



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES
Y REDES

IMPLEMENTACIÓN DE UNA WSN BASADO EN 6LoWPAN
PARA MEJORAR EL SISTEMA DE SEGURIDAD VEHICULAR
PREVENTIVO

Trabajo de titulación para optar el grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTORES: JUAN CARLOS MIRANDA REYES
WALTER MAURICIO PADILLA BARAHONA
TUTOR: ING. VINICIO RAMOS VALENCIA MSC.

Riobamba - Ecuador

2016

@2016, Juan Carlos Miranda Reyes y Walter Mauricio Padilla Barahona

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación con el tema “IMPLEMENTACIÓN DE UNA WSN BASADO EN 6LoWPAN PARA MEJORAR EL SISTEMA DE SEGURIDAD VEHICULAR PREVENTIVO” de responsabilidad de los señores Juan Carlos Miranda Reyes y Walter Mauricio Padilla Barahona, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay PhD. DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. Vinicio Ramos Valencia MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Pedro Infante. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Juan Carlos Miranda Reyes y Walter Mauricio Padilla Barahona, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales.

Los textos constantes en el documento que proviene de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 28 de abril del 2016.

Juan Carlos Miranda Reyes
CI: 180459183-0

Walter Mauricio Padilla Barahona
CI: 030242457-7

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, por el inmenso esfuerzo realizado para que pueda terminar con éxito mi carrera universitaria, por la confianza depositada a lo largo de mi vida y principalmente en esta etapa de la misma, por ayudar a levantarme en cada tropiezo, con la paciencia y tolerancia que solo ellos lo saben hacer.

Mauricio

El presente trabajo está dedicado a mi familia que es el soporte para seguir adelante cada día, principalmente a mis padres Orlando y Martha que se han esforzado por darme muchas veces hasta lo que ellos no tiene, siendo el pilar fundamental para seguir adelante y no caer ante los obstáculos que se presentaron en la vida universitaria, dándome su apoyo y confianza, brindándome su hombro en las adversidades y celebrando a mi lado mis triunfos. A mis hermanos en especial a Vladimir que ha estado a mi lado en los momentos buenos y malos para ser a más de un hermano, un amigo y a mi hermana Tannia que a pesar de todo siempre está allí para mí.

Juan Carlos

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por ser el pilar fundamental en cada proyecto que he emprendido en mi vida y saber guiarme con sus enseñanzas y consejos para ayudarme a cumplir mis metas.

A todos mis compañeros y maestros, por brindarme su ayuda y tutela en momentos críticos de mi carrera, por el apoyo y paciencia prestada, aspectos que hoy me permiten terminar esta importante etapa de mi vida.

Mauricio.

Este trabajo es el reflejo del esfuerzo realizado por los mismos que lo integra, es así que debo agradecer a mis padres por el esfuerzo realizado, a mis hermanos que siempre me apoyaron, a los Docentes que me guiaron en el transcurso de mi carrera compartiéndome sus conocimientos.

Juan Carlos.

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1. Redes de Sensores Inalámbricas WSN (Wireless Sensor Network).....	6
<i>1.1.1. Introducción.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2. Elementos de una red de sensores inalámbrica WSN.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.3. Funcionamiento de las redes de sensores inalámbricas WSN.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.4. Características de la red de sensores inalámbrica WSN.....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.5. Topología de la red de sensores inalámbrica WSN.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.6. Ventajas de la utilización de una red de sensores inalámbrica WSN.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.7. Aplicaciones de una red de sensores inalámbrica WSN.....</i>	<i>12</i>
1.2. Estándar IEEE 802.15.4.....	13
<i>1.2.1. Definición.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.2. Características.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.3. Aplicaciones.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.4. Tipos de Nodos.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.5. Arquitectura.....</i>	<i>14</i>
1.3. Estándar de comunicación inalámbrica 6LoWPAN.....	16
<i>1.3.1. Introducción.....</i>	<i>16</i>
<i>1.3.2. Características.....</i>	<i>17</i>
<i>1.3.3. Arquitectura de una red con estandar 6LoWPAN.....</i>	<i>17</i>
<i>1.3.4. Sistema de Pila (Stack) del estándar 6LoWPAN.....</i>	<i>19</i>
<i>1.3.4.1. Capa de Adaptación del Estándar 6LoWPAN.....</i>	<i>19</i>
<i>1.3.5. Direccionamiento que emplea el estándar 6LoWPAN.....</i>	<i>21</i>
<i>1.3.6. Enrutamiento que emplea el estándar 6LoWPAN.....</i>	<i>21</i>
<i>1.3.7. Beneficios que representa el uso del estándar 6LoWPAN.....</i>	<i>22</i>
1.4. Utilización de Contiki en Redes de Sensores Inalámbricas (WSN).....	22

1.4.1.	<i>Funcionamiento de Contiki en una WSN</i>	23
1.4.2.	<i>Principales Componentes de Contiki</i>	23
1.5.	Sistemas de Seguridad Vehicular	24
1.5.1.	<i>Sistemas de seguridad vehicular activa</i>	25
1.5.2.	<i>Sistemas de Seguridad Vehicular Pasiva</i>	27
1.5.3.	<i>Sistemas de Seguridad Vehicular Preventiva</i>	28
1.5.4.	<i>Accidentes de tránsito</i>	30

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	32
2.1.	Análisis de la Situación Actual del Vehículo	32
2.1.1.	<i>Descripción del área de operación.</i>	32
2.1.1.1.	<i>Descripción de la parte mecánica del vehículo</i>	32
2.1.1.2.	<i>Descripción de la carrocería del vehículo</i>	33
2.2.	Diseño de la WSN a Utilizar para el Sistema de Seguridad Vehicular	35
2.2.2.	<i>Definición de las Características de la Red de Sensores Inalámbrica a Utilizarse..</i> 35	
2.2.3.	<i>Simulación de la WSN en el software Cooja</i>	37
2.2.3.1.	<i>Diseño del Escenario de la WSN en el software Cooja.</i>	37
2.2.3.2.	<i>Obtención de resultados de la simulación de la WSN en Cooja.</i>	38
2.2.4.	<i>Diseño de la Configuración de la WSN para el Sistema de Seguridad.</i>	40
2.2.4.1.	<i>Direccionamiento</i>	40
2.2.4.2.	<i>Constitución del Vector de Información.</i>	41
2.2.4.3.	<i>Comportamiento de los Nodos</i>	44
2.3.	Selección del Software para el desarrollo Sistema de Seguridad Vehicular.	52
2.3.1.	<i>XCTU</i>	52
2.3.2.	<i>Arduino Software (IDE)</i>	53
2.4.	Selección de Hardware para el desarrollo Sistema de Seguridad Vehicular.	53
2.4.1.	<i>Alternativas para sensores de contactos de puertas, y capó.</i>	53
2.4.2.	<i>Alternativas para sensor de cinturones de seguridad y ocupantes del vehículo</i>	55
2.4.3.	<i>Alternativas para sensores de humedad de calzada y lluvia.</i>	55
2.4.4.	<i>Alternativas para el Sensor de velocidad</i>	56
2.4.5.	<i>Alternativas para el Sensor de Dirección del Vehículo.</i>	57
2.5.	Diseño de Infraestructura Hardware del Sistema de Seguridad Vehicular	58
2.5.1.	<i>Infraestructura del Nodo Sensor 1</i>	59
2.5.2.	<i>Infraestructura del Nodo Sensor</i>	60

2.5.3.	<i>Infraestructura del Nodo Sensor 3</i>	61
2.5.4.	<i>. Infraestructura del Nodo Sensor 4</i>	62
2.5.5.	<i>Infraestructura del Nodo Coordinador</i>	63
2.6.	Ensamblaje de la Infraestructura del Sistema de Seguridad Vehicular	66
2.6.1.	<i>Protección de Equipos</i>	66
2.6.2.	<i>Instalación del Sistema de Seguridad Vehicular</i>	68
2.6.2.1.	<i>Instalación de los Nodos Sensores 1 y 2</i>	68
2.6.2.2.	<i>Instalación del Nodo Sensor 3</i>	70
2.6.2.3.	<i>Instalación del Nodo Sensor 4</i>	72
2.6.2.4.	<i>Instalación del Nodo Coordinador</i>	73
2.6.2.5.	<i>Instalación de los Dispositivos de Respuesta</i>	74

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE PRUEBAS Y RESULTADOS	75
3.1.	Pruebas de Funcionamiento	75
3.1.1.	<i>Comportamiento de los Nodos en la Etapa de Encendido</i>	75
3.1.2.	<i>Comportamiento de los Nodos en la Etapa de Envío de Datos</i>	78
3.1.3.	<i>Comportamiento del Nodo Coordinador Ante la Recepción de Datos</i>	81
3.2.	Resultados y Respuesta del Sistema	82
3.2.1.	<i>Resultados de Funcionamiento de Nodo Sensor 1</i>	82
3.2.2.	<i>Resultados de Funcionamiento de Nodo Sensor 2</i>	84
3.2.3.	<i>Resultado de Funcionamiento del Nodo Sensor 3</i>	86
3.2.4.	<i>Resultado de Funcionamiento del Nodo Sensor 4</i>	88
3.2.5.	<i>Evaluación del sistema</i>	90
	CONCLUSIONES	92
	RECOMENDACIONES	93

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características técnicas del estandar IEEE 802.15.4

Tabla 2-1: Fallecidos a nivel nacional por accidentes de tránsito en el 2015

Tabla 1-2: Dirección IPv6 de cada nodo.

Tabla 2-2: Estructura del vector de información del nodo sensor 1.

Tabla 3-2: Estructura del vector de información del nodo sensor 2.

Tabla 4-2: Estructura del vector de información del nodo sensor 3.

Tabla 5-2: Estructura del vector de información del nodo sensor 4.

Tabla 6-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 1

Tabla 7-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 2

Tabla 8-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 3

Tabla 9-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 4

Tabla 10-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 4

Tabla 1-3: Evaluación del sistema

Tabla 2-3: Conexión sensores nodo 2.

Tabla 3-3: Conexión sensores nodo 3.

Tabla 4-3: Conexión sensores nodo 4.

Tabla 5-3: Conexión del nodo central.

Tabla 6-3: Evaluación del sistema.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Topología tipo estrella.

Figura 2-1: Tres primeras capas de la arquitectura del estandar IEEE 802.15.4

Figura 3-1: Arquitectura de una red con estandar 6LoWPAN

Figura 4-1: Compresión de la Cabecera de IPv6 a UDP

Figura 5-1: Sistema de iluminación del automóvil

Figura 6-1: Sistema de suspensión del automóvil.

Figura 7-1: Sistema de limpiaparabrisas.

Figura 8-1: Ejemplo de un pulsador.

Figura 9-1: Serie cronológica de fallecidos por accidentes de tránsito en el año 2015.

Figura 1-2: Automóvil donde se implementa el sistema.

Figura 2-2: Situación inicial de los cinturones de seguridad.

Figura 3-2: Situación inicial de las puertas del vehículo.

Figura 4-2: Situación inicial del parabrisas del vehículo.

Figura 5-2: Distribución de los nodos de la WSN en el área de operación.

Figura 6-2: Escenario de la WSN en el software Cooja.

Figura 7-2: Simulación del Rango de cobertura de la WSN en Cooja.

Figura 8-2: Simulación de inicialización del Stack de IPv6 de un nodo en Cooja.

Figura 9-2: Simulación del envío de datos de los nodos en Cooja.

Figura 10-2: Simulación del consumo de energía de los nodos en Cooja.

Figura 11-2: Ventana de Información detallada de los nodos en Cooja.

Figura 12-2: Direcciones del Módulo XBee

Figura 13-2: Proceso general de arranque los nodos.

Figura 14-2: Proceso descubrimiento de nodos vecinos.

Figura 15-2: Proceso si datos provenientes del nodo 1.

Figura 16-2: Proceso si datos provenientes del nodo 2.

Figura 17-2: Proceso si datos provenientes del nodo 3.

Figura 18-2: Proceso si datos provenientes del nodo 4.

Figura 19-2: Proceso de activación de la Función “Alarma”.

Figura 20-2: Interfaz gráfica del Software XCTU.

Figura 21-2: Interfaz de Arduino IDE.

Figura 22-2: Contacto estándar de puertas y capó del auto.

Figura 23-2: Sensor de contacto magnético.

Figura 24-2: Sensor lluvia PIC AVR.

Figura 25-2: Sensor de lluvia YL – 83.

Figura 26-2: Sensor de Velocidad Encoder *Hanyoung Nux*.

Figura 27-2: Sensor de velocidad GEL 247.

Figura 28-2: Sensor de giro de ejes.

Figura 29-2: Sensor de Efecto Hall.

Figura 30-2: Infraestructura del nodo sensor 1.

Figura 31-2: Infraestructura del nodo sensor 2.

Figura 32-2: Infraestructura del nodo sensor 3.

Figura 33-2: Infraestructura del nodo sensor 4.

Figura 34-2: Infraestructura del nodo coordinador.

Figura 35-2: Caja de protección de los nodos sensores 1, 2 y 4.

Figura 36-2: Caja de protección del nodo sensor 3.

Figura 37-2: Protección del Nodo Central o Coordinador.

Figura 38-2: Instalación de los nodos sensores 1 y 2.

Figura 39-2: Instalación de los sensores de las puertas delanteras.

Figura 40-2: Instalación de los sensores de las puertas traseras.

Figura 41-2: Instalación de los sensores del cinturón de seguridad.

Figura 42-2: Instalación del nodo sensor 3.

Figura 43-2: Instalación del sensor del capó.

Figura 44-2: Instalación del sensor de velocidad.

Figura 45-2: Instalación del nodo sensor 4.

Figura 46-2: Instalación del sensor de gotas de lluvia.

Figura 47-2: Instalación del sensor de humedad de calzada.

Figura 48-2: Instalación del nodo coordinador.

Figura 49-2: Instalación del actuador de flujo de energía

Figura 50-2: Instalación del actuador limitador de velocidad.

Figura 1-3: Comportamiento del nodo sensor 1 en etapa de encendido.

Figura 2-3: Comportamiento del nodo sensor 2 en etapa de encendido.

Figura 3-3: Comportamiento del nodo sensor 3 en etapa de encendido.

Figura 4-3: Comportamiento del nodo sensor 4 en etapa de encendido.

Figura 5-3: Comportamiento del nodo coordinador en etapa de encendido.

Figura 6-3: Comportamiento del nodo sensor 1 en etapa de envío de datos

Figura 7-3: Comportamiento del nodo sensor 2 en etapa de envío de datos

Figura 8-3: Comportamiento del nodo sensor 3 en etapa de envío de datos

Figura 9-3: Comportamiento del nodo sensor 4 en etapa de envío de datos

Figura 10-3: Comportamiento del nodo coordinador ante la recepción de datos

- Figura 11-3: Activación de los sensores de que componen el nodo sensor 1.
- Figura 12-3: Alerta visual ante puerta delantera derecha abierta.
- Figura 13-3: Alerta visual ante puerta posterior derecha abierta.
- Figura 14-3: Alerta visual ante cinturón de seguridad derecho abierto.
- Figura 15-3: Activación de los sensores de que componen el nodo sensor 2.
- Figura 16-3: Alerta visual ante puerta delantera izquierda abierta.
- Figura 17-3: Alerta visual ante puerta delantera izquierda abierta.
- Figura 18-3: Alerta visual ante cinturón de seguridad izquierdo abierto.
- Figura 19-3: Activación de los sensores de que componen el nodo sensor 3.
- Figura 20-3: Alerta visual ante capó abierto.
- Figura 21-3: Switch de límites de velocidad permitidos, ciudad-carretera.
- Figura 22-3: Alerta visual ante velocidad excesiva.
- Figura 23-3: Activación de los sensores de que componen el nodo sensor 4.
- Figura 24-3: Alerta visual ante humedad del parabrisas.
- Figura 25-3: Alerta visual ante humedad de la calzada.
- Figura 26-3: Mensaje ante alarmas atendidas.
- Figura 27-3: Porcentaje de eficiencia del sistema antes y después de la implementación.

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Código de configuración del Nodo Coordinador.

Anexo B: Código de configuración de Nodos sensores 1 y 2

Anexo C: Código de configuración de Nodo Sensor 3

RESUMEN

Se implementó una WSN basado en 6LoWPAN para mejorar el sistema de seguridad vehicular preventiva, originalmente se hizo un breve estudio sobre las redes de sensores inalámbricas, para determinar los mejores parámetros para la red, posteriormente se simuló estos parámetros, en el software de simulación de WSN Cooja, posteriormente se procedió a la configuración y ensamblaje de cada uno de los nodos que conformaban la red, en esta etapa se corrigieron muchas fallas, como la comunicación entre los nodos, retardos en el sistema, calibración de los sensores. Luego de la optimización del sistema, se procedió a su implementación sobre un vehículo que presente las características de un vehículo de clase media baja, un Chevrolet Steem, del año 1999, el cual carecía de sistemas de seguridad preventivo que viene de fábrica. Para el montaje en el vehículo se tomaron las señales del switch para determinar el encendido del vehículo y se colocó el limitador de velocidad en serie con la conexión a positivo de la bobina del vehículo, se colocaron los sensores de contacto, giro, velocidad y humedad, se conectaron a sus respectivos nodos sensores y se los alimentó con una batería de 9 voltios. Posterior a la implementación se puso a prueba cada uno de los sensores en condiciones adversas y se calibraron minuciosamente. El sistema se ha evaluado en base de ciertos parámetros de seguridad vehicular en la cual se ha establecido que el vehículo al inicio de trabajo tenía una seguridad vehicular del 33.3%, mientras que una vez implementado el sistema obtuvo una seguridad del 90%, adicionando al sistema inicial un 57.3% de seguridad. Se puede determinar que 6LoWPAN es un estándar idóneo para el uso de estas aplicaciones brindando un mejor desempeño a sistemas de este tipo. Se recomienda atender con premura las alertas del sistema antes que se active el sistema de bloqueo.

Palabras claves: <COMUNICACIONES INALÁMBRICAS > <ESTANDAR [LOWPAN]>, <ENRUTAMIENTO>, <INTEROPERABILIDAD>, <RED INALÁMBRICA DE SENSORES [WSN]>, <SEGURIDAD PREVENTIVA >, <REDES INALÁMBRICAS>

SUMMARY

It was implemented a WSN base on 6LoWPAN to improve preventive vehicle safety system, originally it was a short study on wireless sensor networks, to determine the best parameters for the network, then these parameters in simulation of WSN Cooja software were simulated, subsequently was setup and Assembly of each of the nodes that were part of the network at this stage is corrected many failures, as communication between the nodes, delays in the system, calibration of the sensors. After the optimization of the system was its implementation on a vehicle which present the characteristics of a vehicle's lower middle class, a Chevrolet Steem, of 1999, which lacked preventive security that comes from the factory. Vehicle-mountable switch signals were taken to determine the vehicle's ignition in series speed limiter was placed with connection to positive of vehicle coil, contact, spin, speed, and humidity sensors were placed, it was connected to its respective sensor nodes and he fed them with a 9-volt battery. Post-deployment it was put to test each of the sensors in adverse conditions and they were carefully calibrated. The system has been evaluated on the basis of certain parameters of vehicle safety has been established in which the vehicle to the start of work had a vehicle safety of the 33.3%, while once implemented the system won a safety of 90%, adding to the initial system, a 57.3% security. It can be determine 6LoWPAN is a standard suitable for the use of these applications to provide better performance to systems of this type. Please respond quickly alerts the system before that the locking system is activated.

Keywords: <WIRELESS COMMUNICATIONS> <STANDARD [LoWPAN]> <ROUTING>, <INTEROPERABILITY>, <WIRELESS SENSORS NETWORK [WSN]> <PREVENTIVE SAFETY>, <WIRELESS NETWORKS>

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El sistemas de seguridad vehicular es un elemento fundamental dentro de la arquitectura y el diseño de vehículos motorizados, inicialmente estos sistemas están conformados por un sinnúmero de elementos que componen el vehículo, cuya función está orientada a prevenir, accidentes, o disminuir el impacto del mismo sobre los implicados. Los primeros sistemas de seguridad preventiva estaban conformados por simples pulsadores que hacían la función de sensor, interconectados mediante cables hacia un dispositivo controlador, dichos sensores se colocaban en lugares estratégicos del vehículo como las puertas laterales o posteriores.

Según se desarrollaba el mercado automotriz se van mejorando estos sistemas, remplazando los clásicos pulsadores con sensores de distinto tipo y mejor calidad, estos sistemas dependen de la marca y precio del vehículo, olvidando que el sistema de seguridad debería ser un elemento primordial independiente de los factores económicos del mismo, con el incremento en el precio de los vehículos en el Ecuador, los fabricantes tratan de justificar dichos precios pero no invierten lo necesario para fabricar los vehículos con un completo y sofisticado sistema de seguridad preventivo, muchas empresas han desarrollado sus propios sistemas de seguridad preventiva como es el caso de VOLVO y sus sistemas de detección de obstáculos y peatones en la obscuridad, o el caso de la compañía FORD y su sistema de prevención de tráfico cruzado, la mayoría de estos sistemas se enfocan en parámetros ajenos al vehículo y a pesar de ser muy innovadores siguen conservando aún la comunicación por cables para transmitir la información entre los dispositivos del sistema.

La investigación relacionada con el entorno vehicular y los Sistemas de Transporte Inteligentes han concentrado muchos esfuerzos durante los últimos años para intentar lograr nuevos servicios que reduzcan el número de accidentes y muertes, mejoren el confort para los conductores y pasajeros, anticipen posibles problemas en la ruta y provean contenidos multimedia durante la marcha. (Holger, 2007, p.250)

Los sistemas de seguridad vehicular son elementos fundamentales en el diseño de la arquitectura de vehículos motorizados, al estar orientados a precautelar la vida no se puede permitir fallos o interrupciones en la funcionalidad de los mismos. Los principales problemas que se dan en los sistemas de seguridad vehicular que utilizan transmisión de datos por medios guiados son las interrupciones de comunicación por cortes en los cables, interferencias en los cables de

comunicación producidos por componentes del vehículo por los que fluyen altos niveles de corriente como el alternador o la bobina que generan datos erróneos en la comunicación, además los medios guiados dificultan el acceso a ciertas partes del vehículo como por ejemplo la conexión con elementos al exterior de la cabina.

Pocos son las aplicaciones que el mercado automotor le ha dado a los medios no guiados de comunicación, se han enfocado en facilitar funciones ajenas a la seguridad que presta el sistema de seguridad del vehículo, tales como conexión inalámbrica con los mandos del radio del vehículo, o conexión con dispositivos móviles como celulares.

Desde los años 90, las redes de datos han proporcionado la forma en que las personas pueden intercambiar información, y coordinar procesos; los sensores posibilitan la medición del entorno que nos rodea, capturando los datos y enviándolos para su procesamiento.

Formulación del problema

¿Cómo solucionar las limitaciones que presentan los actuales sistemas de seguridad preventiva vehicular así como las técnicas que utilizan estos sistemas para alertar a los ocupantes sobre las medidas de seguridad que deben tomar?

Sistematización del problema

¿Qué tan eficiente resulta un sistema de seguridad vehicular con redes de sensores inalámbricos (WSN) mediante el uso del estándar de comunicación 6LoWPAN?

¿Los sistemas de seguridad vehicular con redes de sensores inalámbricos (WSN) mediante el uso del estándar de comunicación 6LoWPAN tendrán mejores prestaciones que los sistemas tradicionales existentes?

¿Cómo será el funcionamiento del sistema de seguridad y cada uno de sus nodos?

¿Qué aporta el estándar de comunicación 6LoWPAN en aplicaciones de redes de sensores inalámbricos?

Justificación Teórica

La implementación de un sistema de seguridad preventivo con redes de sensores inalámbricos (WSN) basado en el estándar de comunicación 6LoWPAN, ayudará a superar las limitaciones físicas que poseen los sistemas de seguridad con medios guiados, permitiendo llegar a lugares de

difícil acceso, manteniendo una buena comunicación libre de interferencias y rupturas en el medio de comunicación.

El desarrollo del proyecto permitirá precautelar la vida y la seguridad de las personas, alertando de manera visual y auditiva, sobre las medidas de seguridad que los ocupantes del vehículo deben tomar, medidas tales como: abrochar el cinturón de seguridad antes de poner en marcha el vehículo, conducir a velocidades que se encuentren dentro de los límites permitidos, conducir a bajas velocidades en presencia de calzada mojada, mantener siempre limpio el parabrisas en caso de lluvia, revisar las puertas y capó del vehículo para saber si están correctamente cerradas. Además actuará de manera preventiva en caso de que las personas no sean conscientes de dichas medidas y decidan ignorar las alertas tanto visuales como auditivas que inicialmente presenta el sistema, tomando el control de la aceleración del vehículo hasta que las respectivas alertas sean atendidas.

Es evidente que el estándar de comunicación 6LoWPAN es adecuado para esta aplicación, no solo por el ahorro de recursos que significa su implementación en un sistema, sino también por la acogida que ha tenido en lo que llamamos el internet de las cosas, combinando este protocolo con las utilidades de una red de sensores inalámbricos (WSN) se convierte en una sencilla pero eficaz herramienta con un sinnúmero de aplicaciones.

Justificación Aplicativa

Para la implementación del sistema de seguridad vehicular con redes de sensores inalámbricos (WSN) mediante el estándar de comunicación 6LoWPAN se hará uso de 4 nodos sensores o motas y un nodo coordinador, los cuales estarán conectados entre sí, con una topología tipo estrella, permitiendo una buena comunicación.

El primer nodo sensor estará conformado por un módulo de comunicación inalámbrica XBee que es el encargado de interconectar de manera inalámbrica todos los nodos sensores con el nodo coordinador utilizando el estándar de comunicación inalámbrica 6LoWPAN. Los módulos de comunicación inalámbrica XBee operan a una frecuencia de 2.4 GHz con una alimentación de 3.3 V, una velocidad de transmisión de 250 Kbps, una potencia de salida de 1mW, corriente de transmisión de 45mA, corriente de recepción de 50 mA, además de las características técnicas que brinda este módulo existe gran disponibilidad en el mercado y brinda completa compatibilidad con las tarjetas programables Arduino que a su vez también serán parte de cada nodo. Las tarjetas programables Arduino cuentan con características técnicas como el voltaje operativo de 5 V, 54 pines de entrada y salida, y memoria de 256 Kb, estas tarjetas son de gran

disponibilidad en el mercado y de bajo costo. El primer nodo sensor también contará con los sensores de contacto magnético de las puertas que se encargaran de generar una señal en caso de estar mal cerrada una puerta, la cual será enviada al nodo coordinador para alarmar sobre este inconveniente, a su vez, el sensor de contacto magnético del cinturón de seguridad cumple con la misma función, pero dependiendo de la activación de un sensor de presencia que se ubicará en el asiento del copiloto para detectar si se encuentra ocupado o no, posteriormente el nodo sensor enviará la información al nodo coordinador para alertar sobre este inconveniente para que este solucione con las medidas adecuadas.

El segundo nodo sensor estará conformado de los mismos elementos que el primer nodo sensor, pero actúa en el lado izquierdo del vehículo, es decir, sensando el estado de las puertas y el cinturón de seguridad del chofer.

El tercer nodo sensor estará conformado por un módulo de comunicación inalámbrica XBee, una placa programable Arduino Mega 2560, una placa programable Arduino UNO, también contará con un sensor de velocidad ubicado en los rines del vehículo, un sensor de contacto magnético ubicado en el capó para detectar el estado del mismo.

El cuarto nodo sensor tiene los mismos componentes que los nodos sensores anteriores, pero los sensores en este caso es un sensor de humedad, que tomará la medida del nivel de humedad del guarda fango del vehículo, esto nos dará una idea bastante clara de la humedad en el asfalto, el segundo sensor de humedad se ubicará en el parabrisas para darnos una idea del porcentaje de humedad del parabrisas. Al igual que los nodos anteriores estos datos se envían al nodo coordinador para su posterior procesamiento.

El nodo central o coordinador será el que se encargue del procesamiento de la información recibida de los nodos sensores, se encuentra conformado por un módulo de comunicación inalámbrica XBee, una tarjeta programable Arduino Mega 2560, una pantalla LCD 40x20 que será la encargada de visualizar las ordenes emitidas por la tarjeta programable Arduino para alertar a los ocupantes del vehículo, acompañado a su vez de un dispositivo de audio que alertará por medio de mensajes de voz a los ocupantes del mismo, el nodo coordinador se encargará de llevar a cabo el corte de energía que no permitirá que arranque el automóvil y el corte a la aceleración que se dará al mismo por medio del corte de energía en la bobina producido por el limitador de revoluciones, el nodo coordinador también contará con un sensor de dirección del automóvil ubicado en el volante del vehículo para determinar si el automóvil se encuentra conduciendo en recta o en curva y un switch para establecer los límites de velocidad permitidos si se encuentra en ciudad o en carretera.

En caso de que las alertas se den cuando el vehículo ya está en marcha y sean ignoradas por más de 10 segundos el sistema actuará de manera similar al anterior cortando el flujo eléctrico que va hacia la bobina con el fin de reducir la velocidad hasta que llegue a velocidades menores a los límites de velocidad permitidos y la alerta sea atendida.

En caso de que una alerta este activa con el vehículo apagado el sistema impedirá el encendido del vehículo, hasta que ninguna alerta se encuentre activa, o en caso de emergencia el sistema cuenta con un switch que desactivará temporalmente el sistema, si esto ocurre el vehículo encenderá sin importar las alertas, pero una vez encendido tendrá un tiempo de 10 segundos para atender las alertas.

Para la simulación y configuración de los nodos que conforman la red de sensores inalámbricas se consideró la elección de software libre para evitar el pago de licencias y así disminuir los costos del proyecto, todo este sistema será implementado en un vehículo de propiedad de los proponentes en el cual se podrá verificar la eficiencia del sistema y realizar las correcciones correspondientes hasta que el sistema responda de la manera más adecuada.

Objetivos:

Objetivo General

Implementar una WSN basada en 6LoWPAN para mejorar el sistema de seguridad vehicular preventiva.

Objetivos Específicos

- Estudiar el funcionamiento de una WSN basada en el estándar de comunicación 6LoWPAN.
- Realizar la simulación de la WSN para el monitoreo del estado de puertas, capó, cinturones de seguridad, humedad en el guardafangos y lluvia en el parabrisas, en el software Cooja.
- Implementar la topología del sistema de seguridad vehicular preventiva mediante dispositivos XBee, placas programables Arduino, sensores y actuadores de limitación de velocidad.
- Implementar el sistema de seguridad vehicular preventivo en el vehículo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Redes de Sensores Inalámbricas WSN (Wireless Sensor Network)

1.1.1. Introducción

Las redes de sensores inalámbricos WSN, como su nombre lo define, son redes que entre sus componentes principales están conformadas por sensores, los cuales realizan mediciones de parámetros del entorno que los rodea, obtienen datos de dichos parámetros y los procesan para obtener información que será indispensable en la toma de decisiones, los sensores están colocados en lugares estratégicos cubriendo un área geográfica determinada, se comunican mediante una interfaz inalámbrica lo cual los permite ser ubicados en lugares de difícil acceso haciendo de esta una tecnología altamente aplicable en el campo automotor, en la agricultura, domótica, arquitectura y muchas áreas más. (García, 2009, p. 11)

Hoy en día, las redes de sensores inalámbricos WSN son consideradas una herramienta muy importante al momento de implementar un sistema de monitoreo y control, debido a las múltiples características y facilidades que presenta, cada uno de sus nodos son elementos casi autónomos por lo que luego de ser configurados e instalados en su ubicación, no necesitan mantenimiento periódico, además su implementación dependiendo del número de nodos que se requiera no representa una gran inversión, estas y otras características, hace de las redes de sensores inalámbricos, una práctica herramienta que podrá fácilmente cumplir con tareas como monitoreo climático, monitoreo de signos vitales en lo que se denomina Telemedicina o monitoreo de infraestructuras, prestando así todas sus ventajas para brindar una solución factible y viable ante situaciones de esta índole.

Las redes de sensores inalámbricos WSN han llegado a formar parte del día a día de las personas, con la aparición y desarrollo del denominado “Internet de las Cosas”, junto con la domótica, han logrado que las personas puedan estar en contacto con lo que sucede dentro de su hogar, estar informadas del estado en el que se encuentran ciertos elementos, brindando al usuario la facilidad de controlarlos sin importar su ubicación geográfica.

1.1.2. Elementos de una red de sensores inalámbrica WSN

Una red de sensores inalámbrica WSN está conformada por elementos software y elementos hardware.

➤ *Elementos Hardware*

Los elementos hardware de una red de sensores inalámbrica WSN se dividen en 6 grupos, pudiendo ser más, dependiendo de la complejidad del sistema que se requiera; los elementos principales son:

- Nodo Sensor o Mota
- Sensores y Actuadores
- Sistema de Comunicación.
- Fuente de Alimentación
- Estación Base
- Nodo Gateway, Central o coordinador

➤ *Nodo Sensor o Mota*

Los nodos sensores o más conocidos como motas, son dispositivos que realizan las tareas de recolección de datos e interactúan con los demás nodos que conforman la red de sensores inalámbrica WSN para tareas de monitoreo y transmisión de la información.

➤ *Sensores y Actuadores*

Los sensores y actuadores son elementos que interactúan con los nodos sensores, los sensores recolectan datos del entorno que se pretende monitorear para su posterior procesamiento y toma de decisiones y los actuadores ayudan a los sistemas de control a realizar las tareas programadas, brindando soporte para la ejecución física de una orden.

➤ *Sistema de Comunicación.*

La transmisión de los datos generados por los nodos sensores se lo realiza de manera inalámbrica de esta forma las motas pueden ser instaladas en cualquier lugar sin la necesidad de tener una

infraestructura previamente instalada. Dentro de los estándares de comunicación inalámbrica existentes se encuentra el estándar IEEE 802.15.4 el cual es un estándar especialmente diseñado para las redes de sensores inalámbricas WSN el mismo que las convierte en una alternativa altamente competitiva.

➤ *Fuente de Alimentación*

La fuente de alimentación de los nodos que conforman una red de sensores inalámbrica está conformada por un dispositivo de almacenamiento eléctrico, como puede ser una batería convencional, y un dispositivo que permita reponer de alguna manera la energía que se consume por el funcionamiento normal del sistema, es decir una fuente de alimentación secundaria, que puede estar conformado por otra batería o celdas solares que no necesariamente reemplacen a la fuente principal de alimentación sino que brinden un soporte temporal hasta que la fuente sea reemplazada o reparada.

➤ *Estación Base*

La estación base es un dispositivo que se comunican inalámbricamente a los nodos de la red de sensores inalámbrica WSN, pueden ser dispositivos complejos como un computador, un Tablet, un móvil, o estar conformada por un sistema embebido que cargan en si un sistema operativo que les permita cumplir con sus funciones, todo depende de las necesidades de cada sistema. A la estación base llega toda la información del sistema, los datos recolectados por los sensores así como el estado de los actuadores, y visualiza dicha información en un periférico como puede ser un monitor en donde el usuario pueda analizar el estado de la red y administrarla directamente desde su estación.

➤ *Nodo Gateway, Central o coordinador*

El nodo Gateway también llamado nodo central o nodo coordinador, es el dispositivo encargado de proveer a la red de una puerta de enlace para que la red de sensores inalámbrica pueda comunicarse con redes de otro tipo o que utilicen una arquitectura de comunicación diferente a la suya, todo depende del software con el que esté operando dicho nodo.

El nodo Gateway puede ser configurado el un nodo que funciona como estación base y a su vez una estación base puede estar implementada en un dispositivo que está funcionando como nodo coordinador, por lo que la implementación de estos elementos en la WSN dependerán de las

características técnicas que posea dicho nodo, como por ejemplo memoria y capacidad de procesamiento.

➤ *Elementos Software*

Los nodos o motas que conforman una WSN necesitan de un sistema operativo para el procesamiento de datos e interconexión con otros nodos, los sistemas operativos en WSN, dictan la manera en la que se va a realizar todo el proceso del envío de información, desde la encapsulación de datos hasta el envío utilizando la interfaz de radio, para cumplir con estas tareas existen una variedad de sistemas operativos orientados a redes de sensores inalámbricos, todos poseen características que los hacen atractivos para este tipo de aplicaciones, pero resaltan aquellos que consumen pocos recursos y proveen escalabilidad a la red, algunos sistemas operativos desarrollados específicamente para redes de sensores inalámbricos se detallan a continuación:

- **ContikiOS.-** Contiki Operative System es un sistema operativo desarrollado específicamente para redes de sensores inalámbricos, cuenta con una interfaz gráfica de usuario (GUI), la memoria que necesita para ejecutarse es escasa, 2KB de RAM y 40 kb de ROM, por lo que puede ejecutarse sin problema en sistemas embebidos, tales como los empleados en redes de sensores inalámbricos.

- **TinyOS .-** Llamado así por sus siglas en inglés (Tiny Operative System), es un sistema operativo con licencia libre y de código abierto diseñado para dispositivos inalámbricos de baja potencia, tales como los utilizados en las redes de sensores, redes de área personal, edificios inteligentes y contadores inteligentes. (Sánchez, 2013, p.5)

1.1.3. Funcionamiento de las redes de sensores inalámbricas WSN

El funcionamiento de una red de sensores inalámbrica comienza con la tarea de un nodo sensor, la cual es la de tomar mediciones de variables del medioambiente, estos pueden ser equipados con una variedad de dispositivos los cuales pueden medir varios atributos tales como luz, temperatura, humedad, presión barométrica, velocidad, aceleración, acústicos, campo magnético, etc.

Los nodos Gateway o nodos coordinadores toman los datos de los nodos sensores de manera inalámbrica y los reenvían a la estación base, en caso de requerirse una o realizan el procesamiento

de la información dentro de este mismo nodo. Los nodos Gateway tienen alta capacidad de procesamiento, potencia en la batería y rango de transmisión de radio. (Arano, 2009, pp.10-11)

1.1.4. Características de la red de sensores inalámbrica WSN

A continuación se especifican algunas de las características que destacan en una red de sensores inalámbrica WSN que influyen en el desarrollo del proyecto.

➤ *Autonomía*

La autonomía es una de las características más importantes en una red de sensores inalámbricos, se considera que una red de sensores inalámbrica WSN es un sistema autónomo porque cada uno de sus nodos trabaja de manera independiente y están destinados a ser colocados en lugares de difícil acceso e incluso en sectores con un grado de riesgo para las personas, como por ejemplo en volcanes, para monitorear el estado de los mismos y generar alertas ante situaciones adversas.

➤ *Bajo Consumo de Recursos*

Las redes de sensores inalámbricas WSN están construidas con dispositivos embebidos o módulos de bajo consumo, como por ejemplo los módulos de comunicación inalámbrica XBee, los cuales van enfocados a esta característica.

➤ *Escalabilidad*

Una red de sensores inalámbrica WSN puede llegar a gestionar un número muy elevado de dispositivos incorporados a su red, por lo cual las redes de sensores inalámbricos proveen escalabilidad a una red, sin dejar de lado el incremento en el consumo de recursos que representa la gestión de la escalabilidad de la red.

➤ *Tolerancia a Fallos*

En caso de fallos en la red o que algún nodo se caiga, el funcionamiento de la red de sensores inalámbrica WSN no se verá afectado dado que todos los dispositivos se encuentran interconectados. En caso de que alguno se quede sin batería o no pueda llevar a cabo algún procesamiento, podrá delegar a otro nodo con las capacidades adecuadas. (Sánchez, 2013, p.5)

1.1.5. Topología de la red de sensores inalámbrica WSN

La topología define la forma física en la que están conectados los dispositivos de una red, en WSN existen tres tipos de topologías las cuales son: estrella, malla y árbol, pero la más utilizada para la implementación de redes de sensores inalámbricas WSN es la topología tipo estrella. En topología estrella todos los dispositivos se encuentran conectados a un nodo central, como se observa en la Figura 1-1, dicho nodo cumple con las tareas de nodo coordinador o nodo Gateway, haciendo que este tenga que cargar con el tráfico proveniente de todos los nodos y además cumplir con las tareas de coordinador y Gateway por lo cual debe ser un equipo más robusto que los demás.

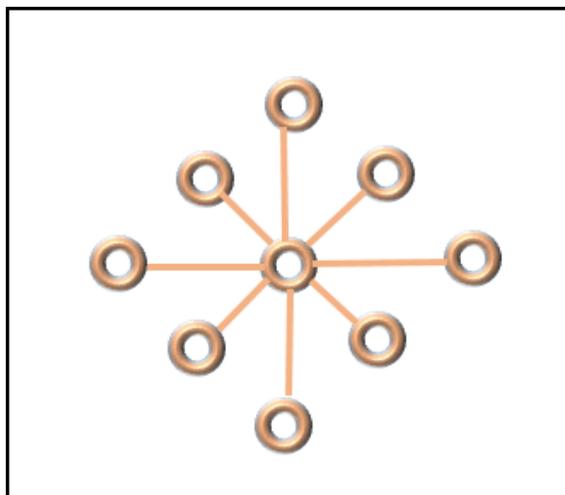


Figura 1-1: Topología tipo estrella.

Fuente: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7897/9.56.000617.pdf>

1.1.6. Ventajas de la utilización de una red de sensores inalámbrica WSN

Son muchas las ventajas que presentan las redes WSN frente a otros tipos de redes para realizar tareas específicas, a continuación se enlistan las más relevantes:

- Abaratan costos si lo que se quiere es reemplazar la infraestructura cableada de un sistema de monitoreo de una industria.
- Posibilita la configuración y mantenimiento de las motas mientras están en funcionamiento, si bien esta no es una ventaja muy relevante a simple vista, lo es cuando el tamaño de la red es considerablemente grande.

- Las motas tienen una vida útil bastante larga, ya que no consumen muchos recursos, trabajan con intervalos de voltaje relativamente bajos y permanecen en estado de hibernación hasta que necesiten estar operativos.
- Los costos de construcción de cada mota son económico en comparación con equipos necesarios para otros tipos de redes como Reuters o puntos de acceso.
- Si al terminar la vida útil de estos dispositivos se desechan correctamente, tienen un mínimo impacto ambiental.
- Los nodos son bastante exactos en la toma de mediciones, lo cual hace de las WSN una tecnología confiable.
- Las motas pueden ser desplazadas en zonas de riesgo, evitando que peligre la vida de las personas.

1.1.7. Aplicaciones de una red de sensores inalámbrica WSN

Entre las principales aplicaciones de una red de sensores inalámbrica tenemos las siguientes:

- Monitoreo del estado de puentes, mediante la colocación de sensores que captan el movimiento y desplazamiento de los mismos.
- En la Telemedicina, sin duda uno de los campos en la que más ayuda ha prestado las WSN, monitoreando el estado de los signos vitales de una persona y alertando ante cualquier eventualidad.
- Monitoreo de variables ambientales, saber el estado del clima, humedad en el ambiente, lluvia, presión atmosférica, temperatura.
- En la agricultura, tomando información sobre el estado de los cultivos, variables del suelo como humedad o PH.
- Domótica, sin duda la aplicación que más ha necesitado de redes de sensores inalámbricos, en donde se miden parámetros del hogar, mostrando esta información al usuario sin importar la ubicación del mismo, dando acceso a internet a cualquier dispositivo que lo necesite.
- Prevención de catástrofes naturales, mediante el monitoreo de sismos, vientos, humedad, y demás parámetros ambientales que permiten determinar si un desastre natural está por ocurrir.
- Sistemas de seguridad de video vigilancia.

- Seguridad vehicular, mediante el uso de sensores en varias partes del vehículo que permiten a los ocupantes mantenerse al tanto de lo que pasa dentro y fuera del automotor.

1.2. Estándar IEEE 802.15.4

1.2.1. Definición

El estándar de comunicación inalámbrica IEEE 802.15.4 es un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica que define el funcionamiento de la capa física (Physical Layer, PHY) y la capa de control de acceso al medio (Media Access Control, MAC), de las redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (Low Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN), creado en el 2006 por un grupo de trabajo de la IEEE que lleva el mismo nombre del estándar.

1.2.2. Características

Las principales características que presenta el estándar IEEE 802.15.4, se muestra en la Tabla 1-1, en donde se muestra los principales parámetros con sus respectivos rangos de operación.

Tabla 1-1: Características técnicas del estándar IEEE 802.15.4

Parámetro	Rango
Velocidad de Datos	868 MHz: 20kb/s; 915 MHz: 40kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s
Alcance de la señal de radio	10 a 20 metros
Latencia	15 ms de bajada
Canales	868/915 MHz: 11CH 2.4 GHz: 16CH
Bandas de Operación	2 bandas físicas: 868 MHz/915 MHz y 2.4 GHz
Direccionamiento	Direccionamiento corto de 8 bits o IEEE de 64 bits
Canales de Acceso	CSMA – CA
Temperatura	Rango de temperatura industrial de -40 a 85 grados Celsius

Fuente: Callaway, Gorday, Hester, Gutierrez, Naeve, Heile, (2002), PP. 71.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

El estándar IEEE 802.15.4 al ser un estándar half dúplex y estandarizado permite que varios fabricantes puedan trabajar con este estándar, se considera un estándar fiable y seguro, por lo que cuenta con autenticación y encriptación.

1.2.3. Aplicaciones

El estándar IEEE 802.15.4 está diseñado para ser utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo el control industrial y la supervisión; la seguridad pública, incluyendo censado de determinados lugares en desastres; censado de automoción, tales como monitoreo de presión de los neumáticos; insignias y etiquetas inteligentes; y agricultura de precisión, tales como la detección de humedad del suelo, pesticidas, herbicidas, y niveles de pH. Sin embargo, una de las mayores oportunidades de aplicaciones que presenta el estándar IEEE 802.15.4 es la domótica y la creación de redes inalámbricas de bajo consumo (Low Power Wireless Area Networks, LoWPAN). (Callaway, 2002, pp.70-77)

1.2.4. Tipos de Nodos

Se puede definir según su funcionamiento y su topología a dos nodos dentro del estándar IEEE 802.15.4 los cuales son: dispositivos con funciones completas (Full Function Device, FFD) y dispositivos con funciones reducidas (Reduced Function Device, RFD).

- **Dispositivos con funciones completas (FFD).**-Son dispositivos que utilizan la mayor parte de recursos de los dispositivos, en general se utilizan en la topología estrella, siendo más utilizados como nodos centrales o coordinadores, asumiendo estas disposiciones suelen necesitar más recursos energéticos en comparación a otros nodos.

- **Dispositivos con funciones reducidas (RFD).**-Estos dispositivos tienen un bajo consumo de energía a comparación a los FFD y se utilizan en cualquier tipo de red.

1.2.5. Arquitectura

La arquitectura del estándar IEEE 802.15.4 está basada en la arquitectura del modelo OSI (Open System Interconexión) de 7 capas. Cada capa presta sus servicios a la capa superior, las principales diferencias del modelo de capas del estándar IEEE 802.15.4 está definido en las 3 primeras capas que se pueden observar en la Figura 2-1.

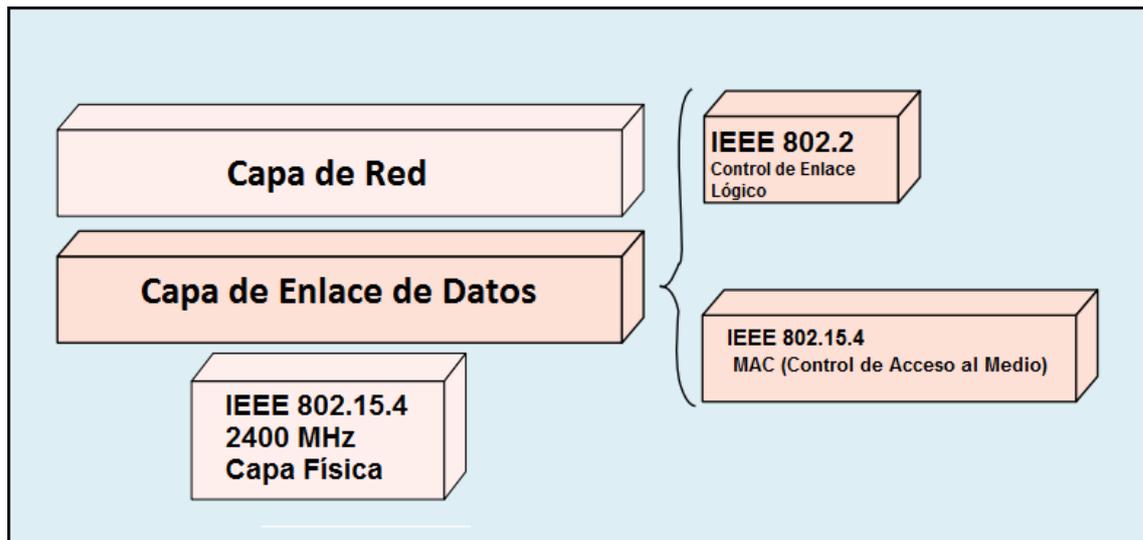


Figura 2-1: Tres primeras capas de la arquitectura del estándar IEEE 802.15.4.

Fuente: Callaway, Gorday, Hester, Gutierrez, Naeve, Heile, (2002), PP. 72.

➤ *Capa Física*

La capa física del estándar IEEE 802.15.4 es la encargada de recibir y transmitir la información, la misma define una transmisión que está basada en el DDS (Direct Sequence Spread Spectrum) que es una técnica de modulación que utiliza un código de pseudoruido para modular directamente una señal portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral. (Yick, 2008, pp. 2292-2298)

La modulación que se emplea depende principalmente de la frecuencia utilizada, en la banda de 2.4 GHz que es la más eficiente dispone de un total de 16 canales que poseen un ancho de banda de 2 MHz con una separación entre canal de 5 MHz.

➤ *Capa de Enlace de Datos*

La arquitectura del estándar IEEE 802.15.4 divide la capa de enlace de datos en dos subcapas, la subcapa de control de acceso al medio (MAC) y la subcapa de control de enlace lógico (LLC), el LLC es común para todos los estándares de comunicación inalámbrica IEEE 802, mientras que la subcapa MAC depende del hardware y varía respecto a la implementación física de esta capa.

➤ *Capa de Red*

Al igual que en las redes cableadas tradicionales, la capa de red es la encargada de la construcción y el mantenimiento de la topología de la red, así como de nombrar y vincular servicios, que

incorporan las tareas que se necesitan para el direccionamiento, enrutamiento y seguridad. La Capa de red del estándar IEEE 802.15.4 debe ser de auto-organización y auto-mantenimiento, para minimizar el costo total para el usuario consumidor.

➤ *Seguridad en el estándar IEEE 802.15.4*

La seguridad en el estándar IEEE 802.15.4 es un punto clave dentro de la transmisión y de los datos, por lo que especifica 4 servicios de seguridad.

- Control de acceso a la red, el cual mantiene una lista de todos los dispositivos comprobados de la red.
- Datos encriptados, por el medio se usa una encriptación de 128 bits de código.
- Integración de tramas para proteger los datos de ser modificados por otros usuarios.
- Secuencias de refresco, para comprobar que las tramas no han sido reemplazadas por otras.

La seguridad también dependerá de la configuración que se desee realizar sabiendo que se puede utilizar AES (Advanced Encryption Standard) que es un estándar de encriptación de 128 bits, normalmente utilizado en conexiones WiFi (Delgado, 2009, pp. 45-47).

➤ *Estándares creado en base al estándar IEEE 802.15.4*

Existen algunos estándares de comunicación inalámbrica basados en el estándar IEEE 802.15.4, entre los principales tenemos los siguientes:

- Zigbee - Zigbee Alliance's mesh networking protocol
- MiWi Mesh and MiWi P2P - Microchip's proprietary mesh and P2P protocols
- 6LoWPAN - IPv6 over 802.15.4
- WirelessHART - Industrial Automation
- ISA100.11a - Manufacturing, Control, Automation.

1.3. Estándar de comunicación inalámbrica 6LoWPAN

1.3.1. Introducción

El termino 6LoWPAN es el acrónimo de IPv6 over Low Power Wireless Area Networks, este es un estándar abierto para la comunicación inalámbrica en redes de área personal de bajo consumo

(LoWPAN), este estándar hace posible que los dispositivos de redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4, puedan utilizar protocolo de internet versión 6 (IPv6) para comunicarse con otros dispositivos IP, es decir, proporciona una salida de las redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4 hacia la WEB, permitiendo el desarrollo de nuevas tendencias tecnológicas como el “Internet de las Cosas” que se enfoca en proporcionar una salida a internet a cualquier dispositivo que cuente con un sistema embebido, como pueden ser los nodos de una red de sensores inalámbricos.

1.3.2. Características

Las características que presenta el estándar de comunicación inalámbrica 6LoWPAN son similares a las del conjunto de protocolos de IEEE 802.15.4 ya que está basado en su arquitectura, entre las principales se puede citar las siguientes:

- Posee compatibilidad con protocolos de capas de enlace como bluetooth o los basados en el estándar IEEE 802.15.4.
- Provee soporte Unicast, multicast y broadcast; el multicast es comprimido para posteriormente ser mapeado a broadcast.
- Provee soporte para enrutamiento IP.
- Provee soporte para el uso de la capa de enlace.
- Provee soporte tanto para direccionamiento de 64 bits como para direccionamiento de 16 bits usado en el estándar IEEE 802.15.4.
- Su compresión de cabecera es muy eficiente, tiene cabeceras basadas en UDP y de extensión de IPv6, puede auto configurar la red usando un protocolo para descubrir los dispositivos que estén utilizando IPv6, llamado neighbor Discovery.

1.3.3. Arquitectura de una red con estándar 6LoWPAN

La arquitectura de una red que emplee el estándar de comunicación 6LoWPAN se encuentra conformado por varias redes inalámbricas de área personal (redes pequeñas de uso personal) de bajo consumo LoWPAN (Low Power Wireless Personal Area Network), las cuales no tienen conocimiento de otras redes, y no transportan tráfico de datos de otras redes inalámbricas a través de ellas, este tipo de redes utilizan direccionamiento del protocolo IPv6, la salida a internet se encuentra controlada por un router que sirve como punto de acceso, al cual se conectan un sinnúmero de dispositivos tales como Routers de borde, PCs, servidores, como se puede observar en la Figura 3-1,

Según las especificaciones del estándar 6LoWPAN establecidas por Texas Instruments (los creadores de 6LoWPAN), entre los componentes que conforman la arquitectura de una red que utiliza el estándar 6LoWPAN tenemos:

- Router.- se encarga de encaminar el tráfico de datos desde redes que utilicen un estándar de comunicación diferente a 6LoWPAN, hacia internet o hacia redes que empleen el estándar 6LoWPAN.
- 6LoWPAN edge router.- cumple con tres acciones principales; se encarga de encaminar el tráfico de una red basada en el estándar 6LoWPAN hacia otras redes basadas en el protocolo IPV6, también se encarga de encaminar el tráfico IPv6 dentro de su misma red, y su tercera función es generar y mantener las subredes inalámbricas que utilicen el estándar 6LoWPAN.
- PC's.- son dispositivos que generan tráfico en la red, y que requieren comunicarse con dispositivos fuera de su red.
- 6LoWPAN Host (H).- al igual que los PC's, generan tráfico pero dentro de la red que emplee el estándar 6LoWPAN.
- 6LoWPAN Router (R).- encaminan el tráfico de datos dentro de la red que emplee el estándar 6LoWPAN.

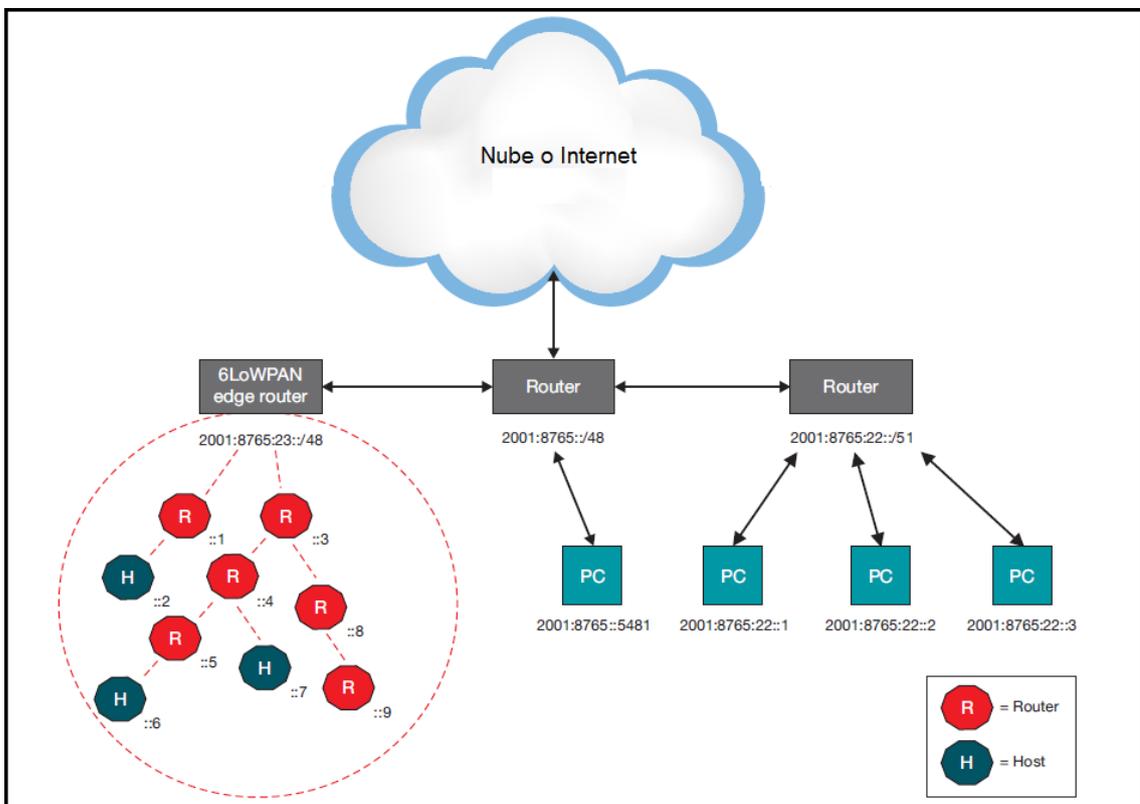


Figura 3-1: Arquitectura de una red con estándar 6LoWPAN

Fuente: <http://www.ti.com/lit/wp/swry013/swry013.pdf>

El estándar 6LoWPAN está logrando que un sinnúmero de dispositivos se conecten a la nube, mediante la utilización de una capa de adaptación que permite que los paquetes que contengan la cabecera del protocolo IPv6, sean transportados en forma de tramas en la capa de enlace de datos, como lo especifica el estándar IEEE 802.15.4, permitiendo la interoperabilidad entre estándares abiertos, a la vez que aprovecha la escalabilidad que representa el uso del protocolo IPv6 en el direccionamiento.

➤ *Tipos de Configuración del estándar 6LoWPAN*

Una red basada en el estándar 6LoWPAN puede estar configurada de tres maneras:

Simple LoWPAN.- La red se encuentra conformada por un solo router de borde o Gateway.

Extended LoWPAN;- La red se encuentra conformada por varios Gateway, pero todos se encuentran compartiendo un enlace en común que es la backbone.

Ad-hoc LoWPAN.- En esta configuración no hay Gateway en la LowPAN.

1.3.4. Sistema de Pila (Stack) del estándar 6LoWPAN

El stack del estándar 6LoWPAN es un modelo de capas de protocolos de comunicación muy similar al modelo de capas de OSI, sus capas cumplen con la misma función, con la diferencia que el stack del estándar 6LoWPAN implementa una capa de adaptación que se ubica entre la capa de enlace y la capa de red del stack del estándar IEEE 802.15.4.

1.3.4.1. Capa de Adaptación del Estándar 6LoWPAN

La arquitectura del estándar 6LoWPAN utiliza una capa de adaptación, la cual es una subcapa que se ubica entre la capa de acceso al medio (MAC) y la capa de red del estándar IEEE 802.15.4, la capa de adaptación especifica la manera en la que las tramas de IPv6 son encapsuladas a través del enlace de radio del conjunto de protocolos del estándar 6LoWPAN, con el fin de optimizar la transmisión de paquetes de IPv6 sobre redes con pérdidas y bajo consumo energético utilizando técnicas de compresión de cabecera, fragmentación y re ensamblado de datos, y cabecera Mesh addressing.

➤ *Compresión de Cabecera*

La capa de adaptación del estándar 6LoWPAN es la encargada de comprimir la cabecera de 40 bytes de un paquete de datos de IPv6 en una cabecera de 8 bytes de UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario), mediante el sistema de compresión HC1 (Header Compresion 1), y posteriormente

comprime la cabecera de 8 bytes de UDP a una cabecera de 3 bytes mediante el sistema de compresión HC2 (Header Compresion 2), por esta razón el estándar 6LoWPAN está diseñado para transmitir paquetes de IPv6.

En la Figura 4-1 se puede observar dos gráficos, en el gráfico (a) se puede observar un paquete de IPv6 sin comprimir, y en el gráfico (b) se observa cómo HC1 comprime la cabecera de IPv6 de 40 bytes en una cabecera de UDP de 8 bytes y se añade el nuevo campo denominado Dispatch, lo cual indica la coexistencia del estándar 6LoWPAN con redes que utilicen otros estándares de comunicación.

Todos los elementos de la cabecera de IPv6 que no hayan sido sometidos a un proceso de compresión pasan a formar parte del campo “IP”, para posteriormente ser añadido a la cabecera UDP comprimida de 3 bytes y sumar así los 5 bytes que conforman el paquete completo del estándar 6LoWPAN

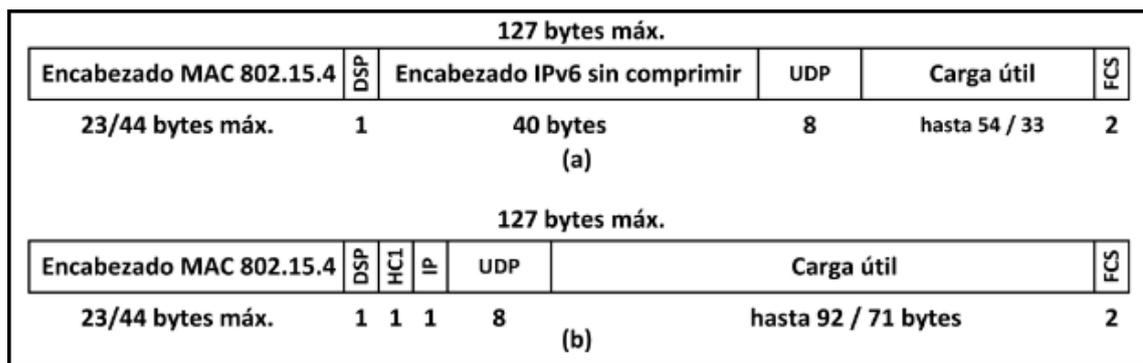


Figura 4-1: Compresión de la Cabecera de IPv6 a UDP

Fuente: <http://www.ti.com/lit/wp/swry013/swry013.pdf>

➤ *Fragmentación y Re ensamblado*

El enlace de datos del estándar 6LoWPAN posee un ancho de trama máximo de 127 bytes, muy inferior a la unidad máxima de transferencia de IPv6 que es 1280 bytes, por lo que se hace necesario dividir la trama de IPv6 en fragmentos más pequeños, para lo cual se crean datos adicionales que son enviados en la cabecera comprimida del estándar 6LoWPAN, dichos datos son extraídos en su destino para determinar el orden que tienen los fragmentos recibidos y poder re ensamblarlos y obtener el paquete de IPv6 originales, posteriormente los datos adicionales son descartados.

En caso de que los fragmentos de paquetes lleguen dañados o se pierdan en el camino, existen los siguientes campos que ayudan a que el paquete pueda ser re ensamblado correctamente:

- **Datagram Size.-** indica el tamaño del paquete IP antes de la fragmentación así como el orden de sus fragmentos.
- **Datagram Tag.-** Identificar el payload fragmentado.
- **Datagram Offset.-** establece el desplazamiento del fragmento en desorden dentro del payload para ubicarlo correctamente.

➤ *Cabecera Mesh addressing*

La cabecera del estándar 6LoWPAN, contiene la dirección del nodo de origen y del nodo del siguiente salto. Si un paquete debe ser transmitido a un nodo que no es un vecino del nodo de origen, un protocolo de nivel superior debe implementar esta funcionalidad, al usar IPv6, las direcciones de nodos receptores finales están incluidas en la cabecera de IPv6. Sin embargo, al usar la cabecera de compresión esta información se puede perder. La solución a este problema es introducir una cabecera adicional llamada Mesh addressing, que se utiliza para apoyar el reenvío de paquetes a nivel de capa dos (Capa MAC). Además, es compatible con el reenvío de paquetes entre salto y salto (multi-hop) en el estándar 6LoWPAN. (Schor, 2009, pp.31-36)

1.3.5. Direccionamiento que emplea el estándar 6LoWPAN

El estándar 6LoWPAN utiliza un direccionamiento por autoconfiguración, esto quiere decir que cada nodo genera de manera automática su dirección de tipo IPv6, sin la necesidad de solicitar dicha dirección a un servidor de configuración de direcciones dinámicas o DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). Para obtener una dirección IPv6, el dispositivo debe comunicarse mediante el Protocolo de Descubrimiento de Vecinos o PND (Protocol Neighbor Discovery), Si se utiliza el protocolo de enrutamiento RPL, no es necesario utilizar el PND, puesto que cuenta con similares características.

1.3.6. Enrutamiento que emplea el estándar 6LoWPAN

Enrutamiento es el proceso de envío de los paquetes de datos a través de la red, puede ser por un solo salto o multisalto, en el estándar 6LoWPAN puede configurarse tres protocolos de enrutamientos, como son: *Mesh-Under*, *Route-Over* y *RPL*, siendo el más utilizado, el protocolo RPL.

➤ *RPL*

El protocolo de enrutamiento RPL (IPv6 Routing Protocol for Low Power), tiene dos modos de funcionamiento: el modo storing que se emplea para enrutar paquetes dentro de la red que utilice el estándar 6LoWPAN, y el modo nonstoring que se emplea para el enrutamiento fuera de la red que utilice 6LoWPAN .

En modo storing, todos los dispositivos que conforman la red con el estándar 6LoWPAN mantienen dos tipos de tablas: una tabla de enrutamiento y una tabla de vecinos. La tabla de enrutamiento se utiliza para buscar rutas hacia un dispositivo final, y las tablas de vecinos se utilizan para conocer la dirección de nodos vecinos que se encuentran directamente conectados.

En modo nonstoring, el único dispositivo que almacena tablas de enrutamiento es el router de borde, cuando un nodo envía un paquete de IPv6, el paquete viaja hasta el router de borde, este busca en su tabla de enrutamiento y analiza el número de saltos que necesita para llegar a su destino, y lo encamina dentro de la red con el estándar 6LoWPAN.

1.3.7. Beneficios que representa el uso del estándar 6LoWPAN

- **Seguridad.-** es uno de los grandes beneficios de utilizar el estándar 6LoWPAN ya que presta seguridad a nivel de la capa de enlace, con autenticación y cifrado AES de 128 bits y mecanismos de seguridad en la capa de transporte que han demostrado buen funcionamiento en el estándar 6LoWPAN.
- **Interoperabilidad.-** sin duda la característica más importante de emplear el 6LoWPAN en una red, permitiendo la comunicación con diversos tipos de redes.
- **Software y Hardware Libre.-** permite abaratar los costos ya que no requiere del pago de licencias ya que es un estándar abierto.
- **Utiliza la infraestructura pública,** ya que permite la salida de datos hacia internet, permitiendo almacenar la información en la nube y ponerla a disposición de quien la necesite.
- **Fácil mantenimiento de la red.**

1.4. Utilización de Contiki en Redes de Sensores Inalámbricas (WSN)

Contiki es un sistema operativo open source, multi-tarea desarrollado en lenguaje C para plataformas con recursos limitados de procesamiento, energía y memoria. Con el objetivo que en un futuro los objetos que nos rodean tengan la capacidad de comunicarse de forma inalámbrica y de esta manera se podrán ubicar y controlar remotamente.

1.4.1. Funcionamiento de Contiki en una WSN

Contiki cuenta con varios hilos de ejecución en paralelo, los mismos que permanecen en un estado de espera hasta que algún evento necesite ejecutarse, los eventos son atendidos por orden cronológico y una vez ejecutados el hilo de ejecución regresa nuevamente a un estado de espera.

Un nodo dentro de una red de sensores inalámbrica que funciona con Contiki pretende optimizar el uso energético desactivándose y monitoreando periódicamente para evitar que los nodos estén activos en momentos innecesarios.

Los procesos que realiza un nodo que opera con Contiki son los siguientes:

- La interfaz de radio de cada nodo se enciende periódicamente cada 192 us para realizar mediciones de las señales recibidas.
- En caso de que el nodo reciba una señal de un nodo adyacente o vecino, la interfaz de radio se queda activa.
- Cada nodo realiza un muestreo del medio, periódicamente cada 0,25 ms, para evitar la pérdida en la transmisión de datos.
- En caso de que un nodo necesite transmitir, envía una ráfaga de paquetes de datos, hasta que uno de esos paquetes encuentre a un nodo con la interfaz de radio habilitada.
- En el momento que el receptor capte dicho paquete, este envía un mensaje de comprobación y el transmisor detiene el envío de la ráfaga.

1.4.2. Principales Componentes de Contiki

La arquitectura del sistema operativo Contiki está basada en varios elementos, como son: Procesos, eventos, protothread, poll y post sincrónico, timers.

➤ Procesos

Los procesos pueden ser creados por el usuario para desarrollar tareas específicas. Estos se guardan en una lista encadenada, esto quiere decir que solo se necesita conocer la dirección del primero, luego el primer proceso conoce la dirección del segundo, el segundo del tercero, y así

sucesivamente, de esta manera se pueden recorrer todos los procesos. Cada proceso tiene un protothread asociado, el cual se ejecuta cuando el proceso es llamado.

➤ **Eventos**

Se almacenan en una cola circular y son procesados por orden cronológico. Cada evento tiene configurado el proceso que va a despertar, al cual puede enviarle datos aparte de comunicarle cual fue el evento que lo despertó. Los eventos pueden ser generados tanto en los protothreads como en cualquier otro lado del programa como por ejemplo en las interrupciones. (De Mula, 2011, pp.16-56)

➤ **Protothreads**

Son funciones que tienen la propiedad de ser capaces de esperar por eventos. Cada proceso tiene asociado un único protothread.

➤ **Poll y Post Sincrónico**

El Post Sincrónico indica la interrupción total de la ejecución de la cola de procesos, para atender al proceso marcado con un post sincrónico, por otro lado, un proceso que contiene un Poll se le asigna una bandera que indica que será atendido inmediatamente después del proceso que se encuentre en ejecución, sin importar los procesos que estén a la cola, para entonces despertar al protothread que lo atenderá, la diferencia entre post y poll es que el primero requiere la interrupción de la ejecución y el segundo espera a que termine la ejecución del proceso actual.

➤ **Timers**

El sistema operativo Contiki cuenta con una serie de Timers o también llamados relojes, que son utilizados tanto por el sistema como por las aplicaciones en ejecución, normalmente pueden utilizarse para cronometrar el tiempo que un nodo ha pasado en estado de bajo consumo y deba activarse para ejecutar procesos, como también para poner en ejecución tareas programadas en tiempo real.

1.5. Sistemas de Seguridad Vehicular

Los sistemas de seguridad vehicular tienen como finalidad minimizar o reducir los riesgos que se pueden producir en caso de existir un accidente de tránsito así como también aumentar la

seguridad y salvaguardar la integridad de los ocupantes del vehículo antes, durante y después de suscitarse un evento.

Los sistemas de seguridad vehicular se dividen en tres tipos: sistemas de seguridad vehicular activa, sistemas de seguridad vehicular pasiva, sistemas de seguridad vehicular preventiva.

1.5.1. *Sistemas de seguridad vehicular activa*

La finalidad de los sistemas de seguridad activa es prever situaciones de peligro, reduciendo la probabilidad de sufrir un accidente, ayudando a optimizar su funcionamiento así como también dotándolo de mayores prestaciones. Además intervienen directamente en la conducción, permitiendo el funcionamiento normal de vehículo durante su desplazamiento. (Arízaga, 2015, p.123)

Entre los dispositivos activos de seguridad tenemos los siguientes:

➤ *Sistemas de Iluminación*

Los sistemas de iluminación se encuentran colocados en la parte delantera, posterior y lateral del automotor, como se puede observar en la Figura 5-1, y sirven para mejorar la visibilidad del conductor en circunstancias que el medio no lo permita como son en la noche, cuando exista niebla, polvo o lluvia.



Figura 5-1: Sistema de iluminación del automóvil

Fuente: <http://www.ro-des.com/mecanica/sistema-alumbrado-del-coche-que-es/>

➤ **Neumáticos**

Es el conjunto formado por la cubierta, la cámara, con aire a presión en su interior y montado sobre la correspondiente llanta, los neumáticos influyen de forma sustancial en el comportamiento dinámico del vehículo, uno de los principales factores de seguridad que tiene que ver con el neumático es al desgaste del labrado, a menor desgaste, proporciona al neumático estabilidad, así como también adherencia a la calzada, previene el hidropilano y presenta baja resistencia al giro del volante a bajas velocidades.

➤ *Estado del motor*

Una maniobra de aceleración puede intervenir en el adelantamiento y garantizar una respuesta más rápida y eficiente en la cual interviene el adecuado estado del motor, así como también el sistema de transmisión y la caja de cambios.

Para que el motor este en las condiciones óptimas de funcionamiento debe tener los parámetros correctos de lubricación y de abastecimiento de combustible.

➤ *Frenos*

Freno es el dispositivo de frenado donde se desarrollan fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, el freno puede ser de fricción cuando dos piezas pertenecientes al mismo vehículo producen una fricción de rozamiento sin tener contacto entre ellas, eléctrico cuando un impulso electromagnético ocasionando las fuerzas entre dos piezas sin contacto entre sí, hidráulica cuando un líquido situado entre dos piezas de vehículo ocasiona las fuerzas de dos piezas y por el motor cuando este ocasiona una disminución directa en la rotación de las ruedas por la disminución de la transmisión del motor.

➤ **Suspensión**

La suspensión del vehículo tiene como objetivo la de absorber las irregularidades que presenta el terreno manteniendo así una adherencia a la calzada, permitiendo una estabilidad para una mejor maniobrabilidad, mediante los mecanismos que se pueden apreciar en la Figura 6-1.

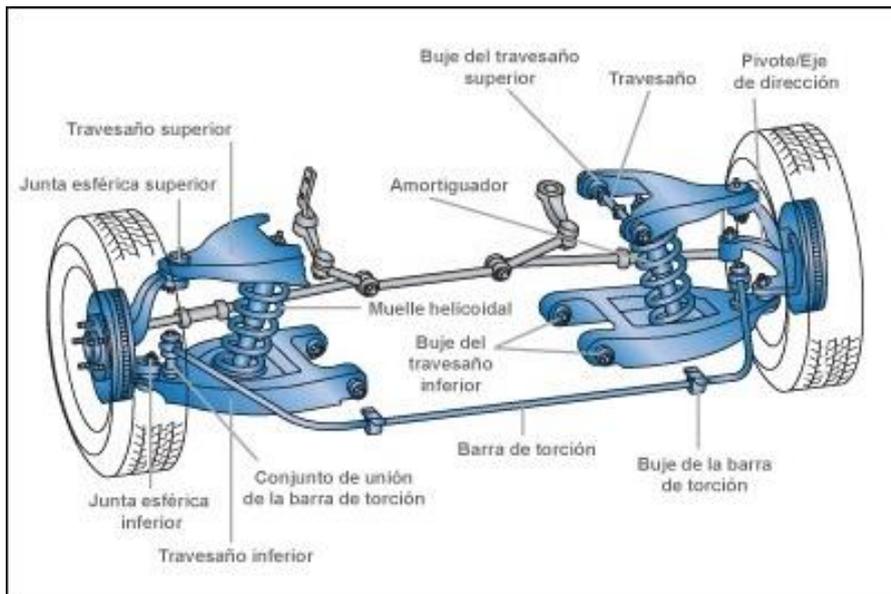


Figura 6-1: Sistema de suspensión del automóvil.

Fuente: <http://www.llanteralaspalmas.com.mx/home/servicios/sistema-de-suspension/>

1.5.2. *Sistemas de Seguridad Vehicular Pasiva*

Los sistemas de seguridad vehicular pasiva ofrecen seguridad a los ocupantes del vehículo después de producirse un accidente de tránsito inevitable disminuyendo de una manera considerable las consecuencias que se puedan generar, formado por diversos accesorios incorporados en el vehículo sin que los ocupantes del vehículo realicen ninguna acción.

Entre los sistemas de seguridad pasiva del automóvil tenemos:

- Cinturones de seguridad

El cinturón de seguridad es un dispositivo que tiene por objetivo el de evitar que los ocupantes del vehículo salgan disparados por el parabrisas

- Pretensores

Los pretensores tienen como objetivo evitar o reducir el desplazamiento del cinturón de seguridad, teniendo en cuenta que el cinturón debe estar colocado lo más cerca posible del ocupante del vehículo.

➤ Asientos

Los asientos tienen como objetivo el de conservar a los ocupantes del vehículo de una manera cómoda y a su vez segura, teniendo dos características fundamentales las cuales son la soportar esfuerzos producidos durante la conducción y absorber la energía de suscitarse un accidente de tránsito.

➤ Apoya cabezas

El apoyacabezas evita que la cabeza se deslice hacia atrás con relación al tronco de los ocupantes del vehículo durante una colisión reduciendo lo máximo posible lesiones y fracturas en las vértebras cervicales de los ocupantes.

➤ Airbags

El funcionamiento del airbag consiste en el momento que se produce un impacto considerable en el vehículo una bolsa que está ubicada entre el volante y el tablero se infla rápidamente mediante un dispositivo en un tiempo considerablemente rápido.

1.5.3. Sistemas de Seguridad Vehicular Preventiva

Los sistemas de seguridad vehicular preventiva son aquellos que tienen por objetivo prevenir o reducir el daño que pueden sufrir los ocupantes de un vehículo cuando se suscite un accidente de tránsito, o antes del mismo.

Hoy en día hay varios dispositivos e indicadores que ayudan al conductor de un vehículo a prevenir accidentes de tránsito, los cuales pueden ser activados manualmente o automáticamente entre los cuales tenemos:

- Limpiaparabrisas.
- Sensores de cierre de puertas.

➤ *Limpiaparabrisas.*

Son escobillas de goma junto a un sistema de motores giratorio y un recipiente con agua, con la que ayuda al desplazamiento correcto de las escobillas, como se muestra en la Figura 7-1, su función es quitar el exceso de agua o suciedad del parabrisas del automóvil, para garantizar la visibilidad del conductor del vehículo, mejorando la atención que debe tener en la vía.



Figura 7-1: Sistema de limpiaparabrisas.

Fuente: <http://www.boschobilitysolutions.es>

➤ Sensores de cierre de puertas.

Los sensores de cierre de puertas son utilizados comúnmente en los sistemas de alarmas vehiculares, y son ubicados en las puertas y en el capó del automotor.

Estos sistemas están integrados por pulsadores como el que se muestra en la Figura 8-1, los cuales generan un pulso positivo o negativo de acuerdo a la configuración que se realice, e indican si alguna puerta está mal cerrada para así evitar que se suscite un percance mientras el automóvil está en movimiento.



Figura 8-1: Ejemplo de un pulsador.

Fuente: <http://www.bmw buddy.com/z/part/61311368430-bmw-door-contact-switch>

Los fabricantes de automóviles para determinar las consecuencias que tienen los accidentes de tránsito han implementado varios dispositivos y realizan distintas pruebas en los vehículos para evaluar la protección que los sistemas brindan a los ocupantes durante una colisión, de igual forma han ubicado sensores en los automotores para determinar el comportamiento del vehículo al estar involucrado en un accidente de tránsito.

1.5.4. Accidentes de tránsito

Los accidentes de tránsito no solo son ocasionados por problemas del vehículo automotor, sino también por factores humanos, ya que el conductor percibe los estímulos procedentes del medio y esto lo interpreta en las acciones que debe tomar en el vehículo.

En la base de datos de la Agencia nacional de Tránsito del Ecuador, se encuentran información concreta sobre el número de fallecidos en accidentes de tránsito en el año 2015, estos datos se pueden apreciar en la tabla 2-1, y nos da una idea bastante clara de la cantidad de pérdidas humanas en este tipo de accidentes, muchas de las cuales se podrían evitar, con un adecuado sistema de seguridad vehicular.

Tabla 2-1: Fallecidos a nivel nacional por accidentes de tránsito en el 2015

Mes	Número de Fallecidos	Porcentaje
Enero	195	9,12%
Febrero	134	6,27%
Marzo	205	9,59%
Abril	160	7,48%
Mayo	188	8,79%
Junio	156	7,30%
Julio	173	8,09%
Agosto	207	9,68%
Septiembre	147	6,88%
Octubre	189	8,84%
Noviembre	185	8,65%
Diciembre	199	9,31%
Total	2138	100,00%

Fuente: <http://www.ant.gob.ec/index.php/descargable/file/3216-fallecidos-septiembre-2015>

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

En el Ecuador el número de fallecidos en el año 2015 es mayor en el mes de agosto, mientras que el menor número de fallecidos sucedió en el mes de febrero, con un total de 2138 vidas perdidas, como se muestra en la Figura 9-1 para mejor apreciación.

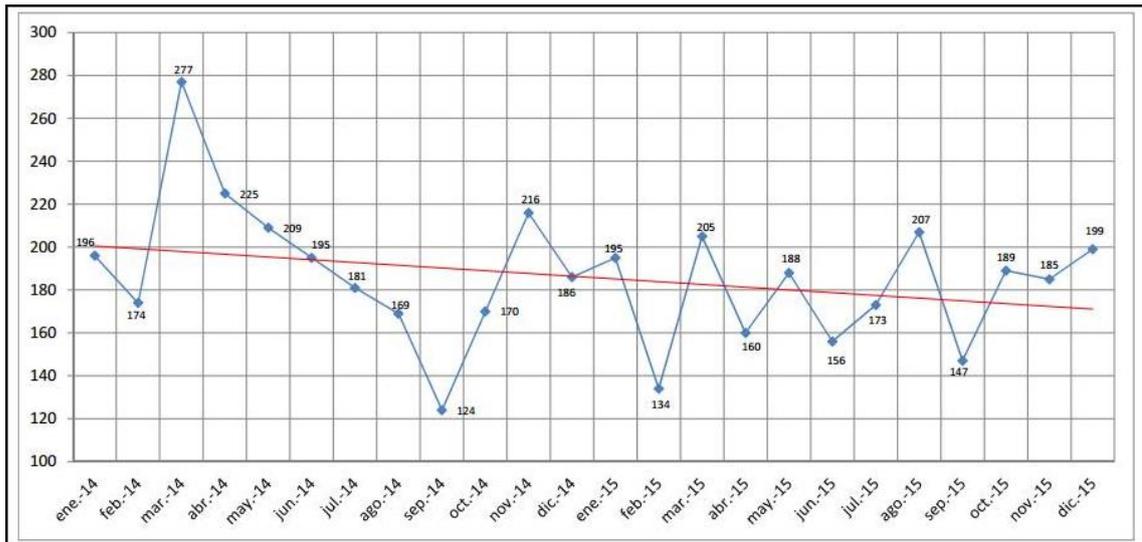


Figura 9-1: Serie cronológica de fallecidos por accidentes de tránsito en el año 2015.

Fuente: <http://www.ant.gob.ec/index.php/descargable/file/3367-fallecidos-diciembre-2015>

Las cifras de personas fallecidas en accidentes de tránsito en el Ecuador, indican que aún existe mucho por hacer en cuanto a los sistemas de seguridad; optimizaciones e instalación de nuevas características que permitan mejorar la protección de los ocupantes y lograr así una reducción en el índice de mortalidad por accidentes de tránsito. Esto ha servido de impulso para el desarrollo del proyecto, el mismo que se pretende implementar en un vehículo para demostrar las ventajas de su aplicación en el área de la seguridad preventiva.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Análisis de la Situación Actual del Vehículo

2.1.1. Descripción del área de operación.

Durante la inspección del área de trabajo donde se implementará el sistema se ha podido observar las condiciones iniciales, de la parte mecánica del automotor así como de la carrocería y sus diferentes accesorios, tomando en cuenta que se va a realizar cambios o modificaciones.

Se puede observar en la Figura 1-2, que el vehículo está en óptimas condiciones para poder realizar la implementación del sistema propuesto.



Figura 1-2: Automóvil donde se implementa el sistema.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.1.1.1. Descripción de la parte mecánica del vehículo

La ubicación del motor es en la parte delantera del automóvil, con un cilindraje de 1600 cc, el tipo de este motor es inline 4cyl, posee 4 válvulas por cilindro, su potencia máxima es de 97,51 HP a 6000 revoluciones por minuto, tracción delantera, transmisión manual, el combustible que utiliza es gasolina.

Consta con indicadores de velocidad, RPM, gasolina, temperatura y batería para controlar el estado del vehículo.

2.1.1.2. Descripción de la carrocería del vehículo

El vehículo consta de 2 asientos delanteros y un asiento posterior para tres pasajeros, los asientos delanteros constan con sus respectivos cinturones de seguridad sencillos, dos parabrisas uno delantero y uno posterior, de igual forma posee 4 puertas laterales, un capó y una cajuela, los cuales no cuentan con ningún tipo de sensor,

➤ *Cinturones de Seguridad*

Los cinturones de seguridad con los que cuenta el vehículo son dos; uno delantero derecho y uno delantero izquierdo, dichos cinturones son los que vienen de fábrica en el vehículo y no cuenta con ningún tipo de sensor que alerte al ocupante del vehículo si el mismo está colocado. En la Figura 2-2 se demuestra la condición inicial del cinturón de seguridad.

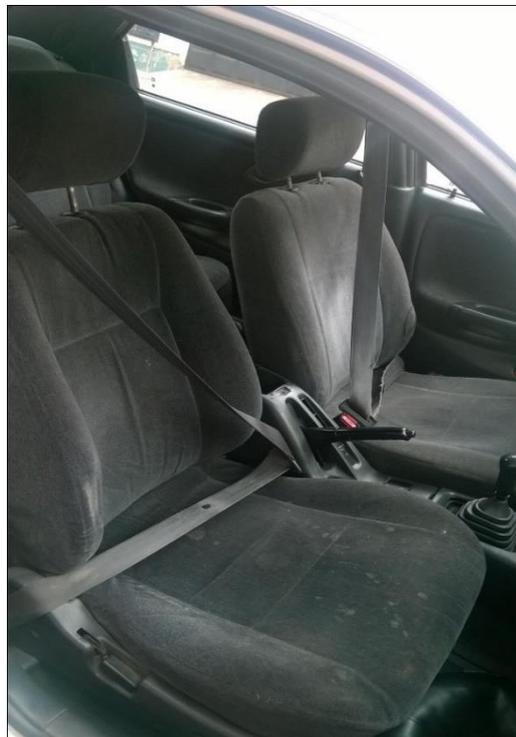


Figura 2-2: Situación inicial de los cinturones de seguridad.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Puertas*

El automotor cuenta con 4 puertas laterales, dos laterales izquierdas y dos laterales derechas, así como también cuenta con un capó y una cajuela, en cuanto tiene que ver con las puertas laterales ninguna posee un sensor de cierre de puertas, indicador o alarma que alerte a los ocupantes del vehículo que las puertas están correctamente cerradas, la situación inicial de las mismas se puede observar en la Figura 3-2.



Figura 3-2: Situación inicial de las puertas del vehículo.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Parabrisas*

El parabrisas con el que cuenta el automóvil es sencillo, sin ninguna alteración, así como el sistema limpiaparabrisas es un sistema de 3 posiciones de velocidad de limpieza, que es activado manualmente por el conductor del vehículo, su situación inicial se puede apreciar en la Figura 4-2.



Figura 4-2: Situación inicial del parabrisas del vehículo.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.2. Diseño de la WSN a Utilizar para el Sistema de Seguridad Vehicular.

2.2.1. Introducción

El diseño del sistema es una parte crucial para el correcto desarrollo del proyecto, en esta fase se analiza la manera en la que serán medidas las variables a considerar, así como la manera en la que será procesada esta información para obtener resultados que van de acorde a las necesidades del sistema, para el diseño de la WSN se tienen bien definidos los requisitos tanto software como hardware para su posterior implementación y montaje.

2.2.2. Definición de las Características de la Red de Sensores Inalámbrica a Utilizarse.

La red de sensores inalámbrica (WSN) basada en el estándar 6LoWPAN que se pretende diseñar para el sistema de seguridad preventivo vehicular está conformada por 5 nodos, separados entre ellos por diferentes distancias, dependiendo de la función que cumpla cada nodo, desde el nodo coordinador están separados 1.30 metros con el nodo sensor más cercano y 1.50 metros con el nodo sensor más lejano, estas distancias se encuentran dentro del rango de cobertura máximo de la señal, la cual es de 10 a 20 metros según las características de la interfaz de radio del estándar IEEE 802.15.4 que se especifican en la Tabla 1-1, por lo que no existen problemas de cobertura del sistema.

En la Figura 5-2 se muestra más claramente la distribución de los nodos en el sistema.

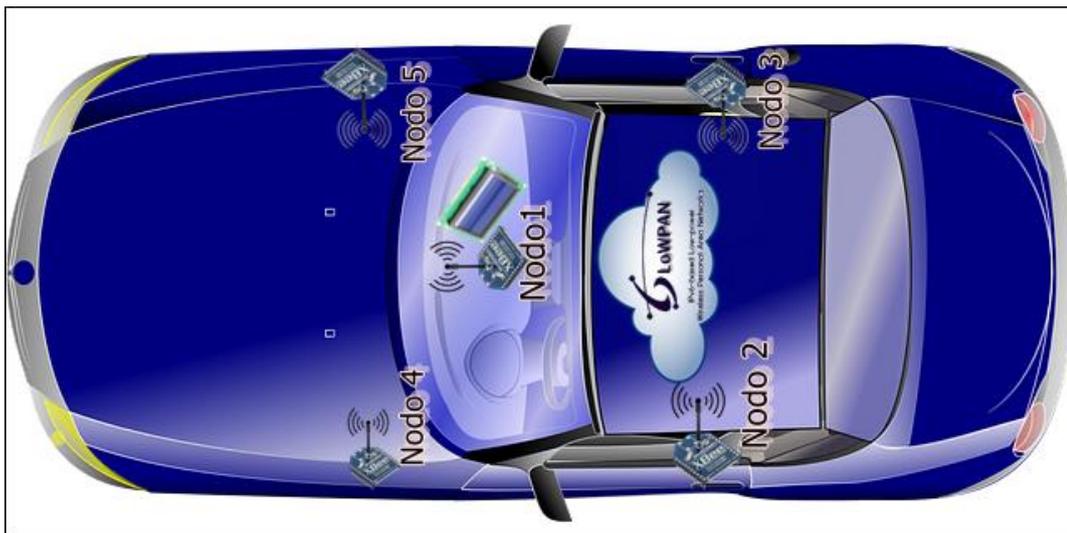


Figura 5-2: Distribución de los nodos de la WSN en el área de operación.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Para el sistema se establecieron cuatro procesos fundamentales, los cuales son: obtención de datos, transmisión de datos, procesamiento de la información y respuesta del sistema.

Las variables a medir están claramente definidas, el porcentaje de humedad en la calzada, el porcentaje de visibilidad del parabrisas, velocidad del vehículo, estado de los cinturones de seguridad, puertas y capó del vehículo y ángulo de giro del volante.

Luego de la obtención de los datos mediante los sensores, la información es enviada al nodo coordinador para determinar la medida de corrección que se tomará mediante la utilización de actuadores que permitan reforzar la seguridad preventiva en el sistema vehicular.

La topología empleada para el diseño de este sistema es la topología tipo estrella, debido a que todos los nodos sensores necesitan conectarse con el nodo coordinador, formando esta topología, además es la más utilizada en este tipo de redes.

El sistema puede funcionar de dos modos, el primer modo entra en funcionamiento, cuando el vehículo se encuentra apagado, entonces el sistema toma medidas de los distintos sensores, y no permite encender el vehículo en caso de exista alguna alerta activa en el mismo, es decir en caso de no tomar las medidas de seguridad correspondientes antes de poner en marcha el vehículo, una vez que se han tomado todas las medidas preventivas, el vehículo encenderá sin problema.

El segundo modo de funcionamiento se activa cuando el vehículo se ha puesto en marcha, en este modo de funcionamiento, todos los nodos están tomando medidas de sus sensores, de manera que si existiese alguna eventualidad con las variables antes mencionadas, como puede ser exceso de velocidad, cinturones o puertas mal aseguradas, poca visibilidad en el parabrisas, o alta velocidad en calzada húmeda, en curva o en recta, si excede los límites permitidos en ciudad o en carretera, se activará una alarma de aviso de voz que dictará con claridad cuál es la eventualidad que requiere la intervención de los ocupantes e indicará la misma alerta en una pantalla LCD, una vez solucionada la eventualidad, la alerta se silencia y el sistema sigue monitoreando normalmente, pero en caso de no ser atendida dicha eventualidad en un periodo máximo de 10 segundos, el sistema activa un limitador de revoluciones del motor, con la intención de impedir la aceleración del vehículo, hasta que el problema sea atendido, entonces el sistema de bloqueo se desactiva y el vehículo podrá seguir su marcha sin exceder el límite de velocidad y cumpliendo con las normas de seguridad preventiva planteadas por el sistema.

2.2.3. Simulación de la WSN en el software Cooja

En la etapa de simulación de la WSN mediante Cooja se realiza un escenario en el software antes mencionado en el cual se puede simular la red propuesta para una mejor comprensión de la transmisión de datos.

2.2.3.1. Diseño del Escenario de la WSN en el software Cooja.

El escenario en el simulador Cooja se realizó tomando en cuenta los nodos necesarios para la WSN que se pretende implementar, los cuales constan de un nodo central o coordinador y cuatro nodos sensores.

El direccionamiento de los nodos, Cooja lo realiza automáticamente con direcciones IPv6, mientras que las características de cada nodo se lo realiza en el editor del programa.

En la Figura 6-2, se puede observar el posicionamiento de los nodos en el escenario de simulación, al igual que se resalta el nodo coordinador que esta descrito con el número 1, así como los demás nodos sensores.

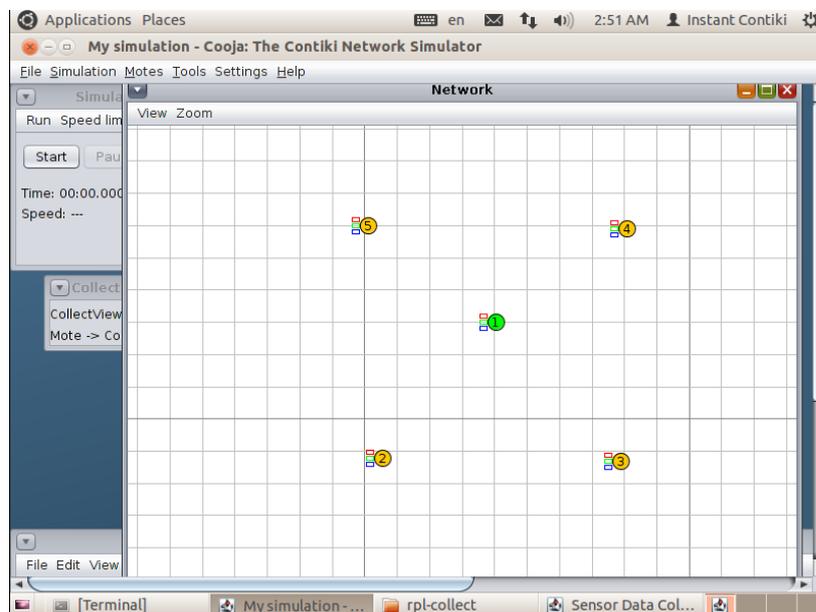


Figura 6-2: Escenario de la WSN en el software Cooja.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Una de las opciones de simulación de Cooja es la de mostrar el radio de cobertura de transmisión de cada nodo, como se muestra en la Figura 7-2.

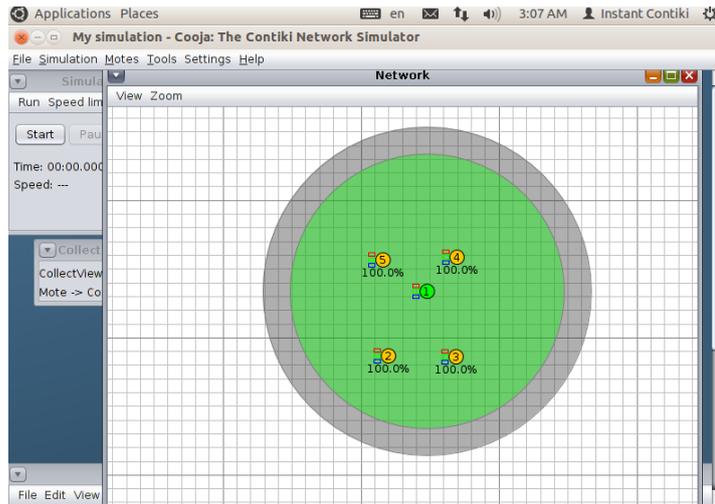


Figura 7-2: Simulación del Rango de cobertura de la WSN en Cooja.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.2.3.2. Obtención de resultados de la simulación de la WSN en Cooja.

Existe varios parámetros para la obtención de resultados de la simulación realizada en Cooja, entre los principales a tomar en cuenta son la inicialización del stack de IPv6, en la Figura 8-2 se puede observar la inicialización del nodo, entre los datos a observar se puede identificar la dirección de red IPv6 del nodo en análisis, la respectiva dirección MAC, de igual forma el puerto por el cual se va a comunicar con los demás nodos.

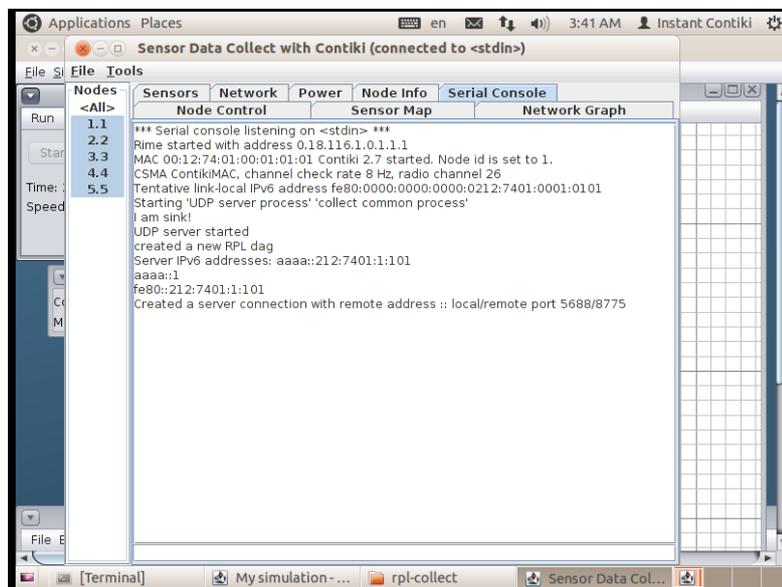


Figura 8-2: Simulación de inicialización del Stack de IPv6 de un nodo en Cooja.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Otra de los parámetros a observar en Cooja es la dirección de destino de los datos de los nodos sensores como se puede observar en la Figura 9-2, los nodos 2.2, 3.3, 4.4 y 5.5 envía los datos

hacia el nodo 1.1, lo cual se indica con una pequeña flecha al extremo de la dirección de envío de los paquetes, realizando así la comunicación desde los nodos sensores hacia el nodo coordinador.

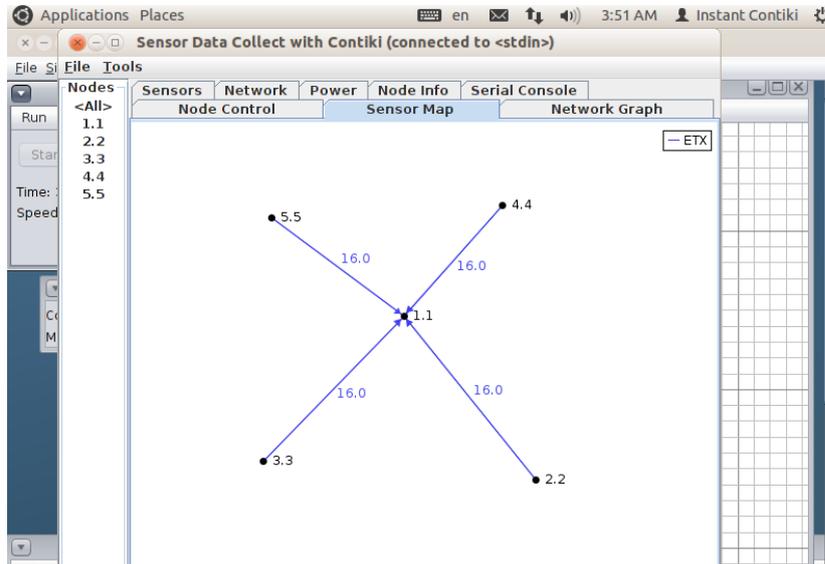


Figura 9-2: Simulación del envío de datos de los nodos en Cooja.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Otra herramienta que presta el software de simulación de WSN Cooja es el analizador de consumo de energía, como se puede observar en la Figura 10-2, dicho consumo es relativamente bajo, solo al momento del envío de información se produce una leve elevación del consumo de energía.

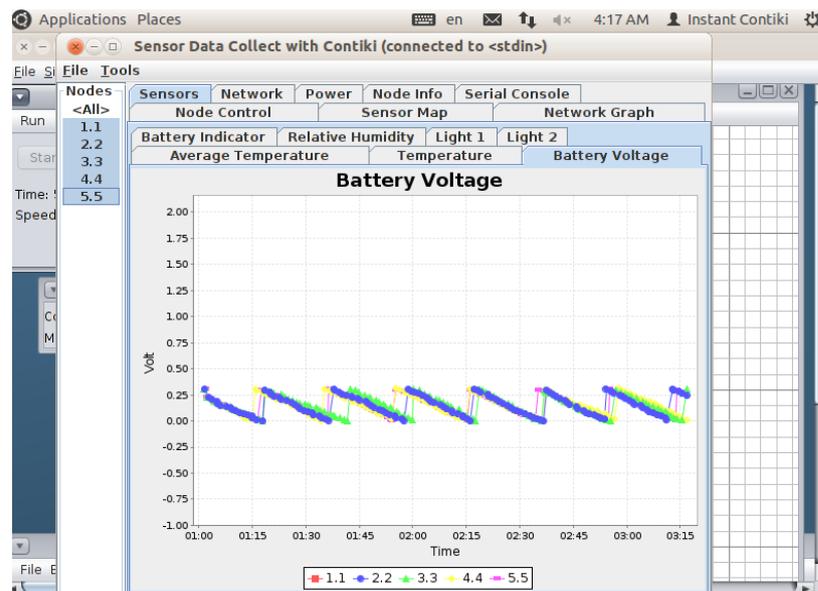


Figura 10-2: Simulación del consumo de energía de los nodos en Cooja.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Otra herramienta que presenta Cooja es una ventana de información donde se muestra información detallada de los nodos, como la métrica y las potencias de transmisión y más datos que se muestra en la Figura 11-2.

Node	Received	Rtmtrc	ETX	LPM Power	Listen Power	Transmit Power	Power
1.1	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.2	136	400.360	16....	0.153	0.375	0.011	0.871
3.3	136	400.449	16....	0.153	0.376	0.013	0.875
4.4	136	400.382	16....	0.153	0.376	0.011	0.872
5.5	136	400.662	16....	0.153	0.377	0.012	0.874
Avg	136.000	400.463	16....	0.153	0.376	0.012	0.873

Figura 11-2: Ventana de Información detallada de los nodos en Cooja.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.2.4. Diseño de la Configuración de la WSN para el Sistema de Seguridad.

2.2.4.1. Direccionamiento

El direccionamiento de cada nodo va acorde a la dirección de IPv6 que tiene cada uno de los módulos de comunicación inalámbrica, lo que se configura en Contiki es el prefijo que se quiere utilizar para cada red de sensores inalámbricos, en este caso el prefijo de red es 0xfe80::/64, la dirección de cada mota se conforma por el prefijo y la dirección MAC del módulo XBee, de esta manera se asegura que ningún nodo tenga una dirección repetida, la dirección del módulo se puede observar en la parte inferior del mismo, como se observa en la Figura 12 – 2 cuya dirección sería (0xfe80,0x0000,0x0000,0x0000,0x0013,0xA200,0x40DC,0x161A).



Figura 12-2: Direcciones del Módulo XBee

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

De esta manera se forman las direcciones de cada nodo sensor y el nodo coordinador, quedando el conjunto de direcciones de cada nodo como se muestra en la tabla 1-2 y el código necesario para configurar las direcciones en los nodos se puede apreciar en el Anexo A.

Tabla 1-2: Dirección IPv6 de cada nodo.

Número de nodo	Dirección IPv6
Nodo Sensor 1	0xfe80,0x0000,0x0000,0x0000,0x0013,0xA200,0x40B8,0xEF39
Nodo Sensor 2	0xfe80,0x0000,0x0000,0x0000,0x0013,0xA200,0x40DC,0x160C
Nodo Sensor 3	0xfe80,0x0000,0x0000,0x0000,0x0013,0xA200,0x40DC,0x161B
Nodo Sensor 4	0xfe80,0x0000,0x0000,0x0000,0x0013,0xA200,0x40DC,0x161A
Nodo Coordinador	0xfe80,0x0000,0x0000,0x0000,0x0013,0xA200,0x40BB,0x197C

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.2.4.2. Constitución del Vector de Información.

El vector de información es un campo de la trama de UDP que estructura el Sistema Operativo Contiki para posteriormente ser enviada mediante en estándar 6LoWPAN, este campo está conformado por todos los datos recolectados por el nodo sensor correspondiente, y es enviado al nodo coordinador, en donde se descomponen los distintos campos y se extraen los datos para su procesamiento, a continuación se especifican los datos que son enviados en cada campo del vector de información de cada nodo señor.

➤ *Estructura del Vector de Información del Nodo Sensor 1*

En este nodo se envía las lecturas de los sensores de contacto magnético de las puertas y cinturón de seguridad derecho delantero del vehículo, la estructura de dicho vector se puede apreciar en la Tabla 2-2, el código necesario para configurar este nodo se encuentra en Anexo B, en donde se puede apreciar de mejor manera como se estructura el vector de información para este nodo sensor.

Tabla 2-2: Estructura del vector de información del nodo sensor 1.

POSICIÓN	0	1	2
Contenido	0 o 1	0 o 1	0 o 1
	Bit que indica el estado del sensor de la puerta delantera derecha	Bit que indica el estado del sensor de la puerta posterior derecha	Bit que indica el estado del sensor del cinturón de seguridad delantero derecho

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Estructura del Vector de Información del Nodo Sensor 2*

Para el segundo nodo, la estructura del vector de información contiene los mismos campos que la estructura del vector de información del nodo sensor uno, pero lleva información de la parte izquierda del vehículo, como se muestra en la Tabla 3-2, el código necesario para configurar este nodo se encuentra en Anexo B, en donde se puede apreciar de mejor manera como se estructura el vector de información para este nodo sensor.

Tabla 3-2: Estructura del vector de información del nodo sensor 2.

POSICIÓN	0	1	2
Contenido	0 o 1	0 o 1	0 o 1
	Bit que indica el estado del sensor de la puerta delantera izquierda	Bit que indica el estado del sensor de la puerta posterior izquierda	Bit que indica el estado del sensor del cinturón de seguridad delantero izquierdo

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Estructura del Vector de Información del Nodo Sensor 3*

Envía datos más variados, que conforman un solo dato, que será la velocidad del vehículo, pero separada por dígitos para hacer más fácil su procesamiento en el nodo coordinador, además la posición 0 del vector indica el estado del sensor de capó, los valores que puede tomar cada posición se muestran en la Tabla 4-2, el código necesario para configurar este nodo se encuentra en el Anexo C, en donde se puede apreciar de mejor manera como se estructura el vector de información para este nodo sensor.

Tabla 4-2: Estructura del vector de información del nodo sensor 3.

POSICIÓN	0	1	2	3
Contenido	0 o 1 Bit que indica el estado del capó.	Valores entre 0 y 9 que indican el primer dígito de la velocidad del vehículo.	Valores entre 0 y 9 que indican el segundo dígito de la velocidad del vehículo.	Valores entre 0 y 9 que indican el tercer dígito de la velocidad del vehículo.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Estructura del Vector de Información del Nodo Sensor 4*

La estructura del vector de información de este nodo es un tanto diferente a la de los nodos inferiores, ya que cuenta con un bit identificador, el cual permite diferencial el origen de la información, si se encuentra en “0” la información proviene del sensor de agua del parabrisas, si se encuentra en “1” la información proviene del sensor de agua del guardafangos, los siguientes campos envían la información tomada de cada sensor como se muestra en la Tabla. 5-2, el código necesario para configurar este nodo es muy similar al que se encuentra en Anexo A, en donde se puede apreciar de mejor manera como se estructura el vector de información para este nodo sensor.

Tabla 5-2: Estructura del vector de información del nodo sensor 4.

POSICIÓN	0	1	2
Contenido	0 o 2 Bit identificador, utilizado para indicar el sensor de humedad del cual provienen los datos.	Valores entre 0 y 9 que indican el primer dígito del porcentaje de humedad de uno de los sensores.	Valores entre 0 y 9 que indican el segundo dígito del porcentaje de humedad de uno de los sensores.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.2.4.3. Comportamiento de los Nodos

Tanto el nodo sensor como el nodo coordinador cumplen diferentes tareas posteriores al arranque del sistema, las tareas que se ejecuten antes del arranque del mismo, serán las mismas sin importar el tipo de nodo.

➤ *Proceso de Arranque del Sistema*

El proceso de arranque del sistema es el mismo para todos los nodos, sin importar como estén configurados, el primer paso para el arranque del sistema es la llamada a las librerías de Contiki para posteriormente poder llamar a todas las funciones necesarias, el segundo proceso es inicializar el puerto UDP del sistema para permitir el envío de datos, luego se calcula la memoria restante en el dispositivo para verificar que exista espacio suficiente para llamar a las funciones de inicialización del stack de IPv6, luego comprueba que la placa Arduino esté adecuadamente conectada al módulo de comunicación XBee, para apreciarlo de mejor manera se muestra en la Figura 13-2 un diagrama de flujo de las principales funciones en el proceso de arranque del sistema, y en los Anexos A, B y C se puede apreciar el código necesario para configurar este proceso en cada nodo.

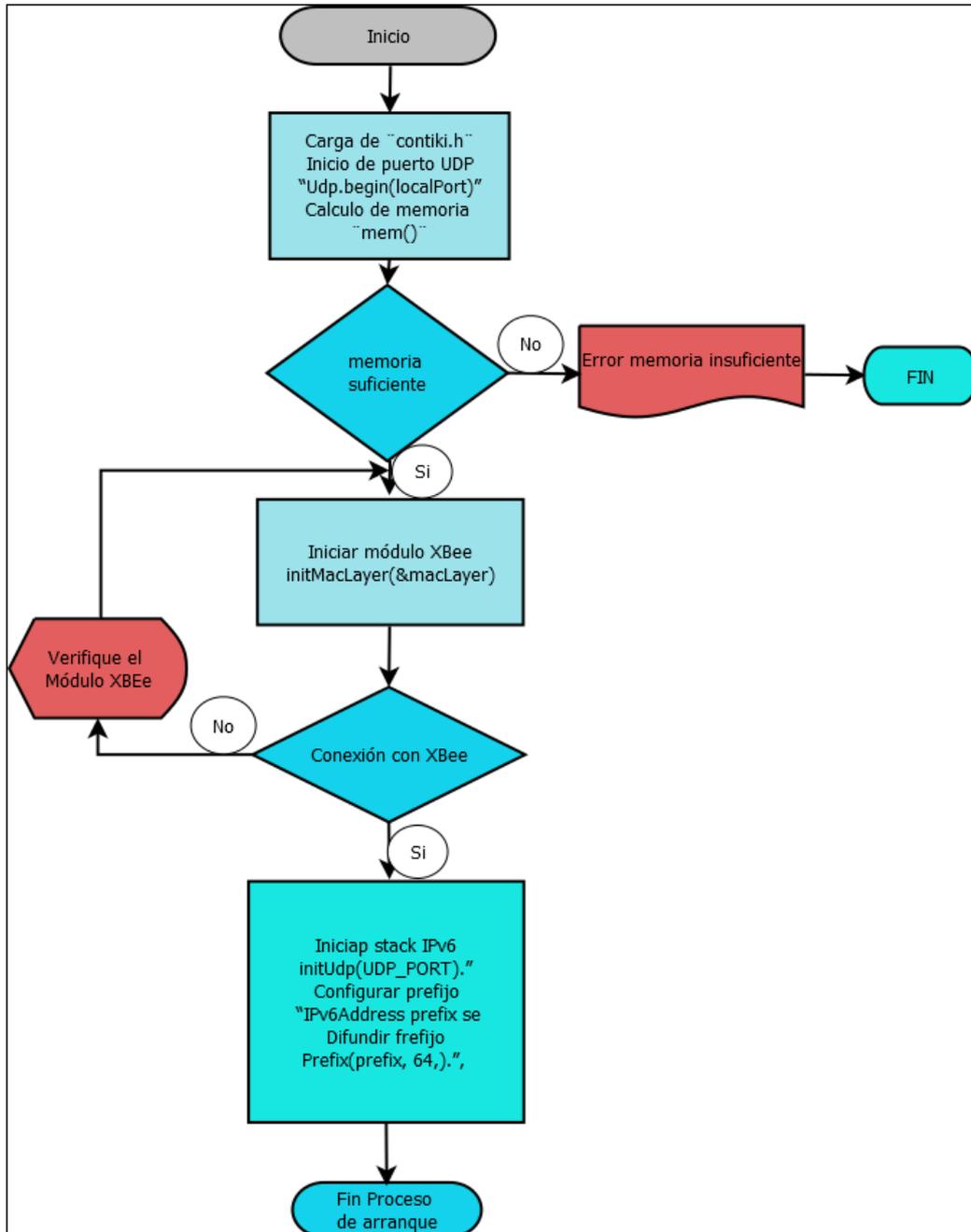


Figura 13-2: Proceso general de arranque los nodos.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Hasta este proceso, la ejecución de Contiki permanece igual en todos los dispositivos, de aquí en adelante las tareas a ejecutarse dependen del tipo de configuración que se haya implementado en el dispositivo.

➤ *Proceso de Descubrimiento de Neighbors*

Este proceso comienza inmediatamente luego del proceso de arranque, en donde el nodo coordinador entra en un bucle de envío de mensajes para sincronización y descubrimiento de vecinos, enviando periódicamente un mensaje UDP especificando el prefijo de red para que los nodos que lo reciban puedan configurarse y unirse a la red, una vez que se descubre un vecino, este envía un mensaje de sincronización para establecer la conexión con el nodo coordinador y el nuevo nodo pasa a formar parte de la tabla de vecinos del nodo coordinador, con toda la información de la conexión con el mismo, como dirección IPv6, puerto de conexión entre otros, entonces el nodo coordinador está listo para recibir datos de los nodos que se agreguen a su tabla pero sin dejar de enviar periódicamente su mensaje de descubrimiento de vecinos para posteriores hallazgos.

Este proceso se puede apreciar en la Figura 14-2 que muestra el diagrama de flujo del mismo, y en el Anexo A se puede apreciar el código necesario para configurar este proceso en el nodo coordinador.

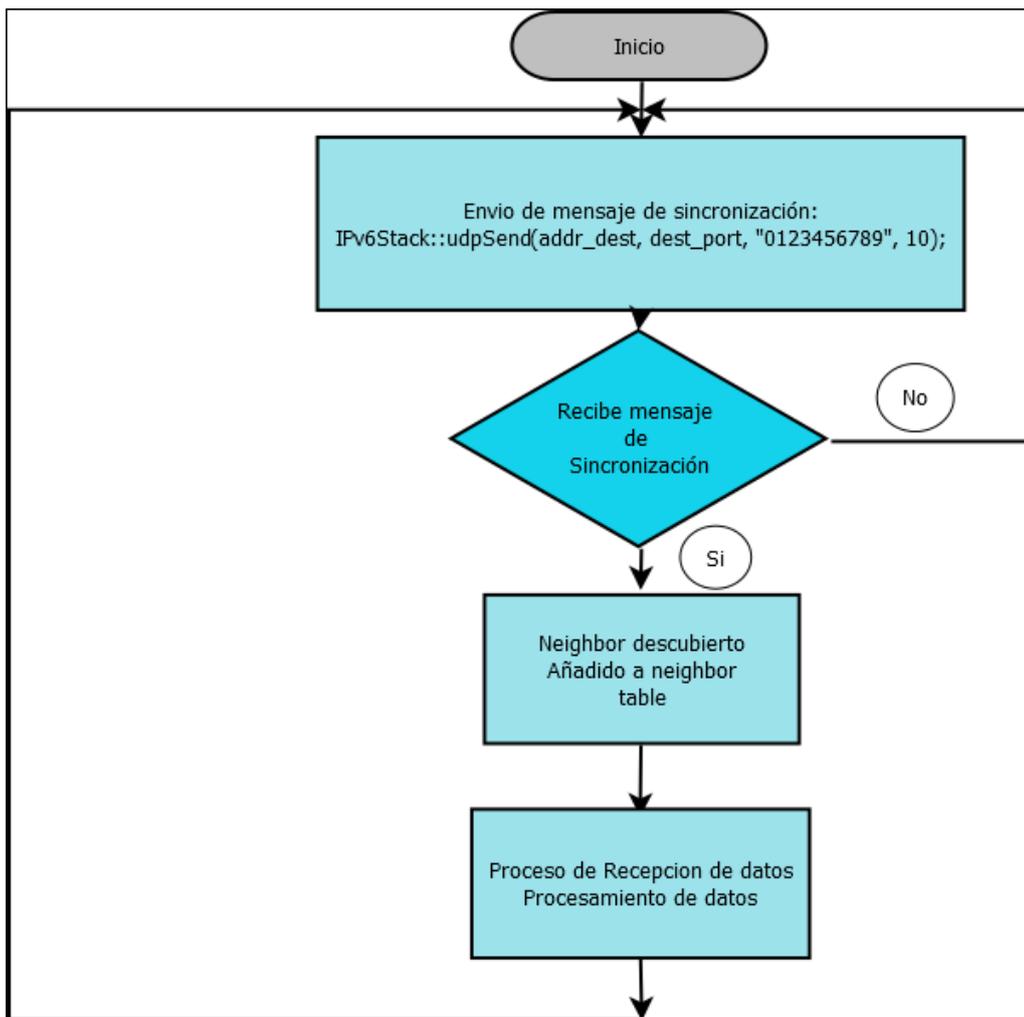


Figura 14-2: Proceso descubrimiento de nodos vecinos.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Recepción y Procesamiento de Datos Provenientes del Nodo 1*

Estos procesos los cumple únicamente el nodo coordinador, el nodo está constantemente verificando si existen datagramas entrantes por medio de su interfaz de radio, una vez que detecta un datagrama entrante, lo primero que hace es verificar la procedencia del paquete, es decir identifica de qué nodo proviene para posteriormente decidir qué hacer con esa información.

Si el datagrama proviene del nodo sensor 1, se lee los datos del vector de información de los campos 0, 1 y 2, los campos 0 y 1 son bits que indican el estado de los sensores de las puertas, la lectura del campo 2 indica el estado del cinturón de seguridad derecho delantero.

Si uno de los bits, ya sea de la posición 0, 1 o 2 es “0”, se activa la función “alarma” que activa las alertas del sistema, si el valor de todos los campos es “1” de desactiva esta función y se continúa con el bucle de recepción y procesamiento de datos, todo este proceso se explica en el diagrama que se muestra en la figura 15-2, y en el Anexo A se puede apreciar el código necesario para configurar este proceso en el nodo coordinador.

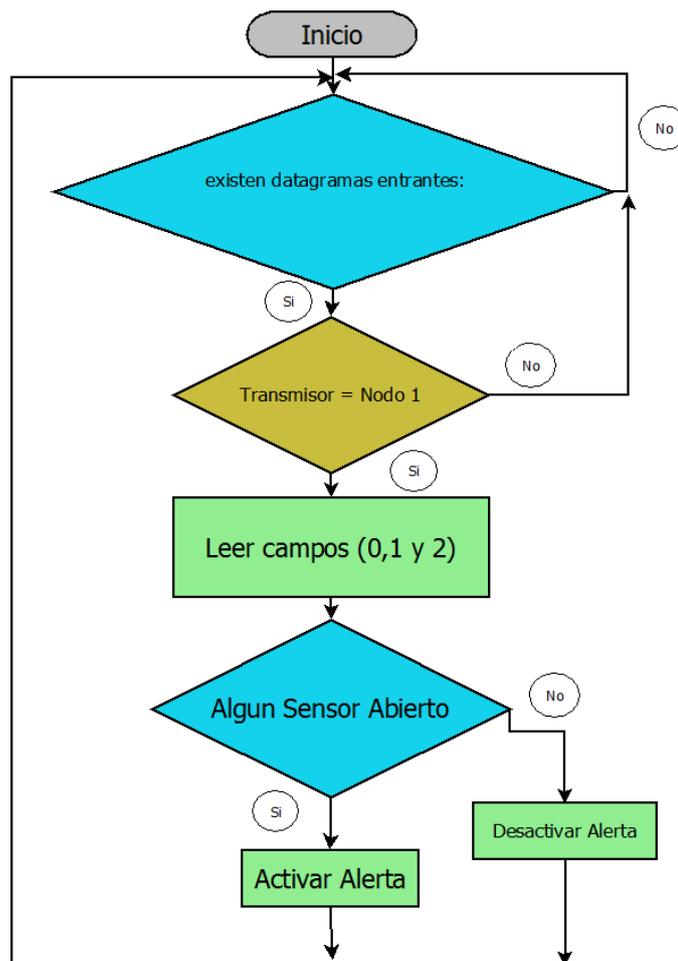


Figura 15-2: Proceso si datos provenientes del nodo 1.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Recepción y Procesamiento de Datos Provenientes del Nodo 2*

Cuando el datagrama que ingresa al nodo coordinador proviene del nodo 2, el nodo coordinador realiza las mismas funciones que cuando el datagrama proviene del nodo 1, este proceso se muestra en el diagrama de flujo en la Figura 16-2, y en el Anexo A se puede apreciar el código necesario para configurar este proceso en el nodo coordinador.

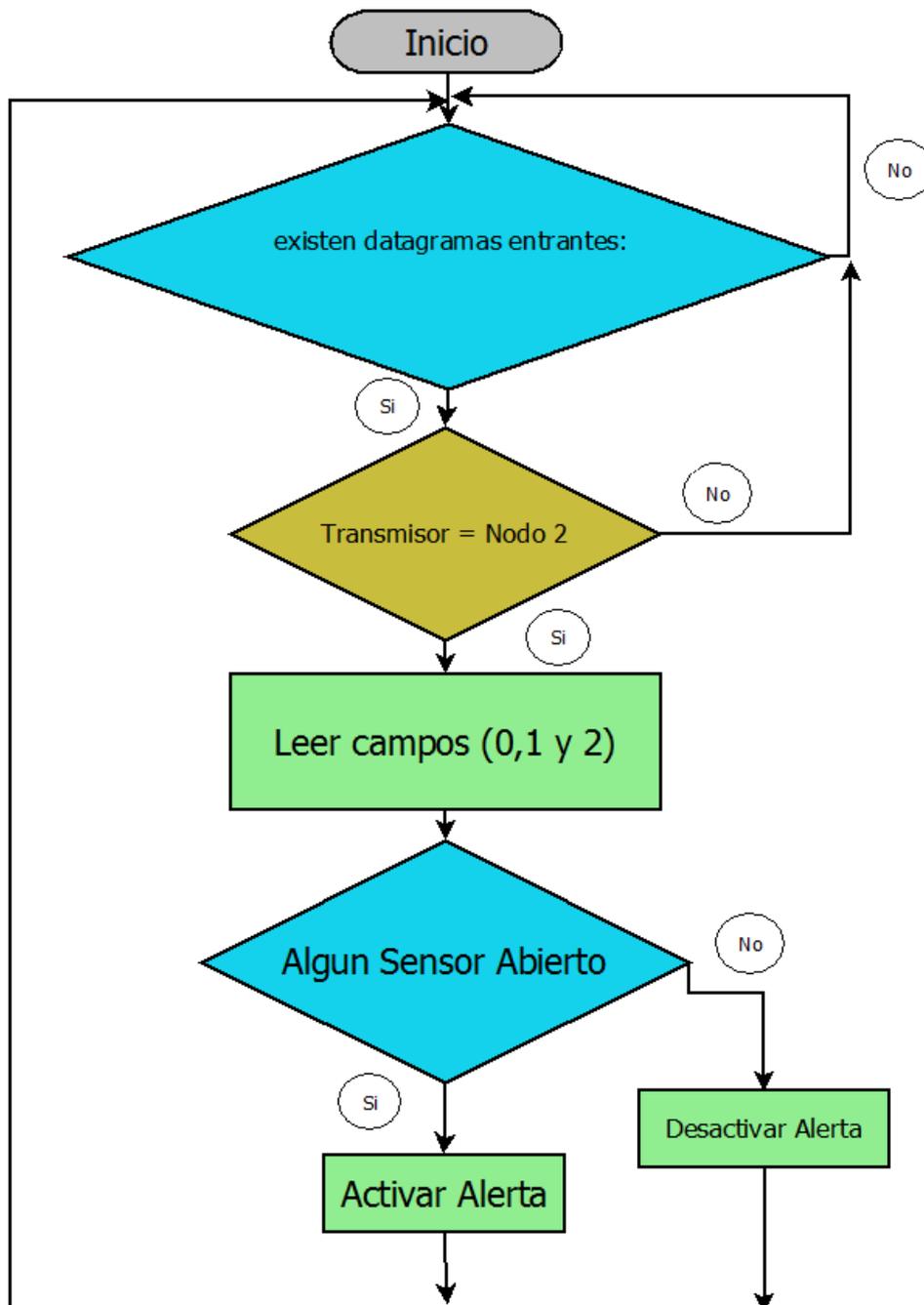


Figura 16-2: Proceso si datos provenientes del nodo 2.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Recepción y Procesamiento de Datos Provenientes del Nodo 3*

Las funciones preparadas para la recepción de datos provenientes del nodo 3 es la más sencilla de todas, el vector de información contiene posiciones, 0, 1, 2 y 3 en cada posición del 1 al 3 viene un dígito y entre los tres forman el valor de la velocidad, si este valor sobrepasa los límites establecidos, se activa la función “alarma”, si la velocidad es menor dichos límites, la función se desactiva, en cuanto a la posición cero activa la función “alarma” si el valor es cero, y la desactiva si el valor en uno, este campo indica el estado del sensor del capó.

El comportamiento del nodo coordinador si la información proviene del tercer nodo se aprecia mejor en la Figura 17-2, la misma muestra un diagrama de flujo de las tareas a realizar, y en el Anexo A se puede apreciar el código necesario para configurar este proceso en el nodo coordinador.

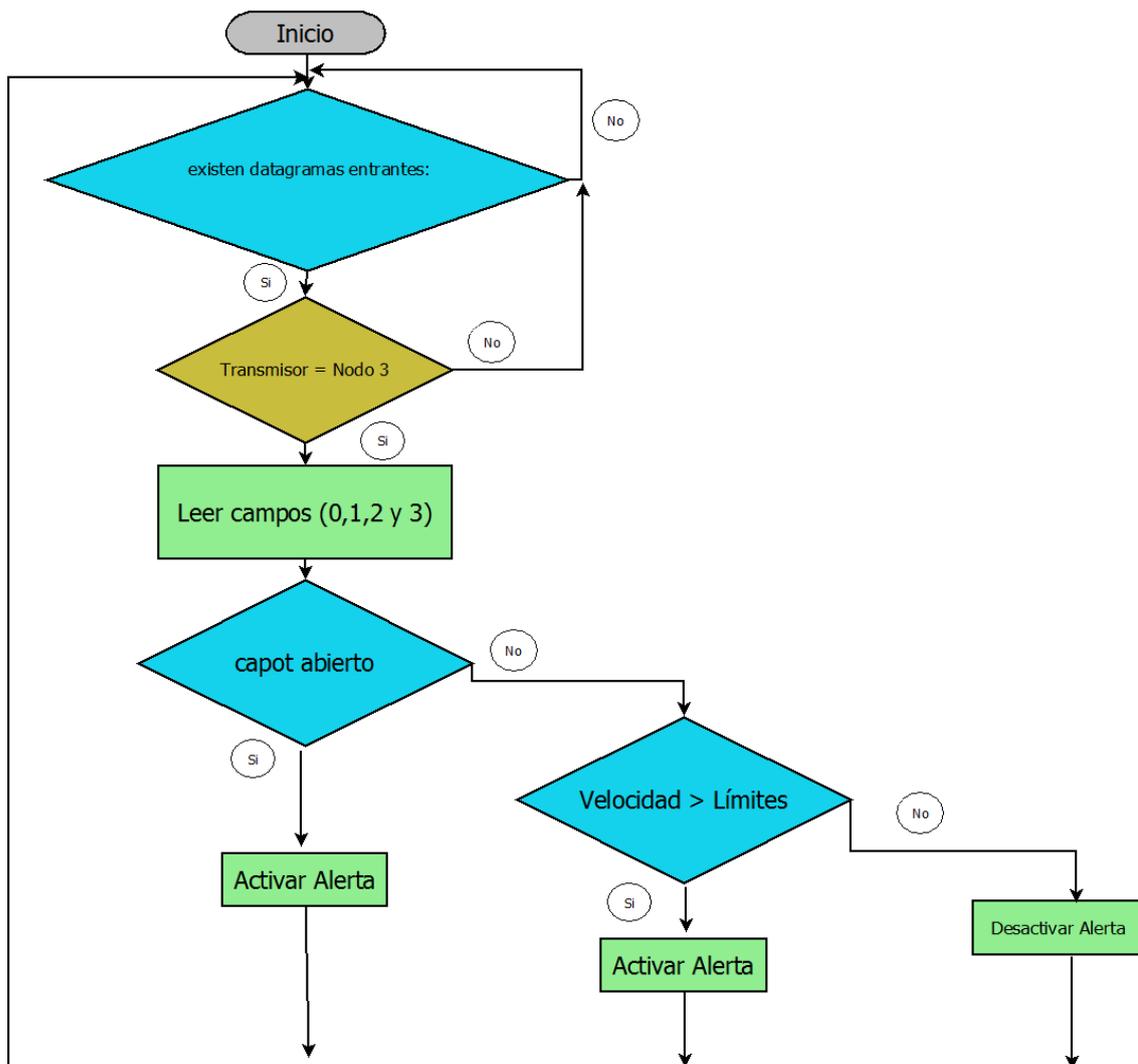


Figura 17-2: Proceso si datos provenientes del nodo 3.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Recepción y Procesamiento de Datos Provenientes del Nodo 4*

En el caso de que el datagrama provenga del nodo 4, el sistema considera el campo 0 del vector de información, si este campo tiene el valor de “0”, la humedad, proviene del sensor de agua del parabrisas, si el valor es “2”, la lectura será del sensor de agua del guardafangos.

Si la humedad calculada en los campos 1 y 2 del datagrama, correspondientes a los sensores del parabrisas o guardafangos sobrepasa el 80%, la función “alarma” se activa, en caso contrario permanece desactivada o se desactiva si estuvo previamente activada, este proceso se muestra más claramente en la Figura 18-2, y en el Anexo A se puede apreciar el código necesario para configurar este proceso en el nodo coordinador.

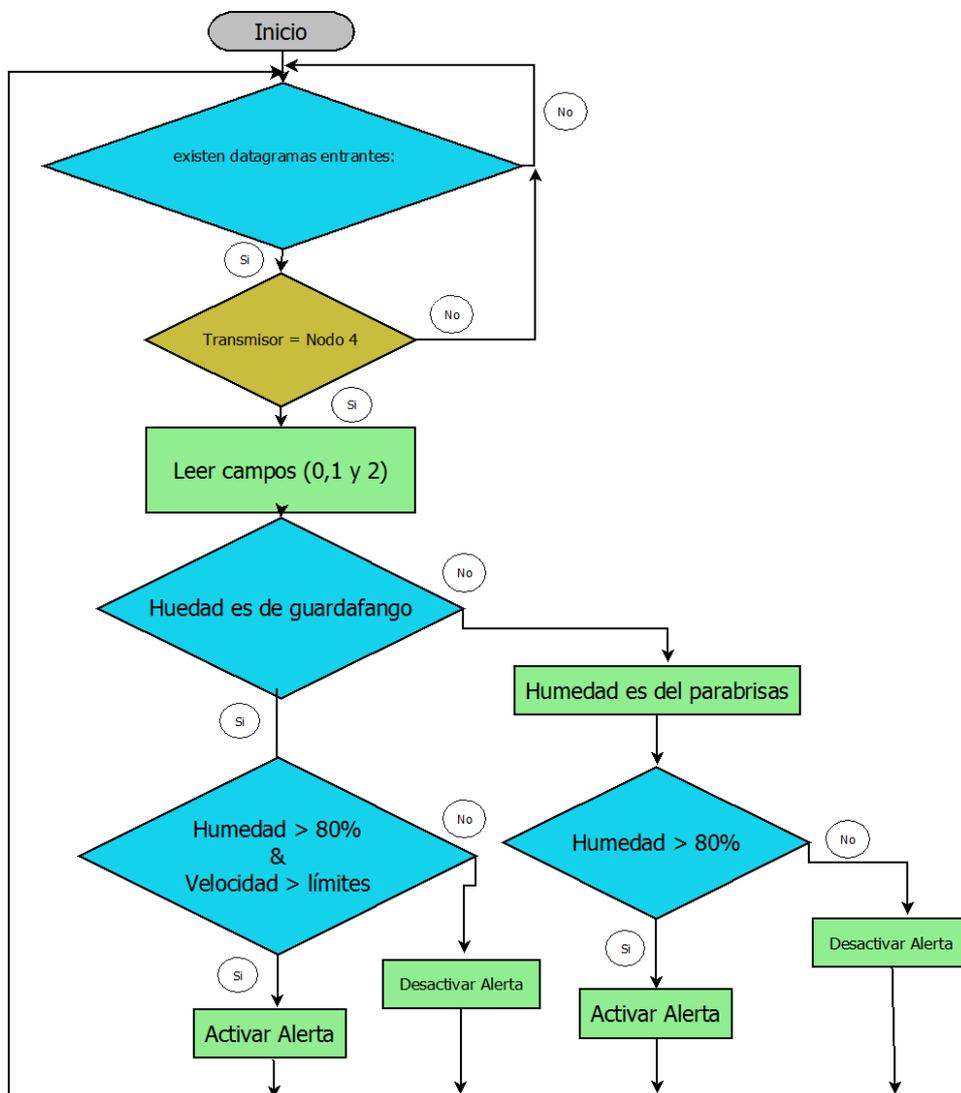


Figura 18-2: Proceso si datos provenientes del nodo 4.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

➤ *Proceso de Activación de Actuadores.*

El nodo coordinador es quien controla los actuadores del sistema, los actuadores son de dos tipos, y dependen del estado de encendido del vehículo, así tenemos dos alternativas, cuando el vehículo está apagado, se activa el actuador 2, que bloquea el encendido, pero si el vehículo está encendido se activa el actuador 1, que es el limitador de velocidad. Los actuadores se activan, cuando se activa la función “alarma” en alguna circunstancia antes mencionada.

El proceso para la activación de los actuadores del sistema se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 19-2 y en el Anexo A se puede apreciar el código necesario para configurar este proceso en el nodo coordinador.

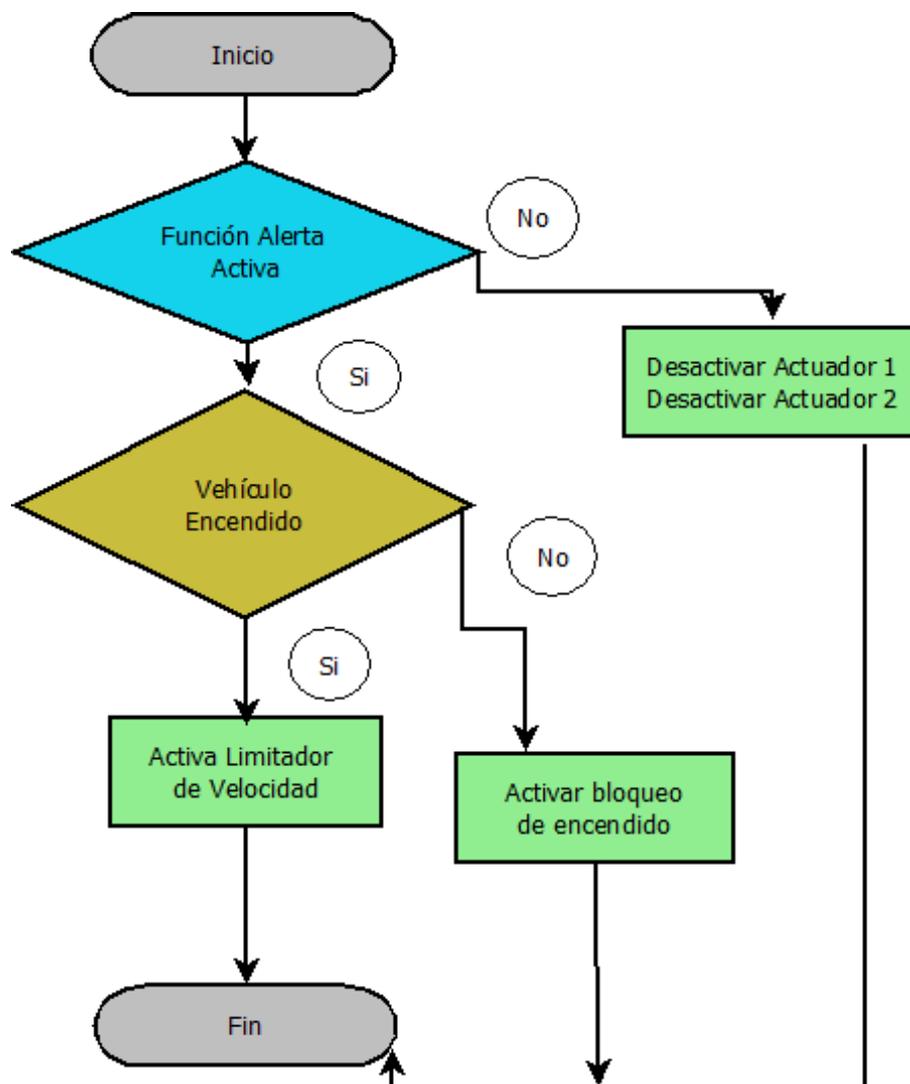


Figura 19-2: Proceso de activación de la Función “Alarma”.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.3. Selección del Software para el Desarrollo Sistema de Seguridad Vehicular.

En esta etapa se describe todas las herramientas software necesarias para el desarrollo, configuración de las placas programables Arduino y configuraciones en los módulos XBee, todos los programas requeridos para estas actividades se detallan a continuación.

2.3.1. XCTU

XCTU es un programa que provee de una interfaz gráfica para la configuración de los módulos de comunicación inalámbrica XBee fabricados por DIGI sobre Windows, cuenta con varias opciones que facilitan la comunicación serial con dichos dispositivos, además provee de un terminal parecido al de aplicaciones como putty o hyper terminal, en el cual se puede enviar datos mediante la comunicación serial. Su interfaz gráfica se puede observar en la Figura 20-2.

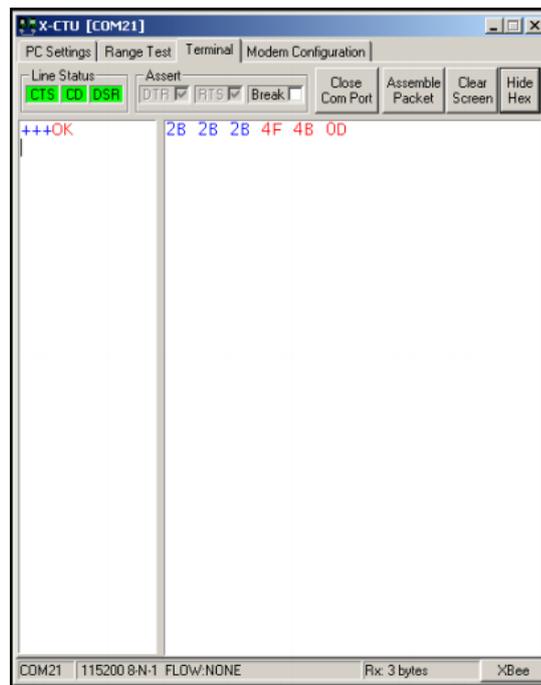


Figura 20-2: Interfaz gráfica del Software XCTU.

Fuente: https://www.cse.msu.edu/~dennisp/SeismicNode/docs/90001003_A.pdf

El programa muestra todas las características del dispositivo conectado al puerto COM que le asigne el pc, mediante la herramienta “test query” detecta automáticamente el módulo y mediante la opción “READ” lee todos los valores configurados actualmente en el módulo, también permite borrar la configuración actual y cambiar el valor de las variables de configuración para grabarlos en el dispositivo, para poder acceder correctamente al dispositivo se necesita que la configuración

del puerto COM asignado al dispositivo, coincida con el número de puerto COM que está configurado en el programa.

2.3.2. *Arduino Software (IDE)*

Arduino IDE es el software de programación de todas las placas programables Arduino, provee soporte para configurar todas las versiones de este dispositivo y facilita su uso con un sinnúmero de librerías y ejemplos de fácil comprensión si se tiene los conocimientos básicos de programación, permite realizar programas llamados sketch, para luego grabarlos en la placa, la interfaz del programa se lo puede apreciar en la Figura 21-2.

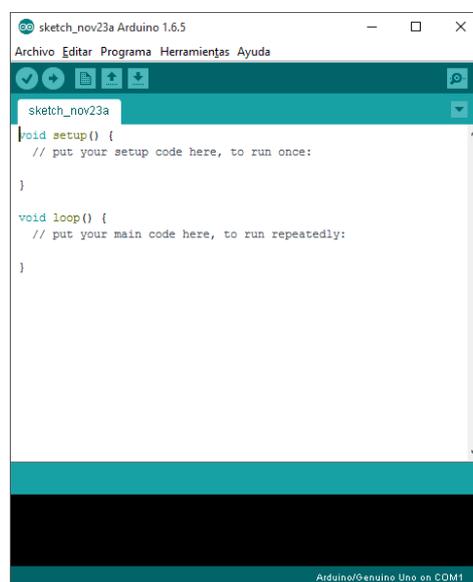


Figura 21-2: Interfaz de Arduino IDE.

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

2.4. Selección de Hardware para el Desarrollo Sistema de Seguridad Vehicular.

En esta etapa se establecen los diseños de la infraestructura física de la red de sensores inalámbricos que permitirán implementar el sistema de seguridad vehicular.

2.4.1. *Alternativas para sensores de contactos de puertas, y capó.*

➤ *Modelo estándar de contacto de las puertas y capó*

El modelo estándar que comúnmente es utilizado para detectar si las puertas o capó de un vehículo se encuentran abiertas o cerradas, se puede apreciar en la Figura 22-2, como se sabe estos

contactos vienen incorporados en el vehículo desde fábrica, y su precio se encuentra alrededor de 2,5 dólares.



Figura 22-2: Contacto estándar de puertas y capó del auto.

Fuente: <http://es.aliexpress.com/w/wholesale-car-door-sensor.html>

Estos contactos, no tienen mucho tiempo de vida útil, debido a que ocurre un gran desgaste por el golpe de las puertas y capó del auto sobre el pequeño contacto, ocasionando fallos en su funcionamiento.

➤ *Sensor de contacto magnético*

Estos dispositivos, cumplen la misma función que los contactos mecánicos que vienen de fábrica en el vehículo, su precio es aproximado a su similar, 2,8 dólares, a diferencia del modelo estándar, tienen un activador magnético que se coloca en la puerta del vehículo, el cual activa o desactiva el sensor dependiendo del estado de la puerta.

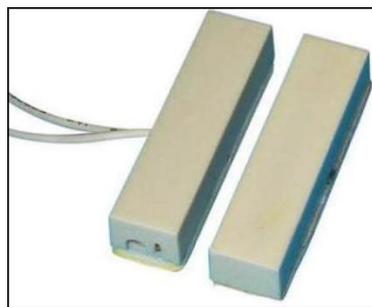


Figura 23-2: Sensor de contacto magnético.

Fuente: <http://gammaelectronica.com.ar/?p=496>

Como se puede apreciar en la Figura 23-2, el sensor se encuentra dentro de una cápsula de plástico, completamente cerrada, lo cual impide el ingreso de elementos externos al dispositivo, además no requiere que los dispositivos se encuentren demasiado cerca ya que detecta la señal

del activador magnético a 2.5 cm de separación, por lo que no requiere que la puerta o el capó golpee el sensor, evitando desgastes sobre el mismo, obteniendo mayor vida útil del dispositivo, es por esto estas características que se ha elegido este dispositivo para la implementación del proyecto.

2.4.2. Alternativas para sensor de cinturones de seguridad y ocupantes del vehículo

Para detectar si los ocupantes se encuentran o no en el asiento correspondiente, se analizaron dos alternativas, un sensor de presencia, cuyo precio aproximado es 37 dólares, o un sencillo pulsador, cuyo precio aproximado es 30 ctvs. de dólar, que cumple con la misma función que el sensor de presencia, actuando de diferente manera, este sensor de presencia se activa con el peso del ocupante y se desactiva cuando el ocupante se levanta del mismo, para la implementación se escogió el segundo dispositivo, decisión se tomó únicamente por el precio, lo cual influye en el coste final del proyecto

2.4.3. Alternativas para sensores de humedad de calzada y lluvia.

En el mercado se encuentran con facilidad dos tipos de sensores de gotas de agua o sensores de lluvia, ambos actúan de la misma manera, cambiando su conductividad al entrar en contacto con las gotas de agua, pero no ambos son apropiados para este tipo de aplicaciones, por ejemplo, el sensor de lluvia que se puede apreciar en la Figura 24-2, es la primera alternativa a analizar, su estructura está formada por una serie de bandas conductoras que varían la conductividad del dispositivo, pero cubren un área demasiado pequeña, en el caso del parabrisas, las gotas que caen sobre el sensor, tendrían que ser más directivas y coincidir exactamente en el sensor, lo mismo si se coloca en el guardafangos para la detección de la humedad en la calzada.

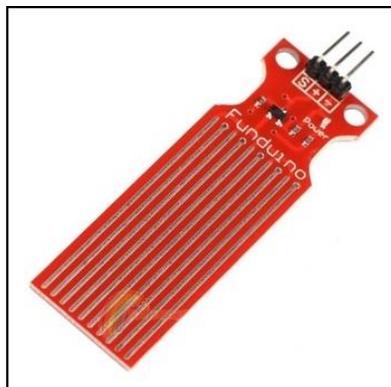


Figura 24-2: Sensor lluvia PIC AVR.

Fuente: http://es.aliexpress.com/store/product/The-water-level-sensor-Water-Sensor-for-Arduino-water-droplet-detection-depth/1927011_32490423503.html

En el caso de la segunda alternativa, el área de cobertura es mucho mayor al anterior mencionado, como se puede apreciar en la Figura 25-2, si se lo coloca en al parabrisas, capta mayor cantidad de gotas de agua, por lo que la decisión de optar por el segundo dispositivo mencionado se da por esta característica.



Figura 25-2: Sensor de lluvia YL – 83.

Fuente: <http://panamahitek.com/modulo-yl-83-un-detector-de-lluvia/>

2.4.4. Alternativas para el Sensor de velocidad

➤ *Encoder Hanyoung Nux*

Este tipo de sensor de velocidad es el más exacto que existe en el mercado, la velocidad la calcula poniendo en contacto un rotor que viene incorporado en el sensor, con alguna superficie que reaccione al movimiento del vehículo de acuerdo a la velocidad como se lo aprecia en la Figura 26-2, su precio en el mercado es de 225 dólares, son confiables y duraderos.



Figura 26-2: Sensor de Velocidad Encoder *Hanyoung Nux*.

Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-408>

➤ *Sensor de velocidad con sensor magnético.*

Este tipo de sensores son normalmente utilizados para medir la velocidad en el ciclismo, consta de un switch magnético y un dispositivo que ejecuta un algoritmo de cálculo de distancias, dependiendo del radio de la rueda del vehículo, entre los principales se pueden encontrar modelos como el GEL 247 que se observa en la Figura 27-2, son igual de confiables que los encades, puesto que ambos requieren ponerse en contacto con una superficie que reaccione a la velocidad del vehículo como por ejemplo en el neumático y ambos necesitan de un dispositivo que controle su algoritmo de cálculo de la velocidad, para la implementación del proyecto se decidió optar por construir la segunda opción, utilizando un sensor magnético y un Arduino uno ya que su costo no supera los 30 dólares.



Figura 27-2: Sensor de velocidad GEL 247.

Fuente: <http://www.integracionycontrol.com/web/index.php/produ>

2.4.5. Alternativas para el Sensor de Dirección del Vehículo.

➤ *Sensor de giro de ejes*

Este sensor cuenta con varias características, además de permitir calcular el ángulo de giro de los ejes delanteros del vehículo, permite también determinar la velocidad del mismo, posee indicadores de cada una de las acciones, se lo instala en los ejes delanteros del vehículo y requiere de un controlador que ejecute un algoritmo de cálculo. El sensor no se puede encontrar en el país y su precio en otros países como EEUU sobrepasa los 80 dólares. En la Figura 28-2 se observa un sensor de giro de ejes.



Figura 28-2: Sensor de giro de ejes.

Fuente: <http://www.timargentina.com/Web%20TIM%20Computadoras%20de%20Siembra/castellano/producto/sensores/1.html>

➤ *Sensor de Efecto Hall*

Este sensor a diferencia del anterior no va ubicado al exterior del vehículo, se lo ubica en el volante, para lo cual hace uso de un sensor magnético, que se activa con un imán que ofrece un campo magnético que permite dar un ángulo de giro del volante, el cual debe ser calibrado en un controlador, como se muestra en la Figura 29-2. Este sensor es de fácil construcción, su precio no sobrepasa los 5 dólares y sus materiales se encuentran fácilmente en el país, por eso se ha elegido este tipo de sensor para determinar el ángulo de giro del volante.

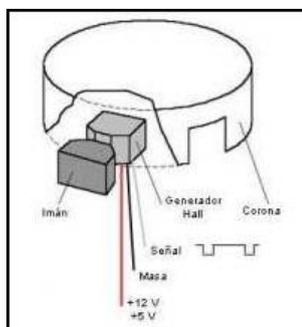


Figura 29-2: Sensor de Efecto Hall.

Fuente: http://www.ecured.cu/Efecto_Hall

En la etapa de configuración de hardware se detalla en forma técnica y general la manera en la que el sistema realiza las funciones anteriormente planteadas, así como la manera en la que están estructurados todos los nodos de esta red, tanto los nodos sensores como el nodo coordinador.

2.5. Diseño de Infraestructura Hardware del Sistema de Seguridad Vehicular.

Una vez realizado el diseño de la red, en el presente subcapítulo se detalla la constitución de la configuración de la infraestructura del sistema para su posterior ensamblaje.

2.5.1. Infraestructura del Nodo Sensor 1

La infraestructura del nodo sensor 1 está constituido por 4 sensores correspondientes al sensor de la puerta derecha delantera, sensor de la puerta derecha trasera, sensor de cinturón de seguridad derecho y el sensor de presencia en el asiento del pasajero, dichos sensores poseen 3 pines cada uno (Vcc, GND y Datos) conectados a los pines 5v, GND, 31, 33, 35 y 37 respectivamente como se puede observar en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 1

Nodo 1		Arduino Mega 2560
Sensor puerta derecha delantera	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 31
Sensor puerta derecha trasera	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 33
Sensor cinturón de seguridad derecho	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 35
Sensor activación cinturón de seguridad	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 37

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Para una mejor descripción de la conexión entre el Arduino Mega 2560 y los sensores correspondientes al nodo sensor 1, se puede observar la Figura 30-2 en la cual se observa la descripción del Tabla 6-2, observando los pines correspondientes a cada sensor.

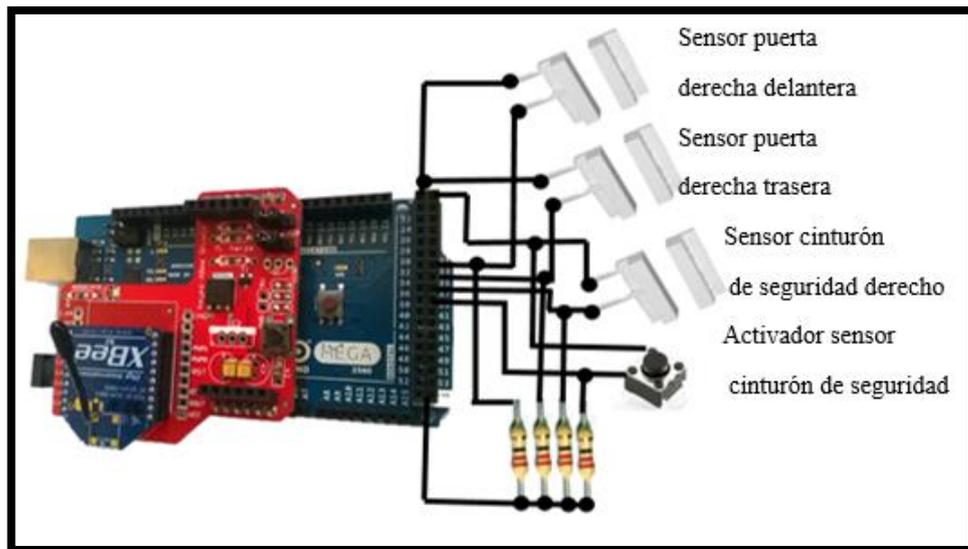


Figura 30-2: Infraestructura del nodo sensor 1.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.5.2. Infraestructura del Nodo Sensor

La infraestructura del nodo sensor 2 está constituido de igual forma que el nodo 1 con la diferencia que serán colocados en la parte lateral izquierda del vehículo, la información de conexión del nodo sensor 2 con sus respectivos sensores se muestra en la Tabla 7-2, y su descripción grafica en la Figura 31-2.

Tabla 7-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 2

Nodo 2		Arduino Mega 2560
Sensor puerta derecha delantera	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 31
Sensor puerta derecha trasera	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 33
Sensor cinturón de seguridad derecho	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 35

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

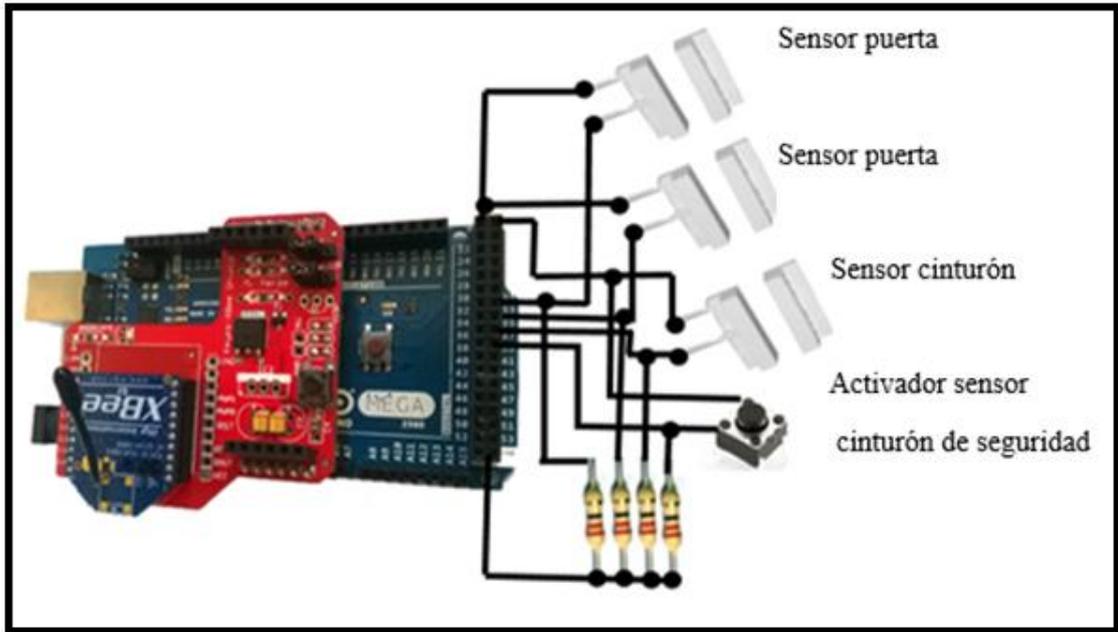


Figura 31-2: Infraestructura del nodo sensor 2.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.5.3. Infraestructura del Nodo Sensor 3

El nodo sensor 3 está constituido por el sensor del capó y por el sensor de velocidad del automóvil, en el cual el sensor del capó consta de 3 pines Vcc, Datos y GND, por su parte el sensor de velocidad consta de una placa programable Arduino Uno que hará la función de medir la velocidad a la que circula el automóvil el cual consta de el Vin, GND y la señal como se muestra en la Tabla 8-2.

Tabla 8-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 3

Nodo 3		Arduino Mega 2560
Sensor capó	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 31
Sensor velocidad	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 9

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Para una mejor interpretación de la conexión de los pines del nodo 3 se puede observar en la Figura 32-2.

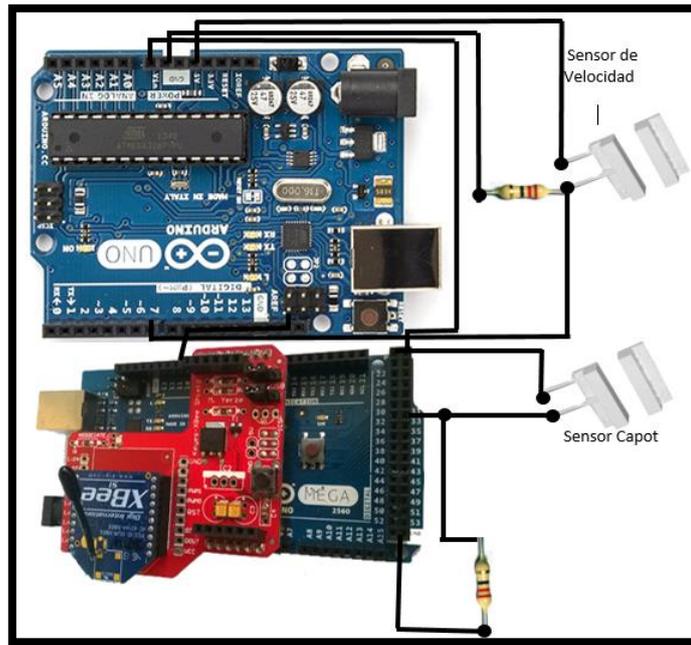


Figura 32-2: Infraestructura del nodo sensor 3.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.5.4. Infraestructura del Nodo Sensor 4

El nodo sensor 4 está constituido por dos sensores, el primer sensor es el de gotas de lluvia que se colocara en la parte frontal del automóvil y del sensor de humedad de la calzada el cual estará en la parte inferior del chasis en la parte del guardafangos de las ruedas, los cuales son similares, los dos sensores constan con la conexiones de los pines de 5v, GND, Datos, como se puede observar en la Tabla 9-2.

Tabla 9-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 4

Nodo 4		Arduino Mega 2560
Sensor de Humedad	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 31
	Datos	Pin A8
Sensor Gotas de Lluvia	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin A9

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Para poder observar de una mejor manera la interconexión del módulo se puede observar en la Figura 33-2, más detalladamente como se constituyó el modulo.

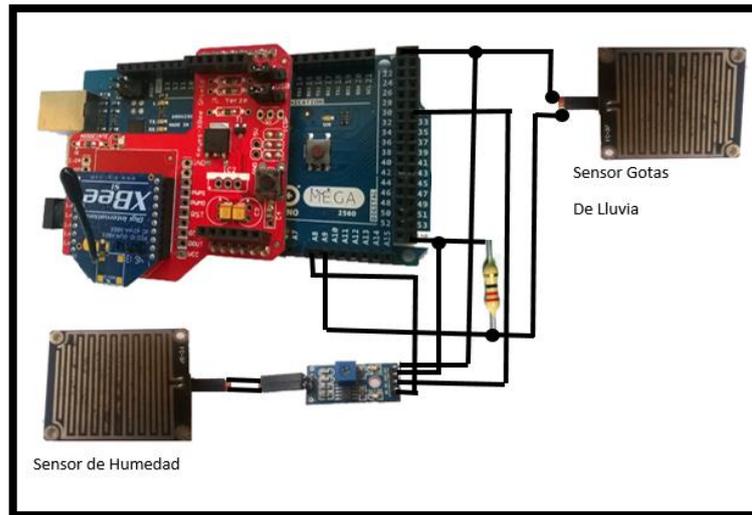


Figura 33-2: Infraestructura del nodo sensor 4.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.5.5. *Infraestructura del Nodo Coordinador*

La infraestructura del nodo coordinador es la más compleja de todos los nodos que conforman la red, como se puede observar en la Tabla 10-2, se utilizan casi todos los pines de la placa programable Arduino Mega 2560 y se conectan muchos más dispositivos que en otros nodos, esto se puede observar claramente en la Figura 34-2

Tabla 10-2: Información de Conexión de los sensores al nodo sensor 4

Nodo 4	Arduino Mega 2560	
Pantalla LCD	Pin 2 (Vdd)	Pin 5v
	Pin 4 (D/I)	Pin 36
	Pin 5 (R/D)	Pin 35
	Pin 6 (E)	Pin 37
	Pin 7 (DB0)	Pin 22
	Pin 8 (DB1)	Pin 23
	Pin 9 (DB2)	Pin 24
	Pin 10 (DB3)	Pin 25
	Pin 11 (DB4)	Pin 26
	Pin 12 (DB5)	Pin 27
	Pin 13 (DB6)	Pin 28
	Pin 14 (DB7)	Pin 29
	Pin 15 (CS1)	Pin 33
	Pin 16 (CS2)	Pin 34
	Pin 17 (RST)	Pin 5v
	Pin 19	Pin 5v
	Pin 20	Pin GND
	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 49
Pulsador 1	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 41
Switch Ciudad/Carretera	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 52
Diodo Led 1	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 48
Diodo Led 2	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 52
Diodo Led 3	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 47
Alarma Sonora	Vcc	Pin 5v
	GND	Pin GND
	Datos	Pin 45
Corta Revoluciones	GND	Pin GND
	Datos	Pin 43

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

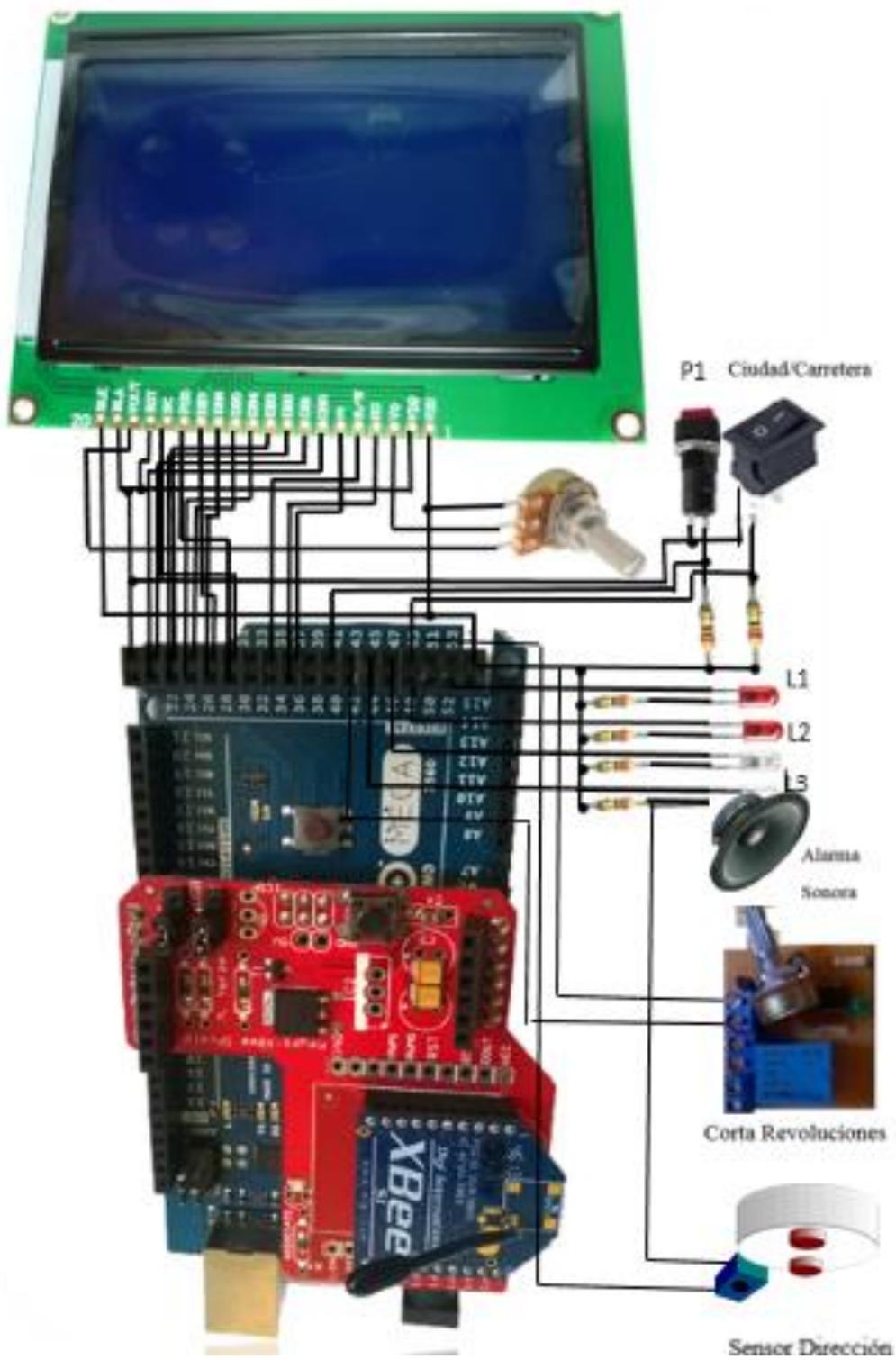


Figura 34-2: Infraestructura del nodo coordinador.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.6. Ensamblaje de la Infraestructura del Sistema de Seguridad Vehicular.

2.6.1. Protección de Equipos

Teniendo en cuenta la ubicación de los módulos de cada nodo es necesaria la protección de estos, para los cuales se ha adecuado cajas protectoras de acrílico contando con el espacio suficiente para la inserción de los módulos y de las fuentes de alimentación o baterías, de igual forma cuentan con orificios respectivos para la salida de los sensores y de soportes para las placas.

Para la protección de los módulos se ha tomado en cuenta tres diseños, el primero con una dimensión de 16 cm de largo, 8 cm de ancho y 5 cm de altura, en esta caja protectora se encontraran los nodos sensores 1, 2 y 4 como se puede observar el la Figura 35-2.



Figura 35-2: Caja de protección de los nodos sensores 1, 2 y 4.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Por su parte la segunda caja tiene unas medidas de 16 cm de largo, 13 cm de ancho y 5 cm de alto, ya que en la caja se ubica el nodo sensor 3 y a su vez consta del sensor de velocidad y necesita un mayor espacio como se muestra en la Figura 36-2.

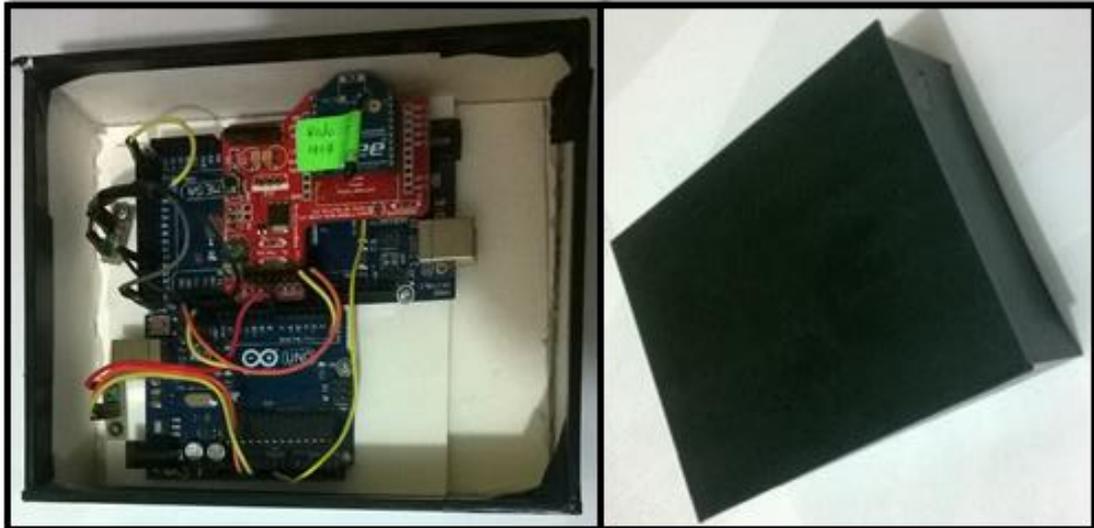


Figura 36-2: Caja de protección del nodo sensor 3.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

La tercera caja de protección esta designada para el nodo coordinador, la protección esta embebida en el vehículo para evitar que obstaculice la visibilidad, esta protección es de acrílico, material óptimo para la adecuación de los orificios necesarios y ajustado mediante el tablero del vehículo como se puede observar en la Figura 27-2.



Figura 37-2: Protección del Nodo Central o Coordinador.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.6.2. Instalación del Sistema de Seguridad Vehicular

Una vez que se tiene las protecciones adecuadas se procede a la instalación en el automóvil, tomando las medidas necesarias de energía, seguridad y de protección adecuadas para que la red pueda operar sin ningún inconveniente.

2.6.2.1. Instalación de los Nodos Sensores 1 y 2

Los nodos sensores 1 y 2 se encuentran en la parte inferior de los asientos delanteros, el nodo sensor 1 en el asiento derecho, mientras que el nodo sensor 2 se encuentra ubicado en el asiento izquierdo, como se muestra en la Figura 38-2 la instalación de los nodos sensores 1 y 2.



Figura 38-2: Instalación de los nodos sensores 1 y 2.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

A su vez se instaló los sensores en las puertas delanteras derecha e izquierda respectivamente para los nodos sensores 1 y 2, dichos sensores se ubican en la parte inferior de las puertas como se puede observar en la Figura 39-2.



Figura 39-2: Instalación de los sensores de las puertas delanteras.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

De igual forma como se realizó en las puertas delanteras se lo hizo con las puertas posteriores como se lo puede observar de mejor manera en la Figura 40-2.



Figura 40-2: Instalación de los sensores de las puertas traseras.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Otros sensores que pertenecen a la estructura de los nodos sensores 1 y 2 son los que se encuentran en los cinturones de seguridad, como se muestra en la Figura 41-2.



Figura 41-2: Instalación de los sensores del cinturón de seguridad.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Además de estos los sensores de presencia se instalan en los asientos delanteros y no se pueden apreciar a simple vista.

2.6.2.2. Instalación del Nodo Sensor 3

El nodo sensor 3 se encuentra ubicado en la parte frontal izquierda del automóvil debajo del capó cerca de la caja de fusibles como se puede observar en la Figura 42-2 la posición de dicho nodo.



Figura 42-2: Instalación del nodo sensor 3.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

El primer sensor con el que consta el nodo sensor 3 es el del capó, que está ubicado en la parte frontal izquierda del automóvil, como se observa en la Figura 43-2.



Figura 43-2: Instalación del sensor del capó.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Otro sensor que es parte del nodo sensor 3 es el sensor de velocidad que será ubicado en la rueda izquierda del automóvil para medir el número de vueltas que da esta y así determinar su velocidad como se puede observar en la Figura 44-2.



Figura 44-2: Instalación del sensor de velocidad.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.6.2.3. Instalación del Nodo Sensor 4

El nodo sensor 4 por su parte está ubicado en la parte frontal derecha del automóvil, como se muestra en la Figura 45-2 la posición en la que se ha instalado dicho nodo.



Figura 45-2: Instalación del nodo sensor 4.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

El primer sensor está ubicado en el parabrisas delantero del automóvil, en la parte central izquierda de este, como se lo observa en la Figura 46-2.



Figura 46-2: Instalación del sensor de gotas de lluvia.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

El sensor de humedad de calzada por su parte está ubicado en el guardafangos de la llanta derecha como se muestra en la Figura 47-2.



Figura 47-2: Instalación del sensor de humedad de calzada.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.6.2.4. *Instalación del Nodo Coordinador.*

El nodo coordinador se encuentra embebido en la consola central del vehículo como se observa en la Figura 48-2.



Figura 48-2: Instalación del nodo coordinador.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

2.6.2.5. *Instalación de los Dispositivos de Respuesta.*

Los dos actuadores se instalan dentro de la consola central del vehículo y se conectan a la bobina mediante cables, el primer actuador que bloquea el encendido se puede apreciar en la Figura 49-2 y el actuador de limitación de velocidad se observa en la Figura 50-2.

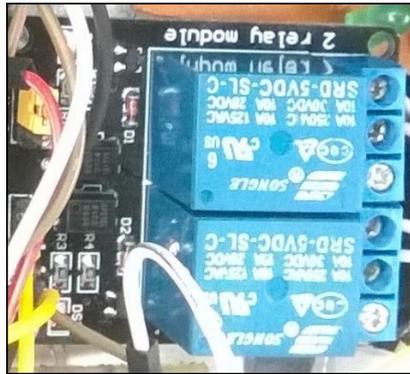


Figura 49-2: Instalación del actuador de corte de flujo de energía.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016



Figura 50-2: Instalación del actuador limitador de velocidad.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

CAPÍTULO III

3. MARCO DE PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1. Pruebas de Funcionamiento

Una vez que se han ensamblado, instalado y puesto en marcha el sistema de seguridad vehicular mediante una red de sensores inalámbrica, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento correspondientes, colocando a cada sensor del sistema ante situaciones adversas.

3.1.1. *Comportamiento de los Nodos en la Etapa de Encendido*

Para poder visualizar el comportamiento de cada nodo ante una situación, es necesario conectar el nodo que se pretende analizar mediante la interfaz serial de la placa programable Arduino a la computadora, y utilizando la herramienta de análisis de sucesos que presta el software Arduino IDE se puede apreciar lo que sucede en dicho nodo mientras está ejecutando una acción.

En la Figura 1-3 se observa la información que envía el nodo sensor 1, en la figura se puede observar la información de la memoria RAM existente, así mismo la inicialización del stack de IPV6, una vez inicializado se puede observar el envío de datos y como respuesta de este obtenemos la dirección del nodo sensor en análisis y la dirección del nodo al que envía la información, es decir el nodo coordinador.

En la Figura 2-3 se puede distinguir la información que procesa el nodo sensor 2, en el cual podemos distinguir a diferencia del nodo sensor 1, que cambia la información de la dirección IPV6 del nodo en análisis.

En la Figura 3-3 y en la Figura 4-3 se puede observar que de igual manera cambia las direcciones IPV6 de los nodos sensores 3 y 4, las cuales corresponden a sus respectivas direcciones.

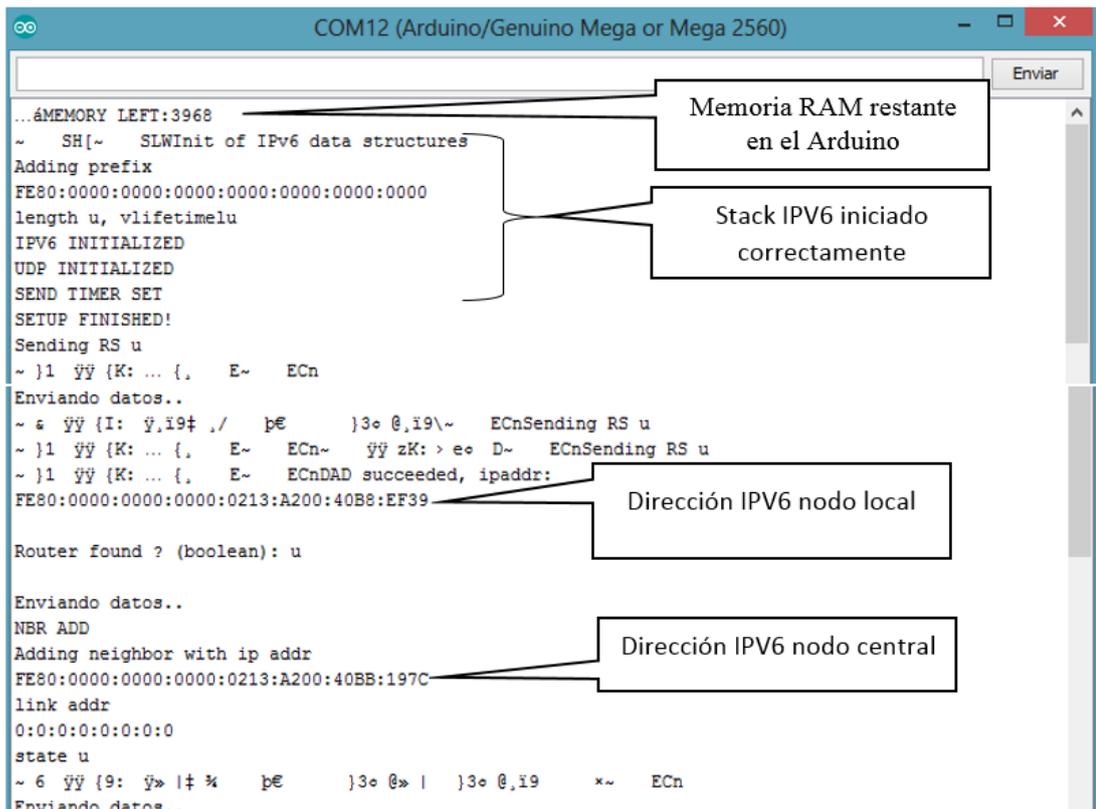


Figura 1-3: Comportamiento del nodo sensor 1 en etapa de encendido.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

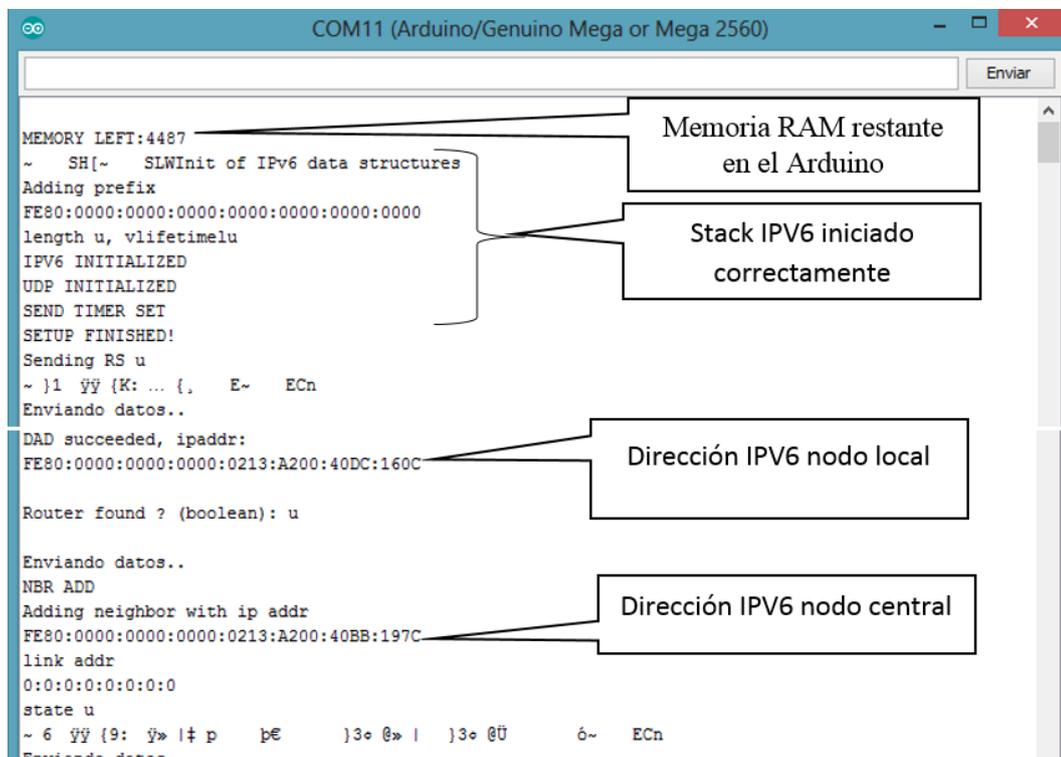


Figura 2-3: Comportamiento del nodo sensor 2 en etapa de encendido.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

```

...MEMORY LEFT:3778
~ SH[~ SLWInit of IPv6 data structures
Adding prefix
FE80:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000
length u, vlifetimelu
IPV6 INITIALIZED
UDP INITIALIZED
SEND TIMER SET
SETUP FINISHED!
Sending RS u
~ }1 ŷŷ {K: ... {, E~ ECn
DAD succeeded, ipaddr:
FE80:0000:0000:0000:0213:A200:40DC:161B

Enviando datos..
1
NBR ADD
Adding neighbor with ip addr
FE80:0000:0000:0000:0213:A200:40BB:197C
link addr
0:0:0:0:0:0:0:0
state u
~ 6 ŷŷ {9: ŷ» |‡ ou̇ p€ }3• @» | }3• @Ū ~ ECn
Enviando datos..

```

Figura 3-3: Comportamiento del nodo sensor 3 en etapa de encendido.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

```

...MEMORY LEFT:3988
~ SH[~ SLWInit of IPv6 data structures
Adding prefix
FE80:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000
length u, vlifetimelu
IPV6 INITIALIZED
UDP INITIALIZED
SEND TIMER SET
SETUP FINISHED!
Sending RS u
~ }1 ŷŷ {K: ... {, E~ ECn
DAD succeeded, ipaddr:
FE80:0000:0000:0000:0213:A200:40DC:161A

Sending RS u
~ ! ŷŷ {:: ... ‡ŷ }3• @Ū i~ ECn
Enviando datos..
000

NBR ADD
Adding neighbor with ip addr
FE80:0000:0000:0000:0213:A200:40BB:197C
link addr
0:0:0:0:0:0:0:0
state u
~ 6 ŷŷ {9: ŷ» |‡ oṗ p€ }3• @» | }3• @Ū ~ ECn
Enviando datos..

```

Figura 4-3: Comportamiento del nodo sensor 4 en etapa de encendido.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

En el nodo coordinador la inicialización es igual que los demás nodos a diferencia que reconoce a los nodos vecinos los cuales son los nodos sensores 1, 2, 3 y 4 con sus respectivas direcciones como se lo puede observar en la Figura 5-3.

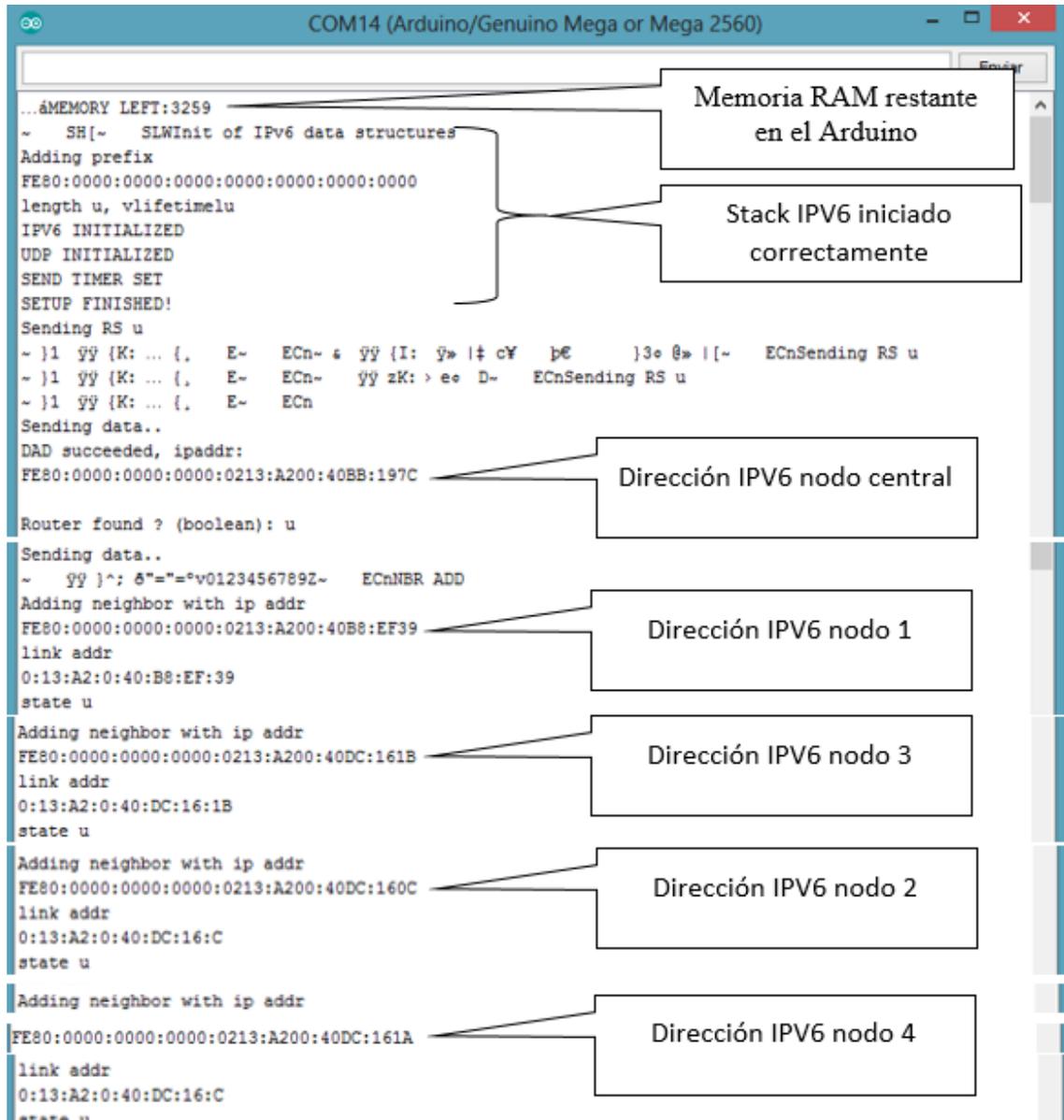


Figura 5-3: Comportamiento del nodo coordinador en etapa de encendido.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

3.1.2. Comportamiento de los Nodos en la Etapa de Envío de Datos

Una vez que el nodo sensor 1 se ha inicializado y se ha realizado la conexión con el nodo coordinador, entonces se procede al envío de datos como se puede observar en la Figura 6-3, del mismo modo procede el nodo sensor 2, su comportamiento se puede observar en la Figura 7-3.

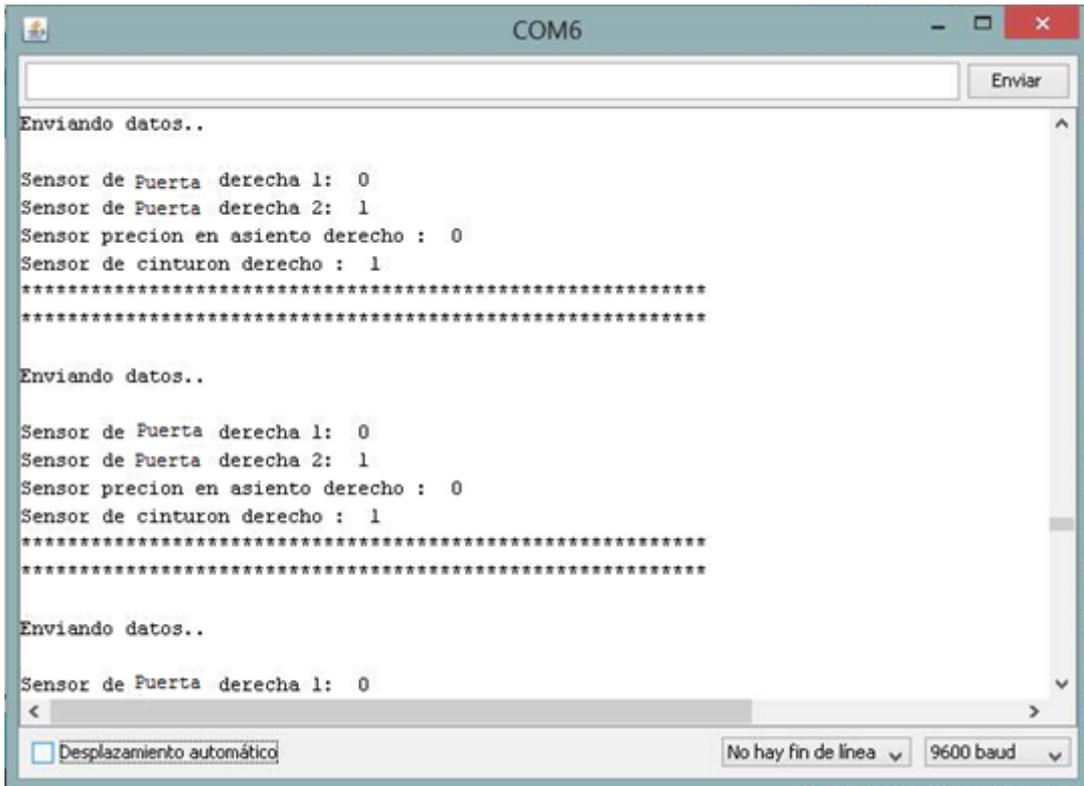


Figura 6-3: Comportamiento del nodo sensor 1 en etapa de envío de datos

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

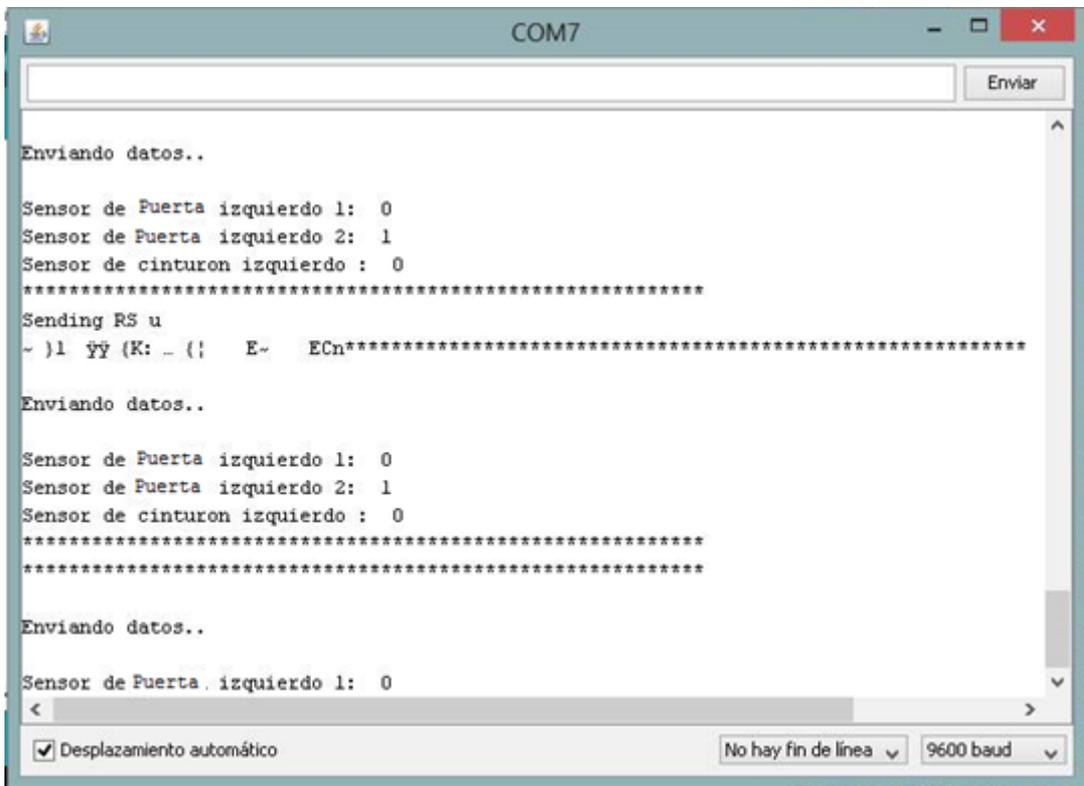


Figura 7-3: Comportamiento del nodo sensor 2 en etapa de envío de datos

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Por su parte el nodo sensor 3, y el nodo sensor 4, hacen su parte al enviar información al nodo coordinador como se observa en la Figura 8-3 y Figura 9-3 respectivamente.

```

Sensor Velocidad:
*****

*****

Enviando datos..
Sensor Capot: 0
Sensor Velocidad:
*****

*****

Enviando datos..
Sensor Capot: 0
Sensor Velocidad:
*****
~  ŷŷ zK: > ee D~  ECn
*****

Enviando datos..
Sensor Capot: 0
Sensor Velocidad:
*****

*****

Enviando datos..
Sensor Capot: 0
Sensor Velocidad:
*****

```

Figura 8-3: Comportamiento del nodo sensor 3 en etapa de envío de datos

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

```

FE80:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000
length u, vlifetimelu
IPV6 INITIALIZED
UDP INITIALIZED
SEND TIMER SET
SETUP FINISHED!
Sending RS u
~ }1 ŷŷ {K: ... {,  E~  ECn*****

Enviando datos..
Humedad de parabrisas: 50
Humedad de calzada: 00
*****

*****

Enviando datos..
Humedad de parabrisas: 55
Humedad de calzada: 00
*****

*****

Enviando datos..
Humedad de parabrisas: 55
Humedad de calzada: 00
*****

```

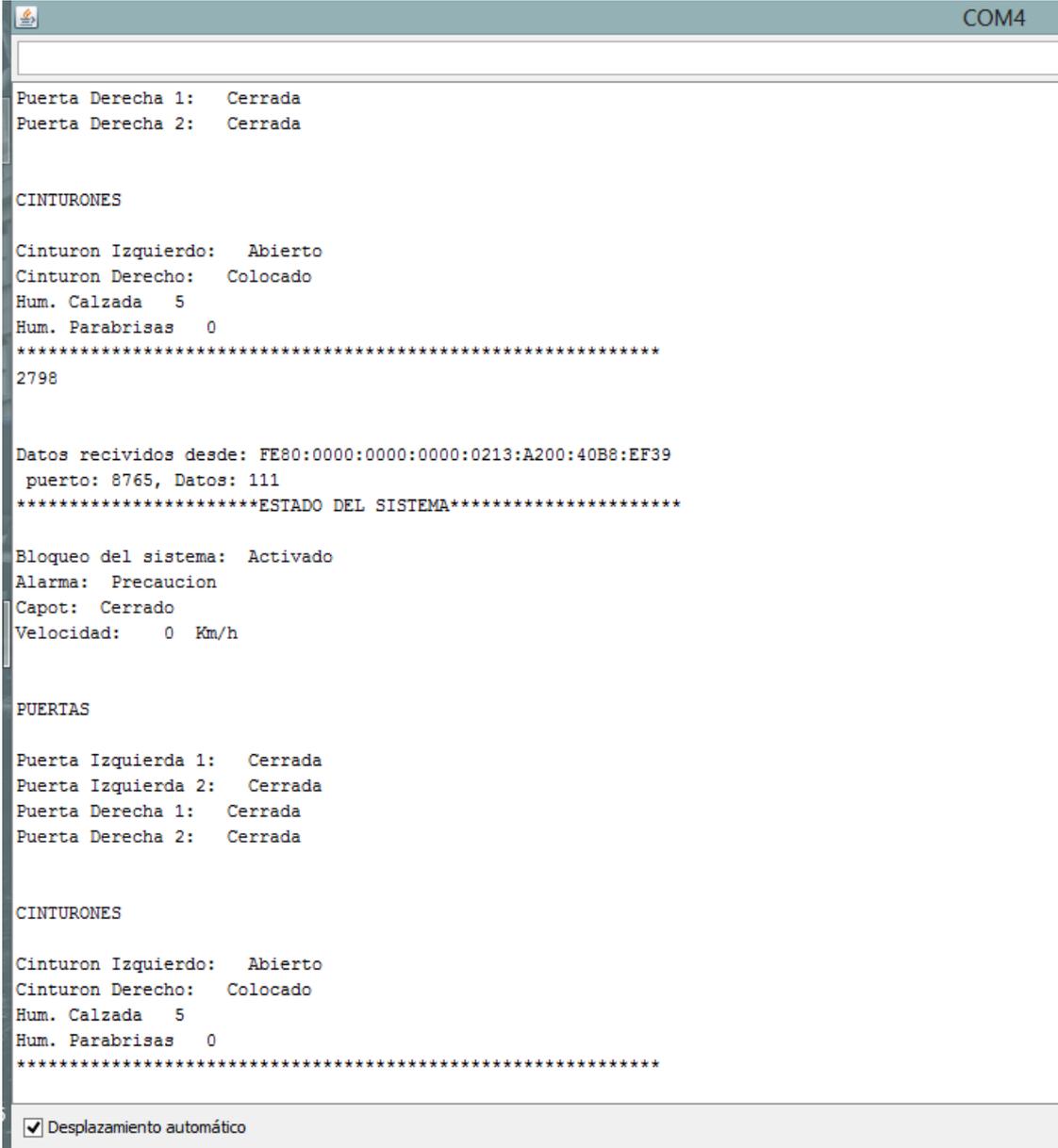
Figura 9-3: Comportamiento del nodo sensor 4 en etapa de envío de datos

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

3.1.3. Comportamiento del Nodo Coordinador Ante la Recepción de Datos.

Una vez que los datos de cualquier nodo sensor que conforman el sistema de seguridad, se reciben satisfactoriamente, el nodo coordinador procede a procesarlos.

En la Figura 10-3 se puede observar la recepción de los datos en el nodo coordinador, así como también la respuesta del sistema de seguridad vehicular.



```
COM4
Puerta Derecha 1: Cerrada
Puerta Derecha 2: Cerrada

CINTURONES
Cinturon Izquierdo: Abierto
Cinturon Derecho: Colocado
Hum. Calzada 5
Hum. Parabrisas 0
*****
2798

Datos recibidos desde: FE80:0000:0000:0000:0213:A200:40B8:EF39
puerto: 8765, Datos: 111
*****ESTADO DEL SISTEMA*****

Bloqueo del sistema: Activado
Alarma: Precaucion
Capot: Cerrado
Velocidad: 0 Km/h

PUERTAS
Puerta Izquierda 1: Cerrada
Puerta Izquierda 2: Cerrada
Puerta Derecha 1: Cerrada
Puerta Derecha 2: Cerrada

CINTURONES
Cinturon Izquierdo: Abierto
Cinturon Derecho: Colocado
Hum. Calzada 5
Hum. Parabrisas 0
*****

 Desplazamiento automático
```

Figura 10-3 Comportamiento del nodo coordinador ante la recepción de datos.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

3.2. Resultados y Respuesta del Sistema

Esta etapa se centra en mostrar las diferentes reacciones que tiene el sistema de seguridad vehicular ante la acción conjunta de todos los componentes del mismo, para lo cual se actúa intencionalmente cada sensor y se analiza si las alertas tanto sonoras, visuales o mecánicas responden de acorde a lo previsto.

3.2.1. Resultados de Funcionamiento de Nodo Sensor 1.

Para mostrar los resultados del funcionamiento de nodo sensor 1, se activa los sensores de contacto magnético tanto de las puertas derechas como del cinturón del copiloto del vehículo, como se puede apreciar en la Figura 11-3.



Figura 11-3: Activación de los sensores de que componen el nodo sensor 1.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

En la Figura 12-3 se muestra las alertas visuales que activa el nodo coordinador cuando la puerta delantera derecha está abierta.



Figura 12-3: Alerta visual ante puerta delantera derecha abierta.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

De igual forma al encontrarse abierta la puerta posterior derecha se puede observar en la Figura 13-3 el mensaje que se muestra en la pantalla del nodo coordinador.

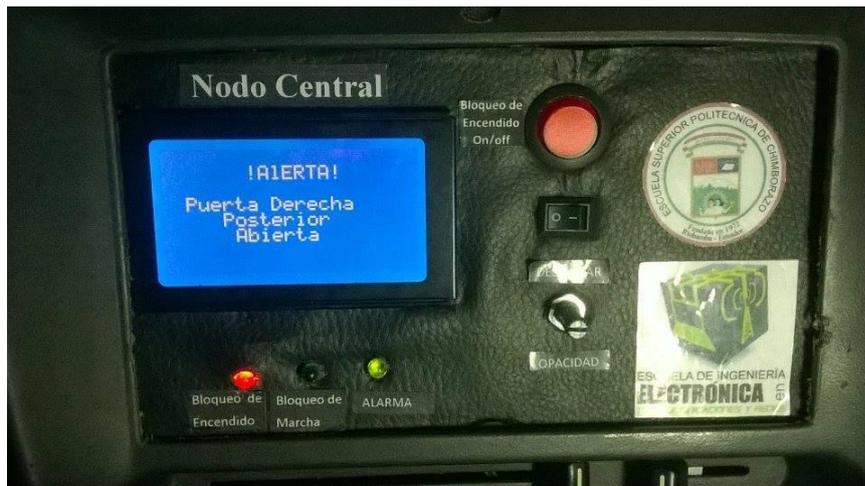


Figura 13-3: Alerta visual ante puerta posterior derecha abierta.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Al encontrarse una persona ubicada en el asiento del copiloto del vehículo, si este no se encuentra colocado el cinturón de seguridad, el sistema mostrara un mensaje como se observa en la Figura 14-3.

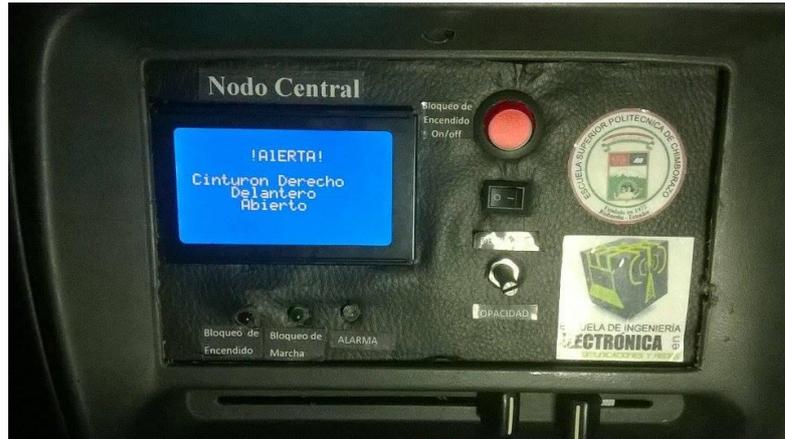


Figura 14-3: Alerta visual ante cinturón de seguridad derecho abierto.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

3.2.2. *Resultados de Funcionamiento de Nodo Sensor 2.*

Para mostrar los resultados del funcionamiento de nodo sensor 2, también se procede se activar los sensores de contacto magnético tanto de las puertas derechas como del cinturón del chofer del vehículo, como se puede apreciar en la Figura 15-3.



Figura 15-3: Activación de los sensores de que componen el nodo sensor 2.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Las alertas procedentes del nodo sensor 2 correspondiente a la puerta delantera izquierda se muestran en la Figura 16-3.



Figura 16-3: Alerta visual ante puerta delantera izquierda abierta.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Al momento de encontrarse la puerta posterior izquierda abierta se mostrara un mensaje en la pantalla como se muestra en la Figura 17-3.



Figura 17-3: Alerta visual ante puerta delantera izquierda abierta.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Lo mismo sucede con el cinturón de seguridad del conductor del vehículo, el cual se alertará cuando no se encuentre colocado como se muestra en la Figura 18-3.



Figura 18-3: Alerta visual ante cinturón de seguridad izquierdo abierto.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

3.2.3. Resultado de Funcionamiento del Nodo Sensor 3

En la Figura 19-3, se puede observar el sensor del capó en el estado cerrado y abierto.



Figura 19-3: Activación de los sensores de que componen el nodo sensor 3.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

La respuesta visual a la acción realizada por el sensor del capó se muestra en la Figura 20-3.

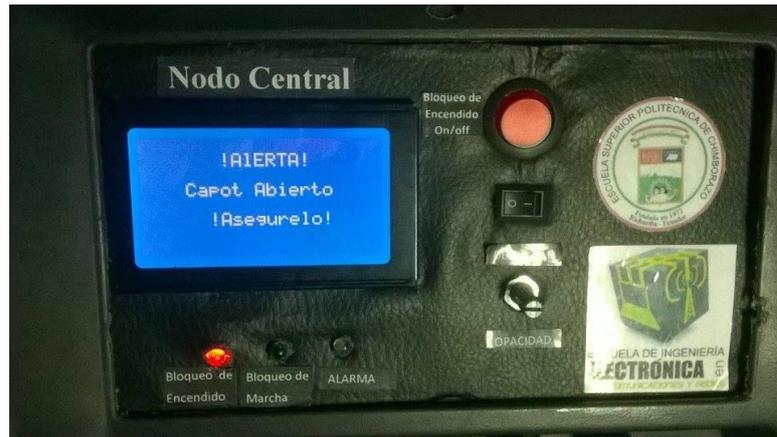


Figura 20-3: Alerta visual ante capó abierto.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Para establecer los límites de velocidad permitidos en carretera y en ciudad se procede a cambiar de estado el switch que se puede apreciar en la Figura 21-3, de manera que los límites de velocidad en ciudad se establecen con el switch cerrado, y los límites de velocidad en carretera se establecen con el switch abierto.



Figura 21-3: Switch de límites de velocidad permitidos, ciudad-carretera.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

La alerta visual que se muestra si se excede los límites de velocidad permitidos, se aprecia en la Figura 22-3, así como ira acompañado de la alerta correspondiente y de la activación del corta revoluciones.



Figura 22-3: Alerta visual ante velocidad excesiva.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

3.2.4. Resultado de Funcionamiento del Nodo Sensor 4

En la figura 23-3 se puede observar cómo funcionan los sensores de humedad del parabrisas y humedad de la calzada cuando en estos existe gotas de agua.



Figura 23-3: Activación de los sensores de que componen el nodo sensor 4.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Las alertas visuales del exceso de humedad en el parabrisas y en la calzada se aprecian en la Figura 24-3 y la Figura 25-3 respectivamente.

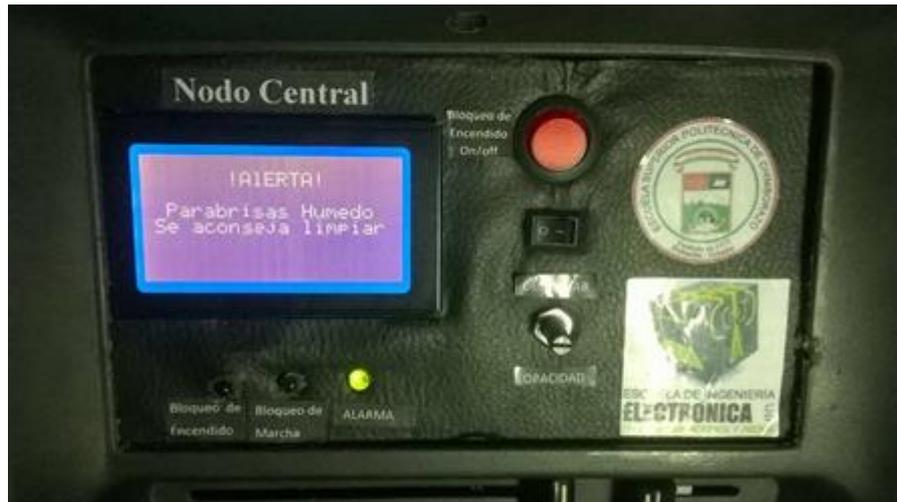


Figura 24-3: Alerta visual ante humedad del parabrisas.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016



Figura 25-3: Alerta visual ante humedad de la calzada.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

Al momento de todas las alertas estar atendidas se dará una señal auditiva y se mostrará en la pantalla el siguiente mensaje que permanecerá así mientras no exista ninguna alarma como se muestra en la Figura 26-3.



Figura 26-3: Mensaje ante alarmas atendidas.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

3.2.5. *Evaluación del sistema*

Para poder evaluar la eficiencia del sistema de seguridad vehicular preventiva con que cuenta actualmente el vehículo, se compara con el sistema de seguridad preventiva que tenía inicialmente de fábrica dicho vehículo y se califica cada uno, tomado en cuenta únicamente las variables pertinentes a los sistemas de seguridad preventiva vehicular y utilizando la valoración del Programa Europeo de Evaluación de Automóviles (Euro NCAP), el cual establece de 5 valores con los que se puede calificar el nivel de seguridad de cada sistema, estos valores se asignan dependiendo a variables cualitativas, como se detallan a continuación.

1. Seguridad de 5: Buen rendimiento general de protección en caso de colisión, bien equipado con tecnología solida de prevención de colisiones.
2. Seguridad de 4: Buen rendimiento general de protección en caso de colisión, posible presencia de tecnología de prevención de colisiones.
3. Seguridad de 3: Buena protección de ocupantes en general pero falta de tecnología de prevención de colisiones.
4. Seguridad de 2: Protección ante colisiones pero falta de tecnología de prevención de colisiones.
5. Seguridad de 1: Protección contra colisiones mínima.

A su vez se ha establecido un sistema de calificación para cada sector de seguridad del vehículo que se ve alterado con la presencia del sistema implementado, como se puede apreciar en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Evaluación del sistema

Variables	Antes		Después		Eficiencia	
	Valoración	%	Valoración	%	Valoración	%
Seguridad en puertas y capó	2	40%	5	100%	3	60%
Seguridad en cinturones de seguridad	2	40%	5	100%	3	60%
Seguridad en humedad del parabrisas	3	60%	4	80%	1	20%
Seguridad en humedad de calzada	1	20%	5	100%	4	80%
Seguridad de dirección del vehículo	1	20%	3	60%	2	40%
Seguridad en velocidad	1	20%	5	100%	4	80%
Total	10	33.3%	27	90%	18	56.7%

Realizado por: Miranda J., Padilla M.

En la Figura 27-3, se muestra un gráfico del porcentaje de la eficiencia del sistema de seguridad vehicular implementado, frente al porcentaje de la eficiencia del sistema de seguridad vehicular que vienen incorporado de fábrica.

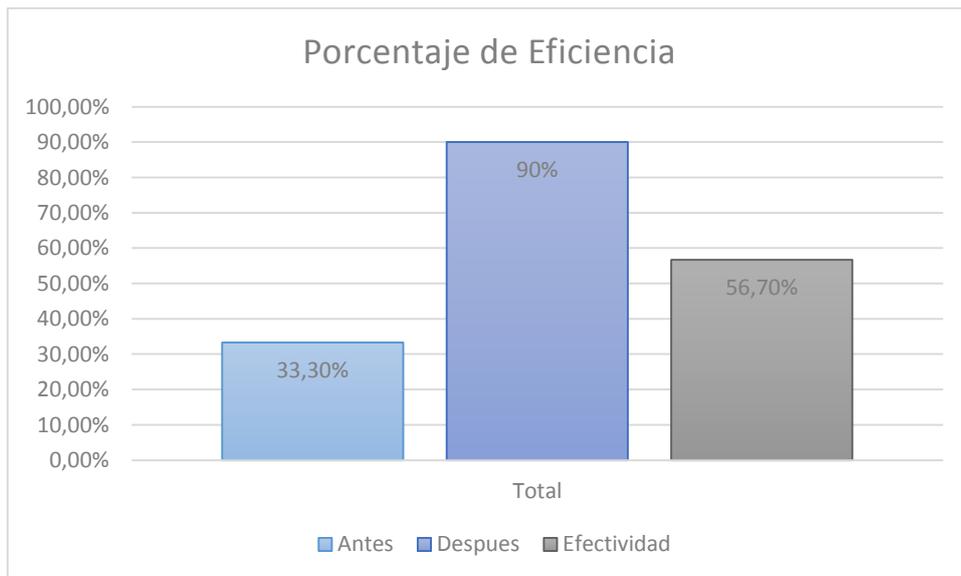


Figura 27-3: Porcentaje de eficiencia del sistema, antes y después de la implementación.

Realizado por: Miranda J., Padilla W. 2016

CONCLUSIONES

El estándar de comunicación 6LowPAN entregó óptimos resultados al momento de implementar el proyecto, tanto por su bajo consumo energético, como las facilidades que presta para incorporar más dispositivos o sensores, ya que utiliza un direccionamiento IPv6, su escalabilidad se ve limitada únicamente por las características físicas de los nodos en los que se configure y el retardo en el envío de la información es mínimo.

El software de simulación Cooja nos da una idea bastante clara en tanto a lo que se quiere implementar, ya que las herramientas que presta este software ayuda a determinar los mejores parámetros para la configuración y determinar el modo de comunicación e implementación, como distancias, consumo de energía de los nodos, así como la transmisión de datos y el establecimiento de comunicación del stack de IPv6.

Se determinó que las placas programables Arduino son eficientes y confiables para este tipo de aplicaciones ya que brinda interoperabilidad con los módulos de comunicación inalámbrica XBee, compatibilidad total con los sensores seleccionados, los cuales muestran precisión y efectividad en cada medición logrando así que el sistema interactúe con el limitador de velocidad en las circunstancias requeridas y no presentaron ningún error de funcionamiento durante las pruebas y demostraciones por lo que sustenta su confiabilidad en el proyecto implementado.

El sistema de seguridad preventivo vehicular mediante el estándar de comunicación 6LowPAN representa un incremento del 56.7% en la seguridad que brindan el sistema de seguridad que vienen incorporado de fábrica en el vehículo, a su vez esto no representa que se elimine por completo los riesgos de accidentes de tránsito, el riesgo está presente, pero junto con la concientización que el sistema logre en sus ocupantes se podrá prevenir un número considerable de accidentes, salvar vidas y disminuir el índice de mortandad por accidentes de tránsito en el Ecuador.

RECOMENDACIONES

Al momento de implementar se debe tomar en cuenta la interferencia que producen ciertos cables del vehículo que soportan altos niveles de corriente, como es el caso de los cables que salen del alternador, bobina o batería, ya que producen interferencias sobre los sensores y sus conexiones al nodo correspondiente, es aconsejable que la instalación de cualquier sensor se haga con una separación de más de 20 cm de este tipo de cables.

No es aconsejable llenar de programación innecesaria a las placas programables Arduino, puesto que a más programación, mayor será el retardo en el tiempo de respuesta del sistema de seguridad.

Tener mucho cuidado en la conexión de los cables con los módulos, así como también en las soldas que se realicen para que la conductividad sea la adecuada.

Se recomienda que al momento de la colocación de los sensores se los realice limpiando correctamente los lugares a ubicarse estos, para así efectivizar la utilización de dichos sensores y que la información requerida sea la óptima.

Es aconsejable atender con premura a la alerta indicada por el sistema, en caso que el vehículo se encuentre en marcha, de lo contrario, el sistema procederá a impedir el avance del auto y podría detenerlo en ubicaciones desfavorables para los ocupantes, es decir, podría detenerlo en medio de la vía, o quedar mal estacionado.

BIBLIOGRAFÍA

ARANO GARCÍA, Carlos. *Impacto de la seguridad en redes inalámbricas de sensores IEEE 802.15. 4* [En línea] (tesis). (Maestría) Universidad Complutense de Madrid. España. 2009. pp. 10-11. [Consulta 2015-08-20]. Disponible en:

http://eprints.ucm.es/11312/1/Memoria_Fin_de_Master_-_Carlos_Garc%C3%ADa_Arano.pdf

ARANSAY, Alberto. *Aplicación de las Redes de Sensores en el entorno vehicular* [En línea] (tesis). (Doctoral) Universidad de Vigo: Doctorado en Ingeniería Telemática. 2009. pp 1-2.

[Consulta 2015-10-20]. Disponible en:

<http://www.albertolsa.com/wp-content/uploads/2010/04/rsi-aplicacion-de-las-redes-de-sensores-en-el-entorno-vehicular-alberto-los-santos.pdf>

ARÍZAGA, Edison, & GÓMEZ, Diego. *Análisis de los sistemas faltantes de seguridad vehicular de la categoría M1 en la norma NTE INEN 034:2010 y una propuesta de mejora* [En Línea] (tesis). (Pregrado) Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. 2015. 211 p. [Consulta 2015-09-20]. Disponible en:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8932/1/UPS-CT005181.pdf>

CALLAWAY, Ed, GORDAY, Paúl, HESTER, Lance, & GUTIERREZ, José. *Home networking with IEEE 802. 15. 4. A developing standard for low-rate wireless personal area networks. IEEE Communications magazine* [En línea]. 2002. USA. Vol. 40. pp. 70-77.

[Consulta 2015-09-20]. Disponible en:

http://cs.tju.edu.cn/faculty/ytshu/old%20courses/Net_II_08/Ch4/4-2%20Networking/CGH02_802.15.4.pdf

CARRANZA LUJAN, Jorge. *Redes inalámbricas, instalación y configuración.* 4ta ed. Lima-Perú: Megabyte, 2008. 598 p.

DELGADO ORTÍZ, Héctor. *Redes Inalámbricas.* 1ra ed. Lima-Perú: Macro, 2009. 448 p.

DE MULA, Ignacio, & FERRARI, Germán. *Contikiwsn: Estudio, Análisis Y Diseño De Redes De Sensores Inalámbricas Con Contiki Os* [Em línea] (tesis). (Pregrado) Uruguay: 2011. 148 p. [Consulta 2015-09-25]. Disponible en:

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/bitstream/123456789/2830/1/DFF11.pdf.pdf>

DIETRICH, Ana. *6LoWPAN: IPv6 for Wireless Sensor Network*. Argentina: grid Grupo UTN de I&D [En Línea]. California. USA: 2012. pp. 17. [Consulta 2015-09-27]. Disponible en:

<http://www.sase.com.ar/2013/files/2013/09/SASE2013-6LOWPAN-A-Diedrichs.pdf>

ENRIQUEZ HERRADOR, Andrés. *Guía de Usuario de Arduino*. USA: San Francisco, California. 2009. 49p. [Consulta 2015-10-1]. Disponible en:

http://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf

GARCÍA DAVIS, Ernesto. *Implementación de Protocolos de Transporte en Redes de Sensores* [En Línea] (tesis). (Maestría) 1ra ed. España: Universidad Técnica de Cataluña. 2009. 334 p. [Consulta 2015-10-3]. Disponible en:

<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7480/PFM-ERNESTOGARCIADAVIS.pdf>

HOLGER KARL, Andreas. *Protocols and architectures for wireless sensor networks* [En línea]. 1ra ed. Alemania: Technical University of Berlin. 2007. 497 p. [Consulta 2015-10-7].

Disponible en: <https://books.google.co.uk/books?id=170R-1aZsQYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

KUMAR SINGH, Shio. *Routing protocols in wireless sensor networks—A survey. International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSSES)* [En Línea]. 2010. USA. Vol, 1. PP. 67. . [Consulta 2015-10-3]. Disponible en:

<http://www.airccse.org/journal/ijcses/papers/1110ijcses06.pdf>

LUQUE, Pablo, ÁLVAREZ, Daniel, & VERA, Carlos. *Ingeniería del automóvil, Sistemas y Comportamiento Dinámico*. 1ra ed. España: Magallanes. 2008. 509 p

OYARCE, A., AGUAYO, P., & MARTIN, Eduard. *Guía del usuario XBee series 1* [En Línea]. Chile: Ingeniería MCI Ltda. 2010. 72 p. [Consulta 2015-10-8]. Disponible en:

http://www.hmangas.com/Electronica/Datasheets/Shield%20XBee%20Arduino/XBee-Guia_Usuario.pdf

YICK, Jenyfer. *Wireless sensor network survey. United States: Department of Computer Science, University of California* [En Línea]. 2008. USA. Vol. 1.Pp. 2293. [Consulta 2015-10-9].

Disponible en:

http://www.ijarcse.com/docs/papers/Volume_4/4_April2014/V4I4-0251.pdf

PÁLLAS ARENY, Ramón. *Sensores y acondicionadores de señal.* 4ta ed. México D.F: Alfaomega, 2004.

PÉREZ ORTEGA, David. *Diseño e implementación de un prototipo de video portero basado en redes inalámbricas de sensores* [En Línea] (tesis). (Pregrado) Colombia: Universidad Politécnica De Cartagena. 2012. 114 p. [Consulta 2015-10-20]. Disponible en:
<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/2033/1/pfc4146.pdf>

ROLDÁN MARTINEZ, David. *Comunicaciones Inalámbricas.* 1ra ed. Lima: RA-MA, 2004. 384 p. ISBN: 978-84-7897-621-8

SÁNCHEZ CAMPINS, Hurtado. *Simulador WKM para gestión de conocimiento en una WSN* [En Línea]. Madrid: E.U.I.T. Telecomunicación (UPM) [antigua denominación]. 2013 PP. 5. [Consulta 2015-10-23]. Disponible en:
http://oa.upm.es/21153/1/PFC_EDUARDO_SANCHEZ_CAMPINS_HURTADO.pdf

SCHOR, L., FLURY, R., & WATTENHOFER, P. *IPv6 for Wireless Sensor Networks. Networks. Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings* [En Línea] . (2009). USA. Vol. 1. PP. 31-36. [Consulta 2015-10-23]. Disponible en:
http://disco.ethz.ch/theses/fs09/Lars_Schor_IPv6SensorNodes.pdf

VERA ROMERO, C, PABÓN GONZÁLEZ, D, & BARBOSA JAIMES. *Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales* [En Línea], Tecnura. 2015. pp. 141-157. [Consulta 2015-20-11]. Disponible en:
<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=256f3a18-2ec3-41d9-b000-834e201ad15e%40sessionmgr120&vid=0&hid=124>

ANEXOS

ANEXO A. Código de Nodo Coordinador

```
//DETECTAR SI EL VEHICULO ESTA ENCENDIDO
llave = digitalRead(swit);
//FUNCION SI EL AUTO ESTA ENCENDIDO
if (llave == 1)
{
trafico=digitalRead(btntrafico);
curva = digitalRead(btncurva);
encender1=1;
if((uip_ipaddr_cmp(&nodo1, &sender_addr)))
{
n1=String (data);
if (data[0]=='0' || data[1]=='0' || data[2]=='0' )
{idnodo1=1;
alarma1=0;
if(data[0]=='0')
{
estpd1="Abierta";
siguiente = 2;
}
if(data[1]=='0')
{
estpd2="Abierta";
siguiente = 10;
}
if(data[2]=='0')
{
estcind="Abierto";
siguiente = 3;
}
if(data[0]=='1')
{
estpd1="Cerrada";
}
if(data[1]=='1')
{
estpd2="Cerrada";
}
if(data[2]=='1')
{
estcind="Colocado";
```

```

}
}
if (data[0]=='1' && data[1]=='1' && data[2]=='1')
{
idnodo1=0;
alarma1=1;
estpd2="Cerrada";
estpd1="Cerrada";
estcind="Colocado";
}
}
if((uip_ipaddr_cmp(&nodo2, &sender_addr)))
{
n2=String (data);
if (data[0]=='0' || data[1]=='0' || data[2]=='0' )
{idnodo2=2;
alarma2=0;
if(data[0]=='0')
{
estpi1="Abierta";
siguiente = 4;
}
if(data[1]=='0')
{
estpi2="Abierta";
siguiente = 5;
}
if(data[2]=='0')
{
estcini="Abierto";
siguiente = 6;
}
if(data[0]=='1')
{
estpi1="Cerrada";
}
if(data[1]=='1')
{
estpi2="Cerrada";
}
if(data[2]=='1')
{
estcini="Colocado";
}
}
}

```

```

if (data[0]=='1' && data[1]=='1' && data[2]=='1' )
{
idnodo2=0;
alarma2=1;
estpi2="Cerrada";
estpi1="Cerrada";
estcini="Colocado";
}
}
if((uip_ipaddr_cmp(&nodo3, &sender_addr)))
{
nv=atol(data);
if(data[0]=='1')
{
nv1=nv-1000;
alarma6=1;
Capó="Cerrado";
idnodo3=0;
n3=String (data);
if(trafico == 1)
{
if (nv >= 1060 && curva == 0)
{
alarma3 = 0;
siguiente = 1;
idnodo3=3;
}
if (nv < 1060 && curva == 0)
{
alarma3=1;
idnodo3=0;
}
if (nv >= 1080 && curva == 1)
{
alarma3 = 0;
siguiente = 1;
idnodo3=3;
}
}
if (nv < 1080 && curva == 1)
{
alarma3=1;
idnodo3=0;
}
}
}
if(trafico == 0)

```

```
{
if (nv >= 1045)
{ alarma3 = 0;
siguiente = 1;
idnodo3=3;

}

if (nv < 1045)
{
alarma3=1;
idnodo3=0;

}

}

if(data[0]=='0')
{nv1=nv;
alarma6=0;
Capó="Abierto";
siguiente = 7;
idnodo3=3;
}
Serial.println("velocidad");
Serial.println(nv1);
Serial.println(nv);
Serial.println("boton trafico");
Serial.println(trafico);
Serial.println("Curba");
Serial.println(curva);

if((uip_ipaddr_cmp(&nodo4, &sender_addr)))
{
if(data[0]=='1')
{
nv=atol(data);
if (nv > 192)
{
alarma4 = 0;
siguiente = 8;
idnodo4=4;

}if (nv < 192)
{
alarma4 = 1;
```

```
idnodo4 = 0;
}
n4=nv-100;
}
if(data[0]=='2')
{
nv=atol(data);
if (curva = 0)
{
if (nv > 290 && nv1 > 50)
{
alarma5 = 0;
siguiente = 9;
idnodo4=4;
}

if(nv < 290)
{
alarma5 = 1;
idnodo4=0;
}
n5=nv-200;
}
if (curva = 1)
{
if (nv > 280 && nv1 > 70)
{
alarma5 = 0;
siguiente = 9;
idnodo4=4;
}

if(n4 < 92 && n5 < 80)
{
alarma5 = 1;
idnodo4=0;
}
n5=nv-200;
}

}
}
}
```

```
//FUNCION SI EL AUTO ESTA APAGADO
```

```

if (llave == 0)
{
encender1=1;
alarma3=1;
alarma4=1;
alarma5=1;
n3 = "0";

if((uip_ipaddr_cmp(&nodo1, &sender_addr))
{

n1=String (data);
if (data[0]=='0' || data[1]=='0' || data[2]=='0' )
{idnodo1=1;
alarma1=2;
if(data[0]=='0')
{
estpd1="Abierta";
siguiente = 2;
}
if(data[1]=='0')
{
estpd2="Abierta";
siguiente = 10;

}
if(data[2]=='0')
{
estcind="Abierto";
siguiente = 3;

}
if(data[0]=='1')
{
estpd1="Cerrada";
}
if(data[1]=='1')
{
estpd2="Cerrada";
}
if(data[2]=='1')
{
estcind="Colocado";
}
}
}

```

```

if (data[0]=='1' && data[1]=='1' && data[2]=='1')
{
idnodo1=0;
alarma1=1;
estpd2="Cerrada";
estpd1="Cerrada";
estcind="Colocado";
}

}

if((uip_ipaddr_cmp(&nodo2, &sender_addr)))
{

n2=String (data);
if (data[0]=='0' || data[1]=='0' || data[2]=='0' )
{
idnodo2=2;
alarma2=2;
if(data[0]=='0')
{
estpi1="Abierta";
siguiente = 4;
}
if(data[1]=='0')
{
estpi2="Abierta";
siguiente = 5;
}
if(data[2]=='0')
{
estcini="Abierto";
siguiente = 6;
}
if(data[0]=='1')
{
estpi1="Cerrada";

}
if(data[1]=='1')
{
estpi2="Cerrada";

}
if(data[2]=='1')
{
estcini="Colocado";
}
}
}

```

```
}
if (data[0]=='1' && data[1]=='1' && data[2]=='1' )
{
idnodo2=0;
alarma2=1;
estpi2="Cerrada";
estpi1="Cerrada";
estcini="Colocado";
}
}
if((uip_ipaddr_cmp(&nodo3, &sender_addr)))
{

if(data[0]=='1')
{
alarma6=1;
Capó="Cerrado";
idnodo3=0;
}
if(data[0]=='0')
{
alarma6=2;
Capó="Abierto";
siguiente = 7;
idnodo3=3;
}
}
}
```

ANEXO B. Código de Nodos 1 y 2

```
/// LECTURA DEL ESTADO DE LOS SENSORES MAGNETICOS
```

```
pd1=digitalRead(btn);  
pd2=digitalRead(btn1);  
cd1=digitalRead(btn2);  
pulsador=digitalRead(btn3);
```

```
// ESTDO DE PUERTA DERCHA 1
```

```
if(pd1==1 && cpd1a<7)
```

```
{  
  cpd1a=cpd1a+1;
```

```
  datos_env[0]='1';
```

```
  udp_send[0] = datos_env[0];
```

```
  IPv6Stack::udpSend(router, dest_port, udp_send, 10);
```

```
  send_timer.restart();
```

```
  cpd1c=0;
```

```
}
```

```
if (pd1==0 && cpd1c<7)
```

```
{  
  cpd1c=cpd1c+1;
```

```
  datos_env[0]='0';
```

```
  udp_send[0] = datos_env[0];
```

```
  IPv6Stack::udpSend(router, dest_port, udp_send, 10);
```

```
  send_timer.restart();
```

```
  cpd1a=0;
```

```
}
```

```
// ESTADO DE PUERTA DERECHA 2
```

```
if(pd2==1 && cpd2a<7)
```

```
{  
  cpd2a=cpd2a+1
```

```

datos_env[1]='1';

udp_send[1] = datos_env[1];

IPv6Stack::udpSend(router, dest_port, udp_send, 10);

send_timer.restart();
cpd2c=0;
}

if (pd2==0 && cpd2c<7)
{
cpd2c=cpd2c+1;

datos_env[1]='0';

udp_send[1] = datos_env[1];

IPv6Stack::udpSend(router, dest_port, udp_send, 10);

send_timer.restart();
cpd2a=0;
}

//// ESTADO DE CINTURON DE SEGURIDAD
if (pulsador==1 )
{

if(cd1==1 && ccd1a<7)
{
ccd1a=ccd1a+1;
datos_env[2]='1';

udp_send[2] = datos_env[2];

IPv6Stack::udpSend(router, dest_port, udp_send, 10);

send_timer.restart();
ccd1c=0;
}

if (cd1==0 && ccd1c<7)
{
ccd1c=ccd1c+1;

```

```
datos_env[2]='0';

udp_send[2] = datos_env[2];

IPv6Stack::udpSend(router, dest_port, udp_send, 10);

send_timer.restart();
ccd1a=0;
}
cpulsadorc=0;

}
if (pulsador==0 && cpulsadorc <7)
{
cpulsadorc=cpulsadorc+1;

datos_env[2]='1';

udp_send[2] = datos_env[2];

IPv6Stack::udpSend(router, dest_port, udp_send, 10);

send_timer.restart();
cpulsadora=0;
ccd1c=0;
ccd1a=0;
```

ANEXO C. Código de Nodo Sensor 3

```
while(Wire.available())
{
  dato = Wire.read();
  if (dato < 255)
  {
    if (dato != dato1)
    {
      dato1 = dato;
      if(estado==0)
      {
        if (dato<3)
        {
          datos_env[0]=' ';
          datos_env[1]='0';
          datos_env[2]='0';
          datos_env[3]='0';
        }
        if (dato>=3 && dato <5)
        {
          datos_env[0]=' ';
          datos_env[1]='0';
          datos_env[2]='0';
          datos_env[3]='3';
        }
        if (dato>=5 && dato<8)
        {
          datos_env[0]=' ';
          datos_env[1]='0';
          datos_env[2]='0';
          datos_env[3]='5';
        }
        if (dato>=8 && dato<10)
        {
          datos_env[0]=' ';
          datos_env[1]='0';
          datos_env[2]='0';
          datos_env[3]='8';
        }
        if (dato>=10 && dato<13)
        {
          datos_env[0]=' ';
```

```
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='1';
datos_env[3]='0';
}
if (dato>=13 && dato<15)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='1';
datos_env[3]='3';
}
if (dato>=15 && dato<18)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='1';
datos_env[3]='5';
}
if (dato>=18 && dato<20)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='1';
datos_env[3]='8';
}
if (dato>=20 && dato <23)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='2';
datos_env[3]='0';
}
if (dato>=23 && dato<25)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='2';
datos_env[3]='3';
}
if (dato>=25 && dato<28)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='2';
datos_env[3]='5';
```

```

}
  if (dato>=28 && dato<30)
  {
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='2';
datos_env[3]='8';
  }
  if (dato>=30 && dato<33)
  {
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='3';
datos_env[3]='0';
  }
  if (dato>=33 && dato<35)
  {
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='3';
datos_env[3]='3';
  } if (dato>=35 && dato <38)
  {
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='3';
datos_env[3]='5';
  } if (dato>=38 && dato<40)
  {
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='3';
datos_env[3]='8';
  }
  if (dato>=40 && dato<43)
  {
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='4';
datos_env[3]='0';
  }
  if (dato>=43 && dato<45)
  {
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';

```

```
datos_env[2]='4';
datos_env[3]='3';
}
if (dato>=45 && dato<48)
{
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='4';
datos_env[3]='5';
}
if (dato>=48 && dato<50)
{
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='4';
datos_env[3]='8';
}
if (dato>=50 && dato<53)
{
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='5';
datos_env[3]='0';
}
if (dato>=53 && dato<55)
{
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='5';
datos_env[3]='3';
}
if (dato>=55 && dato<58)
{
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='5';
datos_env[3]='5';
}
if (dato>=58 && dato<60)
{
datos_env[0]='';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='5';
datos_env[3]='8';
}
```

```
    if (dato>=60 && dato<63)
    {
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='6';
datos_env[3]='0';
    }
    if (dato>=63 && dato<65)
    {
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='6';
datos_env[3]='3';
    }
    if (dato>=65 && dato<68)
    {
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='6';
datos_env[3]='5';
    }
    if (dato>=68 && dato<70)
    {
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='6';
datos_env[3]='8';
    }
    if (dato>=70 && dato<73)
    {
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='7';
datos_env[3]='0';
    }
    if (dato>=73 && dato<75)
    {
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='7';
datos_env[3]='3';
    }
    if (dato>=75 && dato <78)
    {
datos_env[0]=' ';
```

```
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='7';
datos_env[3]='5';
}
if (dato>=78 && dato<80)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='7';
datos_env[3]='8';
}
if (dato>=80 && dato <83)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='8';
datos_env[3]='0';
}
if (dato>=83 && dato<85)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='8';
datos_env[3]='3';;
} if (dato>=85 && dato<88)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='8';
datos_env[3]='5';
}
if (dato>=88 && dato<90)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='8';
datos_env[3]='8';
}
if (dato>=90 && dato<93)
{
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='9';
datos_env[3]='0';
}
```

```
    if (dato>=93 && dato<95)
    {
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='9';
datos_env[3]='3';
    }
    if (dato>=95 && dato<98)
    {
datos_env[0]=' ';
datos_env[1]='0';
datos_env[2]='9';
datos_env[3]='5';
    }
    if (dato>=98 && dato<100)
    {
datos_env[0]=' ';
```