	2015	9	35	7
29	35	35	35	7	12	2015	9	35	13

CONTINÚA→

N1	N2	N3	N4	DÍA	MES	AÑO	HORA	MINUTO	SEGUNDO
29	35	35	35	7	12	2015	9	35	19
29	35	35	35	7	12	2015	9	35	25
29	28	35	35	7	12	2015	9	35	31
29	28	35	35	7	12	2015	9	35	37
29	28	35	35	7	12	2015	9	35	43
29	28	35	35	7	12	2015	9	35	49
29	28	35	35	7	12	2015	9	35	55
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	1
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	7
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	13
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	19
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	25
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	31
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	37
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	43
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	49
29	28	35	35	7	12	2015	9	36	55
34	28	35	35	7	12	2015	9	37	1
36	28	35	35	7	12	2015	9	37	7
35	28	35	35	7	12	2015	9	37	13
35	28	35	35	7	12	2015	9	37	19
35	28	35	35	7	12	2015	9	37	25
35	38	35	35	7	12	2015	9	37	31
35	36	35	35	7	12	2015	9	37	37
35	35	35	35	7	12	2015	9	37	43
35	35	35	35	7	12	2015	9	37	49
35	35	35	35	7	12	2015	9	37	55
35	35	35	35	7	12	2015	9	38	1
35	35	35	35	7	12	2015	9	38	7
35	35	35	35	7	12	2015	9	38	13
35	35	35	35	7	12	2015	9	38	19
35	35	35	35	7	12	2015	9	38	25
35	35	35	35	7	12	2015	9	38	31
35	35	35	35	7	12	2015	9	38	37
35	35	35	35	7	12	2015	9	38	43
35	35	35	35	7	12	2015	9	38	49
35	35	25	35	7	12	2015	9	38	55
35	35	25	35	7	12	2015	9	39	1
35	35	25	35	7	12	2015	9	39	7

CONTINÚA→

N1	N2	N3	N4	DÍA	MES	AÑO	HORA	MINUTO	SEGUNDO
35	35	25	35	7	12	2015	9	39	13
35	35	25	35	7	12	2015	9	39	19
35	35	25	35	7	12	2015	9	39	25
35	35	25	35	7	12	2015	9	39	31
35	35	25	35	7	12	2015	9	39	37
35	35	25	31	7	12	2015	9	39	43
35	35	25	31	7	12	2015	9	39	49
35	35	25	31	7	12	2015	9	39	55
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	1
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	7
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	13
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	19
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	25
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	31
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	37
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	43
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	49
35	35	25	31	7	12	2015	9	40	55
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	1
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	7
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	13
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	19
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	25
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	31
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	37
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	43
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	49
35	35	25	31	7	12	2015	9	41	55
35	35	25	31	7	12	2015	9	42	1
35	35	25	31	7	12	2015	9	42	7
35	35	25	31	7	12	2015	9	42	13
35	35	34	31	7	12	2015	9	42	19
35	35	35	31	7	12	2015	9	42	25
35	35	35	31	7	12	2015	9	42	31
35	35	35	31	7	12	2015	9	42	37
35	35	35	31	7	12	2015	9	42	43
35	35	35	31	7	12	2015	9	42	49
35	35	35	31	7	12	2015	9	42	55
35	35	35	31	7	12	2015	9	43	1

CONTINÚA→

N1	N2	N3	N4	DÍA	MES	AÑO	HORA	MINUTO	SEGUNDO
35	35	35	31	7	12	2015	9	43	7
35	35	35	31	7	12	2015	9	43	13
35	35	35	31	7	12	2015	9	43	19
35	35	35	36	7	12	2015	9	43	25
35	35	35	35	7	12	2015	9	43	31
35	35	35	35	7	12	2015	9	43	37
35	35	35	35	7	12	2015	9	43	43
35	35	35	35	7	12	2015	9	43	49
35	35	35	35	7	12	2015	9	43	55

En cuanto a los códigos de los colores que se utilizó para la Tabla 4. se presenta en la Tabla 5.

**Tabla 5.**

**Código de Colores**

Color en la tabla	Acción en el Neumático
	Reducción de Presión
	Incremento de Presión

Para la Tabla 5. la reducción de presión se lo hace extrayendo del aire del neumático para tener un valor menor al de 35 (PSI). En el incremento de presión se vuelve a inflar el neumático y se regula la presión hasta volver a tener un valor de 35 (PSI).

Los valores de la Tabla 4. se han obtenido a partir de haber realizado la prueba de funcionamiento en un vehículo de prueba y se ha cambiado la programación para que la resolución de la conversión análoga digital me muestre los valores en PSI, siendo el rango de valores entre **0** y **72.5**. El vehículo que se ha utilizado para la prueba es un Nissan March 2013, modelo del vehículo que se lo ve en la Figura 31. En la actualidad, todos los vehículos vienen con recomendaciones de presión a ser utilizadas en los neumáticos dependiendo del número de personas o peso que va a transportar el vehículo y el que se está utilizando para realizar la prueba de operación del dispositivo tiene como recomendación inflar los neumáticos a

las presiones que se muestran en la Figura 32. También se incluye la imagen (Figura 33.) del tipo de neumático que se ha utilizado, que como se indica en Figura 32., es el 165/70R14 81S y es el recomendado para éste vehículo.

TIRE PRESSURE PRESIÓN DEL NEUMÁTICO PRESSION DU PNEU REIFENLUFTDRUCK TABELA DE PRESSÃO DOS PNEUS		PASSENGERS PERSONAS PERSONNES PERSONEN PASSAGEIROS	UP TO HASTA JUSQUA BIS MENOS QUE	OR MORE MÁS DE A PARTIR DE ÜBER MAIS DO QUE
FRONT DELANTERO AVANT VORN À FRENTE	165/70R14 81S	kPa	240	240
		bar	2.4	2.4
		psi	35	35
REAR TRASERO ARRIERE HINTEN ATRAS	165/70R14 81S	kPa	240	300
		bar	2.4	3.0
		psi	35	44

HL 1HL0A

**Figura 32. Recomendación de presiones de inflado del vehículo de pruebas**



**Figura 33. Neumático del vehículo de Pruebas 165/70R14 81S**

#### **1.4. Análisis de Resultados**

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas muestran los datos sensados y registrados cada 6 segundos, que de acuerdo a los cambios en la única variable que en el caso de la primera prueba es la resistencia de

cada potenciómetro y en el caso de la segunda prueba, corresponde a la presión dentro de cada neumático. Teniendo así una medición continua para que el conductor esté atento a las posibles variaciones de las presiones que sus neumáticos tienen con el fin de reducir el desgaste de cada uno de ellos y por ende al tener una presión óptima de funcionamiento para reducir el consumo de combustible.

Como se puede observar en las Tabla 2. y Tabla 3. en las columnas N1, N2, N3, y N4 se tienen variaciones de valores que comprenden entre 0 a 255 y 0 a 72.5.

En cuanto a los datos de la Tabla 2, los valores varían de forma repetida desde 0 a 255 y desde 255 a 0. Siendo 0 el mínimo valor y 255 el máximo valor de resistencia disponible en el potenciómetro que se utilice/utilizó en la Prueba Preliminar.

Para la Tabla 3., como se lo menciona antes, se utilizó una conversión análoga digital diferente, teniendo los valores de medición en PSI. El valor que se repite constantemente en las 4 primeras columnas es el número 35, éste corresponde a la presión recomendada por el fabricante para cada neumático del vehículo. Se puede observar en las casillas que están pintadas de verde, y como se indica en la Tabla 5. que se ha reducido la presión (extrayendo aire del neumático directamente por la válvula) teniendo así valores menores que 35 siendo el más bajo 25. Correspondiente a las casillas de celeste de la Tabla 5. se tiene un incremento en la presión hasta volver a estabilizarla en 35, la cual es la presión de trabajo recomendada por el fabricante.

## 1.5. Análisis de Costos

En la Tabla 6. se enumera los elementos y sus costos de lo que se adquirió para el desarrollo de la parte práctica del presente proyecto de titulación, se han incluido costos de elementos VARIOS agrupados como un solo ítem y no se los ha detallado ya que son de un conjunto de elementos similares.

**Tabla 6.**  
**Elementos Adquiridos**

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRECIO C/U	TOTAL
1	1	MICRO SD 2GB	\$ 8,00	\$ 8,00
2	1	MÓDULO RTC	\$ 14,95	\$ 14,95
3	1	MICRO SD SHIELD	\$ 14,95	\$ 14,95
4	4	ARDUINO FIO	\$ 24,95	\$ 99,80
5	5	BATERÍAS LI-PO	\$ 9,95	\$ 49,75
6	5	XBEE S1	\$ 24,95	\$ 124,75
7	1	XBEE EXPLORER	\$ 24,95	\$ 24,95
8	1	XBEE SHIELD	\$ 14,95	\$ 14,95
9	1	ARDUINO UNO R3	\$ 24,95	\$ 24,95
10	1	PANTALLA LCD 20*4	\$ 29,95	\$ 29,95
11	2	ADAPTADOR ALIMENTACIÓN	\$ 4,95	\$ 9,90
12	5	SENSOR DE PRESIÓN MPX5500D	\$ 15,00	\$ 75,00
13	1	CABLES VARIOS	\$ 30,00	\$ 30,00
14	1	HEADERS VARIOS ARDUINO	\$ 20,00	\$ 20,00
15	1	CARCASA	\$ 30,00	\$ 30,00
16	1	SHIPPING & HANDLING	\$ 55,00	\$ 55,00
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 626,90
<b>IMPUESTO SALIDA DE DIVISAS 5%</b>				\$ 31,35
<b>TOTAL</b>				\$ 658,25

## 1.6. Análisis de Comercialización

Hay que realizar un análisis de acuerdo a los siguientes puntos:

### 1.6.1. Costo

La parte práctica de este proyecto titulación tiene un costo muy alto en cuanto a toda la configuración de hardware que se ha utilizado, y como se puede observar los costos en la Tabla 6, se eleva aún más con lo que las tiendas online cobran por el envío de las compras y por el impuesto que se tiene en el país para la salida de Divisas que corresponde al 5% extra de lo que se pagó por los elementos.

El precio se incrementaría aún más debido al costo del desarrollo de la programación, que, por el tiempo que se ha invertido y las herramientas que se ha utilizado éste precio debería ser bastante alto. Dicho costo no se ha incluido en el análisis.

Por lo tanto se concluye que, en cuanto a COSTOS la comercialización del proyecto no es viable debido a que en el mercado ya se dispone de Sistemas Genéricos en varias marcas que realizan lo mismo que lo que se ha desarrollado en este proyecto pero cuyos precios en el mercado van desde los 100 USD en adelante.

### **1.6.2. Tamaño e Instalación**

La configuración de hardware que se ha optado por utilizar, ocupa un volumen de 6 cm x 1,5 cm x 2,5 cm (aproximadamente) lo que lo convierte en un dispositivo bastante grande como para ser colocado dentro del neumático, pero, a pesar de ser muy grande respecto al tamaño que tienen otros TPMS, se lo ha colocado dentro del neumático sin ningún inconveniente.

La instalación ha sido algo difícil de realizar, debido al tamaño que tiene el dispositivo transmisor no ha sido posible colocarlo en la parte que interna de la válvula de inflado, que es especial para dispositivos TPMS debido a que tiene un tornillo y su alojamiento. Lo que se ha hecho es adherir el dispositivo al aro en sí, obviamente en la parte interna del neumático, pero al ser éste dispositivo muy grande éste puede desprenderse y destruirse.

Por lo tanto se concluye que, debido al tamaño y a la falta de un método de instalación segura en el interior del neumático, éste prototipo no es ápto para su comercialización.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Del presente proyecto se obtuvo mucha experiencia en cuanto al diseño, la implementación y la realización de pruebas de un conjunto de sistemas para los cuales realicé variada programación, y, puse a punto los elementos que fueron utilizados con el fin de obtener los resultados requeridos.
- Al desarrollar este sistema tuve que sustituir varios componentes, programas y fragmentos de programación los cuales estuve utilizando y desarrollando desde un principio, ya sean tarjetas, sensores, configuradores de hardware, programadores, librerías empleadas, puedo decir que hay infinidad alternativas en todo nivel de cosas que se pueden sustituir a gran parte de lo empleado en cualquier proyecto, lo importante es buscarlas y estar abierto a posibilidades.
- La forma de mostrar los datos en la pantalla del sistema fue estructurada de manera tal que dicha información sea de fácil visualizar y comprender.
- Se cumplió el objetivo de incluir un módulo de registro de datos de presión de aire dentro de los neumáticos.
- Los datos obtenidos de la presión de cada uno de los neumáticos se almacenan en un archivo de *Bloc de notas (.txt)* en la memoria microSD que se inserta en el módulo de registro. Archivo que se lo puede revisar sin problema en cualquier sistema operativo y con las suites ofimáticas *Microsoft Office* y *Libreoffice*.

- El uso del equipo electrónico de open-source *Arduino* fué una muy buena alternativa, debido a que los costos no fueron altos, tuve facilidad y rapidez para adquirir lo necesario, el software de programación es de distribución gratuita y dispone variada documentación en Español e Inglés que me permitieron desarrollar este proyecto.
- La comunicación inalámbrica *ZigBee* utilizada en el proyecto para tener comunicación permanente entre los transmisores de datos y el receptor cumplió su función adecuadamente, ya que éste tipo de comunicación puede utilizarse en aplicaciones que necesiten bajas tasas de transmisión de datos y duración de batería prolongada.
- La configuración de la comunicación básica entre dispositivos ZigBee no es compleja, pero requiere de un cierto nivel de investigación y hardware adicional.
- Durante el proceso de configuración de los dispositivos ZigBee específicamente los que utilice los Xbee S1, puede haber ciertos contratiempos debidos a fallos en el software o fallos de comunicación entre el ordenador y el hardware de configuración, concluyendo en que el dispositivo termine *bricked* o que deje de funcionar.
- Ciertas tarjetas (shields) que son compatibles con Arduino UNO R3, no son recomendables de adquirir, debido a su baja calidad y a la falta de documentación, en especial algunas compatibles con ZigBee.
- Al concluir el proyecto puedo confirmar que este tipo de monitoreo de presiones en los neumáticos es de alta necesidad y obligatoriedad como parte adicional de seguridad a bordo para todos los vehículos y sus usuarios en el país para reducir la accidentabilidad debida a los ciclos de inflado/desinflado de los neumáticos que culminan en la destrucción de los mismos. En cuanto al sistema desarrollado, necesita mucho refinamiento

en cuanto a autonomía energética, codificación de información, seguridad de red y tamaño.

#### 4.2. Recomendaciones

- Estudiar con detalle la información proporcionada por Arduino, ya que en sus guías se puede conocer las características del hardware que se está utilizando, así como también hacer que éste realice las acciones, tareas, etc. que yo quiero que éste/éstos realicen.
- Seleccionar adecuadamente el tipo de librerías a utilizar al realizar la programación en el Software que proporciona Arduino, el cual lleva el mismo nombre.
- Nombrar adecuadamente las variables que se utilizan en la programación, para que en un futuro al momento de realizar alguna modificación para mejoras en el funcionamiento o intentar corregir un error ubicarlo de manera rápida y poder realizar dichas modificaciones.
- Al realizar la programación tener cuidado en cuanto a donde debe ir cada parte de cada código. Basándome directamente en experiencias obtenidas de haber realizado mi código, hubo muchas partes con errores que en un inicio, teóricamente debían funcionar sin ningún inconveniente según lo que se investigó en varios foros de internet, pero debido a la jerarquización y a donde ubicaba cada segmento de código y programación no funcionaban de la manera adecuada. Utilizando el método de prueba y error se obtuvo el resultado que se quería, llegado a la última versión de mi programa, que a su vez es susceptible de ser mejorada.
- Al buscar el hardware para realizar una tarea o un conjunto de tareas en específico, hay que asesorarse adecuadamente con un experto en el tema en cuanto a que es lo que se necesita, cómo se lo va a utilizar y dónde se lo puede conseguir. Esto se debe hacer con el fin de utilizar

correctamente cada parte, tener los elementos necesarios para realizar aquella tarea o aquel conjunto de tareas que necesitamos sean hechas, comprarlos a un precio adecuado, y, reducir tiempos de espera que en mi caso para varios de los elementos utilizados fueron demasiado prolongados.

- Revisar los cuidados necesarios para cada elemento con el fin de que éstos no sufran daños y posteriormente causen malfuncionamientos, y necesiten ser reemplazados.
- Utilizar el software adecuado para cada proceso en la elaboración del proyecto, de ser necesario buscar varias alternativas a los programas provistos y revisar tutoriales para poder utilizarlos.

## BIBLIOGRAFÍA

Dirección de Transporte CONAE. (2015). Técnica de Neumáticos. Técnica de Neumáticos. México D.F., México.

Freescale. (2009). Freescale Semiconductor MPX5500 Data Sheet.

Gislason, D. (2008). ZigBee Wireless Networking. Newnes.

Universidad Nacional de Ingeniería. (2008). Zigbee. Zigbee. Managua.

## NETGRAFÍA

Neumáticos Pneus. (2015). Recuperado el 1 de 9 de 2015, de  
<http://www.neumaticos-pneus-online.es/tipo-de-neumaticos-consejos.html>

Sensorland. (2015). Recuperado el 2015 de 09 de 2015, de  
<http://www.sensorland.com/HowPage004.html>

Slideshare. (2015). Recuperado el 1 de 9 de 2015, de  
<http://es.slideshare.net/martk/mecanica-automovil-frenos-y-neumaticos>

Wikipedia. (2015). Recuperado el 1 de 9 de 2015, de  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Neum%C3%A1tico>

Wikipedia. (2015). Recuperado el 1 de 9 de 2015, de  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Tire-pressure\\_monitoring\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Tire-pressure_monitoring_system)

Wikipedia. (2015). Recuperado el 01 de 09 de 2015, de  
[https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digos\\_en\\_neum%C3%A1ticos](https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digos_en_neum%C3%A1ticos)

Wikipedia. (2015). Recuperado el 1 de 9 de 2015, de  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Conversi%C3%B3n\\_anal%C3%B3gica-digital](https://es.wikipedia.org/wiki/Conversi%C3%B3n_anal%C3%B3gica-digital)

## **ANEXOS**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

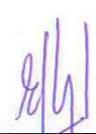
#### CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor:

**CARLOS LUIS GARCÍA VILLARREAL**

En la ciudad de Latacunga, a los 20 días del mes de enero del 2016.

Aprobado por:

  
Ing. Eddie Galarza

DIRECTOR DEL PROYECTO



  
Ing. Víctor Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA



  
Dr. Juan Carlos Díaz

SECRETARIO ACADÉMICO