



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

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN E INCLINACIÓN DE UN
PUENTE MEDIANTE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

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

AUTORES:
CRISTIAN ARNULFO SALGADO CAZORLA
GEOMAYRA CAROLINA CARRANZA CHICHANDE

Riobamba – Ecuador

2016



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

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN E INCLINACIÓN DE UN
PUENTE MEDIANTE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

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

AUTORES: CRISTIAN ARNULFO SALGADO CAZORLA
GEOMAYRA CAROLINA CARRANZA CHICHANDE
TUTOR: ING. EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLÁN MSC.

Riobamba – Ecuador

2016

©2016, Cristian Arnulfo Salgado Cazorla, Geomayra Carolina Carranza Chichande

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.

Cristian Arnulfo Salgado Cazorla

Geomayra Carolina Carranza Chichande

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

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN E INCLINACIÓN DE UN PUENTE MEDIANTE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS, de responsabilidad de los señores Cristian Arnulfo Salgado Cazorla y Geomayra Carolina Carranza Chichande, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Miguel Tasambay PhD

DECANO FIE

Ing. Franklin Moreno Montenegro

**DIRECTOR DE LA ESCUELA
DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

Ing. Edwin Altamirano Santillán

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Wilson Zúñiga Vinuesa

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

NOTA _____

Yo, Cristian Arnulfo Salgado Cazorla y Geomayra Carolina Carranza Chichande somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo

Cristian Arnulfo Salgado Cazorla

Geomayra Carolina Carranza Chichande

DEDICATORIA

A Dios por ponerme en el camino todos los recursos necesarios para mi desarrollo académico y personal, a mi madre y padre que me fueron otorgados, con su esfuerzo dedicación que han demostrado durante toda mi vida, a mis hermanas, tíos, tías, primos que nunca perdieron la fe y con una palabra de aliento me impulsaron siempre a superar los obstáculos y conseguir las metas hasta aquí propuestas así como también a todos los docentes que algún día aportaron con su granito de arena en los conocimientos adquiridos.

Cristian

A Dios por llenarme de momentos buenos y malos que forjan mi camino, permitiéndome así valorarlo cada día más. A mi querida madre por ser aquella persona que me brinda su compañía, apoyo y amor incondicional en cada faceta de mi vida; gracias a su sacrificio y esfuerzo he logrado alcanzar una meta más en mi vida profesional. A mi abuelito, hermanas y tíos quienes con sus palabras de aliento me impulsaban a seguir adelante sin importar los momentos difíciles que pasamos siempre cumpliera con mis ideales.

Geomayra

AGRADECIMIENTO

A todos aquellos que estuvieron durante toda mi vida académica, familia, amigos, docentes que siempre me apoyaron en los momentos que mi esperanza se debilitaba y las ganas de tirar la toalla se apoderaban de mis pensamientos, gracias a sus palabras de apoyo las ganas de seguir superándome siguen latentes y me permitirán seguir cosechando metas en el futuro.

Cristian

A mi familia, maestros, y amigos, nunca encontraré la manera de corresponder el afecto y apoyo manifestado en cada instante de mi vida, hago este triunfo compartido, ya que gracias a su contribución se llegó a la culminación de ese logro.

Geomayra

CONTENIDO

CONTENIDO	Páginas
RESUMEN	xv
SUMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	3
1.1 Monitorización de Estructuras	3
1.1.1 <i>Estructuras civiles</i>	3
1.1.2 <i>¿Qué es la monitorización de estructuras?</i>	3
1.1.3 <i>Importancia</i>	4
1.1.4 <i>Proceso de monitorización</i>	5
1.1.5 <i>Elementos primordiales de un sistema de monitorización</i>	6
1.1.6 <i>Técnicas de monitorización</i>	6
1.1.7 <i>Control de vibraciones de un puente</i>	7
1.1.8 <i>Métodos de excitación a estructuras</i>	8
1.2 Redes de sensores inalámbricos (WSN)	8
1.2.1 <i>¿Qué es una red de sensores inalámbricos (WSN)?</i>	9
1.2.2 <i>Elementos</i>	10
1.2.3 <i>Características de diseño</i>	10
1.2.4 <i>Arquitecturas</i>	10
1.2.5 <i>Tecnologías inalámbricas</i>	11
1.2.6 <i>Topologías</i>	12
1.2.7 <i>Enrutamiento</i>	13
1.2.7.1 <i>Algoritmos</i>	14
1.2.7.2 <i>Modelos</i>	14
1.2.8 <i>Aplicaciones</i>	14
1.3 Sistemas embebidos	15
1.3.1 <i>Definición</i>	16
1.3.2 <i>Características</i>	16
1.3.3 <i>Estructura</i>	17
1.3.4 <i>Arquitectura básica</i>	17
1.3.5 <i>Seguridad</i>	18
1.3.6 <i>Aplicaciones</i>	19

1.3.7	Arduino	20
1.3.7.1	<i>¿Qué es Arduino?</i>	20
1.3.7.2	<i>Características</i>	21
1.3.7.3	<i>Componentes</i>	22
1.3.7.4	<i>Tipos</i>	23
1.3.7.5	<i>Otros recursos</i>	23
1.3.8	Raspberry Pi	24
1.3.8.1	<i>Historia</i>	24
1.3.8.2	<i>Diseño</i>	25
1.3.8.3	<i>Características</i>	26
1.3.8.4	<i>Accesorios</i>	27
1.3.9	Intel Galileo	28
1.3.9.1	<i>Definición</i>	28
1.3.9.2	<i>Características</i>	28
1.3.9.3	<i>Familia Intel</i>	29
1.4	Sistemas de transmisión y recepción de datos	30
1.4.1	<i>¿Qué es un sistema de transmisión?</i>	30
1.4.2	<i>Modos de transmisión</i>	30
1.4.2.1	<i>Transmisión en Serie</i>	31
1.4.2.2	<i>Transmisión en Paralelo</i>	31
1.4.2.3	<i>Transmisión Síncrona y Asíncrona</i>	32
1.4.2.4	<i>Transmisión Simplex, Duplex, Full Duplex</i>	33
1.4.3	Bluetooth	34
1.4.3.1	<i>Características</i>	35
1.4.3.2	<i>Topología de red</i>	35
1.4.3.3	<i>Arquitectura</i>	36
1.4.3.4	<i>Enlace de radio</i>	37
1.4.3.5	<i>Tipos de enlaces</i>	37
1.4.3.6	<i>Bandas de frecuencia</i>	37
1.4.3.7	<i>Canales de transmisión</i>	38
1.4.3.8	<i>Potencia</i>	38
1.4.3.9	<i>Formato de los paquetes Bluetooth</i>	39
1.4.3.9.1	<i>Código de acceso</i>	39
1.4.3.9.2	<i>Cabecera</i>	40
1.4.3.9.3	<i>Carga útil</i>	40
1.4.3.10	<i>Seguridad</i>	40

1.4.4	<i>Módulo o protocolo ZigBee</i>	41
1.4.4.1	<i>Características</i>	42
1.4.4.2	<i>Red ZigBee</i>	43
1.4.4.3	<i>Topología de red</i>	44
1.4.4.4	<i>Arquitectura</i>	45
1.4.4.4.1	<i>Capa física</i>	45
1.4.4.4.2	<i>Capa de control de acceso al medio</i>	46
1.4.4.4.3	<i>Capa de red</i>	46
1.4.4.4.5	<i>Capa de aplicación</i>	47
1.4.4.5	<i>Formato de los paquetes ZigBee</i>	48
1.4.4.6	<i>Modos de funcionamiento</i>	48
1.4.4.6.1	<i>Con Baliza</i>	49
1.4.4.6.2	<i>Sin Baliza</i>	49
1.4.4.7	<i>Formación de la red</i>	49
1.4.4.8	<i>Tráfico soportado</i>	50
1.4.4.9	<i>Consumo de energía</i>	51
1.5	Los Sensores	51
1.5.1	<i>Definición de sensor</i>	52
1.5.2	<i>Características de los sensores</i>	52
1.5.3	<i>Clasificación de los sensores</i>	52
1.5.3.1	<i>Según aporte de energía</i>	53
1.5.3.2	<i>Según la señal de salida</i>	53
1.5.3.3	<i>Según el modo de funcionamiento</i>	54
1.5.4	<i>Red de sensores</i>	54
1.5.5	<i>Vibrómetro</i>	55
1.5.6	<i>Acelerómetro</i>	55
1.5.7	<i>Sensores de gas</i>	55
1.5.8	<i>Sensor de humedad</i>	56
1.5.9	<i>Sensores de presión</i>	56
CAPITULO II		
2.	DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)	57
2.1	Diagrama de bloques de WSN	57
2.2	Componentes de un nodo inalámbrico	58
2.2.1	<i>Sistema embebido: Arduino MEGA ATmega2560</i>	58
2.2.1.1	<i>XBee Shield</i>	62

2.2.2	<i>Sistema Tx/Rx</i>	63
2.2.2.1	<i>Circuito básico para el XBee.</i>	64
2.2.2.2	<i>Modos de operación</i>	64
2.2.3	<i>Sensores</i>	66
2.2.3.1	<i>Sensor de vibración: 420-sw tipo nc interruptor módulo sensor de Vibración</i>	66
2.2.3.2	<i>Sensor de inclinación: Acelerómetro ADXL335</i>	67
2.3	Estructura: Puente	68
2.3.1	<i>¿Qué es un puente?</i>	69
2.3.2	<i>Puentes de vigas</i>	69
2.3.3	<i>Normativas sísmicas de diseño de puentes</i>	71
2.3.3.1	<i>Control de vibración</i>	71
2.3.3.2	<i>Control de inclinación</i>	72
CAPITULO III		
3	IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)	73
3.1	Diseño esquemático de la Red WSN	73
3.2	Simulación de la Red de sensores inalámbricos: Network Simulator 2	73
3.3	Diseño Electrónico: Fritzing	75
3.4	Construcción de los nodos de la Red WSN	76
3.4.1	<i>Nodo Sensorial</i>	76
3.4.2	<i>Nodo Coordinador</i>	77
3.5	Configuración de la Red Mesh ZigBee	78
3.5.1	Programación del XBee S2	78
3.6	Configuración de los nodos de la Red WSN	79
3.6.1	<i>Nodo Sensorial</i>	79
3.6.1.1	<i>Estructura de la información</i>	80
3.6.2	<i>Nodo Coordinador</i>	81
3.7	Diseño de la Interfaz Gráfica	82
3.8	Pruebas de Laboratorio	84
3.9	Pruebas de Campo	85
3.9.1	<i>Distancia máxima en línea de vista</i>	85
3.9.2	<i>Recepción de datos</i>	87
3.10	Presentación de resultados	90
CONCLUSIONES		93

RECOMENDACIONES

94

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Técnicas de monitorización de estructuras	7
Tabla 2-1	Comparación de métodos de excitación a estructuras	8
Tabla 3-1	Tecnologías inalámbricas de comunicación	12
Tabla 4-1	Métodos de seguridad en un sistema embebido	19
Tabla 5-1	Tipos de Arduino (Sistema embebido)	23
Tabla 6-1	Modelos de Raspberry Pi (Sistema embebido)	25
Tabla 7-1	Bandas de frecuencia y canales RF Bluetooth	38
Tabla 8-1	Clasificación de los sensores	52
Tabla 1-2	Características generales de Arduino MEGA	59
Tabla 2-2	Funciones especiales de los pines del módulo Arduino Mega 2560	61
Tabla 3-2	Tabla Modo Sleep y consumos de corriente	65
Tabla 4-2	Características de los puentes	69
Tabla 5-2	Elementos estructurales de la superestructura de un puente	70
Tabla 6-2	Elementos estructurales de la infraestructura de un puente	70
Tabla 1-3	Componentes del nodo sensor	76
Tabla 2-3	Componentes del nodo coordinador	77
Tabla 3-3	Modelo, nombre y dirección de cada XBee S2	79
Tabla 4-3	Configuración planificada para la Red Mesh	79
Tabla 5-3	Detalle de las mediciones de los nodos enviados por el XBee S2	80
Tabla 6-3	Detalle de las mediciones del ambos Nodos Sensoriales	82
Tabla 7-3:	Resultados de las pruebas de campo(Alcance máximo)	86

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-1	Importancia de la monitorización estructural.	4
Figura 2-1	Actividades principales del proceso de monitorización.	5
Figura 3-1	Dispositivo autónomo de una red de sensores inalámbricos.	9
Figura 4-1	Componentes de una red de sensores inalámbricos.	10
Figura 5-1	Arquitectura centralizada (WSN)	11
Figura 6-1	Arquitectura distribuida (WSN)	11
Figura 7-1	Topología en estrella (Redes WSN).	12
Figura 8-1	Topología en malla (Redes WSN).	13
Figura 9-1	Topología híbrida malla-estrella (Redes WSN).	13
Figura 10-1	Aplicaciones de Redes WSN (a) Monitoreo de Estructuras (b) Seguimiento a animales (c) Monitoreo del entorno	15
Figura 11-1	Sistema embebido	15
Figura 12-1	Interior de un sistema embebido.	17
Figura 13-1	Campos de aplicación de un sistema embebido.	19
Figura 14-1	Arduino	21
Figura 15-1	Especificaciones de los elementos de la placa Arduino UNO	22
Figura 16-1	Módulo de comunicación Ethernet de Arduino	24
Figura 17-1	Raspberry Pi, Mini computador	24
Figura 18-1	Raspberry Pi y conexión de periféricos	25
Figura 19-1	Tarjeta Intel Galileo.	29
Figura 20-1	Transmisión en serie de datos	31
Figura 21-1	Transmisión en paralelo de datos	31
Figura 22-1	Proceso de transmisión síncrona de datos	32
Figura 23-1	Transferencia asíncrona de datos	33
Figura 24-1	Circuito Simplex	33
Figura 25-1	Circuito Dúplex	33
Figura 26-1	Red dispersa o Scatternet	36
Figura 27-1	Formato general de los paquetes Bluetooth	39
Figura 28-1	Tipos de dispositivos según su funcionalidad	43
Figura 29-1	Tipos de topología y de dispositivos en ZigBee	44
Figura 30-1	Distribución de canales en la banda 2,4GHz del estándar IEEE 802.15.4	46
Figura 31-1	Mensaje ZigBee con cabecera de capa física	48

Figura 1-2	Diagrama de bloques Red de Sensores Inalámbricos	57
Figura 2-2	Diagrama de bloques nodo coordinador	58
Figura 3-2	Diagrama de bloques nodo sensorial	58
Figura 4-2	Componentes principales del módulo Arduino Mega 2560	59
Figura 5-2	Mapeo de pines ATmega 2560 en la placa Arduino	60
Figura 6-2	XBee Shield	62
Figura 7-2	Elementos del XBEE	63
Figura 8-2	Conexiones mínimas requeridas para el XBEE	64
Figura 9-2	Modos de Operación del módulo XBEE	65
Figura 10-2	Módulo Sensor de Vibración 420-sw tipo nc	66
Figura 11-2	Diagrama de bloques del ADXL335	67
Figura 12-2	Patillaje del ADXL335	68
Figura 13-2	Magnitudes de salida según posicionamiento	68
Figura 14-2	Perfil Longitudinal del puente San José con vigas de hormigón	70
Figura 15-2	Perfil Longitudinal del puente Tucsi con vigas de acero	70
Figura 1-3	Diseño esquemático de la estructura de la Red WSN	73
Figura 2-3	Inicio de la conexión (Red WSN – NS2)	74
Figura 3-3	Conexión establecida, envío de paquetes (Red WSN – NS2)	75
Figura 4-3	Diseño electrónico (Nodo Coordinador)	75
Figura 5-3	Diseño electrónico (Nodo Sensorial)	75
Figura 6-3	XBee S2 y Shield XBee compatible con Arduino MEGA 2560	76
Figura 7-3	Sensores a) ADXL 335 b) Módulo 420 sw	76
Figura 8-3	Pines soldados al Shield XBee.	77
Figura 9-3	Módulo lector de tarjetas SD para conectar con Arduino, de la marca LC Studio	77
Figura 10-3	Nodo Coordinador	78
Figura 11-3	Acceso al XBee S2 a través del XBee Explorer	78
Figura 12-3	Selección del Firmware – X-CTU a)Nodo C b) Nodo A	79
Figura 13-3	Jumper del Shield XBee, configuración para que el Arduino MEGA y el XBee utilicen el mismo puerto serial	80
Figura 14-3	a) Selección y verificación del COM10 b) Lectura del Nodo A	81
Figura 15-3	Lectura de los datos recibidos por los Nodos Sensoriales.	82
Figura 16-3	Ventana de Bienvenida a la Interfaz	83
Figura 17-3	Ventana de Graficación de los datos recolectados.	83
Figura 18-3	Ventana de Información de los Nodos Sensoriales.	83
Figura 19-3	Nodo Coordinador	84

Figura 20-3	Nodos Sensoriales (Nodo A - B).	84
Figura 21-3	Visualización de los datos del Nodo Coordinador IDE Arduino	85
Figura 22-3	Gráficas de los datos recolectados (MATLAB)	85
Figura 23-3	Pruebas de distancia(Alcance máximo)-Chambo	86
Figura 24-3	Recepción de datos(Línea de vista)-Chambo	86
Figura 25-3	Pruebas de distancia(Alcance máximo)-Penipe	86
Figura 26-3	Recepción de datos(Línea de vista)-Penipe	86
Figura 27-3	Nodo sensoriales, parte del encapsulado y funcionando para prueba de campo.	87
Figura 28-3	Ubicación de los nodos sensoriales – Chambo	87
Figura 29-3	Ubicación de los nodos sensoriales - Penipe	87
Figura 30-3	Recepción de datos - Chambo (Nodo coordinador)	88
Figura 31-3	Tráfico vehicular - Chambo	88
Figura 32-3	Tráfico vehicular – Penipe	88
Figura 33-3	Visualización de los datos recolectados - Chambo	88
Figura 34-3	Visualización de los datos recolectados - Penipe	88
Figura 35-3	Visualización de los datos recolectados - Chambo	89
Figura 36-3	Visualización de los datos recolectados - Penipe	89
Figura 37-3	Desconexión de sensor vibración - Nodo B	89
Figura 38-3	MatLab Desconexión de sensores (aceleración – Nodo A, vibración - Nodo B)	89
Figura 39-3	Graficación en R – Nodo A y Nodo B (Chambo 6h30-7h30)	90
Figura 40-3	Graficación en R – Nodo A y Nodo B (Chambo 10h30-11h30)	91
Figura 41-3	Graficación en R – Nodo A y Nodo B (Penipe 6h30-7h30)	91
Figura 42-3	Graficación en R – Nodo A y Nodo B (Penipe 10h30-11h30)	92

RESUMEN

Se diseñó un prototipo para la implementación de un sistema de monitoreo de vibración e inclinación de un puente mediante una red de sensores inalámbricos, para impedir incidentes o accidentes asociados a la inseguridad del movimiento de la estructura ocasionado por la falta de mantenimiento, mala construcción o tiempo de vida útil del puente. La red que opera en el protocolo IEEE 802.15.4 (ZigBee) se forma de tres nodos: el nodo coordinador y dos nodos sensoriales. Los nodos sensoriales detectan y transmiten inalámbricamente valores de vibración e inclinación de la estructura del puente al nodo principal denominado Coordinador, el mismo que a través de su puerto serial permite el procesamiento de la información a la interfaz de usuario creada en MatLab. Los dispositivos utilizados de forma general en los nodos fueron la placa Arduino MEGA 2560, los radios de comunicaciones XBee S2, el Shield XBee y cables de conexión. Se agregó en el nodo coordinador una tarjeta SD y el Shield necesario para el uso de la misma; en cada nodo sensorial el acelerómetro ADXL335, el módulo sw-420 para el control de la vibración, una batería de litio de 9V y una mini protoboard. Las pruebas de campo se ejecutaron en puentes cuya estructura sea de hormigón, localizada en los cantones Chambo y Penipe de la provincia de Chimborazo, se probó el funcionamiento del prototipo objeto de estudio en horas pico y no pico para detectar mediante la circulación vehicular los cambios en los valores detectados por ambos sensores. La recolección de datos se realizó durante una hora, en intervalos de diez minutos, de los cuales cinco minutos son de recolección de información y los otros cinco tiempos sin censar. Los resultados obtenidos se graficaron mediante la ayuda del software libre R, obteniéndose una gráfica de interpolación que demuestra que el funcionamiento del dispositivo cumple el objetivo para el cual fue diseñado.

Palabras Clave: <ACELERÓMETRO><INTERFAZ DE USUARIO><PBC ARDUINO>
<PROTOCOLO IEEE 802.15.4><PUENTE><RED WSN><SENSOR ADXL335><SISTEMA DE MONITOREO><TECNOLOGÍA ZIGBEE><VIBRÓMETRO>

SUMMARY

A prototype for implementing vibration monitoring and tilt of a bridge was designed by means of wireless network to prevent incidents or accidents associated with the movement insecurity of the structure caused by lack of maintenance, poor construction or useful lifetime bridge. The network operates on the IEEE 802.14.5 (ZigBee) protocol is composed of tree nodes: the coordinator node and two sensory nodes. Sensory nodes detect and transmit wirelessly vibration values and tilt of the bridge structure to the main node named Coordinator, which through its serial port allows to process information to the user interface created in MatLab. The devices used in the nodes were: Arduino MEGA 2560 plate, the communication radios XBee S2, the Shield XBee and connecting cables. An SD card was added to the coordinator node and the Shield necessary to be used; each sensor node ADXL335 accelerometer, the SW – 420 module for vibration control, a 9-volt lithium battery and a mini breadboard. Field tests were carried out on bridges which structure is concrete, located in Cantons Penipe and Chambo in the province of Chimborazo, the operation of the prototype object of study was tested in peak and off-peak hours to detect by vehicular circulation changes in the values detected by booth sensors. Data collection was performed for an hour, in ten-minute intervals, from which five minutes are data collection and the other five are non-stop times. The results obtained were plotted using free software R, obtaining an interpolation graphic demonstrating that the operation of the device fulfills the purpose for which it was designed.

Keywords: <ACCELEROMETER><USER INTERFACE><PCB ARDUINO><IEEE 802.15.4
PROTOCOL><BRIDGE><WSN NETWORK><ADXL335 SENSOR><MONITORING
SYSTEM><ZigBee><VIBROMETER>

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra el diseño de un prototipo de red de sensores inalámbricos (WSN) para el monitoreo de la vibración e inclinación de un puente. El fin principal es impedir incidentes o accidentes asociados a la inseguridad del movimiento de la estructura ocasionado por la falta de mantenimiento, mala construcción o tiempo de vida útil del puente.

El sistema envía la información receptada por los sensores a la persona que tenga acceso al interfaz de usuario, donde se obtendrá lecturas y gráficas del monitoreo, además se podrá comprobar el estado de comunicación de los nodos, el funcionamiento de los sensores y la cantidad de datos recolectados.

La red está compuesta por un nodo coordinador quién de manera inalámbrica recepta los datos de cada nodo sensorial, colocados en posiciones adecuadas en el puente, esta información es leída por la interfaz de usuario a través de su puerto serial. Cada nodo sensorial consiste de dos sensores (acelerómetro y vibrómetro), los cuales detectan la inclinación y vibración de la estructura a monitorear. Se utilizó el módulo ZigBee tanto por sus características como las prestaciones que tiene así como su costo y la baja tasa de datos cuando no está operando consiguiendo un mínimo consumo energético de operación.

Constan en el mercado sistemas de monitoreo de puentes, que usan canales análogos, digitales o de fibra óptica establecidos en vibrómetros, acelerómetros, GPS, GMS, GPRS, entre otros; las mismas que son de un costo elevado. Este trabajo propone un prototipo de monitoreo a bajo costo, de tal forma que en el caso de pérdida de un nodo, ya sea por daño o robo, esta situación no afecte cuantiosamente la monitorización de la estructura.

El Capítulo I, describe el marco teórico, donde se estudian los temas primordiales para el diseño e implementación del prototipo (Monitorización de estructuras, Sistemas embebidos, Redes WSN, Sistemas de transmisión y Sensores), esto permitió entender todo lo relacionado en lo antes descrito.

En el Capítulo II, se detallan los elementos elegidos para la formación del sistema de monitorización, sus características determinaron el tipo de alimentación, organización de conexiones (SHIELDS (XBee y tarjeta SD), pines extras), configuraciones necesarias para la Tecnología ZigBee, entre otros aspectos.

El Capítulo III, contiene las simulaciones de la red WSN, construcción y configuración para cada nodo (Coordinador y sensoriales), ejecución y pruebas del funcionamiento del sistema.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Monitorización de Estructuras

La monitorización de salud estructural (MSE) busca determinar el efecto de una carga sobre una estructura. Ejemplos de cargas incluyen el tránsito vehicular y peatonal, colisiones, viento, terremotos, etc. Esto permite caracterizar el desempeño de una estructura a través del tiempo. Tiene utilidad en la evaluación de nuevos materiales o métodos de construcción, así como la planeación de inspecciones visuales o sesiones de mantenimiento. (JIMÉNEZ MORA Luis Diego, 2013, P. 25)

A nivel mundial, los sistemas de MSE son instalados cada vez con mayor frecuencia en edificios, torres, estadios, y de interés particular para este proyecto, en puentes. Las variables más relevantes que se vigilan en un sistema de MSE son la vibración, esfuerzo, deformación, desplazamiento y temperatura. (JIMÉNEZ MORA Luis Diego, 2013, P. 25)

1.1.1 Estructuras civiles

Las estructuras civiles juegan un papel importante en diferentes áreas de la ingeniería, donde éstas tienen como función principal soportar elementos y adaptarse a cambios repentinos de excitación, los cuales pueden llegar a producir daños en la estructura o bien, el colapso de la misma. (AMÉZQUITA SÁNCHEZ Juan Pablo, 2014, P. 23)

Diversas construcciones en el mundo; desde las primeras edificaciones, hasta modernos edificios de alta ingeniería, guardan una relación íntima entre su diseño y dinámica. Naturalmente, no sólo las edificaciones han ido evolucionando, los avances en tecnología estructural y de materiales han permitido la construcción de estructuras civiles a gran y pequeña escala, lo cual se traduce en el desarrollo de la sociedad. (AMÉZQUITA SÁNCHEZ Juan Pablo, 2014, P. 23)

1.1.2 ¿Qué es la monitorización de estructuras?

La monitorización de estructuras (structural health monitoring -o SHM- en inglés) es una rama de la ingeniería estructural dedicada al desarrollo de sistemas que proporcionen información

sobre cualquier cambio significativo o daño que se produzca en una estructura. El establecimiento formal de esta disciplina es relativamente reciente. (TORRES GÓRRIZ Benjamín, 2011, P. 23)

Por ejemplo, la International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure fue fundada en el año 2003 y el primer número de la revista más antigua dedicada íntegramente a esta disciplina, el “Journal of Intelligent Material Systems & Structures “, apareció en el año 1990. (TORRES GÓRRIZ Benjamín, 2011, P. 23)

No obstante, el interés por conocer el comportamiento real de las estructuras es muy anterior. Ya los ingenieros ingleses como: Thomas Telford, Isambard Brunel y Robert Stephenson aplicaron en el S. XIX métodos experimentales para diseñar y comprobar la seguridad de estructuras, cuyo comportamiento exacto eran incapaces de predecir por las limitaciones de los métodos de cálculo existentes (Billington, 1985). (TORRES GÓRRIZ Benjamín, 2011, P. 23)

1.1.3 Importancia

Las estructuras forman un papel importante en el desarrollo de la sociedad, afectando aspectos importantes de la misma como economía, ecología, estética entre otros. Para la puesta en marcha de las estructuras se deben tomar en cuenta parámetros como: diseño, calidad, seguridad y explotación de la misma.

Un mal diseño o construcción, falta de mantenimiento preventivo o correctivo, cambios del entorno, condiciones ambientales, aumento excesivo de cargas, son causas que podrían dañar de forma irreversible e inclusive colapsar una estructura.

Con el pasar de los años las estructuras pueden sufrir cambios, ya sean de reparación o modificación, estos dependerán de las necesidades que se presenten en su etapa de explotación o uso. Al monitorizar una estructura en tiempo real se puede actuar de manera temprana en la inspección, diagnóstico y reparación.



Figura 1-1 Importancia de la monitorización estructural.
Fuente: (TORRES GÓRRIZ Benjamín, 2011, P. 29)

Al realizar el proceso de monitorización se influye en la gestión estructural optimizando procesos de mantenimiento reparación o corrección; se proporciona seguridad evitando consecuencias severas y se incrementan conocimientos sobre estructuras, logrando por medios de herramientas predecir el comportamiento de las mismas.

1.1.4 Proceso de monitorización

Las actividades principales del proceso de monitorización son: selección de una estrategia de monitorización; instalación de un sistema de monitorización; mantenimiento del sistema de monitorización; colección y análisis de datos obtenidos. La actividad más importante consiste en crear una buena estrategia de monitorización del sistema estructural o de estructura. (SIDOROVA Anna, 2010, P. 18)

Para comenzar una monitorización es importante definir el objetivo de la monitorización e identificar los parámetros que van a estar monitorizados. La monitorización está basada en el conocimiento de propiedades estructurales del sistema observado. Cada estructura tiene sus propias características y propiedades, por lo cual sus propios parámetros para monitorización. (SIDOROVA Anna, 2010, P. 18)

Esos parámetros tienen que ser correctamente seleccionados según el motivo de la monitorización y del estado funcional de la estructura. La determinación del sistema de monitorización depende de: objetivo, parámetros seleccionados, y tipo de monitorización; exactitud, frecuencia de recepción de datos, manera de colección de datos, características de medio ambiente, procedimientos de instalación de componentes del sistema, posibilidad de funcionamiento automático. (SIDOROVA Anna, 2010, P. 18)



Figura 2-1 Actividades principales del proceso de monitorización.
Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

1.1.5 Elementos primordiales de un sistema de monitorización

El equipo empleado en el MSE consiste en transductores (o sensores), acondicionadores de señal, dispositivos para adquisición de datos y soportes físico y lógico (hardware y software) para la interpretación. (MARULANDA Johannio and THOMSON Peter, 2011, P. 3)

Los transductores más usados son: acelerómetros (uniaxiales, biaxiales o triaxiales), extensómetros, termocuplas, detectores de resistencia/temperatura, transformadores lineales de voltaje/desplazamiento y detectores de corrosión. Normalmente se instalan los transductores en la estructura y se transmiten las señales por radio, microondas, línea telefónica o fibra óptica hasta una central donde se realiza la interpretación de los datos. (MARULANDA Johannio and THOMSON Peter, 2011, P. 3)

Los datos pueden ser almacenados para un análisis posterior, sin embargo, es posible automatizar la interpretación de los datos y realizar un monitoreo en tiempo real. El monitoreo a tiempo real permite identificar fallas peligrosas y evacuar edificaciones o cerrar puentes antes de un colapso. (MARULANDA Johannio and THOMSON Peter, 2011, P. 3)

- **Transductores:** son aquellos que convierten magnitudes físicas en un distinto tipo de señal.
- **Procesamiento y preparación de la señal:** el propósito es eliminar deficiencias de la línea de transmisión, sus funciones son la amplificación, filtrado y modulación/demodulación de la señal.
- **Vía de transmisión:** define la eficacia de la transmisión, su propósito es enviar los datos obtenidos por los transductores hasta los elementos de registro.
- **Procesamiento y almacenamiento de datos:** se realiza mediante un ordenador, el cual procesa toda la información recolectada.

1.1.6 Técnicas de monitorización

Son un proceso perenne e independiente, la vigilancia se realiza por etapas, se planifica cada paso, al final se obtiene una interpretación de los datos obtenidos. Se aplica tanto en nuevas estructuras como en aquellas que ya poseen problemas, en ambas se desea aumentar la información existente para predecir su comportamiento.

Tabla 1-1: Técnicas de monitorización de estructuras

PARÁMETROS TÉCNICAS	FUNCIONAMIENTO	USOS
INSPECCIÓN VISUAL	Se da de dos maneras: evaluación óptica y barrido electrónico.	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente en estructuras de menor escala
RADAR	Se basa en la emisión de ondas de radio, llega al objetivo y se recibe en la misma posición del emisor.	<ul style="list-style-type: none"> • Localización de fisuras • Exploración de anclajes, etc.
RAYOS X	Por medio de radiación electromagnética atraviesa cuerpos opacos, luego proporcionan imágenes del objeto.	<ul style="list-style-type: none"> • Detección exacta de objetos • Estudios de homogeneidad del hormigón, etc.
EMISIÓN ACÚSTICA	El sensor detecta y convierte el movimiento dinámico de la superficie en una señal eléctrica, estas son amplificadas y filtradas para su posterior interpretación.	<ul style="list-style-type: none"> • Inspecciones de vigas
FOTOGRAFETRÍA	Determina la forma y tamaño de objetos, a través de la interpretación de imágenes o medios electrónicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorización de estructuras • Control de ensayos
TERMOGRAFÍA	Se basa en el principio físico de la radiación, cualquier objeto por encima de un estándar de temperatura emiten radiación infrarroja.	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisión de calor • Reflexión
LÁSER	Realiza un barrido a la estructura, emitiendo puntos de monitorización.	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento o desplome de la estructura.
FLUJOS MAGNÉTICOS	Un campo magnético atraviesa la estructura, magnetizando el acero embebido, por medio de sensores se detecta si existe imperfección en el acero.	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de daños o anomalías en barras de acero corrugado
EXTENSOMETRÍA CLÁSICA	Radica en la transición de resistencia que siente el conductor cuando se varía la sección o longitud sobre él.	<ul style="list-style-type: none"> • Control de deformaciones en estructuras de acero y hormigón
SISTEMAS ÓPTICOS	Evalúa variaciones de longitud de onda que percibe la luz cuando se refleja.	<ul style="list-style-type: none"> • Deformaciones • Corrosión, etc.

Fuente: TORRES GÓRRIZ BENJAMÍN, 2009

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

1.1.7 Control de vibraciones de un puente

Los métodos que se aplican, para el control de vibraciones de puentes involucran varios aspectos, que van desde el tipo de excitación empleada hasta la manera de interpretar os resultados. (CHICANGO Martínez and STALIN Héctor, 2014, P. 30-31)

El método de excitación aplicada a la vibración de puentes comprende desde las condiciones ambientales, el uso de las infraestructuras, hasta elementos específicamente diseñados para la excitación del puente bajo condiciones controladas. Los métodos más utilizados son: los efectos ambientales y de uso, por liberación de cargas, por vibraciones y por impacto. (CHICANGO Martínez and STALIN Héctor, 2014, P. 30-31)

El monitoreo de una estructura y su posterior análisis de los resultados, es afectado de forma directa según los elementos que se utilizan para la captura del movimiento de la estructura. En la actualidad los acelerómetros son los que mayor ventaja presentan desde el punto de vista metrológico. (CHICANGO Martínez and STALIN Héctor, 2014, P. 30-31)

1.1.8 Métodos de excitación a estructuras

Tabla 2-1: Comparación de métodos de excitación a estructuras

ASPECTOS MÉTODOS	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN	VENTAJA	DEVENTAJA
EFFECTOS AMBIENTALES	Considera el tráfico vehicular el comportamiento del medio ambiente, sismos etc.	Apropiada para puentes medianos y grandes.	Bajo costo permitiendo la realización de pruebas en condiciones de servicio.	No se conoce la señal de excitación. La magnitud de la señal no es constante.
DESPLAZAMIENTO	Se emplea una fuerza estática a la estructura, generando un desplazamiento de forma estática, después de un momento el puente regresa a su estado inicial.	Estudios de laboratorio Análisis de puentes cortos Puentes a escala	Al experimentar diferentes modos de vibración se puede medir con gran precisión los coeficientes de amortiguamiento.	Los mecanismos de desplazamiento son complicados y costosos en pruebas de campo.
LIBERACION DE CARGAS	Se basa en el método de desplazamiento a excepción de que al colgar una carga en el centro de la estructura se genera la vibración.	Puentes largos	Bajo costo	Su aplicación debe ser de manera vertical y tener cuidado al colgar la carga.
VIBRADORES	Permite un control de la señal de excitación, ya que se conoce la magnitud de la fuerza aplicada a la estructura, siendo esta una excitación predeterminada.	Empleo de un péndulo que cuelga del puente. Uso de vibradores con pulsos de duración corta (método del chasquido).	Provee factibilidad permitiendo un análisis modal, además permite establecer la respuesta en frecuencia en función de transparencia.	Costo elevado y complicaciones en el manejo de los equipos.

Fuente: MARTINEZ CHICANGO HECTOR, 2014

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

1.2 Redes de sensores inalámbricos (WSN)

El desarrollo alcanzado por tecnologías de fabricación de circuitos integrados, tales como microcontroladores y dispositivos de lógica programable FPGA, han provocado el auge de las aplicaciones de sistemas embebidos. Las mismas se han convertido en la solución a gran número de problemas que anteriormente requerían de un sistema mucho más complejo, por ejemplo una PC. (BENÍTEZ Juan de Dios et al., 2013, P. 2)

Una aplicación de este tipo de sistemas es la interacción entre las WSN y las redes existentes, ya que la tendencia de los nodos de una WSN es la miniaturización de los nodos, lo que conlleva a la necesidad de limitar el hardware que puede llegar a contener cada nodo sensor, tanto por el tamaño como así también por la necesidad de bajos consumos de energía. (BENÍTEZ Juan de Dios, GLOZA Gonzalo Martín, SOSA Eduardo Omar and GODOY Diego Alberto, 2013, P. 2)

El avance tecnológico de las redes inalámbricas a lo largo de los años ha sido notable, Infrarrojo, Bluetooth, ZigBee, WiFi, Wimax, GPRS entre otras tecnologías permiten la ejecución de múltiples aplicaciones en distintos sectores (industria, agricultura, seguridad, etc.) del diario vivir del ser humano.

Las redes de sensores inalámbricos proveen la capacidad de monitorizar cualesquier ambiente independientemente de su ubicación, las motas o nodos se ubican en el entorno, se comunican entre sí, para poder transmitir la información parámetros elegidos al Gateway y así tomar las decisiones adecuadas.

El principal inconveniente que presentan las WSN es que debido a que están desplegadas en el campo (muchas veces a kilómetros del usuario), deben optimizar el consumo de energía. Es por esta razón, que los protocolos utilizados en WSN para transmitir datos y coordinar el funcionamiento, son especialmente diseñados para ahorrar energía y no son compatibles con TCP/IP. Motivo por el cual, las WSN requieren la implementación en sus elementos de diversas técnicas tanto de software como de hardware para resolver la integración a redes TCP/IP. (IACONO Lucas et al., 2012, P. 1-2)

1.2.1 ¿Qué es una red de sensores inalámbricos (WSN)?



Figura 3-1 Dispositivo autónomo de una red de sensores inalámbricos.
Fuente: (AAKVAAG Niels and FREY Jan-Erik, 2006, P. 39)

Es aquella que se compone de elementos de consumo y costo reducido, cuya finalidad es la obtención de información de su alrededor, procesarla internamente y transmitirla por medio de acoples inalámbricos hasta un nodo principal.

La detección o estimación de un evento y su correspondiente transmisión se realiza a través del trabajo colectivo de todos o de cierta parte de los nodos sensores en la red, lo que disminuye la cantidad de energía y costo computacional utilizado. En este tipo de redes, cada sensor se convierte en un nodo con capacidad de transmitir, a través del medio inalámbrico, los datos obtenidos de su entorno a un punto central donde son procesados y gestionados. (DAVIS Ernesto J García, 2009, P. 11)

1.2.2 Elementos



Figura 4-1 Componentes de una red de sensores inalámbricos.

Fuente: (CHIO CHO Nayibe et al., 2011, P. 2)

- **Sensores:** Receptan información de su entorno, la cambian a señales eléctricas. Existe diversidad de ellos en tecnología y naturaleza.
-
- **Motas o Nodos:** Reciben la información de sensor y la envían a la estación base.
- **Gateway:** permiten la conexión con una red TCP/IP.
- **Estación base:** recoge la información, puede ser un ordenador o un sistema empujado.

1.2.3 Características de diseño

- **Hardware limitado:** los nodos presentan capacidades limitadas de procesamiento, almacenamiento, comunicación, energía y ancho de banda, esto dependerá de las exigencias del proyecto.
- **Topología de la red:** de acuerdo a los puntos necesarios de monitorización se ubicará la red.
- **Soporte limitado de software:** se tomará en cuenta las funciones que posee el software para desarrollar la aplicación.

1.2.4 Arquitecturas

Una red inalámbrica de sensores consiste en tres componentes principales: nodos, gateways y software. Los nodos están distribuidos de forma espacial y junto con los sensores tienen la función de monitorear el equipo o su entorno. Los datos adquiridos son transmitidos de manera inalámbrica al gateway, el cual puede operar independientemente o conectarse a un sistema principal donde se puede reunir, procesar, analizar y presentar sus datos usando software. (CUJI COQUE Darwin Enrique and PAZMIÑO MORENO Darío Xavier, 2015, P. 48)

Constan dos tipos:

- **Centralizada:** solo existe comunicación de los nodos con el Gateway.

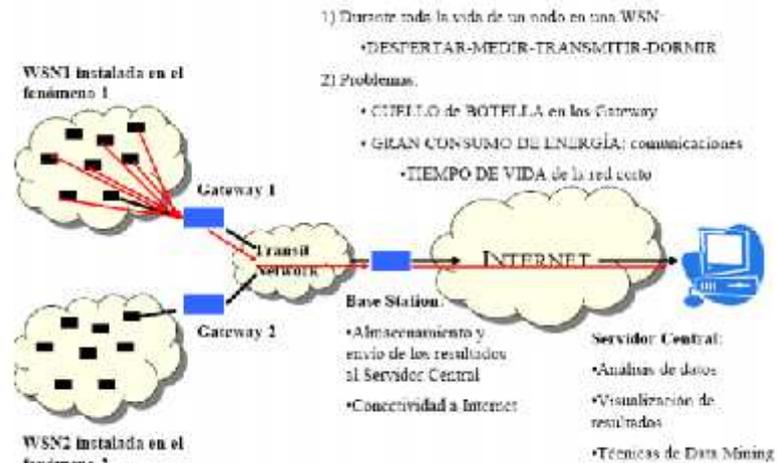


Figura 5-1 Arquitectura centralizada (WSN)
 Fuente: (COBOS HERNÁNDEZ Edgar Javier, 2007, P. 37)

- **Distribuida:** la comunicación se da entre los nodos sensores dentro de su alcance.

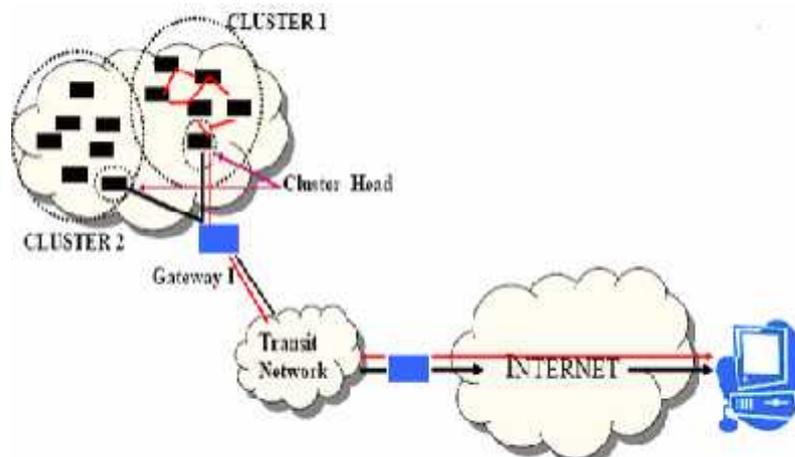


Figura 6-1 Arquitectura distribuida (WSN)
 Fuente: (COBOS HERNÁNDEZ Edgar Javier, 2007, P. 38)

1.2.5 Tecnologías inalámbricas

El protocolo de comunicación es una parte fundamental de la red de sensores, ya que muchos fabricantes desarrollan sus nodos para ser utilizados con protocolos de comunicación propietarios (Microchip MiWi™) o estandarizados por alguna organización específica (ZigBee®, WirelessHart®, etc.). (IACONO Lucas et al., 2010, P. 3)

Actualmente, existen diversos protocolos de comunicación aptos para ser utilizados en WSN, pero se hará especial referencia a la familia de desarrollos basados en IEEE 802.15.4 ya que estos permiten reducir el consumo y lograr la compatibilidad entre distintos fabricantes. (IACONO Lucas, GODOY Pablo, MARIANETTI Osvaldo and GARCÍA GARINO Carlos, 2010, P. 3)

Tabla 3-1: Tecnologías inalámbricas de comunicación

TECNOLOGÍAS CARACTERÍSTICAS	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	WIFI (IEEE 802.11g)
BANDAS	ISM (Instrumentation, Scientific and Medical radio bands)		
RADIO	DSSS	FHSS	DSSS
TRANSFERENCIA DE DATOS POR SEGUNDO	250 (Kb)	700 (Kb)	54 (APIDI RODAS Mario David and FERNÁNDEZ GARCÍA Humberto José, P. 21)
TIPOS DE DATOS	Pequeños paquetes de datos	Audio, gráficos, ficheros, películas	Gráficos, videos, audio, ficheros, películas
ALCANCE (m)	70-100	10	100
BATERIA (DURACIÓN)	100-1000 días	1 semana	12-48 horas
PRINCIPAL USO	Control y monitorización	WPAN	WLAN
ASPECTOS IMPORTANTES	Fiabilidad, consumo y costo reducido	Perfiles y costos de aplicación	Flexibilidad y velocidad

Fuente: <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

1.2.6 Topologías

- **Estrella:** los nodos acceden a la red cableada por medio del Gateway. Los nodos no comparten información entre sí, si es necesaria esta acción se hará mediante el Gateway. Su ventaja es el mínimo consumo de energía.

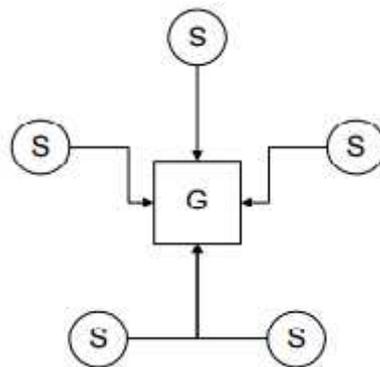


Figura 7-1 Topología en estrella (Redes WSN).

Fuente: (GARCÍA PATIÑO Manuel Ricardo and MORA VALERO Javier, 2013, P. 16)

- **Árbol:** para acceder al Gateway los nodos se deben conectar a un nodo de mayor jerarquía.
- **Malla:** proporciona mayor confiabilidad, ya que la información puede pasar por cualquier nodo de la red, es decir posee disponibilidad de caminos para llegar al Gateway.

Su principal característica es el multisalto, la cual produce intercomunicación entre los nodos. Si la red posee un gran número de nodos y extensión se podrían producir tiempos de espera mayores al momento de enviar y/o recibir información.

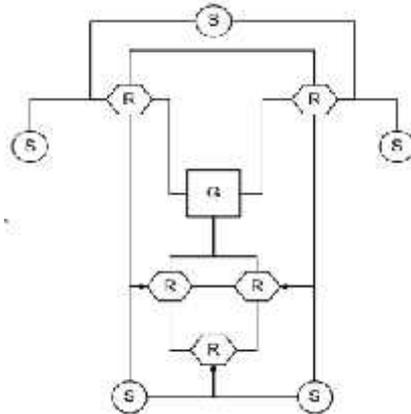


Figura 8-1 Topología en malla (Redes WSN).

Fuente: (GARCÍA PATIÑO Manuel Ricardo and MORA VALERO Javier, 2013, P. 16)

- **Híbrida malla-estrella:** esta topología, tiene características de la topología malla y estrella, es decir, la simplicidad y el bajo consumo de energía, así como la posibilidad de cubrir una gran extensión y de reorganización ante un fallo en algún canal de comunicación de un nodo. (GARCÍA PATIÑO Manuel Ricardo and MORA VALERO Javier, 2013, P. 16)

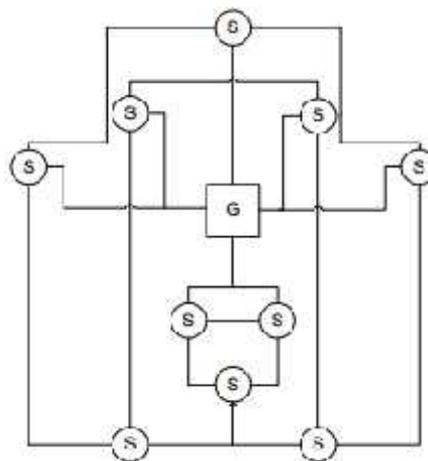


Figura 9-1 Topología híbrida malla-estrella (Redes WSN).

Fuente: (GARCÍA PATIÑO Manuel Ricardo and MORA VALERO Javier, 2013, P. 16)

1.2.7 Enrutamiento

Los protocolos convencionales de distribución de datos o enrutamiento no son eficientes en este tipo de redes con restricciones tan elevadas en el consumo de energía. En su lugar se han desarrollado otros protocolos más específicos que resuelven en parte ese problema. (SUESCÚN Catalina Aranzazu, 2012, P. 4-5)

De forma muy sencilla se citan los protocolos basados en negociación que usan descriptores antes de transmitir la información, evitando así parte de la redundancia; la difusión directa basada en enrutamiento reactivo originado en destino; el de ahorro de energía también del tipo reactivo pero basado exclusivamente en probabilidades de consumo energético; el multicamino basado en incrementar la disponibilidad de la red cuando el camino óptimo no está disponible; y finalmente Control de acceso al medio pero específico para redes de sensores y denominado: S-MAC. (SUESCÚN Catalina Aranzazu, 2012, P. 4-5)

1.2.7.1 Algoritmos

- Mantenimiento de tabla de enrutamiento reducida
- Elección de ruta corta
- Actualización de nodos (agregación o eliminación de los mismos)
- Limitado número de mensajes y tiempo de converger

1.2.7.2 Modelos

- **De un salto:** representa la comunicación directa entre los nodos y la estación base. Su consumo energético es elevado y presenta un tiempo de transmisión limitado.
- **Multi-hop:** provee una solución viable cuando la red posee muchos nodos, ya que la información dará saltos por ellos para llegar a la estación base.
- **Esquemático basado en clústeres:** la red se divide en capas de clústeres, la información sata de una capa a otra, llegando así a la estación base, el objetivo de esta técnica es disminuir la latencia.

1.2.8 Aplicaciones

Al proporcionar comunicaciones inalámbricas bidireccionales seguras y fiables, las WSN permiten soluciones de automatización y control que no son factibles en sistemas tradicionales para mejorar la producción, la eficiencia operativa, la seguridad y otros parámetros empresarios. (QUÍÑONES Adriana P et al., 2013, P. 3)

La utilización de WSN para aplicaciones industriales es de mucho interés en la actualidad, a diferencia de su aplicación en las redes administrativas, dado que el entorno industrial es impredecible y agresivo a la funcionalidad de las WSN, considerando las variaciones impredecibles en la temperatura, presión, humedad, presencia de equipos pesados, etc. (QUIÑONES Adriana P, GODOY Diego A and SOSA Eduardo O, 2013, P. 3)

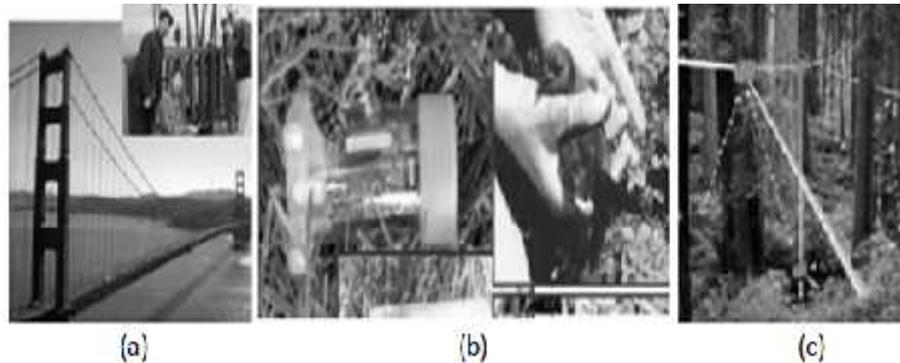


Figura 10-1 Aplicaciones de Redes WSN (a) Monitoreo de Estructuras (b) Seguimiento a animales (c) Monitoreo del entorno.
Fuente: (SUESCÚN Catalina Aranzazu, 2012, P. 4-5)

1.3 Sistemas Embebidos

Son aquellos productos que están en el diario vivir del ser humano, en su alrededor aunque no los nombre o se den cuenta, están en vehículos, ascensores, equipos de sonido, entre otros, cuyo funcionamiento se basan en un sistema embebido, no se controlan a través de una pantalla, un disco o teclado, o específicamente de un computador.



Figura 11-1 Sistema embebido.
Fuente: (HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ Cristhian Xavier et al., 2015, P. 34-35)

El cerebro de este sistema es el microcontrolador, el cual posee características especiales como interfaces de entrada/salida, además de permitir monitorizar o diagnosticar el sistema. Al integrar un sistema embebido en el diseño de un nuevo producto entre los objetivos principales esta la reducción de costos, aumento de confiabilidad y seguridad.

Es necesario recalcar que la utilización de este producto en sistemas complejos involucra un reto de la seguridad en TI para brindar salvaguardia a la información a través de todas las fases ya sea por funciones y/o protocolos criptográficos.

Habitualmente se realiza esto por medio de una estación serie, pero con las ventajas como el monitoreo remoto y la ejecución de decisiones preventivas y/o correctivas a larga distancia dan como consecuencia la posibilidad de adaptar una interfaz vía TCP/IP para el control de este sistema.

1.3.1 Definición

Los sistemas embebidos están compuestos por hardware y software, en algunos casos incluso de componentes mecánicos u otros dispositivos, creados con una funcionalidad específica. Su uso es muy común en los productos que el ser humano ocupa en su vida cotidiana, la diferencia entre este sistema y un computador, radica en que el computador tiene múltiples funcionalidades lo que le proporciona variados usos.

La composición del sistema embebido, hardware y software, puede ser sustituido por componentes o circuitos integrados que ejecuten el mismo propósito, pero la flexibilidad de modificación de sus líneas de código es una de las mayores ventajas que este sistema posee frente al reemplazo total o parcial de los componentes o circuitos integrados.

De forma común los sistemas embebidos se emplean en sistemas de tiempo real, es decir, en aquellos en los que el control es vital para opere de forma adecuada, ya que su funcionamiento dependerá de un límite de tiempo, el mismo que será decisivo.

1.3.2 Características

- Los recursos están limitados: procesador, memoria, pantalla, etc.
- Los dispositivos de entrada y salida son especiales para cada sistema (no hay teclado ni pantalla normales)
- El computador debe reaccionar a tiempo ante los cambios en el sistema que controla (una acción retrasada puede ser inútil o peligrosa, ejemplo: imágenes de TV, sistema de frenado ABS) (DE LA PUENTE Juan Antonio, 2007, P. 3)

1.3.3 Estructura

El reducido costo y el consumo de potencia se presentan como características primordiales en un sistema embebido. Su costo unitario se toma muy en cuenta en el proceso de diseño, comúnmente se utilizan procesadores básicos, parcialmente lentos, pequeñas memorias y una arquitectura simple, son aspectos que reflejarán el costo final.

Al restringir los recursos físicos, será necesario sistemas operativos de tiempo real. Los sistemas embebidos procesan información obtenida a su alrededor, muchas veces bajo límites de tiempo, los cuales determinarán si la obtención y tratamiento de la información es aun actual. Pero el establecimiento del sistema embebido, de tiempo real o no, lo determinarán los requerimientos del proceso a implementar.

Las líneas de código en el sistema embebido se ejecutan minimizando tiempos muertos y desafiando carencias físicas (discos duros, teclados o monitores), los discos duros son reemplazados por memorias flash y normalmente dispositivos de interfaz son sustituidos por una pantalla LCD.

En la actualidad la parte del software se puede aplicar a través de máquinas virtuales, compiladores, depuradores simuladores, GUIs entre otras aplicaciones que permiten el diseño y programación de sistema embebido.

1.3.4 Arquitectura básica



Figura 12-1 Interior de un sistema embebido.
Fuente: (MEDINA ALVARADO Israel Francisco, 2013, P. 9)

De forma general se forma por el microprocesador y el software que se emplea sobre él. Necesita de un espacio donde guardar la información, espacio que tal vez se encuentre en el chip del microprocesador, a más de interfaces de entrada y salida que permitirán obtener y transmitir la información.

- **Microprocesador:** Es un chip compuesto por la CPU, buses de datos y memoria que incorporan inteligencia al sistema embebido, procesa la información obtenida y transmite el resultado a los demás elementos para que se realicen las funciones programadas.
- **Memoria:** Almacena las líneas de código que al ser ejecutados permite llegar al objetivo del programa. Una de sus principales ventajas es el tiempo mínimo de acceso a la lectura y/o escritura por parte del microprocesador, lo que incrementa la velocidad de ejecución de las tareas.
- **Memoria Caché:** Posee mayor velocidad que la memoria principal, evita el acceso a la memoria principal para realizar tareas repetitivas, ya que estas se encuentran en la cache una vez ejecutadas. Su tamaño es menor al de la memoria primordial debido a su precio.
- **Interfaces de comunicación:** Son interfaces estándar cableadas o inalámbricas que permiten la comunicación con el exterior. Algunos de estos puertos de comunicación son el RS-232, USB, Ethernet, ZigBee, GSM, RFID, entre otros.
- **Disco de almacenamiento:** El disco duro es un elemento magnético que permite guardar información en grandes cantidades, el tamaño es un inconveniente de este componente en un sistema embebido, pero sus sustituidos pueden ser IDE Flash Drive, entre otros.
- **Medio de alimentación:** Es el encargado de proporcionar la tensión o corriente que alimentará cada uno de los elementos que forman el sistema embebido. El nivel de consumo necesario para el correcto funcionamiento del sistema, puede ser determinante, uno de los casos es el del satélite artificial, alimentado por paneles solares y baterías.
- **Entradas/Salidas análogas y digitales:** Por medio de los pines input/output llegan o se envían las señales análogas o digitales para su adecuado procesamiento de acuerdo a la líneas de código programadas.

1.3.5 Seguridad

La diversidad de sistemas embebidos que proporcionan mejoras o facilidades al ser humano, acciones que por más simple que sean pueden ser vitales para algunas personas, estas necesitan no solo resguardar información sino incluir barreras para que atacantes no accedan al sistema; debido a su costo la seguridad es desterrada a un plano secundario.

Entre los métodos para combatir este inconveniente se tiene:

Tabla 4-1: Métodos de seguridad en un sistema embebido

MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MANEJO DE ESQUEMAS DE CLAVES	<ul style="list-style-type: none"> Primera barrera para los atacantes 	<ul style="list-style-type: none"> Poco tiempo de protección Muchas contraseñas, deben ser registradas en algún lugar, eliminando la protección.
PROTOCOLOS DE SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> Monitorean la red Proporcionan comunicación entre los dispositivos. 	
SISTEMA DE AUTENTICACIÓN KERBEROS	<ul style="list-style-type: none"> Autenticación Autorización Método de cuentas de usuario 	

Fuente: GALIANA LLINARES ANTONIO, 2010

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Cuando se refiere a la seguridad en sistemas embebidos hay que tener en cuenta aspectos primordiales del sistema como: escasa capacidad de procesamiento, limitada autonomía de funcionamiento, pocos recursos de memoria. Entre las soluciones están: firewalls, reveladores de atacantes, antivirus, entre otros.

1.3.6 Aplicaciones

De forma habitual se encuentran en grandes cantidades en el diario vivir de los individuos, se consumen en cualquier área en que se desenvuelva el ser humano, regularmente un sistema embebido interactúa perennemente con el medio para vigilar o inspeccionar cierto proceso a través de diversos sensores, dejando de ser desapercibidos ya que en su mayoría generan confort, seguridad, etc.



Figura 13-1 Campos de aplicación de un sistema embebido.

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Por ejemplo una ama de casa que por lo general no utiliza un computador, usan sin estar consciente por lo menos cinco o más sistemas embebidos en el día: Smartphone, televisor, microondas, cámara fotográfica, vehículo, entre otros dispositivos.

En una industria sus procesos, sean esto de producción, montaje, ventas etc. Son controlados por sistemas embebidos, debido a que sus máquinas se componen de innumerables circuitos eléctricos y/o electrónicos para controlar los dispositivos que estén bajo su funcionamiento. Así en cada una de las facetas del ser humano un sistema embebido le proporciona una respuesta favorable a su solicitud.

Los sistemas empotrados (SE) son utilizados en el control de buena parte de aplicaciones, en los dispositivos electrónicos de consumo (videoconsolas, reproductores de audio/vídeo..), en la automoción (control de airbag, climatizador..), en la industria (control de motores, robótica..), en las comunicaciones (teléfonos móviles, modem...), etc. (HASSAN Houcine et al., 2003, P. 10-12)

1.3.7 Arduino

Es un sistema de código abierto utilizado de forma común para el desarrollo de propósitos electrónicos. Arduino se compone tanto de un escenario físico como de un software a través del cual se pasan las líneas de código del programa hacia la parte física. Al iniciar con proyectos básicos de electrónica se recomienda el uso de la plataforma Arduino, por razones como su acceso USB para la transmisión del código, entre otras.

Sin embargo la parte física y lógica de esta plataforma han sido diseñadas para cualquier persona que posea interés o imaginación en la instauración de cosas o ambientes interactivos. Gracias a la flexibilidad de interacción de su parte física con elementos como sensores, unidades de transmisión/recepción de información, entre otras, proporcionan libertad al momento de programar en el software.

1.3.7.1 ¿Qué es Arduino?

Arduino es en realidad tres cosas: Una placa de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores. (ARTERO Óscar Torrente, 2013, P. 63-65)



Figura 14-1 Arduino

Fuente: (LASTRA LAMARCA Daniel, 2015, P. 22-23)

Un software (más en concreto, un “entorno de desarrollo”) gratis, libre y multiplataforma (ya que funciona en Linux, MacOS y Windows) que debemos instalar en nuestro ordenador y que nos permite escribir, verificar y guardar (“cargar”) en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino el conjunto de instrucciones que deseamos que este empiece a ejecutar. (ARTERO Óscar Torrente, 2013, P. 63-65)

Un lenguaje de programación libre. Por “lenguaje de programación” se entiende cualquier idioma artificial diseñado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas) que pueden ser llevadas a cabo por maquinas. (ARTERO Óscar Torrente, 2013, P. 63-65)

1.3.7.2 Características

- **Accesibilidad:** el precio de la plataforma es módico frente al sin número de funciones que presta.
- **Multiplataforma:** las plataformas en su mayoría funcionan en Windows, sin embargo este no es el caso de Arduino su software se establece en Linux, Windows y Macintosh OSX.
- **Simple programación:** proporciona facilidad de uso a principiantes sin embargo el software ofrece flexibilidad a usuarios avanzados.
- **Open source:** brinda flexibilidad tanto software como en hardware, sus herramientas en software se pueden extender a través de C++ o AVR C, el hardware puede ser ampliado o mejorado bajo la licencia de Creative Commons.

1.3.7.3 Componentes

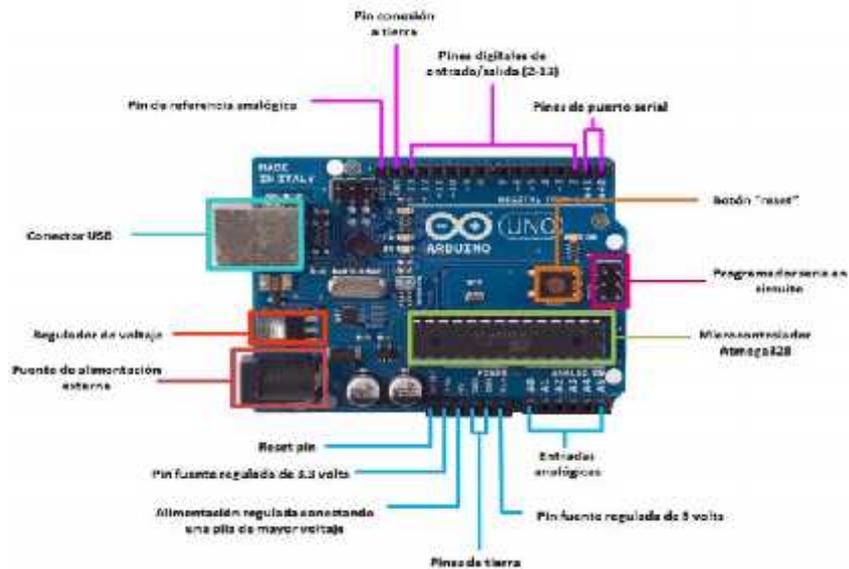


Figura 15-1 Especificaciones de los elementos de la placa Arduino UNO
Fuente: (ROBAYO ALCOCER Marco Leonardo, 2014, P. 21)

- **Fuente de alimentación:** Arduino puede obtener su carga necesaria para el correcto funcionamiento a través del puerto USB o el conector de barril. Se recomienda un voltaje entre 6 – 12 voltios para la gran parte de estas plataformas.
- **Pines:** se usan para la conexión de cables con diferentes propósitos o funciones como GND, 5V, 3.3V, Analógicos, Digitales, PWM, AREF.
- **Botón de reinicio:** permite reiniciar el código ejecutado, sea para prueba o para solucionar distintos problemas.
- **Indicador LED de alimentación:** cada vez que la placa recibe su alimentación este LED indicara que todo está bien, de forma contraria se deberá probar el circuito.
- **IC:** el eje principal de la plataforma es el circuito integrado o cerebro.
- **LEDs Transmisión/Recepción:** Demuestran si la plataforma está recibiendo y/o transmitiendo información.
- **Regulador de voltaje:** es la encargada de rechazar voltajes extras que podrían dañar del Arduino, este no debe ser mayor a 20 voltios.

1.3.7.4 Tipos

Entre los modelos principales la diferencia serán sus funcionalidades, procesamiento, entradas/salidas entre otros aspectos.

Tabla 5-1: Tipos de Arduino (Sistema embebido)

MODELO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS			
		Micro_ Controlador	IN/OUT digitales	IN/OUT análogas	Memoria
DUEMILANOVE	Posee lo básico para el uso del microcontrolador, su conexión puede ser USB o alimentado por batería o transformador.	ATmega168 o ATmega328	14	6	32 KB
UNO	Plataforma estándar, se dio a conocer en el 2010, es el sucesor de Duemilanove se mejoró en hardware.	ATmega328	14	6	32 KB
NANO	Debido a su tamaño puede ser conectado directamente en el protoboard.	ATmega328	14	8	32 KB
MINI	Es tal vez la versión más pequeña de Arduino, permite ahorrar espacio en los proyectos, pero se demora en arrancar.	ATmega328	14	8	32 KB
LEONARDO	Su microcontrolador incorpora USB, es cómodo y barato, permite emular elementos de una PC como el mouse o teclado.	ATmega32u4	20	12	32 KB
MEGA	Sin duda alguna el más completo, características que aumentan su potencia posee mayor tamaño, pero con capacidad para solucionar problemas complejos.	ATmega2560	54	16	256 KB

Fuente: HACEDORES MAKER COMMUNITY, 2014

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

1.3.7.5 Otros Recursos

La plataforma proporciona muchas ventajas pero necesita de otros componentes para realizar muchas más funciones entre ellos se tiene:

- **Sensores:** a través de código sencillo este sistema controla y/o interactúa con diversos sensores, midiendo cualesquier cosas que se pueda sentir como aceleración, vibración, temperatura, luz, monóxido de carbono, etc.
- **SHIELDS o escudos:** proveen capacidades extras tales como conexiones inalámbricas, a internet, etc., son plataformas que se añaden en la parte superior del Arduino.

- Ethernet Shield: clásico, provee la capacidad de conectarse a WWW (World Wide Web)
- XBee Shield: permite iniciar inalámbricamente rociadores, cafeteras, etc.
- GPS Shield: proporciona la localización del Arduino.



Figura 16-1 Módulo de comunicación Ethernet de Arduino
Fuente: (ROBAYO ALCOCER Marco Leonardo, 2014, P. 21)

1.3.8 *Raspberry Pi*

Conceptualiza de forma pequeña hardware y software a un bajo costo, su tamaño es similar a una tarjeta de crédito, su principal uso es permitir el aprendizaje de computación por medio del sistema operativo Linux; permite la conexión de elementos de un computador estándar. Su capacidad es amplia, actividades comunes como procesadores de textos, juegos, hojas de cálculo, reproducción de videos, etc.



Figura 17-1 Raspberry Pi, Mini computador
Fuente: (VÉLEZ CALLE and Xavier Pedro, 2014, P. 3)

1.3.8.1 *Historia*

Raspberry Pi es el nombre que recibe un modelo de ordenador de placa reducida (SBC, Single Board Computer) lanzado en 2011. El proyecto Raspberry Pi surge en 2006 de la mano de Eben Upton, Rob Mullins, Jack Lang y Alan Mycroft, cuando deciden crear un ordenador de bajo coste orientado a niños para favorecer la enseñanza de conocimientos informáticos entre los alumnos más jóvenes. (MORENO RODRÍGUEZ Luis Manuel, 2014, P. 51)

1.3.8.3 Características

- **HARDWARE:**
- **SoC (SYSTEM ON CHIP):** Componentes del sistema; Broadcom BCM2835 (CPU, GPU y SDRAM)
- **NÚCLEO DEL PROCESADOR:** ARM1176JZF-S
- **VELOCIDAD DE RELOJ:** 700 MHz
- **GPU (UNIDAD PROCESADORA DE GRÁFICOS):** Broadcom VideoCore IV
- **RAM:** 512 MB
- **ALIMENTACIÓN:** 5V/700 mA (3.5 W) vía micro USB o cuatro baterías AA
- **CONEXIONES:**
- 2 USB 2.0
- Salida audio mini jack 3.5 mm
- Salida audio/vídeo HDMI
- Salida vídeo compuesto RCA 1
- Micro USB
- RJ45 10/100 Ethernet RJ45
- Slot SD para tarjeta SD
- **UNIDAD DE ALMACENAMIENTO:** Tarjeta SD o SDHC
- **DIMENSIONES:** 85.6 mm x 53.98 mm

- **SOFTWARE:** Este sistema embebido se ejecuta en versiones de Linux (Debian, Fedora, ArchLinux y Android), no corre WINE, Windows u otro software para arquitectura x86.

1.3.8.4 Accesorios

- **RPI COMPUTE MODULE DEV KIT:** Kit de desarrollo armoniza un módulo de E/S y un módulo Raspberry Pi.
- **CAMERA BOARD MODULE:** se agrega al sistema embebido al conector CSI ubicado en los puertos Ethernet y HDMI.
- **CÁMARA NoIR:** cámara infrarroja, admite la visión nocturna.
- **PiGlow:** está compuesto por 18 LEDs, su función básica es adornar la placa o dar algún aviso a raves de luces.
- **ADAFRUIT PROTOTYPING PI PLATE KIT:** parecida a una protoboard, sus pines permite la inserción de DIPs, sensores, LEDs, etc.
- **GERTBOARD:** proporciona funcionalidades de un Arduino programables desde Raspberry Pi.
- **PIRACK:** multiplica las conexiones GPIO por 4
- **GERTDUINO:** placa de expansión compatible con Arduino UNO, al insértalos en los puerto GPIO provee de las ventajas de Arduino y Raspberry PI.
- **EXPLORE NFC:** agrega a la Raspberry la tecnología NFC, que es básicamente la transmisión de datos entre Smartphone.
- **SERIAL I/O EXPANDER:** agrega al sistema embebido 2 relés, 4 switchs, 8 entradas digitales, 8 salidas y 8 LEDs.
- **RasWIK:** su objetivo es dar conexión de una placa Arduino inalámbricamente al Raspberry Pi.

1.3.9 Intel Galileo

1.3.9.1 Definición

Es una tarjeta microcontroladora basada en el procesador Intel Quark SoC X1000, con un sistema Pentium Intel de 32 bits, es la primera placa basada en la arquitectura Intel, diseñada para ser compatible con el hardware y software de las placas Arduino. (HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ Crithian Xavier, ARCE Cedillo and MAOLY Josselyn, 2015, P. 34-35)

La tarjeta Intel Galileo opera con 3.3V y está diseñada para que la tensión de sus pines E/S puedan ser de 3.3V o 5V según se requiera a través de la configuración de un puente físico presente en la placa. El entorno de desarrollo para esta placa es el “Arduino-IDE para Intel Galileo”, además incorpora varios puertos E/S estándar, tales como: un puerto Ethernet de 10/100 Mbps, una ranura Micro-SD, un puerto serial RS-232, un puerto Host USB, un puerto USB cliente. (HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ Crithian Xavier, ARCE Cedillo and MAOLY Josselyn, 2015, P. 34-35)

El prototipo emplea esta placa, ya que utiliza software y hardware libre de bajo costo, además es compatible con la mayoría de las librerías empleadas por Arduino, es de fácil de uso y permite conectarse a la red a través del puerto Ethernet. (HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ Crithian Xavier, ARCE Cedillo and MAOLY Josselyn, 2015, P. 34-35)

1.3.9.2 Características

- **PROCESADOR:** Intel Quark Soc. x 1000 de 400 MHz con 16 KB de memoria caché.
- **SRAM:** 512 KB
- **MEMORIA VOLÁTIL:** 8 MB
- **EEPROM:** 11KB
- **RELOJ:** tiempo real
- **uSD:** Micro SD hasta 32 GB,
- **PUERTOS:** Ethernet, RS-232, USB, USB 2.0 Host, Mini-PCIe.

- **PINES:** Analógicos (6), Digitales (8), Digitales I2C, ICSP pines en disposición 2×3.
- **BOTONES DE RESET:** Reboot, Reset.
- **ALIMENTACIÓN:** Jack y regulador de 5 V.



Figura 19-1 Tarjeta Intel Galileo.

Fuente: (HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ Cristhian Xavier, ARCE Cedillo and MAOLY Josselyn, 2015, P. 34-35)

1.3.9.3 Familia Intel

De forma común los sistemas embebidos o empotrados están basados en un microcontrolador ARM, el cual funciona tal cual un computador, a excepción que realiza una tarea específica. Galileo puede considerarse un sistema Pentium de 32 bit, todo en un chip.

Intel Galileo es la nueva presentación de los creadores de Arduino (INTEL), sus funciones la asemejan a una mini computadora pero su procesador lo convierte en la única placa de este tipo en el mercado. El nombre de esta placa es un homenaje a Galileo Galilei, matemático, físico, filósofo, astrónomo, etc.

Muestra compatibilidad con el hardware y software de Arduino UNO R3, soporta los SHIELDS que operan con 3.3V o 5V. Galileo al tener afinidad con el IDE de Arduino, provee fácil ingreso al mundo de los sistemas embebidos. Es el primer producto de la familia de tecnologías Quark Intel, de productos de bajo consumo, y con núcleos pequeños.

Esta placa ejecuta un sistema operativo Linux libre, que contiene las librerías de software de Arduino, permitiendo una mayor escalabilidad y reutilizar el software ya existente. Además de esa compatibilidad con Arduino, Galileo tiene una serie de puertos y características que son estándares en la industria del PC por lo que va un paso más allá de los SHIELDS de Arduino.

Destacan por ejemplo, puerto Ethernet a 100Mb, espacio Micro SD, memoria flash a 8Mb, un puerto RS-232 serial. Destacar que gracias a su gran conectividad, potencia de proceso y el uso de SDK sencillos permite desarrollar software capaz de conectar cualquier dispositivo a Internet, muy interesante es su uso para domótica proyectos que necesiten de un PC de bajo consumo y coste.

1.4 Sistemas de transmisión y recepción de datos

Los datos son los portadores de la información, en forma ordenada o desordenada, cada dato representa una parte de la información; ya sean números, letras, símbolos, estos son procesados y almacenados para poder ser utilizados en el momento adecuado. Todos deben ser transportados mediante la utilización de métodos y técnicas conocidos como sistemas de transmisión.

Los datos se almacenan en el ordenador y son transmitidos por un sistema de comunicación en forma de dígitos binarios, o bits. Los dígitos pueden ser 0s o 1s y están codificados según el sistema de numeración binaria (base 2). (BLACK Ulyess D, 1987, P. 13-37)

La cantidad de información que procesan y transmiten puede definir la eficiencia de los sistemas de transmisión, que con el avance de la tecnología se incrementa día a día. Desde la red más simple entre dos computadores, hasta la comunicación satelital es necesario contar con un sistema de transmisión de datos.

1.4.1 ¿Qué es un sistema de transmisión?

Todos los elementos que intervienen en la transmisión de la información mediante señales eléctricas, ópticas o de radiofrecuencia, estas señales deben ser acondicionadas de tal manera que pueden ser transmitidas a través del medio, recibida y la información pueda ser recuperada y fiel a la transmitida.

1.4.2 Modos de transmisión

La forma en la que los datos fluyen físicamente a través de los medios de transmisión para ser intercambiados entre el emisor y el receptor, el número de bits que se pueden enviar de forma simultánea así como la sincronización necesaria para que el emisor y el receptor puedan enviar y recuperar los datos.

En transmisión de datos, la información se transmite en “fragmentos”, cada uno de los cuales constituye una muestra digital compuesta por ocho pulsos binarios que reciben cada uno el nombre de bit. Los ocho bits de cada muestra digital se pueden transmitir en paralelo o en serie. (PÉREZ Enrique Herrera, 2003, P. 34)

1.4.2.1 Transmisión en Serie

Los datos se transmiten uno a continuación del otro, los datos son recibidos desde el emisor en forma paralela, se ordenan según el tamaño y se envían de mayor a menor. La sincronización del transmisor y el receptor es el aspecto principal de la comunicación en serie permite reconocer los ceros y unos.

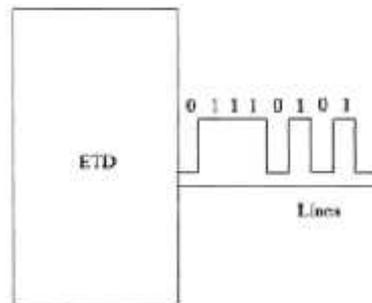


Figura 20-1 Transmisión en serie de datos
Fuente: (PÉREZ Enrique Herrera, 2003, P. 34)

1.4.2.2 Transmisión en Paralelo

Los bits se transmiten en grupos de N bits a la vez, dependiendo de la capacidad del canal, cada bit se transmite por un canal independiente, hay que esperar un tiempo antes de enviar el siguiente grupo de bits. Los datos se pueden transmitir a velocidades muy altas pero se debe considerar que los medios de transmisión se encuentran muy juntos como las líneas de cable plano y pueden causar interferencia entre los canales adyacentes.

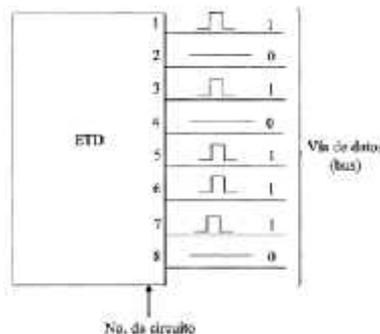


Figura 21-1 Transmisión en paralelo de datos
Fuente: (PÉREZ Enrique Herrera, 2003, P. 34)

1.4.2.3 Transmisión Síncrona y Asíncrona

Debido al costo que conlleva realizar una conexión en paralelo además de los problemas de interferencias es preferible la transmisión en serie utilizando un solo medio de transmisión, los bits se envían uno a continuación del otro, el receptor debe poder identificar la secuencia de bits, esto conlleva a la sincronización del transmisor con el receptor, tratando este problema de dos formas diferentes:

- **Transmisión Síncrona:** Es necesario sincronizar las velocidades entre el transmisor y el receptor mediante la utilización de relojes, el transmisor envía la señal de sincronización hacia el receptor antes, durante y después de terminar la transmisión de los datos para mantenerse sincronizados a la misma velocidad.

Además se debe insertar información adicional para poder garantizar que no se produzcan errores durante la transmisión, si el emisor o el receptor pierde sincronización los datos no puede ser interpretados adecuadamente limitando la velocidad de transmisión.

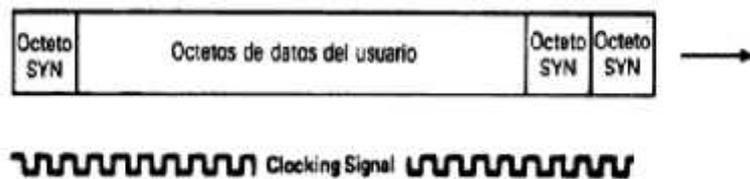


Figura 22-1 Proceso de transmisión síncrona de datos

Fuente: (BLACK Uyless D, 1987, P. 13-37)

- **Transmisión en Asíncrona:** Cada carácter que se envía utiliza intervalos de tiempo irregulares, por lo tanto es necesario identificar en donde termina el carácter e inicia el otro. Es necesaria la utilización de bits de inicio de transmisión conocidos como bit de INICIO y finaliza con un bit de FINALIZACIÓN, además cada carácter se representa con siete bits y en la transmisión se envían diez disminuyendo la capacidad del canal.

En la transmisión asíncrona se agregan dos elementos de señal por cada palabra de código: un espacio de arranque o start y una marca de terminación o stop. Para enviar un dato se inicia la secuencia de temporización en el dispositivo receptor con el elemento de señal y al final se marca su terminación. (PENAGOS Hernán Paz, 2003, P. 57-70)

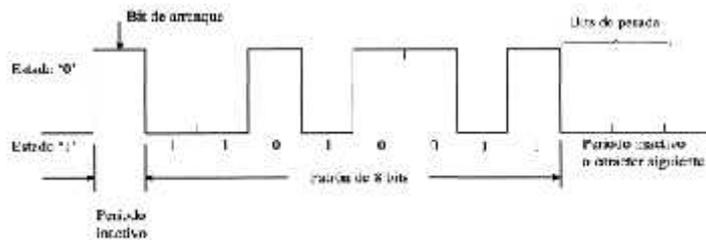


Figura 23-1 Transferencia asíncrona de datos
Fuente: (PÉREZ Enrique Herrera, 2003, P. 34)

1.4.2.4 Transmisión Simplex, Dúplex, Full Dúplex

A menudo estos conceptos se interpretan de diversas maneras. Normalmente se refieren a la forma en que el mensaje fluye a través de la línea. Otra manera bastante corriente de interpretarlos es como el número de caminos físicos que toman parte en la transmisión (BLACK Uyless D, 1987, P. 13-37).

- **Simplex:** Los datos son transmitidos en una sola dirección, el transmisor y el receptor están bien definidos, el receptor no necesita enviar ningún tipo de información de sobre la transmisión, no se puede realizar corrección de errores.

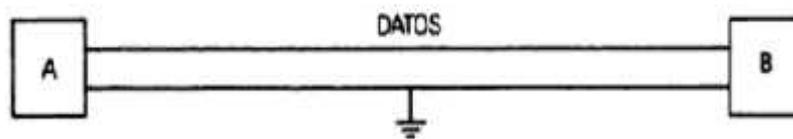


Figura 24-1 Circuito Simplex
Fuente: (BLACK Uyless D, 1987, P. 13-37)

- **Dúplex:** Los datos se pueden transmitir en las dos direcciones, existe un transmisor y un receptor en cada extremo que pueden transmitir y recibir uno a la vez la comunicación no es simultánea.

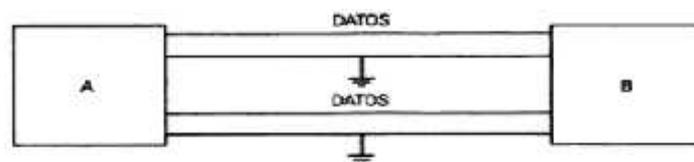


Figura 25-1 Circuito Dúplex
Fuente: (BLACK Uyless D, 1987, P. 13-37)

- **Full Dúplex:** Al igual que en la conexión dúplex los dos extremos pueden recibir y transmitir y los datos pueden fluir sobre el canal al mismo tiempo, el ancho de banda del canal se debe dividir en partes iguales para poder transmitir información al mismo tiempo.

1.4.3 Bluetooth

En el mundo actual, la comunicación entre dispositivos electrónicos es una necesidad tecnológica básica, en particular, los dispositivos que se encuentran a corta distancia y que normalmente se comunican entre sí por medios alambrados. (RUIZ Ricardo Linares et al., 2004, P. 1)

Estos utilizan una amplia gama de cables y conectores que hacen la comunicación, en un momento dado, limitado, falible e incómodo en situaciones donde existen demasiados cables. Debido a este escenario, la tendencia ahora es establecer enlaces inalámbricos entre dichos dispositivos. Tecnologías existentes como HomeRF™, IrDA, RFID™ y el estándar IEEE 802.11 entre otras, ofrecen comunicación inalámbrica para diferentes situaciones y propósitos. (RUIZ Ricardo Linares, VÁSQUEZ Jimmy Andrés Quijano and LONDOÑO Germán Andrés Holguín, 2004, P. 1)

Bluetooth se encuentra dentro de este grupo de tecnologías emergentes que ayudan a hacer la comunicación entre dispositivos, mucho más dinámica y sencilla, especializándose en comunicación entre dispositivos cercanos. (RUIZ Ricardo Linares, VÁSQUEZ Jimmy Andrés Quijano and LONDOÑO Germán Andrés Holguín, 2004, P. 1)

La tecnología inalámbrica Bluetooth está basada en un estándar abierto global, permite el intercambio de información entre diferentes dispositivos de forma inalámbrica, que se encuentren dentro del rango de operación de la interfaz de radio del dispositivo, los dispositivos pueden ser móviles como los Smartphone, automóviles o fijos como computadores siempre que se cumpla con las especificaciones del estándar.

Al finales del siglo XX las empresas de telecomunicaciones buscan la manera de intercambiar, voz, datos y multimedia entre diferentes tipos de dispositivos dando origen a la investigación de una nueva tecnología basada en una interfaz de radio de bajo consumo y de bajo costo, en 1994 la empresa escandinava Ericsson Mobile Communications inicia las investigaciones de esta nueva tecnología.

Debido al gran potencial y al número de aplicaciones que se podrían desarrollar el proyecto llama la atención de otras empresas como IBM, Nokia, Intel y Toshiba pasando a formar parte y creando el denominado Special Interest Group Bluetooth para definir las especificaciones del estándar desarrollado.

El nombre de la tecnología fue tomado de rey vikingo Harald Blatand conocido en Inglaterra como Bluetooth, en honor a su capacidad para comunicarse con las personas, unificando dos

reinos bajo una misma fe, así como el Bluetooth facilita la colaboración de los distintos tipos de tecnología bajo el mismo estándar.

Originalmente la tecnología fue desarrollada para entornos empresariales y de negocios, pero debido al bajo costo, se permitió la implementación de este estándar todo tipo de dispositivos, con el objetivo de operar en todo el mundo, con la capacidad de comunicar dos o más dispositivos que cumplan con el estándar, el emisor debe consumir poca energía consta de un protocolo robusto y confiable.

La tecnología implementa un interfaz de radio de corto alcance que trabaja en la frecuencia de 2.4 GHz, debido a que la potencia que utiliza es muy baja no es necesario la adjudicación de los permisos por parte de alguna entidad de regulación del espectro electromagnético para su utilización, el alcance de esta tecnología también se ve limitado por esta potencia que no va más allá de los 100 metros con línea de vista y sin interferencia y aumentando el consumo de la batería del dispositivo.

1.4.3.1 Características

La tecnología Bluetooth agrupa los dispositivos una vez se hayan sincronizado, formando picorred o pequeñas redes de comunicación, con límite de ocho dispositivos uno de los cuales asume el rol de maestro y los demás pasan a ser esclavos, los datos se pueden transmitir maestro esclavo, o viceversa, también se puede establecer comunicación entre dos esclavos, la información que es transmitida se protege mediante una contraseña de reconocimiento mutuo entre los dispositivos, esta contraseña se denomina PIN.

Rango dependiendo de la potencia de la antena, aunque intentar comunicar dispositivos a una distancia de más de 10 metros es arriesgarse mucho, sobre todo en entornos algo críticos. (VARELA Carlos and DOMÍNGUEZ Luis, 2002, P. 12)

1.4.3.2 Topología de red

Cuando un dispositivo Bluetooth está dentro del radio de cobertura de otro, pueden establecer un enlace entre ellos. Hasta ocho unidades Bluetooth pueden comunicarse entre ellas y formar lo que se denomina una Piconet o Picorred. La unión de varias Piconets se denomina Scatternet o Red Dispersa. (ACUNSO Angulo and ROBERT Tony, 2009, P. 6)

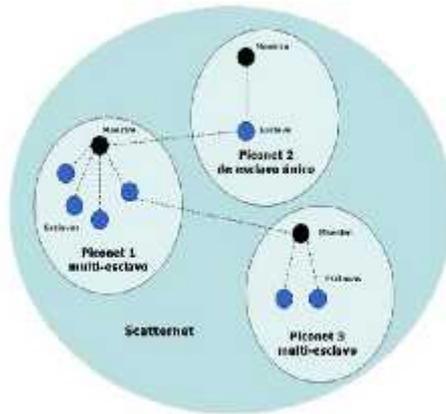


Figura 26-1 Red dispersa o Scatternet

Fuente: (ACUNSO Angulo and ROBERT Tony, 2009, P. 6)

Al crearse la Picorred el primer dispositivo que se activa se adjudica el rol de Maestro, los demás dispositivos que se conecten a la red deberán hacerlo como esclavos y deben sincronizarse con el reloj del maestro, para identificar a los miembros de la Picorred se les asigna una dirección de tres bits denominada Active Member Address (LASTRA LAMARCA Daniel, P. 22-23).

1.4.3.3 Arquitectura

Los niveles inferiores de la pila de protocolos constituyen el controlador Bluetooth (hardware), que contiene los bloques fundamentales de la tecnología, sobre los cuales se apoyan los niveles superiores y los protocolos de aplicación. (CASTELLANO Alvaro Richi, 2011-2012, P. 6)

El controlador Bluetooth se compone de:

- **Nivel de radiofrecuencia:** Formado por el transceptor físico y sus componentes electrónicos, utiliza la banda de 2.4 GHz facilitando la compatibilidad dispuestos de 79 canales.
- **Nivel de Banda Base:** Realiza operaciones de detección y corrección de errores, broadcast automático y cifrado de paquetes, también emite confirmación de paquetes y peticiones de reenvío en caso de ser necesario. El dispositivo maestro es el responsable de la sincronización de la red y es el encargado de realizar procedimientos de búsqueda.
- **Nivel de gestión de enlace:** Se encarga de la autenticación, establecimiento y finalización de la conexión, cada dispositivo tiene su propio gestor de enlace que se encarga de la administración de energía.

1.4.3.4 *Enlace de radio*

La tecnología Bluetooth al trabajar en la frecuencia de 2.4 GHz el enlace de radio está expuesto a toda la interferencia causada por otras tecnologías como WiFi, ZigBee entre otras, incluso otros dispositivos con conexión Bluetooth, para evitar que la información llegue incompleta o que no se pueda interpretar se implementa un algoritmo de corrección de errores Forward Correction Error (FEC) reduciendo el efecto del ruido, además de un esquema de división de tiempo.

El chip Bluetooth está basado en tecnología CMOS reduce significativamente el consumo de energía, el consumo de potencia aproximado es de 10 μ A en modo pasivo y 50mA en modo transmisión o recepción, el tamaño del chip no debe rebasar los 9mm².

1.4.3.5 *Tipos de enlaces*

En la especificación Bluetooth se han definido dos tipos de enlaces para soportar aplicaciones de voz y datos: un enlace asíncrono sin conexión (ACL, *asynchronous connection oriented*). Los enlaces ACL soportan tráfico de datos sin garantía de entrega; la información transmitida puede ser datos de usuario o datos de control. Los enlaces SCO soportan voz en tiempo real y tráfico multimedia, utilizando un ancho de banda reservado. (OUTEIRIÑO Francisco José Bellido et al., 2004, P. 18-23)

Tanto la voz como los datos se transmiten en forma de paquetes y la especificación Bluetooth permite implementar enlaces ACL y SCO al mismo tiempo. El canal asíncrono soporta comunicación simétrica y asimétrica. En la comunicación asimétrica pueden ser enviados 723,3 Kb/s desde el servidor y 57,6 Kb/s hacia el servidor, mientras que en la comunicación simétrica pueden ser enviados 433 Kb/s en ambas direcciones. (OUTEIRIÑO Francisco José Bellido, FERNÁNDEZ José Luis de la Cruz, ROLDÁN Manuel TORRES and PEYRONA Y José Antonio GISTAS, 2004, P. 18-23)

1.4.3.6 *Bandas de frecuencia*

Alrededor del mundo en la mayoría de países Bluetooth opera en la banda de 2.4 a 2.484 GHz considerando banda global, el espectro electromagnético se divide en canales, el número de canales depende de cada país y de su regulación, en la mayoría de los países se utiliza 79 canales con ancho de banda de 1 MHz, con margen de protección de 2 MHz en el límite superior y 3.5 MHz en el límite inferior.

Tabla 7-1 Bandas de frecuencia y canales RF Bluetooth

Ubicación Geográfica	Rango Regulatorio	Canales RF
USA, Europa	2.400 – 2.4835 GHz	$F = 2402 + K \text{ MHz}$, $K = 0, \dots, 76$
España	2.445 – 2.475 GHz	$F = 2449 + K \text{ MHz}$, $K = 0, \dots, 22$
Francia	2.4165 – 2.4835 GHz	$F = 2454 + K \text{ MHz}$, $K = 0, \dots, 22$

Fuente: (ACUNSO Angulo and ROBERT Tony, 2009, P. 6)

1.4.3.7 Canales de transmisión

La transmisión de información se realiza mediante un método denominado Espectro Disperso que consiste en transmitir durante un determinado tiempo, luego el enlace de radio debe cambiar hacia otro canal, los saltos se realizan a 1600 saltos por segundo, utiliza modulación GFSK (modulación por desplazamiento gaussiana) que es una mejora de la modulación FSK.

Los datos lógicos son representados con un incremento de la frecuencia para 1 lógico y un decremento de la frecuencia para 0 lógico en la portadora, la información debe pasar por un filtro gaussiano antes de ser modulada dando como resultado un espectro más estrecho permitiendo enviar mayor información.

Durante la transmisión de información los canales van cambiando saltando aleatoriamente, evitando la saturación de los canales, si algún canal se encuentra ocupado solamente cambiara hacia otro canal que este libre consiguiendo una distribución efectiva sobre el ancho de banda, el tiempo que ocupa en canal antes de realizar un salto se denomina ranura de tiempo, las ranuras tienen una duración de 625µs, los datos se envían intercalados en la ranuras.

1.4.3.8 Potencia

Los dispositivos Bluetooth como muchos otros dispositivos de comunicación se deben agrupar en clases.

- **Clase 1:** Con potencia máxima de 100mW, potencia mínima 1mW, alcanza aproximadamente 100m además debe poseer un control de potencia.
- **Clase 2:** Con potencia máxima de 2.5mW, potencia mínima 0.25mW, alcanza aproximadamente 10m control de potencia es opcional.
- **Clase 3:** Con potencia máxima de 1mW, potencia mínima no está limitada, alcanza aproximadamente 10cm y no necesita control de potencia.

1.4.3.9.2 Cabecera

Utilizado principalmente para controlar el enlace, esta sub dividida en seis campos:

- **Dirección (AM_ADDR):** Dirección temporal utilizada para distinguir a los miembros activos dentro de la picorred, es una dirección de tres bits debido a que únicamente se puede tener hasta siete esclavos, la dirección más baja 000 es utilizada para comunicarse con todos los dispositivos de la red (broadcast).
- **Tipo:** Identificador del tipo de información enviada, también identifica las ranuras que se están utilizando.
- **Flujo:** Utilizado para enviar información del estado del buffer del receptor 0 cuando el buffer está lleno y se debe para el envío de información hasta nueva orden, 1 cuando el buffer puede seguir recibiendo normalmente.
- **ARQN:** O control de errores utilizado para informar de la correcta recepción del paquete o en casi contrario pedir reenvío de la información, si el paquete fue recibido correctamente el receptor responderá con ACK caso contrario enviara un NAK.
- **SEQN:** O número de secuencia utilizado por el receptor.
- **HEC:** Código de ocho bits utilizado para verificar la integridad de la cabecera.

1.4.3.9.3 Carga útil

Puede contener entre 0 y 2745 bits que lleva la información que se está transmitiendo esta puede ser voz, datos o ambos, puede contener su propia cabecera de carga útil.

1.4.3.10 Seguridad

La integridad de los datos deben ser garantidos por los dispositivos de comunicación, Bluetooth define tres modos de seguridad bajo los cuales puede operar:

- **Sin seguridad:** Todos los dispositivos pueden acceder a este, no existe cifrado ni autenticación.

- **Seguridad a nivel de servicio:** Permite una comunicación con varios dispositivos implementando ciertos requerimientos de seguridad.
- **Seguridad a nivel de enlace:** La comunicación deberá superar varios requerimientos de seguridad antes del establecimiento del canal.

Los dispositivos *Bluetooth* solo pueden estar en un solo modo de seguridad en un momento determinado. Un dispositivo que opere en modo 3 no podrá autenticarse ante otros dispositivos de forma selectiva, sino que tratará de autenticarse ante todos los dispositivos que intenten comunicarse con él. (ARIAS PILAQUINGA Diego Bolivar and MUELA VACA Diego Francisco, 2007, P. 53)

1.4.4 Módulo o protocolo ZigBee

En la actualidad existe un gran número de estándares para la transmisión inalámbrica, variando en la velocidad, alcance, capacidad de transmisión, debido a la necesidad de ancho de banda que exigen las nuevas aplicaciones que se utiliza en la vida diaria, pero no todos los dispositivos electrónicos que transmiten datos tienen los mismos requerimientos en cuanto a la tasa de transmisión así como la latencia.

ZigBee es diferente de los otros estándares inalámbricos, ha sido diseñado para soportar un diverso mercado de aplicaciones que requieren bajo coste y bajo consumo, con una conectividad más sofisticada que los anteriores sistemas inalámbricos. El estándar ZigBee enfoca a un segmento del mercado no atendido por los estándares existentes, con baja transmisión de datos y bajo ciclo de servicio de conectividad. (CASTRO Tomé and MANUEL Jose, 2006, P. 10)

Los sensores y dispositivos de control no necesitan un gran ancho de banda debido a que los datos transmitidos son menores en número en comparación con la transmisión de voz o streaming de video, los fabricantes proveían de software y hardware propietario evitando su interoperabilidad.

Debido a la necesidad de estos dispositivos en la industria y el hogar nace en el año 2000 la Alianza ZigBee sin fines de lucro que consta con el apoyo de más de 200 empresas relacionadas con el desarrollo tecnológico.

Inspirados en las colmenas de abejas debido a su gran capacidad de comunicación de fuentes de alimento y amenazas con la ayuda de un movimiento en zig - zag con el que se puede especificar el lugar exacto, la distancia y la situación de los alimentos.

La alianza está conformada por varios grupos entre ellos los promotores toman las decisiones forman el consejo de administración, los participantes está conformada por miembros con derecho a voto, reciben con anticipación las especificaciones y normas de los productos que se estén desarrollando y los adoptadores conformado por todas las personas o instituciones que utilicen o tengan acceso a los estándares desarrollados.

Cada nodo que se forme mediante el uso de este estándar representa una abeja que forma parte de una colmena más grande comunicando datos entre los cuales está su estado, información de otros dispositivos y en el momento que falle uno o más de estos tener la capacidad de reorganización permitiendo que la colmena siga comunicada en todo momento de allí el nombre de la tecnología se estableció como ZigBee.

1.4.4.1 Características

- El estándar IEEE 802.15.4 define capa física y de acceso al medio, la capa de aplicación es exclusiva del fabricante.
- Trabaja sobre la frecuencia 2.4 GHz, bajo ciertas circunstancias como la potencia de transmisión es considerada banda de operación libre, en algunos países de Europa opera sobre los 868 MHz y en los Estados Unidos de América sobre los 915 MHz.
- Debido a su orientación sobre los sensores y dispositivos de control ZigBee está diseñado para evitar el consumo innecesario de energía eléctrica permitiendo operar durante un periodo más largo de tiempo sin la necesidad de la intervención humana.
- Una red ZigBee, con topología en estrella, árbol o malla, pueden escalar hasta 65535 nodos, agrupados en subredes de hasta 255, lo que hace más que suficiente para cubrir cualquier necesidad. (REINOSO PÉREZ Esteban Santiago, 2008, P. 21)
- Puede trabajar sobre el mismo canal ya que constan de un identificador único y control de acceso al medio CSMA-CA censando el medio antes de transmitir para evitar colisiones.
- Tiene un alcance de 1 a 100 m dependiendo de la interferencia, ruido y otros aspectos del medio de transmisión (aire).

1.4.4.2 Red ZigBee

Existen muchos estándares para las redes WPAN (Rede Inalámbricas de Área Personal) pero en cuanto a sensores y controladores ZigBee es la más aceptada. Las redes ZigBee están conformado mínimo por tres dispositivos:

- **Coordinador ZigBee:** Encargado de formar la red, es el dispositivo con mayor o igual capacidad, es indispensable, tiene la funcione de crear el identificador de la red (PATH ID), establece el canal, una vez se establecen estos parámetros los demás dispositivos se unen a la red.
- **Router ZigBee:** Es el encargado de la comunicación entre los dispositivos de la red, realiza tareas de enrutamiento de información, determina la mejor ruta que deberán tomar los paquetes dentro de la red.
- **Dispositivos Finales (End Device):** Nodos con funciones específicas, no puede comunicarse con otros dispositivos finales directamente para ellos deben pasar a través de un router o un coordinador, consumen energía únicamente cuando transmiten información la mayor parte del tiempo se mantienen en modo dormido.
- **FFDs:** Dispositivos que pueden actuar como coordinador, router o dispositivo final, pueden comunicase con cualquier otro dispositivo de la red, capaces de utilizar cualquier topología de red.
- **RFDs:** Operan como dispositivos finales, pueden operar únicamente en topología estrella, no pueden hacer el papel de coordinadores ni ruteadores.



Figura 28-1 Tipos de dispositivos según su funcionalidad

Fuente: (LOYOLA PINOS María Augusta and BECERRA DELGADO Paúl Alfonso, 2015, P. 17)

1.4.4.3 Topología de red

Al igual que en las redes cableadas la capa de red es la responsable de la construcción de la topología de red, soporta tres tipos:

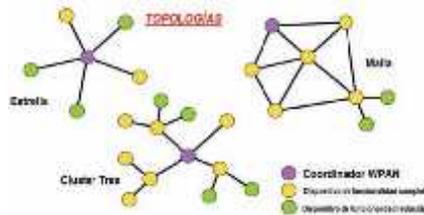


Figura 29-1 Tipos de topología y de dispositivos en ZigBee

Fuente: (BERTOLÍN Javier Areitio, 2011, P. 22-23)

- **Topología en estrella:** Tiene un solo dispositivo configurado como coordinador (Nodo de funciones completas FFD), es el encargado de controlar el acceso al medio de los demás dispositivos que generalmente son de funciones reducidas (RFD).

Establece el PAN ID o identificador de la red que no debe estar siendo utilizado por ningún otro coordinador de redes vecina, mantiene las tablas de direccionamiento directo con la información del destino de los paquetes.

- **Topología en árbol:** Está conformado por la unión de varias sub redes, el nodo coordinador crea el primer clúster y se establece así mismo como clúster head, con su respectivo clúster identifier igual a 0, determina el PAN ID y transmite la información hacia los demás nodos.

Mediante la utilización de routers se puede extender la red, cuando los dispositivos finales transmiten información esta debe pasar a través de los routers hasta el coordinador, en este tipo de topología el coordinador debe tener una fuente continua de alimentación debido al trabajo que realiza consume más energía.

- **Topología Malla:** Similar a la topología árbol con la diferencia que todos los dispositivos FFDs pueden comunicarse directamente entre sí, con la misma prioridad de acceso al medio disminuyendo la latencia de la red y aumentando la confiabilidad.

El nodo coordinador al iniciarse establece los parámetros de la red pero la red puede ampliarse fácilmente mediante la utilización de routers permitiendo crear una red de hasta 254 nodos, los nodos deben tener mayor capacidad en cuanto a procesamiento y memoria.

1.4.4.4 *Arquitectura*

La arquitectura está definida en capas, las capas se encargan de los servicios que ofrecen a las capas superiores, el estándar IEEE 802.15.4 define la capa física (PHY) y la capa de control de acceso al medio (MAC) y el estándar ZigBee es el encargado de la capa de red (NWK) y la capa de aplicación.

1.4.4.4.1 *Capa física*

Es la se encarga de proporcionar el medio físico que será utilizado para la comunicación, la capa física tiene funciones específicas como la transmisión y recepción de datos activando y desactivando los transceivers , detección de energía del receptor, indicar la calidad del enlace además de la evaluación del estado del canal.

Según el estándar IEEE 802.15.4 el sistema puede operar dentro de tres bandas de frecuencia bien definidas:

- 868 MHz, con una velocidad máxima de transmisión de 20Kbps, provee un solo canal de comunicación.
- 915 MHz, con una velocidad máxima de transmisión de 40 KHz, provee de 10 canales de comunicación con una separación de 2MHz por canal.
- 2.4GHz, con una velocidad máxima de transmisión de 250 KHz, provee de 16 canales de comunicación con una separación de 5MHz por canal y un ancho de banda de 2MHz.

En la banda de 2,4 GHz, se especifican dieciséis canales (denominados 11 a 26) separados cada 5MHz desde 2405 MHz (frecuencia central). La transmisión se realiza mediante DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), lo que permite una cierta coexistencia con otras fuentes similares como por ejemplo 802.11 b y g que emplean una modulación similar y ocupan el mismo espectro asignado a 802.15.4. (CAPRILE Sergio R, 2009, P. 77)

Los canales 15, 20, 25 y 26 de esta última ocupan los espacios entre los canales 1, 6 y 11 de 802.11 b/g y proveen alternativas en sitios con alta proliferación de red WiFi y canales asignados según la selección norteamericana. (CAPRILE Sergio R, 2009, P. 77)

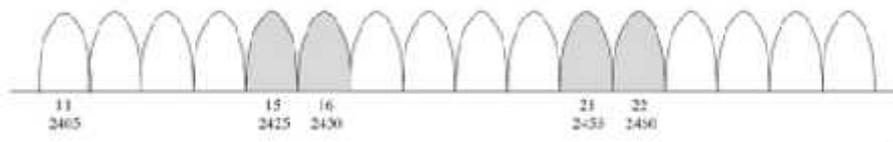


Figura 30-1 Distribución de canales en la banda 2,4GHz del estándar IEEE 802.15.4
Fuente: (CAPRILE Sergio R, 2009, P. 77)

1.4.4.4.2 Capa de control de acceso al medio

Es la encargada del formato que deberán llevar las tramas (tramas sencillas), para evitar el consumo excesivo de energía durante la comunicación, además de la sincronización y proveer mecanismos de transmisión confiables.

Provee de sociedad entre los dispositivos a la red, además de su desvinculación cuando los dispositivos sean removidos o apagados, cuando un dispositivo es reiniciado este debe ser re asociado a la red de la cual era parte, cada red es identifica mediante un identificador único de 64 bits utilizado durante el proceso de asociación de dispositivos a la red.

Además el coordinador o administrador de la red le asigna una dirección de 16 bits a cada dispositivo para que se puedan comunicar entre sí. Para garantizar la calidad del servicio se utiliza el método GTS que garantiza la utilización del canal durante intervalos de tiempo específicos formando una supertrama disminuyendo de este modo la latencia en la comunicación.

Brinda tres tipos de seguridad a nivel de subcapa MAC:

1. *Sin seguridad: Utilizada para la difusión de anuncios publicitarios.*
2. *Aplicando listas de control de acceso, sin encriptación.*
3. *Modo seguro con uso de llaves mediante el estándar de encriptación simétrico AES negociaran una llave cifrada de 128 bits a partir de una llave original, para permitir el envío y la recepción d mensajes.*(LOYOLA PINOS María Augusta and BECERRA DELGADO Paúl Alfonso, 2015, P. 17)

1.4.4.4.3 Capa de red

Es la encargada de la asociación de dispositivos mediante el coordinador de la red, provee la seguridad de la comunicación garantizando la correcta entrega y enrutamiento de los paquetes a

su destino final, los paquetes contienen la dirección y número de secuencia (origen y destino), identificador de difusión y un campo especial para el número de salto, el protocolo que utiliza para el enrutamiento de los paquetes es el Ad Hoc On-Demand Vector Routing (AODV).

La capa de red permite el correcto uso de la capa inferior MAC y provee una interfaz adecuada para la capa superior. La capa de red del coordinador es la encargada de iniciar la nueva red asignando las direcciones a los dispositivos que se asocien, realiza el descubrimiento de todas las rutas posibles y memoriza dicha información.

En la topología de red estrella uno de los dispositivos FDD es auto asignado coordinador y establece y mantiene la comunicación y los otros dispositivos se comunican directamente con este. En la topología malla más de uno dispositivo puede realizar esta tarea por eso se considera como una red reconfigurable en el momento que una ruta deje de funcionar se toma otra ruta y la red continua operando. La distribución de los dispositivos se establece de la siguiente forma:

- Topología en estrella: el coordinador se sitúa en el centro.
- Topología en árbol: el coordinador es la raíz del árbol.
- Topología de malla: al menos uno de los nodos tiene más de dos conexiones.(SALGADO Ignacio Vidri, 2011, P. 19)

1.4.4.4 Capa de aplicación

Provee de una interfaz entre el dispositivo ZigBee y el usuario final, se puede dividir en dos subcapas:

- **La subcapa de soporte de aplicación(APS):** es la encargada del proceso Binding o ligar que consiste en unir dos dispositivos según sus necesidades y servicios, construye y mantiene las tablas Binding, descubre los demás dispositivos que operen dentro del área local.
- **Dispositivo objeto ZigBee (ZDO):** establece el modo de operación del dispositivo (coordinador o dispositivo de red), identifica a los dispositivos vecinos e inicia y responde a las peticiones de unión a una red.

1.4.4.5 Formato de los paquetes ZigBee

Una trama ZigBee consta máximo de 127 bytes con 6 bytes extra con la cabecera de la capa física:

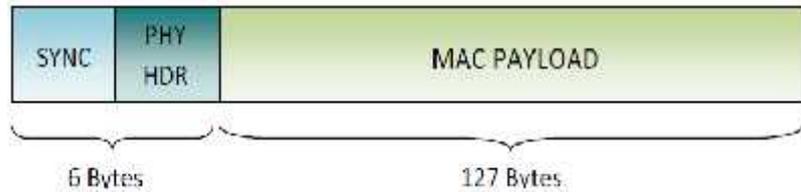


Figura 31-1 Mensaje ZigBee con cabecera de capa física

Fuente: (CAPRILE Sergio R, 2009, P. 77)

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

- PDU PHY: consta de 5 bytes de sincronización y 1 byte con la longitud del payload del nivel superior.
- Trama MAC: utilizada para la configuración a distancia de otros dispositivos pueden ser de cuatro tipos:
- Trama de datos: contiene una carga útil de hasta 104 bytes, esta trama debe ir enumerada para en caso de llegar en desorden la información pueda ser recuperada.
- Trama ACK: trama de confirmación entre emisor y receptor, asegura que los paquetes han sido recibidos sin errores.
- Trama de comandos: permite la configuración y control de nodos remotos de forma centralizada.
- Trama beacon o Balizas: este paquete despierta a los dispositivos dormidos para que reciba información luego vuelven a dormirse, permiten sincronizar los nodos de la red sin el consumo excesivo de energía.

1.4.4.6 Modos de funcionamiento

Con el objetivo de mantener el consumo de energía al mínimo en los nodos pasivos y activos los dispositivos pueden permanecer “dormidos” (en espera de ser activados por un router o coordinador), capaz de despertar únicamente el tiempo mínimo necesario para la transmisión de datos, el dispositivo ZigBee puede despertar aproximadamente en 15ms.

1.4.4.6.1 Con Baliza

En este modo de operación el medio de transmisión es gobernado por un distribuidor que es el encargado de informar a los demás dispositivos el momento en el que pueden transmitir.

Para el control del canal se utilizan balizas, elementos que usan para poder sincronizar todos los dispositivos que conforman la red. Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de la red (coordinador ZigBee) y pueden variar desde 15 ms hasta los 4 minutos. (BERTOLÍN Javier Areitio, 2011, P. 22-23)

1.4.4.6.2 Sin Baliza

En este modo de operación cada dispositivo de la red es independiente y puede iniciar su comunicación con otro dispositivo de la red incluso cuando el canal está siendo ocupado provocando colisiones.

Las redes sin balizas acceden al canal por medio del CSMA/CA (carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) se basa en escuchar el canal por parte del nodo que pretende transmitir, y de esta forma detectar si algún otro nodo que compone la red está transmitiendo o tiene intención de ello. (BERTOLÍN Javier Areitio, 2011, P. 22-23)

Al tratarse de un medio inalámbrico, la detección de colisiones no es posible, por lo tanto para evitar dichas colisiones la estación que quiera transmitir, si no hay tráfico en el canal, podrá hacerlo pasado un cierto instante de tiempo; en caso de existir tráfico, deberá esperar un cierto tiempo de espera más otro cierto intervalo de tiempo aleatorio. (BERTOLÍN Javier Areitio, 2011, P. 22-23)

1.4.4.7 Formación de la red

Una nueva red puede ser creada únicamente por dispositivos FDD que se auto designa nodo coordinador, realiza una búsqueda en los canales permitidos de otros coordinadores y procede a crear su propia red, selecciona un identificador único PAN de 16 bits y está listo para permitir que otros dispositivos puedan unirse a la red (ruteadores y terminales). El algoritmo de inicio de una nueva red es:

- **Generación de beacon:** el dispositivo FDD genera y envía tramas beacon (contienen toda la información sobre la red inalámbrica)

- **Descubrimiento de un dispositivo:** el coordinador envía tramas beacon periódicamente para informar a los demás dispositivos de su presencia.
- **Asociación de un dispositivo:** un router o un dispositivo final realiza un sondeo en busca de un identificador PAN de una red, elige uno y envía una petición para unirse a la red, si la petición es recibida por el coordinador este contesta con un paquete ACK.
- **Disociación de un dispositivo:** cuando el coordinador quiere disociar un nodo le envía una notificación, el nodo contestara con un ACK en caso de no recibir una respuesta el nodo se considera disociado y su información es eliminada, en el caso que el dispositivo desee dejar la red es este quien envía una notificación y elimina la información sobre la red.
- **Sincronización:** los dispositivos pueden sincronizarse de diferentes maneras: mediante la utilización de tramas beacon que tienen que ser descifradas y con la información obtenida sincronizan sus transmisiones, el caso de dispositivos orphan (falla la comunicación con el coordinador) debe sondear los canales en busca de la PAN para actualizar su información.
- **Transmisión de datos:** mediante la utilización del protocolo CSMA/CA se envía la información es enviada en las ranuras.
- **Recepción de datos:** todos los dispositivos pueden recibir información de otro dispositivo pero únicamente puede recibir las tramas dirigidas hacia él.

1.4.4.8 *Tráfico soportado*

ZigBee soporta dos tipos de tráfico:

- **Tráfico periódico:** Necesario para aplicaciones donde se envían y/o reciben datos transcurrido un lapso constante de tiempo, como es el caso de sistemas que utilizan sensores (control de temperatura, humedad, consumo de energía, etc.) en los cuales se necesita medir de forma constante la variable a controlar. (MORENO PALLO Cynthia Vanessa, 2009, P. 6)
- **Tráfico intermitente:** Diseñado para aplicaciones que envían y reciben datos cuando son estimulados por una señal externa, como es el caso de un interruptor o conmutador y las alarmas. (MORENO PALLO Cynthia Vanessa, 2009, P. 6)

1.4.4.9 Consumo de energía

El estándar ZigBee fue diseñado con el objetivo de minimizar el consumo de energía en las redes inalámbricas cuenta con varias características como el tamaño de las lecturas de los sensores que no van más allá de unas pocas decenas de bytes necesitan un ancho de banda bajo, un nodo ZigBee se encuentra dormido la mayoría del tiempo únicamente despierta cuando necesita transmitir información se envía lo más rápido posible y vuelve a dormir.

Una característica importante es su tecnología de radio (802.15.4) diseñado específicamente para el bajo consumo, los datos son enviados únicamente cuando estén listos para el envío, espera la conformación al no recibirla en un periodo de tiempo establecido los datos son reenviados, una red con demasiados nodos transmitiendo al mismo tiempo causaría colisiones y por lo tanto un reenvío de datos continuo reduciendo la energía de la batería del nodo.

1.5 Los Sensores

Desde los inicios la humanidad ha buscado distintas formas de automatizar procesos mediante la utilización de controladores y actuadores pero se necesita de un elemento que cierre el lazo de control es aquí donde aparecen los sensores como dispositivos capaces de captar información sobre casi cualquier fenómeno físico.

La información es transmitida hacia un actuador que es el encargado de la toma de decisiones en cuanto a las acciones que se deberán ejecutar de acuerdo a la función del sistema que puede ser diseñado únicamente para recopilar información para el análisis o un sistema con la capacidad de realizar acciones mecánicas, químicas o de otro tipo según se necesite, la tecnología necesita generar y medir magnitudes con precisión y fiabilidad mientras más altos son estos parámetros mayor será el estándar de dicha tecnología.

En la vida diaria las personas utilizan muchos sensores sin darse cuenta, un dispositivo de telefonía móvil avanzada posee muchos sensores que la mayoría de las personas desconocen, los computadores portátiles, luces automáticas e incluso dispensadores de aromatizantes son utilizados de forma natural sin la necesidad de tener conocimientos técnicos sobre los dispositivos electrónicos utilizados para su construcción.

1.5.1 Definición de sensor

Un sensor es un dispositivo electrónico que está en contacto con una o más magnitudes físicas denominadas variables de instrumentación, estos dispositivos tienen la capacidad de detectar las variables de instrumentación y transformarlas en una señal eléctrica cuantificable cuyo valor depende del valor de la variable física.

Los sensores son utilizados para detectar variables de instrumentación que debido a su naturaleza no pueden ser percibidas directamente por los sentidos, estas variables pueden ser: temperatura, vibración, inclinación, fuerza humedad, etc.

1.5.2 Características de los sensores

- **Calibración:** con respecto a la variable física para evitar mediciones erróneas.
- **Precisión:** capacidad de medir un mismo valor varias veces en similares condiciones.
- **Tiempo de respuesta:** tiempo para medir un cambio inesperado de la variable.
- **Campo de Medida:** rango máximo y mínimo detectable por el sensor.
- **Linealidad:** si existe una constante de proporcionalidad única correspondiente a la señal de entrada.

1.5.3 Clasificación de los sensores

El número de sensores disponibles para distintas magnitudes físicas es tan elevado que no se puede proceder racionalmente a su estudio sin clasificarlos previamente con algunos criterios. (AREN Y Ramón Pallás, 2004, P. 6)

Tabla 8-1 Clasificación de los sensores

CRITERIO	CLASES	TEMPLOS
APORTE DE ENERGÍA	Moduladores Generadores	Termistor Termopar
SEÑAL DE SALIDA	Analógicos Digitales	Potenciómetro Codificador de posición
MODO DE OPERACIÓN	De deflexión De comparación	Acelerómetro de deflexión Servoacelerómetro

Fuente: (AREN Y Ramón Pallás, 2004, P. 6)

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

1.5.3.1 Según aporte de energía

- **Moduladores:** varían sus parámetros eléctricos en función de las variables de instrumentación, estos sensores pueden ser:
- **Sensores resistivos:** basan su operación en la variación de la resistencia eléctrica que puede ser afectada por muchas magnitudes físicas estos sensores pueden ser: potenciómetros, galgas extensométricas, termoresistencias, termistores, magnetoresistencias, fotoresistencias, etc.
- **Sensores de reactancia variable:** la variación de la reactancia de un componente permite medir la variación de desplazamiento lineal o angular, pueden ser sensores capacitivos o inductivos.
- **Sensores electromagnéticos:** aquellos que la variable de instrumentación produce alteraciones del campo eléctrico o magnético, pueden ser basados en la ley de Faraday y de efecto Hall.
- **Generadores:** generan una señal eléctrica a partir de la variable de instrumentación que miden no necesitan de una fuente de alimentación, estos sensores pueden ser:
- **Sensores termoelectrónicos:** formados por dos metales distintos que producen una diferencia de potencial que depende únicamente de la temperatura de uno de los extremos.
- **Sensores piezoeléctricos:** basados en el efecto piezoeléctrico que consiste en la aparición de una polarización eléctrica en un determinado material bajo la acción de un esfuerzo
- **Sensores fotovoltaicos:** sensores que al inducir un fotón genera un par electrón/hueco generando una diferencia de potencial.

1.5.3.2 Según la señal de salida

- **Analógicos:** Sensores que emiten como salida una señal analógica por corriente entre 4 y 20 mA que varían en el tiempo y son proporcionales a la variable que se está midiendo.

- **Digitales:** Transforma la variable medida en pulsos digitales o bits, la señal entregada puede estar únicamente en dos estados 1 o 0.

1.5.3.3 *Según el modo de funcionamiento*

- **Deflexión:** detecta el cambio de flexión cuando cambia de su posición nominal cambiando la resistencia que se encuentra en los pines de salida del sensor.
- **Comparación:** se intenta mantener nula la deflexión mediante la aplicación de un efecto opuesto al generado por la magnitud medida.

1.5.4 *Red de sensores*

Está compuesta por una enorme cantidad de nodos equipados con sensores que están desplegados en un espacio físico, con la intención de medir un fenómeno. Estos sensores tienen capacidades sensitivas (miden fenómenos como la luz, el ruido, contaminación, etc.), y tienen capacidades comunicativas gracias a las cuales forman redes sin infraestructura física preestablecida ni administración central. (LÓPEZ Sergio Aldea et al., 2010, P. 26)

Es decir, en cierto modo, estos nodos deben ser capaces de auto gestionarse, y deben disponer de ciertas capacidades de procesamiento de información. Esto permite que cada nodo no envíe toda la información que recibe a través de sus sensores hacia los nodos responsable de “fusionar” todas los datos, sino que realiza un procesamiento simple y transmite únicamente los datos necesarios, que ya han sido parcialmente procesados por el nodo. (LÓPEZ Sergio Aldea, CUADRILLERO Miguel Ángel Jiménez and YAGÜEZ Álvaro García, 2010, P. 26)

El monitoreo (censo) de un entorno se realiza mediante una estructura cooperativa y son claves en el desarrollo de entornos inteligentes (edificios, instalaciones industriales, medios de transporte, etc.). Los componentes básicos de una red de sensores son:

- Sensores distribuidos en la estructura.
- Red de interconexión que puede ser alámbrica o inalámbrica.
- Nodo de procesamiento de información.
- Recursos de procesamiento en el nodo de procesamiento.

1.5.5 Vibrómetro

Dispositivo electrónico que permite determinar las magnitudes que caracterizan las vibraciones, traduce las vibraciones del entorno en señales eléctricas que deben ser tratadas para calificar el nivel de vibración del ambiente censado, es utilizado fundamentalmente en el mantenimiento preventivo de maquinaria.

Un vibrómetro está compuesto básicamente por un transductor de vibración que mide la velocidad lineal, el desplazamiento, velocidad, la aceleración, convierten la energía mecánica en eléctrica.

1.5.6 Acelerómetro

Los sensores de aceleración o acelerómetros son dispositivos que basan su funcionamiento en el principio de la aceleración descubierto por Newton (**Fuerza = Masa * Aceleración**), por lo que deben estar provistos de una masa móvil, que puede ser un resorte, sobre el cual se aplicará la fuerza que producirá la aceleración o deceleración. (SERNA A et al., 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

La masa móvil puede estar constituida por diferentes tipos de elementos, mecánicos, capacitivos, inductivos, piezoeléctricos, etc. Además pueden actuar sobre uno o varios ejes (X, Y, Z) al controlar fuerza transversales. (SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

Un acelerómetro transforma la magnitud física aceleración en una magnitud eléctrica, son sensores de inercia miden la segunda derivada de la posición, mide la fuerza de inercia generada cuando la posición es afectada por una variación de velocidad.

1.5.7 Sensores de gas

Los sensores de gas conforman una familia de dispositivos que son cada vez más necesarios, ya que su función principal es como elementos de seguridad dentro del campo donde trabajen. Así, podemos encontrar en el mercado sensores y dispositivos dispuestos para su utilización, que permiten detectar gases nocivos y peligrosos como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, propano, butano, amoníaco, alcohol, etc.(SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

Los sensores de gas se basan en óxidos semiconductores que varían la conductividad eléctrica como consecuencia de una reacción entre el semiconductor y los gases presentes en ambiente.

Tienen un rango de detección bastante amplio variando sus características cambiando los materiales de construcción, temperatura del ambiente tiene una vida útil de entre 10 y 25 años resistentes a los golpes y vibraciones.

1.5.8 *Sensor de humedad*

La humedad expresa la cantidad de agua que existe en un medio determinado, ya sea líquido, sólido o gaseoso. Conocer esta cantidad o concentración de agua puede ser muy útil para determinados propósitos, ya que podrían influir en el funcionamiento de procesos industriales, alimentarios, agrícolas, o en la duración de ciertos elementos incorporados a electrodomésticos, vehículos, telefonía, etc. (SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

Los sensores de humedad basan su funcionamiento en la conductividad que posee el agua como material, dos cables sin aislar son colocados en el lugar que se desea medir, si una carga pequeña es transferida a través de ellos se amplifica mediante un sistema que puede ser con transistores y de esa forma según el nivel de voltaje se puede medir el nivel de humedad del ambiente.

1.5.9 *Sensores de presión*

Para medir la presión se utilizan sensores dotados de un elemento específico sensible a la presión, el cual proporciona una señal eléctrica al variar dicha presión, además de un transductor o elemento acondicionador que facilita la medida de la deformación producida. (SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

Son utilizados principalmente en procesos industriales, se ven sometidos a ambientes extremos por ende son bastante robustos, varían su especificaciones técnicas según el lugar de implementación.

CAPITULO II

2. DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)

2.1 Diagrama de bloques de WSN

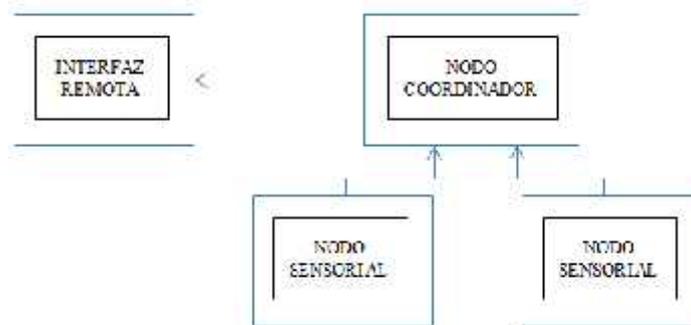


Figura 1-2 Diagrama de bloques Red de Sensores Inalámbricos
Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Los nodos inalámbricos se denominan motas, del inglés ‘mote’, se caracterizan por tener peso ligero, y un tamaño pequeño. Son dispositivos electrónicos capaces de adquirir la información proveniente del entorno que los rodea, procesarla y transmitirla de forma inalámbrica hacia la estación base. Lo fundamental de estos dispositivos, es que cuenta con un tamaño pequeño, además de tener un consumo de energía bajo y que su costo sea reducido. (CHICANGO MARTÍNEZ and Stalin Héctor, 2014, P. 61)

Por otro lado, debe tener un potente sistema de ejecución de programas, una transmisión de datos eficiente y una amplia área de cobertura. Las motas son dispositivos diseñados y programados para trabajar de forma conjunta dentro de la red, es decir si una mota se encuentra aislada de las demás no tendrá ninguna utilidad. (CHICANGO MARTÍNEZ and Stalin Héctor, 2014, P. 61)

- **Nodo Sensorial:** No solo se encarga de recolectar los datos, los procesa y trasmite al nodo coordinador.
- **Nodo Coordinador:** permite la conexión entre los nodos sensoriales y la interfaz remota, es decir sirve como gateway de la red de sensores inalámbricos; a él llega toda la información recolectada por los nodos sensoriales, se encarga de transmitir los datos a la interfaz remota. En fin gestiona la comunicación entre todos los componentes de la red.

- **Interfaz Remota:** Es aquella que almacena los datos, realiza comparaciones de la información de acuerdo a los estándares preestablecidos, en base a los resultados enviara o no una alarma si existen variantes.

2.2 Componentes de un nodo inalámbrico

La arquitectura de un nodo depende del propósito a ejecutar. El nodo de la red compone detección, recolección, procesamiento, almacenamiento y transmisión inalámbrica de la información, todo esto a través del uso de una fuente de alimentación.

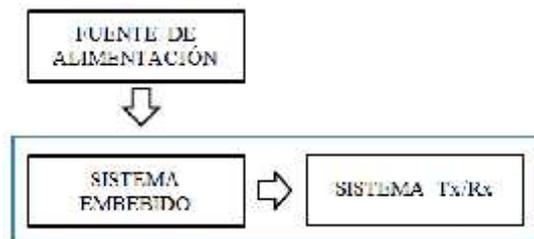


Figura 2-2 Diagrama de bloques nodo coordinador
Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 3-2 Diagrama de bloques nodo sensorial
Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

La fuente de alimentación generalmente es una batería anexa con un voltaje de salida que alimentara los componentes del sistema; los sensores serán aquellos que detectaran las variables deseadas; el sistema embebido posee la capacidad de memoria y procesamiento que provee inteligencia a cada nodo inalámbrico; el sistema Tx/Rx será el que reciba y transmita la información.

2.2.1 Sistema embebido: Arduino MEGA ATmega2560

De todo el catálogo Arduino, la placa empleada en este proyecto es la Arduino Mega 2560. Cuenta con un microcontrolador ATmega2560 que funciona a 16 MHz. La placa dispone de 54 entradas/salidas digitales, de las cuales 15 se pueden emplear como salidas PWM (Pulse Width Modulation) y 16 entradas analógicas. (LASTRA LAMARCA Daniel, 2015, P. 22-23)

Además, tiene una conexión USB y 4 puertos UART. Cada uno de los 54 pines digitales se puede emplear como entrada o salida usando las funciones `digitalWrite`, `digitalRead` y `pinMode` de la librería Arduino. Los pines operan a 5 V y cada uno de ellos recibe o provee 20 mA, pudiendo llegar a 40 mA como máximo. (LASTRA LAMARCA Daniel, 2015, P. 22-23)

La placa cuenta con 16 entradas analógicas, cada una con una resolución de 10 bits (0-1023). Por defecto, el valor analógico de entrada se mide desde 0 V hasta 5 V, pero se puede alterar empleando la función `analogReference` y el pin AREF, dependiendo si se quiere usar una referencia interna o externa. (LASTRA LAMARCA Daniel, 2015, P. 22-23)

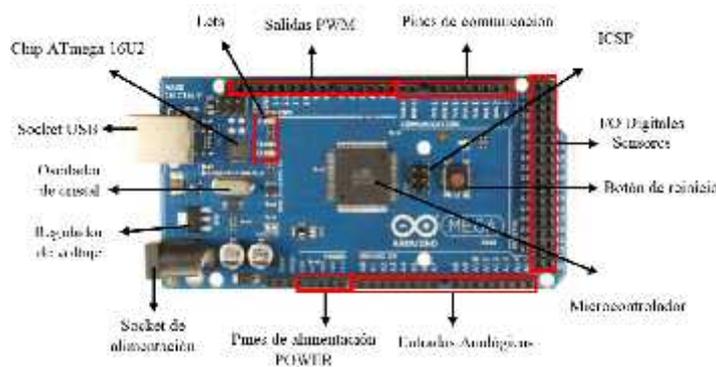


Figura 4-2 Componentes principales del módulo Arduino Mega 2560
 Fuente: (REYES MENA Diego Vinicio, 2014, P. 64-65, 68-69)

Una de las ventajas de Arduino es ser más económica en costo que el resto de las placas y además el IDE usado para su programación está escrito en Java y basado en Processing. Estas ventajas hacen que sea compatible con cualquier plataforma como Windows, Macintosh OSX y Linux, mientras que las otras placas se limitan muchas veces solo a Windows. (CARPIO MIRANDA Miguel Eduardo et al., 2014, P. 6)

Tabla 1-2: Características generales de Arduino MEGA

ARDUINO MEGA 2560	
Características	
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de Operación	5 V
Voltaje de Entrada(recomendado)	7-12 V
Voltaje de Entrada(límites)	0-20 V
Pines Digitales (IO)	54
Pines Analógico I	16
Corriente en cada Pin	40 mA
Corriente en cada Pin 3.3 V	60mA
Memoria Flash	128 KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad de Reloj	16 MHz

Fuente: (CARPIO MIRANDA Miguel Eduardo, CÁRDENAS SANCHEZ Tania Alejandra and CHAVEZ BURBANO Patricia Ximena, 2014, P. 6)

Los pines del Arduino pueden configurarse como entradas o salidas. Es importante señalar que la gran mayoría de los pines analógicos de Arduino (Atmega), pueden configurarse y utilizarse, exactamente de la misma manera que los pines digitales. (REYES MENA Diego Vinicio, 2014, P. 64-65, 68-69)

Los pines de Arduino (Atmega) por defecto son de entrada, por lo que no es necesario configurarlos explícitamente como entradas. Se dice que los pines configurados como entradas están en estado de alta impedancia. Una forma de explicar esto es que los terminales de entrada hacen demandas extremadamente pequeñas en el circuito que están muestreando, se dice que equivale a una resistencia en serie de 100 megaohmio frente al pin. (REYES MENA Diego Vinicio, 2014, P. 64-65, 68-69)

Esto también significa, que los terminales de entrada sin conectar nada a ellos, o con los cables conectados a ellos sin estar conectados a otros circuitos, reflejarán cambios aparentemente aleatorios en el estado de pin, recogiendo el ruido eléctrico del entorno, o el acoplamiento capacitivo del estado de un pin próximo. (REYES MENA Diego Vinicio, 2014, P. 64-65, 68-69)

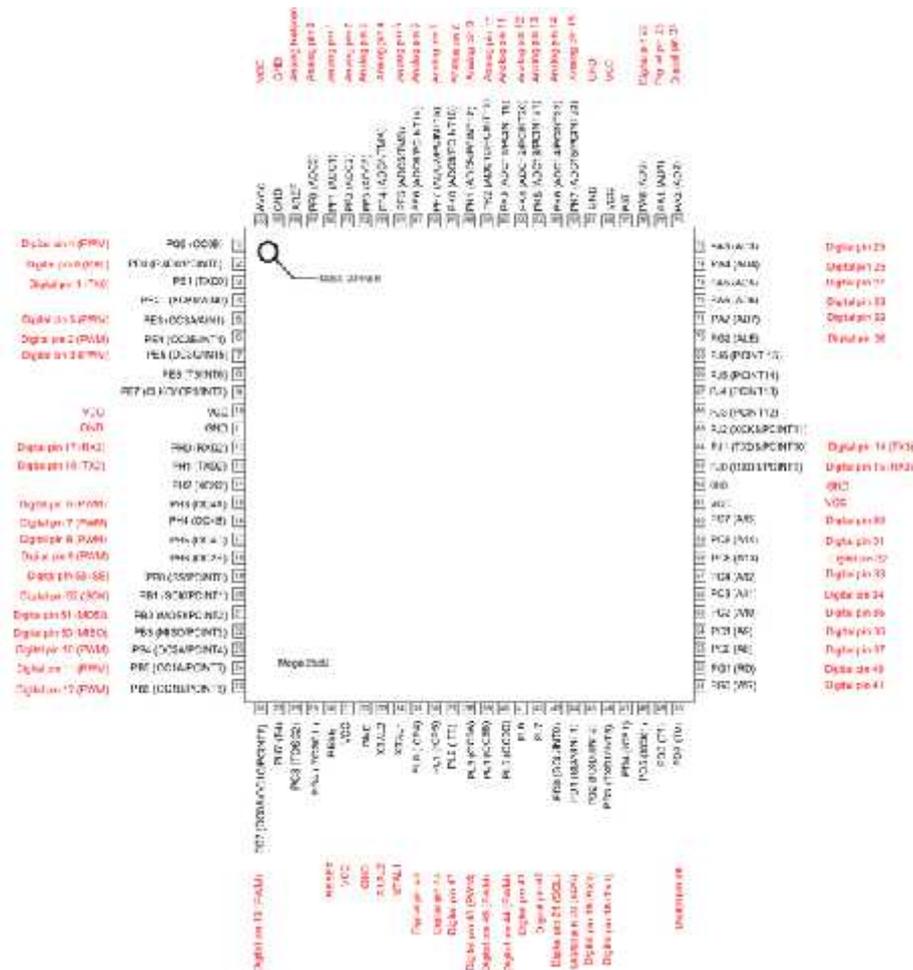


Figura 5-2 Mapeo de pines ATmega 2560 en la placa Arduino
Fuente: (LASTRA LAMARCA Daniel, 2015, P. 22-23)

Tabla 2-2: Funciones especiales de los pines del módulo Arduino Mega 2560

NOMBRE	PIN	DESCRIPCION
SERIAL		
Serial 0	0 Rx 1 Tx	Usado para recibir (RX) y transmitir (TX) datos a través del puerto serie TTL. El Serial 0 está también conectados a los pines correspondientes de la ATmega 16U2 del chip Serial USB-a-TTL.
Serial 1	19 Rx 18 Tx	
Serial 2	17 Rx 16 Tx	
Serial 3	15 Rx 14 Tx	
INTERRUPCIONES EXTERNAS		
Interrupción 0	2	Estos pines se pueden configurar para activar una interrupción en un valor bajo (0V), en flancos de subida o bajada (cambio de valor de bajo (0V) a alto (5V) o viceversa).
Interrupción 1	3	
Interrupción 5	18	
Interrupción 4	19	
Interrupción 3	20	
Interrupción 2	21	
PWM		
Salidas PWM	Del 2 al 13 y del 44 al 46	Proporciona una salida PWM de 8 bits de resolución (valores de 0 a 255).
SPI		
MISO	50	Proporcionan comunicación SPI.
MOSI	51	
SCK	52	
SS	53	
LEDS		
LED	13	Existe un LED integrado en el módulo conectado al pin digital 13, cuando este pin tiene un valor alto (5V), el LED se enciende y cuando este tiene un valor bajo (0V) este se apaga.
TWI		
SDA	20	Apoyan la comunicación con el TWI.
SCL	21	Soporta el protocolo de comunicaciones I ² C
OTROS		
AREF	AREF	Proporciona el voltaje referencia para las entradas analógicas.
RESET	RESET	Suministrar un valor bajo (0V) para reiniciar el microcontrolador. Típicamente usado para añadir un botón de reinicio a los shields que no dejan acceso al botón de reinicio en el módulo.

Fuente: (REYES MENA Diego Vinicio, 2014, P. 64-65, 68-69)

El Arduino Mega 2560 puede ser alimentado vía la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de la alimentación se selecciona automáticamente. Las fuentes de alimentación externas (no-USB) pueden ser tanto un transformador o una batería. El adaptador se puede conectar usando un conector macho de 2.1mm con centro positivo, en el conector hembra de la placa. os cables de la batería pueden conectarse a los pines Gnd y Vin en los conectores de alimentación (POWER). (REYES MENA Diego Vinicio, 2014, P. 64-65, 68-69)

El módulo puede trabajar con un suministro externo de entre 6 a 20 voltios. Si el voltaje suministrado es inferior a 7V el pin de 5V puede proporcionar menos de 5V y la placa puede volverse inestable, si se usan más de 12V los reguladores de voltaje se pueden sobrecalentar y dañar la placa. Es por eso que el rango recomendado es de 7 a 12 voltios. (REYES MENA Diego Vinicio, 2014, P. 64-65, 68-69)

2.2.1.1 XBee Shield



Figura 6-2 XBee Shield

Fuente: Jácome Comina ,2013, p.56

Permite a una placa Arduino comunicarse de forma inalámbrica utilizando ZigBee. Se basa en un módulo XBee, que se puede ser utilizado como un reemplazo de serie/USB o puede ponerlo en un modo de comandos y configurarlo para una variedad de opciones de transmisión y redes de malla. (JÁCOME COMINA César Augusto, 2013, P. 78-79)

Características:

- Los módulos soportar velocidades de datos de hasta 115200 bps.
- Los pines DIN y DOUT del XBee pueden ser conectados a los pines UART o a cualquier pin digital en el Arduino (predeterminado D2 y D3).
- Regulación a 3,3 V e indicadores led de Power, DIn, DOUT, RSSI y Di Ø5. (JÁCOME COMINA César Augusto, 2013, P. 78-79)

2.2.2 Sistema de Tx/Rx

Permite la comunicación inalámbrica, envía y recibe los datos, vía radio frecuencia su objetivos proveer el enlace con los demás elementos de la red. Sus funciones son: emitir, recibir, dormir e inactividad. Su principal ventaja es el mínimo consumo de energía que utiliza cuando cambia de estados.

La comunicación inalámbrica se logra con un módulo XBee S2 (Digi International Inc., Minnetonka, Minesota, EUA) el cual está basado en el protocolo inalámbrico ZigBee (IEEE 802.15.4). El módulo XBee puede transmitir a distancias de hasta 30 metros en lugares cerrados y hasta 100 metros en lugares abiertos. (ISRAEL PÉREZ Arreguín Jorge et al., P. 2)

En comparación con otros sistemas de radiofrecuencia, el XBee permite la transmisión confiable debido a su manera de encriptación y codificación. Para realizar una conexión modular con el Arduino se utilizó un sistema Arduino XBee Shield (© Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., Zaragoza, España) lo cual evitó que se diseñara una tarjeta dedicada solo a conectar la antena XBee. (ISRAEL PÉREZ Arreguín Jorge, SAÚL Tovar Arriaga, CARRILLO UBALDO Giovanni Villaseñor, EFRÉN GORROSTIETA Hurtado, CARLOS PEDRAZA ORTEGA Jesús, Emilio VARGAS SOTO José, Manuel RAMOS ARREGUIN Juan and Artemio SOTOMAYOR OLMEDO, P. 2)

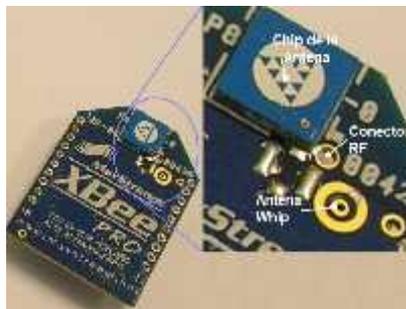


Figura 7-2 Elementos del XBEE

Fuente: (JÁCOME COMINA César Augusto, 2013, P. 78-79)

Las comunicaciones ZigBee se realizan en la banda libre de 2.4GHz. A diferencia de bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency hopping), sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. Normalmente puede escogerse un canal de entre 16 posibles. (OYARCE Andrés et al., 2010a, P. 6,12,14,16,19-21)

El alcance depende de la potencia de transmisión del dispositivo así como también del tipo de antenas utilizadas (cerámicas, dipolos, etc) El alcance normal con antena dipolo en línea vista es de aproximadamente (tomando como ejemplo el caso de MaxStream, en la versión de 1mW de potencia) de 100m y en interiores de unos 30m. (OYARCE Andrés et al., 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)

La velocidad de transmisión de datos de una red ZigBee es de hasta 256kbps. Una red ZigBee la pueden formar, teóricamente, hasta 65535 equipos, es decir, el protocolo está preparado para poder controlar en la misma red esta cantidad enorme de dispositivos. (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)

2.2.2.1 Circuito básico para el XBee.

El módulo requiere una alimentación desde 2.8 a 3.4 V, la conexión a tierra y las líneas de transmisión de datos por medio del UART (TXD y RXD) para comunicarse con un microcontrolador, o directamente a un puerto serial utilizando algún conversor adecuado para los niveles de voltaje. (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)

Esta configuración, no permite el uso de Control de Flujo (RTS & CTS), por lo que ésta opción debe estar desactivada en el terminal y en el módulo XBEE. En caso de que se envíe una gran cantidad de información, el buffer del módulo se puede sobrepasar. (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)

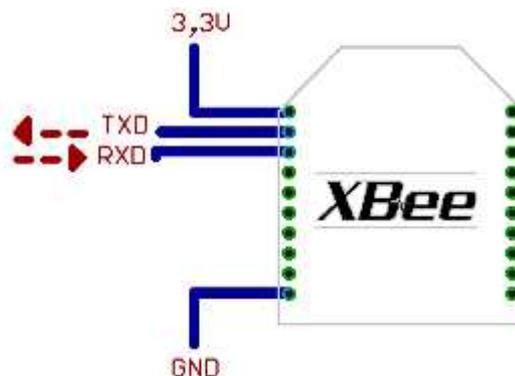


Figura 8-2 Conexiones mínimas requeridas para el XBEE
Fuente: Oyarce, 2010

2.2.2.2 Modos de operación

- **Modo RECIBIR/TRANSMITIR:** Se encuentra en estos modos cuando al módulo le llega algún paquete RF a través de la antena(modos Receive) o cuando se manda información serial al buffer del pin 3 (UART Data in) que luego será transmitida (modo Transmit). (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)
- **Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode):** El modo de sueño hace posible que el módulo RF entre en un modo de bajo consumo de energía cuando no se encuentra en uso. (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)

Tabla 3-2: Tabla Modo Sleep y consumos de corriente

Modo	Consumo alimentación			Modo Sleep	Modo Wake -up
	2.8-3 V	3.2 V	3.4V		
SM=1	<3 μ A	32 μ A	255 μ A	Sleep RQ	Sleep RQ
SM=2	<35 μ A	48 μ A	170 μ A	Sleep RQ	Sleep RQ
SM=3		(reservado)		(reservado)	(reservado)
SM=4	<34 μ A	49 μ A	240 μ A	Comando ST	Comando SP
SM=5	<34 μ A	49 μ A	240 μ A	Comando ST	Sleep RQ

Fuente: Oyarce, 2010

- Modo de Comando:** Este modo permite ingresar comandos AT al módulo XBee, para configurar, ajustar o modificar parámetros. Permite ajustar parámetros como la dirección propia o la de destino, así como su modo de operación entre otras cosas. Para poder ingresar los comandos AT es necesario utilizar el Hyperterminal de Windows, el programa X-CTU 3 o algún microcontrolador que maneje UART y tenga los comandos guardados en memoria o los adquiera de alguna otra forma. (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)
- Modo Transparente:** En este modo todo lo que ingresa por el pin 3 (Data in), es guardado en el buffer de entrada y luego transmitido y todo lo que ingresa como paquete RF, es guardado en el buffer de salida y luego enviado por el pin 2 (Data out). El modo Transparente viene por defecto en los módulos XBee. Este modo está destinado principalmente a la comunicación punto a punto, donde no es necesario ningún tipo de control. (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)

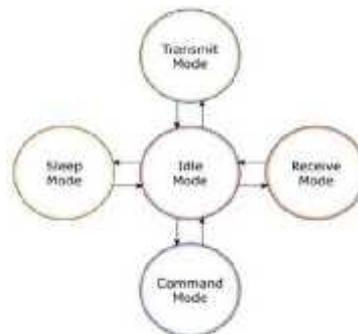


Figura 9-2 Modos de Operación del módulo XBEE

Fuente: (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)

- Modo de operación API:** Este modo es más complejo, pero permite el uso de frames con cabeceras que aseguran la entrega de los datos, al estilo TCP. Extiende el nivel en el cual la aplicación del cliente, puede interactuar con las capacidades de red del módulo. Cuando el módulo XBEE se encuentra en este modo, toda la información que entra y sale, es empaquetada en frames, que definen operaciones y eventos dentro del módulo. (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)

- **Idle:** Cuando el módulo no se está en ninguno de los otros modos, se encuentra en éste. Es decir, si no está ni transmitiendo ni recibiendo, ni ahorrando energía ni en el modo de comandos, entonces se dice que se encuentra en un estado al que se le llama IDLE. (OYARCE Andrés, AGUAYO Paul and MARTIN Eduard, 2010b, P. 6,12,14,16,19-21)

2.2.3 Sensores

Se encargan de convertir una magnitud obtenida mediante efector físicos o químicos en una magnitud eléctrica. La señal de salida de un sensor no suele ser válida para su procesado por los circuitos actuadores, por lo tanto necesita ser adaptada y amplificada. (SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

Se especificará a continuación la variable a medir, tipo de sensor, sus características básicas, cabe recalcar que los sensores seleccionados son compatibles con la placa Arduino MEGA.

2.2.3.1 Sensor de Vibración: 420-sw tipo nc interruptor módulo sensor de vibración

Es aquel que accede a trabajar en frecuencias altas, que es en donde se origina especialmente la vibración. Entre sus aplicaciones están el control o mantenimiento preventivo en maquinaria, o/y estructuras, alarmas de robos, terremotos, vehículos, etc.; todos se originan del efecto de diversos tipos de vibración.

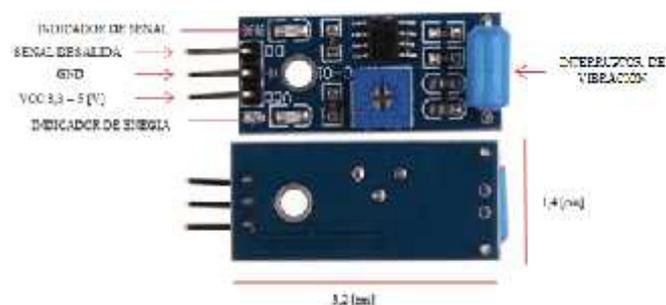


Figura 10-2 Módulo Sensor de Vibración 420-sw tipo nc
Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Entre sus características principales están:

- Es un módulo de sensor de vibración tipo cerrado.
- Su salida es una señal limpia, su conducción puede ser por más de 15 [mA]
- Su voltaje de funcionamiento es de 3,3 a 5 [V]

- Su salida es digital (0 y 1)
- Tamaño: 3,2 x 1,4 [cm]
- Utiliza el comparador de voltaje LM393

Sus modos de funcionamiento son:

- **No existe vibración:** se cierra el estado del interruptor de vibración, la salida es baja, el indicador led está en modo luminoso verde.
- **Existe vibración:** se desconecta momentáneamente el interruptor de vibración, su salida es alta, el led no se enciende.

La salida digital se envía directamente al sistema embebido, el detecta el nivel alto o bajo, el cual indicara si existe o no vibración en el entorno, y por ende se enviara una alarma de ser necesario.

2.2.3.2 Sensor de Inclinación: Acelerómetro ADXL335

Estamos ante un sensor de aceleración capacitivo de silicio micromecanizado, que dispone de tres ejes (X,Y,Z) con salidas analógicas, de bajo consumo 350 μ A y alimentación de 1,8 V hasta 3,6 V. tiene muy buena compensación respecto de las variaciones de temperatura y opera en un rango de ± 3 g. su ancho de banda para los ejes X,Y es de 0,5 Hz a 1600 Hz y de 0,5 Hz a 550 Hz para el eje Z. (SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

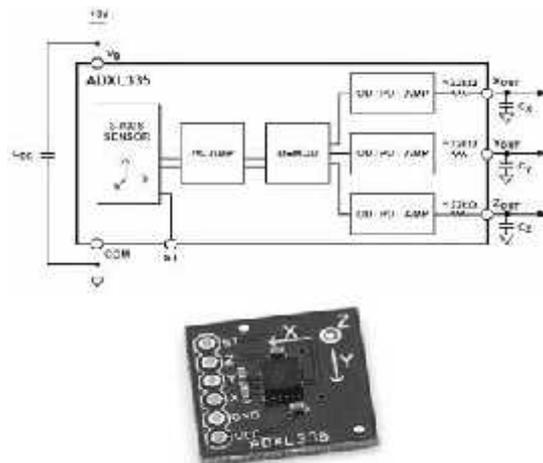


Figura 11-2 Diagrama de bloques del ADXL335

Realizado por: (SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

Provee a la placa de Arduino un voltaje por cada eje, se recomienda ubicar un condensador de 0,1 μF entre el pin de alimentación y el de masa (pines 15 y 5). Entre sus aplicaciones esta la detección de inclinación, sistemas de juegos, aceleración dinámica o estabilizadores de imágenes, generadas por choques, movimientos o vibraciones.

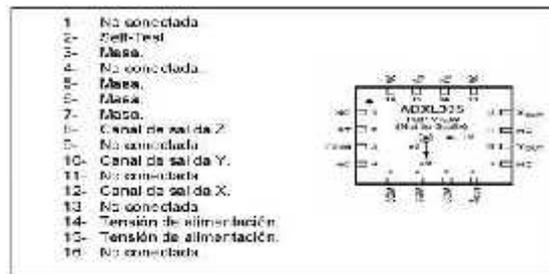


Figura 12-2 Patillaje del ADXL335
 Realizado por: (SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

La mayoría de acelerómetros aportan una salida de tipo analógica o PWM que posteriormente es medida y transformada a un valor binario [25] por un conversor análogo digital AD. El ADXL335 proporciona una señal por cada uno de los ejes que mide. Se puede adquirir en una placa en la cual se integran los capacitores para estabilizar las salidas como lo recomienda el fabricante. (CELA ROSERO Andrés Fernando, 2012, P. 18)

Podemos observar las diferentes magnitudes de salida según la posición de este sensor. La sensibilidad del sensor es de 350 mV/g y para 0 da una salida aproximada de 1,8 V. (SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

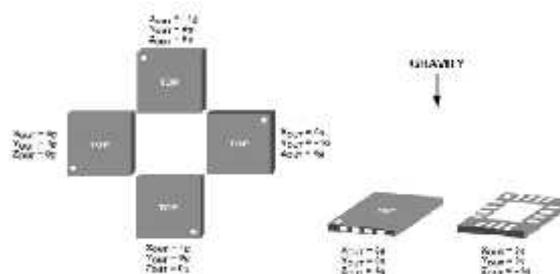


Figura 13-2 Magnitudes de salida según posicionamiento
 Realizado por: (SERNA A, ROS F and RICO JC, 2010, P. 11, 69, 95, 98-99, 109, 135)

2.3 Estructura: Puente

Una de las primeras obras civiles que se creó en la historia de la humanidad fue el puente. El primer gran objetivo de estas construcciones es realizar la vía para cruzar desde una orilla del río a otra, o sobrepasar cualquier otro obstáculo natural. Es probable que el primer puente haya sido un árbol en la prehistoria para atravesar un pequeño arroyo. (ÁLVAREZ HOYOS Jairo Alexis, 2012, P. 17, 28)

Con el tiempo, comenzaron a utilizarse otros materiales en su fabricación como rocas y piedras. Pero surgió un problema, estas estructuras de enlace comenzaron a emplearse cada vez más por un mayor número de personas o transportes, poniendo en jaque su durabilidad. Su pobre fabricación y la poca carga que soportaban eran los factores por mejorar. (ÁLVAREZ HOYOS Jairo Alexis, 2012, P. 17, 28)

2.3.1 ¿Qué es un puente?

Un puente es una estructura destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías. (ÁLVAREZ HOYOS Jairo Alexis, 2012, P. 17, 28)

La infraestructura de un puente está formada por los estribos o pilares extremos, las pilas o apoyos centrales y los cimientos, que forman la base de ambos. La superestructura consiste en el tablero o parte que soporta directamente las cargas y las armaduras, constituidas por vigas, cables, o bóvedas y arcos que transmiten las cargas del tablero a las pilas y los estribos. (ÁLVAREZ HOYOS Jairo Alexis, 2012, P. 17, 28)

Tabla 4-2: Características de los puentes

ASPECTOS MATERIAL	CONSTRUCCIÓN	COSTO	MANTEMINIENTO	OTRAS
MADERA	Rápida	Bajo	Continuo y costoso	Poco Resistente y duradero. Sensibles a agentes atmosféricos
PIEDRA	Lenta	Alto	Escaso	Resistentes, compactos, duraderos
METAL	Rápida	Alto	Caro	Se someten a acción corrosiva.
HORMIGÓN	Rápida	Alto	Escaso	Resistentes a la acción de agentes atmosféricos.

Fuente: (ÁLVAREZ HOYOS Jairo Alexis, 2012, P. 17, 28)

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

2.3.2 Puentes de vigas

Consisten en varios de estos órganos, que, colocados paralelamente unos a otros con separaciones de 1,2 a 1,5 m, salvan la distancia entre estribos o pilas y soportan el tablero. Los puentes de vigas de hormigón armado o de acero pueden salvar tramos de 20 a 25 m; para distancias superiores se utilizan mucho el acero y el hormigón pretensado y, cuando la longitud es considerable, las vigas son compuestas. (AYALA SALCEDO Freddy Gustavo and GUDIÑO AUZ Edison Fernando, 2012, P. 41, 59, 70)

El CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO ha sido designado como el ente ejecutor de los proyectos viales diseñados por el MTOP, mismos que poseen en su mayoría características

similares en la superestructura, infraestructura y apoyos de los puentes. (AYALA SALCEDO Freddy Gustavo and GUDIÑO AUZ Edison Fernando, 2012, P. 41, 59, 70)

Tabla 5-2: Elementos estructurales de la superestructura de un puente

Puente tipo I	Puente tipo II
Vigas de hormigón armado	Vigas de acero
Losa de hormigón armado	Losa de hormigón armado
Capa de rodadura	Capa de rodadura
Veredas de hormigón armado	Veredas de hormigón armado
Barandales de hormigón armado	Barandales de hormigón armado
Arriostramiento transversal	Arriostramiento longitudinal
	Arriostramiento transversal

Fuente: (AYALA SALCEDO Freddy Gustavo and GUDIÑO AUZ Edison Fernando, 2012, P. 41, 59, 70)

Las imágenes permiten visualizar los elementos que constituyen los puentes mencionados, cada una de sus partes de manera general. Ambos tipos poseen minúsculas diferencias como el diseño de la traba sísmica, lo cual se puede apreciar en los retratos de manera más clara. Los elementos estructurales del puente se resumen en una tabla a continuación.

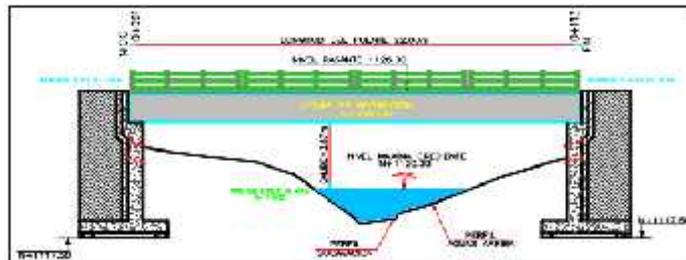


Figura 14-2 Perfil Longitudinal del puente San José con vigas de hormigón

Fuente: (AYALA SALCEDO Freddy Gustavo and GUDIÑO AUZ Edison Fernando, 2012, P. 41, 59, 70)

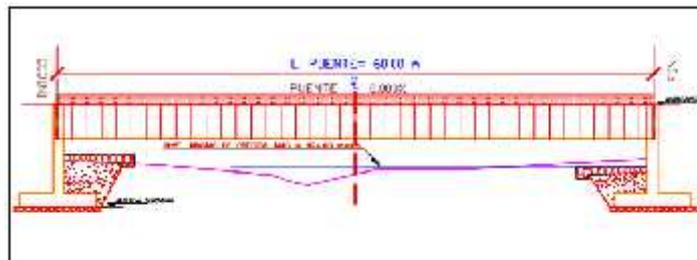


Figura 15-2 Perfil Longitudinal del puente Tucsi con vigas de acero

Fuente: (AYALA SALCEDO Freddy Gustavo and GUDIÑO AUZ Edison Fernando, 2012, P. 41, 59, 70)

Tabla 6-2: Elementos estructurales de la infraestructura de un puente

Puente tipo I y II
Cimentación hormigón ciclópeo
Zapata, Cuerpo, Pantalla
Muro y Traba sísmica
Relleno
Apoyos con placas de neopreno

Fuente: (AYALA SALCEDO Freddy Gustavo and GUDIÑO AUZ Edison Fernando, 2012, P. 41, 59, 70)

2.3.3 *Normativas sísmicas de diseño de puentes*

Las estructura viales de las cuales son parte los puentes, deben ser diseñadas con la capacidad de resistir lo que le atraviesa ya sea vehículos, individuos etc., todo durante su vida útil. Sin embargo es absurdo conocer con precisión la cantidad de vehículos pasaran por la estructura o cuánto tiempo durara el puente.

El Código Ecuatoriano de la Construcción 2000, Peligro Sísmico, Espectros de Diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente, ha sido concebido para edificaciones y no incluye a los puentes. Por lo tanto, en el Ecuador se utiliza una gran diversidad de códigos sísmicos para puentes, cada cual adecuado a sus condiciones. (AYALA SALCEDO Freddy Gustavo and GUDIÑO AUZ Edison Fernando, 2012, P. 41, 59, 70)

La filosofía de diseño en la norma AASHTO es el prevenir el colapso del puente durante sismos severos. El método AASHTO es basado en fuerzas, y emplea factores de reducción de la acción sísmica “R” para controlar el daño, en relación a la importancia y capacidad de ductilidad de la estructura. Este método está contenido en la normas AASHTO tanto en su versión Standard (AASHTO 2001) como en su versión LRFD (AASHTO 2004) y es usado en Estados Unidos, y en varios países de Latinoamérica incluyendo el Ecuador. (AYALA SALCEDO Freddy Gustavo and GUDIÑO AUZ Edison Fernando, 2012, P. 41, 59, 70)

2.3.3.1 *Control de vibración*

Las normas AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Oficial) se fundamentan en el diseño por el método LRFD que se basa en los conceptos de estados límite, mismo que describe una condición en la que una estructura, o alguna parte de ella, dejan de cumplir su función. Este estado límite se puede subcatalogar en dos tipos: los de resistencia y los de servicio. (PALTA ALLAUCA and Luis José, 2010, P. 30-31)

El primero se basa en la seguridad o capacidad de carga de las estructuras e incluye las resistencias plásticas, de pandeo, de fractura, de fatiga, de volteo, etc. Mientras que los estados límite de servicio se refieren al comportamiento de las estructuras bajo cargas normales de servicio, mismas que tienen que ver con el uso y la ocupación como deflexiones excesivas, deslizamientos, vibraciones y agrietamientos. (PALTA ALLAUCA and Luis José, 2010, P. 30-31)

Todas las estructuras han de cumplir varios requisitos, en el caso de los puentes necesidades tales como los estados límite de servicio bajo los efectos variables de las cargas vehiculares,

peatones, bicicletas y agentes atmosféricos. Las vibraciones ni los ruidos originados por ellas, no deben producir intranquilidad en los individuos que transitan la estructura, ya sea en automotores o peatones.

En puentes transitables tales situaciones se practican de forma general cuando la máxima aceleración vertical que puede producirse, en cualquier zona o elemento transitable por peatones, no supere el valor $0,5 f_0$, en $[m/seg^2]$, siendo f_0 la frecuencia del primer modo de vibración vertical, considerando únicamente las cargas permanentes, expresada en hertzios.

2.3.3.2 *Control de inclinación*

Acelerómetro es un elemento electromecánico, tiene como objetivo descubrir las fuerzas de aceleración en su entorno, ya sean dinámicas (vibración y movimiento) o estáticas (gravedad). Al contener en su interior placas capacitivas, si estas se mueven en relación el uno al otro, cambiara su capacitancia lo que permite comprobar la aceleración.

Se ha elegido el acelerómetro ADXL335, debido a que su aplicación principal es la detección de inclinación. Este elemento proporciona información de cómo se orienta con respecto a la superficie de la Tierra, esto se debe a que la aceleración de la gravedad lo afecta.

Características:

- **Interfaz de comunicación:** análoga
- **Potencia:** baja
- **Alcance:** $\pm 3g$
- **Ejes:** 3
- **Alimentación:** 1,8 – 3,6 [V]

CAPITULO III

3. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)

3.1 Diseño esquemático de la Red WSN

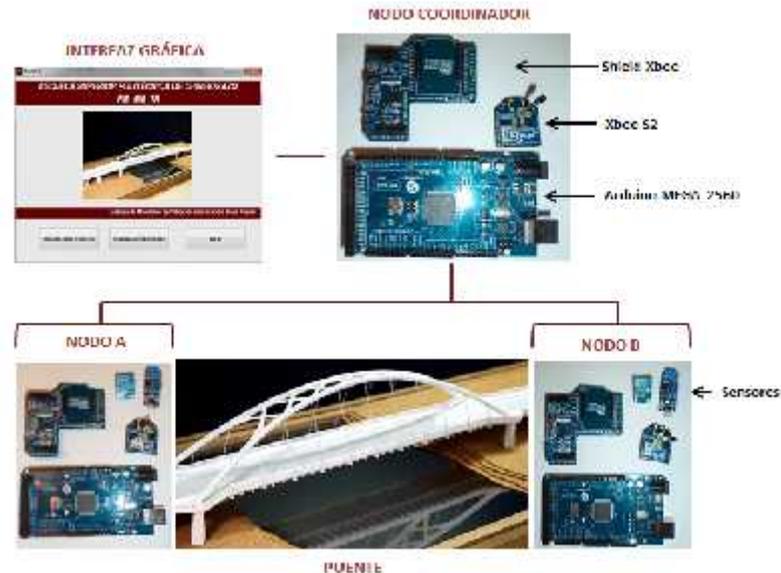


Figura 1-3 Diseño esquemático de la estructura de la Red WSN
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.2 Simulación de la Red de sensores inalámbricos: Network Simulator 2

NS-2 tiene la capacidad de simular redes de datos cableados como también puede simular redes inalámbricas, con una gran disposición y utilización de parámetros muy importantes que ayudan a la generación y manejo de variables dentro de una simulación. Es así que este programa permite configurar los elementos necesarios con los que se puede modificar e implementar una simulación de red de datos tanto cableada como inalámbrica. Adicionalmente provee una gran variedad de carpetas en las que se incluyen muchos de los protocolos más utilizados para los distintos tipos de redes, lo que lo hace una herramienta muy útil. (CRUZ ALBA and David Jorge, 2009, P. 80, 114-115)

Network Simulator 2 es un programa que corre bajo la plataforma de Linux, de esta forma, para su operación bajo Windows, requiere de software adicional que permita simular el entorno de Linux bajo Windows. La herramienta encargada para hacer esto es Cygwin, una vez que se logre instalar este programa, ya se puede instalar el NS-2 para su posterior utilización. (CRUZ ALBA and David Jorge, 2009, P. 80, 114-115)

Se creó un escenario, compuesto por tres nodos: Gateway (nodo 1), nodos sensoriales (0,2); la comunicación es de varios a uno, ya que cada nodo envía los datos recibidos a través de la comunicación nodo – gateway.

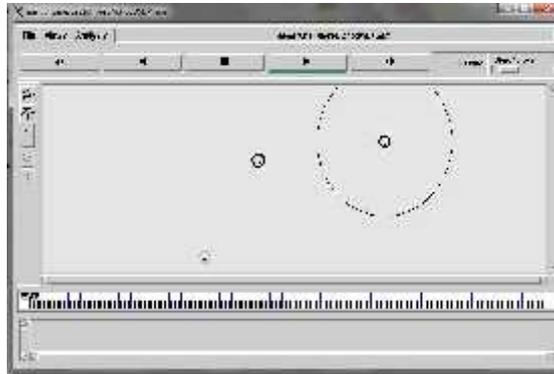


Figura 2-3 Inicio de la conexión (Red WSN – NS2)

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Para la simulación en NS2 se realizaron los siguientes pasos:

1. Diseño simulación

- Especificación de las características del enlace inalámbrico tales como: canal, tecnología, tipos de antenas entre otros.
- Es necesario determinar el número de nodos, para su posterior configuración.
- Definir el tipo de conexión y los nodos entre los cuales se realizará esta comunicación, especificando el tráfico que existirá entre ellos.

2. Configuración y Ejecución de la Simulación: es la implementación de la etapa de diseño.

- Guardar el archivo el directorio Home, desde donde se depurará con la ayuda del software Cygwin.
- Se crea un archivo de salida con extensión .nam con los resultados que evaluarán el correcto funcionamiento de la red.
- Al ejecutar el archivo se visualizará la comunicación entre los nodos antes programados.

3. Proceso Postsimulación: Consiente en comprobar la integridad de la red.

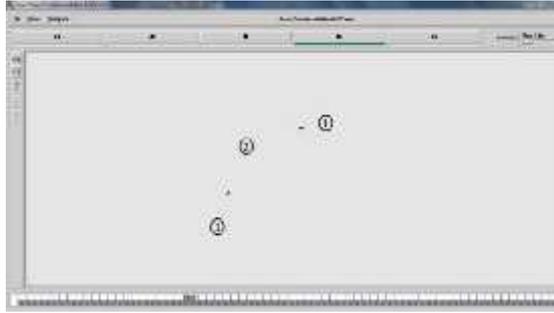


Figura 3-3 Conexión establecida, envío de paquetes (Red WSN – NS2)

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.3 Diseño Electrónico: Fritzing

Fritzing, un software libre que permite la creación de Diseños Electrónicos a partir del uso de protoboard como unidad básica de montaje. De esta forma se obtiene una mejor visión del diseño que se busca implementar antes de pasar a la etapa de diseño de placa electrónica o PCB. (Cañete Lucio et al., 2012, P. 72)

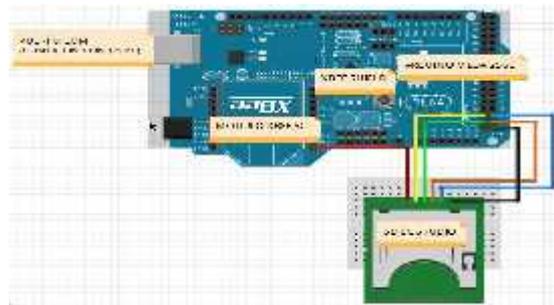


Figura 4-3 Diseño electrónico (Nodo Coordinador)

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Se demuestra el acoplamiento del hardware de cada tipo de nodo (coordinador y sensorial) antes descrito en forma conceptual. El esquema es algo semejante a la realidad, obteniendo así una mejor perspectiva del diseño que se desea implementar.

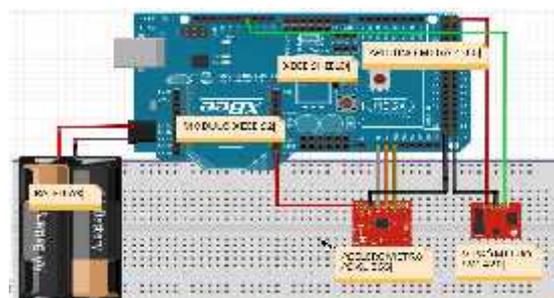


Figura 5-3 Diseño electrónico (Nodo Sensorial)

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.4 Construcción de los nodos de la Red WSN

3.4.1 *Nodo Sensorial*

La formación del elemento sensorial se basa en la tarjeta Arduino Mega 2560, a la cual se inserta un Shield XBee con sócalo factible al Radio de Comunicaciones XBee S2, se conectan además los sensores ADXL335 (Sensor de inclinación) y el módulo 420-sw (Sensor de vibración). Su alimentación se realiza por medio de una batería de iones de litio.

Los componentes del nodo sensorial se listan de la siguiente manera:

Tabla 1-3: Componentes del nodo sensor

CANTIDAD	ITEM
1	PCB Arduino MEGA 2560
1	Shield XBee
1	XBee Serie 2
1	Sensor acelerómetro ADXL335
1	Sensor vibrómetro módulo 420-sw
1	Batería de Iones de litio de 9V
1	Protoboard
8	Cables de conexión

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 6-3 XBee S2 y Shield XBee compatible con Arduino MEGA 2560

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Aprovechando las características que posee el Shield XBee, como el socket compatible al XBee Serie 2, el regulador de voltaje de 3.3. V y los pines necesarios para su funcionamiento sobre la placa PBC Arduino, fue óptima su adquisición para el montaje de la Red WSN.



Figura 7-3 Sensores a) ADXL 335 b) Módulo 420 sw

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Al colocar el Shield XBee sobre la placa Arduino MEGA, quedaron bloqueados los pines de alimentación para el acelerómetro ADXL335, este inconveniente se solucionó soldando dos pines en el Shield, de donde se proporcionan los 3.3 V necesarios para el correcto funcionamiento de sensor de inclinación, como se muestra en la Figura 8-3.

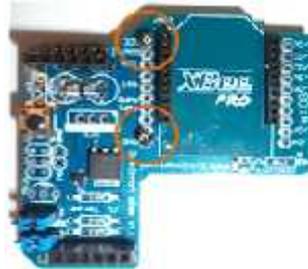


Figura 8-3 Pines soldados al Shield XBee.
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.4.2 *Nodo Coordinador*

Es el dispositivo que crea la red ZigBee a la que se unirán los nodos sensoriales, formando así la Red Mesh, además recibe los datos recolectados por los nodos, los acondiciona y reenvía a través del puerto serial para que se procesen y analicen mediante la interfaz del prototipo, facilitando la toma de decisiones ya sean preventivas o correctivas hacia la estructura monitorizada.

Tabla 2-3: Componentes del nodo coordinador

CANTIDAD	ITEM
1	PCB Arduino MEGA 2560
1	Shield XBee
1	XBee Serie 2
1	Módulo lector de memoria SD
1	Tarjeta SD
1	Cable de conexión

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Para el respectivo almacenamiento y lectura de la información que se recibe, se adaptó al estándar general de los nodos: placa Arduino, Shield XBee y XBee S2; un módulo lector de memoria SD y una tarjeta SD, esto permitirá contar con los datos detectados por los sensores para su tabulación y graficación.



Figura 9-3 Módulo lector de tarjetas SD para conectar con Arduino, de la marca LC Studio
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 10-3 Nodo Coordinador

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.5 Configuración de la Red Mesh ZigBee

La construcción física y la configuración de los equipos se realizaron de manera simultánea. Se iniciando con la configuración de los XBee Serie 2 que proporcionan la comunicación inalámbrica a la red local la cual opera en el protocolo IEEE 801.15.4, los módulos XBee Serie 2 y XBee Pro son los únicos que permite un configuración de red de tipo Mesh. Fue necesaria la utilización del software X-CTU (Digi International), en el cual se configuro las características lógicas y el Firmware para cada nodo.

3.5.1 Programación del XBee S2

Se accede a los módulos XBee S2 a través del XBee Explorer, es necesario realizar dos configuraciones diferentes, una para los Nodos Sensoriales denominados ROUTER A y ROUTER B, y otra para el Nodo Coordinador definido como COORDINADOR C, quien recibirá y enviará los datos al ordenador por medio de su puerto serial.



Figura 11-3 Acceso al XBee S2 a través del XBee Explorer

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

En la parte de atrás del XBee S2 se encuentra la dirección de 16 bit, compuesta por dos secciones: la sección alta es igual para todos (0013A200) y la baja es aquella que identificará cada elemento de comunicación inalámbrica.

Tabla 3-3: Modelo, nombre y dirección de cada XBee S2

Modelo	Nombre	Dirección
XB-24Z	CORDINADOR C	0013A200 40D4F095
XB-24Z	ROUTER A	0013A200 40D4F0AB
XB-24Z	ROUTER B	0013A200 40D4F08B

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Se debe configurar cada nodo con la misma dirección de red (PAN ID) que es un número hexadecimal que puede estar entre 0 y 0XFFF permitiendo de esta manera tener 65536 redes diferente, este valor permite identificar el área a la que pertenecen los routers y dispositivos finales, además de esta dirección el nodo coordinador asignará a todos los elementos que se agreguen en la red un identificador único automáticamente.

Tabla 4-3: Configuración planificada para la Red Mesh

Nombre	Dirección	PAN-ID	DH	DL	Topología
CORDINADOR C	0013A200 40D4F095	2600			Mesh
ROUTER A	0013A200 40D4F0AB	2600	0013A200	40D4F095	Mesh
ROUTER B	0013A200 40D4F08B	2600	0013A200	40D4F095	Mesh

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 12-3 Selección del Firmware – X-CTU Nodo C y Nodo A

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.6 Configuración de los nodos de la Red WSN

3.6.1 *Nodo Sensorial*

Se realizó el análisis de los sensores, en base a sus conexiones electrónicas, alimentación y control, todo desde el Arduino MEGA 2560, a través del microcontrolador que este posee, proporcionará las instrucciones que permitan: procesar, almacenar y transmitir los datos recolectados por los sensores por medio del radio de comunicaciones inalámbricas XBee S2.

Los datos recolectados por el acelerómetro y el vibrómetro se almacenan en variables "x, y, z, v" definidas para cada nodo en el programa, viajan por medio del protocolo ZigBee, se lee y se

imprimen utilizando el puerto serial del Nodo Coordinador, de manera que se visualizan en la interfaz gráfica de MatLab en el ordenador.



Figura 13-3 Jumper del Shield XBee, configuración para que el Arduino MEGA y el XBee utilicen el mismo puerto

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Las líneas de código que controlarán los nodos sensoriales se escribieron y grabaron en el microcontrolador ATmega2560 del Arduino MEGA. Se indica de forma primordial: las librerías de comunicación, se inicia el puerto serial, se proveen direcciones para la información recolectada, se almacenan los datos en variables temporales, se envían al puerto serial para compartirlo al nodo coordinador por medio del XBee S2.

3.6.1.1 Estructura de la información

Para evitar complejidad en el análisis de los datos recolectados por cada Nodo Sensorial, se organizó la manera de presentación de los mismos, sus ejes y variaciones de posición. Los datos en los Nodos sensores se imprimen de la siguiente manera a través del puerto serial:

a1,20b1,22c1,43d1,7141

X2,4Y2,11Z2,20V2,7050

Lo cual refleja la información de ambos nodos, los valores de aceleración en sus tres ejes y el de vibración, facilitando el procesamiento de la información en la interfaz gráfica.

Tabla 5-3: Detalle de las mediciones de los nodos enviados por el XBee S2

NODO A	NODO B	ESPECIFICACIÓN
a1	X2	Eje 'x' del acelerómetro
20	4	Dato del eje 'x'
b1	Y2	Eje 'y' del acelerómetro
22	11	Dato del eje 'y'
c1	Z2	Eje 'z' del acelerómetro
43	20	Dato del eje 'z'
d1	V2	Eje 'v' del vibrómetro
7141	7050	Dato del vibrómetro

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Recurriendo a un software de fácil manejo como lo es el X-CTU se lee el puerto COM correspondiente a cada Arduino MEGA (ROUTER A=10; ROUTER B=12), con el fin de observar la forma en que se envían los datos desde el Nodo Sensorial.

Sistemáticamente se realizaron los siguientes pasos en el X-CTU:

1. Se abre X-CTU
2. Se selecciona el puerto COM correspondiente al Arduino
3. Se realiza un Test para comprobar el funcionamiento del puerto COM y del XBee S2.
4. Se visualizan los datos en el Terminal.

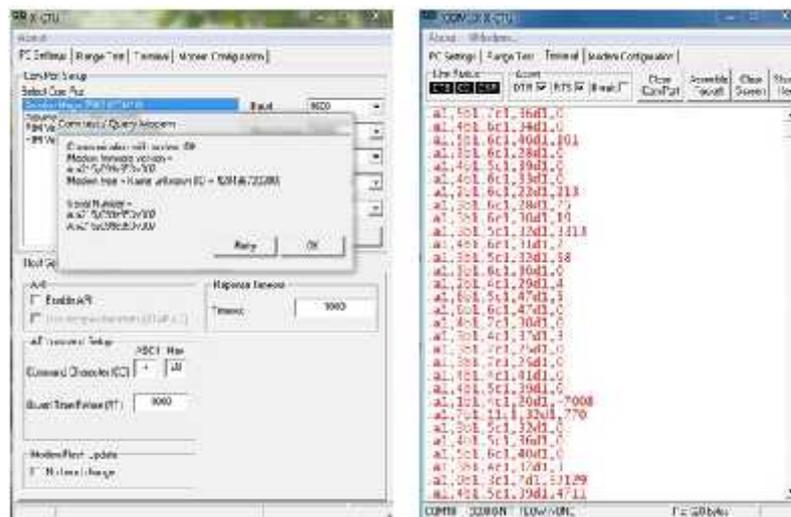


Figura 14-3 Selección y verificación del COM10 y lectura del Nodo A
 Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.6.2 *Nodo Coordinador*

Al igual que los nodos sensoriales recibe, procesa y envía la información a través de un puerto en serie. Los datos son recibidos a través del módulo XBee Serie 2, se almacenan creando una memoria temporal, se debe identificar cada dato que se recibe tanto por el nodo que lo envía y la información que trae (inclinación de los ejes y vibración).

Filtrada la información, esta se guarda en variables que serán retransmitidas a través del puerto serial para su posterior procesamiento y graficación, que permitirán la toma de decisiones adecuadas para la ejecución de acciones preventivas y/o correctivas.

El Nodo coordinador recolecta los datos por medio del XBee S2 de la siguiente forma:



Figura 15-3 Lectura de los datos recibidos por los Nodos Sensoriales.

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Lo cual representa la información de ambos Nodos Sensoriales, los valores de aceleración en sus tres ejes y el de vibración.

Tabla 6-3: Detalle de las mediciones de ambos Nodos Sensoriales

X1	X2	Eje 'x' del acelerómetro
222	268	Dato del eje 'x'
Y1	Y2	Eje 'y' del acelerómetro
107	87	Dato del eje 'y'
Z1	Z2	Eje 'z' del acelerómetro
343	331	Dato del eje 'z'
V1	V1	Eje 'v' del vibrómetro
124	7	Dato del vibrómetro
C	C	Contador de elementos recibidos

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.7 Diseño de la Interfaz Gráfica en MATLAB

MATLAB constituye un entorno de programación para el desarrollo de múltiples aplicaciones como procesamiento de señales e imágenes, visualización y cálculo numérico. Por esta y muchas más razones se eligió este software para el procesamiento de datos recolectados por medio de la Red WSN en tiempo real a través de los puertos disponibles del ordenador.

De forma básica la interfaz realizada en este software, lee el puerto serial del Nodo Coordinador, almacenando en variables la información filtrada, para luego procesar y graficar cada dato de los Nodos Sensoriales.



Figura 16-3 Ventana de Bienvenida a la Interfaz.
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Se presentan tres interfaces para que el usuario final acceda a los datos de manera fácil, la ventana principal o de bienvenida (WSNARD), enlaza por medio de botones a las ventanas restantes (Recolección de datos y Comunicación de los Nodos), además posee un botón salir, que permite cerrar la aplicación.

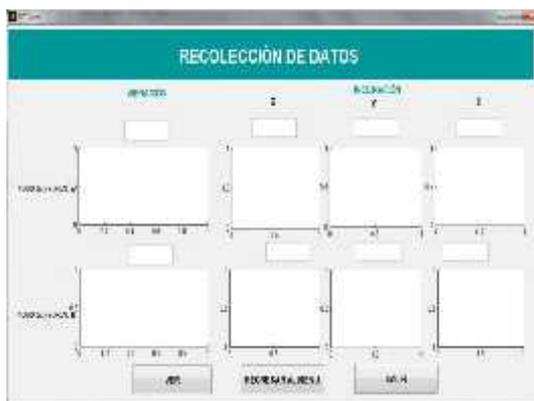


Figura 17-3 Ventana de Graficación de los datos recolectados.
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 18-3 Ventana de Información de los Nodos Sensoriales.
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

La segunda interfaz denominada RECOLECCIÓN DE DATOS, permite la visualización de los datos recolectados por los sensores de vibración e inclinación (Módulo 420-sw y ADXL335), de cada Nodo Sensorial (Nodo Ay B) a través del botón VER, también se puede regresar al menú o salir de la aplicación por medio de los botones restantes. La ventana COMUNICACIÓN DE NODOS presenta mensajes sobre el comportamiento de los Nodos y el funcionamiento de los sensores en cada uno de ellos.

3.8 Pruebas de Laboratorio

Fueron realizadas bajo techo, cada nodo se alimentó de forma eléctrica; se colocaron los Nodos Sensoriales a una distancia menor a 10 metros del Nodo Coordinador. Utilizando los software´s: IDE Arduino, X-CTU y MatLab se visualizaron los datos que llegan al Gateway de la Red WSN.



Figura 19-3 Nodo Coordinador.

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

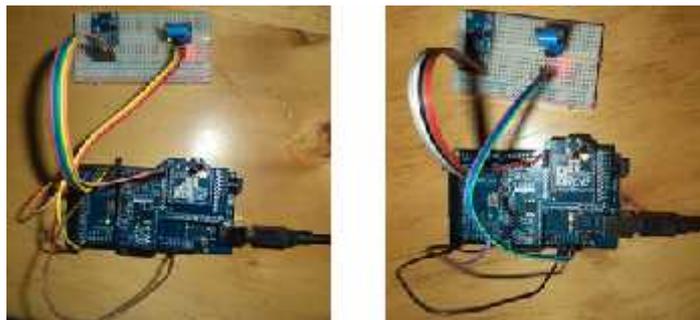


Figura 20-3 Nodos Sensoriales (Nodo A - B).

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

El proceso fue el siguiente:

1. Se conecta el Nodo Coordinador mediante el Explorer al puerto USB del ordenador se asignó automáticamente el COM9 como identificador de este nodo.
2. Se energizan los Nodos Sensoriales, definidos como NODO A y NODO B, notándose el encendido de los diodos LEDs, lo cual refleja que la asociación está bien.
3. Usando los software´s IDE Arduino y MatLab se visualizan los datos recibidos por el Nodo Coordinador, cada uno filtrado para su adecuado análisis.

NOTA: Se debe ejecutar un software a la vez para evitar inconvenientes con el uso del puerto que hace referencia al Nodo Coordinador (COM9).

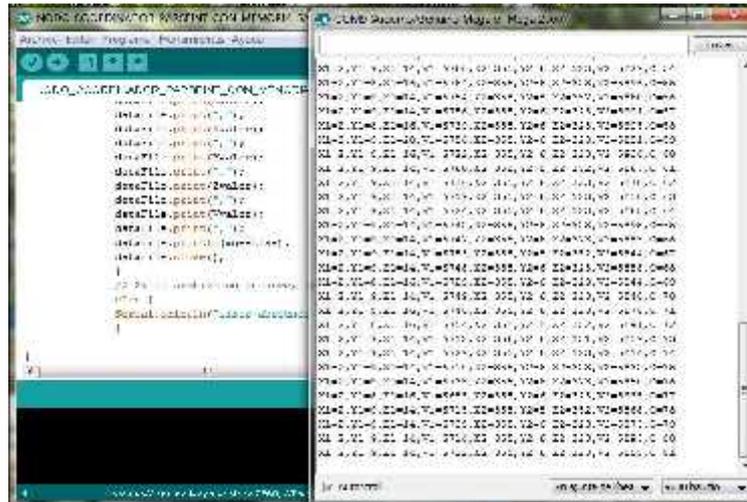


Figura 21-3 Visualización de los datos del Nodo Coordinador IDE Arduino
 Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

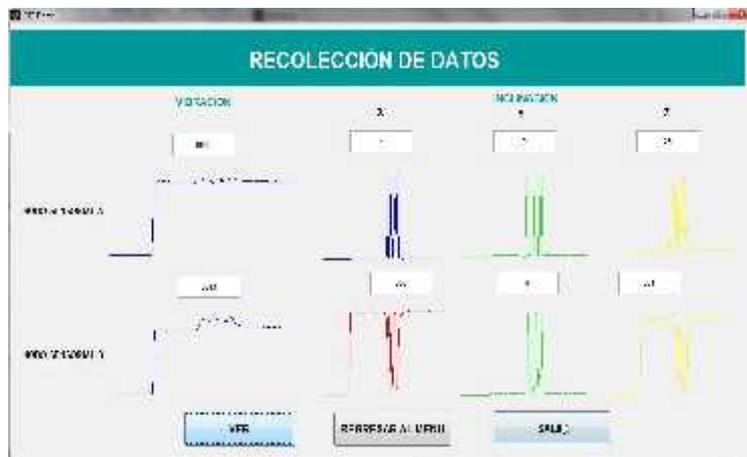


Figura 22-3 Gráficas de los datos recolectados (MATLAB)
 Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.9 Pruebas de Campo

La verificación del correcto funcionamiento en exteriores se realizó en el puente de los cantones Chambo y Penipe correspondientes a la provincia de Chimborazo. Se cumplieron con los requerimientos de conocer la distancia máxima de transmisión inalámbrica de los XBee S2 y el control de la actividad de la red WSN frente al tránsito vehicular en los mencionados lugares.

3.9.1 Distancia máxima en línea de vista

La medición del alcance máximo de transmisión en línea de vista es primordial en la etapa de este proyecto, cabe destacar que para la ejecución de las pruebas se crearon unos contenedores de cartón y plástico, lo que permitió proteger los nodos sensoriales de los cambios climáticos presentados en aquellos días, considerando también la atenuación producida por el encapsulado.

Se realizaron los siguientes pasos:

1. Se accedió a los lugares antes mencionados.
2. Se energizaron los nodos (Coordinador y Sensoriales) y se verificó la recepción de datos a través del IDE Arduino y la interfaz creada en MatLab.
3. Utilizando una cinta métrica, se alejaron de forma pausada los nodos sensoriales, sin interrumpir la línea de vista, obteniendo así los comportamientos (falla y pérdida total) de acuerdo a la recepción de datos por parte del nodo coordinador.



Figura 23-3 Pruebas de distancia(Alcance máximo)-Chambo
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 24-3 Recepción de datos(Línea de vista)-Chambo
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Tabla 7-3: Resultados de las pruebas de campo (Alcance máximo)

Línea de vista	Metros
Falla de recepción de datos	70
Pérdida total de recepción de datos	75

Realizado por: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 25-3 Pruebas de distancia(Alcance máximo)-Penipe
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 26-3 Recepción de datos(Línea de vista)-Penipe
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

3.9.2 *Recepción de datos*

Para la comprobación de la recepción de datos y la comunicación adecuada entre los nodos que componen la red mediante el radio de comunicación inalámbrica XBee S2, se utilizó la interfaz en MatLab antes indicada.

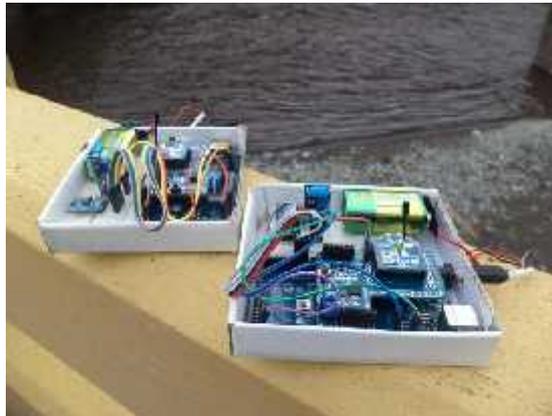


Figura 27-3 Nodo sensoriales, parte del encapsulado y funcionando para prueba de campo.

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Se ubicaron los nodos sensoriales en lugares estratégicos del puente, uno en la vía Riobamba – Chambo, el otro en sentido contrario (de la misma forma se realizó en Penipe), tomando en cuenta la distancia en la que no surgían inconvenientes con el alcance máximo para la transmisión de la información.



Figura 28-3 Ubicación de los nodos sensoriales – Chambo

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

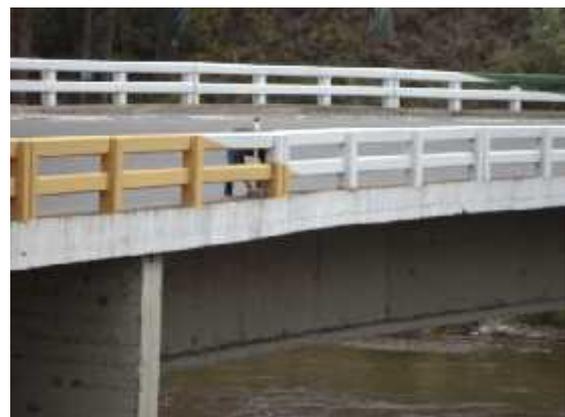


Figura 29-3 Ubicación de los nodos sensoriales - Penipe

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Al estar estacionados los nodos tanto el Coordinador como los Sensoriales, se verificó la recepción de los datos en el puerto de comunicaciones del computador a través del IDE de Arduino.

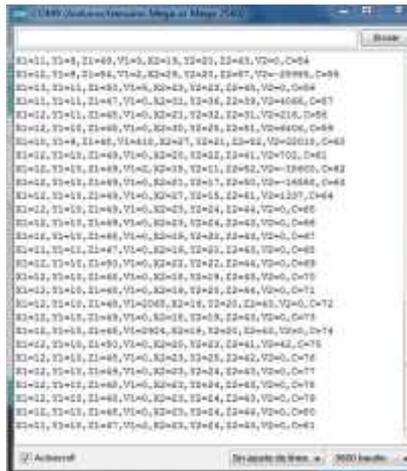


Figura 30-3 Recepción de datos - Chambo (Nodo coordinador)
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 31-3 Tráfico vehicular - Chambo
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 32-3 Tráfico vehicular – Penipe
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Los datos recolectados en las diferentes momentos que duró la prueba de campo se visualizan en tiempo real por medio de una de las ventanas que forman la interfaz creada en MatLab, en donde se especifica el valor de cada sensor como el nodo sensorial al que corresponde.



Figura 33-3 Visualización de los datos recolectados - Chambo
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 34-3 Visualización de los datos recolectados - Penipe
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Al ejecutar la ventana de comunicación de nodos, se comprobó el correcto funcionamiento de la red WSN hasta el momento. Los cuatro sensores que proporcionaban información sobre el movimiento del puente estaban en perfectas condiciones, corroborando así las demás características de esta ventana.



Figura 35-3 Visualización de los datos recolectados - Chambo
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 36-3 Visualización de los datos recolectados - Penipe
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Existiendo la opción de desactivación de los sensores de vibración e inclinación, ya sea por daño o desunión de los mismos, se procedió a simular estos estados por medio de la desconexión de uno de ellos en cada nodo, teniendo como consecuencia el cambio de mensaje en la interfaz de Comunicación de nodos.



Figura 37-3 Desconexión de sensor vibración - Nodo B
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016



Figura 38-3 MatLab Desconexión de sensores (aceleración – Nodo A, vibración - Nodo B)
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Los datos obtenidos en ambas pruebas de campo se almacenaron uno a uno en un archivo .txt, se determinó un intervalo de recepción de información igual a cinco minutos, cada segundo se ingresaba un valor de inclinación y vibración de cada nodo sensorial (A-B), obteniendo así 3600 datos por hora.

3.10 Presentación de resultados

Los datos almacenados en la Tarjeta SD, fueron manipulados de tal forma que sea mejor el acceso hacia ellos desde R. Este es un software libre destinado a la computación y graficación estadística, su compilación y ejecución se puede realizar desde varias plataformas, tales como: Windows, MacOS y Linux.

Como solo se tienen los datos detectados por el prototipo presentado, no se pudo utilizar un modelo estadístico como: chi, chi cuadrado, entre otros; ya que estos necesitan de otros valores probados en el mercado para realizar una representación formal de un sistema real, con el fin de mostrar la fiabilidad de la Red WSN construida.

La recolección de datos se realizó durante una hora, en intervalos de diez minutos, de los cuales cinco minutos son de recolección de información y los otros cinco tiempos sin censar. Los resultados se procesaron, de tal manera que se obtuvo una gráfica de interpolación que demuestra que el funcionamiento del dispositivo cumple el objetivo para el cual fue diseñado.

En la mayoría de las gráficas se puede observar la presencia de valores atípicos, es decir aquellos que numéricamente se encuentran distantes del resto de los datos receptados por ambos sensores (vibrómetro y acelerómetro).

Se realizó el análisis de las gráficas por lugar (Chambo y Penipe), agrupando ambos nodos sensoriales (A y B) por las horas definidas para la observación del comportamiento del sistema de monitoreo, que fueron desde las 6:30 – 7:30 am y 10:30 – 11:30 am.

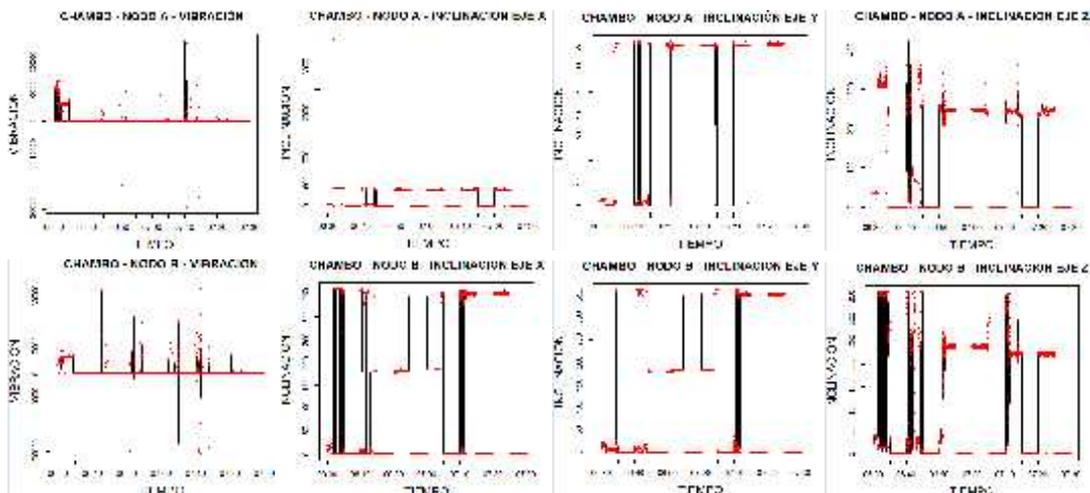


Figura 39-3 Graficación en R – Nodo A y Nodo B (Chambo 6h30-7h30)

Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

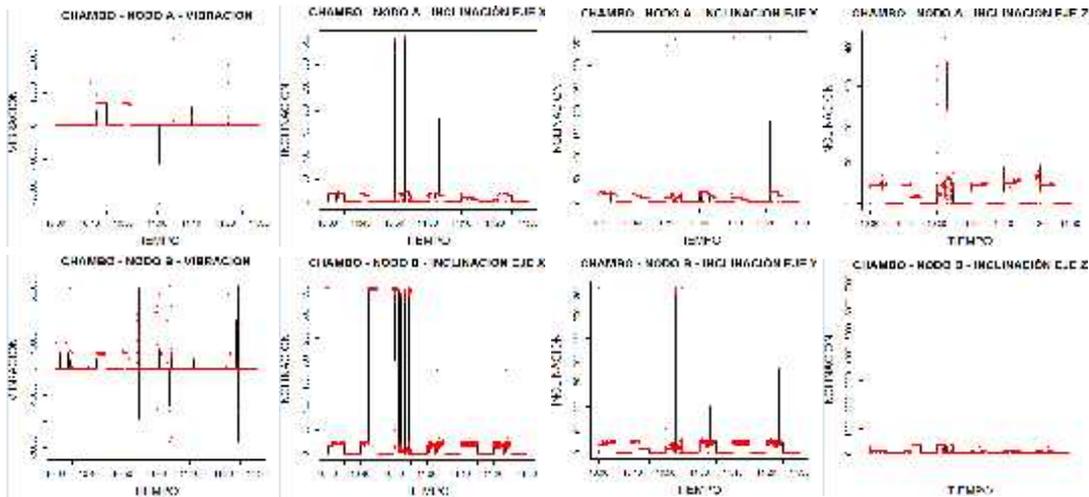


Figura 40-3 Graficación en R – Nodo A y Nodo B (Chambo 10h30-11h30)
 Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Interpretación: En la gráfica de vibración se observa que en gran parte del tiempo se encuentra con valores igual a cero, esto se debe a que no todo el tráfico genera una vibración sobre el puente, los puntos más altos representan una vibración causada por un tráfico pesado producido por camiones, buses, volquetas y tráileres.

En las gráficas de inclinación se visualiza que en la mayoría del tiempo, los valores se mantienen constantes, ya que el puente no se inclina sobre ninguno de los tres ejes en forma desproporcionada; en el caso de los valores atípicos, estos se generan por el cambio de sentido de la inclinación. Los datos detectados ascienden cuando se mueve a la izquierda y descienden cuando cambian de sentido, en el momento de bajar a cero al ser ángulos empiezan a tomar valores de 360 hacia abajo.

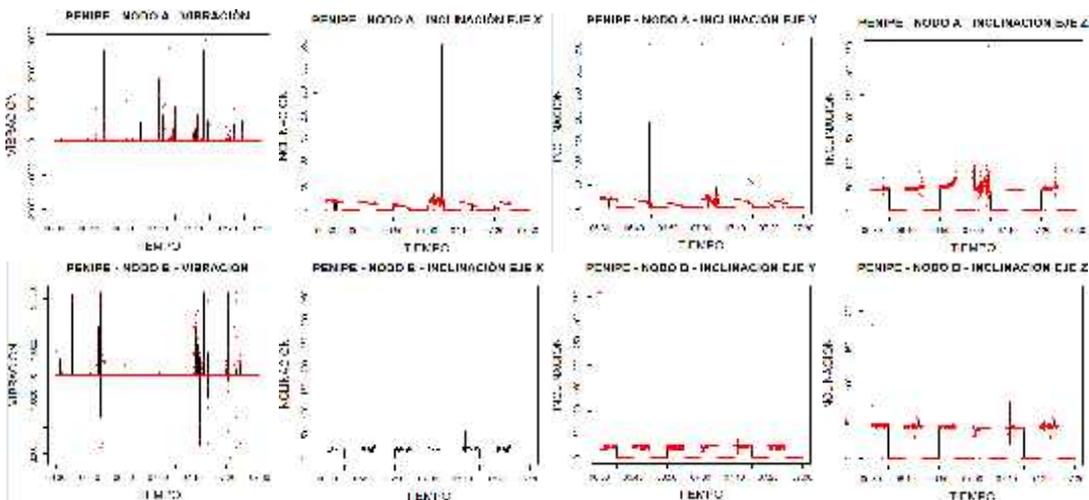


Figura 41-3 Graficación en R – Nodo A y Nodo B (Penipe 6h30-7h30)
 Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

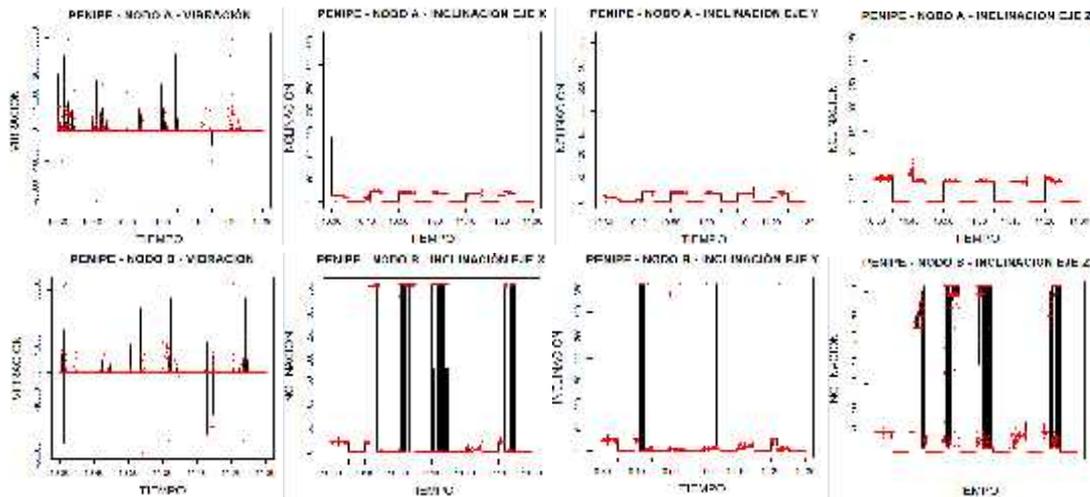


Figura 42-3 Graficación en R – Nodo A y Nodo B (Penipe 10h30-11h30)
Fuente: CARRANZA Geomayra y SALGADO Cristian, 2016

Interpretación: En el cantón Penipe se puede notar un aumento en los puntos de las gráficas de la vibración en las horas pico y en las horas no pico, debido a que existe mayor flujo de tránsito vehicular en los dos sentidos de la vía, los valores negativos detectados por el vibrómetro son generados por el cambio de sentido brusco de la vibración, debido a que el sensor se encuentra colocado en una posición vertical.

En las gráficas de la inclinación se puede observar que los cambios no son violentos y se mantienen invariables, los valores atípicos son causados por las mismas razones que las gráficas anteriores, se puede observar a simple vista que datos detectados en este lugar son constantes durante los dos horarios de análisis por lo que podemos concluir que el tráfico de vehículos es mayor que el flujo vehicular de Chambo durante todo el día.

Cabe recalcar que en las dos zonas de observación, el nodo A fue colocado a la entrada de los cantones es decir vía Riobamba – Chambo y Riobamba – Penipe, el nodo sensorial B en sentido contrario; siempre tomando en cuenta la distancia máxima de alcance al nodo coordinador.

CONCLUSIONES

- Las redes que operan con el protocolo IEEE 802.15.4 ZigBee son una alternativa eficaz y efectiva para la monitorización de variables físicas.
- Las redes Locales IEEE 802.15.4 tienen la característica de autoconfigurarse, la red colapsara si y solo si el nodo coordinador dejara de funcionar.
- Para el desarrollo del software en el entorno Arduino, tener muy en cuenta utilizar las librerías adecuadas necesarias y pertinentes para el manejo de los distintos dispositivos electrónicos.
- La tecnología actual de hardware y software libre son una alternativa de bajo costo para el desarrollo de componentes de una red inalámbrica local XBee.
- Las redes ZigBee, proveen escalabilidad en el aumento de un mayor número de nodos sensoriales, se pueden agregar sensores de diferentes características en un mismo nodo, permitiendo así la monitorización de un mayor número de variables físicas, como el monitoreo de tráfico, de procesos industriales, domótica, internet de la cosas, entre otros.
- No existe una entidad en el territorio nacional, que monitoree los puentes construidos en las diferentes provincias del Ecuador, por lo que el prototipo presentado es una alternativa para su aplicación a través de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo u otra entidad afín.

RECOMENDACIONES

- Para una mejor monitorización, aumentar nodos sensoriales, la cantidad de los mismos dependerá de la longitud y forma del puente en observación.
- Para aumentar el área de cobertura de la monitorización, se podría utilizar alternativas tecnológicas como WiFi, GSM u otras, tanto en el nodo coordinador como en las motas, ya que al utilizar ZigBee el interfaz de usuario, no debe estar más allá de los 70m prácticos.
- Se sugiere para futuros trabajos afines, configurar un servidor Web el cual permitiría el acceso a la información obtenida por los sensores, desde cualquier parte del mundo, creando así una malla de emergencia que monitoree no solo puentes, sino edificios, ríos, entre otros.
- Dado el potencial de este tipo de proyecto se sugiere desarrollar aplicaciones para monitorizar el desgaste y corrosión de la estructura, el nivel de contaminación que produce el tráfico vehicular, y/o balanceo del puente.
- El área de aplicaciones de las redes WSN son amplias y tienen un futuro promisorio que podrían dar origen a la conformación de equipos de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

AAKVAAG, N. AND J.-E. FREY. "Redes de sensores inalámbricos". *Revista ABB*, N° 2, (2006), España, pp.39.

ACUNSO, A. AND T. ROBERT. *Análisis de las vulnerabilidades de la tecnología bluetooth referente a la seguridad*. Sangolquí - Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Electrica y Electrónica, 2009, pp. 6.

ÁLVAREZ HOYOS, J. A. *Estudio de Aplicación Informática y su incidencia en el proceso de Cálculo en el Diseño de Puentes sobre Vigas en el Consejo Provincial de Pastaza*. Ambato - Ecuador, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, 2012, pp. 17, 28.

AMÉZQUITA SÁNCHEZ, J. P. *Monitoreo de vibraciones en tiempo real para detectar daños en estructuras*. Mexico, Universidad Autónoma de Querétaro, Doctorado, 2014, pp. 23.

APIDI RODAS, M. D. AND H. J. FERNÁNDEZ GARCÍA. *Diseño y construcción de un sistema bluetooth para adaptar equipos alámbricos a una configuración inalámbrica*. Quito - Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, 2008, pp. 21.

ARENY, R. P. *Sensores y acondicionadores de señal*. Barcelona - España: Marcombo, 2004. pp.6.

ARIAS PILAQUINGA, D. B. AND D. F. MUELA VACA. *Estudio comparativo entre las tecnologías bluetooth y wi-fi en ambientes de corto alcance a través de la implementación de dos prototipos y de su simulación*. Quito - Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica 2007, pp. 53.

ARTERO, Ó. T. *Arduino: curso práctico de formación*. Madrid - España: RC Libros, 2013. pp.63-65.

AYALA SALCEDO, F. G. AND E. F. GUDIÑO AUZ. *Métodos de análisis sísmico de puentes simplemente apoyados*. Sangolquí - Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército 2012, pp. 41, 59, 70.

BENÍTEZ, J. D. D., G. M. GLOZA, E. O. SOSA AND D. A. GODOY. "Conectividad WSN: implementación de un middleware WSN-IP-WWW". In *XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. 2013, p. 2.

BERTOLÍN, J. A. "Identificación, análisis y evaluación de la seguridad en las comunicaciones con tecnología ZigBee". *Revista española de electrónica*, 638, (2011), España, pp.22-23.

BLACK, U. D. *Redes de transmisión de datos y proceso distribuido*. Madrid - España: Ediciones Díaz de Santos, 1987. pp.13-37.

CAÑETE, L., C. ÁLVAREZ, A. F. SOTO AND P. OLAVARRIETA *Dispositivo portátil para la inspección de balizas activas en ambiente ferroviario metropolitano* 2012, pp.72.

CAPRILE, S. R. *Equisbí: Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y 802.15. 4.* Buenos Aires - Argentina: Gran Aldea Editores, 2009. pp.77.

CARPIO MIRANDA, M. E., T. A. CÁRDENAS SANCHEZ AND P. X. CHAVEZ BURBANO. *Desarrollo e implementación de un sistema de seguridad y confort para hogares monitoreado y administrado a través de una aplicación web.* Guayaquil - Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación 2014, pp. 6.

CASILARI PÉREZ, E. AND A. DÍ AZ ESTRELLA. *Estudio del rendimiento de perfiles bluetooth en Redes de Área Personal.* Malaga España, Universidad de Málaga, Departamento de Tecnología Electrónica, 2008, pp. 25.

CASTELLANO, A. R. *Bluetooth. Introducción a su Funcionamiento* 2011-2012, pp.6.

CASTRO, T. AND J. MANUEL. *Diseño de módulos ZigBee de bajo coste.* Barcelona - España, Universidad Politécnica de Cataluña, 2006, pp. 10.

CELA ROSERO, A. F. *Teleoperación inalámbrica de robot humanoide mediante traje con sensores de tipo resistivo lineal.* Madrid - España, Universidad de Alcalá, Ingeniería Eléctrica, Electrónica e Informática 2012, pp. 18.

COBOS HERNÁNDEZ, E. J. *Estudio de las redes sensoriales como una nueva alternativa de comunicación inalámbrica.* Sangolqui - Ecuador Escuela Politécnica del Ejercito Departamento de Eléctrica y Electrónica, 2007, pp. 38.

COBOS HERNÁNDEZ, E. J. *Estudio de las redes sensoriales como una nueva alternativa de comunicación inalámbrica.* Sangolqui - Ecuador Escuela Politécnica del Ejercito Departamento de Eléctrica y Electrónica, 2007, pp. 37.

CRUZ, A. AND J. DAVID. *Estudio y simulación de una red AD-HOC vehicular VANET.* Sangolqui - Ecuador Escuela Politécnica del Ejercito Departamento de Eléctrica y Electrónica, 2009, pp. 80, 114-115.

CUJI COQUE, D. E. AND D. X. PAZMIÑO MORENO. *Diseño e implementación de una red WSN (Wireless Sensor Network) basado en los protocolos Zigbee, Wifi y Zigbee Mesh, para el monitoreo de variables climáticas en el invernadero ubicado en el barrio Rumipamba del Navas, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi.* Sangolqui - Ecuador Escuela Politécnica del Ejercito Extensión Latacunga, Ingeniería en Electrónica e Instrumentación., 2015, pp. 48.

CHICANGO, M. AND H. STALIN. *Evaluación y análisis de un prototipo de sensores inalámbricos para la monitorización de infraestructuras críticas de puentes.* Sangolqui - Ecuador, Escuela Politécnica del Ejercito, Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, 2014, pp. 30-31.

CHICANGO, M. AND H. STALIN. *Evaluación y análisis de un prototipo de sensores inalámbricos para la monitorización de infraestructuras críticas de puentes*. Sangolqui - Ecuador, Escuela Politécnica del Ejercito, Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, 2014, pp. 61.

CHIO CHO, N., D. A. TIBADUIZA BURGOS, L. C. APARICIO ZAFRA AND L. M. CARO ORTIZ. *Redes de Sensores Inalámbricos*. In *Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica-UNAB*. 2011, vol. 1, p. 2.

DAVIS, E. J. G. *Implementación de Protocolos de Transporte en Redes de Sensores*. línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7480/1/PFMERNESTOGARCIADAVIS.pdf>. [Último acceso: 10 Marzo 2014], 2009, pp.11.

DE LA PUENTE, J. A. *Introducción a los Sistemas en Tiempo Real*. Madrid - España, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos, 2007, pp. 3.

GARCÍA PATIÑO, M. R. AND J. MORA VALERO *Guía para la implementación de redes de sensores inalámbricos (WSN)* 2013, pp.16.

HASSAN, H., J. SORIANO, J. MONTAGUD AND C. DOMÍNGUEZ *Instrucción en el Diseño de Sistemas Empotrados. Aplicación al Control de un Brazo Robot*. XXIV Jornadas de Automática, León, 2003, pp.10-12.

HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, C. X., C. ARCE AND J. MAOLY. *Telecontrol de un sistema de conservación de tanque de leche*. Guayaquil - Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, 2015, pp. 34-35.

IACONO, L., P. GODOY, O. MARIANETTI AND C. GARCÍA GARINO. *Estudio de plataformas de hardware empleadas en redes de sensores inalámbricas*. In *XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*. Argentina, 2010, p. 3.

IACONO, L., P. GODOY, O. MARIANETTI, C. G. GARINO, et al. *Estudio de la Integración entre WSN y redes TCP/IP*. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica, 2012, (10), pp.1-2.

ISRAEL, P. A. J., T. A. SAÚL, U. G. V. CARRILLO, G. H. EFRÉN, et al. *Robot Móvil de Tracción Diferencial con Plataforma de Control Modular para Investigación y Desarrollo Ágil de Proyectos*. In. Querétaro Mexico: 10º Congreso Nacional de Mecatrónica-Puerto Vallarta, Jalisco-Nov, p. 2.

JÁCOME COMINA, C. A. *Diseño e implementación de un prototipo de red inalámbrica tipo MESH, para el monitoreo y control de riegos en una amplia gama de sectores y cultivos (agrícola o florícola) del cantón Pujilí, barrio Danzapamba*. Latacunga - Ecuador, Escuela Politécnica del Ejercito Extensión Latacunga, Departamento de Electrónica y Elctrónica, 2013, pp. 78-79.

JIMÉNEZ MORA, L. D. *Desarrollo de una aplicación de software para la determinación de parámetros modales orientada a la monitorización de salud estructural de puentes, basada en LabVIEW*. Catargo - Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Electrónica, 2013, pp. 25.

LASTRA LAMARCA, D. *Modelo analógico y digital en SystemC-AMS de la placa Arduino Mega 2560*. Cantabria - España, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación 2015, pp. 22-23.

LÓPEZ, S. A., M. Á. J. CUADRILLERO AND Á. G. YAGÚEZ *Redes de Sensores* 2010, pp.26.

LOYOLA PINOS, M. A. AND P. A. BECERRA DELGADO. *Manual para la aplicación de la tecnología ZigBee para edificios inteligentes en la ciudad de Cuenca*. Cuenca - Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Electrónica, 2015, pp. 17.

MARULANDA, J. AND P. THOMSON. "Monitoreo de salud estructural". *Ingeniería y Competitividad Revista Científica y Tecnológica* N° 2, (2011), Santiago de Cali, pp.3.

MEDINA ALVARADO, I. F. *Diseño e implementación de telemetría y cambio de marchas semiautomático en el vehículo de competencia fórmula SAE Alemania, utilizando sistemas embebidos*. Latacunga - Ecuador, Escuela Politécnica del Ejercito Extensión Latacunga, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, 2013, pp. 9.

MORENO PALLO, C. V. *Construcción de una red Zigbee prototipo para la adquisición de datos desde transmisores de corriente de dos hilos*. Quito - Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones 2009, pp. 6.

MORENO RODRÍGUEZ, L. M. *Evaluación del dispositivo Raspberry Pi como elemento de despliegue de servicios en el marco de las Smart Grids*. Madrid - España, Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. y Sistemas de Telecomunicación 2014, pp. 51.

OUTEIRIÑO, F. J. B., J. L. D. L. C. FERNÁNDEZ, M. T. ROLDÁN AND Y. J. A. G. PEYRONA *Comunicación inalámbrica con Bluetooth*. Técnica industrial, 2004, (1), pp.18-23.

OYARCE, A., P. AGUAYO AND E. MARTIN *Guía del usuario Xbee series 1*. Ingeniería MCI Ltda, 2010a, pp.6,12,14,16,19-21.

OYARCE, A., P. AGUAYO AND E. MARTIN. *Guía del usuario Xbee series 1*. In *Guía del usuario Xbee series 1*. Santiago de Chile, 2010b, p. 6,12,14,16,19-21.

PALTA, A. AND J. LUIS. *Simulación de Puentes Mediante el Software SAP 2000 y Calificación de Materiales y Soldadura*. Riobamba - Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010, pp. 30-31.

PENAGOS, H. P. *Consideraciones técnicas sobre transmisión de información a través de la red eléctrica domiciliaria*. *Revista Tecnura*, 7, (2003), Colombia, pp.57-70.

PÉREZ, E. H. *Tecnologías y redes de transmisión de datos*. México, Venezuela, Colombia, España, Guatemala: Editorial Limusa, 2003. pp.34.

QUIÑONES, A. P., D. A. GODOY AND E. O. SOSA. *Redes Inalámbricas de Sensores: Una experiencia en la Industria del Té*. In *5º Congreso Argentino de AgroInformática (en prensa)*. Argentina, 2013, vol. 5º, p. 3.

REINOSO PÉREZ, E. S. Diseño e implementación de un prototipo para una red de domótica y seguridad para un hogar utilizando el estándar IEEE 802.15.4 ZIGBEE 2008, pp.21.

REYES MENA, D. V. *Diseño de la red de sensores inalámbricos mediante la evaluación del desempeño de las plataformas Arduino y Waspote bajo el protocolo de comunicaciones Zigbee para el monitoreo de los embalses de Agoyán y Pisayambo*. Riobamba - Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ingeniería en Sistemas, 2014, pp. 64-65, 68-69.

ROBAYO ALCOCER, M. L. *Desarrollo de aplicaciones prácticas para microcontroladores ATMEL bajo la plataforma de entrenamiento arduino*. Guayaquil - Ecuador, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ingeniería en Telecomunicaciones, 2014, pp. 21.

RUIZ, R. L., J. A. Q. VÁSQUEZ AND G. A. H. LONDOÑO. *Implementación del protocolo Bluetooth para la conexión inalámbrica de dispositivos electrónicos programables*. Pereira - Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Scientia et Technica, 2004, pp. 1.

SALGADO, I. V. *ZigBee y sus aplicaciones*. In.: Obtenido de [http://www. dea. icaei. upco. es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/Zigbee% 20y% 20su s% 20aplicaciones. pdf](http://www.dea.icaei.upco.es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/Zigbee%20y%20su%20aplicaciones.pdf), 2011, p. 19.

SERNA, A., F. ROS AND J. RICO *Guía Práctica de Sensores*. España: Creaciones Copyright SL, 2010. pp.11, 69, 95, 98-99, 109, 135

SIDOROVA, A. *Aplicación del método de la emisión acústica en la monitorización de las estructuras de hormigón*. Barcelona - España, Universidad Politécnica de Cataluña, Ingeniería Estructural y de la Construcción, 2010, pp. 18.

SUESCÚN, C. A. *Revisión del Estado del Arte de Redes de Sensores Inalámbricos*. Revista Politecnica, 2012, 1(8), pp.4-5.

TORRES GÓRRIZ, B. *Estudio experimental de sensores ópticos tipo FBG para medir deformaciones y temperatura en estructuras*. Valencia - España, Universidad Politécnica de Valencia, Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, 2011, pp. 29.

TORRES GÓRRIZ, B. *Estudio experimental de sensores ópticos tipo FBG para medir deformaciones y temperatura en estructuras*. Valencia - España, Universidad Politécnica de Valencia, Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, 2011, pp. 23.

VARELA, C. AND L. DOMÍNGUEZ. *Redes inalámbricas*. Valladolid - España, Universidad de Valladolid Ingeniería Informática, 2002, pp. 12.

VÉLEZ, C. AND P. XAVIER. *Desarrollo de un sistema didáctico aplicado a inversores trifásicos, empleando el sistema embebido Raspberry Pi mediante la técnica de modulación vectorial espacial*. Cuenca - Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Electrónica, 2014, pp. 3.

ANEXOS

Anexo A: Certificado emitido por la Dirección de Gestión de Movilidad, Tránsito y Transporte GADMR



RIOBAMBA
GAD MUNICIPAL

www.gadmriobamba.gob.ec

Oficio Nro.GADMR-GTM-2016-I02

Riobamba, 3 de Marzo de 2016

Señores:

Estudiantes de la Facultad de Informática y Electrónica

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

Presente.

Un atento y cordial saludo:

En atención a su oficio s/n, de fecha 26 de Febrero 2016; adjunto a la presente la información solicitada, que ha sido elaborada por el Ing. David Pánchez Técnico de esta Dirección.

Anexo 1 foja.

Particular que comunico para fines pertinentes

Atentamente,

DIOS, PATRIA Y LIBERTAD

Ing. Jhonathan Eduardo Carrera Trujillo

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE MOVILIDAD, TRÁNSITO Y TRANSPORTE





David, 02/03/16
David Salgado
02/03/2016

MEMORANDO 014-DP-ASTSV-DGMTT-GADMR-2016
Riobamba, 02 de marzo del 2016

Para: Ing. Jonathan Cortez T.
DIRECTOR DE GESTIÓN DE MOVILIDAD TRÁNSITO Y TRANSPORTE DEL GADM RIOBAMBA

Dir: Ing. David Sánchez H.
TÉCNICO DE GESTIÓN DE MOVILIDAD TRÁNSITO Y TRANSPORTE DEL GADM RIOBAMBA

Asunto: INFORME SOBRE REGISTROS DEL TPDA A LA ENTRADA DEL CANTÓN CHAMBO Y PENÍPE.

En relación al Oficio s/n de fecha 26/02/2016, enviado por la Srta. Carranza Chichande Geomayra Carolina con CI: 080308475 y el Sr. Salgado Cazorla Cristian Arnulfo con CI: 0604462465, en calidad de estudiantes de la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, me permito informar lo siguiente:

Actualmente la Dirección de Gestión de Movilidad Tránsito y Transporte del GADM Riobamba no cuenta con un registro sobre levantamientos de información del (TPDA) TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL para un proyecto específico en los sectores pertenecientes a la entrada al Cantón Chambo y Penípe.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. David Sánchez H.
ANALISTA DE SERVICIOS DE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL
DGMTT-GADM-R



RECEIVED TRÁNSITO Y MOVILIDAD
FECHA: 02/03/16
REVISOR: NN
2/3/2016

Anexo B: Código de programación para ensamblador de Arduino Nodo Coordinador

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
const int chipSelect = 53;
long muestras=1;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  Serial.print("");

  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.print("");
    return;
  }
  Serial.print("");
}

void loop() {
  if (Serial.find("X")) {
    Xnodo = Serial.parseInt();
    Xvalor = Serial.parseInt();
  }
  if (Serial.find("Y")) {
    Ynodo = Serial.parseInt();
    Yvalor = Serial.parseInt();
  }
  if (Serial.find("Z")) {
    Znodo = Serial.parseInt();
    Zvalor = Serial.parseInt();
  }
  if (Serial.find("V")) {
    Vnodo = Serial.parseInt();
    Vvalor = Serial.parseInt();
  }
  File dataFile = SD.open("prueba.txt",
  FILE_WRITE);
  if (dataFile) {
    Serial.print("X1=" );
    Serial.print(avalor);
    Serial.print(",Y1=" );
    Serial.print(bvalor);
    Serial.print(",Z1=" );
    Serial.print(cvalor);
    Serial.print(",V1=" );
    ...
  }
}
```

Anexo C: Código de programación para ensamblador de Arduino Nodo Sensorial

```
const int xPin = 8;
const int yPin = 9;
const int zPin = 10;
const int vPin = 11;
void setup(){
    Serial.begin(9600);
}
void loop(){
    delay(100);
    xRead = analogRead(xPin);
    yRead = analogRead(yPin);
    zRead = analogRead(zPin);
    vRead = pulseIn(vPin, HIGH);
    delay(10);

    xAng = map(xRead, minVal, maxVal, -90,
    90);
    yAng = map(yRead, minVal, maxVal, -90,
    90);
    zAng = map(zRead, minVal, maxVal, -90,
    90);
    delay(10);

    x = RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -
    zAng) + PI);
    delay(10);
    y = RAD_TO_DEG * (atan2(-xAng, -
    zAng) + PI);
    delay(10);
    z = RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -
    xAng) + PI);

    Serial.print("a1,");
    Serial.print(x);
    delay(60);

    Serial.print("b1,");
    Serial.print(y);
    delay(60);
    Serial.print("c1,");
    Serial.print(z);
    delay(60);
    ...
}
```

Anexo D: Código de programación Interfaz MatLab

```
%PRESENTACIÓN DE INTRFAZ PARA
EL MONITOREO DE VIBRACIÓN
% E INCLINACIÓN DE UN PUENTE A
TRAVES DE UNA RED WSN
%Presentado por: SALGADO CRISTIAN
Y CARRANZA GEOMAYRA (2016)

%GRÁFICO DEL PUENTE
axes(handles.axes2);
path = 'C:\Program
Files\MATLAB\R2012a\bin\WSN-
ARDUINO\puente.jpg';
estructura = imread(path);
imshow(estructura);
axis off;

%+++++++ABRIMOS PUERTO
SERIE+++++++
%borrar previos
delete(instrfind({'Port'},{'COM9'}));
%crear objeto serie
global s;
s =
serial('COM9','BaudRate',9600,'Terminator'
,'CR/LF');
warning('off','MATLAB:serial:fscanf:unsuc
cessfulRead');
%abrir puerto
fopen(s);

% ejecutar bucle cronometrado

tic
while t>tmax1
    t = toc;
    % leer del puerto serie
a =
fscanf(s,'X1=%d,Y1=%d,Z1=%d,V1=%d,X
2=%d,Y2=%d,Z2=%d,V2=%d,C=');
    gxdata = [gxdata(2:end);a(1)];
    gydata = [gydata(2:end);a(2)];
    gzdata = [gzdata(2:end);a(3)];
    gvdata = [gvdata(2:end);a(4)];
    gx2data = [gx2data(2:end);a(5)];
    gy2data = [gy2data(2:end);a(6)];
    gz2data = [gz2data(2:end);a(7)];
    gv2data = [gv2data(2:end);a(8)];

    %IMPRESIÓN DE VALORES
RECOLECTADOS NODO A
    set(handles.dvib,'String',gvdata(end));
    set(handles.dincX,'String',gxdata(end));
    set(handles.dincY,'String',gydata(end));
    set(handles.dincZ,'String',gzdata(end));

%VIBROMETRO NODO A
axes(handles.axes1);
plot(index,gvdata,'b')
grid off
hold off
axis off;

...

```

Anexo E: Archivo .txt (Base de datos Penipe 10h30 – 11h30) y Script desarrollado en R

Nodo B - 10h30 - 11h30 - Inclinación

hora	xi	yi	zi	vi
10:30:00	14	14	45	0
10:30:01	147	14	48	884
10:30:02	13	12	48	121
10:30:03	13	13	45	2
10:30:04	13	13	-15	0
10:30:05	14	13	47	3
10:30:06	13	13	45	1885
10:30:07	13	12	45	414
10:30:08	14	13	47	0
10:30:09	13	12	-16	0
10:30:10	13	12	46	0
10:30:11	13	12	48	0
10:30:12	14	12	48	0
10:30:13	13	12	48	0
10:30:14	13	13	46	7796
10:30:15	14	12	-18	2071
10:30:16	13	12	46	0
10:30:17	13	13	45	0
10:30:18	14	13	47	2
10:30:19	13	13	46	2101
10:30:20	13	13	-16	1629
10:30:21	13	13	46	0
10:30:22	13	13	45	0
10:30:23	13	13	48	0
10:30:24	13	13	48	0
10:30:25	13	13	-15	0
10:30:26	13	13	-11	0
10:30:27	13	13	45	0
10:30:28	13	12	48	0
10:30:29	13	13	47	0
10:30:30	13	13	-17	0

