



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES
INALÁMBRICOS CON TOPOLOGÍA CLUSTER TREE EN EL
LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

ÁLVAREZ ERAZO FRANCISCO XAVIER
panchoalvarez411@gmail.com

DIRECTORA: ING. ANA VERÓNICA RODAS BENALCÁZAR
ana.rodas@epn.edu.ec

Quito, abril 2015

DECLARACIÓN

Yo, Francisco Xavier Álvarez Erazo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Francisco Xavier Álvarez Erazo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Francisco Xavier Álvarez Erazo, bajo mi supervisión.

Ing. Ana Verónica Rodas Benalcázar
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi Madre y a mi Abuelito por su apoyo incondicional y por todo su amor, durante toda mi carrera.

Un agradecimiento especial a la Ing. Ana Rodas y a la Ing. Soraya Sinche por guiar mi proyecto de titulación.

Mil gracias a todas las personas que hicieron posible este gran sueño.

Francisco

DEDICATORIA

Dedico mi proyecto de titulación a mi Madre y a mi Abuelito, que son las personas más importantes de mi vida; su amor, compañía y apoyo es lo que ha hecho realidad mi meta.

Francisco

CONTENIDO

RESUMEN	i
PRESENTACIÓN	ii
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 RED DE SENSORES INALÁMBRICOS.....	3
1.3 ELEMENTOS DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICO.....	3
1.3.1 NODO.....	3
1.3.2 GATEWAY.....	4
1.3.3 ESTACIÓN BASE.....	4
1.4 ESTÁNDAR IEEE 802.15.4.....	4
1.4.1 LR-WPAN	4
1.4.2 COMPONENTES DE UNA WPAN CON EL ESTÁNDAR 802.15.4.....	5
1.4.3 TOPOLOGÍAS DE RED.....	5
1.4.4 CLUSTER TREE	6
1.4.5 ARQUITECTURA	7
1.5 VENTAJAS DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS.....	16
1.6 ÁMBITOS DE APLICACIÓN DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS.....	16
1.6.1 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	16
1.6.2 AUTOMOCIÓN.....	17
1.6.3 DOMÓTICA	17
1.6.4 MONITORIZACIÓN AMBIENTAL.....	17
1.6.5 MONITOREO DE ALMACENES.....	17
1.6.6 ESTRATEGIA MILITAR.....	17
1.7 CONSIDERACIONES GENERALES PARA IMPLEMENTAR UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS	18
1.8 NI WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN).....	18

1.9 RED DE SENSORES INALÁMBRICOS A IMPLEMENTARSE EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL	19
CAPÍTULO II	20
DISEÑO DE LA RED Y CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS.....	20
2.1 DISEÑO DE LA RED.....	20
2.1.1 CONSIDERACIONES PARA EL PROYECTO.....	20
2.1.2 DESCRIPCIÓN DE INFRAESTRUCTURA DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.....	21
2.1.3 SELECCIÓN DE FRECUENCIA.....	21
2.1.4 INTERFERENCIAS	22
2.1.5 SELECCIÓN DE LA TOPOLOGÍA.....	24
2.1.6 SOLUCIÓN.....	26
2.1.7 EQUIPOS NI WSN CON EL ESTÁNDAR 802.15.4.....	27
2.1.8 CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS DEL NODO NI WSN 3202	29
2.1.9 CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS DEL GATEWAY NI 9792	30
2.1.10 ESTIMACIÓN DEL ALCANCE.....	30
2.1.11 PÉRDIDAS POR TRAYECTORIA Y POSICIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS.....	33
2.2 VARIABLES DE CADA NODO.....	36
2.2.1 VARIABLES DEL NODO 1	37
2.2.2 VARIABLES DEL NODO 2	37
2.2.3 VARIABLES DEL NODO 3	37
2.3 SENSORES	37
2.3.1 MÓDULO SENSOR DE GAS MQ-135	37
2.3.2 SENSOR DE GAS MQ-2	40
2.3.3 SENSOR DE GAS MQ-9	40
2.3.4 SENSOR DE GAS MQ-7	42
2.3.5 MÓDULO SENSOR INFRARROJO DE PROXIMIDAD PARA ARDUINO 44	
2.3.6 MÓDULO SENSOR PIR DE PRESENCIA SURE ELECTRONICS	45
2.3.7 MÓDULO SENSOR PIR DE PRESENCIA PARA ARDUINO	46

2.3.8	MÓDULO SENSOR DE SONIDO PARA ARDUINO.....	47
2.3.9	SENSOR DE PRESIÓN MPX4115.....	48
2.3.10	SENSOR DE INTENSIDAD DE LUZ TEMT6000.....	49
2.3.11	SENSOR DE CORRIENTE ACS712	50
2.3.12	SENSOR DE HUMEDAD HIH-4030	52
2.3.13	SENSOR DE TEMPERATURA LM35.....	53
2.4	CONEXIONES	54
2.4.1	NODO 1.....	54
2.4.2	NODO 2.....	54
2.4.3	NODO 3.....	56
2.5	INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA LA ALIMENTACIÓN DE LOS NODOS	56
2.6	MEDICIÓN DEL CONSUMO DE CORRIENTE DE LOS SENSORES.....	57
2.7	CÁLCULO DE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN	58
2.7.1	ALIMENTACIÓN DE LOS NODOS.....	58
2.7.2	ALIMENTACIÓN DEL GATEWAY	60
2.7.3	ALIMENTACIÓN DE LOS SENSORES DEL NODO DEL LABORATORIO 1.....	62
2.7.4	ALIMENTACIÓN DE LOS SENSORES DEL NODO DEL LABORATORIO 2.....	63
2.7.5	ALIMENTACIÓN DE LOS SENSORES DEL NODO DEL LABORATORIO 3.....	64
2.8	CONSTRUCCIÓN DE PLACAS PARA CADA NODO Y EL GATEWAY	66
2.9	CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS.....	67
2.9.1	CONFIGURACIÓN DE LA DIRECCIÓN IP DEL GATEWAY	67
2.9.2	CONFIGURACIÓN DEL PUERTO ETHERNET DE LA PC	70
2.9.3	INSTALACIÓN DEL SOFTWARE EN EL GATEWAY NI 9792.....	74
2.9.4	AGREGAR LOS NODOS NI 3202	79
2.9.5	CONFIGURACIÓN DE LOS NODOS	81
CAPÍTULO III		83
DESARROLLO DEL SOFTWARE.....		83
3.1	CREACIÓN DEL PROYECTO EN LABVIEW 2013.....	83

3.2	PROGRAMACIÓN DE LOS NODOS	87
3.3	RUTINAS UTILIZADAS EN EL PROGRAMA FINAL.....	91
3.3.1	ADQUISICIÓN DE DATOS DEL NODO	92
3.3.2	ADQUISICIÓN DE VARIABLES ANALÓGICAS Y DIGITALES.....	95
3.3.3	GRÁFICO DE SEÑALES ANALÓGICAS.....	103
3.3.4	REGISTRO DE SEÑALES ANALÓGICAS	109
3.3.5	ENVÍO DE EMAIL.....	113
3.3.6	COMUNICACIÓN SERIAL	121
3.4	INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA (HMI) DE LOS NODOS	128
3.5	PROGRAMA DE LOS NODOS	129
3.6	PROGRAMA EN ARDUINO UNO PARA ENVÍO DE MENSAJE DE TEXTO.....	130
CAPÍTULO IV		133
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		133
4.1	CALIDAD DE ENLACE INALÁMBRICO DE LOS NODOS EN LOS CANALES DE COMUNICACIÓN DISPONIBLES EN EL SOFTWARE NI MAX.....	133
4.2	MEDICIONES DE LA POTENCIA DE LA SEÑAL CON TOPOLOGÍA CLUSTER TREE EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.....	135
4.3	PRUEBAS CON EL SOFTWARE	138
4.4	PRUEBAS CON EL HMI	139
4.4.1	NODO 1	139
4.4.2	NODO 2.....	142
4.4.3	NODO 3.....	144
4.5	PRUEBAS DE ALARMAS	146
4.6	REGISTRO DE DATOS	148
4.7	MEDICIÓN DE VOLTAJES Y CORRIENTES DE LAS PLACAS	148
4.7.1	PLACA DEL NODO 1	148
4.7.2	PLACA DEL NODO 2	149
4.7.3	PLACA DEL NODO 3	150
4.7.4	PLACA DE ALIMENTACIÓN DEL GATEWAY	151

4.8	CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS SOBRE LOS 100M CON LÍNEA DE VISTA.....	152
4.9	MEDICIÓN DE CONSUMO DE CORRIENTE DE LOS NODOS	155
4.10	COSTOS	156
	CAPÍTULO V	158
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	158
5.1	CONCLUSIONES.....	158
5.2	RECOMENDACIONES	159
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
	ANEXOS	

RESUMEN

El presente proyecto implementa una red estática de sensores inalámbricos con topología Cluster Tree en el Laboratorio de Instrumentación Industrial.

Los equipos que se utilizaron para la implementación de la red de sensores inalámbricos fueron los nodos NI WSN 3202 y el gateway NI 9792 de National Instruments así como el programa NI MAX para formar la red inalámbrica.

Se realizó un HMI en el programa LabVIEW 2013, en el cual se puede visualizar, graficar y guardar las respectivas variables de cada nodo. Las alarmas que se programaron corresponden al envío de e-mail por medio de LabVIEW 2013 y un envío de mensaje de texto, por medio de la activación del ARDUINO UNO y el módulo SIM900, mediante comunicación serial desde el HMI.

Para las fuentes de alimentación de 10V y 5V, para los nodos y sensores respectivamente, se construyeron placas con los voltajes de salida mencionados.

En las pruebas realizadas se obtuvieron resultados satisfactorios. Se logró establecer conexión inalámbrica en todos los canales disponibles en el software NI MAX, así como también sobre los 100m de distancia. El programa realizado en LabVIEW 2013 cumplió con la adquisición y registro de datos, envío de alarmas, y el gráfico de las señales analógicas de los respectivos sensores. Finalmente la medición de corrientes de los nodos confirmó que los nodos finales consumen menos energía que los nodos *router*.

PRESENTACIÓN

El presente Proyecto de Titulación corresponde a la Implementación de una red de sensores inalámbricos con topología Cluster Tree en el Laboratorio de Instrumentación Industrial. A continuación se describe el contenido de los capítulos en los cuales se ha organizado el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo I se presenta una introducción sobre las redes de sensores inalámbricos, sus elementos, ventajas, ámbitos de aplicación y consideraciones para su implementación. También se describe el estándar IEEE 802.15.4 enfocados en las LR-WPAN, topologías de red y arquitectura.

En el Capítulo II se presenta el diseño de la red, las variables de cada nodo, descripción de sensores, cálculo de las fuentes de alimentación, construcción de placas para cada nodo, costos de implementación y configuración de equipos.

En el Capítulo III se presenta la creación del proyecto, programación de nodos, rutinas y desarrollo del HMI en LabVIEW 2013. Además el programa del ARDUINO UNO para enviar el mensaje de texto con el módulo SIM900.

En el Capítulo IV se presenta las pruebas y resultados con respecto a la potencia y calidad de enlace en todos los canales disponibles del NI MAX, con la red de sensores inalámbricos implementada. También se presentan pruebas para verificar el correcto funcionamiento del programa y el HMI realizado en LabVIEW 2013, para corregir errores de programación y visualización.

En el Capítulo V se presenta las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

La necesidad del ser humano por explorar nuevos lugares, conocer distintos ambientes, controlar y monitorear diferentes escenarios, ha llevado a recurrir a sistemas digitales, que con la ayuda de sensores, han facilitado adquirir y procesar diversas variables con el fin de comprender y estudiar el entorno.

La forma de transmitir los datos a distancias considerables de forma eficiente y confiable, la reducción en las dimensiones de los dispositivos electrónicos, el aprovechamiento razonable de energía y sobre todo la automatización de los procesos, se han convertido en un reto importante a nivel tecnológico con el objeto de brindar seguridad y alta productividad.

El propósito de las redes de sensores inalámbricos es integrar el procesamiento de la información al medio que nos rodea y no concentrarla en determinados dispositivos electrónicos, logrando “nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial” como se señala en el artículo *Redes de sensores inalámbricos* de Niels Aakvaag y Jan-Erik Frey. [1]

El interés por el perfeccionamiento de las redes de sensores inalámbricos, tuvo su inicio con aplicaciones militares con el Sistema de Vigilancia Sónica SOSUS (*Sound Surveillance System*) comenzando su desarrollo en 1949 y consistía en puestos de escucha posicionados en el fondo del mar para detectar submarinos soviéticos, ya que en su inicio fue operado por la Armada de Estados Unidos. Tal fue el impacto de SOSUS a nivel marítimo, que en Estados Unidos desplegaron una red de radares aéreos que se han ido mejorando y dando origen a los aviones AWACS (*Airborne*

Warning and Control System) o conocidos ahora como AEW&C (*Airborne Early Warning and Control*), estos sistemas detectan aeronaves a varios kilómetros de distancia, diferenciando si son amigas o enemigas; permitiendo actividades de ataque y dirigiendo a los aviones de combate hacia el objetivo. Así como también son usado para vigilancia y funciones de mando y control [2] [3].

En 1980, la agencia estadounidense DARPA (*Defense Advanced Reserch Projects Agency*) con el proyecto DSN (*Distributed Sensor Networks*), investiga las redes de sensores desde otro enfoque. Ahora la investigación se basa en Arpanet, el antecesor de Internet. La idea fue incorporar nodos sensores espacialmente distribuidos que operen de forma autónoma pero que puedan colaborar entre sí, para el enrutamiento de la información hacia cualquier nodo que pudiera utilizar de mejor manera dicha información. [3][4][5]

El proyecto DSN dio paso a la creación de los primeros sistemas operativos como es el caso de Accent, desarrollado de manera ad hoc, es decir que los nodos se encuentran en igual de condiciones dentro de la red sin la presencia de un nodo central. [3][5][6][7]

En el siglo XXI la investigación de las redes de sensores inalámbricos ha vuelto a su visión original con la aparición de la tecnología MEMS (*Microelectromechanical Systems*), redes inalámbricas y procesadores baratos y de bajo consumo dando paso a nodos sensores pequeños y baratos capaces de formar redes ad hoc para diversas aplicaciones. [5][8]

Debido a su gran relevancia tecnológica y a su utilidad, las redes de sensores inalámbricos generarán con el tiempo grandes beneficios a nivel social e industrial, siendo la primera tecnología en la lista de las diez tecnologías que mostró en el 2003 la revista MIT Technology Review en su artículo “10 Emerging Technologies That Will Change the World”. [9]

1.2 RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

Es un sistema constituido por nodos, un gateway y una estación base; capaz de adaptarse e interactuar en ambientes heterogéneos, debido al cambio dinámico de su topología, cuyo objetivo es obtener mediciones y/o actuar sobre dichos ambientes [10][11]. Conocida como WSN por sus siglas en inglés *Wireless Sensor Network*.

1.3 ELEMENTOS DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICO

1.3.1 NODO

Son dispositivos autónomos compuestos por un microcontrolador o un microprocesador de baja potencia, una fuente de energía (baterías o fuente externa), un sistema de comunicación y uno o varios sensores. [1]

Los nodos según la función que desempeñen dentro de la red, se pueden clasificar en:

- *Router*: tiene la capacidad de encaminar hacia el gateway la información que envían otros nodos. El sistema de comunicación en este tipo de nodos tiende a estar continuamente en funcionamiento. Un nodo router tiene la posibilidad también de adquirir datos por medio de sensores. [10]
- *Final*: es un nodo que adquiere datos de diferentes variables, dependiendo del tipo de sensor y envían su información hacia un nodo router o directamente al gateway. También puede realizar acciones de control por medio de señales digitales. El elemento de comunicación se encuentra en modo dormido (bajo consumo de potencia) en la mayor parte del tiempo para evitar el consumo elevado de energía. Puede tener la opción de recibir información del gateway o de un nodo asociado, pero no podrá encaminar paquetes de datos. [10]

1.3.2 GATEWAY

Es un dispositivo que hace posible la interconexión de estándares y protocolos comunicación diferentes, traduciendo la información de un tipo de una red inicial a otra de destino. [11][12]

1.3.3 ESTACIÓN BASE

Es un dispositivo que almacena, analiza y procesa la información procedente de los nodos, una vez que ha sido convertida por el gateway. [11]

1.4 ESTÁNDAR IEEE 802.15.4

En una red de área personal PAN (Personal Area Network) el estándar IEEE 802.15.4 define la capa Física y subcapa de Control de Acceso al Medio. El estándar usa como técnica de control de acceso al medio CSMA/CA, que realiza un acceso múltiple con detección de portadora y evitando colisiones. [13]

Este mecanismo de acceso está basado en que las estaciones o nodos entren en un proceso de contienda que ocurre debido a la compartición de medio de transmisión. Sin embargo el uso opcional de estructura supertrama establecida por el coordinador le permite asignar intervalos de tiempo a los dispositivos para los datos con tiempo crítico. [13][14][15]

1.4.1 LR-WPAN

Una red inalámbrica de área personal con tasas bajas de transmisión de dato conocida por sus siglas en inglés como LR-WPAN (*low-rate wireless personal area network*) es una red de comunicación relativamente simple y de bajo costo que permite la conectividad inalámbrica en aplicaciones con requisitos de bajo consumo

de potencia. Algunas de las características importantes de la LR-WPAN son la facilidad de instalación, transferencia fiable de datos, operación de corto alcance, costo extremadamente bajo, duración razonable de batería, velocidad de datos de 250kbps, 40kbps y 20kbps, asignación de intervalos de tiempo garantizados, detección de portadora de acceso múltiple con prevención de colisiones CSMA-CA, medición de energía, indicación de calidad de enlace, [13]

1.4.2 COMPONENTES DE UNA WPAN CON EL ESTÁNDAR 802.15.4 [13]

En una LR-WPAN pueden participar dos diferentes tipos de dispositivos; un dispositivo de función completa FFD (*full-function device*) y un dispositivo de función reducida RFD (*reduced-function device*).

Un RFD está diseñado para aplicaciones que son simples, usando un mínimo de recursos y poca capacidad de memoria, se lo conoce también como nodo final.

Un FFD puede funcionar como router, RFD, un coordinador o en su defecto se lo considerará con este término a un gateway.

Una red deberá incluir al menos un FFD que opere como el coordinador de la PAN (*Personal Area Network*)

1.4.3 TOPOLOGÍAS DE RED [13]

Dependiendo de la aplicación, la LR-WPAN puede operar en cualquiera de las dos topologías que se muestran en la *Figura 1.1*: la topología en estrella o la topología de punto a punto. En la topología en estrella se establece la comunicación entre los dispositivos (RFD o FFD funcionando como RFD) y un controlador central, llamado el coordinador PAN. Un coordinador PAN puede ser utilizado para iniciar, terminar o encaminar la comunicación alrededor de la red. El coordinador PAN puede ser

energizado con alimentación externa, mientras que los dispositivos será más probable que sea con baterías.

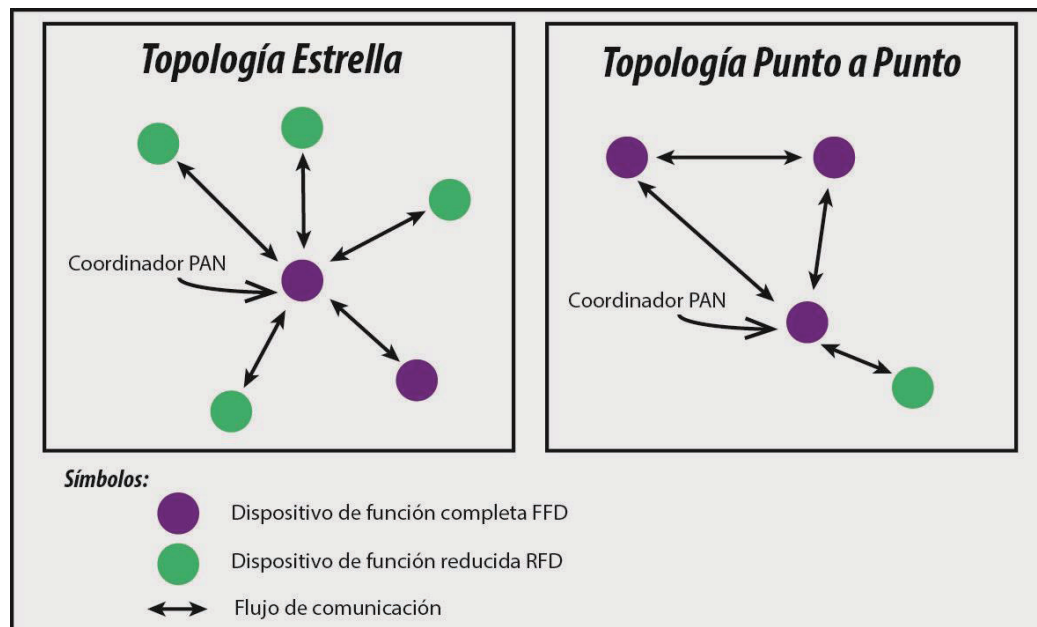


Figura 1.1 Ejemplos de topología estrella y punto a punto [13]

La topología de punto a punto también tiene un coordinador PAN; sin embargo, se diferencia de la topología en estrella en que los dispositivos tienen la posibilidad de comunicarse con cualquier otro de la red. La topología punto a punto permite formaciones de red más complejas, como la topología malla. Esta topología puede ser ad-hoc. También puede permitir múltiples saltos para encaminar mensajes desde cualquier dispositivo a cualquier otro dispositivo de la red. Estas funciones se pueden añadir en la capa de red, pero no son parte de esta norma.

1.4.4 CLUSTER TREE [13]

Es un caso especial de una red punto a punto en la que la mayoría de los dispositivos son FFDs. Un RFD puede conectarse a una red *Cluster Tree* como un nodo final de una rama, ya que sólo se puede asociarse con un FFD a la vez. Cualquiera de los FFDs puede actuar como coordinador y proporcionar servicios de

sincronización con otros dispositivos u otros coordinadores. Sólo uno de estos coordinadores puede ser el coordinador PAN, el cual tiene mayores recursos computacionales que cualquier otro dispositivo en la PAN. El coordinador PAN forma la primera “rama” estableciéndose como CLH (*Cluster Head*) con un CID (*Cluster Identifier*) de cero. La forma más simple de una red *Cluster Tree* es una sola red *Cluster Tree*, pero la red más larga puede formar una malla con las redes vecinas.

La ventaja de una estructura multicluster es incrementar el área de cobertura, mientras que la desventaja es un aumento en el retardo temporal de la información dentro de la red. Un ejemplo de una red *Cluster Tree* se presenta en la *Figura 1.2*.

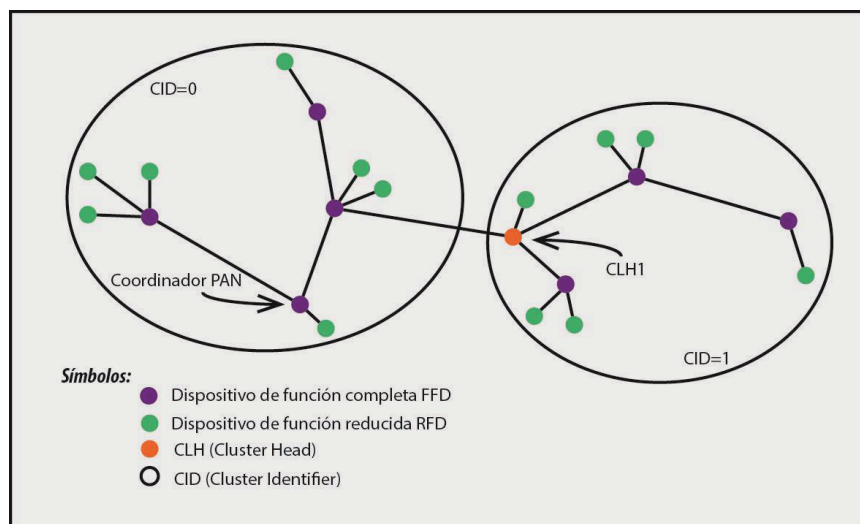


Figura 1.2 Red Cluster Tree [13]

1.4.5 ARQUITECTURA

La arquitectura LR-WPAN está formada por un determinado número de capas. Cada capa es responsable de una parte de los servicios y ofrece servicios a las capas superiores. Un dispositivo de LR-WPAN contiene una Capa Física, PHY (*Physical Layer*), que contiene el transceptor de radiofrecuencia (RF) junto con su mecanismo de control de bajo nivel y una subcapa de Control de Acceso al Medio, MAC (*Medium Access Control*), que proporciona acceso al canal físico para todos los tipos de capas

físicas. Las interfaces entre las capas sirven para definir los vínculos lógicos que se describen en esta norma, como es el caso del Control de Enlace Lógico IEEE 802.2™ conocido por siglas en inglés como LLC (*Logical Link Control*) que permite acceder a la subcapa MAC a través de la Subcapa de Convergencia Específica de Servicio, conocida como SSCS (*Service Specific Convergence Sublayer*). Las capas superiores, que se muestran en la *Figura 1.3*, consisten en una capa de red, que proporciona configuración de red, manipulación y enrutamiento de mensajes, y una capa de aplicación, que proporciona la función prevista del dispositivo. La definición de estas capas superiores se encuentra fuera del alcance de esta norma. La arquitectura LR-WPAN puede implementarse ya sea como dispositivos integrados o como dispositivos que requieren el apoyo de un dispositivo externo, como un PC. [13]

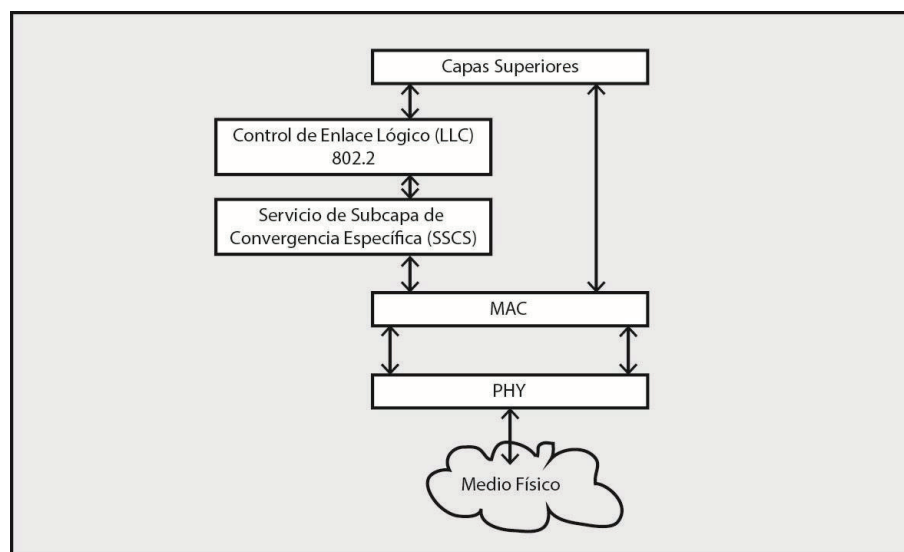


Figura 1.3 Arquitectura de los dispositivos de una LR-WPAN [13]

1.4.5.1 PHY [13]

El PHY proporciona dos servicios: el servicio de datos PHY y el servicio de gestión de interfaz PHY a la Entidad de Gestión de Capa Física, PLME (*Physical Layer Management Entity*). El servicio de datos PHY permite la transmisión y recepción de

Unidades de Datos de Protocolo PHY, PPDUs (*PHY Protocol Data Units*) a través del canal de radio físico. Las funciones de la PHY son la activación y desactivación del transceptor de radio, selección de canal, la Evaluación de Canal Libre, CCA (*Clear Channel Assessment*), y transmitir así como recibir paquetes a través del medio físico. La capa física funcionará en una de las siguientes bandas libres de licencia: 868 a 868,6 MHz (Europa), 902-928 MHz (América del Norte) o 2400-2483.5 MHz (en todo el mundo). Un dispositivo compatible operará en una o varias bandas frecuencias utilizando la modulación y la difusión de los formatos que se resumen en la *Tabla 1.1*

Tabla 1.1 Bandas de frecuencias y velocidades de datos [13]

PHY (MHz)	Banda de frecuencia (MHz)	Número de canales	Modulación	Tasa de bit (kb/s)	Tasa de símbolos (ksymbol/s)	Símbolos
868/915	868-868.6	1	BPSK	20	20	Binario
	902-928	10	BPSK	40	40	Binario
2450	2400-2438.5	16	O-QPSK	250	62.5	16-ary Ortogonal

En la capa PHY también se establece la asignación de canales y numeración. Están disponibles a través de las tres bandas de frecuencia. Dieciséis canales están disponibles en la banda de 2.450 MHz, 10 en la banda de 915 MHz, y 1 en la banda de 868MHz.

1.4.5.2 MAC

La subcapa MAC proporciona dos servicios: el servicio de datos MAC y el servicio de gestión de interfaz MAC a la Entidad de Gestión de Subcapa MAC con punto de acceso al servicio, MLME-SAP (*MAC Sublayer Management Entity- Service Access Point*). El servicio de datos MAC permite la transmisión y recepción de unidades de datos de protocolo MAC, MPDU (*MAC Protocol Data Units*) a través del servicio de

datos PHY. Las funciones de la subcapa MAC son la gestión de *beacon*, acceso al canal, gestión GTS, validación de trama, confirmación de trama recibida, asociación y disociación de la PAN. Además, la subcapa MAC proporciona herramientas para la implementación de mecanismos de seguridad apropiados de aplicación. [13]

1.4.5.3 Estructura de supertrama [13]

El estándar LR-WPAN permite el uso opcional de una estructura de supertrama. El coordinador es el que define el formato de la supertrama. La supertrama (ver *Figura 1.4*) está delimitada por *beacons* de red y se divide en 16 ranuras de igual tamaño. La trama de *beacon* se transmite en la primera ranura de cada supertrama. Si un coordinador no desea utilizar una estructura de supertrama, puede desactivar las transmisiones de *beacons*. Los *beacons* se utilizan para sincronizar los dispositivos conectados, para identificar la PAN y para describir la estructura de las supertramas. Cualquier dispositivo que desea comunicarse durante el Período de Acceso de Contención, CAP (*Contention Access Period*), entre dos *beacons*, deberá competir con otros dispositivos que utilizan un mecanismo CSMA-CA. Todas las transacciones deben ser completadas por el tiempo del siguiente *beacon*.

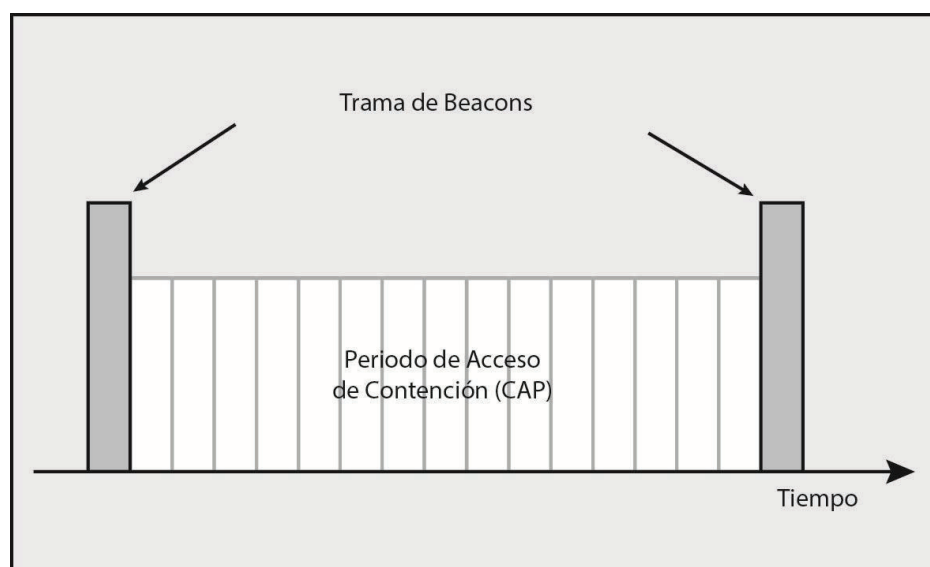


Figura 1.4 Estructura de supertrama sin GTS [13]

La supertrama puede tener una parte inactiva y otra activa. Durante la parte inactiva, el coordinador no interactúa con la PAN y puede entrar en un modo de bajo consumo. Para aplicaciones de baja latencia o aplicaciones que requieren ancho de banda específico, el coordinador PAN puede dedicar partes de la supertrama activa a intervalos de tiempo garantizados GTSs (*Guaranteed Time Slots*). El GTS forma el Periodo Libre de Contención, CFP (*Contention-Free Period*), que siempre aparece al final de la supertrama activa inmediatamente después de la CAP, como se muestra en la *Figura 1.5*. El coordinador PAN puede asignar hasta siete de estas GTSs. Todas las transacciones basadas en contención deberán ser completadas antes de que comience la CFP. También cada dispositivo de transmisión en un GTS se asegurará de que su transacción se completó antes del tiempo de los próximos GTS o el final de la CFP.

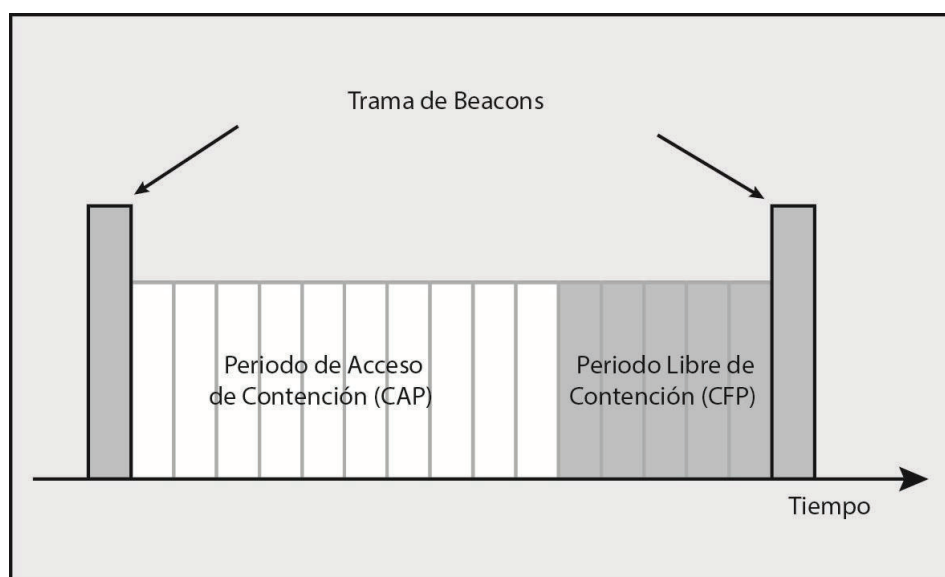


Figura 1.5 Estructura de supertrama con GTS [13]

1.4.5.4 Modelo de transferencia de datos [13]

Existen tres tipos de transacciones de transferencia de datos. La primera es la transferencia de datos a un coordinador en el que un dispositivo de la red transmite los datos. La segunda transacción es la transferencia de datos desde un coordinador

en el que un dispositivo de la red recibe los datos. La tercera operación es la transferencia de datos entre dos dispositivos de la red. En topología en estrella se utilizan sólo dos de estas operaciones, ya que los datos sólo podrán ser transmitidos entre el coordinador y un dispositivo de la red. En la topología punto a punto puede intercambiarse datos entre dos dispositivos en la red; en consecuencia, las tres operaciones pueden ser utilizadas en dicha topología.

Los mecanismos para cada tipo de transferencia dependen si la red admite la transmisión de *beacons*. Una red de *beacon*-habilitado se utiliza para apoyar los dispositivos de baja latencia, como los periféricos de PC. Si la red no necesita soportar ese tipo de dispositivos, puede optar por no utilizar el *beacon* para las transferencias normales. Sin embargo, el *beacon* es todavía requerido para la asociación de la red.

1.4.5.4.1 La transferencia de datos a un coordinador [13]

La *Figura 1.6* representa el proceso de comunicación cuando un dispositivo desea transferir datos a un coordinador en una red *beacon*-habilitado, primero tiene que recibir el *beacon* de la red. Cuando se encuentra el *beacon*, el dispositivo se sincroniza con la estructura de supertrama. En el momento apropiado, el dispositivo transmite su trama de datos al coordinador utilizando CSMA-CA. El coordinador reconoce la recepción exitosa de los datos mediante la transmisión de una trama de confirmación opcional y la transacción se completa.

La *Figura 1.7* indica el proceso de comunicación cuando un dispositivo desea transmitir datos en una red *beacon*-deshabilitado, simplemente transmite su trama de datos, utilizando CSMA-CA, al coordinador. El coordinador reconoce la recepción exitosa de los datos mediante la transmisión de una trama de confirmación opcional y transacción se completa.

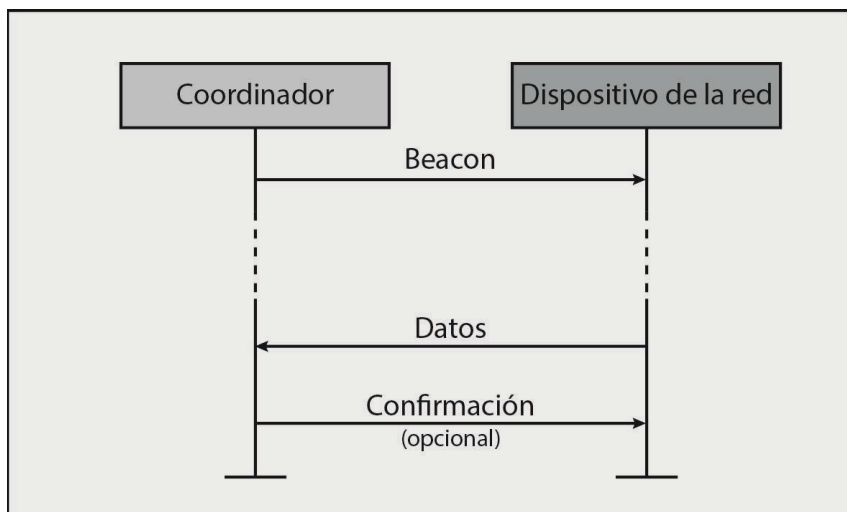


Figura 1.6 Comunicación a un coordinador en una red *beacon*-habilitada [13]

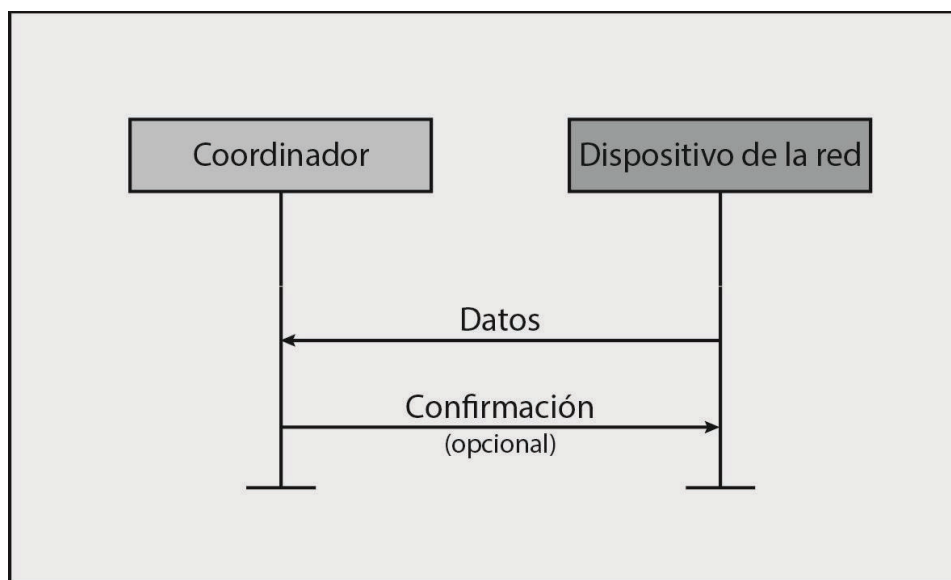


Figura 1.7 Comunicación a un coordinador en una red *beacon*-deshabilitado [13]

1.4.5.4.2 La transferencia de datos de un coordinador

Cuando el coordinador desea transferir los datos a un dispositivo en una red *beacon*-habilitado, como se muestra en la *Figura 1.8*, primero indica en el *beacon* de red que está pendiente el mensaje de datos. El dispositivo de la red recibe

periódicamente el *beacon* de red y si un mensaje está pendiente, transmite un comando MAC con la solicitud de datos, utilizando CSMA-CA. El coordinador reconoce la recepción exitosa de la petición de datos mediante la transmisión de una trama de confirmación opcional. La trama de datos en espera se envía a continuación, utilizando CSMA-CA. El dispositivo de la red reconoce la recepción exitosa de los datos mediante la transmisión de una trama de confirmación y la transacción se completa. Al recibir la confirmación, el mensaje se elimina de la lista de mensajes pendientes en la baliza. [13]

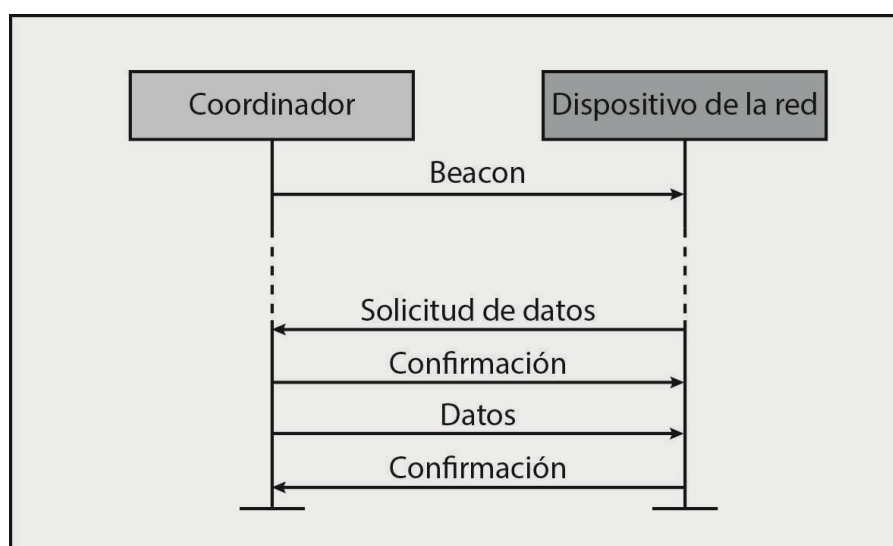


Figura 1.8 Comunicación de un coordinador en una red *beacon*-habilitado [13]

Cuando un coordinador desea transferir los datos a un dispositivo en una red baliza-deshabilitada, como se presenta en la *Figura 1.9*, almacena los datos para el dispositivo adecuado para hacer contacto y solicitar los datos. Un dispositivo de la red puede ponerse en contacto con su coordinador a un ritmo definido por la aplicación, mediante la transmisión de un comando MAC con la solicitud los datos, utilizando CSMA-CA. El coordinador reconoce la recepción exitosa de la solicitud de datos mediante la transmisión de una trama de confirmación. Si los datos están pendientes, el coordinador transmite la trama de datos, utilizando CSMA-CA, al dispositivo. Si los datos no se encuentran pendientes, el coordinador transmite una trama de datos de longitud cero para indicar que no hay datos pendientes. El

dispositivo de la red reconoce la recepción exitosa de los datos mediante la transmisión de una trama de confirmación y se completa la transacción. [13]

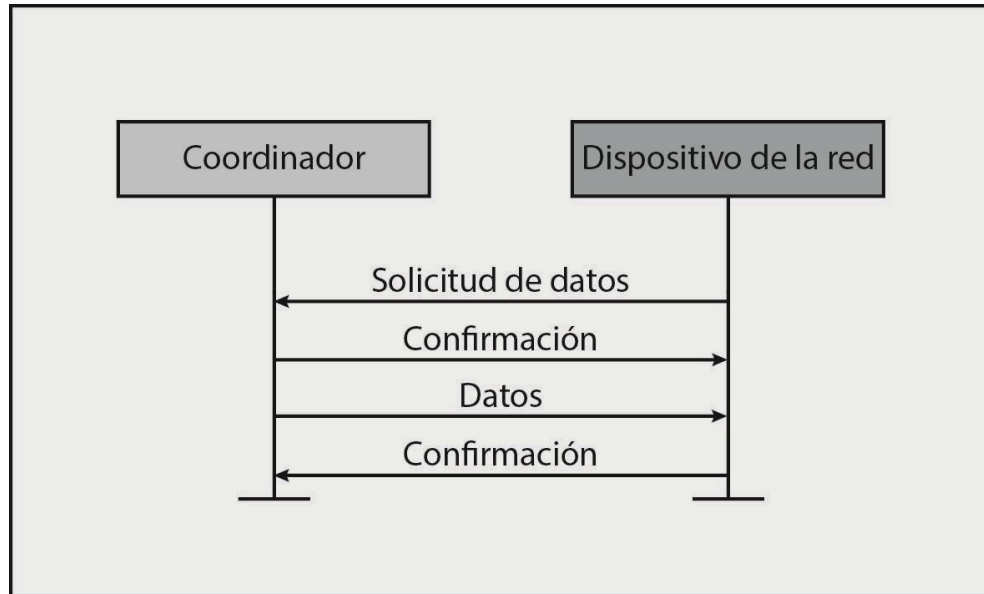


Figura 1.9 Comunicación de un coordinador en una red *beacon*-deshabilitado [13]

1.4.5.4.3 *Transferencia de datos en topología Punto a Punto*

En una PAN con topología punto a punto, cada dispositivo puede comunicarse con cualquier otro dispositivo de su área de cobertura. Con el fin de hacerlo de manera eficaz, los dispositivos que deseen comunicar tendrán que recibir ya sea constantemente o sincronizar entre sí. En el primer caso, el dispositivo simplemente puede transmitir sus datos mediante CSMA-CA. En este último caso, otras medidas deben tomarse con el fin de lograr la sincronización. Tales medidas están más allá del alcance de esta norma. [13]

1.5 VENTAJAS DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

- Cuando se implementa una WSN de gran tamaño, la norma IEEE 802.15.4 ofrece formar topologías que se ajustan al espacio de la aplicación, mediante una configuración relativamente sencilla de los dispositivos de la red. [1]
- En ambientes industriales las normas de cableado son estrictos e implican un costo y tiempo de implementación, lo que una red de sensores inalámbricos los suprimiría. [1]
- Si falla uno o varios nodos dentro de la red se puede utilizar protocolos de ruteo o de seguridad en caso de falla en la transmisión de datos. [16]
- Al extender una red de sensores inalámbricos se puede obtener una información más completa de un escenario determinado, debido a que proporciona datos del mismo espacio pero desde diferentes posiciones. [16]

1.6 ÁMBITOS DE APLICACIÓN DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

1.6.1 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

En la Industria a diferencia de una red de sensores inalámbricos estándar se deberá tener en cuenta que ningún nodo puede perderse ya que todos serán vitales para el funcionamiento de la planta. La latencia de la red deberá seguir normas industriales. Además los datos se propagarán por la red de sensores inalámbricos hasta un punto de unión cableado, desde el cual será dirigida la información hasta un controlador por medio de un bus de alta velocidad. [1]

1.6.2 AUTOMOCIÓN

En realidad la aplicación en vehículos está en desarrollo. Consistiría en enviar mensajes de alerta al conductor respecto a las carreteras o la situación de otros vehículos. [17]

1.6.3 DOMÓTICA

Al monitorear y controlar edificios de forma inalámbrica, facilitará la adquisición de datos de variables como temperatura, intensidad de luz con el fin de actuar sobre los sistemas de calefacción, aire acondicionado y luces. [17]

1.6.4 MONITORIZACIÓN AMBIENTAL

La distribución de una gran cantidad de sensores en un área natural y la adquisición de gran cantidad de datos, es una aplicación compleja para la instrumentación tradicional. Por lo tanto el uso de las redes de sensores inalámbricos se convierte en una solución efectiva y confiable para realizar investigación en ambientes naturales. [17]

1.6.5 MONITOREO DE ALMACENES

Una red de sensores inalámbricos puede ser utilizada para monitorear materiales que se encuentran en un almacén. [17]

1.6.6 ESTRATEGIA MILITAR

La investigación de las redes de sensores inalámbricos justamente comenzó en la aplicación militar. En el campo de batalla, las decisiones y la comunicación, dependerán de la información que se tenga del mismo. Una red de sensores

inalámbricos extendida en área de conflicto de proporcionará datos en tiempo real sin necesidad de montar una infraestructura previa. [17]

1.7 CONSIDERACIONES GENERALES PARA IMPLEMENTAR UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

- Frecuencia de trabajo.
- Interferencias.
- Tipos de datos a transportar.
- Volumen de datos.
- Intervalos de tiempo.
- Costos.
- El análisis de la aplicación toma un papel relevante al momento de la implementación.[1]
- La necesidad de ahorro en el consumo de energía. [1]
- La latencia de la topología que se utilizará. [1]
- La necesidad de redundancia del sistema para asegurar que la información llegue a su destino. [1]

1.8 NI WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) [25][26]

La NI WSN establece una comunicación confiable de los nodos que pueden ser energizados con baterías o con una fuente externa, cubriendo una diversidad de aplicaciones por las ventajas en adquisición de datos de alta calidad y monitoreo.

Una de las características importantes de la WSN es que puede adaptarse a los cambios del escenario en el cual se ha desplegado la red inalámbrica de sensores, por la facilidad con la que se puede reubicar los nodos. Además los dispositivos NI WSN están diseñados para funcionar en lugares de difícil acceso.

Con una WSN los costos de implementación disminuyen teniendo la misma precisión de los sistemas cableados. El cableado de cobre o Ethernet se puede convertir en un problema de costos muy elevados que requieren de normas dentro de la industria que se debe cumplir y no es un sistema flexible como un sistema inalámbrico.

1.9 RED DE SENSORES INALÁMBRICOS A IMPLEMENTARSE EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Se desarrollará un sistema de monitoreo, supervisión y seguridad del ambiente del Laboratorio de Instrumentación Industrial con la posibilidad de ser utilizada para prácticas en el laboratorio.

De acuerdo a la investigación realizada sobre la teoría de redes de sensores inalámbricos y el estándar IEEE 802.15.4, se realizará el diseño de la red donde se establecerán las consideraciones del proyecto, selección de frecuencia, interferencias, selección de topología, estimación del alcance, pérdidas por trayectoria y posicionamiento de los dispositivos de la red.

Los nodos y el gateway serán seleccionados con el propósito de formar una red de sensores inalámbricos con topología Cluster Tree utilizando el estándar IEEE 802.15.4. La topología Cluster Tree ayudará a cubrir todo el Laboratorio de Instrumentación Industrial y se procurará la correcta comunicación entre nodos.

Se configurarán los nodos y el gateway para adquirir las señales tanto analógicas como digitales de los sensores implementados en cada nodo. Los sensores medirán las siguientes variables: gases, proximidad, corriente, presencia, sonido, luz, presión, humedad y temperatura.

Con el software LabVIEW se desarrollará un HMI en el cual se podrá graficar y guardar las señales analógicas, mientras que las señales digitales serán visualizadas. Además se mostrarán y enviarán las alarmas correspondientes.

CAPÍTULO II

DISEÑO DE LA RED Y CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS

2.1 DISEÑO DE LA RED

2.1.1 CONSIDERACIONES PARA EL PROYECTO

El Laboratorio de Instrumentación Industrial carece de un sistema que permita monitorear el ambiente en que se desarrollan las diferentes prácticas, con el fin de mejorar el desarrollo de las actividades y mantener un entorno de seguridad tanto para los estudiantes como para el profesor a cargo.

La infraestructura del Laboratorio de Instrumentación Industrial no permite tener una visualización completa de todas las salas, por tal motivo un sistema de monitoreo permitiría complementar la supervisión del laboratorio.

Para tener constancia del proceso de monitoreo es necesario un registro automático de las variables medidas, para contar con un historial de la calidad del ambiente en que se realizan las actividades cada día.

El sistema de monitoreo propuesto tiene que adquirir datos tanto analógicos como digitales. Los intervalos de tiempo tanto de muestreo como de envío deben ser programables para tener control sobre el ahorro de energía de los nodos.

Otro de los propósitos del presente proyecto es contemplar una nueva forma de monitoreo y adquisición de datos, estableciendo los parámetros que se debe tomar en cuenta para implementar un sistema inalámbrico.

La implementación de una red de sensores inalámbricos en el Laboratorio de Instrumentación Industrial será utilizada también como parte de prácticas de laboratorio.

2.1.2 DESCRIPCIÓN DE INFRAESTRUCTURA DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Los espacios disponibles que deberá cubrir la red de sensores inalámbricos son la Oficina 1 y Laboratorios 1,2 y 3, que se muestran en la *Figura 2.1*.

Se ha determinado que el espacio de la Oficina 1 esté destinado para la estación base, mientras que los Laboratorios 1,2 y 3 se instalarán los nodos.

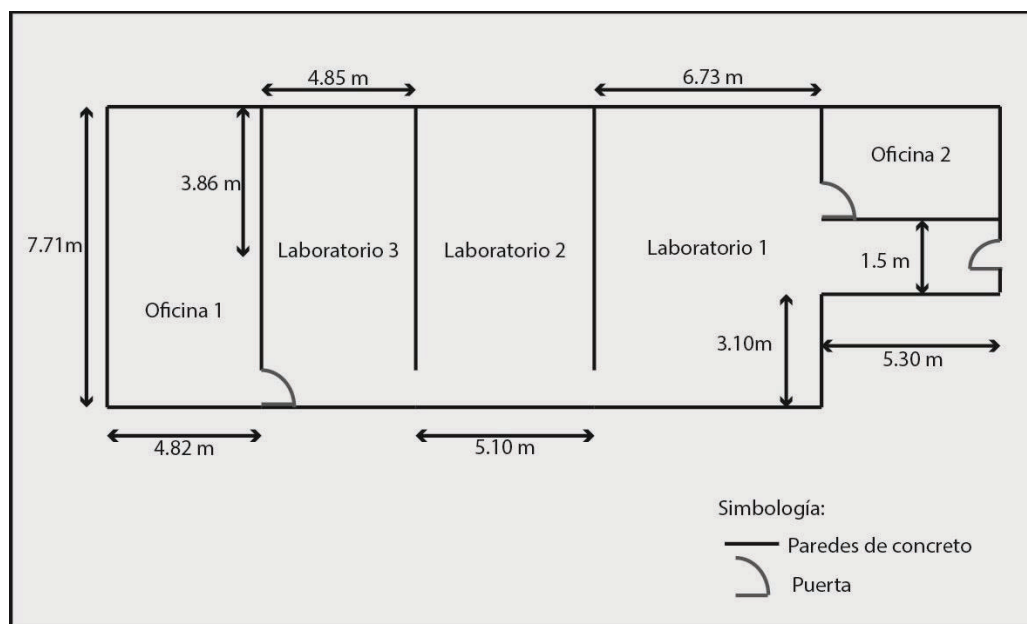


Figura 2.1 Representación gráfica del Laboratorio de Instrumentación Industrial

2.1.3 SELECCIÓN DE FRECUENCIA

El tipo de red que se propone implementar, corresponde a una LR-WPAN. La mayoría de aplicaciones a nivel mundial utilizan la frecuencia de 2.4 GHz. Las razones técnicas para trabajar en la banda de 2.4 GHz son la disponibilidad de más

canales y mayor ancho de banda [27], con lo cual se dispone una velocidad de transmisión de 250Kb/s, para transportar 12 señales analógicas con resolución de 16 bits y 12 señales digitales. Además 2.4 GHz forma parte de las bandas ISM que son reservadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas [45].

2.1.4 INTERFERENCIAS

Al seleccionar una solución inalámbrica es necesario verificar las interferencias que pueden causar problemas en la comunicación. Las frecuencias utilizadas en la banda de 2.4GHz son un buen referente para garantizar la comunicación entre los dispositivos.

Los datos de la *Tabla 2.1* son generados por la aplicación Wifi Analyzer para Android. Dicha aplicación presenta los canales utilizados en la banda de 2.4 GHz para Wi-Fi y la potencia con la cual se está receptando la señal.

La numeración de los canales para Wi-Fi no es la misma para la banda de 2.4 GHz que se usan para las LR-WPAN, por lo tanto en la *Tabla 2.2* se presentan los números de canales con las respectivas frecuencias centrales para el estándar IEEE 802.15.4.

Analizando la *Tabla 2.1* y la *Tabla 2.2* se establece que las frecuencias de Wi-Fi identificadas en el Laboratorio de Instrumentación Industrial ocasionarían posibles interferencias en las frecuencias especificadas para el estándar IEEE 802.15.4, desde 2412 MHz hasta 2462 MHz. Lo que implica que la calidad de enlace inalámbrico de la red será mucho mejor desde 2405 MHz hasta 2410 MHz y desde 2465 MHz hasta 2480 MHz.

Tabla 2.1 Canales utilizados en la banda de 2.4GHz por WiFi en el Laboratorio de Instrumentación Industrial

Identificación del espacio respecto a la Figura 2.1	Nombre de la Red Inalámbrica	Canal	Frecuencia [MHz]	Potencia [dBm]
Oficina 1	WSN	10	2457	-48
	AEPIQ	1	2412	-84
	advnets	3	2422	-81
Laboratorio 1	WSN	10	2457	-88
	AEPIQ	9	2452	-95
	SUBESTACION	11	2462	-88
	LTIC8224	7	2442	-89
	Nexxt_192C78	6	2437	-96
	enlacekao	7	2442	-93
Laboratorio 2	WSN	10	2457	-78
	AEPIQ	9	2452	-92
	advnets	3	2422	-98
	SUBESTACIÓN	11	2462	-91
	west-sis	1	2412	-95
	LTIC8224	7	2442	-97
	wpostgrado	1	2412	-95
	west-sis	1	2412	-94
	ASOCIACION	6	2437	-99
Laboratorio 3	WSN	10	2457	-90
	wpostgrado	1	2412	-80
	west-eqn	1	2412	-77
	west-elect	1	2412	-79
	west-sis	1	2412	-79
	wadminepn	1	2412	-80
	AEPIQ	9	2452	-91
	SUBESTACIÓN	11	2452	-99

Tabla 2.2 Canales en la banda de 2.4GHz por el estándar IEEE 802.15.4

Canal	Frecuencia central
11	2405
12	2410
13	2415
14	2420
15	2425
16	2430
17	2435
18	2440
19	2445
20	2450
21	2455
22	2460
23	2465
24	2470
25	2475
26	2480

2.1.5 SELECCIÓN DE LA TOPOLOGÍA

Es necesario establecer la topología adecuada con la cual la calidad de la señal de cada nodo sea la más eficiente. En la *Tabla 2.3* se muestran algunas de las ventajas y desventajas de cada topología, que ayudan a establecer la más conveniente para el Laboratorio de Instrumentación Industrial.

Tabla 2.3 Topologías de red

TOPOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ESTRELLA	<ul style="list-style-type: none"> - No presenta colisiones entre los paquetes de datos que envía cada nodo. [22] - La implementación y configuración no presentan mucha dificultad. [22] 	<ul style="list-style-type: none"> - Los nodos no se comunican entre ellos directamente, únicamente lo pueden hacer a través del Gateway. - No se puede ampliar la distancia de cobertura de la red.
ÁRBOL (CLUSTER TREE)	<ul style="list-style-type: none"> - Ciertos nodos son configurados como nodos router para poder extender la distancia de la red ya que estos permiten que los nodos finales se conecten a través de ellos al Gateway. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se forma una sola ruta de comunicación entre los nodos y el Gateway. [22] - Los nodos router consumen mayor potencia y memoria.
MALLA	<ul style="list-style-type: none"> - Los nodos se comunican con cualquier otro nodo que se encuentre dentro de la red. 	<ul style="list-style-type: none"> - Todos los nodos consumen mayor potencia y memoria.

Tomando en cuenta la *Tabla 2.3*, se optará por escoger la topología *Árbol (Cluster Tree)*, ya que permite extender físicamente a la red. Como se puede apreciar en la *Figura 2.1* el Laboratorio de Instrumentación Industrial cuenta con cuatro espacios disponibles para la implementación con relativamente cortas dimensiones pero las paredes que dividen a los espacios atenúa la señal tanto de los nodos como del gateway, por lo que es necesario ampliar la cobertura de la red a lo largo de todo el laboratorio. La *Figura 2.2* muestra la posición de los nodos y el flujo de comunicación, tomando en cuenta que los nodos 3 y 2 son configurados como

routers y el nodo 1 como nodo final. Con esta topología no se compromete el consumo excesivo de energía y memoria de todos los dispositivos como en la topología malla, y tampoco privaremos a ciertos dispositivos de la red que se puedan comunicar entre ellos como sucede con la topología estrella.

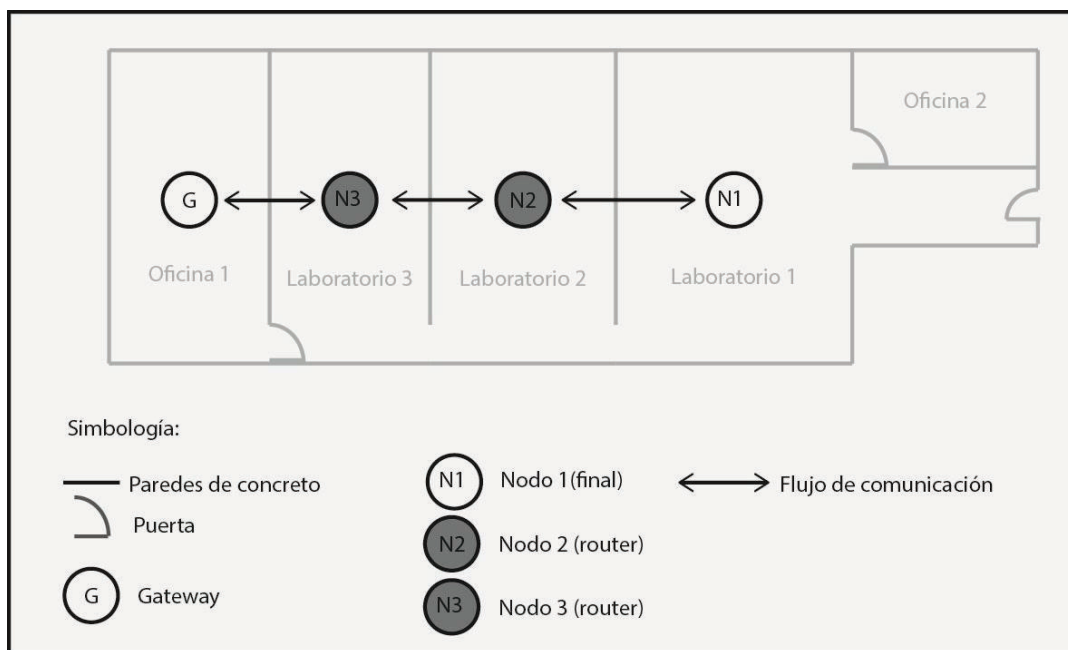


Figura 2.2 Representación de una red inalámbrica con topología Cluster Tree en el Laboratorio de Instrumentación Industrial

2.1.6 SOLUCIÓN

En el Laboratorio de Instrumentación Industrial es conveniente implementar una Red de Sensores Inalámbricos con topología Cluster Tree.

La comunicación de la red cumple con las características propias del estándar 802.15.4.

El enlace inalámbrico se establece en la banda de 2.4 GHz con una mejor calidad de enlace desde 2405 MHz hasta 2410 MHz y desde 2465 MHz hasta 2480 MHz.

2.1.7 EQUIPOS NI WSN CON EL ESTÁNDAR 802.15.4

Se presentan a los dispositivos NI WSN 3202 como los tres nodos, así como también al NI 9792 como gateway de la red.

Los equipos para formar una WSN de National Instruments manejan en su comunicación el estándar IEEE 802.15.4, facilita la programación, adquisición de datos, configuración, formación de topologías y elaboración de HMI.

Los nodos NI WSN 3202 (Ver *Figura 2.3*) tienen la ventaja que pueden ser programables para personalizar su comportamiento, como ajuste del intervalo de muestreo, configuración de entradas y salidas, ajustes en la transmisión y recepción de información o ajustes al momento de la conexión o desconexión de la red.

Además se los puede configurar de forma inalámbrica como nodos finales o como router con el software NI MAX. Se los puede energizar con cuatro pilas AA o con fuente externa de 9 a 30 VDC a una potencia máxima de 2W. Tienen cuatro entradas analógicas con rangos de voltajes de ± 10 , ± 5 , ± 2 , ± 0.5 V y cuatro entradas/salidas digitales. [18][19]



Figura 2.3 Nodo NI WSN 3202

El gateway NI 9792 (Ver Figura 2.4) soporta 8 nodos en topología estrella y hasta 36 nodos en topología malla, posee una memoria RAM de 256 MB, puerto Ethernet para su configuración, comunicación y programación. Se lo puede energizar con voltaje DC de 9 a 35 V. [20][21]

Aparte de las ventajas técnicas que ofrecen los dispositivos NI WSN, cabe mencionar que la Escuela Politécnica Nacional posee una licencia de LabVIEW 2013 y trabaja con equipos de National Instruments. Tanto el software como hardware tienen relación con los conocimientos impartidos en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Control. Por lo antes mencionado el presente proyecto servirá para desarrollar prácticas en el Laboratorio de Instrumentación Industrial.



Figura 2.4 Gateway NI 9792

2.1.8 CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS DEL NODO NI WSN 3202 [18]

Modo de radio: IEEE 802.15.4

Banda de frecuencia: ISM (Industrial, Scientific and Medical) 2.4 GHz (2400 MHz a 2483.5 MHz)

Potencia de TX:

+17 dBm max (Américas)

+10 dBm max (International)

Rango:

Sobre los 300m (Américas)

Sobre los 150m (International)

Sensibilidad de recepción: -102 dBm

Antena:

Directividad Omnidireccional

2.1.9 CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS DEL GATEWAY NI 9792 [20]

Modo de radio: IEEE 802.15.4

Banda de frecuencia: ISM (Industrial, Scientific and Medical) 2.4 GHz (2400 MHz a 2483.5 MHz)

Potencia de TX:

+17 dBm max (Américas)

+10 dBm max (Europa/Asia)

Rango:

Sobre los 300m (Américas)

Sobre los 150m (Europa/Asia)

Sensibilidad de recepción: -102 dBm

Antena:

Directividad Omnidireccional

2.1.10 ESTIMACIÓN DEL ALCANCE

Para realizar un posicionamiento seguro y eficiente tanto de los nodos como del gateway, se calcula las distancias máximas entre los dispositivos teniendo en cuenta el exponente de pérdidas por trayectoria, el margen de desvanecimiento y la atenuación de la señal, para el caso particular del Laboratorio de Instrumentación Industrial.

Referencia [23] presenta para calcular el rango estimado (R, en metros) entre dos dispositivos, la siguiente ecuación:

$$R = 10^{\left(\frac{P_0 - F_m - P_r - 10 * n * \log_{10}(f) + 30 * n - 32.44}{10 * n}\right)} \quad (2.1)$$

Donde,

P_0 (dBm): Potencia de transmisión

P_r (dBm): Sensibilidad del receptor

n : Exponente de pérdidas por trayectoria (Ver *Tabla 2.3*)

F_m (dB): Margen de desvanecimiento (Referencia [23] señala que para aplicaciones de interior o “*indoor*” este parámetro puede estar entre 6 a 10 dB)

f (MHz): Frecuencia de la señal

La *Tabla 2.4* ayuda a determinar el exponente de pérdidas por trayectoria más adecuado para el Laboratorio de Instrumentación Industrial.

Tabla 2.4 Exponente de pérdidas por trayectoria para diferentes ambientes [23]

n	Ambiente
2.0	Espacio libre
1.6 a 1.8	Dentro de un edificio, con línea de vista
1.8	Tienda de comestibles
1.8	Edificio para fábrica de cereales o papel
2.09	Típica sala de conferencias de 15x7.6m con mesas y sillas
2.2	Tienda al por menor
2 a 3	Dentro de una fábrica, sin línea de vista
2.8	Interior residencial
2.7 a 4.3	Dentro de un edificio típico de oficina, sin línea de vista

2.1.10.1 Cálculos para determinar la distancia máxima entre los dispositivos

Los cuatro dispositivos tienen las mismas características inalámbricas por lo que es suficiente realizar un solo cálculo con los respectivos límites de los rangos que presentan los parámetros de los dispositivos.

Se considera que los dispositivos se distribuyen en un ambiente que se asemeja al de oficinas.

Se calcula el alcance con los siguientes datos:

$$P_o = +17 \text{ dBm}$$

$$P_r = -102 \text{ dBm}$$

$n = 2.7$ a 4.3 (Dentro de un edificio típico de oficina, sin línea de vista. Ver Tabla 2.2)

$$F_m = 6 \text{ a } 10 \text{ dB}$$

f = frecuencias en MHz de la *Tabla 2.2*

Ejemplo de cálculo:

Con $n = 2.7$, $F_m = 6$ y $f = 2405$ MHz

$$R = 10^{\left(\frac{17 - 6 - (-102) - 10 * 2.7 * \log_{10}(2405) + 30 * 2.7 - 32.44}{10 * 2.7}\right)}$$

$$R = 400.49 \text{ m}$$

En la *Tabla 2.5* se presentan los resultados de las distancias para todos los canales de la banda de 2.4 GHz del estándar IEEE 802.15.4. Se calcula para los límites de los rangos de F_m y n .

Analizando los resultados obtenidos en la *Tabla 2.5*, la máxima distancia que se va a considerar al momento de posicionar a los nodos en el Laboratorio de Instrumentación Industrial será de $R=24.32\text{m}$, debido a que dicha distancia es

considerada con los valores más altos de F_m y n , en otras palabras considerando la peor condición en un escenario sin línea de vista y similar al interior de un edificio típico de oficina.

Tabla 2.5 Resultados de los cálculos de distancias en los canales de la banda de 2,4 GHz para el estándar IEEE 802.15.4

Frecuencia [MHz]	R[m]			
	Fm=6 dB	Fm=6 dB	Fm=10 dB	Fm=10 dB
	n=2.7	n=4.3	n=2.7	n=4.3
2405	400.49	31.07	284.73	25.08
2410	399.66	31.01	284.14	25.03
2415	398.83	30.94	283.56	24.98
2420	398.00	30.88	282.97	24.93
2425	397.18	30.82	282.39	24.87
2430	396.37	30.75	281.81	24.82
2435	395.55	30.69	281.23	24.77
2440	394.74	30.63	280.65	24.72
2445	393.94	30.56	280.08	24.67
2450	393.13	30.50	279.50	24.62
2455	392.33	30.44	278.94	24.57
2460	391.53	30.38	278.37	24.52
2465	390.74	30.32	277.80	24.47
2470	389.95	30.25	277.24	24.42
2475	389.16	30.19	276.68	24.37
2480	388.38	30.13	276.12	24.32

2.1.11 PÉRDIDAS POR TRAYECTORIA Y POSICIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

Al tener como referencia $R=24.32\text{m}$ se puede establecer la distancia y posición de los nodos y el gateway. Considerando la máxima distancia a la que pueden estar los

dispositivos, los sensores de presencia y de gases de cada nodo, y la comodidad para el desarrollo normal de las actividades realizadas en los diferentes laboratorios; en la *Figura 2.5* se presenta la distribución de los dispositivos con las respectivas medidas.

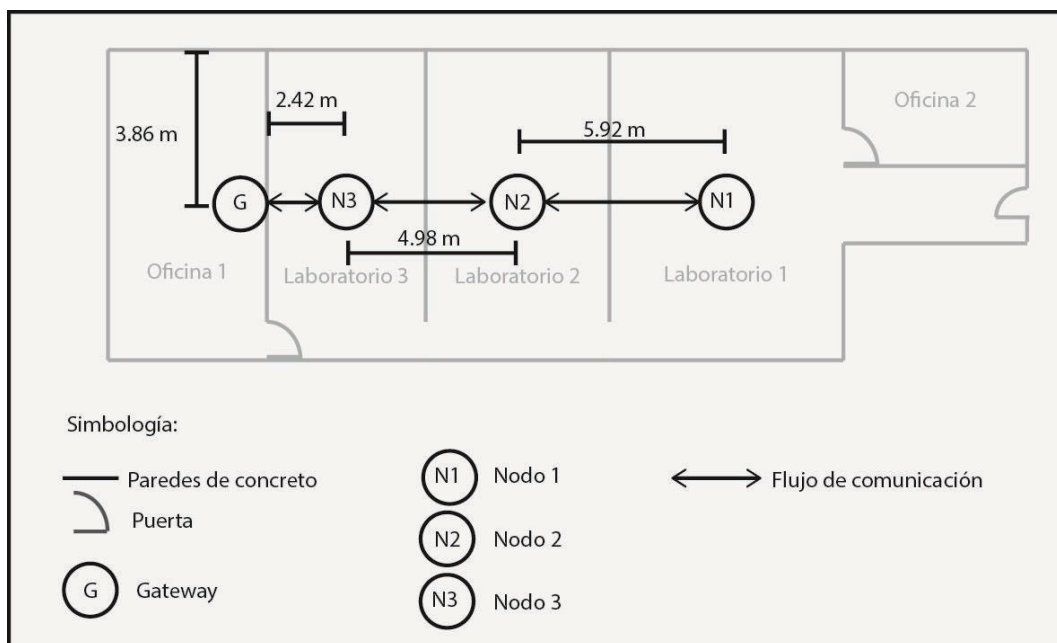


Figura 2.5 Posicionamiento de los dispositivos de red de sensores inalámbricos con topología Cluster Tree en el Laboratorio de Instrumentación Industrial

Las distancias entre los dispositivos permiten calcular las potencias de la señal a una determinada distancia para poder realizar las mediciones con un analizador de espectros y así confirmar los valores calculados.

Referencia [23] presenta la ecuación (2.2) para calcular la potencia a una distancia d , en función de n, f y d . Es importante señalar que la ecuación es resultado de varios experimentos para que sea utilizada en aplicaciones de “indoor”.

$$P_d = P_0 - 10 * n * \log_{10}(f) - 10 * n * \log_{10}(d) + 30 * n - 32.44 \quad (2.2)$$

Donde,

P_d : es la potencia de la señal (en dBm) a una distancia d

P_0 : es la potencia de la señal (en dBm) a una distancia cero de la antena

f : es la frecuencia de la señal en MHz

d : es la distancia (en metros) desde la antena

n : llamado exponente de pérdidas por trayectoria (path-loss exponent)

Usando la ecuación (2.2) se presentan los siguientes cálculos en base a la *Figura 2.5* para calcular P_d a las distancias respectivas, considerando los siguientes datos:

$P_0 = +17$ dBm

$P_r = -102$ dBm

$n = 2.7$ a 4.3 (Dentro de un edificio típico de oficina, sin línea de vista. Ver *Tabla 2.2*)

$f =$ frecuencias en MHz de la *Tabla 2.2*

Ejemplo de cálculo:

Para $d = 2.42$ m, $n = 2.7$, $f = 2405$ MHz

$$P_d = 17 - 10 * 2.7 * \log_{10}(2405) - 10 * 2.7 * \log_{10}(2.42) + 30 * 2.7 - 32.44$$

$$P_d = -36.09 \text{ dBm}$$

En la *Tabla 2.6* se presentan los resultados de las potencias de la señal a las distancias que se presentan en la *Figura 2.5*. Se calcula para los límites de los rangos de n .

Analizando los cálculos anteriores, se observa que todas las potencias de la señal a las diferentes distancias y con la variación de los parámetros, son menores a -102 dBm que corresponde a la sensibilidad de recepción de los dispositivos. Por lo tanto es posible establecer un enlace inalámbrico entre los dispositivos con las características de la infraestructura del Laboratorio de Instrumentación Industrial.

Tabla 2.6 Resultados de los cálculos de las potencias de la señal en los canales de la banda de 2,4 GHz para el estándar IEEE 802.15.4

Frecuencia [MHz]	Pd [dBm]					
	R=2.42m	R=2.42m	R=4.98m	R=4.98m	R=5.92m	R=5.92m
	n=2.7	n=4.3	n=2.7	n=4.3	n=2.7	n=4.3
2405	-36.09	-48.33	-44.56	-61.81	-46.58	-65.04
2410	-36.12	-48.37	-44.58	-61.85	-46.61	-65.08
2415	-36.14	-48.41	-44.60	-61.89	-46.63	-65.12
2420	-36.17	-48.45	-44.63	-61.92	-46.66	-65.15
2425	-36.19	-48.49	-44.65	-61.96	-46.68	-65.19
2430	-36.21	-48.53	-44.68	-62.00	-46.70	-65.23
2435	-36.24	-48.56	-44.70	-62.04	-46.73	-65.27
2440	-36.26	-48.60	-44.72	-62.08	-46.75	-65.31
2445	-36.29	-48.64	-44.75	-62.12	-46.78	-65.35
2450	-36.31	-48.68	-44.77	-62.16	-46.80	-65.38
2455	-36.33	-48.72	-44.80	-62.19	-46.82	-65.42
2460	-36.36	-48.75	-44.82	-62.23	-46.85	-65.46
2465	-36.38	-48.79	-44.84	-62.27	-46.87	-65.50
2470	-36.41	-48.83	-44.87	-62.31	-46.90	-65.54
2475	-36.43	-48.87	-44.89	-62.34	-46.92	-65.57
2480	-36.45	-48.91	-44.92	-62.38	-46.94	-65.61

2.2 VARIABLES DE CADA NODO

En todos los nodos se encuentran sensores de gas, de presencia y proximidad. Los sensores de gas son destinados a la seguridad en caso de incendio en el laboratorio. Los sensores de presencia colaboran en la supervisión de personas que se

encuentran dentro del laboratorio. Por último los sensores de proximidad indican que los nodos se encuentran en su posición correcta.

Los sensores de sonido, luz, presión, humedad y temperatura son usados para tener información del ambiente en que se desarrollan las actividades en el laboratorio.

El sensor de corriente presenta una variable relevante dentro del consumo de corriente de los sensores de gas, que debe ser considerada al momento de implementar este tipo de sensores.

La numeración de los nodos que se realiza a continuación se hace referencia a la *Figura 2.5*.

2.2.1 VARIABLES DEL NODO 1

Gases, proximidad, presencia, sonido.

2.2.2 VARIABLES DEL NODO 2

Luz, presión, humedad, sonido, gas, proximidad y presencia.

2.2.3 VARIABLES DEL NODO 3

Luz, corriente, temperatura, gas, proximidad y presencia.

2.3 SENSORES

2.3.1 MÓDULO SENSOR DE GAS MQ-135

El sensor MQ-135 se usa para control de calidad del aire en edificios u oficinas, es adecuado para detectar NH₃, NO_x, alcohol, benceno, humo, CO₂, etc. Su alimentación es de 5V±0.1 DC o AC y se recomienda conectar una resistencia de alrededor de 20KΩ (de 10KΩ a 47KΩ) en su salida. [28]

Como se observa en la *Figura 2.6 (b)*, el módulo tiene cuatro pines: VCC, GND, AO y DO. El pin AO es el que proporciona la salida analógica del sensor.

Para obtener valores de voltaje de salida que sirvan como referencia para establecer una condición normal del ambiente, un caso de incendio o la presencia de un líquido combustible; se procede a probar el sensor sin exponerlo a ninguna sustancia que representa una condición normal del ambiente, con humo de papel quemado para simular un incendio y con un líquido combustible como es el Thinner. El procedimiento antes mencionado se aplica también a los sensores MQ-2, MQ-9 y MQ-7, que se presentan más adelante.

Se realizaron pruebas de respuesta del sensor en las condiciones mencionadas anteriormente, obteniendo en una condición normal del ambiente 0.208 V, con humo de papel quemado 2.19 V y con Thinner 3.65 V.

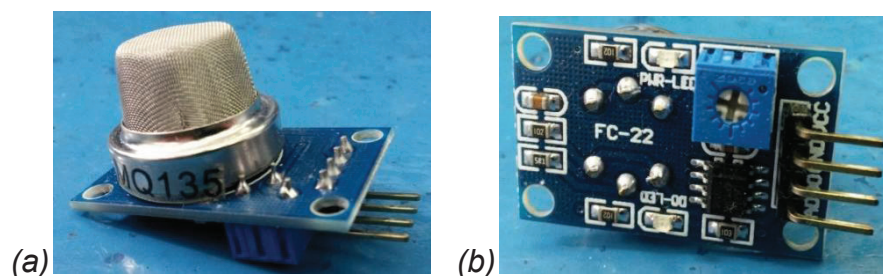


Figura 2.6 Módulo sensor de gas MQ-135. (a) Vista superior (b) Vista inferior

Referencia [46] muestra que el valor promedio de concentración de CO₂ en la atmósfera fue de 398.55 ppm, este valor se asume como referencia cuando el sensor entrega los 0.208 V bajo condiciones normales.

Para determinar R_s se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{R_s}{R_L} = \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} \quad (2.3)$$

Donde:

V_c : voltaje de alimentación del sensor

V_{RL} : voltaje en la resistencia de carga (voltaje de salida del sensor)

R_L : $20K\Omega$

R_s : resistencia del sensor a una determinada concentración de gas

El valor de R_s para 398.55 ppm de CO_2 calculado es de 460769.23Ω .

La ecuación para el gráfico que corresponde a la concentración de CO_2 en ppm de la hoja de datos del MQ-135, se la obtiene mediante una tendencia o regresión de tipo potencial calculada en Microsoft Excel y es la siguiente:

$$\frac{R_s}{R_o} = 5.169 * ppm^{-0.33} \quad (2.4)$$

Donde:

R_s : resistencia del sensor a 398.55 ppm de CO_2

R_o : resistencia del sensor a 100ppm de NH_3 en aire limpio

ppm: concentración de CO_2 en ppm

El valor de R_o calculado es de 643037.45Ω

La ecuación en función del voltaje de salida del sensor es:

$$ppm = \left[\frac{(5 - V_{RL}) * 20000}{V_{RL} * 3323860.57} \right]^{-3.03} \quad (2.5)$$

Donde:

ppm: concentración de CO_2 en ppm

VRL: voltaje en la resistencia de carga (voltaje de salida del sensor)

2.3.2 SENSOR DE GAS MQ-2

El sensor MQ-2 se usa en la detección de fugas de gas en el hogar y en la industria. Es adecuado para detectar GLP, i-butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno, humo. Su alimentación es de $5V \pm 0.1$ DC o AC y se recomienda conectar una resistencia de alrededor de $20K\Omega$ (de $5K\Omega$ a $47K\Omega$) en su salida. [29]

Como se aprecia en la *Figura 2.7 (b)*, el módulo tiene cuatro pines: VCC, GND, AO y DO. El pin AO es el que proporciona la salida analógica del sensor.

Se realizaron pruebas de respuesta del sensor en las condiciones mencionadas en la sección 2.3.1, obteniendo en una condición normal del ambiente 0.34 V, con humo de papel quemado 3.02 V y con Thinner 3.47 V.

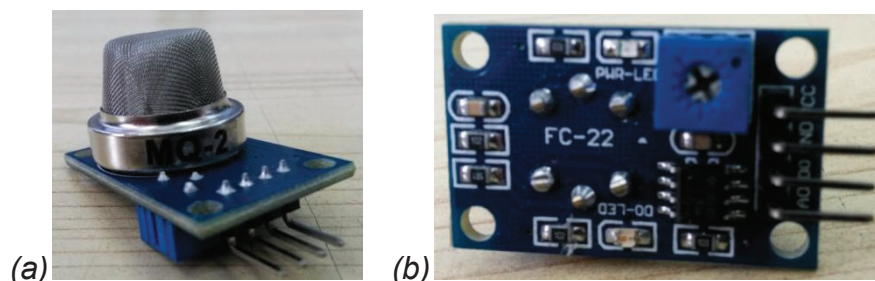


Figura 2.7 Módulo sensor de gas MQ-2. (a) Vista superior (b) Vista inferior

2.3.3 SENSOR DE GAS MQ-9

El sensor MQ-9 se usa en la detección de gas de monóxido de carbono, el CH_4 y GLP, tanto en el hogar como en la industria. Su alimentación es de $5V \pm 0.1$ DC o AC y se recomienda conectar una resistencia de alrededor de $20K\Omega$ (de $10K\Omega$ a $47K\Omega$) en su salida. [30]

Como se aprecia en la *Figura 2.8 (b)*, el módulo tiene cuatro pines: VCC, GND, AO y DO. El pin AO es el que proporciona la salida analógica del sensor.

Se realizaron pruebas de respuesta del sensor en las condiciones mencionadas en la sección 2.3.1, obteniendo en una condición normal del ambiente 0.75 V, con humo de papel quemado 2.38 V y con Thinner 3.39 V.

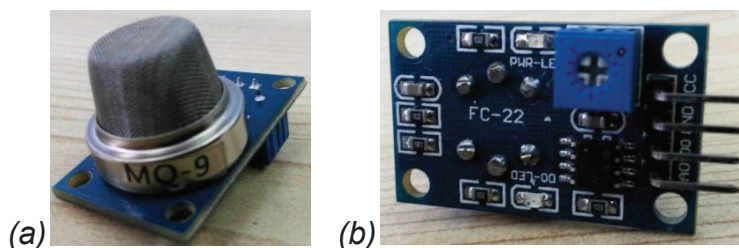


Figura 2.8 Módulo sensor de gas MQ-9. (a) Vista superior (b) Vista inferior

Referencia [47] muestra que una atmósfera no contaminada la concentración de monóxido de carbono es muy baja y estable de 0.1 ppm, este valor se asume como referencia cuando el sensor entrega los 0,75 V bajo condiciones normales.

Para determinar R_s se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{R_s}{R_L} = \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} \quad (2.6)$$

Donde:

V_c : voltaje de alimentación del sensor

V_{RL} : voltaje en la resistencia de carga (voltaje de salida del sensor)

R_L : 10K Ω

R_s : resistencia del sensor a una determinada concentración de gas

El valor de R_s para 0.1 ppm de CO calculado es de 56666.67 Ω .

La ecuación para el gráfico que corresponde a la concentración de CO en ppm de la hoja de datos del MQ-9, se la obtiene mediante una tendencia o regresión de tipo potencial calculada en Microsoft Excel y es la siguiente:

$$\frac{R_s}{R_o} = 22.06 * ppm^{-0.48} \quad (2.7)$$

Donde:

R_s : resistencia del sensor a 0.1 ppm de CO

R_o : resistencia del sensor a 1000ppm de LPG en aire limpio

ppm: concentración de CO en ppm

El valor de R_o calculado es de 850.59 Ω .

La ecuación en función del voltaje de salida del sensor es:

$$ppm = \left[\frac{(5-VRL)*10000}{VRL*18764.02} \right]^{-2.083} \quad (2.8)$$

Donde:

ppm: concentración de CO en ppm

VRL: voltaje en la resistencia de carga (voltaje de salida del sensor)

2.3.4 SENSOR DE GAS MQ-7

El sensor de gas MQ-7 se usa para detectar gas de monóxido de carbono (CO) en el hogar y en la industria. Su alimentación es de 5V \pm 0.1 DC o AC y se recomienda conectar una resistencia de alrededor de 10K Ω (de 5K Ω a 47K Ω) en su salida. [31]

Como se observa en la *Figura 2.9*, el módulo tiene tres pines: S, GND y VCC. El pin S es el que proporciona la salida analógica del sensor.

Se realizaron pruebas de respuesta del sensor en las condiciones mencionadas en la sección 2.3.1, obteniendo en una condición normal del ambiente 31 mV, con humo de papel quemado 48 mV y con Thinner 0.110 V.

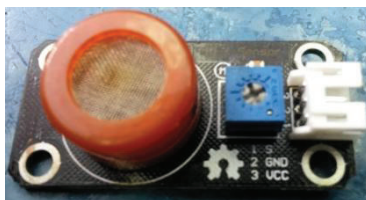


Figura 2.9 Módulo sensor de gas MQ-7

Referencia [48] muestra que en la atmósfera existe una concentración de H₂ de 1 ppm, este valor se asume como referencia cuando el sensor entrega los 0,031 V bajo condiciones normales.

Para determinar R_s se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{R_s}{R_L} = \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} \quad (2.9)$$

Donde:

V_c: voltaje de alimentación del sensor

V_{RL}: voltaje en la resistencia de carga (voltaje de salida del sensor)

R_L: 10KΩ

R_s: resistencia del sensor a una determinada concentración de gas

El valor de R_s para 1 ppm de H₂ calculado es de 1602903.23Ω.

La ecuación para el gráfico que corresponde a la concentración de H₂ en ppm de la hoja de datos del MQ-7, se la obtiene mediante una tendencia o regresión de tipo potencial calculada en Microsoft Excel y es la siguiente:

$$\frac{R_s}{R_o} = 24.93 * ppm^{-0.74} \quad (2.10)$$

Donde:

Rs: resistencia del sensor a 1 ppm de H2

Ro: resistencia del sensor a 100ppm de CO en aire limpio

ppm: concentración de H2 en ppm

El valor de Ro calculado es de 64296.15Ω.

La ecuación en función del voltaje de salida del sensor es:

$$ppm = \left[\frac{(5-VRL)*10000}{VRL*1602903.02} \right]^{-1.35} \quad (2.11)$$

Donde:

ppm: concentración de H2 en ppm

VRL: voltaje en la resistencia de carga (voltaje de salida del sensor)

2.3.5 MÓDULO SENSOR INFRARROJO DE PROXIMIDAD PARA ARDUINO

Como se observa en la *Figura 2.10*, el módulo tiene tres pines: VCC, GND y OUT. Su alimentación en el pin VCC es de 5V DC. El pin OUT es el que proporciona la salida digital del sensor.

En el caso de detectar un objeto el estado del pin OUT pasa a cero lógico y cuando no hay un objeto delante de los diodos, su estado es de uno lógico.

Se calibra el sensor para una distancia de 7cm. Si se extrae el nodo, el sensor envía una señal de uno lógico.



Figura 2.10 Módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino

2.3.6 MÓDULO SENSOR PIR DE PRESENCIA SURE ELECTRONICS

El sensor PIR de *SURE electronics* detecta presencia a una distancia de 7 m con un ángulo de 110°. [32]

Su cobertura es suficiente para detectar presencia en el Laboratorio de Instrumentación Industrial. En la *Figura 2.11* se presentan las longitudes desde el techo hasta las entradas del Laboratorio 1, 2 y 3, que son de 4.46m, 4.89m y 4.57m, con ángulos de 41.09°, 46.58° y 42.7°, respectivamente.

Como se observa en la *Figura 2.12 (b)* el módulo tiene tres pines: VCC, GND y VOUT. Su alimentación en el pin VCC es de 5V DC. El pin VOUT es el que proporciona la salida digital del sensor. Cuando el sensor detecta presencia el pin VOUT se mantiene por 3 segundos en uno lógico y luego vuelve a cero lógico.

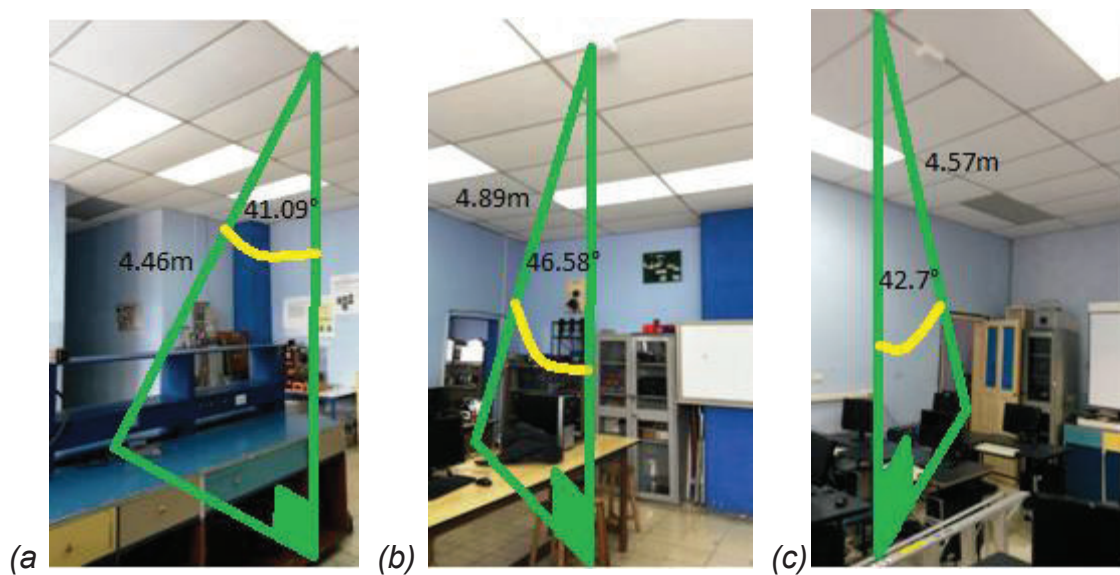


Figura 2.11 Longitudes y ángulos para la detección de presencia (a) Laboratorio 1 (b) Laboratorio 2 (c) Laboratorio 3

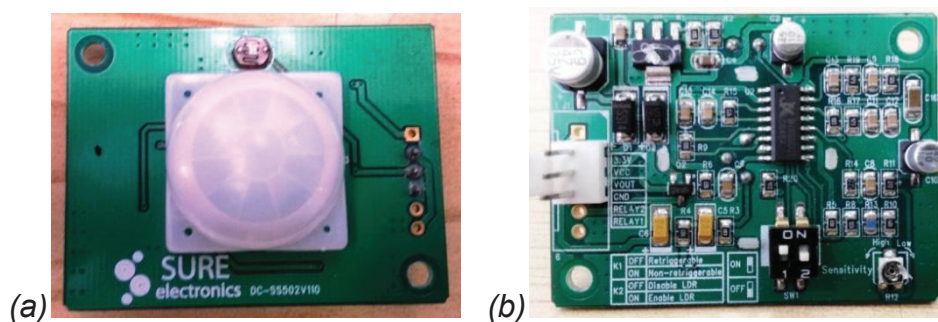


Figura 2.12 Módulo sensor PIR de presencia *SURE electronics* (a) Vista superior (b) Vista inferior

2.3.7 MÓDULO SENSOR PIR DE PRESENCIA PARA ARDUINO

El módulo sensor PIR de presencia para Arduino detecta presencia a una distancia de 6 m y con un ángulo de 110° . [33] Su cobertura es suficiente para detectar presencia en el Laboratorio de Instrumentación Industrial, teniendo en cuenta la explicación de la *Figura 2.11*.

Como se observa en la *Figura 2.13 (b)* el módulo tiene tres pines: VCC, GND y OUT. Su alimentación en el pin VCC es de 5V DC. El pin OUT es el que proporciona la salida digital del sensor. Cuando el sensor detecta presencia el pin VOUT se mantiene en uno lógico por unos 3 segundos aproximadamente y luego vuelve a cero lógico.

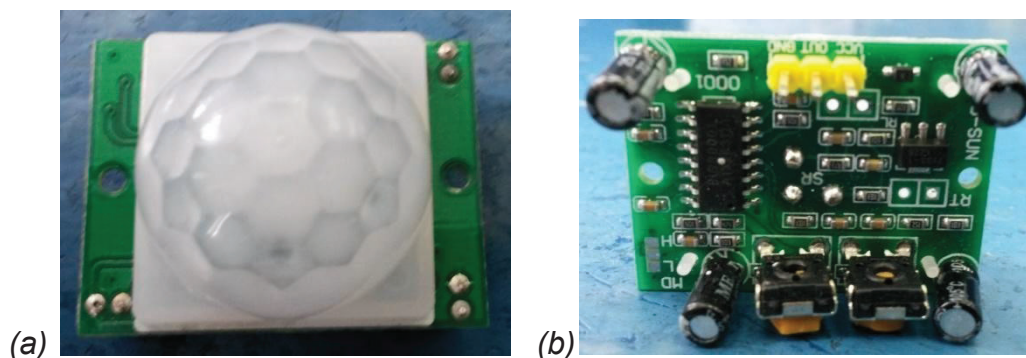


Figura 2.13 Módulo sensor PIR de presencia para Arduino (a) Vista superior (b) Vista inferior

2.3.8 MÓDULO SENSOR DE SONIDO PARA ARDUINO

El módulo sensor de sonido para Arduino posee tres pines que se los puede observar en la *Figura 2.14*, que son: +5V, GND y OUT. Su alimentación en el pin +5V es de 5V DC. El pin OUT es el que proporciona la salida analógica del sensor.

Para el sensor de sonido se realiza una ecuación lineal basada en dos mediciones experimentales con el sensor. Con 32 dB se obtiene 4.26334 V y a 78 dB se obtiene 3.82188 V. Las mediciones de sonido son realizadas con la aplicación para Android Sonómetro Sound Meter.

La ecuación lineal que resulta es:

$$S = -35.9718 * V_o + 194.9583 \quad (2.12)$$

Donde:

S: medida de sonido en [dB]

V_o : voltaje de salida del sensor en [V]

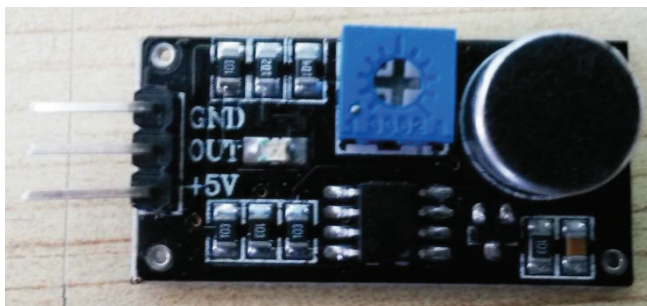


Figura 2.14 Módulo sensor de sonido para Arduino

2.3.9 SENSOR DE PRESIÓN MPX4115

El sensor de presión presenta una salida analógica con respuesta lineal de 15 a 115 kPa. En la hoja técnica del sensor se presentan tres curvas como se presenta en la *Figura 2.15*, denominadas MAX, TYP y MIN. Para presentar una ecuación más exacta de la respuesta del sensor se toma como referencia la curva TYP y se obtiene la siguiente ecuación lineal:

$$P = 22.22 * V_o + 9.44 \quad (2.13)$$

Donde:

P: Presión en [kPa]

V_o : Voltaje de salida del sensor en [V]

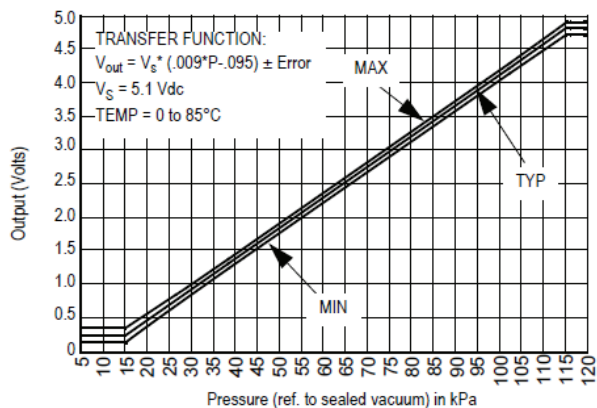


Figura 2.15 Voltaje de salida vs. Presión del sensor MPX4115 [34]

Se utiliza tres de los seis pines que posee el sensor. Los pines son numerados del 1 al 6, de derecha a izquierda, en la posición que se presenta al sensor en la *Figura 2.16*. El pin 1 corresponde al V OUT, el 2 a GROUND y el 3 a VCC; estos tres pines son lo que se utilizan para la medición. Se lo puede alimentar con un voltaje de 5.1 V típicamente.



Figura 2.16 Sensor de presión MPX4115

2.3.10 SENSOR DE INTENSIDAD DE LUZ TEMT6000

El sensor TEMT6000 es un fototransistor NPN sensible al espectro visible. [35]

El módulo que se utiliza es alimentado con 5V DC. [37] El módulo consta de tres pines como se observa en la *Figura 2.17* que son: SIG, GND y VCC.

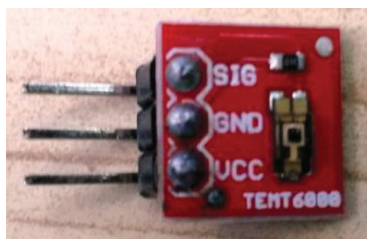


Figura 2.17 Sensor de intensidad de luz TEMT6000

La referencia que se toma es un dato experimental con el módulo en el Laboratorio de Instrumentación Industrial, obteniendo una corriente en el colector de 200uA y un voltaje entre SIG y GND de 2.31V. El dato de la corriente en el colector corresponde a 400lx según el gráfico de la *Figura 2.18*.

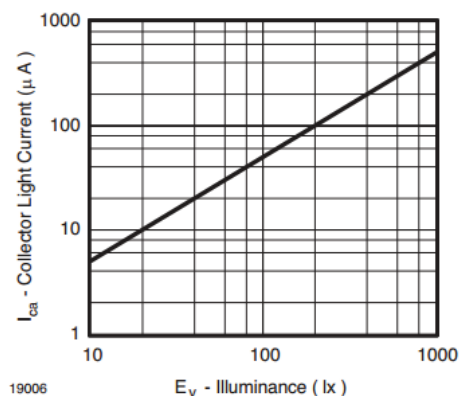


Figura 2.18 Corriente del colector vs. Iluminancia del sensor de intensidad de luz TEMT6000 [35]

Considerando el gráfico de la *Figura 2.18* se determina que:

$$E_v - \text{Illuminance}(lx) = (2 * 10^6) * I_{ca} \quad (2.14)$$

Para una resistencia de $R=10k\Omega$ en el emisor la ecuación en función del voltaje de salida V_o del sensor es:

$$E_v - \text{Illuminance}(lx) = 200 * V_o \quad (2.15)$$

2.3.11 SENSOR DE CORRIENTE ACS712

El sensor ACS712 se usa para detección de corriente AC o DC en aplicaciones industriales, comerciales y sistemas de comunicación. Las aplicaciones típicas incluyen el control motor, la detección y el manejo de carga, fuentes de alimentación conmutadas, y la protección de fallo de sobreintensidad. Al circular corriente se

genera un campo magnético que es convertido por el integrado Hall IC, en un voltaje proporcional. [36]

En la *Figura 2.19* se presenta el módulo comercial que consta en un extremo de una bornera de dos pines por donde se hace circular la corriente que se quiere medir y en el otro extremo tiene tres pines: GND, OUT y VCC. El módulo se alimenta con 5V DC y por el pin OUT se obtiene el voltaje de salida según la corriente que circule por la bornera, cuyo valor puede ser deducido en base al gráfico de la *Figura 2.20*, al ser una relación proporcional el voltaje de salida con la corriente que está siendo medida.

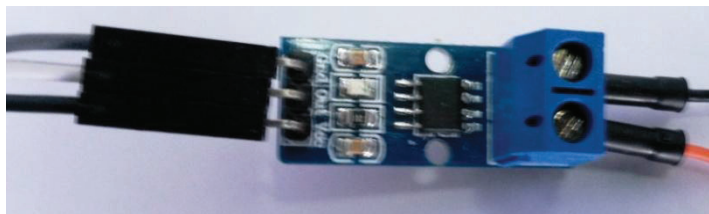


Figura 2.19 Módulo del sensor de corriente ACS712

La ecuación que se obtiene para este sensor es la siguiente:

$$I = 5 * V_o - 12.5 \quad (2.16)$$

Donde:

I: corriente en [A]

Vo: voltaje de salida del sensor en [V]

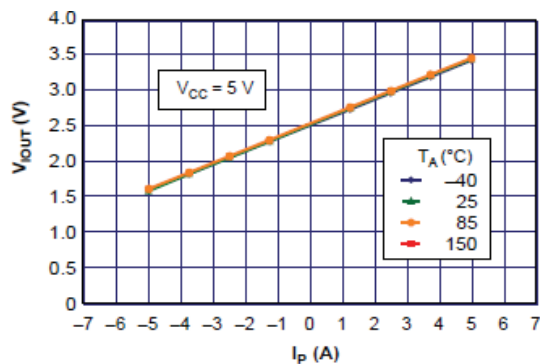


Figura 2.20 Voltaje de salida vs. Corriente medida del sensor de corriente ACS712 [36]

2.3.12 SENSOR DE HUMEDAD HIH-4030

El sensor HIH-4030 es utilizado en equipos de refrigeración, calefacción, ventilación y aire acondicionado, metrología, entre otros. Proporciona un voltaje de salida proporcional a la humedad relativa como se indica en la *Figura 2.22*. La ecuación que se obtiene para este sensor es la siguiente:

$$\%RH = 30.77 * V_o - 21.54 \quad (2.17)$$

Donde:

%RH: es el valor de la humedad relativa

Vo: es el voltaje de salida del sensor

El módulo que se utiliza con el sensor HIH-4030, se presenta en la *Figura 2.21*. El módulo tiene tres pines: 5V, OUT y GND. En el pin 5V es módulo es alimentado con 5V DC.



Figura 2.21 Módulo del sensor de humedad HIH-4030

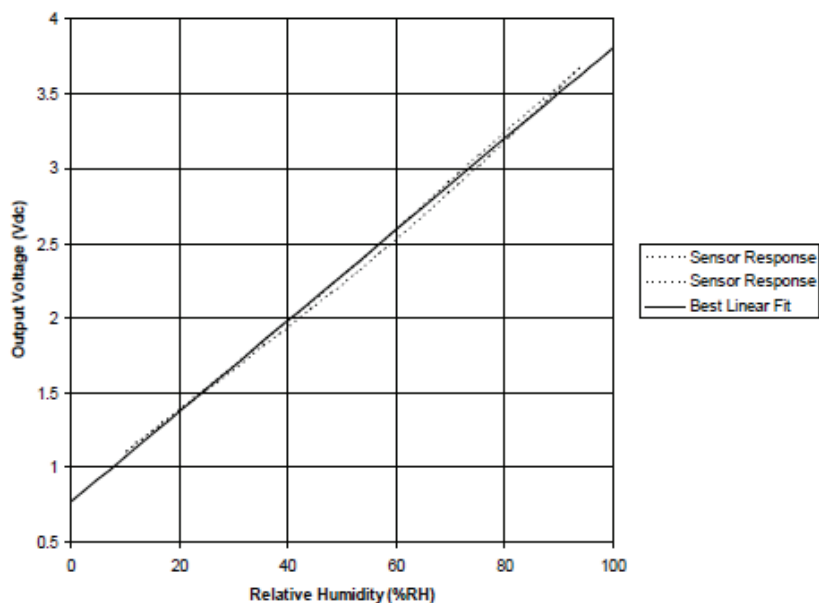


Figura 2.22 Módulo del sensor de humedad HIH-4030 [38]

2.3.13 SENSOR DE TEMPERATURA LM35

El sensor LM35 proporciona un voltaje de salida linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados. Su alimentación puede ser de 4 a 30 V. Funciona con temperaturas de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$. Su factor de escala lineal es de $+10\text{ mV} / ^{\circ}\text{C}$. [39]

El encapsulado que se utiliza es el TO-92 y tiene tres pines que son $+V_s$, V_{out} y GND, como se presenta en la *Figura 2.23 (b)*. En la *Figura 2.23 (a)* es posible apreciar al sensor real que se utiliza en el proyecto.

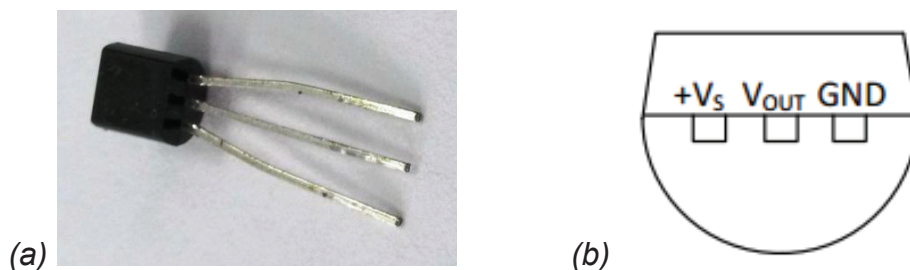


Figura 2.23 Sensor de temperatura LM35. (a) Gráfico real (b) Encapsulado TO-92 [41]

2.4 CONEXIONES

2.4.1 NODO 1

En el Nodo 1 se conectan los siguientes sensores: módulo sensor de gas MQ-135, módulo sensor de sonido para Arduino, módulo sensor de gas MQ-9, módulo sensor de gas MQ-7, módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino y el módulo sensor PIR de presencia para Arduino. La conexión de los sensores en el Nodo 1 se indica en la *Figura 2.24*.

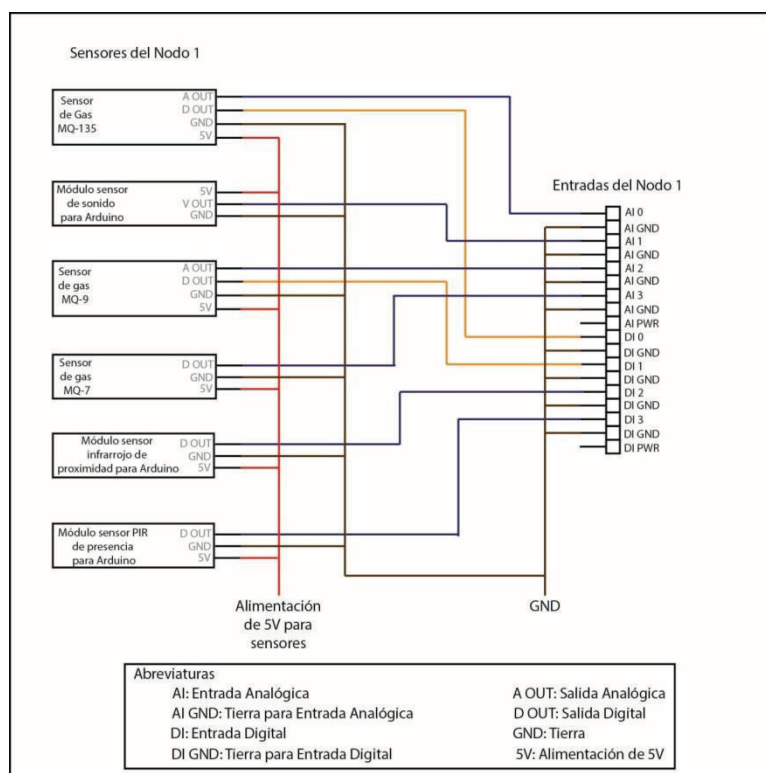


Figura 2.24 Conexiones del Nodo 1

2.4.2 NODO 2

En el Nodo 2 se conectan los siguientes sensores: Sensor de intensidad de luz TEMENT6000, sensor de humedad HIH-4030, sensor de presión MPX4115, módulo

sensor de sonido para Arduino, módulo sensor PIR de presencia *SURE electronics*, módulo sensor de gas MQ-9, módulo sensor de gas MQ-2 y el módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino. La conexión de los sensores en el Nodo 2 se indica en la *Figura 2.25*.

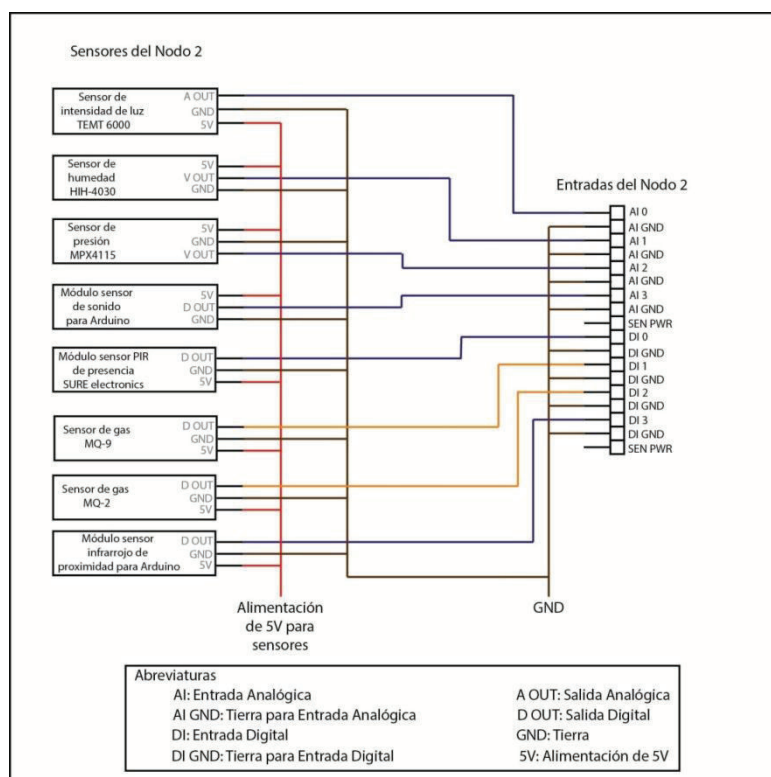


Figura 2.25 Conexiones del Nodo 2

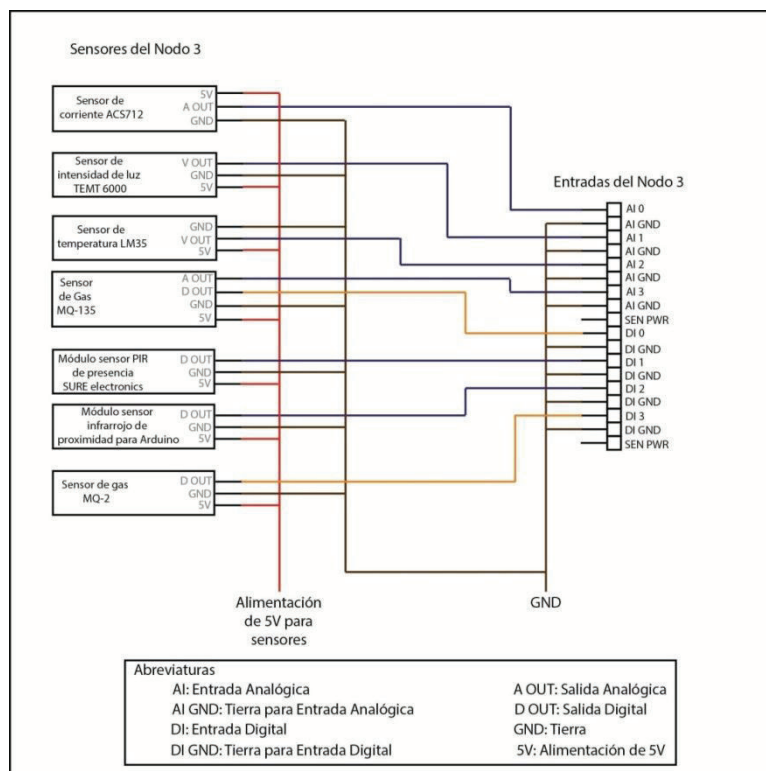


Figura 2.26 Conexiones del Nodo 3

2.4.3 NODO 3

En el Nodo 3 se conectan los siguientes sensores: sensor de corriente ACS712, sensor de intensidad de luz TEMT6000, sensor de temperatura LM35, módulo sensor de gas MQ-135, módulo sensor PIR de presencia *SURE electronics*, módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino y el módulo sensor de gas MQ-2. La conexión de los sensores en el Nodo 2 se indica en la *Figura 2.26*.

2.5 INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA LA ALIMENTACIÓN DE LOS NODOS

La opción de alimentación externa de 9 a 30 VDC que poseen los nodos NI WSN 3202, permiten alimentarlos con adaptadores.

Se considera realizar una instalación de tomacorrientes para energizar constantemente a los nodos. En la *Figura 2.27* se representa el posicionamiento de los tomacorrientes que se ubicarían el techo de cada división del laboratorio.

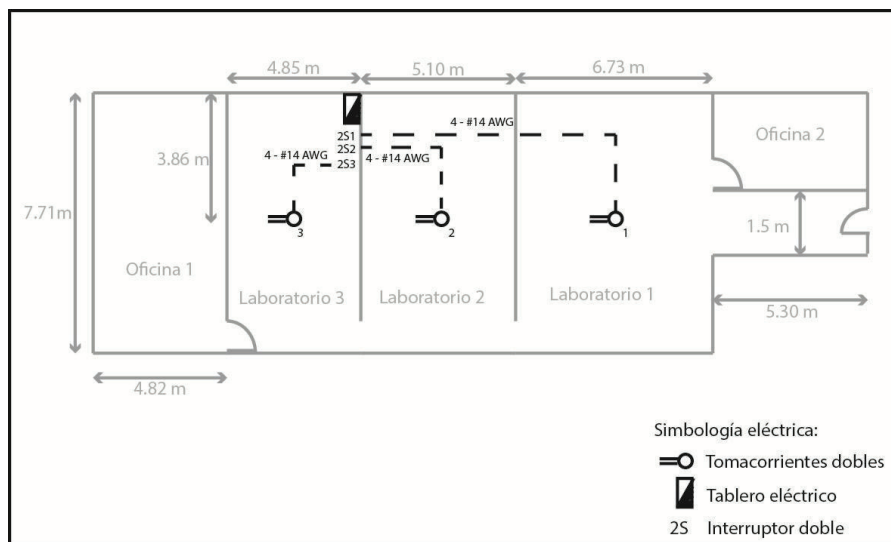


Figura 2.27 Instalación de tomacorrientes en el Laboratorio de Instrumentación Industrial

2.6 MEDICIÓN DEL CONSUMO DE CORRIENTE DE LOS SENSORES

En la *Tabla 2.7* se encuentran especificados los sensores que se utilizan para las variables propuestas en la sección 2.2, así como también los nodos y el gateway, con su respectivo consumo de corriente.

Tabla 2.7 Consumo de corrientes de sensores y equipos

Descripción	Alimentación [V]	Consumo de corriente [mA]
Módulo sensor de gas MQ-135	5	127.9
Módulo sensor de gas MQ-2	5	128.2
Módulo sensor de gas MQ-9	5	125.3
Módulo sensor de gas MQ-7	5	145.4
Módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino	5	27 (inactivo) 30.4 (activo)
Módulo sensor PIR de presencia <i>SURE electronics</i>	5	4.5 (inactivo) 6.5 (activo)
Módulo sensor PIR de presencia para Arduino	5	0.03 (inactivo) 1.01 (activo)
Módulo sensor de sonido para Arduino	5	De 1.19 a 4.96
Sensor de presión MPX4115	5	4.7
Sensor de intensidad de luz TEMT 6000	5	0.00115 (sin luz) 0.2 (con luz)
Sensor de corriente ACS712	5	12.67
Sensor de humedad HIH-4030	5	0.28
Sensor de temperatura LM35	5	0.06
Gateway NI 9792	12.32	550
Nodo NI WSN 3202	10	0.09 (nodo final) 20.6 (nodo router)

2.7 CÁLCULO DE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN

2.7.1 ALIMENTACIÓN DE LOS NODOS

Los nodos consumen más corriente cuando están configurados como router, por tal motivo se considera 20.6mA para los cálculos. La alimentación externa para los

los nodos puede ser de 9 a 30 VDC, los adaptadores comerciales por lo general son de 9, 12, 15, 18 o 24 VDC.

El adaptador de 12VDC es el más conveniente teniendo en cuenta que 9VDC es el mínimo valor de alimentación y es necesario colocar un regulador de voltaje que garantice un voltaje constante en el nodo.

Los adaptadores disponibles poseen los siguientes voltajes de salida 12.16, 11.98 y 12.11 VDC.

Haciendo referencia a la *Figura 2.7* el Nodo 1 será alimentado por el adaptador de 12.16VDC, el Nodo 2 por el de 11.98VDC y el Nodo 3 por el de 12.11VDC.

Para regular el voltaje a 10VDC es necesario calcular la potencia que debe soportar el integrado. A continuación se presentan los cálculos respectivos.

$$P_{Regulador \text{ del Nodo } 1} = (12.16 - 10)V * 20.6mA = 41.2mW$$

$$P_{Regulador \text{ del Nodo } 2} = (11.98 - 10)V * 20.6mA = 40.79mW$$

$$P_{Regulador \text{ del Nodo } 3} = (12.11 - 10)V * 20.6mA = 43.47mW$$

Considerando la hoja técnica del LM7810, dicho integrado soporta una potencia menor o igual a 15W con voltajes de entrada de 7 a 25VDC y con una corriente en la carga de 5mA a 1A.

Con el análisis anterior no se tiene problemas en utilizar el LM7810 en el circuito de la *Figura 2.28*, para regular el voltaje de alimentación de los nodos.

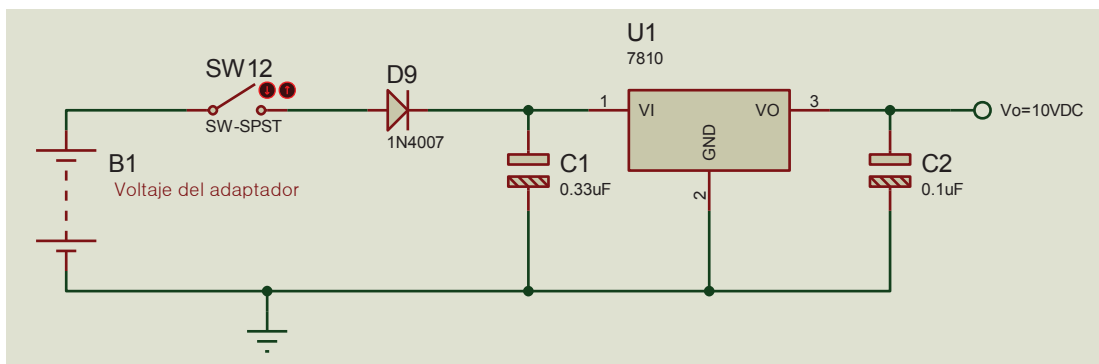


Figura 2.28 Circuito para regular el voltaje a 10VDC para cada nodo

El diodo D9 sirve como protección en caso de cambio en la polaridad del voltaje de entrada. Y los valores de los capacitores C1 y C2 de 0.33uF y 0.1uF respectivamente, son valores que el fabricante recomienda para usar el LM7810.

2.7.2 ALIMENTACIÓN DEL GATEWAY

De igual forma se usa un adaptador de 12VDC pero la corriente que consume el gateway es de 550mA. Para este caso se recurre a utilizar el zener 1N4742 para regular a 12VDC. Para este caso se utiliza el circuito de la *Figura 2.29* para realizar los cálculos.

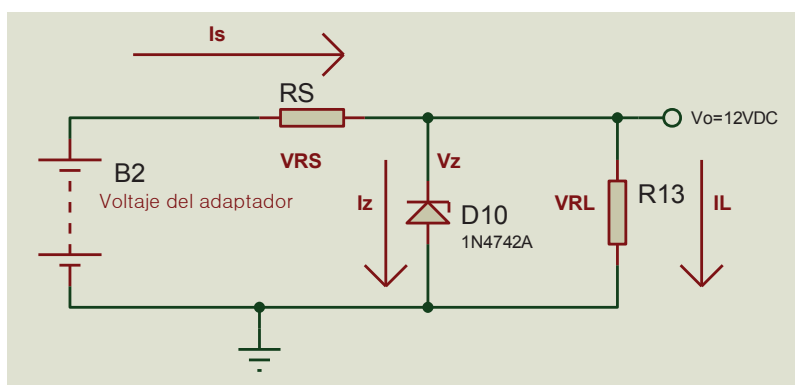


Figura 2.29 Circuito para regular el voltaje a 12VDC con zener

El adaptador destinado para la alimentación del gateway es de 12.57VDC. En la hoja técnica del 1N4742 se especifica que la máxima corriente que puede soportar es de 76mA. Para proteger al zener se hace circular por el mismo 38mA.

Entonces los datos para los cálculos son los siguientes:

$$I_z = 38mA$$

$$I_L = 550mA$$

$$V_{adaptador} = 12.57V$$

$$V_z = 12V$$

Para calcular V_{RS} :

$$V_{RS} = V_{adaptador} - V_z$$

$$V_{RS} = 12.57V - 12V = 0.57V$$

Para calcular I_S :

$$I_S = I_z + I_L$$

$$I_S = 38mA + 550mA = 588mA$$

Para calcular R_S :

$$R_S = \frac{V_{RS}}{I_S}$$

$$R_S = \frac{0.57V}{588mA} = 0.97 \Omega$$

Para calcular la potencia de R_S :

$$P_{RS} = 0.57V * 588mA = 0.335W$$

Por lo tanto $R_S = 1 \Omega$ de $\frac{1}{2}W$

2.7.3 ALIMENTACIÓN DE LOS SENSORES DEL NODO DEL LABORATORIO 1

Los sensores que se instalan son: MQ-135, MQ-7, MQ-9, módulo sensor de sonido para Arduino, módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino y módulo sensor PIR de presencia para Arduino.

Sumando las respectivas corrientes de los sensores considerando la *Tabla 2.7* la $I_L = 440.46mA$. Se usa un adaptador de 5VDC para la alimentación. El voltaje de salida del adaptador que se dispone es de 5.33VDC. Para garantizar 5.1VDC en los sensores se utiliza el zener 1N4733 y el circuito de la *Figura 2.30* para su diseño.

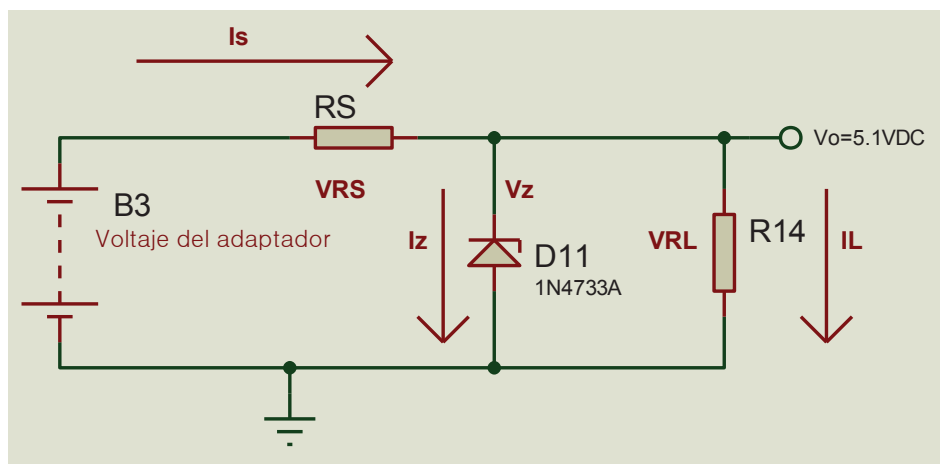


Figura 2.30 Circuito para regular el voltaje a 5.1VDC con zener

En la hoja técnica del 1N4733 se especifica que la máxima corriente que puede soportar es de 178mA. Para proteger al zener se hace circular por el mismo 89mA. Entonces los datos para los cálculos son los siguientes:

$$I_z = 89mA$$

$$I_L = 440.46mA$$

$$V_{adaptador} = 5.33V$$

$$V_z = 5.1V$$

Para calcular V_{RS} :

$$V_{RS} = V_{adaptador} - V_z$$

$$V_{RS} = 5.33V - 5.1V = 0.23V$$

Para calcular I_S :

$$I_S = I_Z + I_L$$

$$I_S = 89mA + 440.46mA = 529.46mA$$

Para calcular R_S :

$$R_S = \frac{V_{RS}}{I_S}$$

$$R_S = \frac{0.23V}{529.46mA} = 0.43 \Omega$$

Para calcular la potencia de R_S :

$$P_{RS} = 0.23V * 529.46mA = 0.122W$$

Por lo tanto $R_S = 0.5 \Omega$ de $\frac{1}{4} W$

2.7.4 ALIMENTACIÓN DE LOS SENSORES DEL NODO DEL LABORATORIO 2

Los sensores que se instalan son: MQ-2, MQ-9, sensor de intensidad de luz TEMT 6000, sensor de presión MPX4115, sensor de humedad HIH-4030, módulo sensor de sonido para Arduino, módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino y Módulo sensor PIR de presencia *SURE electronics*.

Sumando las respectivas corrientes de los sensores considerando la *Tabla 2.7* la $I_L = 300.54mA$. Se usa un adaptador de 5VDC para la alimentación. El voltaje de salida del adaptador que se dispone es de 5.31VDC. Para garantizar 5.1VDC en los sensores se utiliza el zener 1N4733 y el circuito de la *Figura 2.30* para su diseño.

Entonces los datos para los cálculos son los siguientes:

$$I_z = 89mA$$

$$I_L = 300.54mA$$

$$V_{adaptador} = 5.31V$$

$$V_z = 5.1V$$

Para calcular V_{RS} :

$$V_{RS} = V_{adaptador} - V_z$$

$$V_{RS} = 5.31V - 5.1V = 0.21V$$

Para calcular I_S :

$$I_S = I_z + I_L$$

$$I_S = 89mA + 300.54mA = 389.54mA$$

Para calcular R_S :

$$R_S = \frac{V_{RS}}{I_S}$$

$$R_S = \frac{0.21V}{389.54mA} = 0.539 \Omega$$

Para calcular la potencia de R_S :

$$P_{RS} = 0.21V * 389.54mA = 81mW$$

Por lo tanto $R_S = 0.5 \Omega$ de $\frac{1}{4}W$

2.7.5 ALIMENTACIÓN DE LOS SENSORES DEL NODO DEL LABORATORIO 3

Los sensores que se instalan son: sensor de corriente ACS712, sensor de temperatura LM35, sensor de intensidad de luz TEMT 6000, MQ-135, MQ-2, módulo

sensor infrarrojo de proximidad para Arduino y Módulo sensor PIR de presencia *SURE electronics*.

Sumando las respectivas corrientes de los sensores considerando la *Tabla 2.7* la $I_L = 305.93mA$. Se usa un adaptador de 5VDC para la alimentación. El voltaje de salida del adaptador que se dispone es de 5.35VDC. Para garantizar 5.1VDC en los sensores se utiliza el zener 1N4733 y se utiliza el circuito de la *Figura 2.30* para su diseño.

Entonces los datos para los cálculos son los siguientes:

$$\begin{aligned} I_z &= 89mA \\ I_L &= 300.93mA \\ V_{adaptador} &= 5.35V \\ V_z &= 5.1V \end{aligned}$$

Para calcular V_{RS} :

$$\begin{aligned} V_{RS} &= V_{adaptador} - V_z \\ V_{RS} &= 5.35V - 5.1V = 0.25V \end{aligned}$$

Para calcular I_S :

$$\begin{aligned} I_S &= I_z + I_L \\ I_S &= 89mA + 300.94mA = 389.94mA \end{aligned}$$

Para calcular R_S :

$$\begin{aligned} R_S &= \frac{V_{RS}}{I_S} \\ R_S &= \frac{0.25V}{389.94mA} = 0.641 \Omega \end{aligned}$$

Para calcular la potencia de R_S :

$$P_{RS} = 0.25V * 389.94mA = 97.49mW$$

Por lo tanto $R_S = 1 \Omega$ de $\frac{1}{4} W$

2.8 CONSTRUCCIÓN DE PLACAS PARA CADA NODO Y EL GATEWAY

El circuito de la fuente para la alimentación del nodo y de los sensores se implementa en una sola placa. Como se observa en la *Figura 2.31* se adicionan borneras para facilitar la conexión de los sensores al nodo, así como también interruptores para tener control manual del ingreso de las señales de cada sensor. Cada circuito tiene un diodo led que indica si hay voltaje o no.

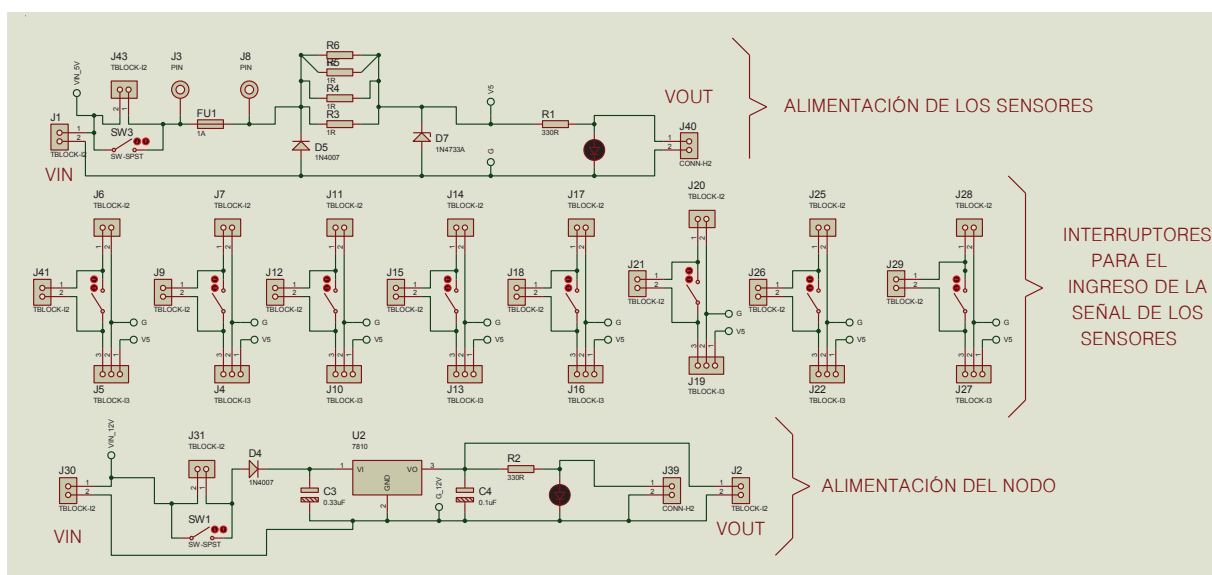


Figura 2.31 Circuito para la placa de cada nodo realizado en ISIS 7 Professional

El circuito de la fuente para la alimentación del gateway se presenta en la *Figura 2.32* que de igual manera tiene un diodo led para indicar si está energizado.

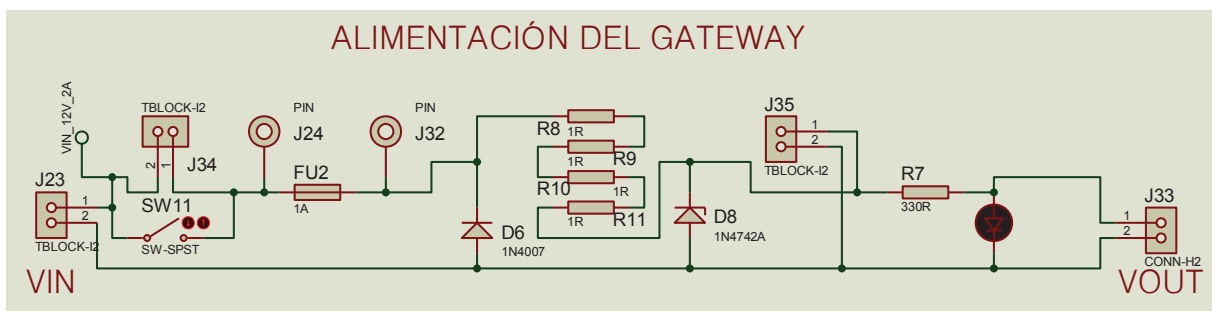


Figura 2.32 Circuito para la placa para el gateway realizado en ISIS 7 Professional

Las tres placas para los nodos y la del gateway, se construyen de acuerdo a los circuitos de las fuentes de la sección 2.5.

2.9 CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS

2.9.1 CONFIGURACIÓN DE LA DIRECCIÓN IP DEL GATEWAY

Para comenzar a usar el gateway NI 9792 se debe verificar que la dirección IP esté configurada. En primer lugar es necesario ejecutar el software NI MAX. Una vez ejecutado el NI MAX vamos al menú y seleccionamos *Tools >> NI Serial >> Ethernet Device Configuration* y a continuación aparecerá un cuadro de diálogo preguntando si queremos que el software realice cambios en el equipo y seleccionamos la opción *Si*. En la *Figura 2.33* se presenta el cuadro de diálogo con el cual se comienza la configuración.

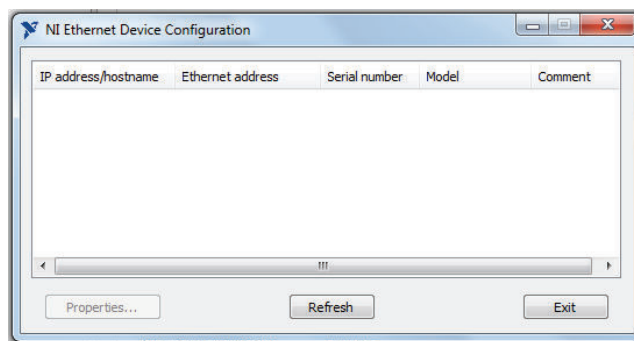


Figura 2.33 Configuración de dispositivos NI Ethernet

Se selecciona la opción Refresh para que aparezcan los dispositivos a conectarse, en el caso de la presente aplicación es el gateway NI 9792. Al no estar configurada la IP del gateway aparece el dispositivo con una advertencia como se indica en la *Figura 2.34*.

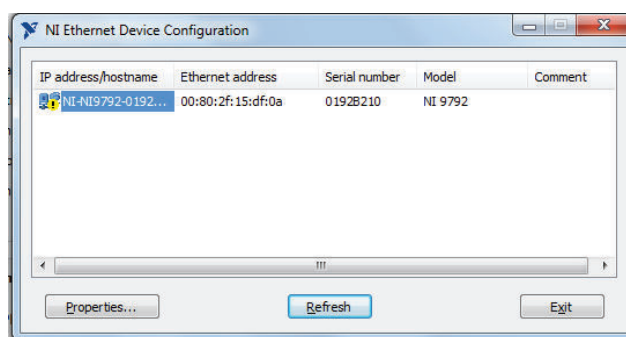


Figura 2.34 Configuración de dispositivos NI Ethernet con la ventana de dispositivos actualizada

El gateway funciona correctamente una vez que se ha ingresado el Hostname y la dirección IP; para lograr este paso se debe seleccionar *Properties...* del cuadro de diálogo de la *Figura 2.34*.

Enseguida aparece otro cuadro de diálogo solicitando la elección de una de las opciones que se muestra en la *Figura 2.35*. Seleccionamos la opción Change the device's hostname to match the DNS entry, una vez que se confirma dicha opción, aparece un cuadro de diálogo como el que se muestra en la *Figura 2.36* en el cual se ingresa el Hostname o la IP address y Subnet mask del gateway.

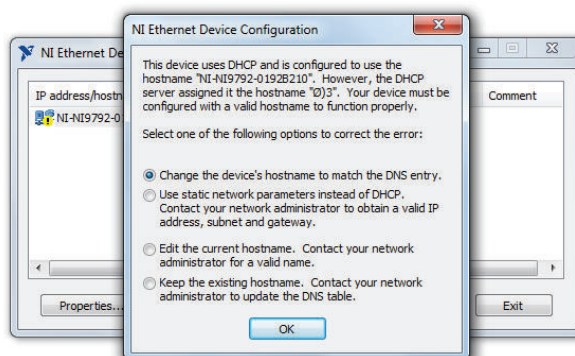


Figura 2.35 Configuración de los dispositivos NI Ethernet (Opciones para la corrección del error de detección con el que aparece en el dispositivo NI 9792)

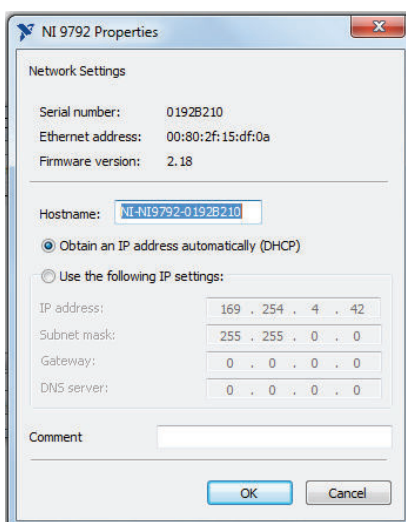


Figura 2.36 Propiedades del dispositivo NI 9792

Lo que se recomienda en el caso que no aparezcan automáticamente los datos del gateway, es introducir el Hostname para que se genere automáticamente la dirección IP. El Hostname del gateway es NI-NI9792-0192B210, los últimos siete caracteres corresponden al código S/N que se encuentra en la placa del dispositivo como se aprecia en la *Figura 2.37*. Los datos que aparecen en la *Figura 2.36* son los del gateway NI 9792 que se utiliza en el proyecto.



Figura 2.37 Información del dispositivo NI 9792

Después de configurar correctamente al gateway el dispositivo aparece sin ninguna advertencia o error en su icono como se presenta en la *Figura 2.38*.

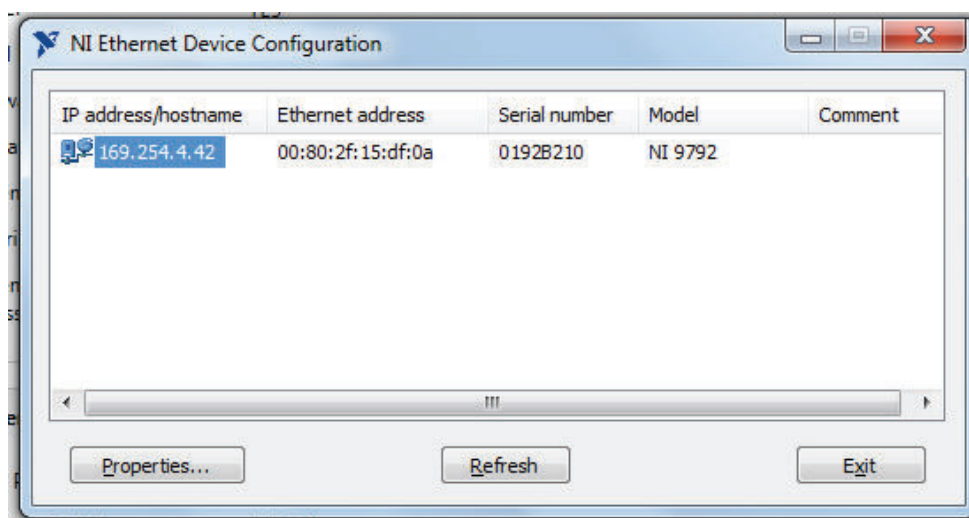


Figura 2.38 NI 9792 correctamente reconocido en la pantalla de configuración de dispositivos NI Ethernet

2.9.2 CONFIGURACIÓN DEL PUERTO ETHERNET DE LA PC

Cuando la IP del gateway está configurada, si se busca al dispositivo en *Remote Systems* en el NI MAX, como se indica en la *Figura 2.39*, no lo va a reconocer.

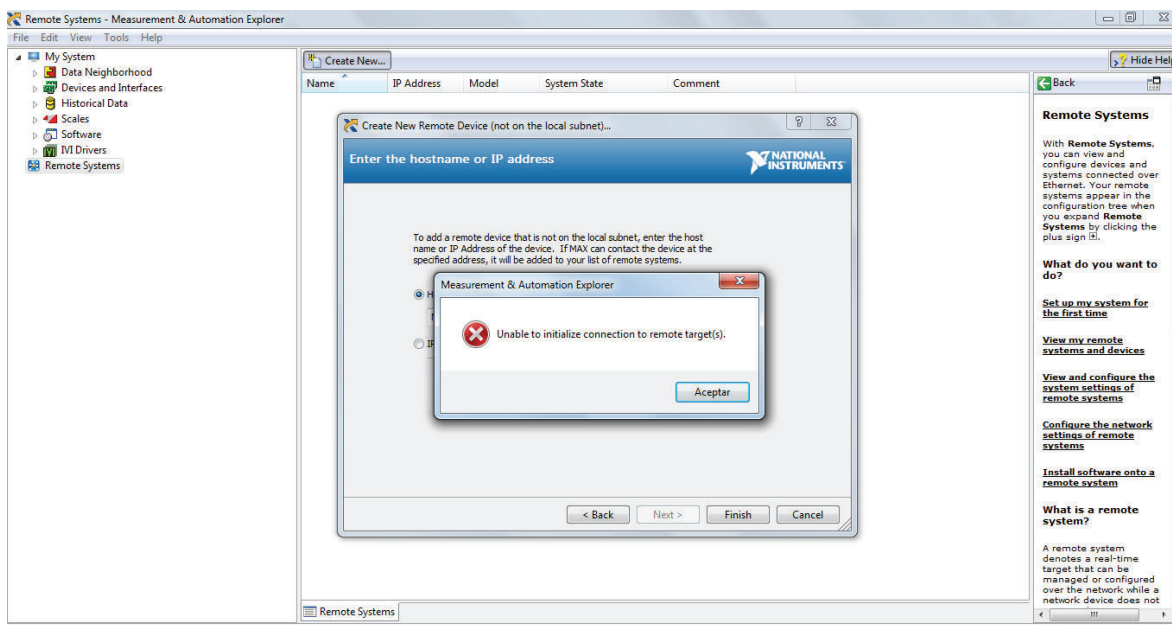


Figura 2.39 Error de reconocimiento del dispositivo NI 9792 en el NI MAX

Este problema ocurre porque la PC no está en red con el gateway NI 9792. Para solucionar este inconveniente se debe modificar la dirección IP de la PC. Los pasos que se ilustran en la *Figura 2.40* ayudan a llegar al cuadro de diálogo donde se puede modificar la dirección IP de computadora. Haciendo una descripción de la *Figura 2.40* se puede observar la siguiente secuencia: *Inicio >> Panel de Control >> Redes e Internet >> Ver el estado y las tareas de la red >> Cambiar configuración del adaptador*; en la pantalla aparece el ícono de *Conexión de área local*, se da un clic derecho sobre el ícono y se elige la opción *Propiedades*, en el siguiente cuadro de diálogo se selecciona *Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPV4)* y después *Propiedades*.

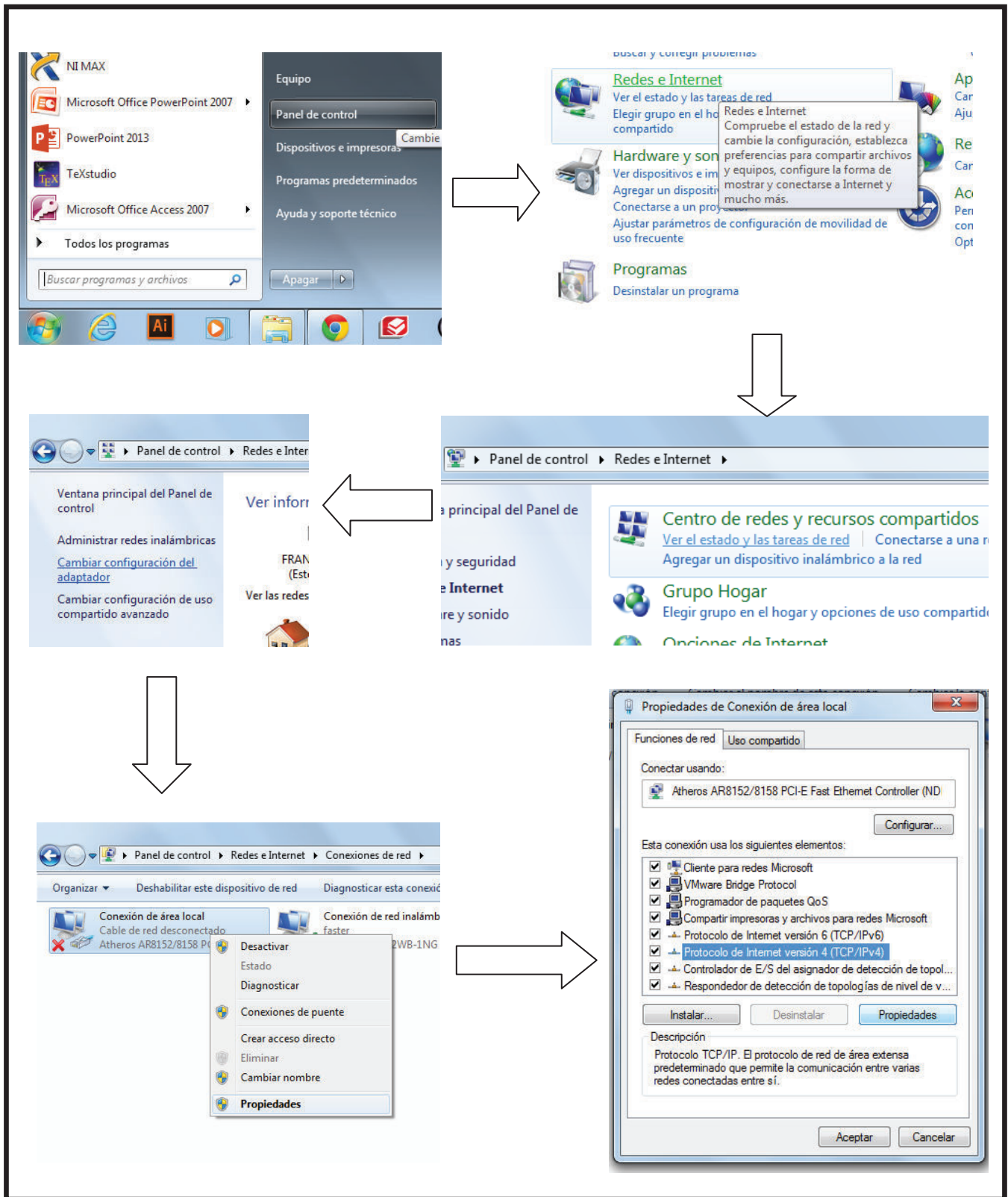


Figura 2.40 Pasos para tener accesos a las propiedades de Conexión de área local

En la *Figura 2.41* se presenta el cuadro de diálogo en el cual se selecciona *Usar la siguiente dirección IP*. Volvemos a escribir los datos de la *Figura 2.36* con la diferencia que modificaremos la ID del Host, lo que significa que cambiaremos en este caso los últimos caracteres de la dirección IP.

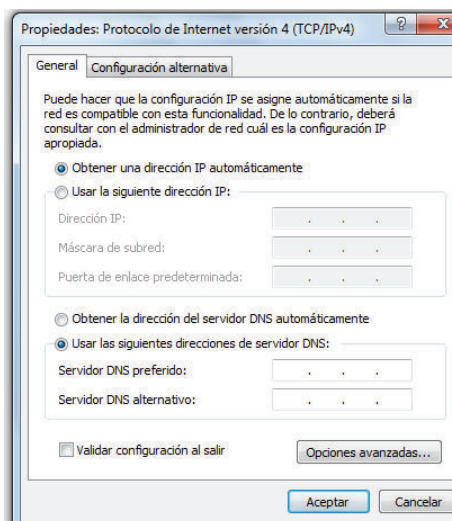


Figura 2.41 Propiedades: Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4) de la PC

En la *Figura 2.36* se tiene 42 como ID del Host por lo que es suficiente con restar o sumar una unidad, para este caso se utiliza 41 como se presenta en la *Figura 2.42*.

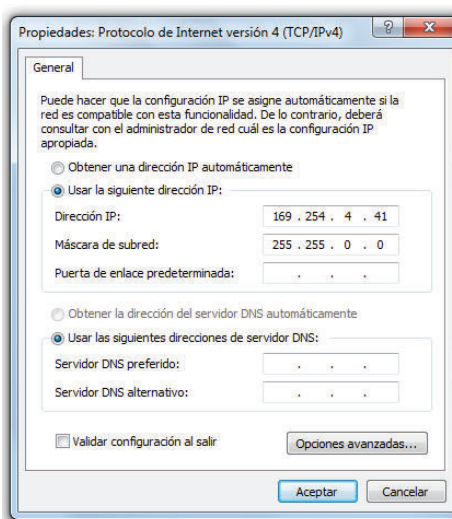


Figura 2.42 Modificación de la dirección IP de la PC

Realizado el procedimiento anterior, se vuelve al NI MAX y actualizamos *Remote Systems* presionando F5. Cuando se actualiza en Remote Systems aparece el gateway NI 9792 listo para usarse, como se muestra en la *Figura 2.43*.

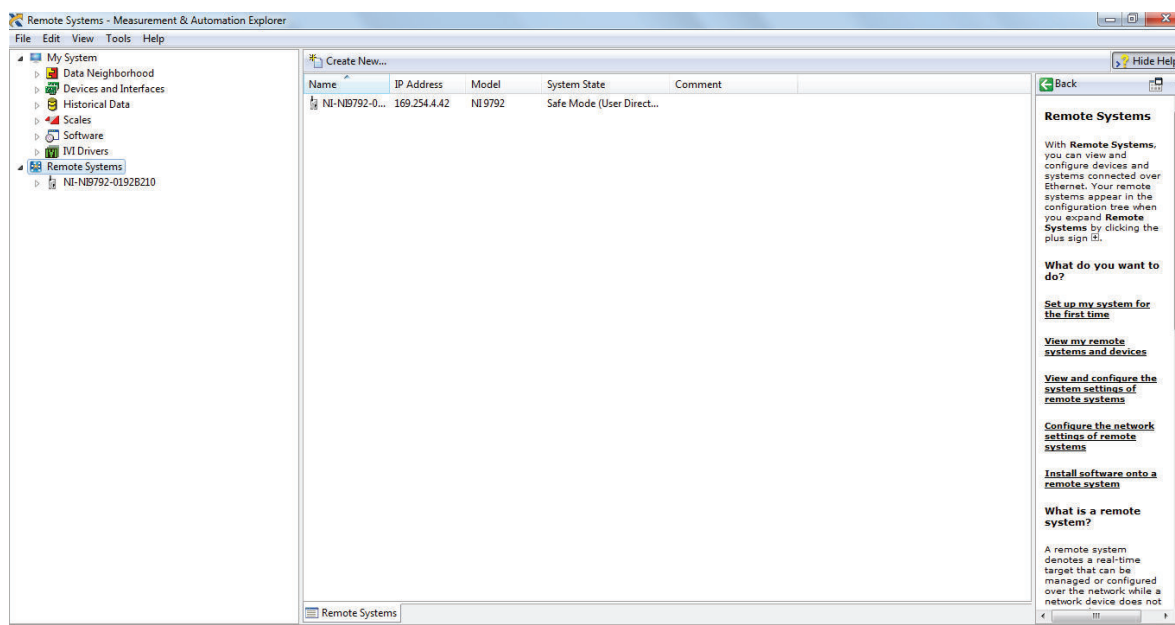


Figura 2.43 NI 9792 reconocido en el NI MAX

2.9.3 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE EN EL GATEWAY NI 9792

El LED de STATUS del Gateway NI 9792 parpadea dos veces y se apagaba lo que nos indicaba que el dispositivo tiene un error en el Software o no lo tiene instalado. Para corregir dicho error se instala el Software respectivo en el NI 9792. Antes de proceder a la instalación del Software se coloca en posición ON el switch de SAFE MODE, ya que esto recomienda el fabricante en la hoja técnica USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI 9792 WSN Real-Time Gateway, mencionada hoja técnica es una referencia para la explicación de la instalación del software.

En la *Figura 2.44* se presenta la pantalla del NI MAX con el NI-9792-0192B210 correctamente reconocido en *Remote Systems*. Al momento de elegir *Add/Remove Software* aparece un cuadro de diálogo como se muestra en la *Figura 2.45* en el cual

se presiona OK. Luego aparece el cuadro de diálogo de la *Figura 2.46* el cual pide que se espere un momento para inicializar la instalación. Cuando ya se ha inicializado aparece la pantalla de la *Figura 2.47* en la cual se escoge *NI-WSN 1.5 – Sep 2013 (currently installed)* y luego *Next>>*. La siguiente pantalla que se presenta, es la que se indica en la *Figura 2.48* en la que solo se elige *Next>>* y comienza el progreso de la instalación que se aprecia en la *Figura 2.49* y se finaliza con la pantalla mostrada en la *Figura 2.50*. Para confirmar que el gateway tiene el software instalado, se selecciona *Software* en la pantalla del NI MAX, como se indica en la *Figura 2.51*, y si el software está instalado correctamente en el gateway se desplegará *NI-WSN 1.5 – Sep 2013*.

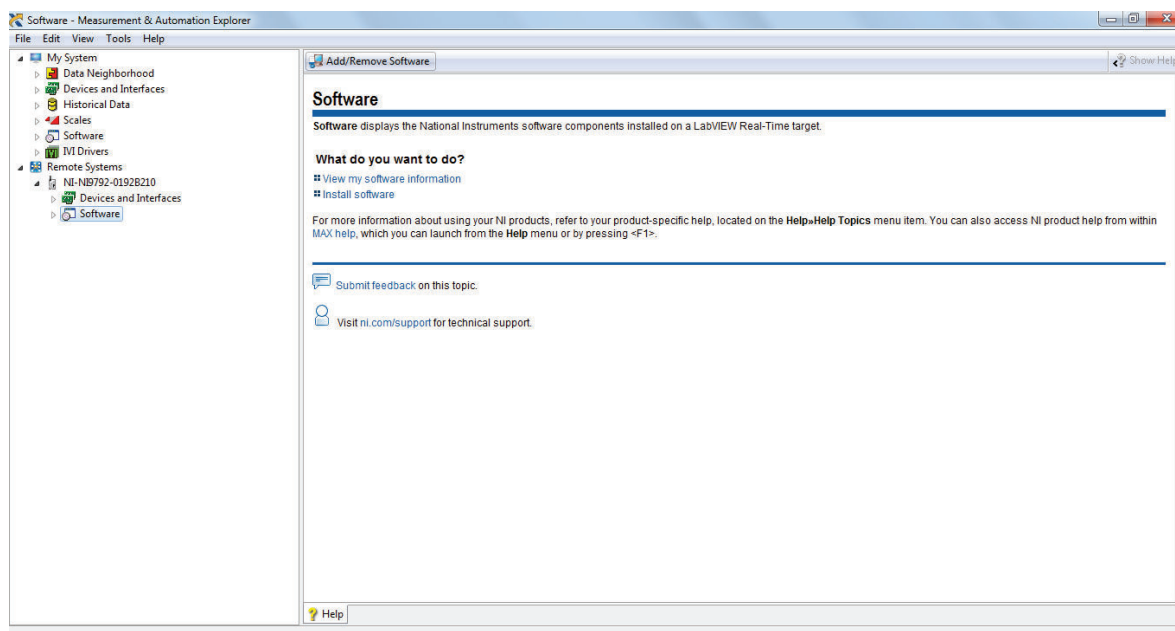


Figura 2.44 NI MAX (Opción de Software para el NI 9792)

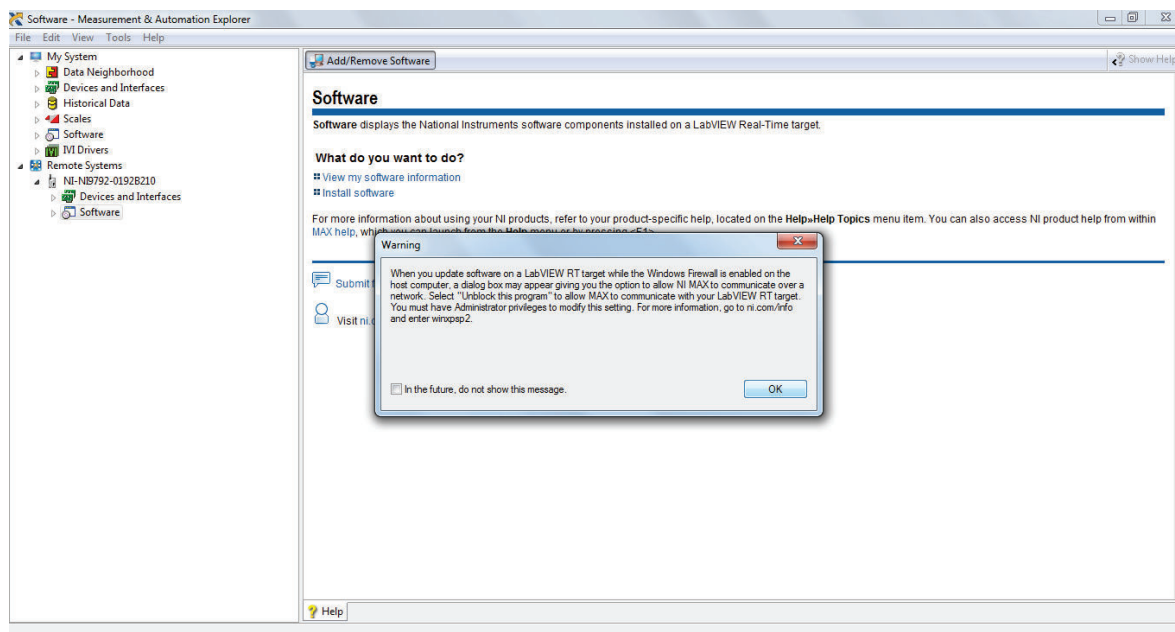


Figura 2.45 NI MAX (Opción Add/Remove Software seleccionada)

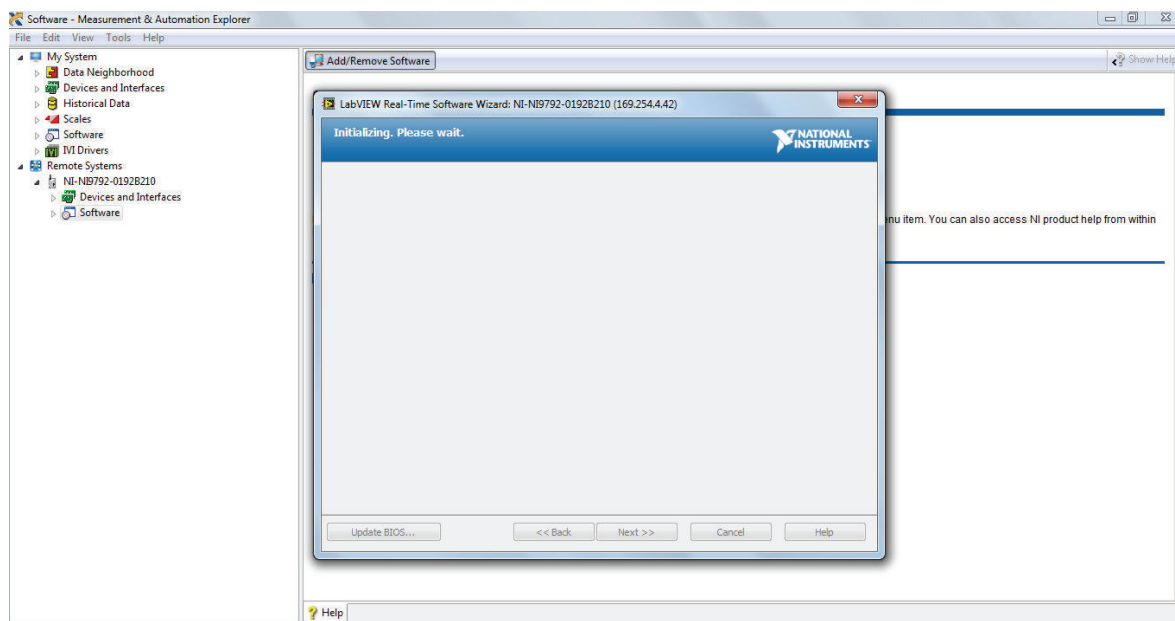


Figura 2.46 NI MAX (Tiempo de espera previo a la instalación del Software en el NI 9792)

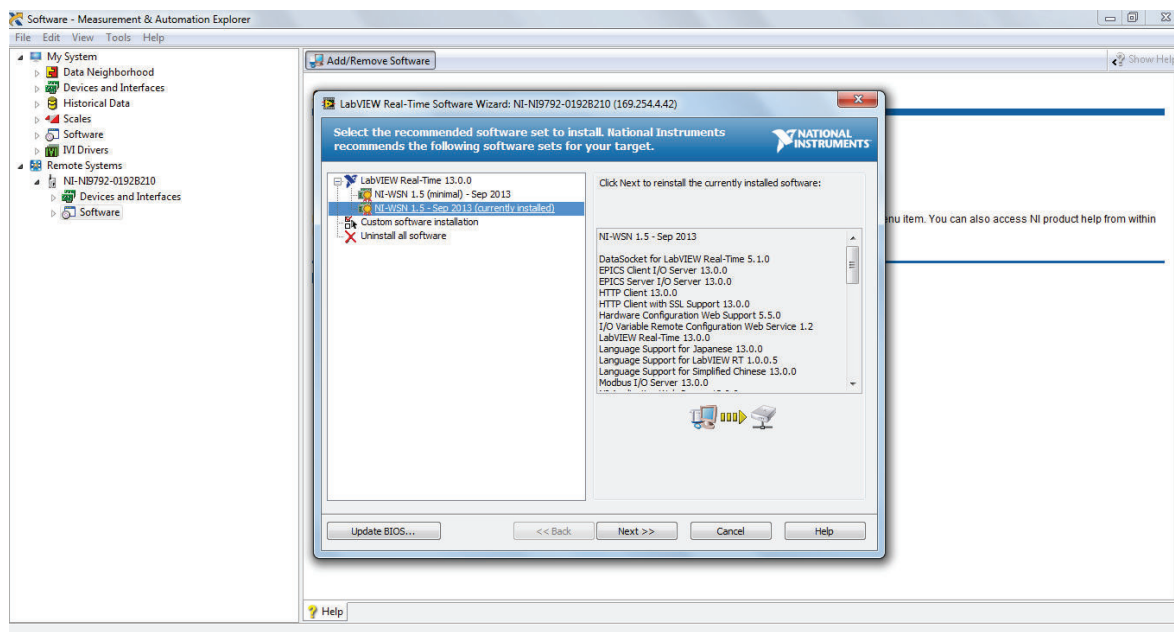


Figura 2.47 NI MAX (Selección del software NI-WSN 1.5 – Sep 2013 (currently installed))

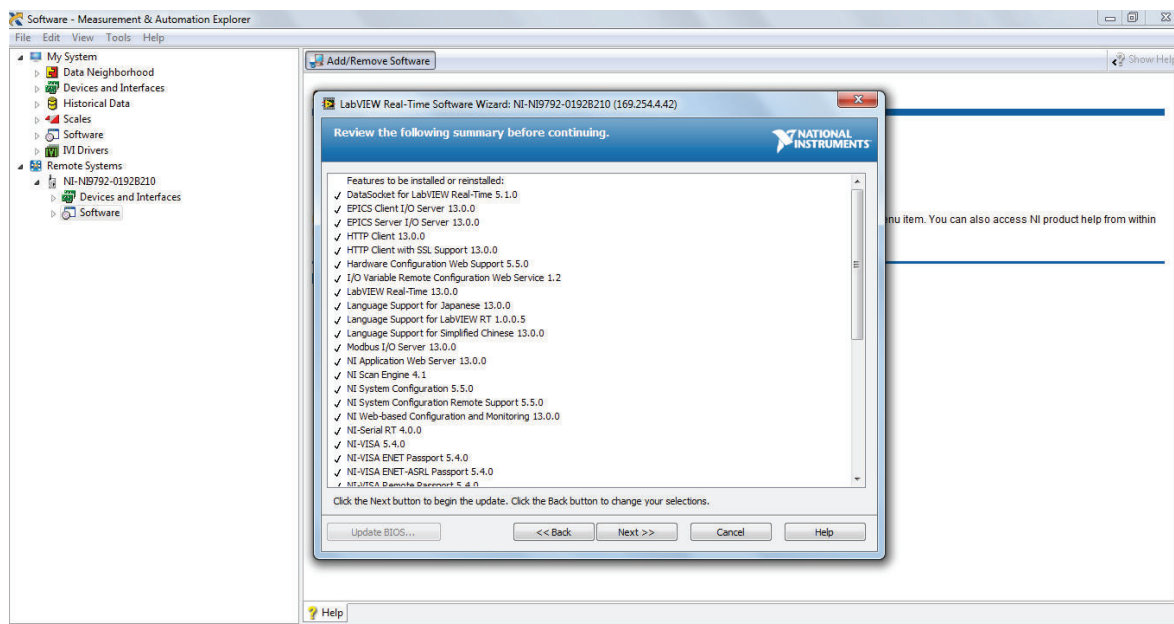


Figura 2.48 NI MAX (Ventana con los componentes del software a instalarse en el NI 9792)

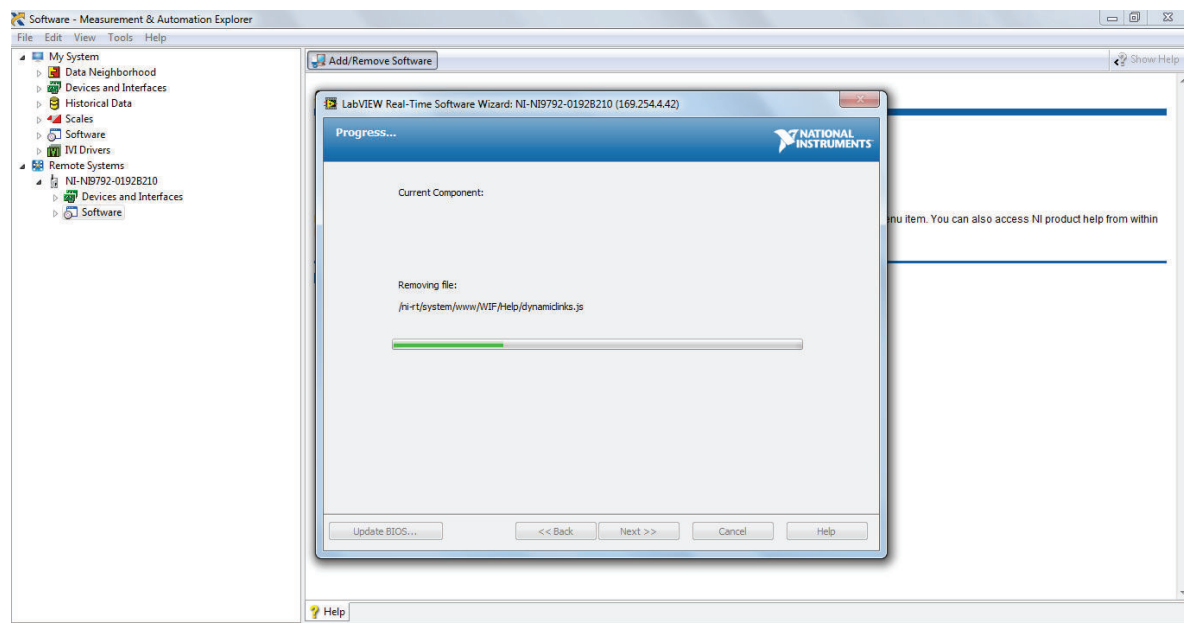


Figura 2.49 NI MAX (Instalación en proceso del software NI-WSN 1.5 – Sep 2013 (currently installed) en el Gateway NI 9792)

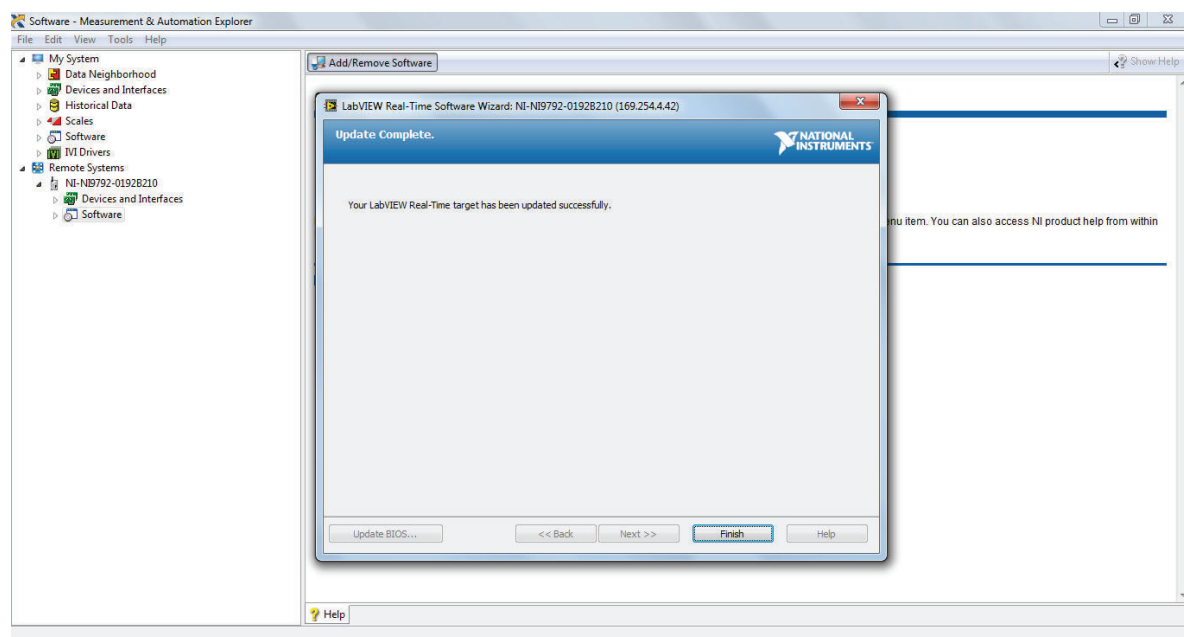


Figura 2.50 NI MAX (Instalación finalizada del software NI-WSN 1.5 – Sep 2013 (currently installed) en el Gateway NI 9792)

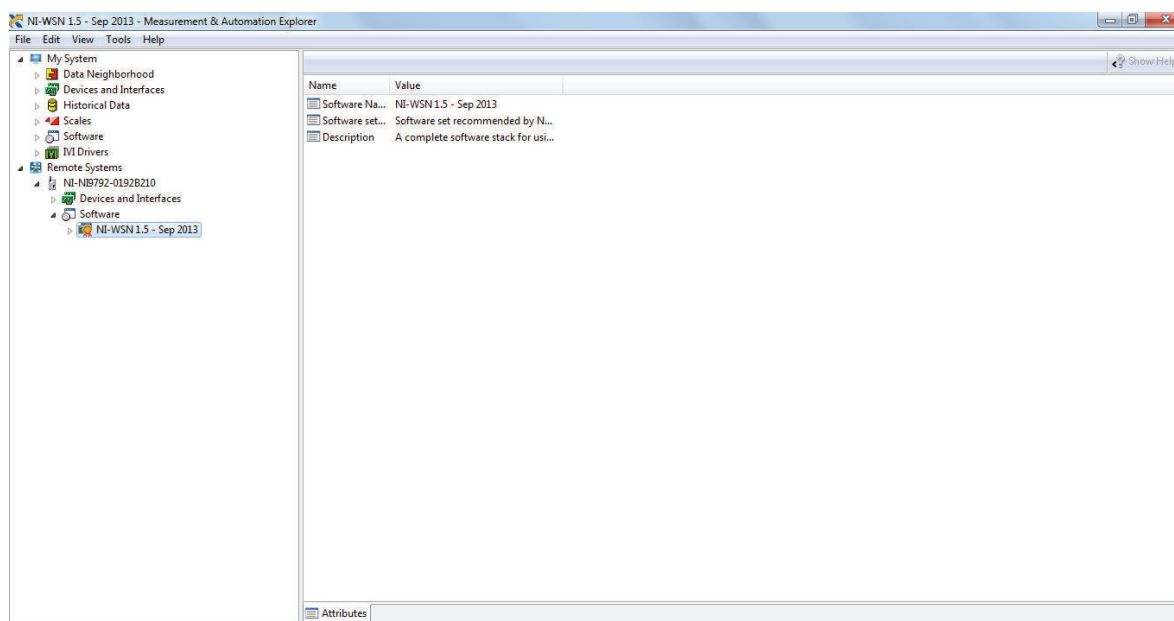


Figura 2.51 NI MAX (Visualización del software instalado NI-WSN 1.5 – Sep 2013 (currently installed) en el Gateway NI 9792)

2.9.4 AGREGAR LOS NODOS NI 3202

El switch de SAFE MODE del gateway NI 9792 se lo pone en OFF antes de agregar los nodos. En el software NI MAX se sigue los siguientes pasos: *Remote Systems >> NI-NI9792-0192B210 >> Devices and Interfaces >> WSN >> Add Node*. Cuando aparece el cuadro de diálogo *Add WSN Node* como se indica en la *Figura 2.52* se introduce el S/N del nodo respectivo, dicho código se encuentra en la parte posterior de los nodos NI 3202, como el que se presenta en la *Figura 2.53*. Después se presiona en *Done* del cuadro de diálogo y el nodo está listo para configurarse o programarse, el mismo procedimiento se realizará para añadir a los otros nodos. En la *Figura 2.54* se muestra los tres nodos que se utilizan en el proyecto.

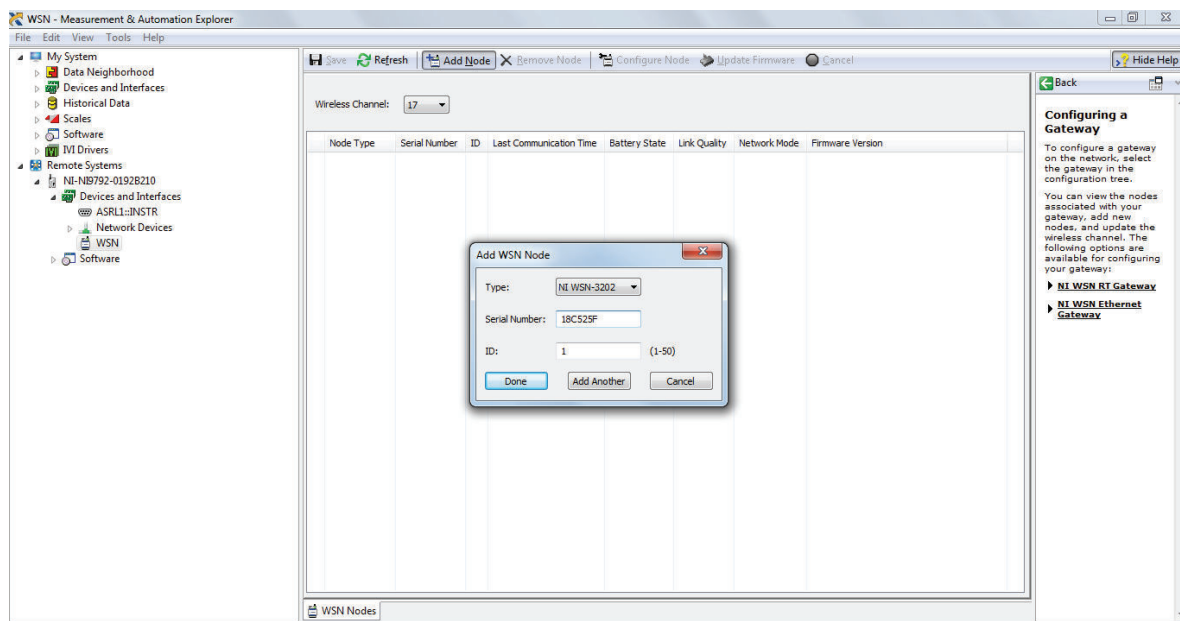


Figura 2.52 NI MAX (Cuadro de diálogo para agregar un nodo al gateway NI 9792)



Figura 2.53 Información de uno de los nodos NI WSN 3202

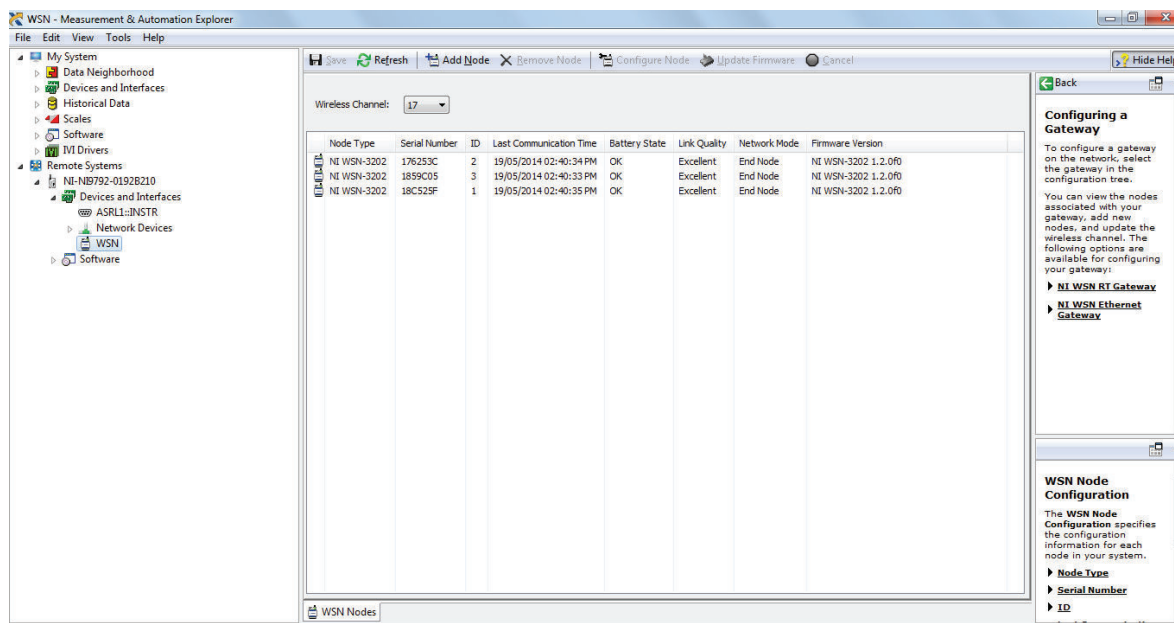


Figura 2.54 NI MAX (Tres nodos NI 3202 añadidos al gateway NI 9792)

Al finalizar el procedimiento para añadir los nodos en el NI MAX, los LEDs de los nodos dejan de realizar la rutina de búsqueda de señal, luego parpadean todos los LEDs dos veces y se mantienen por aproximadamente 2 segundos encendidos; mostrando la calidad de señal que tienen, para luego apagarse.

2.9.5 CONFIGURACIÓN DE LOS NODOS

En la pantalla del NI MAX donde aparecen los nodos añadidos se selecciona la opción *Update Firmware* con lo que aparece el cuadro de diálogo de la *Figura 2.55*, en el cual aparecen las opciones para configurarlos como nodo final o como router.

Los LEDs de los nodos realizan la rutina correspondiente a su configuración que se muestra en USER GUIDE AND SPECIFICATIONSNI WSN-3202 NI Wireless Sensor Network 4-Channel, 16-Bit Analog Input Node.

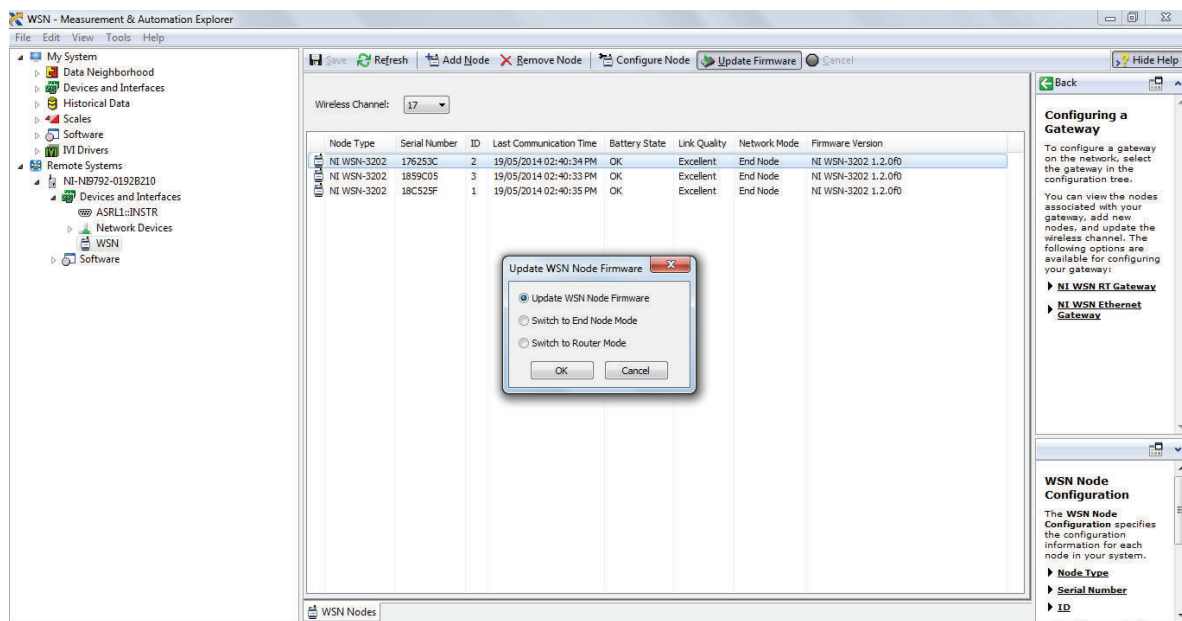


Figura 2.55 NI MAX (Cuadro de diálogo para configurar los nodos añadidos)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL SOFTWARE

3.1 CREACIÓN DEL PROYECTO EN LABVIEW 2013

En la *Figura 3.1* se presenta la pantalla de inicio de LabVIEW 2013, donde se despliega *File >> Create Project*.

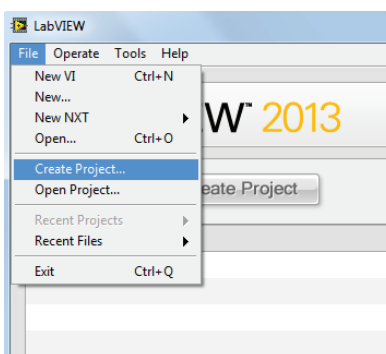


Figura 3.1 Pantalla de inicio de LabVIEW 2013

A continuación se presentan varias opciones, en este caso se escoge *Blank Project* que aparece en la pantalla de la *Figura 3.2*.

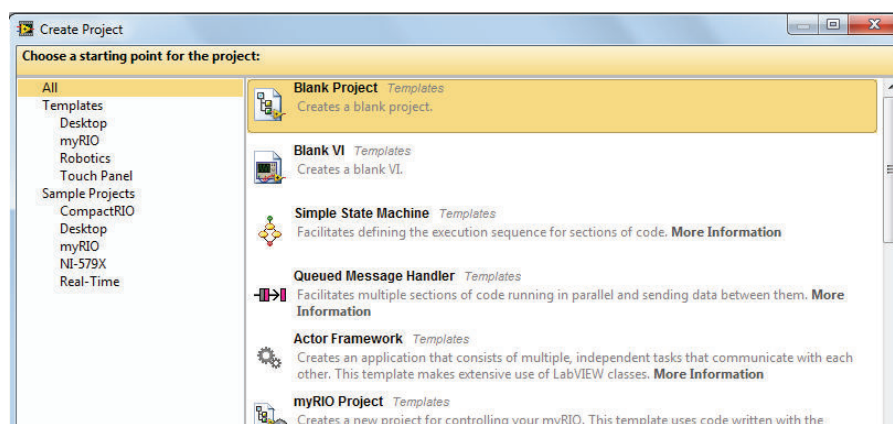


Figura 3.2 Pantalla de opciones para comenzar un proyecto en LabVIEW 2013

La pantalla que aparece para un proyecto en blanco en LabVIEW 2013 es la que se presenta en la *Figura 3.3*, en la cual aparece automáticamente *My Computer* donde se puede crear un nuevo VI.

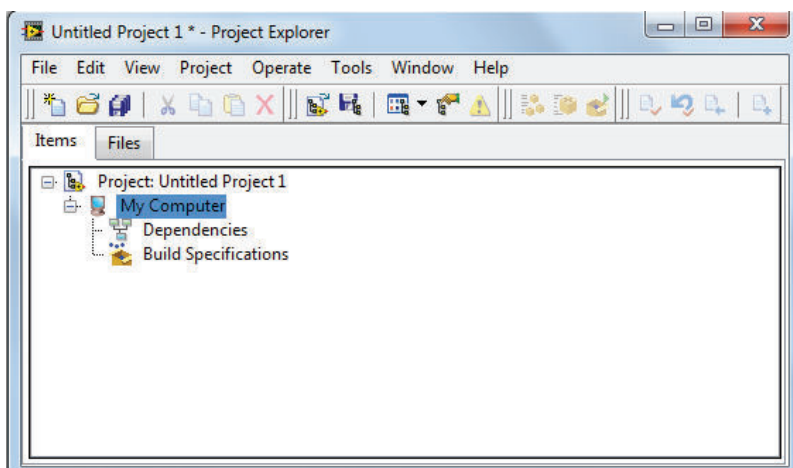


Figura 3.3 Pantalla del nuevo proyecto en LabVIEW 2013

En el proyecto se utilizan los tres nodos NI WSN 3202 y el gateway NI 9792 que también deben constar como dispositivos dentro del proyecto para poder utilizarlos.

Por tal motivo se da clic derecho sobre *Project: Untitled Project 1*, como se presenta en la *Figura 3.4*, se elige *New* y luego *Targets and Devices...*

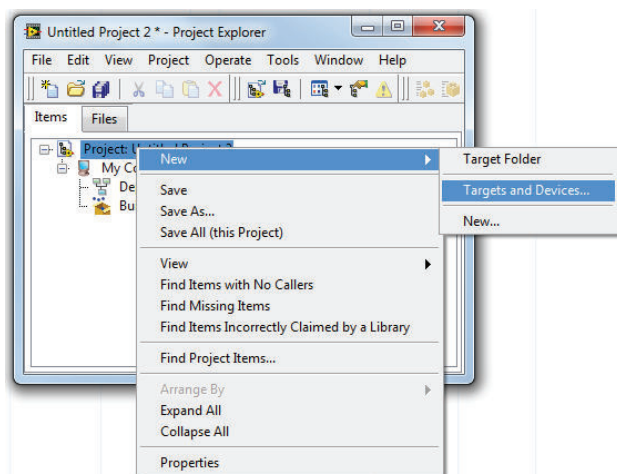


Figura 3.4 Acción para añadir un nuevo dispositivo al proyecto en LabVIEW 2013

En primer lugar se añade al gateway NI 9792, por lo tanto en la *Figura 3.5* se observa la siguiente pantalla en la que se despliegan carpetas con nombres de dispositivos. Se busca WSN Gateway y se espera un momento hasta que el dispositivo sea detectado. Después se presiona OK.

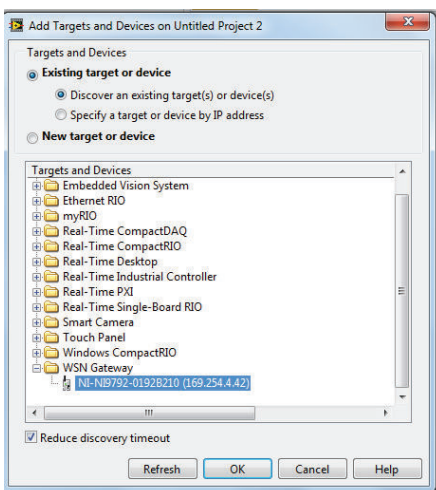


Figura 3.5 Búsqueda y detección del gateway NI 9792

Al añadir el gateway, en la pantalla del proyecto se presenta el *Hostname* y la dirección IP del NI 9792 como se aprecia en la *Figura 3.6*, confirmando que es el dispositivo que se ha configurado previamente.

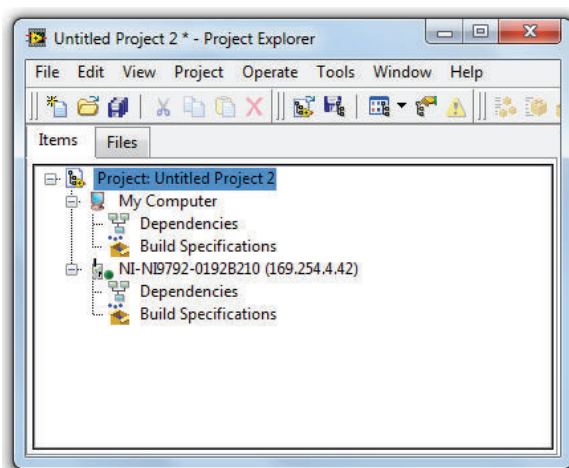


Figura 3.6 Gateway NI 9792 añadido al proyecto de LabVIEW 2013

El siguiente paso es añadir los tres nodos. El procedimiento es similar al que se realizó con el gateway, con la diferencia que los NI WSN 3202 son añadidos en el gateway como se indica en la *Figura 3.7*. Se hace clic derecho sobre NI-NI9792-0192B210 (169.254.4.42) se elige *New* y luego *Targets and Devices...*

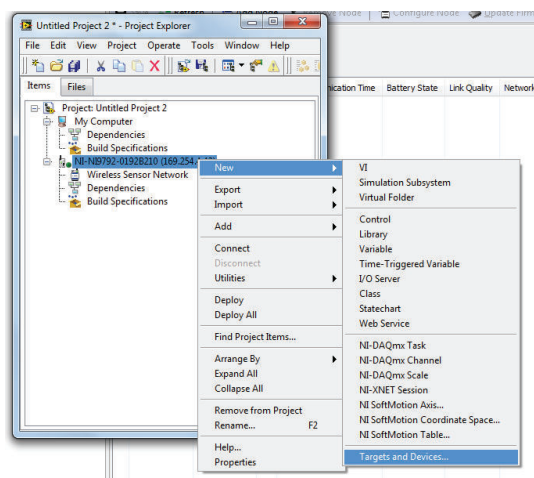


Figura 3.7 Gateway NI 9792 añadido al proyecto de LabVIEW 2013

Nuevamente aparece una pantalla para buscar los dispositivos, en este caso solamente existe una carpeta denominada *WSN Node* como indica la *Figura 3.8*. Una vez que los tres nodos han sido detectados, aparecen con su respectivo ID y S/N como han sido configurados previamente.

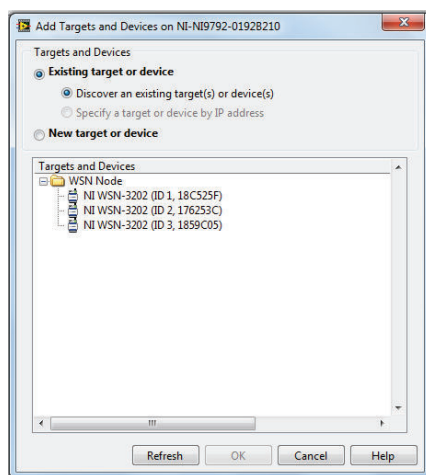


Figura 3.8 Búsqueda y detección de los nodos NI WSN 3202

Al seleccionar todos los nodos y presionar *OK*, se añaden a *Wireless Sensor Network* del gateway como se presenta en la *Figura 3.9*. En este momento se tiene acceso a las entradas analógicas, las entradas/salidas digitales y a la respectivas variables de cada nodo.

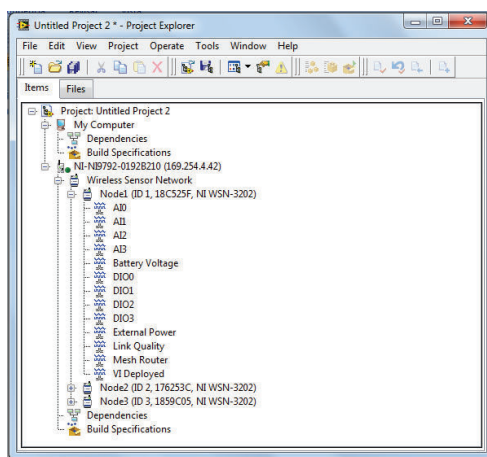


Figura 3.9 Búsqueda y detección de los nodos NI WSN 3202

3.2 PROGRAMACIÓN DE LOS NODOS [24][19]

Para añadir el VI que programe cada nodo se debe realizar antes un paso importante que se muestra en la *Figura 3.10*, se hace clic derecho sobre el nodo que vamos a programar y seleccionamos *Add LabVIEW WSN Target*.

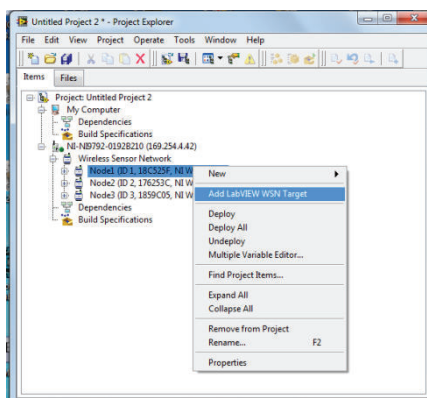


Figura 3.10 Primer paso previo a la programación NI WSN 3202

Automáticamente se generan dos carpetas que aparecen en la *Figura 3.11*, una con las entradas analógicas y la otra con las entradas/salidas digitales, las cuales ayudan a programar su comportamiento dentro del respectivo nodo. También se genera un VI, cuyo contenido de programación viene establecido con un modelo que básicamente consta de un *Case Structure* que tiene las siguientes partes: *Start*, *Sample*, *Receive*, *Network Status Change* y *DIO Notification*.

En la *Figura 3.12* se presenta el caso “*Start*”, que es la etapa antes de que el nodo establezca la conexión con el gateway y empiece a funcionar dentro de una red. En este caso se puede programar los intervalos de muestreo así como también configurar las entradas y salidas.

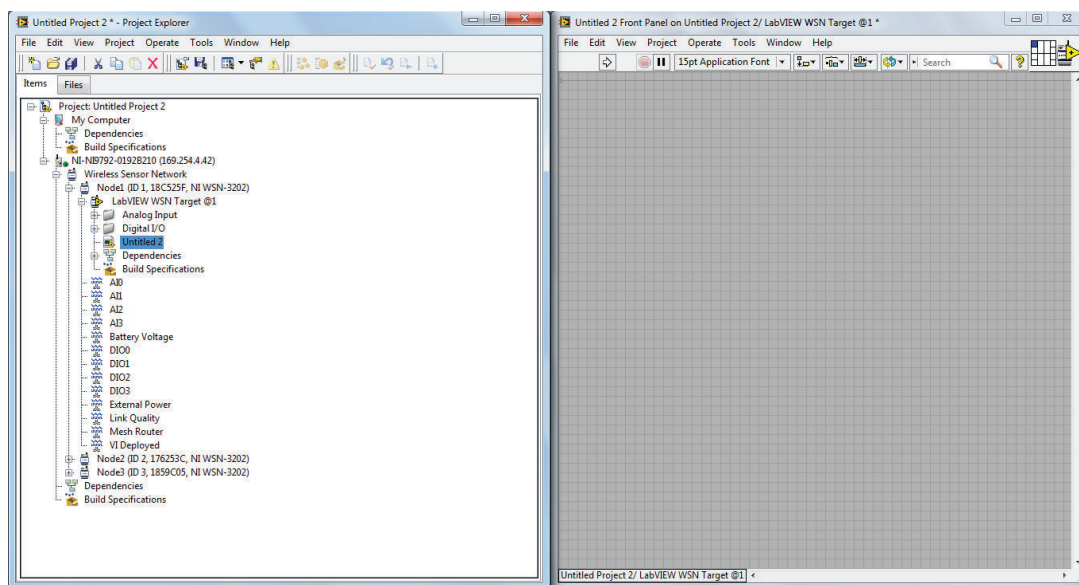


Figura 3.11 Despliegue de las herramientas para programar un nodo NI WSN 3202

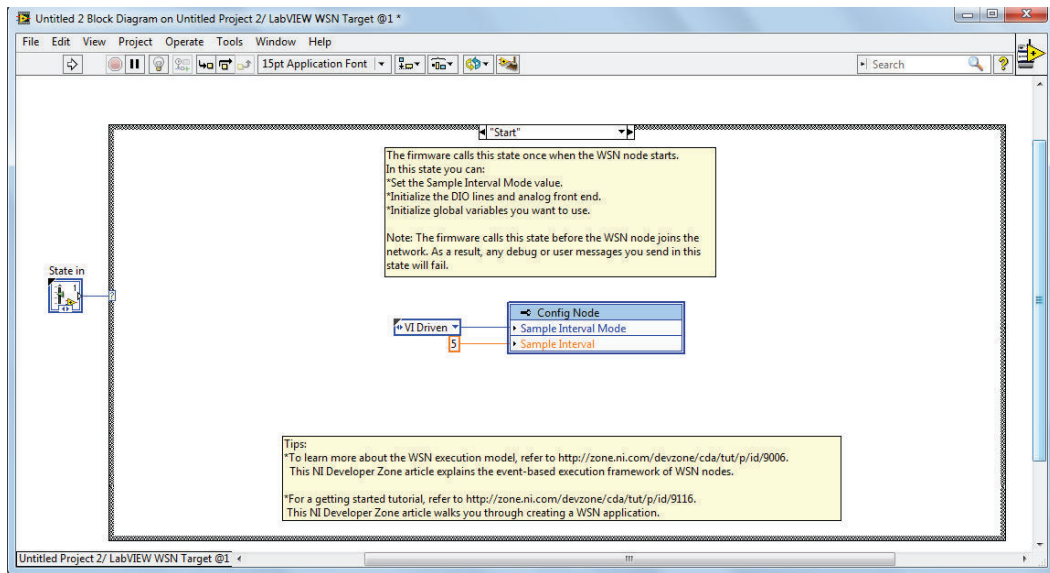


Figura 3.12 Caso “Start”

En la *Figura 3.13* se presenta el caso “Sample”, que es la etapa cuando el nodo empieza la adquisición de datos y el envío de los mismos. En este caso se puede programar la frecuencia de envío con la que se quiere enviar los datos y también optimizar el consumo de la batería.

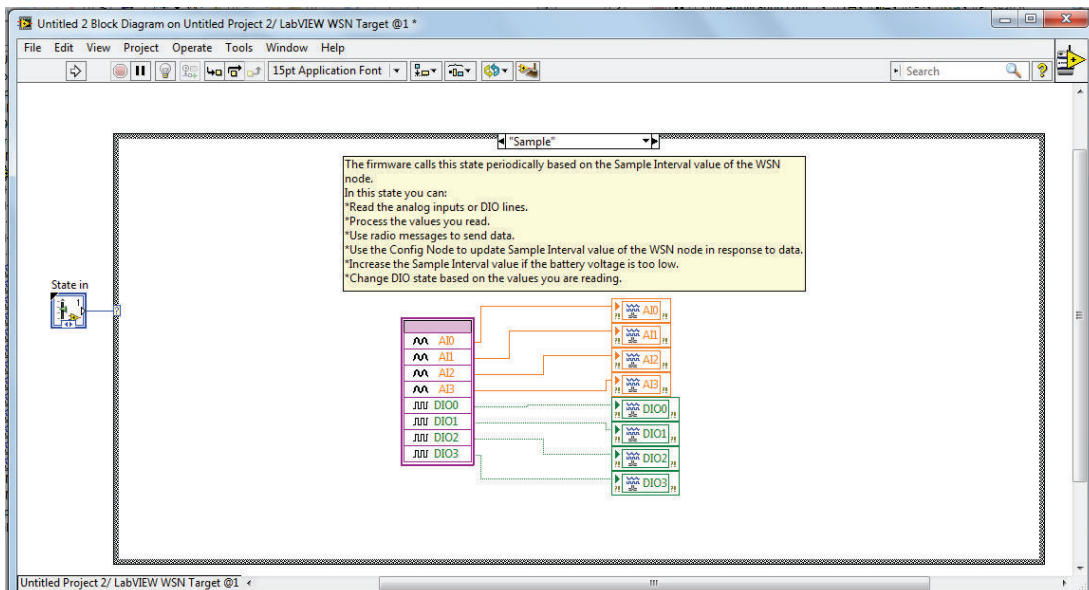


Figura 3.13 Caso “Sample”

En la *Figura 3.14* se presenta el caso “*Receive*”, es la etapa cuando el nodo recibe mensajes si se requiere modificar determinados parámetros que se establecieron con anterioridad.

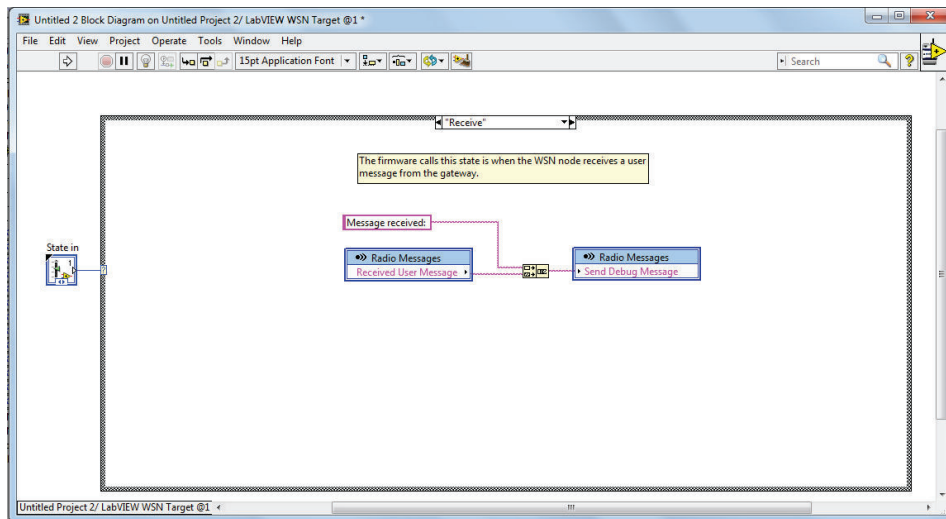


Figura 3.14 Caso “*Receive*”

En la *Figura 3.15* se presenta el caso “*Network Status Change*”, donde se puede programar el comportamiento del nodo cuando pierde o establece conexión con el gateway.

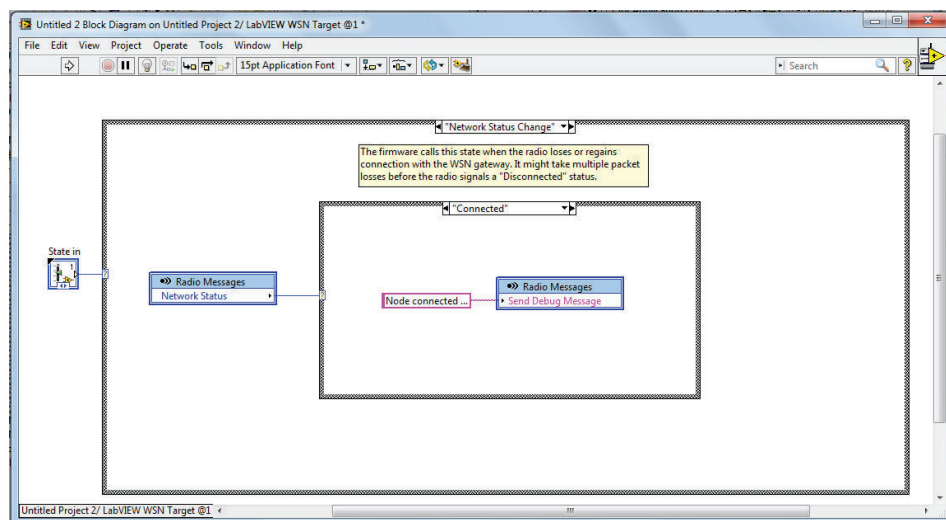


Figura 3.15 Caso “*Network Status Change*”

En la *Figura 3.16* se presenta el caso “*DIO Notification*”, donde se puede programar eventos con notificaciones en el cambio de estado de las entradas/salidas digitales.

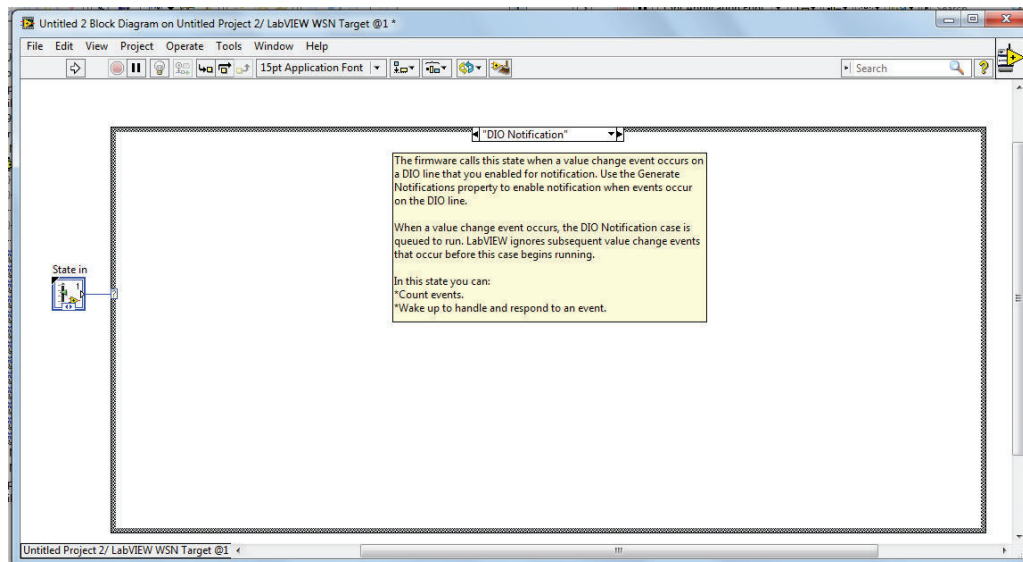


Figura 3.16 Caso “DIO Notification”

3.3 RUTINAS UTILIZADAS EN EL PROGRAMA FINAL

Toda la programación que se detalla en esta sección, se la realiza en un nuevo VI que se crea en *My Computer* del Proyecto de LabVIEW 2013.

Para todas las rutinas en el Diagrama de Bloques del VI, se colca dentro de una estructura *While Loop* un *Event Structure* que nos permite tener un control sobre el tiempo de las iteraciones de la información que se requiere procesar. La razón de programar todas las rutinas de esta manera es para evitar conflictos al efectuar todas las rutinas en una sola iteración.

Al poseer cada rutina una estructura *While Loop* es indispensable un botón *STOP*. Debido a que cada proceso va a realizarse de forma independiente, al presionar el botón *STOP* aparece un cuadro de diálogo que sirve de advertencia antes de parar el

proceso, ya que si se detiene la estructura *While Loop*, ésta deja de funcionar hasta que se reinicie todo el programa.

La programación del cuadro de diálogo se la realiza dentro de una *Case Structure* que se ejecuta cuando la señal del botón *STOP* es *True*. Para que el cuadro de diálogo presente el mensaje de advertencia y dos botones para elegir si se desea o no continuar con el proceso, se usa *Two Button Dialog*, el cual genera una señal *True* o *False* según la selección que se haya ejecutado.

3.3.1 ADQUISICIÓN DE DATOS DEL NODO

En la *Figura 3.17* se presenta el diagrama de flujo del programa para la adquisición de datos del nodo, que se lo aplica para los tres nodos de la red.

Dentro de la estructura *Event Structure* se realiza la programación para la adquisición de la información del Nodo 1 y el respectivo cuadro de diálogo se encuentra dentro una *Case Structure* como se detalla en la sección 3.3. En la *Figura 3.18 (a)* se puede apreciar toda la programación que se menciona en esta sección.

Las variables de *Link Quality* y *Battery Voltage* son de tipo *Single* de 32 bits, lo que significa que nos entregan datos numéricos, mientras que *Mesh Router*, *External Power* y *VI Deployed* son de tipo *Boolean* que nos entregan valores de verdadero o falso. Para todas las variables se crean indicadores que son mostrados en el Panel Frontal como indica en la *Figura 3.18 (b)*.

Para los Nodos 2 y 3 es similar la programación y lo que se muestra en el Panel Frontal, como se aprecia en las *Figuras 3.19* y *3.20*.

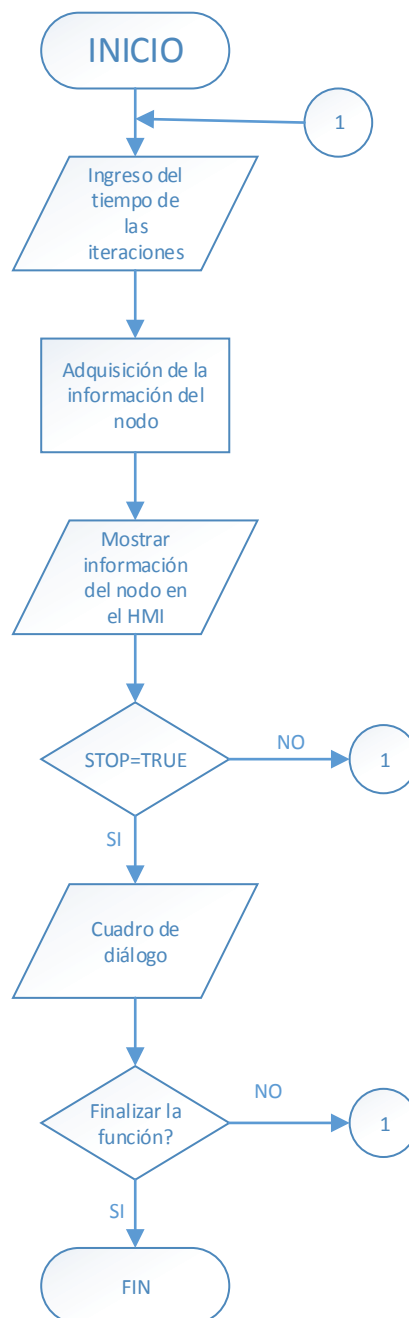


Figura 3.17 Diagrama de flujo para la adquisición de datos de los nodos

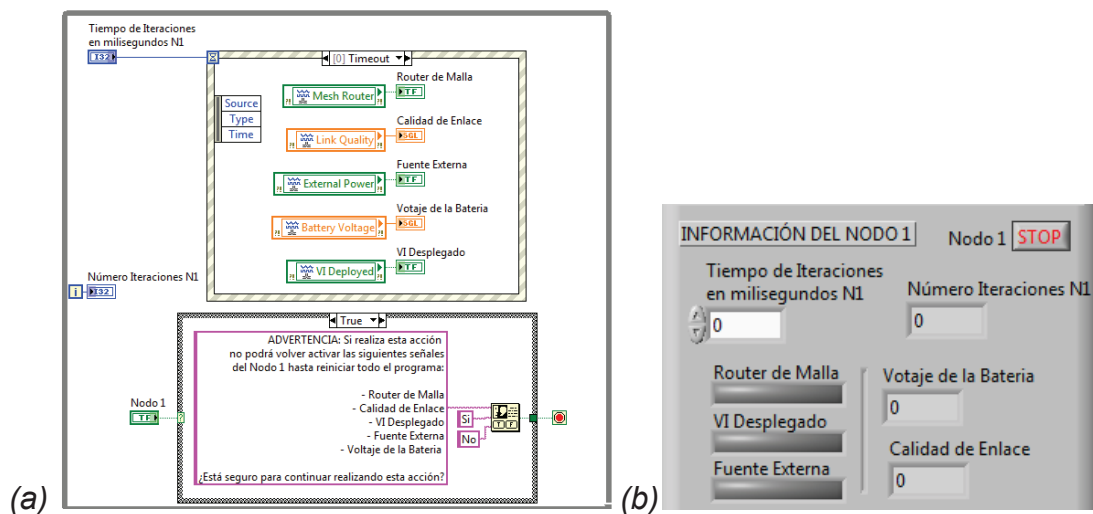


Figura 3.18 (a) Programa para la adquisición de datos del Nodo 1, (b) Variables de la información del Nodo 1 mostradas en el Panel Frontal

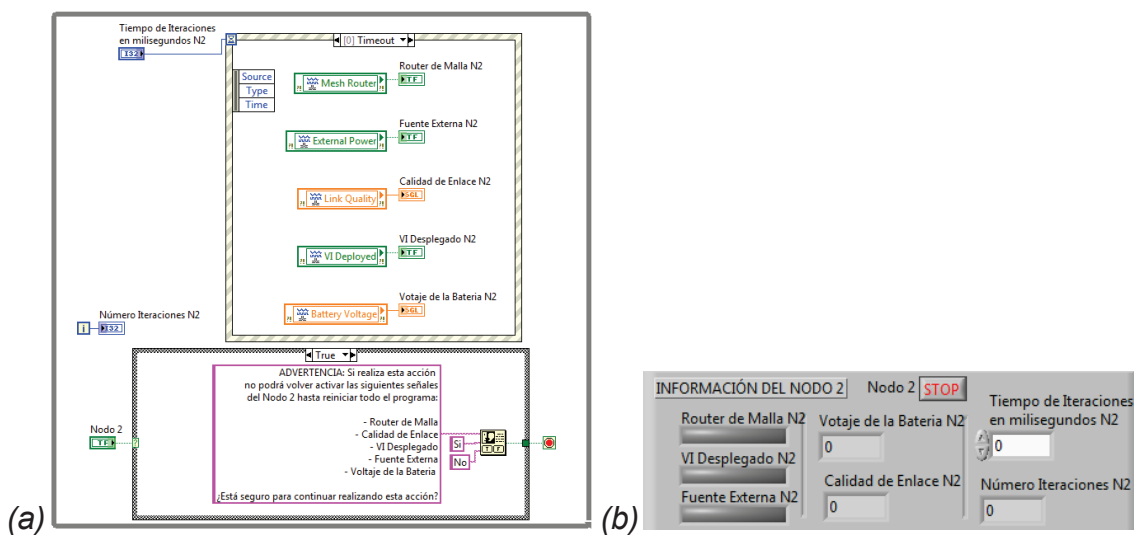


Figura 3.19 (a) Programa para la adquisición de datos del Nodo 2, (b) Variables de la información del Nodo 2 mostradas en el Panel Frontal

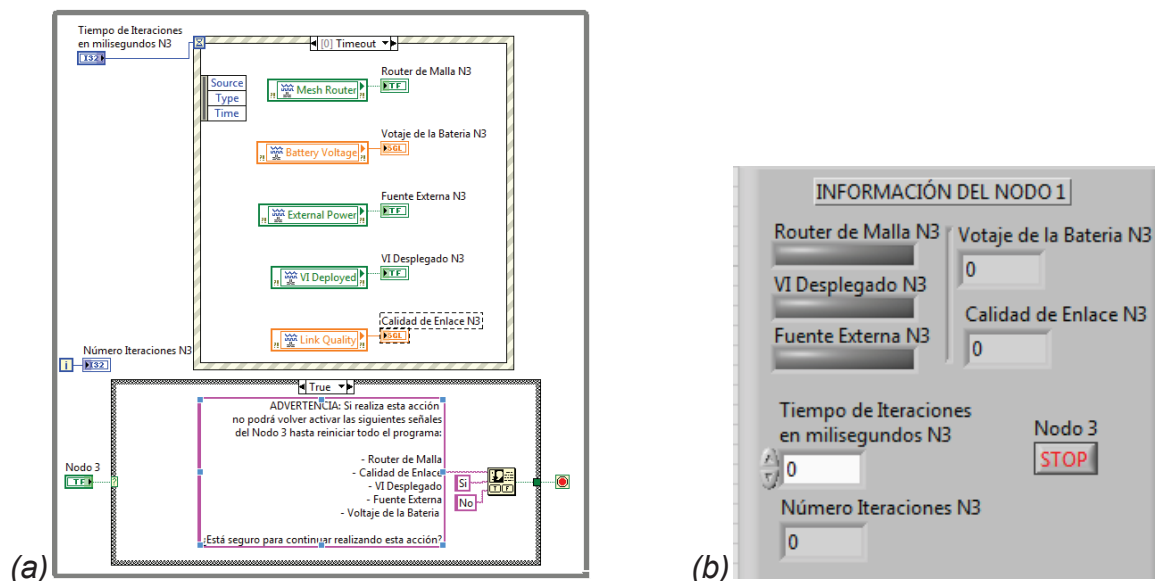


Figura 3.20 (a) Programa para la adquisición de datos del Nodo 3, (b) Variables de la información del Nodo 3 mostradas en el Panel Frontal

3.3.2 ADQUISICIÓN DE VARIABLES ANALÓGICAS Y DIGITALES

El proceso de adquisición de variables analógicas se lo realiza en una estructura *While Loop* y en otra diferente la adquisición de las variables digitales. Los dos procesos se explican en esta sección, ya que en el Panel Frontal se presentan todos los indicadores en un solo cuadro denominado SENSORES.

En la *Figura 3.21* se indica el diagrama de flujo para la programación de la adquisición de variables analógicas y en la *Figura 2.22* para las digitales, según sea el caso.

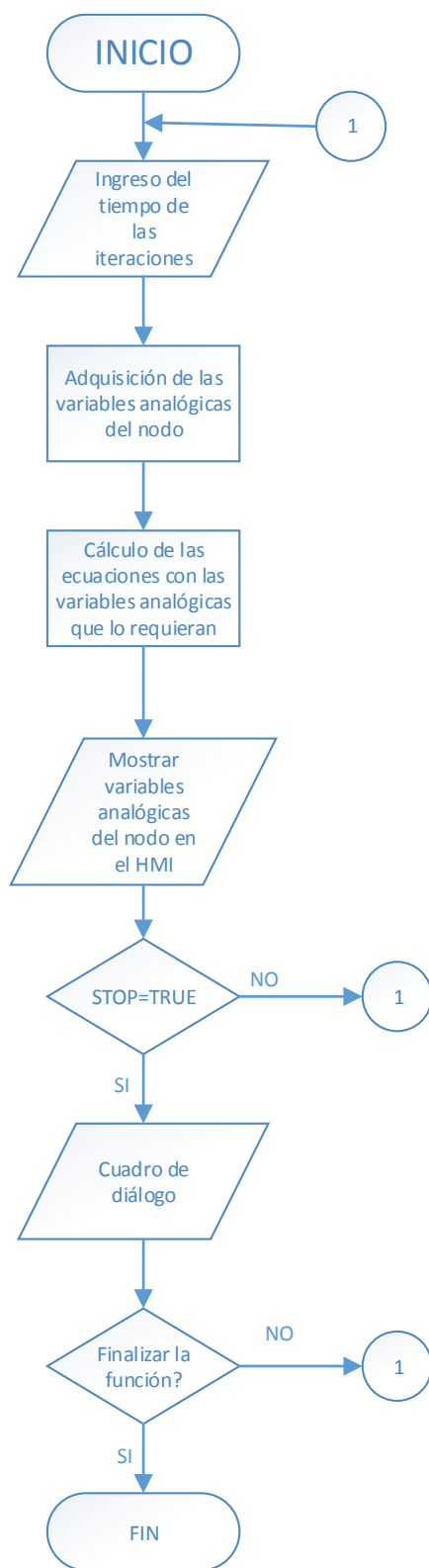


Figura 3.21 Diagrama de flujo para la adquisición de variables analógicas

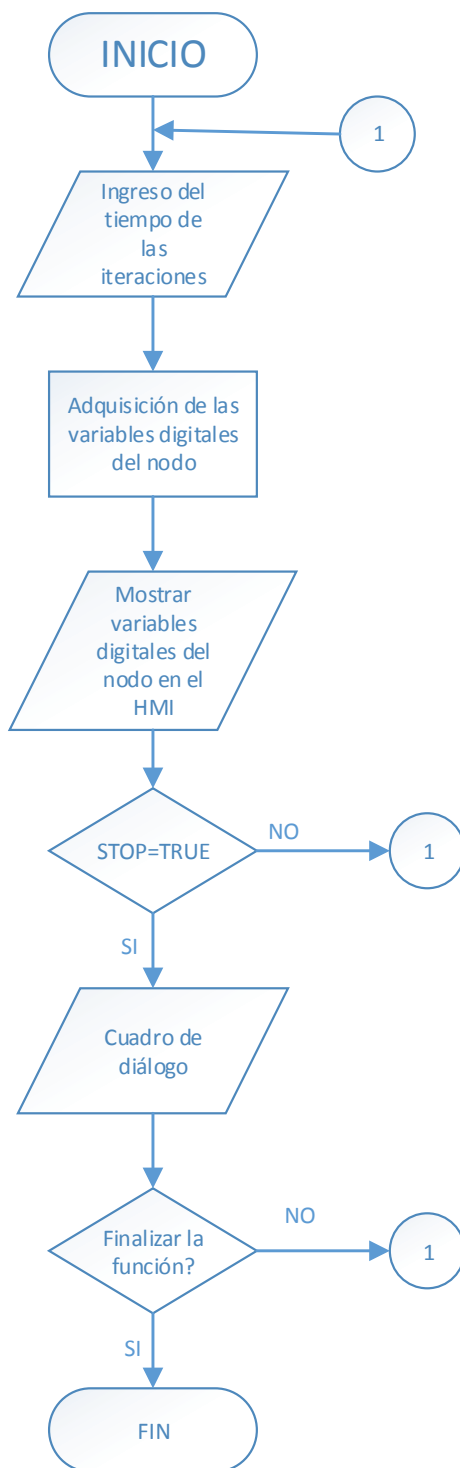


Figura 3.22 Diagrama de flujo para la adquisición de variables digitales

3.3.2.1 Nodo 1

En la *Figura 3.23 (a)* se presenta la programación para la adquisición de las variables analógicas que corresponden a las salidas de los sensores que se presentan en la *Figura 2.24*.

Claramente se puede ver que AI0 corresponde a la señal del módulo sensor de gas MQ-135, AI1 al módulo sensor de sonido para Arduino (Se indica en el capítulo dos la ecuación (2.12) la cual se programa para obtener su valor en dB), AI2 al módulo sensor de gas MQ-9 y AI3 al módulo sensor de gas MQ-7.

En la *Figura 3.23 (b)* se presenta la programación para la adquisición de las variables digitales que corresponden a las salidas digitales de los sensores, como se presenta en la *Figura 2.24*. En el programa las siglas DIO corresponden a las entradas/salidas digitales del nodo. En este caso cada variable DIO se encuentra programada como entrada o modo de lectura.

El DIO0 corresponde al módulo sensor de gas MQ-135, el DIO1 al módulo sensor de gas MQ-9, el DIO2 al módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino y el DIO 3 al módulo sensor PIR de presencia para Arduino.

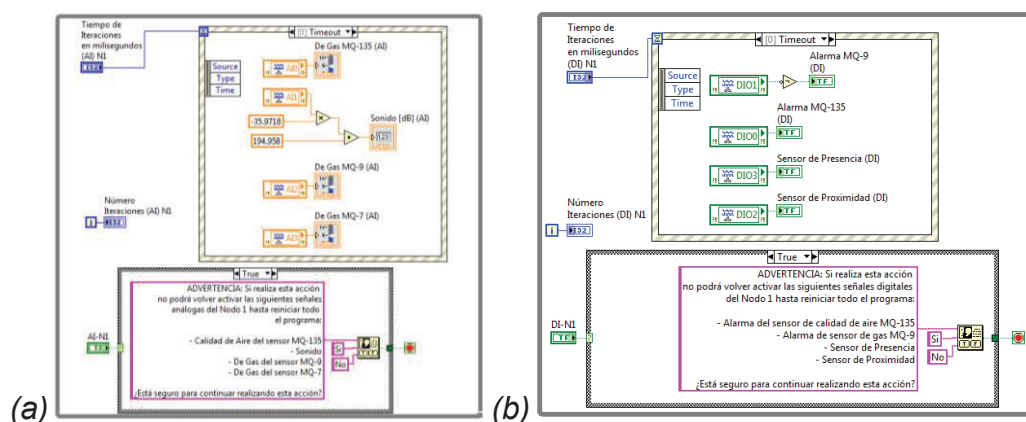


Figura 3.23 (a) Programa para la adquisición de variables analógicas del Nodo 1, (b) Programa para la adquisición de variables digitales del Nodo 1

En la *Figura 3.24* se encuentran distribuidos en el Panel Frontal todos los indicadores de los sensores, los espacios para escribir el tiempo de las iteraciones, los indicadores del número de iteraciones y los botones de *STOP*.

También se puede observar que los *Slides* de los sensores MQ-135, MQ-9 y MQ-7 tienen una escala para Normal, Humo y Gas Inflamable. Los valores que se toman como referencia para la escala como se puede apreciar en la *Figura 3.25* para el sensor MQ-135, son los descritos en las secciones 2.3.1, 2.3.3 y 2.3.4 para cada sensor.

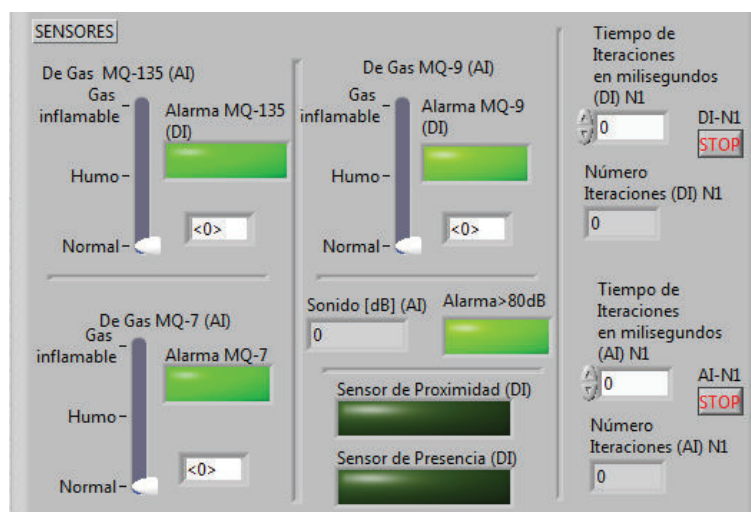


Figura 3.24 Presentación de las variables analógicas y digitales del Nodo 1 en Panel Frontal

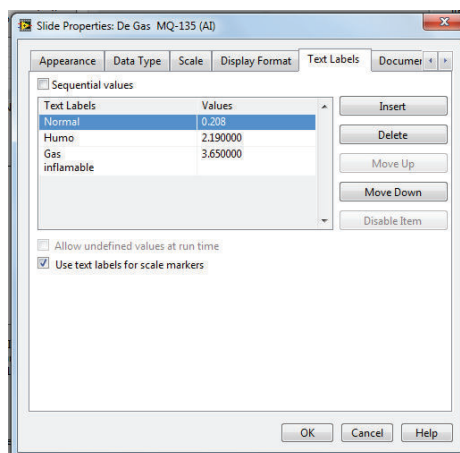


Figura 3.25 Propiedades del *Slide* del sensor MQ-135

3.3.2.2 Nodo 2

En la *Figura 3.26 (a)* se presenta la programación para la adquisición de las variables analógicas que corresponden a las salidas de los sensores que se presentan en la *Figura 2.25*.

Para AI0 corresponde a la señal del sensor de intensidad de luz TEMT6000 (se coloca un límite para indicar luces encendidas o poca luz que se explica en la sección 2.3.10), para AI1 la del sensor de humedad HIH-4030 (para obtener su valor en %RH se programa la ecuación (2.17) de la sección 2.3.12), para AI2 la del sensor de presión MPX4115 (Se indica en el capítulo dos la ecuación (2.13) la cual se programa para obtener su valor en kPa) y para AI3 el módulo sensor de sonido para Arduino (Se indica en el capítulo dos la ecuación (2.12) la cual se programa para obtener su valor en dB).

En la *Figura 3.26 (b)* se presenta la programación para la adquisición de las variables digitales que corresponden a las salidas digitales de los sensores, cuyas conexiones se observan en la *Figura 2.25*. De igual forma cada variable DIO se encuentra programada como entrada o modo de lectura.

El DIO0 corresponde al módulo sensor PIR de presencia *SURE electronics*, el DIO1 al módulo sensor de gas MQ-9, el DIO2 al módulo sensor de gas MQ-2 y el DIO 3 al módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino.

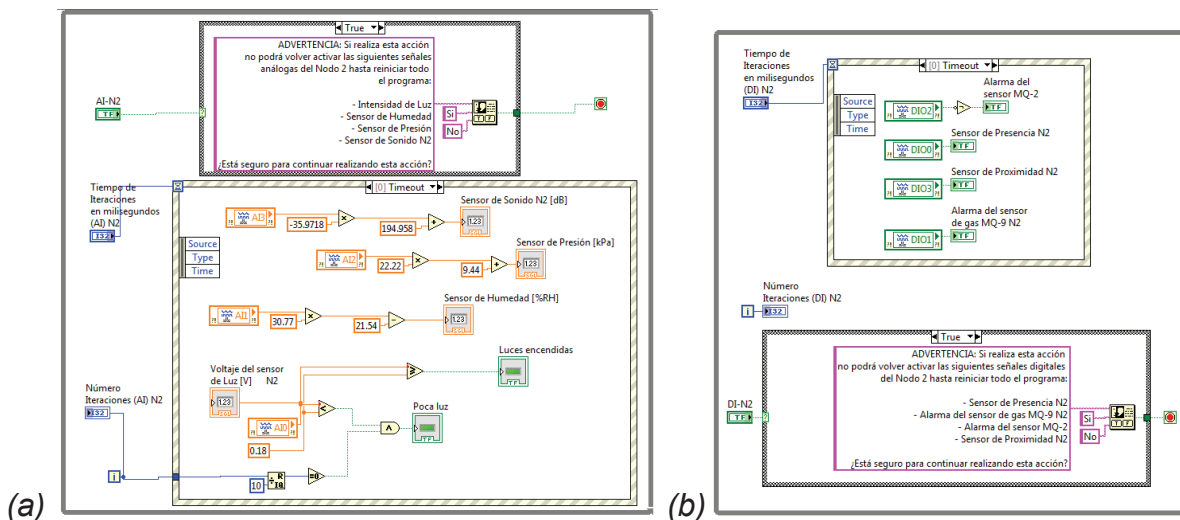


Figura 3.26 (a) Programa para la adquisición de variables analógicas del Nodo 2, (b) Programa para la adquisición de variables digitales del Nodo 2

En la Figura 3.27 se encuentran distribuidos en el Panel Frontal todos los indicadores de los sensores, los espacios para escribir el tiempo de las iteraciones, los indicadores del número de iteraciones y los botones de STOP.

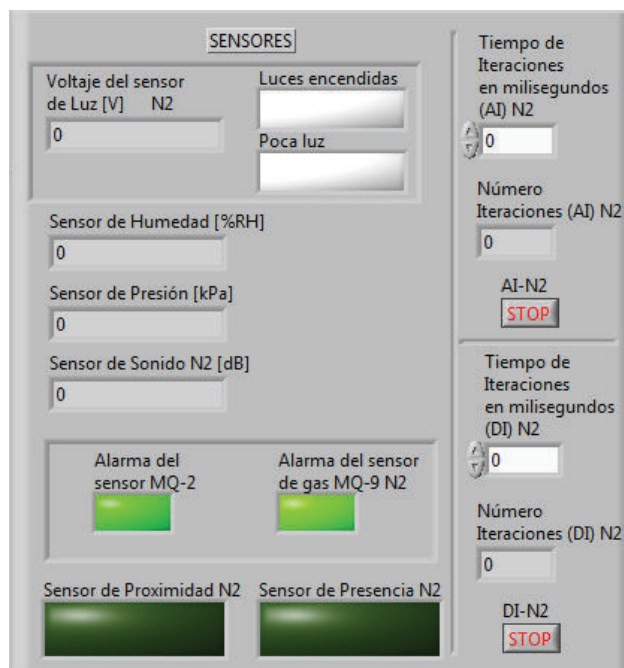


Figura 3.27 Presentación de las variables analógicas y digitales del Nodo 2 en Panel Frontal

3.3.2.3 Nodo 3

En la *Figura 3.28 (a)* se presenta la programación para la adquisición de las variables analógicas que corresponden a las salidas de los sensores que se presentan en la *Figura 2.26*.

Para AI0 corresponde a la señal del sensor de corriente ACS712 (Se indica en el capítulo dos la ecuación (2.16) la cual se programa para obtener su valor en amperios), para AI1 la del sensor de intensidad de luz TEMENT6000 (se coloca un límite para indicar luces encendidas o poca luz que se explica en la sección 2.3.10), para AI2 la del sensor de temperatura LM35 y para AI3 la del módulo sensor de gas MQ-135.

En la *Figura 3.28 (b)* se presenta la programación para la adquisición de las variables digitales que corresponden a las salidas digitales de los sensores, cuyas conexiones se observan en la *Figura 2.26*. De igual forma cada variable DIO se encuentra programada como entrada o modo de lectura.

El DIO0 corresponde al módulo sensor de gas MQ-135, el DIO1 al módulo sensor PIR de presencia *SURE electronics*, el DIO2 al módulo sensor infrarrojo de proximidad para Arduino y el DIO 3 al módulo sensor de gas MQ-2.

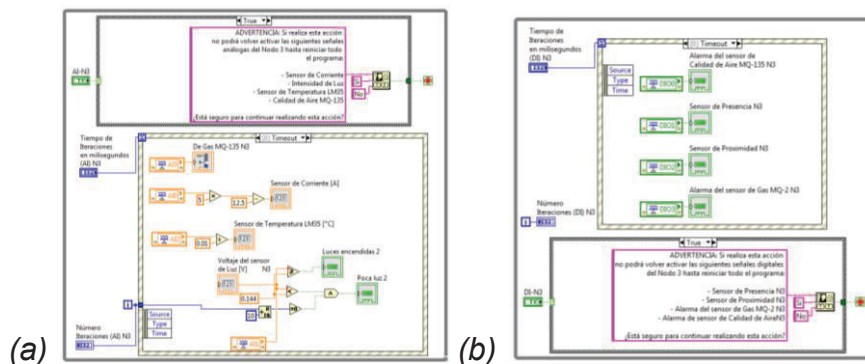


Figura 3.28 (a) Programa para la adquisición de variables analógicas del Nodo 3, (b) Programa para la adquisición de variables digitales del Nodo 3

En la *Figura 3.29* se encuentran distribuidos en el Panel Frontal todos los indicadores de los sensores, los espacios para escribir el tiempo de las iteraciones, los indicadores del número de iteraciones y los botones de *STOP*.

El *Slide* utilizado para el sensor MQ-135 está configurado de la misma forma como se explica en el Nodo 1.

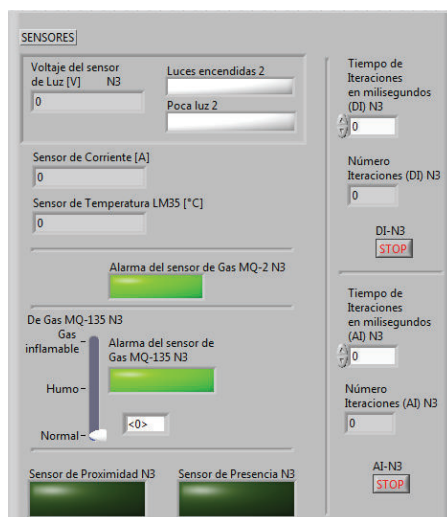


Figura 3.29 Presentación de las variables analógicas y digitales del Nodo 3 en Panel Frontal

3.3.3 GRÁFICO DE SEÑALES ANALÓGICAS

En la *Figura 3.30* se indica el diagrama de flujo para la programación del gráfico de las señales analógicas que se aplica para todos los nodos.

Con un *Tab Control* conectado a un *Case Structure* se pueden seleccionar dos secciones de gráficos, denominados: “Voltaje de salida de los sensores” y “Gráficos de variables de los sensores”

Lo que se presenta en el caso “Voltaje de salida de los sensores” es el gráfico con los valores de voltaje de todas las variables analógicas de cada nodo. Se utiliza las AI individuales de cada nodo y se los reúne en un grupo con un *Bundle*. Una vez que

se tiene una señal con todas las variables se conecta a un *Waveform Chart* para que se puedan visualizar. La programación de los respectivos nodos se puede observar en la *Figura 3.31 (a)*, *Figura 3.32 (a)* y *Figura 3.33 (a)*.

En las *Figura 3.31 (b)*, *Figura 3.32 (b)* y *Figura 3.33 (b)*, se presenta el Panel Frontal del caso “Voltaje de salida de los sensores” para cada nodo, el espacio es para escribir el tiempo de las iteraciones, el indicador del número de iteraciones y el botón de *STOP*. Además se presenta una leyenda con los colores de las líneas que corresponden a cada sensor.

Para el caso “Gráficos de variables de los sensores” se presentan cuatro gráficos correspondientes a las magnitudes que representan las señales analógicas adquiridas de cada nodo. En la sección 2.3 se encuentran las ecuaciones que se han programado para cada sensor. La programación de los respectivos nodos se puede observar en la *Figura 3.34 (a)*, *Figura 3.35 (a)* y *Figura 3.36 (a)*.

En las *Figura 3.34 (b)*, *Figura 3.35 (b)* y *Figura 3.36 (b)*, se presenta el Panel Frontal del caso “Gráficos de variables de los sensores” para cada nodo, donde aparecen cuatro *Waveform Chart* con sus respectivos indicadores numéricos para cada magnitud.

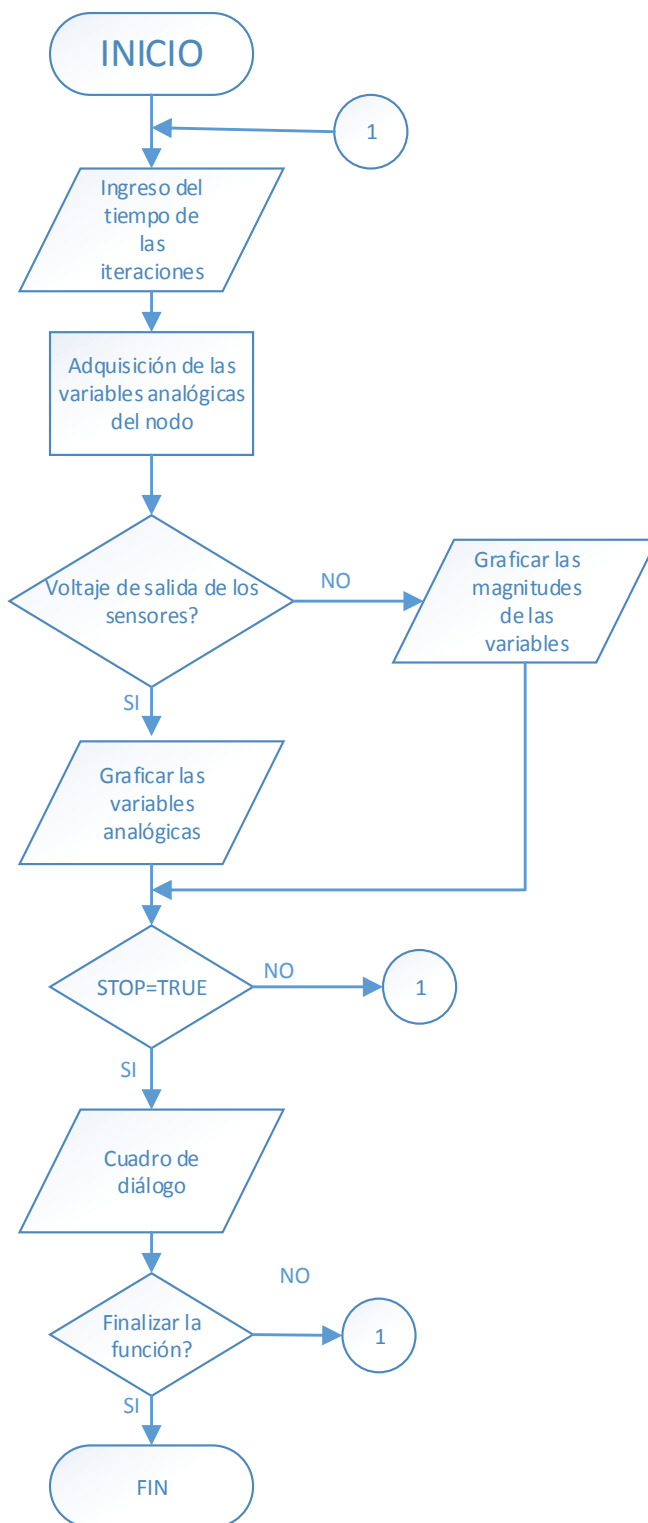


Figura 3.30 Diagrama de flujo del programa para graficar las variables analógicas

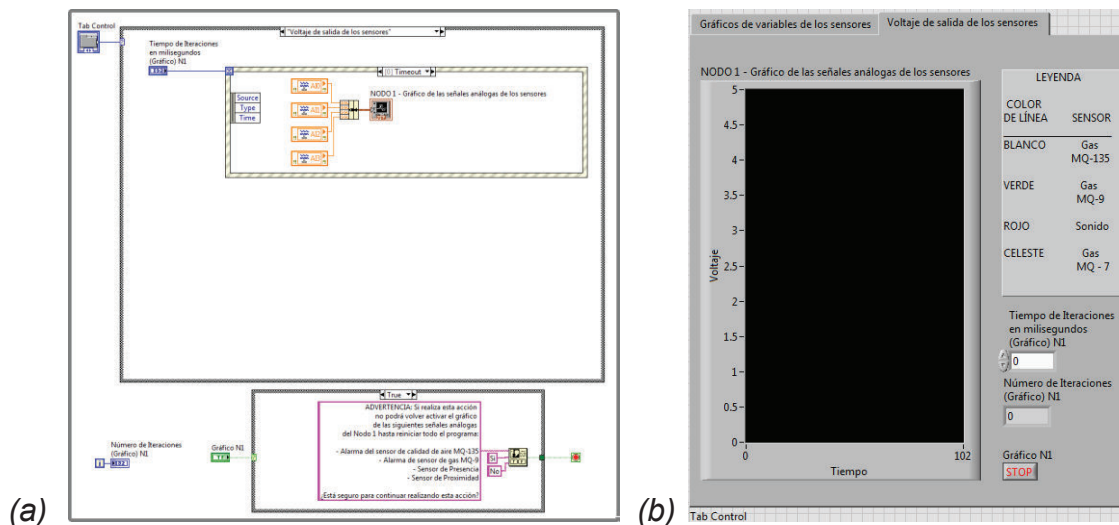


Figura 3.31 (a) Programa para graficar los voltajes de las variables analógicas del Nodo 1, (b) Presentación de la sección “Voltaje de salida de los sensores” en el Panel Frontal de Nodo

1

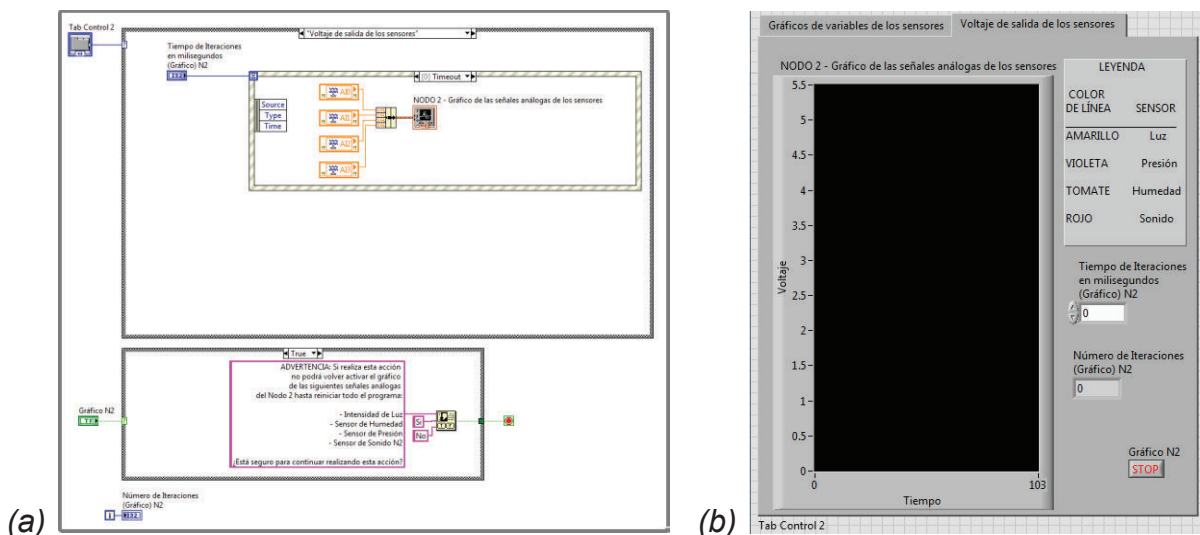


Figura 3.32 (a) Programa para graficar los voltajes de las variables analógicas del Nodo 2, (b) Presentación de la sección “Voltaje de salida de los sensores” en el Panel Frontal de Nodo

2

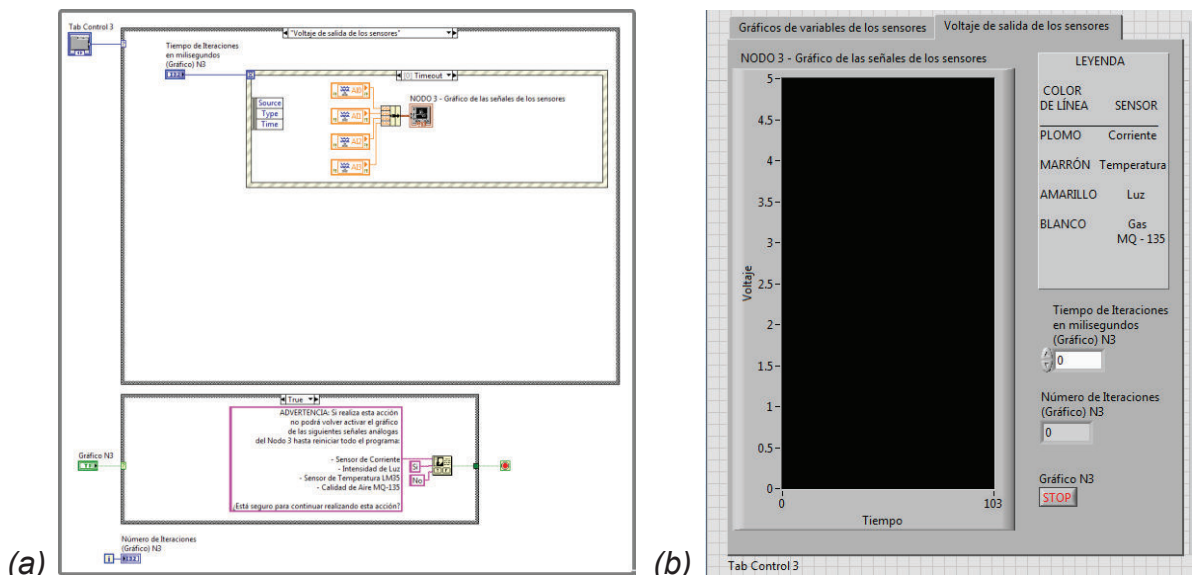


Figura 3.33 (a) Programa para graficar los voltajes de las variables analógicas del Nodo 3, (b) Presentación de la sección “Voltaje de salida de los sensores” en el Panel Frontal de Nodo

3

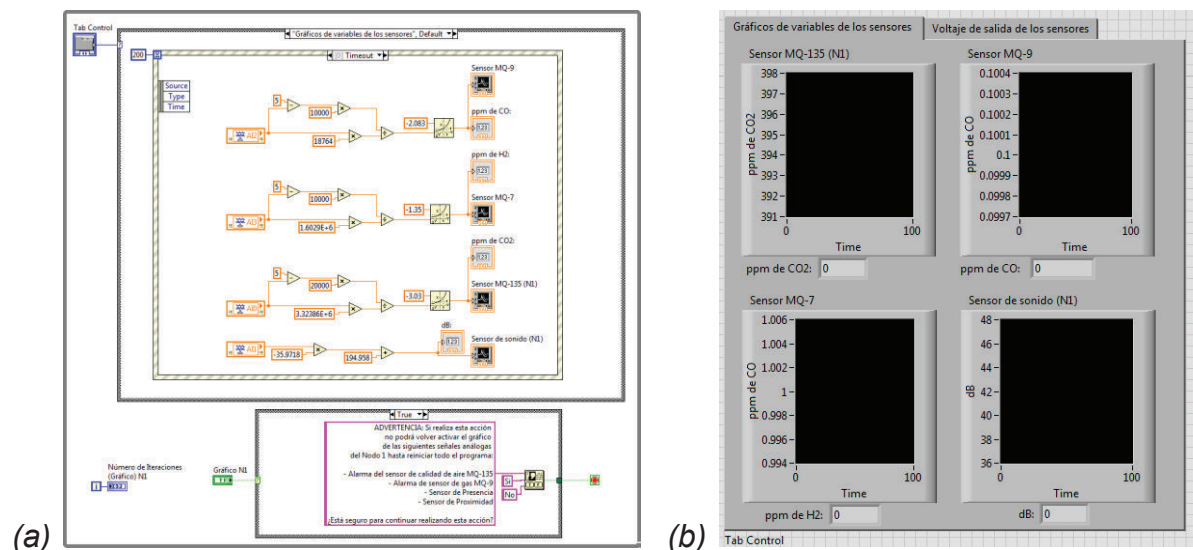


Figura 3.34 (a) Programa para graficar las magnitudes del Nodo 1, (b) Presentación de la sección “Gráficos de variables de los sensores” en el Panel Frontal de Nodo 1

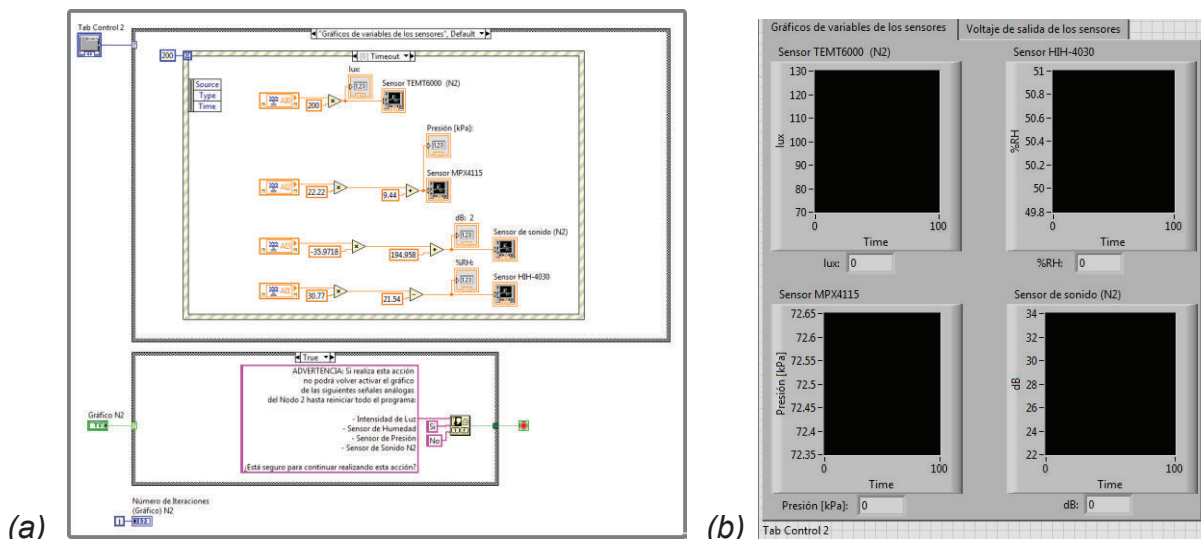


Figura 3.35 (a) Programa para graficar las magnitudes del Nodo 2, (b) Presentación de la sección “Gráficos de variables de los sensores” en el Panel Frontal de Nodo 2

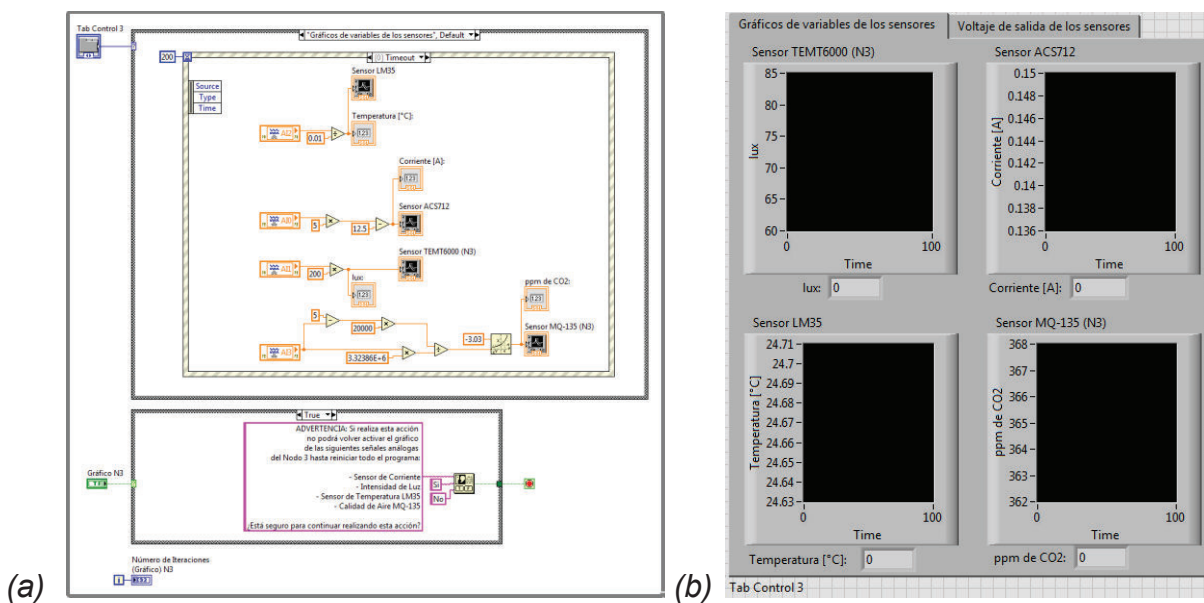


Figura 3.36 (a) Programa para graficar las magnitudes del Nodo 3, (b) Presentación de la sección “Gráficos de variables de los sensores” en el Panel Frontal de Nodo 3

3.3.4 REGISTRO DE SEÑALES ANALÓGICAS

En la *Figura 3.37* se indica el diagrama de flujo para la programación del registro de señales analógicas que se realiza para todos los nodos.

En la *Figura 3.38* se presenta una estructura *While Loop* dentro de la cual se coloca un *Elapsed Time* para que nos proporcione los datos de fecha y hora para el registro. La función *Elapsed Time* tiene que ejecutarse continuamente para que tenga la fecha y hora actualizadas, por lo tanto es necesario programar un *Shift Register* que haga cambiar de estado lógico tanto al *Reset* del *Elapsed Time* como al *STOP* de la estructura *While Loop*. [40]

Los datos de fecha y hora proporciona la salida *Present (s)* de la función *Elapsed Time*. Los datos de *Present (s)* salen de la estructura *While Loop* hacia un *Get Date/Time String* para poder separar fecha y hora e introducirlos en como dos datos por separado a un *Bundle* que posteriormente ingresan al registro junto con los datos de las variables respectivas de cada nodo.

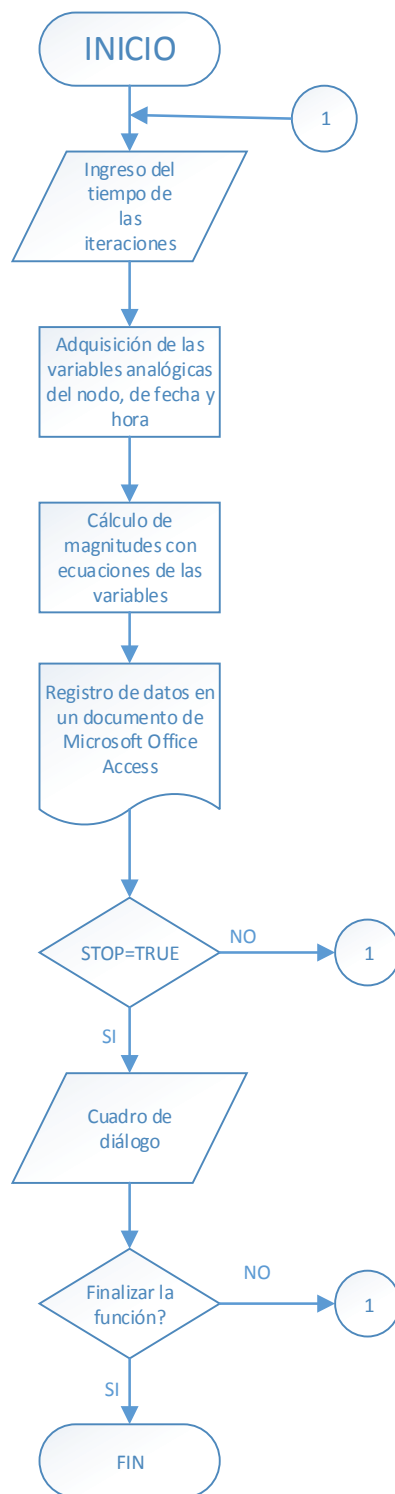


Figura 3.37 Diagrama de flujo del programa para el registro de las variables analógicas

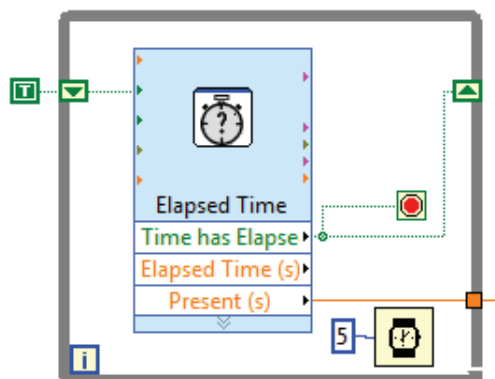


Figura 3.38 Programación de fecha y hora [40]

El proceso para registrar la fecha, hora y variables se lo realiza dentro de una *Event Structure* para tener control sobre el tiempo de iteraciones, que en este caso corresponde al tiempo en que se registran los datos.

En la *Figura 3.39* se presenta el diagrama de bloques para el registro de los datos. Para comenzar el registro se coloca un *DB Tools Open Connection.vi* en el cual se crea un *Control* en *connection information*, el cual servirá para seleccionar el archivo *.udl* que ha sido creado con *Create Data Link* en el VI de *LabVIEW* con un archivo en blanco de *Microsoft Office Access*.

DB Tools Open Connection.vi se conecta por medio de los terminales *connection reference* y *error out*, a la función *DB Tools Insert Data.vi*. En los terminales de *data*, *table* y *columns* de la función *DB Tools Insert Data.vi*, se ingresan los datos reunidos en el *Bundle*, el nombre de la tabla y los nombres de cada columna, respectivamente.

Finalmente, *DB Tools Insert Data.vi* se conecta medio de los terminales *connection reference* y *error out*, a la función *DB Tools Close Connection.vi* de la cual solo se crea un indicador en *error out*.

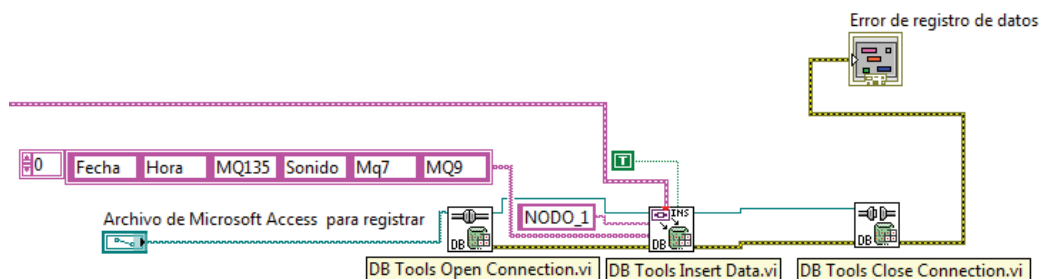


Figura 3.39 Programación del registro de datos en Microsoft Office Access [41]

En la *Figura 3.40* y *Figura 3.41* se presenta la programación completa para el registro de variables analógicas del Nodo 1, así como también su presentación el Panel de Control. Los datos que se registran son los mismos que aparecen en el caso “Gráficos de variables de los sensores” detallado en la sección 3.3.3 y el proceso del registro se encuentra detallado en esta sección, por lo que no es necesario detallar la programación en cada nodo al presentar diagramas similares.

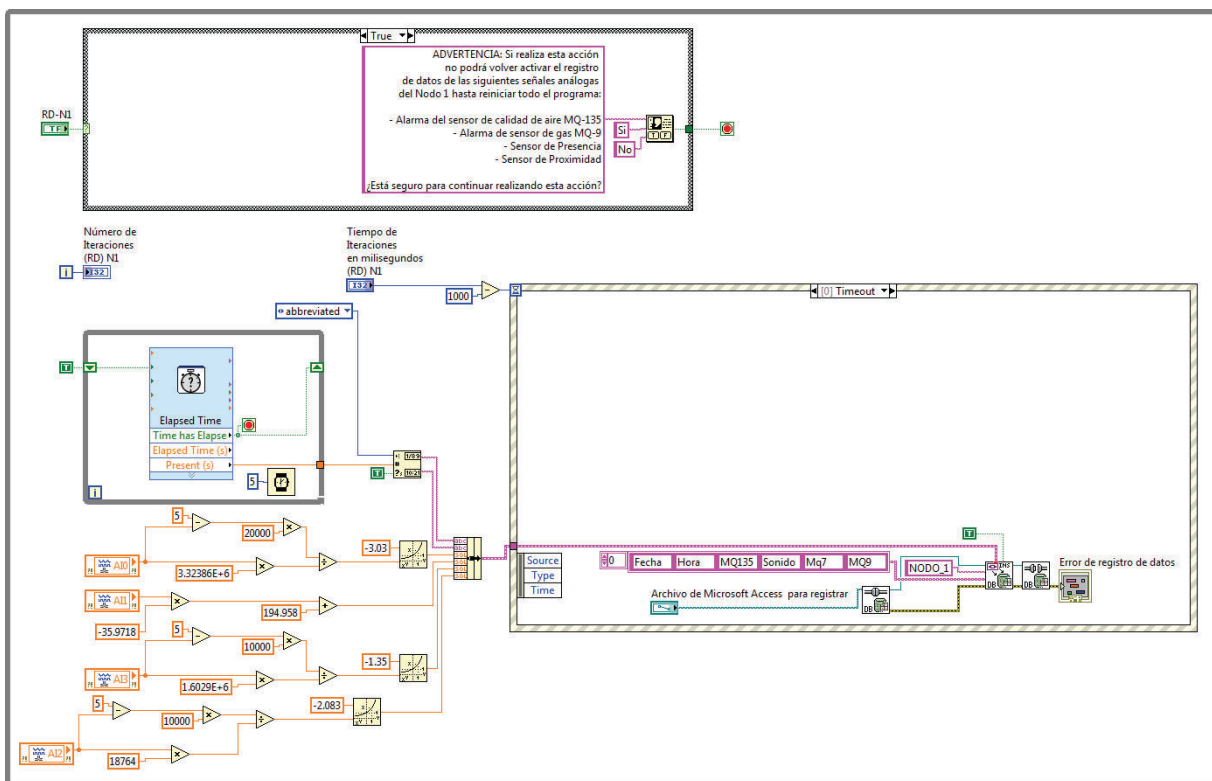


Figura 3.40 Programación del registro de datos para las variables del Nodo 1

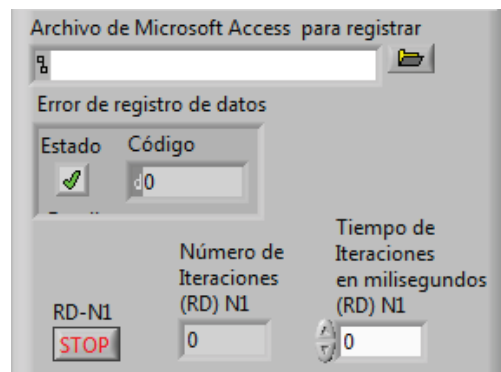


Figura 3.41 Presentación del registro de datos para las variables del Nodo 1 en el Panel Frontal

3.3.5 ENVÍO DE EMAIL

En la *Figura 3.42* se indica el diagrama de flujo para el envío de *email* como alarma para algunas de las variables de los nodos.

En LabVIEW existe una función denominada *Send Email* la cual debe ser configurada como se indica en la *Figura 3.43*. Los datos que presentan dificultad para ser establecidos son el *Outgoing Mail Server (SMTP)* y *Port*.

En *Port* se utiliza el puerto 587 que corresponde al puerto “*Alternativo para clientes de correo*”. [42]

En *Outgoing Mail Server (SMTP)* se usa para el caso del proyecto *smtp.gmail.com* [43], debido a que se escribe una cuenta de Gmail, desde la cual se van a enviar los mensajes hacia otra dirección de correo.

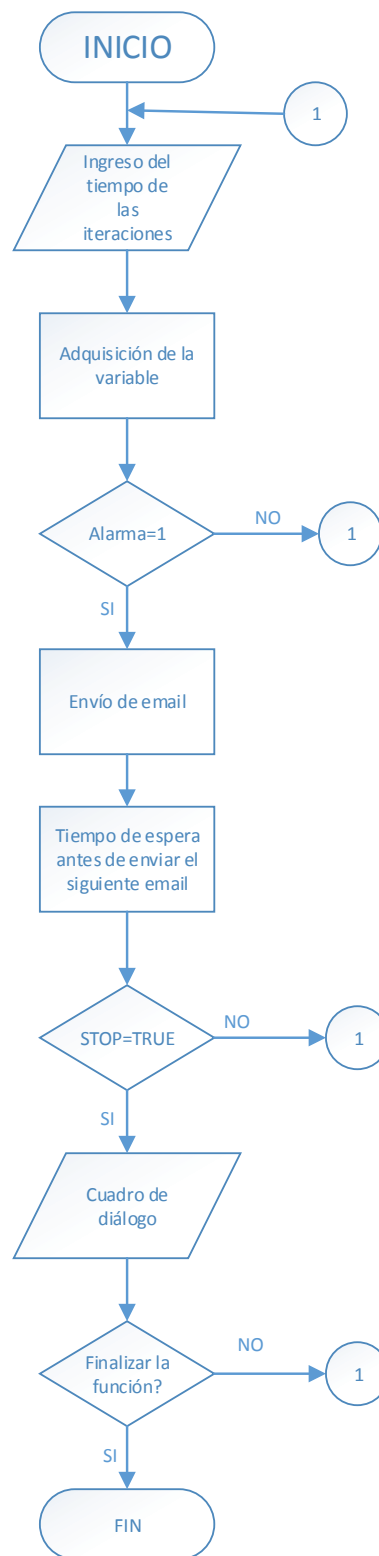


Figura 3.42 Diagrama de flujo del programa para el envío de email

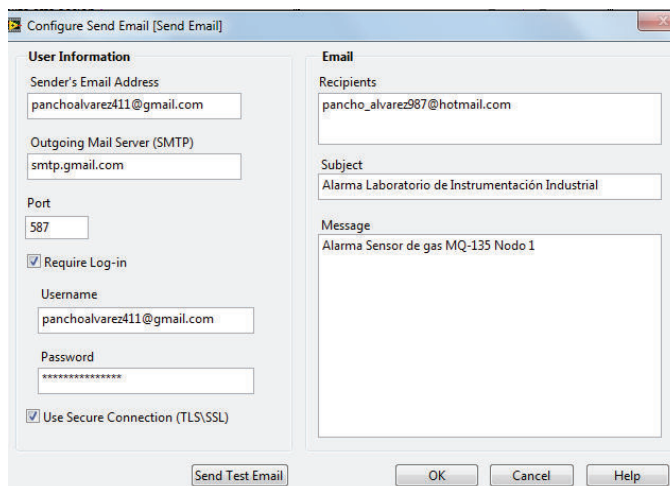


Figura 3.43 Configuración de Send Email

El programa completo para el envío de email, consta de un *Event Structure* en el cual se adquiere la señal del sensor.

Si la señal es analógica se la compara con un valor que previamente se ha establecido en la sección 2.3 y luego se obtiene los estados de *True* o *False*. Dicho estado es enviado a una *Case Structure*.

Dentro del *Case Structure* se ejecuta una *Flat Sequence Structure* si el estado es *True* en su entrada. El primer de la *Flat Sequence Structure* envía un email indicando el nombre del sensor de donde proviene la alarma y el número de nodo al que corresponde. En el segundo evento se coloca un *Wait (ms)*, con el que se obtiene un retardo de cinco minutos antes de enviar el siguiente email en el caso que persista la alarma.

En el caso que el sensor envíe una señal digital, su estado pasa directamente a la *Case Structure* y se ejecuta el programa que se menciona anteriormente.

Desde la *Figura 3.44* hasta la *Figura 3.4852* se presenta la programación para el envío de email en caso de alarma de los sensores MQ-135, de sonido, MQ-9, MQ-7 y de proximidad. En la *Figura 3.49* se muestran organizadas las alarmas de email en

el Panel Frontal para el Nodo 1, con la correspondiente dirección de correo de destino.

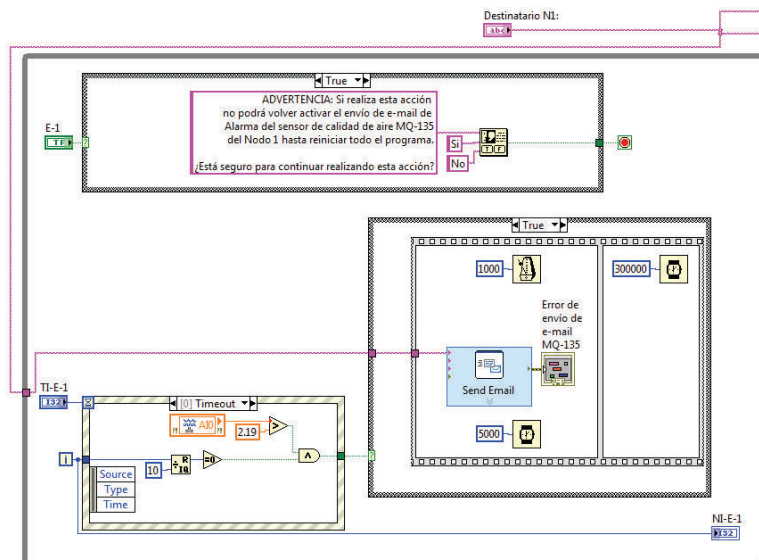


Figura 3.44 Programación del envío de email de alarma del sensor MQ-135 del Nodo 1

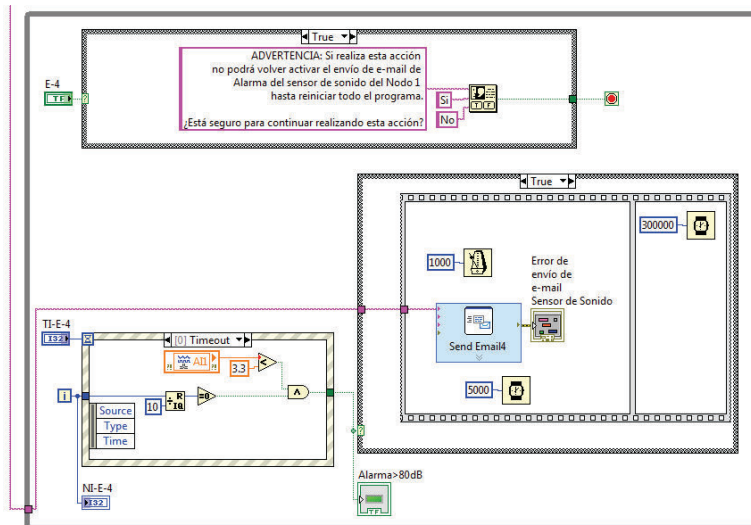


Figura 3.45 Programación del envío de email de alarma del sensor de sonido del Nodo 1

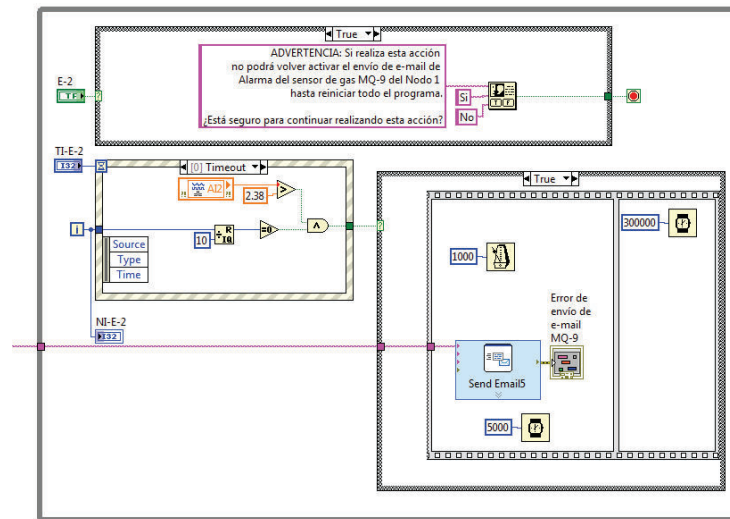


Figura 3.46 Programación del envío de email de alarma del sensor MQ-9 del Nodo 1

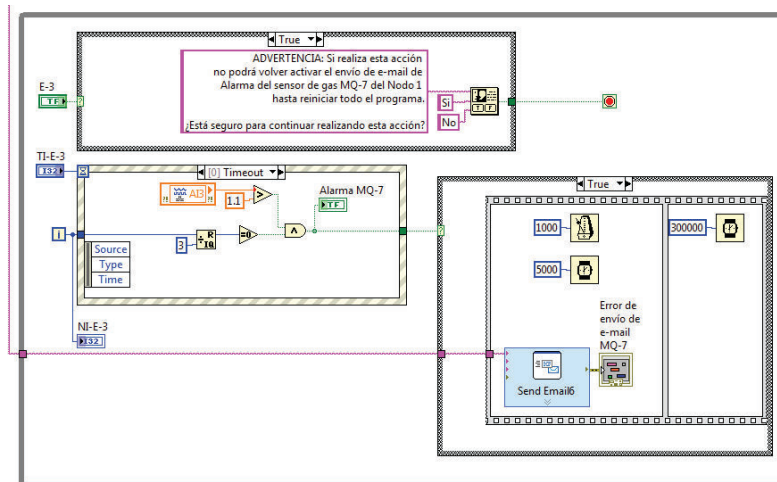


Figura 3.47 Programación del envío de email de alarma del sensor MQ-7 del Nodo 1

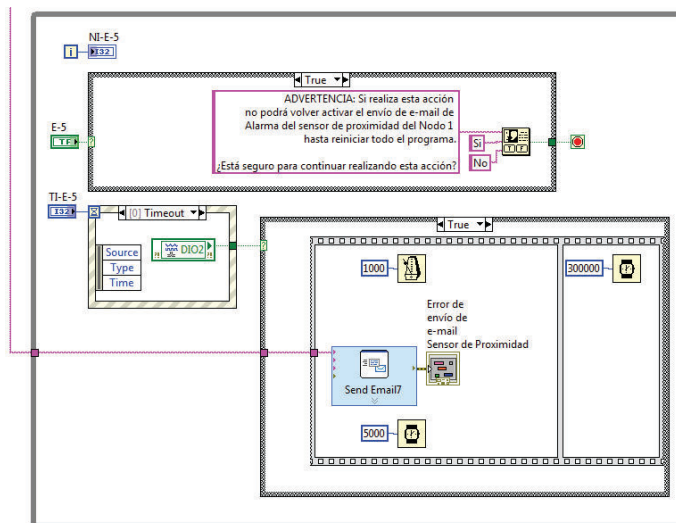


Figura 3.48 Programación del envío de email de alarma del sensor de proximidad del Nodo

1

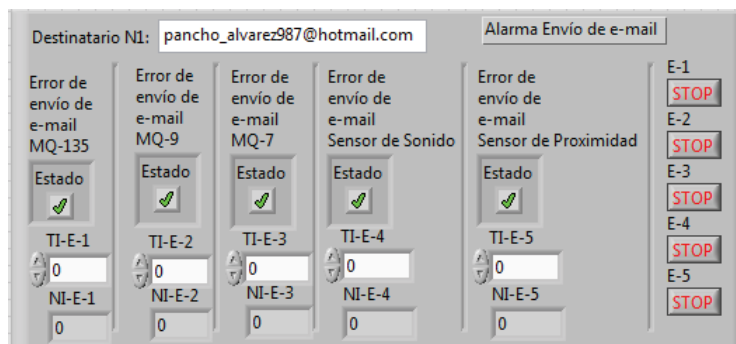


Figura 3.49 Presentación del Panel Frontal de las alarmas de email del Nodo 1

Desde la *Figura 3.50* hasta la *Figura 3.52* se presenta la programación para el envío de email en caso de alarma de los sensores MQ-9, de proximidad y de sonido. En la *Figura 3.53* se muestran organizadas las alarmas de email en el Panel Frontal para el Nodo 2, con la correspondiente dirección de correo de destino.

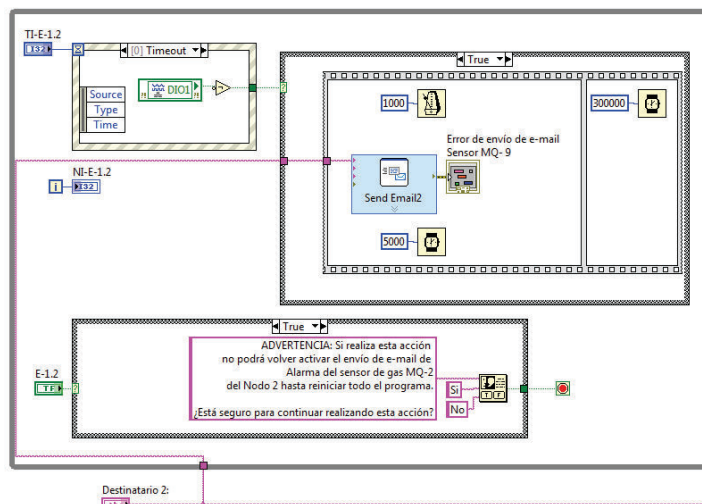


Figura 3.50 Programación del envío de email de alarma del sensor MQ-9 del Nodo 2

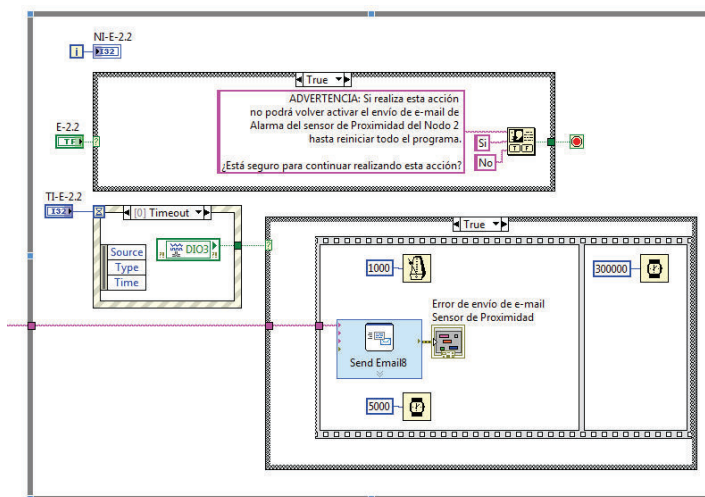


Figura 3.51 Programación del envío de email de alarma del sensor de proximidad del Nodo 2

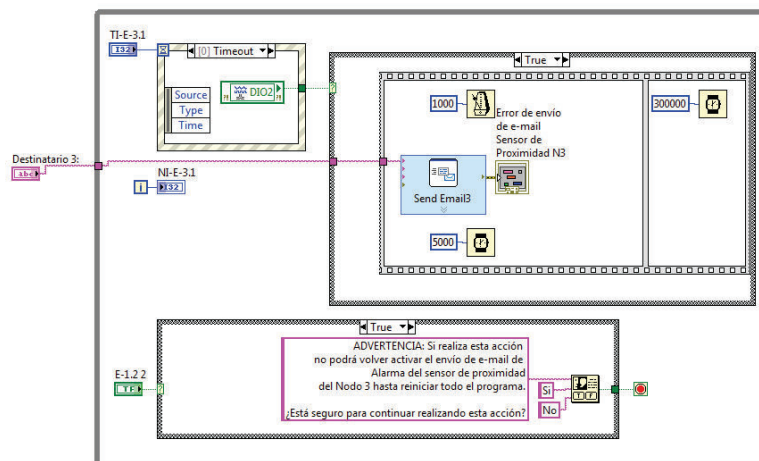


Figura 3.54 Programación del envío de email de alarma del sensor de proximidad del Nodo

3

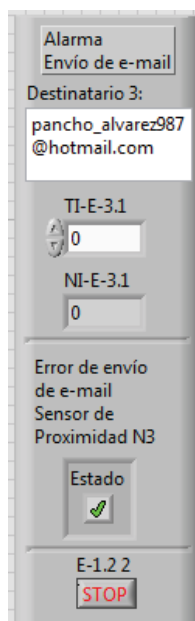


Figura 3.55 Presentación del Panel Frontal de la alarma de email del Nodo 3

3.3.6 COMUNICACIÓN SERIAL

En la *Figura 3.56* se indica el diagrama de flujo para la programación de la comunicación serial que activa al Arduino UNO para ejecutar el envío del mensaje de texto que se realiza en caso de alarma de gas o humo en todos los nodos.

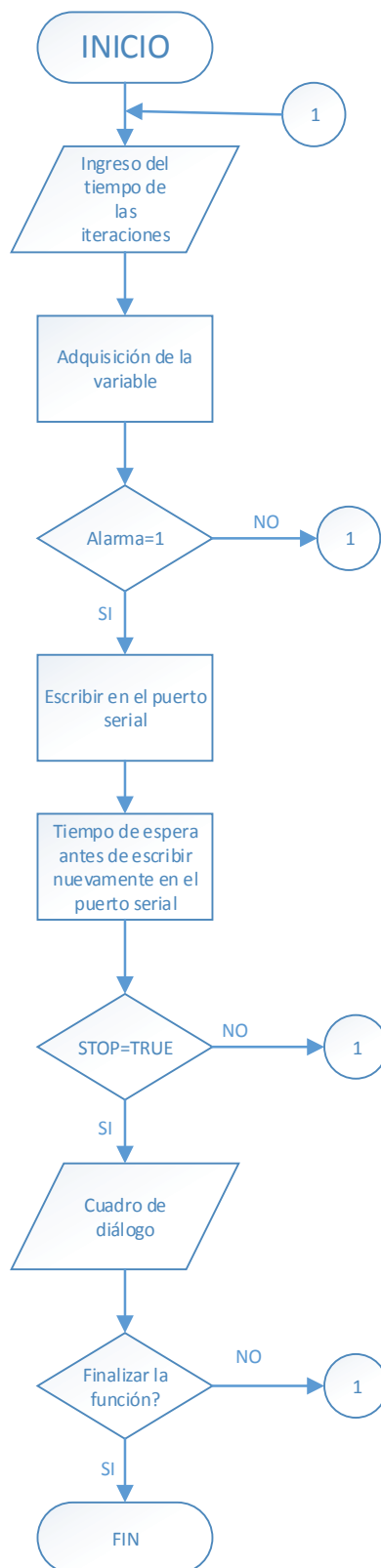


Figura 3.56 Diagrama de flujo del programa para comunicación serial

Para escribir un carácter *String* en el puerto serial se realiza la programación que se presenta en la *Figura 3.57*.

En primer lugar se coloca un *VISA Configure Serial Port*, en el cual se configura los parámetros para la comunicación serial. En *timeout*, *data bits*, *parity*, *stop bits* y *flow control* se programa con los valores por defecto, que son los de la *Figura 3.57*. En el terminal *VISA resource name* se crea un *Control* para poder seleccionar el número de puerto serial y en *baud rate* se programa a 19200 por el programa del Arduino UNO.

El *VISA Configure Serial Port* se conecta por medio de los terminales *VISA resource name out* y *error out* al *VISA Write*. Al bloque *VISA Write* se lo coloca dentro de una estructura *While Loop* la cual dejará de ejecutarse si el número de iteraciones sea mayor que 2. El *VISA Write* en su terminal *write buffer* permite escribir el carácter *String* que se desea escribir en el puerto serial, en este caso es la letra *s*.

Finalmente, fuera de la estructura *While Loop* se une al *VISA Write* con el *VISA Close*, por medio de los terminales *VISA resource name out* y *error out*.

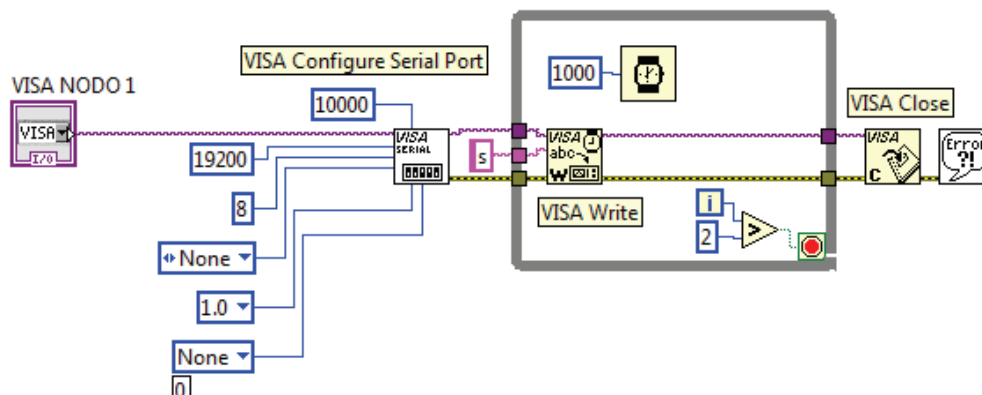


Figura 3.57 Programa para comunicación serial [44]

La programación es similar al envío de email de alarma, lo que cambia es el primer evento de la *Flat Sequence Structure*, que en este caso es la escritura en el puerto serial.

Para el Nodo 1 se utiliza la señal analógica del sensor MQ-135 y se envía la alarma cuando el voltaje sobrepasa 2.19V como se indica en la *Figura 3.58*. En la *Figura 3.59* se observa las opciones para la selección del puerto serial, el ingreso del tiempo de las iteraciones y el indicador del número de iteraciones.

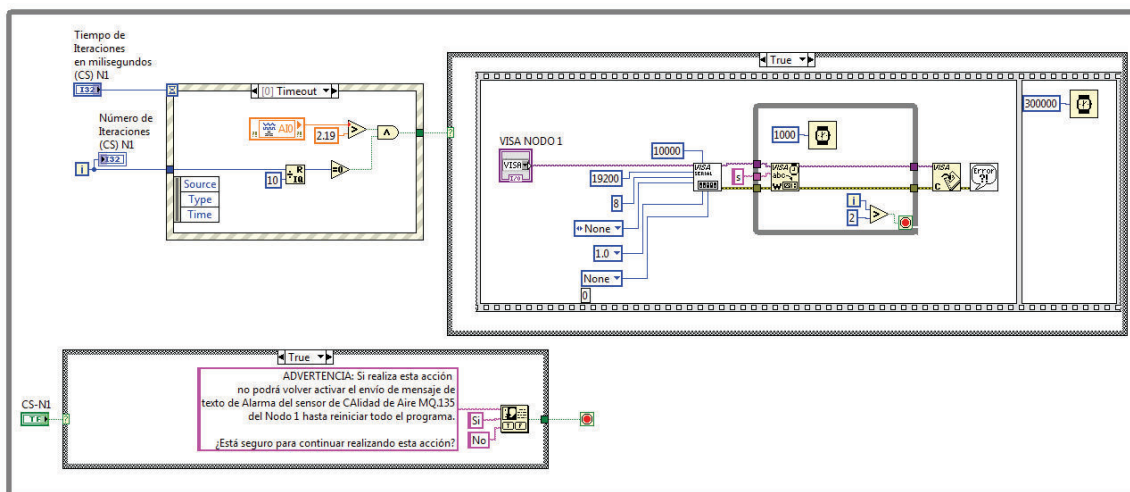


Figura 3.58 Programación de alarma por comunicación serial de gas o humo del sensor de MQ-135 del Nodo 1

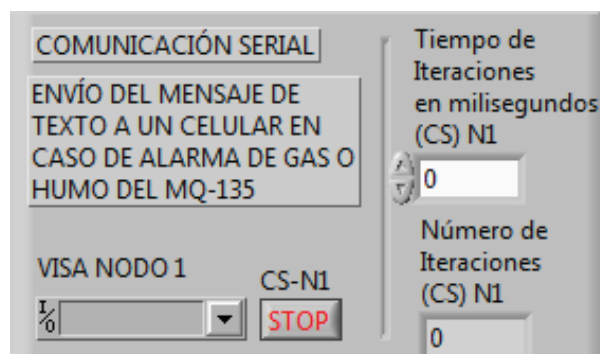


Figura 3.59 Presentación en el Panel Frontal de alarma por comunicación serial de gas o humo del sensor de MQ-135 del Nodo 1

Para el Nodo 2 se utiliza la señal digital del sensor MQ-2 y se envía la alarma cuando el estado es de cero lógico, como se indica en la *Figura 3.60*. En la *Figura 3.61* se observa las opciones para la selección del puerto serial, el ingreso del tiempo de las iteraciones y el indicador del número de iteraciones.

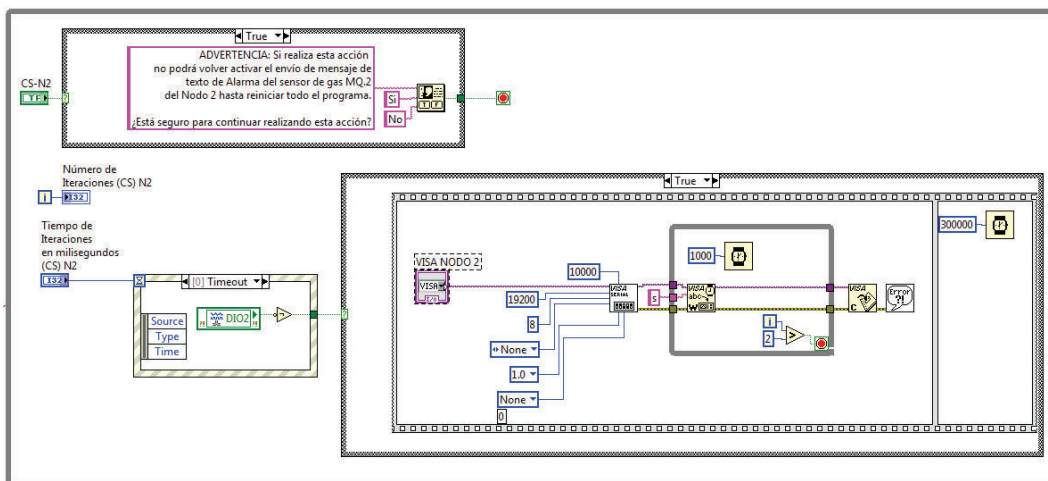


Figura 3.60 Programación de alarma por comunicación serial de gas o humo del sensor de MQ-2 del Nodo 2

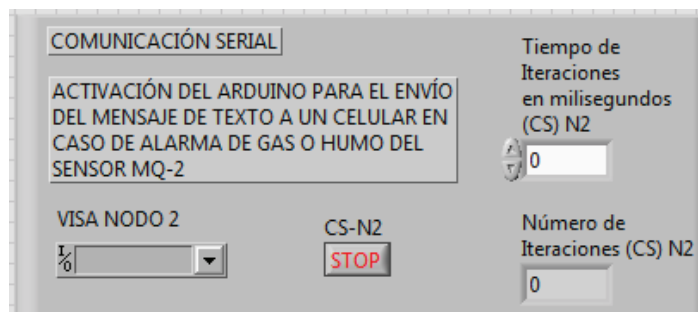


Figura 3.61 Presentación en el Panel Frontal de alarma por comunicación serial de gas o humo del sensor de MQ-2 del Nodo 2

Para el Nodo 3 se utiliza la señal digital del sensor MQ-135 y se envía la alarma cuando el estado es de cero lógico, como se indica en la *Figura 3.62*. En la *Figura 3.63* se observa las opciones para la selección del puerto serial, el ingreso del tiempo de las iteraciones y el indicador del número de iteraciones.

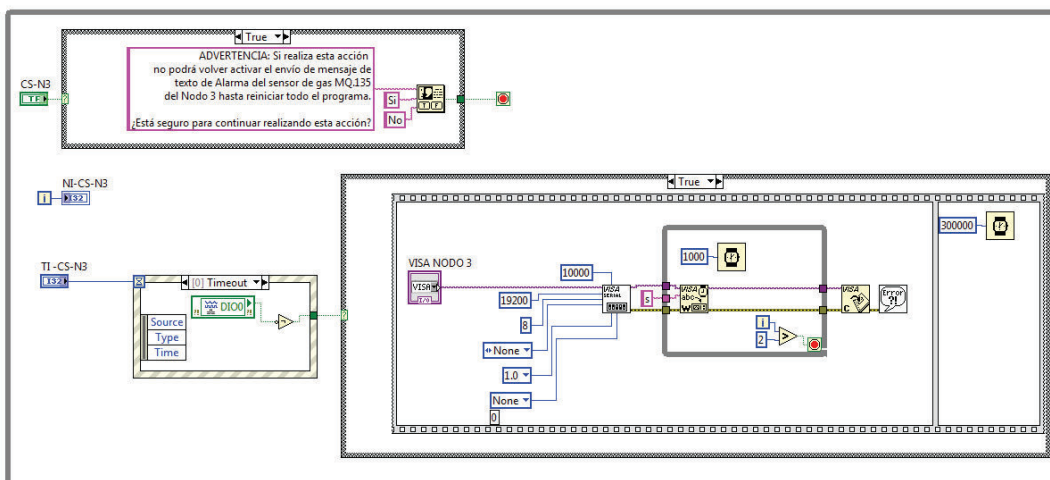


Figura 3.62 Programación de alarma por comunicación serial de gas o humo del sensor de MQ-135 del Nodo 3

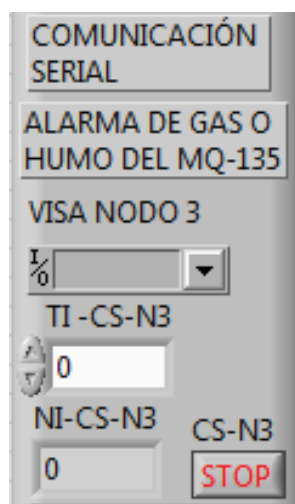


Figura 3.63 Presentación en el Panel Frontal de alarma por comunicación serial de gas o humo del sensor de MQ-135 del Nodo 3

Los nodos de la WSN poseen una alarma de mensaje de texto en caso de su desconexión. En la *Figura 3.64* se indica la programación utilizada para activar la alarma para cada nodo.

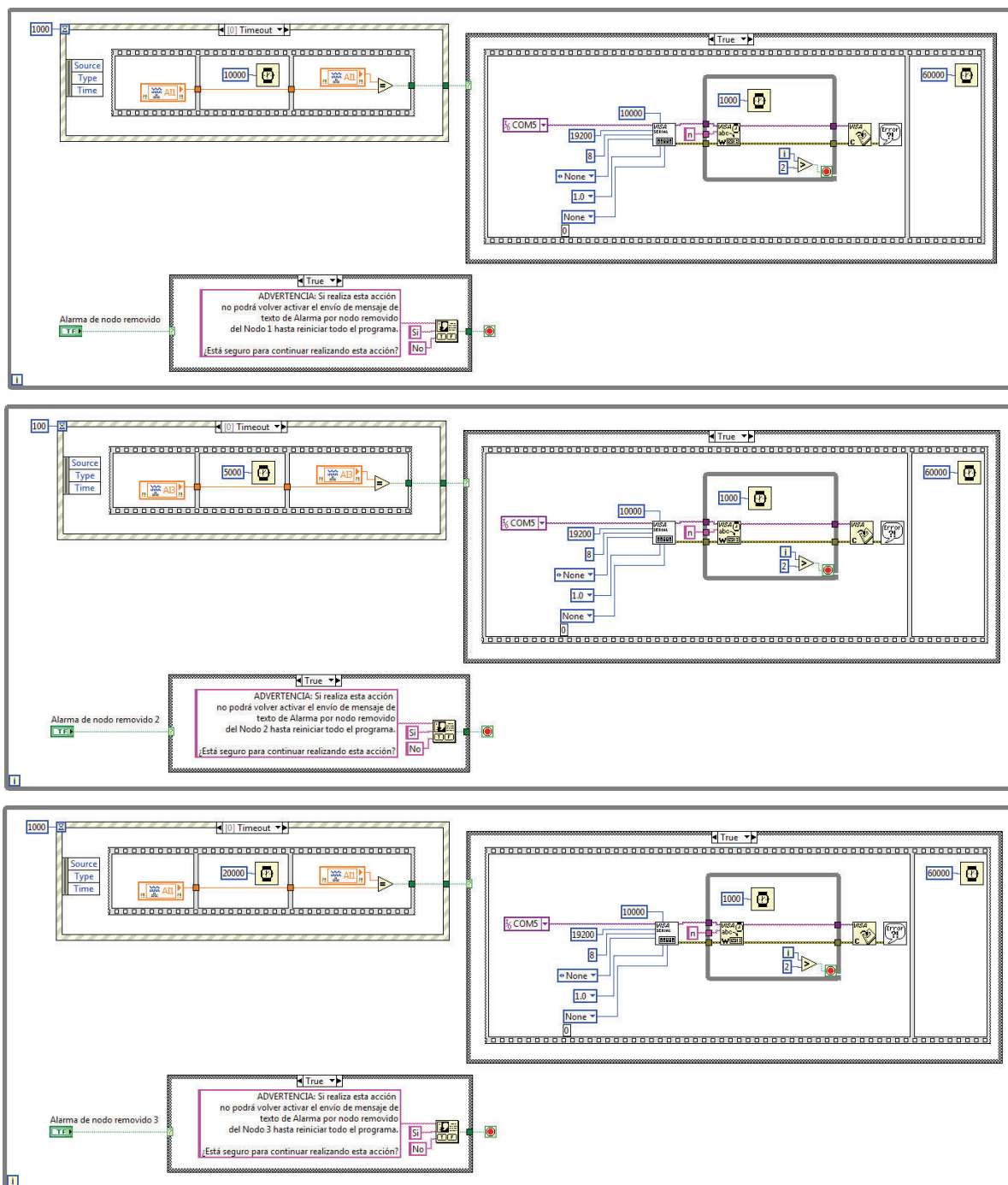


Figura 3.64 Programación de alarma por comunicación en caso de desconexión de los nodos

3.4 INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA (HMI) DE LOS NODOS

A continuación se presenta en la *Figura 3.65*, *Figura 3.66* y *Figura 3.67*, los paneles frontales que constituyen los HMI de los nodos 1, 2 y 3, respectivamente.

Los paneles frontales que se explicaron en la sección 3.3 son organizados para visualizar toda la información de cada nodo. En cada pantalla se ha colocado la nomenclatura para algunas siglas que aparecen en las interfaces.

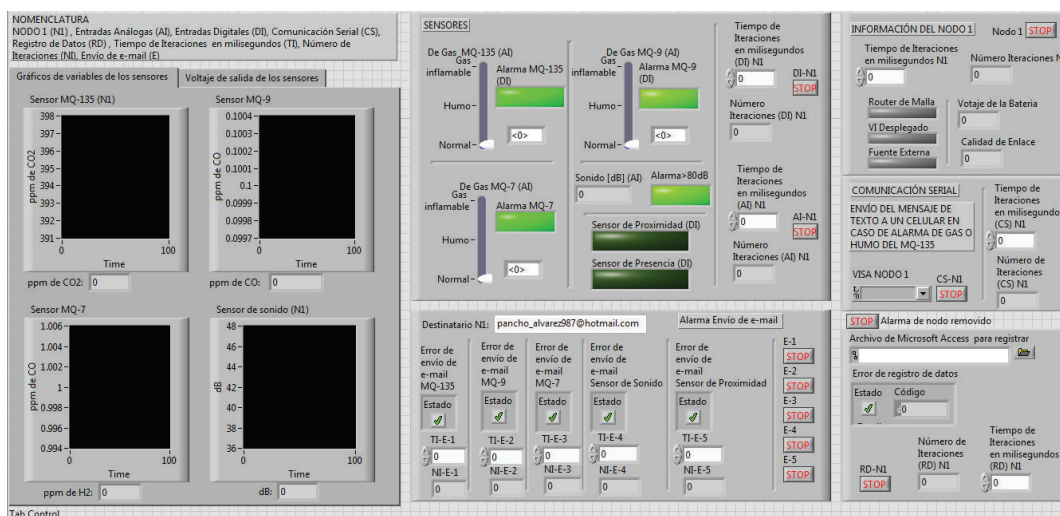


Figura 3.65 Presentación en el Panel Frontal del Nodo 1

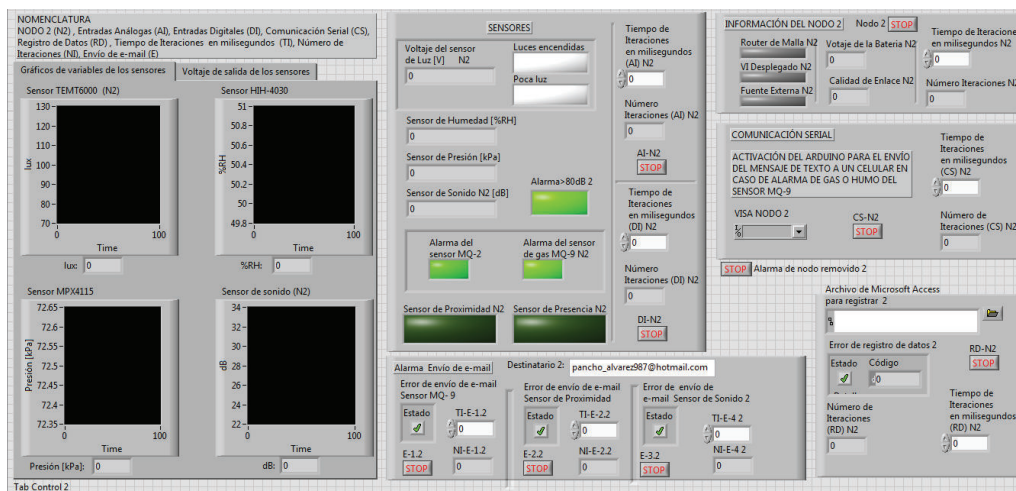


Figura 3.66 Presentación en el Panel Frontal del Nodo 2

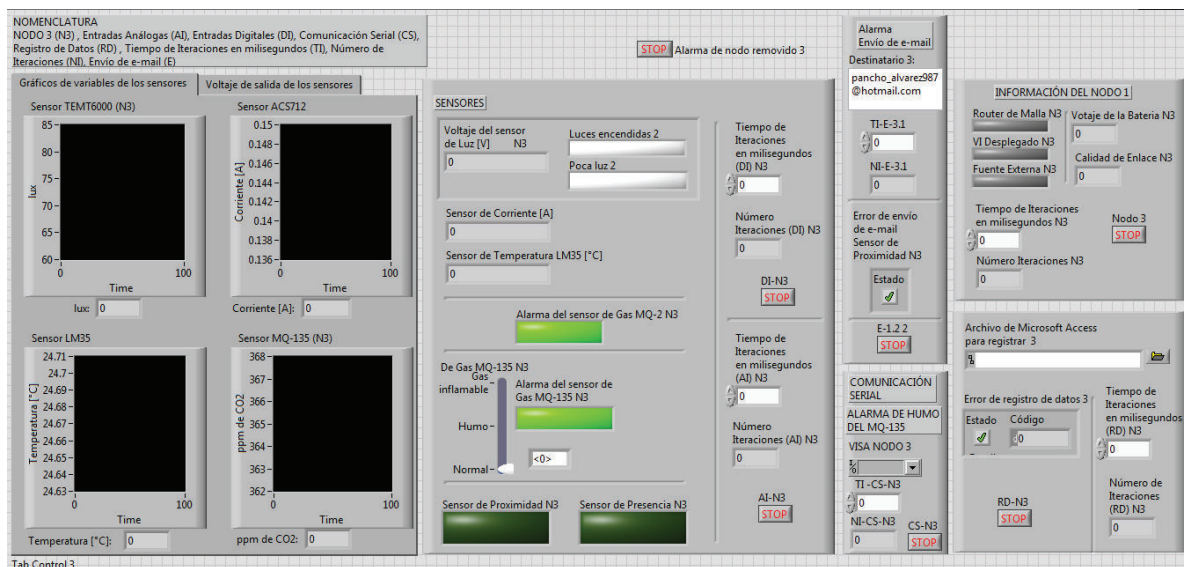


Figura 3.67 Presentación en el Panel Frontal del Nodo 3

3.5 PROGRAMA DE LOS NODOS

En la sección 3.2 se explica cada uno de los casos que se presentan en el *Case Structure* del VI modelo para programar a los nodos. Por lo tanto en esta sección se explica el comportamiento de los nodos.

Los casos que son modificados son *Start* y *Sample*. Mientras que en *Receive*, *Network Status Change* y *DIO Notification*, no se realiza ninguna programación.

En el caso *Start* que se presenta en la *Figura 3.68*, se programa *Sample Interval* a 0.5 para tener únicamente dos muestras por segundo. [19]

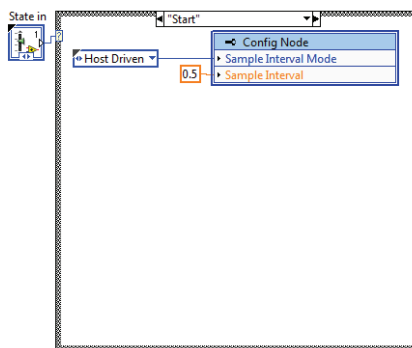


Figura 3.68 Caso “Start”

En el caso *Sample*, que se presenta en la *Figura 3.69* se adquieren y envían los valores de las entradas analógicas y digitales, con el intervalo establecido.

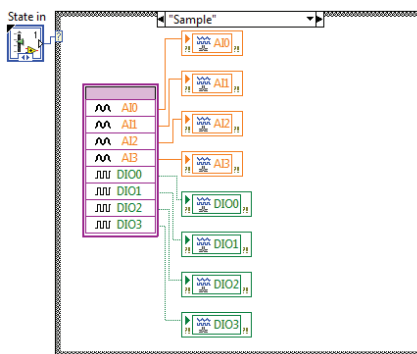


Figura 3.69 Caso “Sample”

3.6 PROGRAMA EN ARDUINO UNO PARA ENVÍO DE MENSAJE DE TEXTO

El Arduino Uno se presenta en la *Figura 3.71*, el cual se programa mediante la interfaz propia de Arduino y por USB.

Para enviar un mensaje de texto con el módulo SIM900 que se puede observar en la *Figura 3.72*, se programa en el Arduino UNO el código que corresponde al diagrama de flujo de la *Figura 3.70*.

El Arduino UNO está programado para enviar un mensaje de texto para los casos señalados en la sección 3.3.6, que corresponden a la activación de los sensores de gas o cuando algún nodo de la red ha sido desconectado.

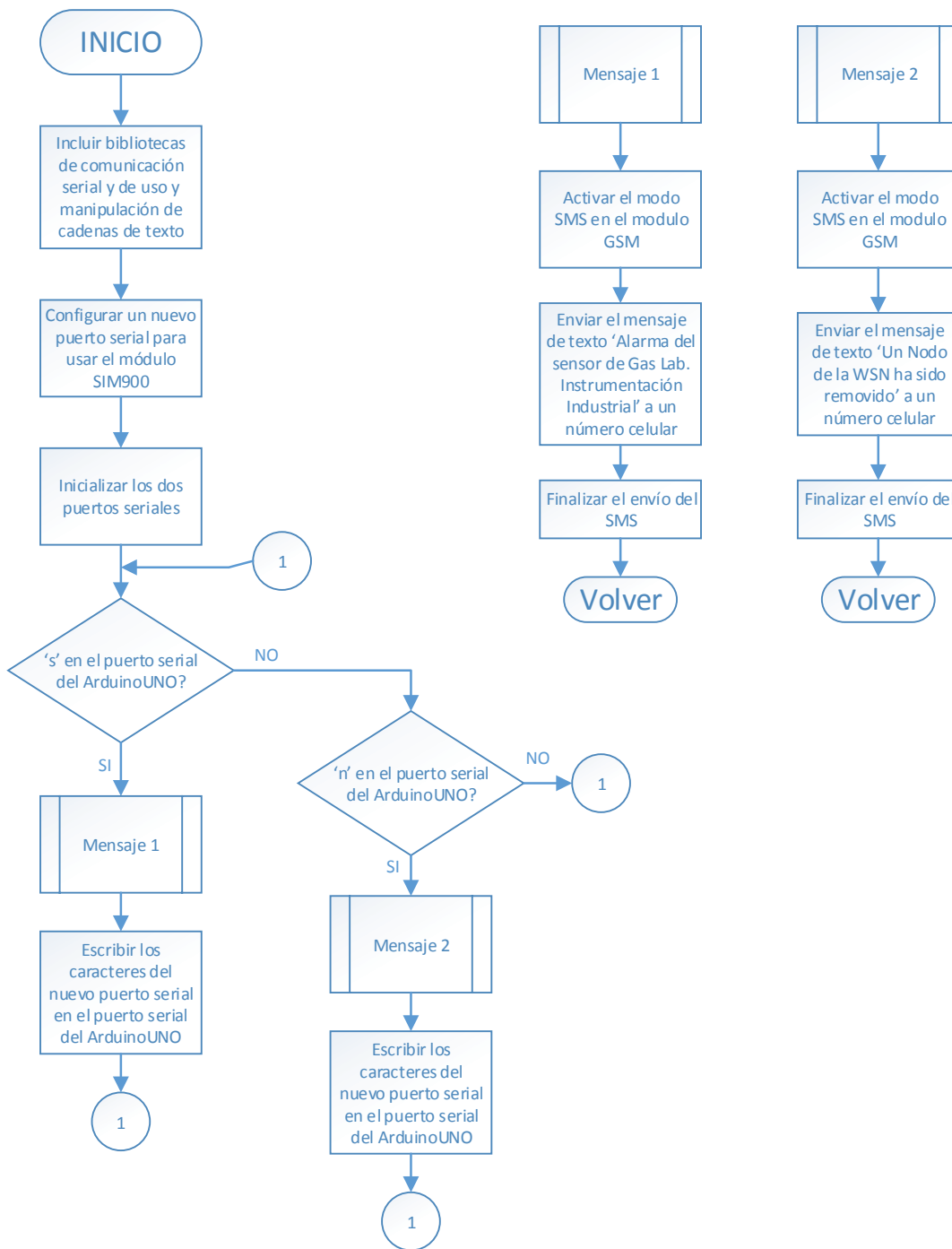


Figura 3.70 Diagrama del flujo del programa para enviar un SMS con Arduino UNO y el módulo SIM900

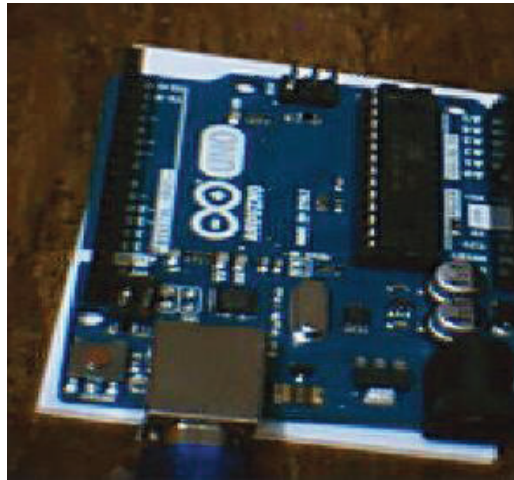


Figura 3.71 Arduino UNO



Figura 3.72 Módulo SIM900 para Arduino UNO

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 CALIDAD DE ENLACE INALÁMBRICO DE LOS NODOS EN LOS CANALES DE COMUNICACIÓN DISPONIBLES EN EL SOFTWARE NI MAX

El software NI MAX permite seleccionar el canal de comunicación para la NI WSN. Con cada canal se realizó la prueba para establecer una conexión inalámbrica con todos los nodos. En la *Figura 4.1* se presenta las pruebas realizadas desde el canal 11 al 15 y en la *Figura 4.2* desde el 16 al 24.

Wireless Channel: 11							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 17:31:02	No Battery	Fair	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 17:31:02	No Battery	Good	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 17:31:03	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 12							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 17:40:42	No Battery	Fair	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 17:40:47	No Battery	Good	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 17:40:43	No Battery	Good	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 13							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 17:46:17	No Battery	Good	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 17:46:17	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 17:46:18	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 14							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 18:08:02	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 18:08:02	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 18:08:03	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 15							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 13:46:22	No Battery	Good	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 13:46:21	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 13:46:23	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Figura 4.1 Pruebas con los canales de comunicación del 11 al 15 en el software NI MAX

Wireless Channel: 16							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 15:21:32	No Battery	Good	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 15:21:31	No Battery	Good	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 15:21:33	No Battery	Fair	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 17							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 15:38:07	No Battery	Good	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 15:38:06	No Battery	Fair	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 15:38:03	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 18							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 15:46:02	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 15:46:01	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 15:45:58	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 19							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 16:01:52	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 16:01:51	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 16:01:53	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 20							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 16:13:47	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 16:13:46	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 16:13:48	No Battery	Fair	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 21							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 16:33:12	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 16:33:12	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 16:33:13	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 22							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 16:49:17	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 16:49:17	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 16:49:18	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 23							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	09/12/2014 17:02:07	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	09/12/2014 17:02:07	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	09/12/2014 17:02:08	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Wireless Channel: 24							
Node Type	Serial Number	ID	Last Communication Time	Battery State	Link Quality	Network Mode	Firmware Version
NI WSN-3202	176253C	2	24/11/2014 20:00:35	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	1859C05	3	24/11/2014 20:00:36	No Battery	Excellent	Mesh Router	NI WSN-3202 1.4.0f0
NI WSN-3202	18C525F	1	24/11/2014 20:00:36	No Battery	Excellent	End Node	NI WSN-3202 1.4.0f0

Figura 4.2 Pruebas con los canales de comunicación del 16 al 24 en el software NI MAX

Para los canales 14, 18, 19, 21, 22, 23 y 24, se obtuvo *Excelent* en *Link Quality* para los tres nodos, lo que indica que la calidad de enlace de todos los nodos se encuentran entre 87% y el 100%, de acuerdo a la *Tabla 4.1*. Por lo tanto en los canales mencionados se puede establecer una mejor conexión inalámbrica para la red.

. **Tabla 4.1** Valores numéricos para la calidad de enlace de los nodos de la NI WSN [45]

Valores Numéricos (en LabVIEW)	Link Quality (en NI MAX)
87 a 100	Excellent
71 a 86	Good
55 a 70	Fair
35 a 54	Poor
0 a 34	Poor

Cuando se requiere cambiar de canal es necesario presionar durante 5 segundos el *WSN Connect Button* de los nodos NI WSN 3202 que se muestra en la *Figura 4.3*, para que cada nodo realice la búsqueda de señal en todos los canales.



Figura 4.3 WSN Connect Button

El resultado de forma global fue el establecimiento de la conexión inalámbrica en todos los canales que dispone el NI MAX para las NI WSN.

4.2 MEDICIONES DE LA POTENCIA DE LA SEÑAL CON TOPOLOGÍA CLUSTER TREE EN EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

En la *Figura 4.4* aparece el analizador de espectros Will tek 9102, con el cual se midió la potencia de la señal de la red inalámbrica. Las mediciones realizadas fueron entre el gateway y el Nodo 3, entre el Nodo 3 y el Nodo 2, y finalmente, entre el Nodo 2 y el Nodo 1.



Figura 4.4 Analizador de espectros Will tek 9102

A continuación se presentan tabuladas las mediciones para las respectivas distancias entre los dispositivos y los errores respecto a los valores calculados en la sección 2.1.11.

- **A la distancia de 2.42m entre el gateway y el Nodo 3**

Tabla 4.2 Errores en los cálculos a 2.42m

Medición Pd [dBm]	Error % n=2.7	Error % n=4.3
-51.00	41.30	5.52
-47.00	30.13	2.83
-49.00	35.58	1.22
-47.00	29.96	2.99
-48.00	32.63	1.00
-46.00	27.02	5.20
-49.00	35.22	0.90
-46.00	26.85	5.35
-42.00	15.75	13.65
-48.00	32.19	1.39
-46.00	26.60	5.58
-44.00	21.02	9.75
-42.00	15.44	13.92
-46.00	26.35	5.80

El promedio de los errores para n=2.7 es de 28.29% y para n=4.3 es de 5.37%.

- **A la distancia de 2.98m entre el Nodo 3 y el Nodo 2**

Tabla 4.3 Errores en los cálculos a 2.98m

Medición Pd [dBm]	Error % n=2.7	Error % n=4.3
-64.00	43.64	3.55
-66.00	48.05	6.71
-65.00	45.73	5.03
-62.00	38.93	0.12
-59.00	32.13	4.78
-61.00	36.54	1.62
-65.00	45.41	4.77
-63.00	40.86	1.48
-63.00	40.79	1.42
-60.00	34.01	3.47
-50.00	11.62	19.61
-51.00	13.79	18.05
-55.00	22.65	11.67
-63.00	40.41	1.11

El promedio de los errores para n=2.7 es de 35.32% y para n=4.3 es de 5.96%.

- **A la distancia de 5.92m entre el Nodo 2 y el Nodo 1**

Tabla 4.4 Errores en los cálculos a 5.92m

Medición Pd [dBm]	Error % n=2.7	Error % n=4.3
-67.00	43.83	3.02
-64.00	37.32	1.65
-65.00	39.39	0.18
-63.00	35.03	3.31
-68.00	45.67	4.31
-66.00	41.32	1.18
-64.00	36.96	1.94
-60.00	28.34	8.13
-60.00	28.27	8.18
-65.00	38.89	0.59
-64.00	36.68	2.17
-57.00	21.67	12.92
-56.00	19.47	14.50
-55.00	17.28	16.08

El promedio de los errores para n=2.7 es de 33.58% y para n=4.3 es de 5.58%.

Debido a que en la ecuación 2.2 de la sección 2.1.11 existe el exponente de pérdidas por trayectoria que puede estar entre 2.7 y 4.3 existían dos valores calculados para cada distancia. Con las mediciones realizadas los resultados de los errores son mucho menores para n=4.3.

4.3 PRUEBAS CON EL SOFTWARE

En el nodo 2 y 3 en la programación para la alarma visual del sensor de luz se usó un algoritmo con el *Quotient & Remainder* para crear un retardo antes de mostrar la alarma visual. El algoritmo consiste en dividir el número de iteraciones para diez

hasta que el residuo sea cero, lo que implica es que cuando hayan pasado 10 iteraciones se presenta la alarma visual.

En el registro de datos se aumentó un *Wait (ms)* de 1000, dentro del *Event Structure*. Además se restó 2000 del número que se ingresa en el tiempo de iteraciones para ajustar el tiempo de registro de datos. Las dos modificaciones se realizaron para resolver el inconveniente del registro en intervalos de tiempos erróneos.

De igual manera para el envío de email de alarma, se usó el algoritmo con el *Quotient & Remainder* para crear un retardo antes de enviar la alarma. Al momento de enviar el segundo email de las alarmas se producía un error y eso impedía que la rutina del programa destinada a la alarma volviera a ejecutarse, por lo que se colocó un *Wait (ms)* de 5000 y un *Wait Until Next ms Multiple* de 1000. Realizando esas modificaciones el envío de email se ejecutó normalmente.

Para activar la escritura en el puerto serial, de igual manera se utilizó el algoritmo con el *Quotient & Remainder* para crear un retardo antes de ejecutar la comunicación serial.

4.4 PRUEBAS CON EL HMI

4.4.1 NODO 1

Con el funcionamiento en condiciones normales del Nodo 1 se obtiene la pantalla de la *Figura 4.5*. Se puede observar que todos los sensores de gas se encuentran en un nivel normal, el sensor de sonido mide 43.0561dB, el sensor MQ-135 mide 413.512ppm de CO₂, el sensor MQ-9 mide 0.101475ppm de CO, el sensor MQ-7 mide 1.00527ppm de H₂, tanto el sensor de proximidad como el de presencia se encuentran funcionando pero se encuentran inactivos. El tiempo para las iteraciones es de 500ms ya que se programó a los nodos para que realicen dos muestras por segundo. El registro de las variables analógicas se realiza cada minuto.

Los estados de las alarmas de envío de email se encuentran con un visto verde lo que indica que el programa correspondiente no tiene ningún error. De igual manera el estado de registro de datos muestra un visto verde que indica que los valores se están guardando en el archivo de Microsoft Access. En la comunicación se realizan las iteraciones del programa sin ninguna pausa en su ejecución.

En la información del nodo se encuentran activas las opciones de VI Desplegado, que indica que el nodo ha sido programado y el de Fuente Externa, debido a que se encuentran alimentados con su respectiva fuente de voltaje.

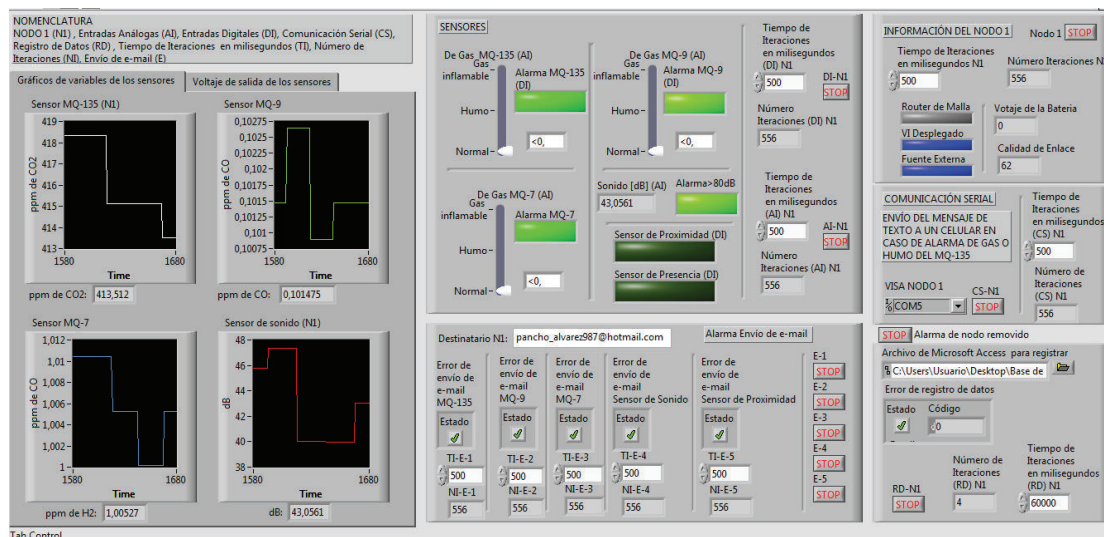


Figura 4.5 Pantalla en condiciones normales del Nodo 1

La ubicación de los sensores se presenta en la Figura 4.6 y la ubicación del Nodo 1 en el Laboratorio de Instrumentación Industrial en la Figura 4.7.

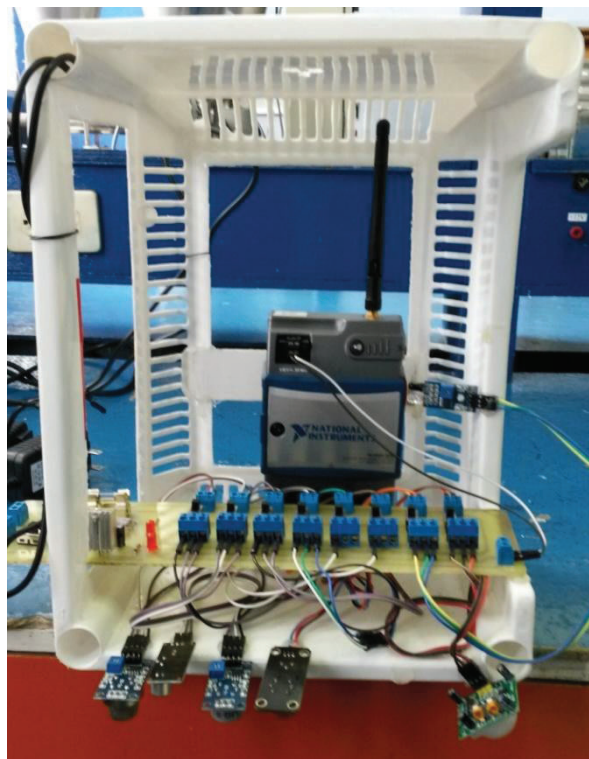


Figura 4.6 Ubicación de los sensores del Nodo 1

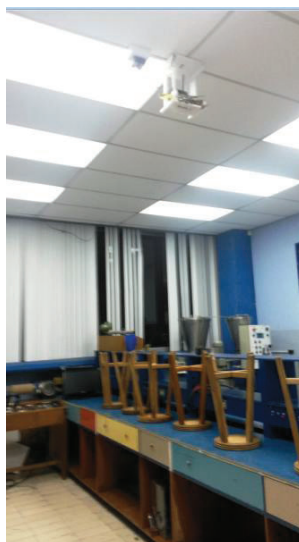


Figura 4.7 Ubicación del Nodo 1 en el Laboratorio de Instrumentación Industrial

4.4.2 NODO 2

Con el funcionamiento en condiciones normales del Nodo 2 se obtiene la pantalla de la *Figura 4.8*. Se puede observar que no hay alarmas de gas, el sensor de sonido mide 37.2704dB, el sensor TEMT6000 mide 92.3162lux, el sensor HIH-4030 mide 50.3697%RH, el sensor MPX4115 mide 72,2712kPa, las luces se encuentran apagadas, tanto el sensor de proximidad como el de presencia no se encuentran activos. El tiempo para las iteraciones es de 500ms ya que se programó a los nodos para que realicen dos muestras por segundo. El registro de las variables analógicas se realiza cada minuto.

Los estados de las alarmas de envío de email se encuentran con un visto verde lo que indica que el programa correspondiente no tiene ningún error. De igual manera el estado de registro de datos muestra un visto verde que indica que los valores se están guardando en el archivo de Microsoft Access. En la comunicación se realizan las iteraciones del programa sin ninguna pausa en su ejecución.

En la información del nodo se encuentran activas las opciones de VI Desplegado, que indica que el nodo ha sido programado; el de *Router* de Malla, por ser configurado como nodo *router* y el de Fuente Externa, debido a que se encuentran alimentados con su respectiva fuente de voltaje.

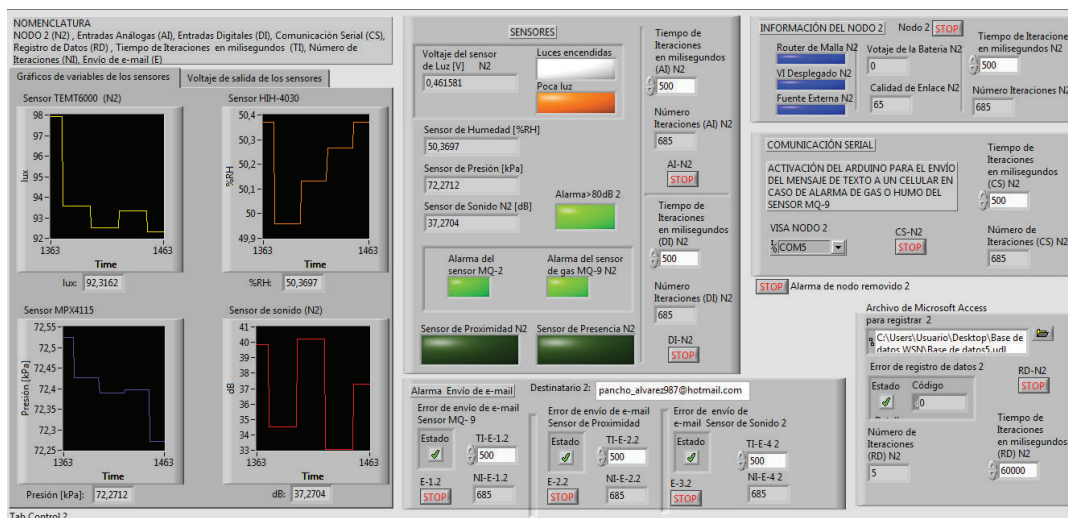


Figura 4.8 Pantalla en condiciones normales del Nodo 2

La ubicación de los sensores se presenta en la *Figura 4.9* y la ubicación del Nodo 2 en el Laboratorio de Instrumentación Industrial en la *Figura 4.10*.

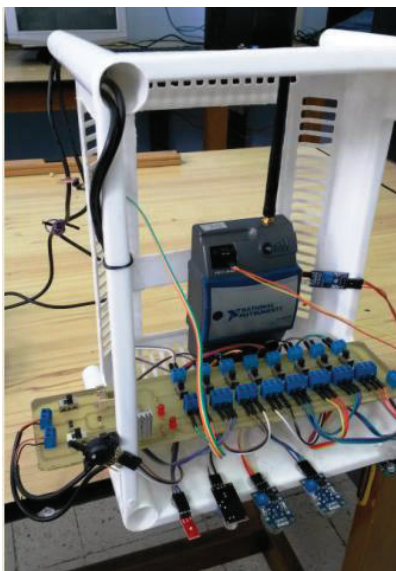


Figura 4.9 Ubicación de los sensores del Nodo 2



Figura 4.10 Ubicación del Nodo 2 en el Laboratorio de Instrumentación Industrial

4.4.3 NODO 3

Con el funcionamiento en condiciones normales del Nodo 3 se obtiene la pantalla de la *Figura 4.11*. Se puede observar que no hay alarmas de gas, el sensor de corriente mide 0.141649A, la temperatura del ambiente es de 24.2054°C, el sensor TEMT6000 mide 57.2992lux, el sensor MQ-135 mide 359.98ppm de CO₂, las luces se encuentran apagadas, tanto el sensor de proximidad como el de presencia no se encuentran activos. El tiempo para las iteraciones es de 500ms ya que se programó a los nodos para que realicen dos muestras por segundo. El registro de las variables analógicas se realiza cada minuto.

Los estados de las alarmas de envío de email se encuentran con un visto verde lo que indica que el programa correspondiente no tiene ningún error. De igual manera el estado de registro de datos muestra un visto verde que indica que los valores se están guardando en el archivo de Microsoft Access. En la comunicación se realizan las iteraciones del programa sin ninguna pausa en su ejecución.

En la información del nodo se encuentran activas las opciones de VI Desplegado, que indica que el nodo ha sido programado; el de *Router* de Malla, por ser configurado como nodo *router* y el de Fuente Externa, debido a que se encuentran alimentados con su respectiva fuente de voltaje.

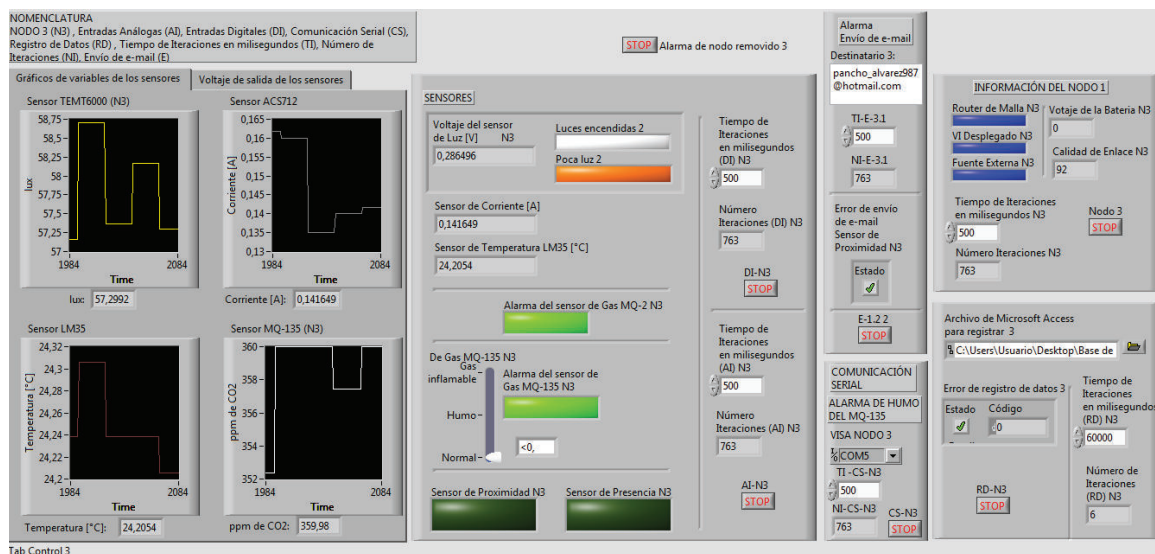


Figura 4.11 Pantalla en condiciones normales del Nodo 3

La ubicación de los sensores se presenta en la *Figura 4.12* y la ubicación del Nodo 3 en el Laboratorio de Instrumentación Industrial en la *Figura 4.13*.

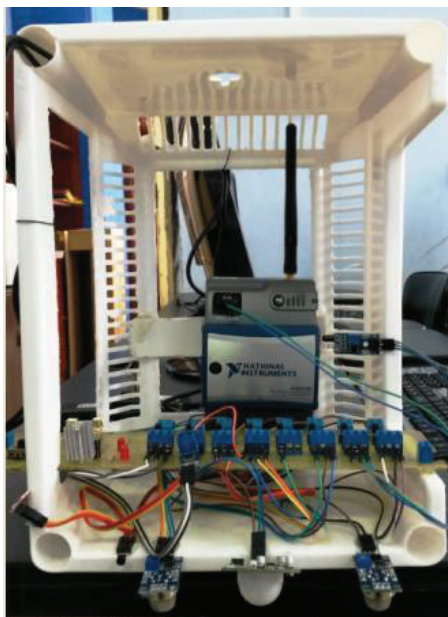


Figura 4.12 Ubicación de los sensores del Nodo 3

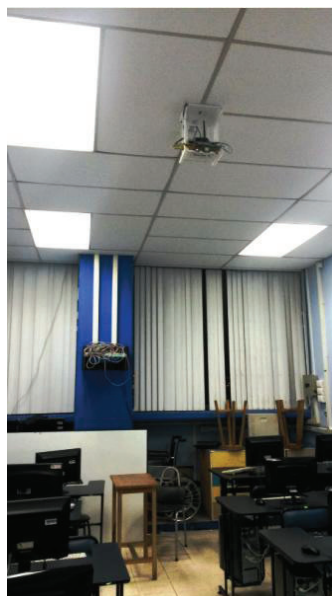


Figura 4.13 Ubicación del Nodo 3 en el Laboratorio de Instrumentación Industrial

4.5 PRUEBAS DE ALARMAS

Las alarmas de email y de mensaje de texto a un celular funcionaron correctamente. En la *Figura 4.14* se presenta la visualización de las alarmas del sensor de gas MQ-

135. En la *Figura 4.15* se presenta el email que se envió con la alarma del sensor de gas MQ-135. En la *Figura 4.16* se muestra el mensaje de texto enviado por la activación del sensor MQ-135.

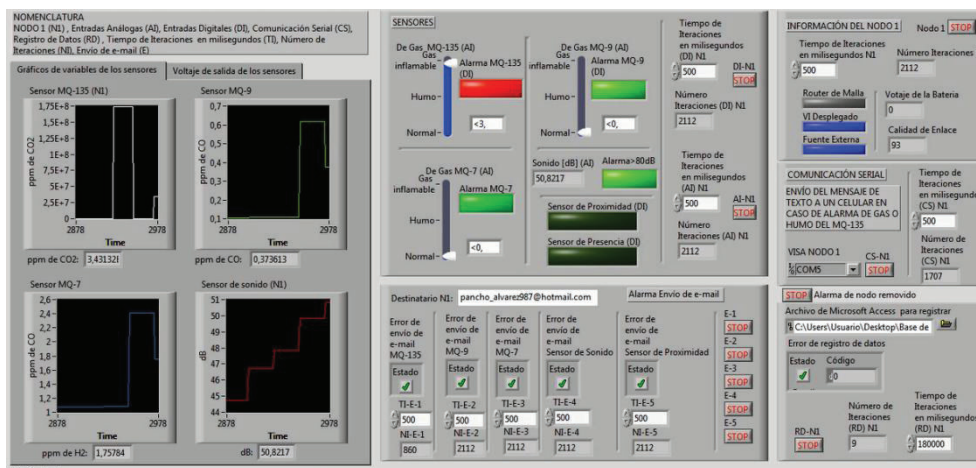


Figura 4.14 Pantalla del HMI del Nodo 1 con alarma de gas del MQ-135

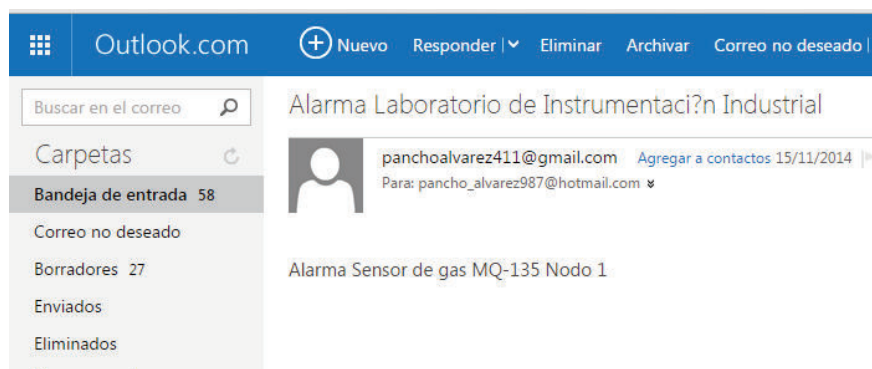


Figura 4.15 Email de alarma del sensor de gas MQ-135 del Nodo 1



Figura 4.16 Mensaje de texto de alarma del sensor de gas MQ-135 del Nodo 1

4.6 REGISTRO DE DATOS

Se realizó también pruebas del registro de datos para verificar que los tiempos de registro estén correctos. Como se observa en *Figura 4.17*, el registro se realiza cada tres minutos para el Nodo 1, cada dos minutos para el Nodo 2 y cada minuto para el Nodo 3.

The figure consists of three screenshots of an Excel spreadsheet showing data recording for three nodes. Each screenshot displays a table with columns for 'Fecha' and 'Hora' for each node, and specific variables for each. The first screenshot shows data for NODO_1 with columns for MQ135, Sonido, Mq7, and MQ3. The second screenshot shows data for NODO_2 with columns for Luz, Humedad, Presión, and Sonido. The third screenshot shows data for NODO_3 with columns for Corriente, Luz, Temperatura, and MQ135.

NODO	Fecha	Hora	MQ135	Sonido	Mq7	MQ3
NODO_1	lun, 09 de mar de 2015	15:26:19	290.1429	47.32355	1.005273	9.974233E-02
NODO_2	lun, 09 de mar de 2015	15:29:19	286.4234	53.63465	1.005273	9.802602E-02
NODO_3	lun, 09 de mar de 2015	15:35:19	281.5174	52.38445	1.000122	9.745643E-02
NODO_1	lun, 09 de mar de 2015	15:38:19	276.6672	50.44905	0.9949934	9.408309E-02

NODO	Fecha	Hora	Luz	Humedad	Presión	Sonido
NODO_1	lun, 09 de mar de 2015	15:30:19	40.12222	45.72232	72.2415	43.59286
NODO_2	lun, 09 de mar de 2015	15:33:19	41.92657	46.40092	72.1227	43.8373
NODO_3	lun, 09 de mar de 2015	15:34:19	49.41139	46.25695	72.19694	42.99187
NODO_1	lun, 09 de mar de 2015	15:36:19	58.29982	47.10007	72.16725	38.56853
NODO_2	lun, 09 de mar de 2015	15:38:19	58.96816	46.1747	72.34544	40.03496
NODO_3	lun, 09 de mar de 2015	15:40:19	61.57455	45.06427	72.34544	39.84265

NODO	Fecha	Hora	Corriente	Luz	Temperatura	MQ135
NODO_1	lun, 09 de mar de 2015	15:37:19	0.1383066	37.51736	24.6398	313.7014
NODO_2	lun, 09 de mar de 2015	15:38:19	0.1650381	37.78477	24.74003	309.088
NODO_3	lun, 09 de mar de 2015	15:39:19	0.1566839	36.91597	24.6398	302.2491
NODO_1	lun, 09 de mar de 2015	15:40:19	0.1215982	38.3194	24.60642	302.2491
NODO_2	lun, 09 de mar de 2015	15:41:19	0.1466608	58.23498	24.6398	309.088
NODO_3	lun, 09 de mar de 2015	15:42:19	0.1600266	38.72032	24.74003	306.7924

Figura 4.17 Registro de variables de los tres nodos

4.7 MEDICIÓN DE VOLTAJES Y CORRIENTES DE LAS PLACAS

4.7.1 PLACA DEL NODO 1

En el regulador de voltaje para la alimentación del nodo no hubo ningún inconveniente.

Cuando se implementó el regulador de voltaje con zener para la alimentación de los sensores, se midió 450mA de corriente total y un voltaje de salida de 4.94V. A pesar que en el diseño se realizó con 440.46mA, que son 10mA menos que el valor real, el zener empezó a calentarse.

Se fue incrementando la resistencia hasta 2.8Ω , con la cual se superó el inconveniente del calentamiento del zener.

En la *Figura 4.18* se presenta la placa final en la que se conectó a todos los sensores y al Nodo 1.

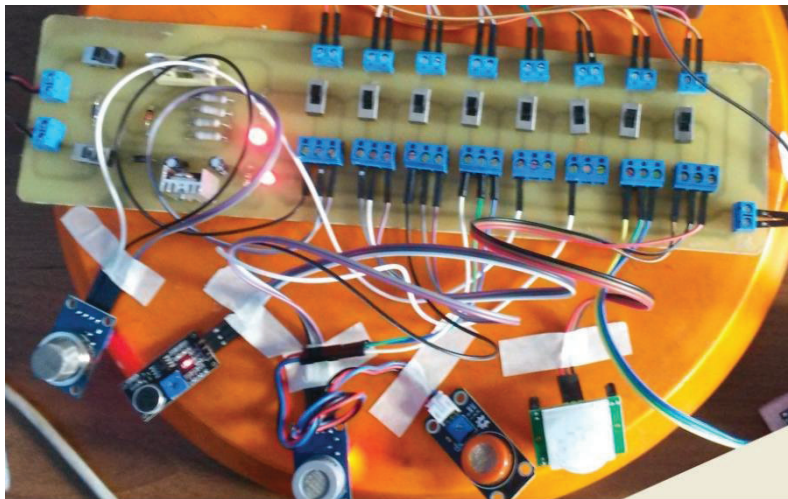


Figura 4.18 Placa del Nodo 1

4.7.2 PLACA DEL NODO 2

En el regulador de voltaje para la alimentación del nodo no hubo ningún inconveniente.

Cuando se implementó el regulador de voltaje con zener para la alimentación de los sensores, se midió 340mA de corriente total y un voltaje de salida de 5.02V.

En el diseño se realizó con 300.54mA, que son 40.54mA menos que el valor real. En estas circunstancias el zener empezó a calentarse.

Se fue incrementando la resistencia hasta 1.9Ω , con la cual se superó el inconveniente del calentamiento del zener.

En la *Figura 4.19* se presenta la placa final en la que se conectó a todos los sensores y al Nodo 2.

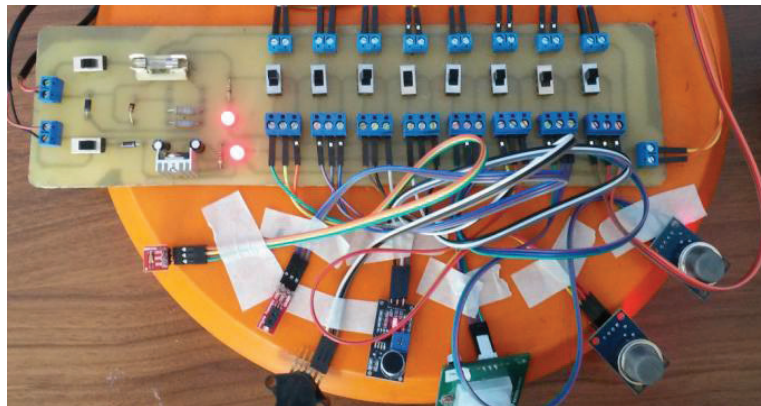


Figura 4.19 Placa del Nodo 2

4.7.3 PLACA DEL NODO 3

En el regulador de voltaje para la alimentación del nodo no hubo ningún inconveniente.

Cuando se implementó el regulador de voltaje con zener para la alimentación de los sensores, se midió 310mA de corriente total y un voltaje de salida de 4.99V.

En el diseño se realizó con 300.93mA, que son 10.93mA menos que el valor real. En estas circunstancias el zener empezó a calentarse.

Se fue incrementando la resistencia hasta 1.9Ω , con la cual se superó el inconveniente del calentamiento del zener.

En la *Figura 4.20* se presenta la placa final en la que se conectó a todos los sensores y al Nodo 3.

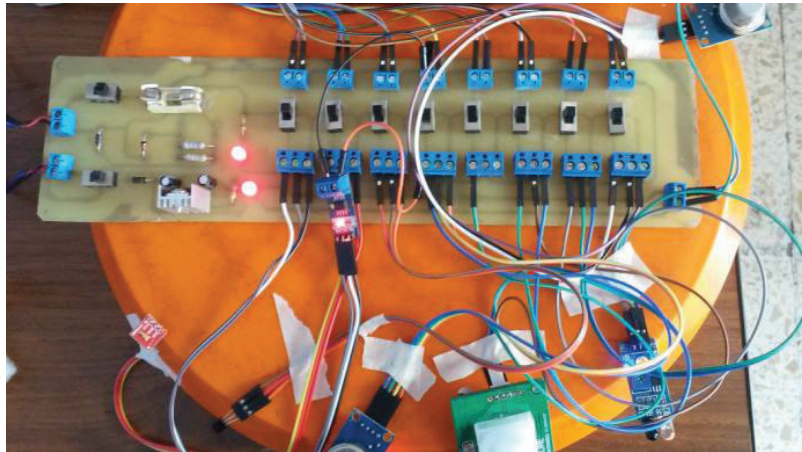


Figura 4.20 Placa del Nodo 2

4.7.4 PLACA DE ALIMENTACIÓN DEL GATEWAY

En el momento de la implementación se midió 580mA de consumo del gateway. El valor real de la resistencia implementada, fue de 0.7Ω . El voltaje de salida que se obtuvo fue de 12.07V.

En general la placa no presentó inconvenientes y es la que se indica en la *Figura 4.21*.

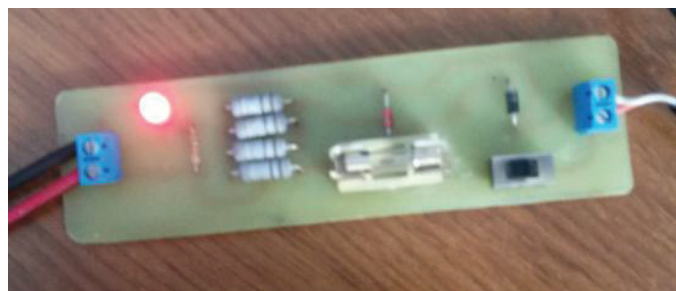


Figura 4.21 Placa del Nodo 2

4.8 CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS SOBRE LOS 100M CON LÍNEA DE VISTA

Se realizó pruebas con los nodos NI WSN 3202 y el gateway NI 9792, distribuidos alrededor del estadio de la Escuela Politécnica Nacional. El estadio de la EPN fue el lugar donde se podía obtener una distancia sobre los 100m con línea de vista dentro del campus.

Los nodos y el gateway fueron distribuidos como se indica en la *Figura 4.22*, la vista es adquirida de la toma aérea de la Escuela Politécnica Nacional de Google Maps.

En la *Figura 4.23*, *Figura 4.24* y *Figura 4.25*, se tienen vistas horizontales de fotografías reales evidenciar que existe línea de vista entre el gateway y los nodos.



Figura 4.22 Posición de los nodos NI WSN 3202 y el gateway NI 9792 en el estadio de la Escuela Politécnica Nacional



Figura 4.23 Vista de la ubicación de los Nodos 2 y 3 desde la ubicación del gateway



Figura 4.24 Vista de la ubicación del Nodos 1 desde la ubicación del gateway



Figura 4.25 Vista de la ubicación del gateway

Usando Google Maps se estableció las distancias desde el gateway hacia cada nodo. Las distancias fueron de 98.95m, 125.77m y 105.55m, para los nodos 2, 3 y 1, respectivamente. En la *Figura 4.26*, *Figura 4.27* y *Figura 4.28*, se presentan las mediciones que presenta Google Maps para las ubicaciones de los nodos.

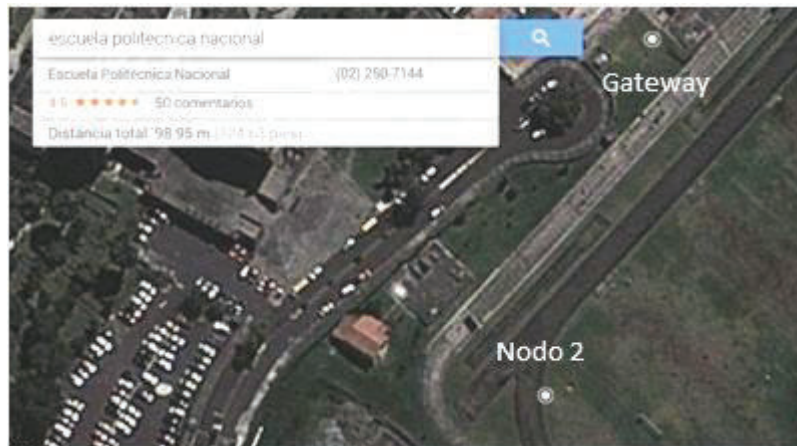


Figura 4.26 Distancia desde el gateway al Nodo 2

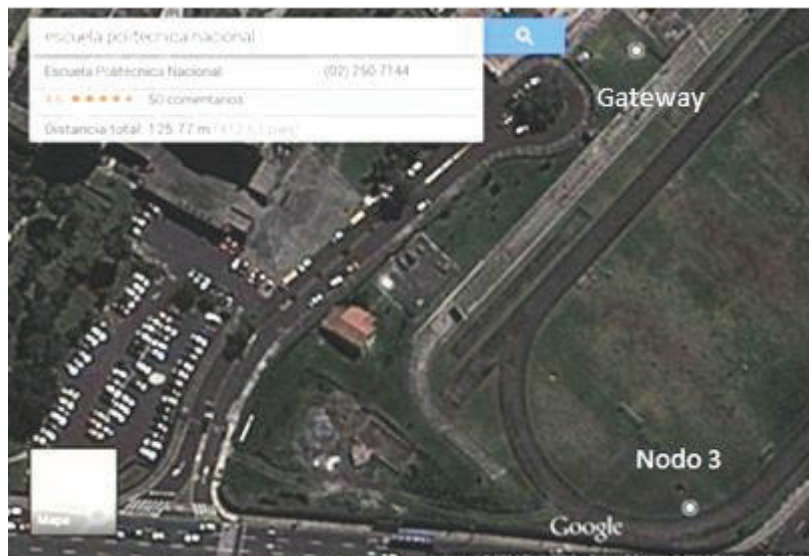


Figura 4.27 Distancia desde el gateway al Nodo 3

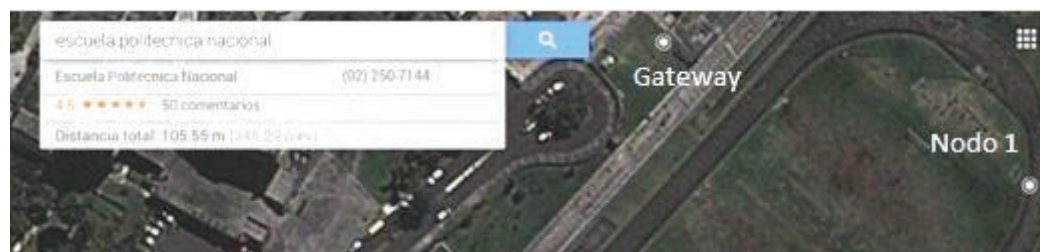


Figura 4.28 Distancia desde el gateway al Nodo 1

Se logró establecer una conexión inalámbrica con el gateway y los nodos, a las distancias que fueron distribuidos en el estadio de la EPN.

En la *Figura 4.29* se muestra el panel frontal con información de los nodos formando una topología en estrella. Se estableció la topología en estrella ya que nos proporcionó información de la conexión a la mayor distancia posible desde cada nodo al gateway.

Como se observó se obtuvo una calidad de la señal de 59, 72 y 58 sobre 100, para los nodos 1, 2 y 3, respectivamente. Además los nodos estuvieron alimentados con cuatro pilas AA con los valores de 5.1V, 5.3V y 5.2V, para los nodos 1, 2 y 3, respectivamente. Los datos de las variables analógicas y digitales presentadas en el HMI no estaban registrando los datos de ningún sensor.



Figura 4.29 Panel Frontal utilizado para la prueba en el estadio de la EPN

4.9 MEDICIÓN DE CONSUMO DE CORRIENTE DE LOS NODOS

Cuando se programó a los nodos se obtuvo el consumo de corriente de 0.08mA con el nodo configurado como nodo final, como se indica en la *Figura 4.30*. En cambio como nodo *router* el consumo fue de 19.9mA.

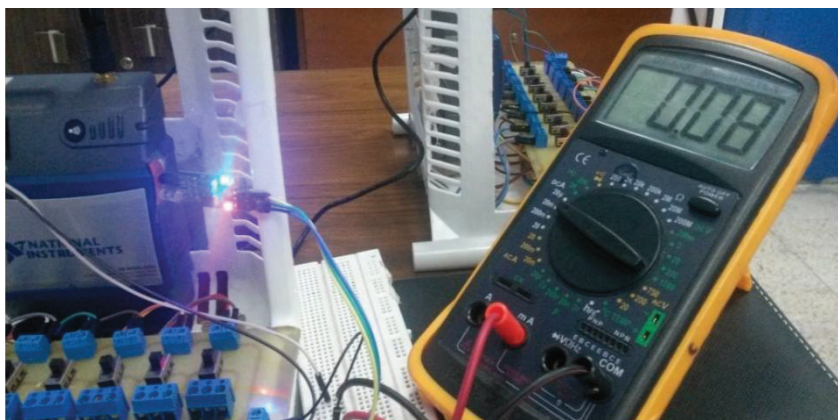


Figura 4.30 Medición del consumo de corriente como nodo final

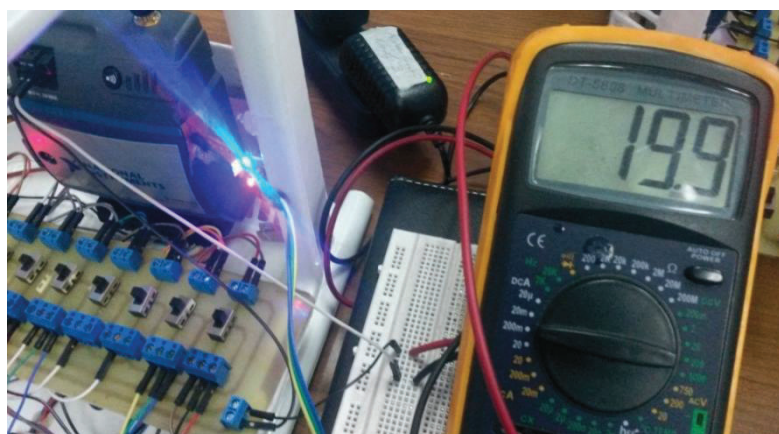


Figura 4.31 Medición del consumo de corriente como nodo router

4.10 COSTOS

En la *Tabla 4.5* se especifican los precios de los nodos y gateway de la red de sensores inalámbricos, así como también de los sensores y materiales utilizados en las placas.

Tabla 4.5 Costos de equipos y materiales utilizados en el proyecto

Artículo	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Gateway WSN Programable NI 9792	1	\$ 2835	\$ 2835
Nodo NI WSN-3202	3	\$ 687,96	\$ 2063,88
LabVIEW Wireless Sensor Network Module	1	\$ 861.84	\$ 861.84
Interruptores dobles	3	\$ 3.20	\$ 9.60
Tomacorrientes	6	\$ 1.78	\$ 10.68
Caja DEXON	6	\$ 2.19	\$ 13.14
Breaker de 1 polo 16A	1	\$ 4.48	\$ 4.48
Cable AWG #14	1	\$ 40.00	\$ 40.00
Canaleta 40X25	1	\$ 7.45	\$ 7.45
Fundas de 20gr de Cloruro férrico	5	\$ 0.25	\$ 1.25
Baquelita 20x30cm	2	\$ 8.40	\$ 16.80
Láminas de transferencia	2	\$ 0.84	\$ 1.68
Portafusibles	4	\$ 0.30	\$ 1.20
Fusibles de vidrio 1A	4	\$ 0.08	\$ 0.32
Diodo 1N4007	4	\$ 0.04	\$ 0.16
Zener 1N4742	1	\$ 0.50	\$ 0.50
Zener 1N4733	3	\$ 0.41	\$ 1.23
Regulador LM7810	3	\$ 0.61	\$ 1.83
Borneras de dos pines	32	\$ 0.24	\$ 7.68
Borneras de tres pines	24	\$ 0.35	\$ 8.40
Capacitores de 0.1uF	3	\$ 0.07	\$ 0.21
Capacitores de 0.33uF	3	\$ 0.07	\$ 0.21
Resistencias de 330 Ω ¼ w	3	\$ 0.02	\$ 0.06
Resistencias de 470 Ω ¼ w	4	\$ 0.02	\$ 0.08
Resistencias de 470 Ω ¼ w	6	\$ 0.02	\$ 0.12
Resistencias de 1 Ω ½ w	1	\$ 0.12	\$ 0.12
Led de 5mm	7	\$ 0.07	\$ 0.49
Sensor PIR MOTION MODULO	3	\$ 8.48	\$ 25.44
Sensor de impacto de sonido	2	\$ 14.55	\$ 29.10
Sensor de proximidad de led infrarrojo	3	\$ 9.00	\$ 27.00
Sensor de calidad de aire MQ-135	2	\$ 20.00	\$ 40.00
Sensor de gas MQ-9	2	\$ 14.50	\$ 29.00
Sensor de gas MQ-7	1	\$ 13.49	\$ 13.49
Sensor de humedad HIH4030	1	\$ 20.09	\$ 20.09
Sensor de intensidad de luz TEMT6000	2	\$ 6.50	\$ 13.00
Sensor de presión MPX4115	1	\$ 27.99	\$ 27.99
Sensor de corriente efecto hall ACS712	1	\$ 12.50	\$ 12.50
Sensor de temperatura LM35	1	\$ 2.25	\$ 2.25
Adaptadores de 5V 2A	3	\$ 6.60	\$ 19.80
Adaptadores de 12V 1A	3	\$ 9.80	\$ 29.40
Adaptador de 12V 2A	1	\$ 11.00	\$ 11.00
Cables	126	\$ 0.31	\$ 39.06
Arduino UNO	1	\$ 36.40	\$ 36.40
Módulo GSM para Arduino	1	\$ 60.00	\$ 60.00
		TOTAL	\$ 6323.93

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El proyecto cumple con el objetivo general planteado: implementar una red de sensores con topología Cluster Tree en el Laboratorio de Instrumentación Industrial.
- La red de sensores inalámbricos implementada en el Laboratorio de Instrumentación Industrial es capaz de cambiar de topología, mediante la configuración inalámbrica de los dispositivos con el software NI-MAX. No es necesario modificar la programación del HMI para cambiar de topología.
- La selección adecuada de frecuencia y topología de acuerdo a la ubicación de los dispositivos de la NI WSN, permiten obtener una mejor calidad de enlace de los dispositivos dentro del Laboratorio de Instrumentación Industrial.
- La ventaja de la programación del HMI en LabVIEW 2013 para la NI WSN implementada, es que las variables analógicas presentan directamente los valores en términos de voltaje y las variables digitales su estado de cero o uno lógico, sin necesidad de una conversión o programación adicional.
- Las alarmas programadas en el HMI de la NI WSN del Laboratorio de Instrumentación Industrial, tienen un lapso definido para su envío que evita la ejecución continua de la alarma en el caso de que ésta persista.

- Los controles de tiempo de iteraciones independiente implementados en el HMI de la NI WSN del Laboratorio de Instrumentación Industrial, permiten la distribución de la programación por rutinas y evita errores al ejecutar todo el programa.
- En la NI WSN implementada en el Laboratorio de Instrumentación Industrial se comprobó que los nodos finales consumen menos energía que los nodos *router*.
- Las placas que se construyeron para alimentar tanto a los nodos como a los sensores de la NI WSN implementada, permite una distribución ordenada de las conexiones, lo que facilita el mantenimiento de la red o modificación de los sensores para nuevos HMIs.
- Para presentar mayor seguridad en el sistema, los nodos poseen una alerta para el usuario que consiste en una señal por comunicación serial que activa un Arduino UNO y al modulo SIM900 para enviar un mensaje de texto indicando en el caso de desconexión del suministro eléctrico de los nodos; este tipo alarma es posible programarla ya que las señales analógicas y digitales que se adquieren de los nodos se congelan al momento de desconectar los nodos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Cuando se cambia de canal inalámbrico se debe presionar el *WSN Connect Button* durante 5 segundos de todos los nodos NI WSN 3202, para poder establecer la conexión inalámbrica. Si los nodos estuvieron funcionando en otro canal, los nodos empezarán a buscar señal en el mismo canal que estaban funcionando y no en el que se le cambió.

- Para forma redes *multicluster* se debe considerar que el retardo aumentará en la transmisión de la información debido al enrutamiento por que debe atravesar los datos.
- En una red inalámbrica es necesario tener en cuenta si se lo va a realizar con o sin línea de vista, ya que los obstáculos entre los dispositivos inalámbricos generan atenuación de la señal, lo que implica acortamiento de las distancias para establecer un correcto enlace.
- La implementación de una red de sensores inalámbricos implica consideraciones en la frecuencia de trabajo, interferencias, tipos de datos, volumen de datos, intervalos de tiempo, ahorro de energía y topología, que radican en el análisis de la aplicación de la red.
- Los sensores de gas MQ consumen corrientes de más de 100 mA, lo que se debe tomar en cuenta en el momento de diseñar su fuente de alimentación ya que son corrientes muy altas consumidas por un sensor, lo que puede causar calentamiento de los reguladores de voltaje de la fuente.
- Se recomienda mantener los mismos colores para cada variable que se grafique en el HMI, para tener una mejor visualización de las señales que se adquieren de los respectivos nodos.
- Los gráficos que se presenten en el HMI deben indicar las magnitudes de las variables con sus respectivas unidades, para una adecuada comprensión de las señales adquiridas de los nodos.
- Se recomienda la futura adquisición de las baterías que provean un respaldo auxiliar de energía al sistema y de este modo asegurar la confiabilidad de la red de sensores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Aakvaag y J. Frey. (2006, Feb.). Redes de sensores inalámbricos - Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial, Revista ABB. [Online]. pp. 39-42 Disponible: http://www.ie.com.co/pdf/ABB/02-2006/39-42%25202M631_SPA72dpi.pdf
- [2] Wikipedia La enciclopedia libre, SOSUS. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/SOSUS>
- [3] C. García, Impacto de la seguridad en redes inalámbricas de sensores IEEE 802.15.4, Proyecto Fin de Máster en Ingeniería de Computadores, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2009. Disponible: http://eprints.ucm.es/11312/1/Memoria_Fin_de_Master_-_Carlos_Garc%C3%ADa_Arano.pdf
- [4] Wikipedia La enciclopedia libre, Red de sensores. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_sensores
- [5] C. Chong y S. Kumar, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges," en 10.1109/JPROC.2003.814918, 2003, pp. 1247-1255. Disponible: <file:///C:/Users/FRANCISCO/Downloads/Sensor%20networks%20evolution,%20opportunities,%20and%20challenges%20-%20Chong,%20Kumar.pdf>
- [6] Wikipedia La enciclopedia libre, Ad hoc. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc#Telecomunicaciones_e_inform.C3.A1tica
- [7] Mach, Historia, Los sistemas operativos y núcleos basados en Mach. E-CENTRO. Disponible: http://docsetools.com/articulos-noticias-consejos/article_126284.html

[8] Wikipedia La enciclopedia libre, Sistemas microelectromecánicos. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_microelectromec%C3%A1nicos

[9] MIT Technology Review, “10 Emerging Technologies That Will Change the World”. Disponible: <http://www2.technologyreview.com/featured-story/401775/10-emerging-technologies-that-will-change-the/2/>

[10] V. Roselló, Modelado para simulación de redes de sensores inalámbricas predespliegue basado en Visualsense, Proyecto Fin de Máster, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2009. Disponible: http://cookieswsn.files.wordpress.com/2011/11/victor_pfm.pdf

[11] S. Escolar, Wireless sensor networks: fundamentos, estado del arte y desafíos. R, 2010. Disponible: <https://albinogoncalves.files.wordpress.com/2011/03/redes-de-sensores-inal%C3%A1mbricos-wsn-soledad-escobar-diaz.pdf>

[12] Wikipedia La enciclopedia libre, Puerta de enlace. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Puerta_de_enlace

[13] IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks— Specific requirements, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE Std 802.15.4, 2003.

[14] Wikipedia La enciclopedia libre, IEEE 802.15.4. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4

[15] Wikipedia La enciclopedia libre, Contención de recursos. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Contenci%C3%B3n_de_recursos

[16] O. Daqui, Diseño e implementación de una solución de monitoreo remoto vía internet, para una red inalámbrica de sensores, Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero en electrónica y redes de información, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011

[17] R. Fernández, Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica, 2009

[18] *Wireless Sensor Network Programmable Analog Input Measurement Nodes NI WSN-3202, NI WSN-3212, NI WSN-3226*, National Instruments, 2014. Disponible: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-294/lang/es>

[19] National Instruments, The LabVIEW Wireless Sensor Network Module - Under the Hood. Disponible: <http://www.ni.com/white-paper/9006/en/>

[20] *NI 9792 Programmable WSN Gateway*, National Instruments, 2014. Disponible: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-284/lang/es>

[21] National Instruments, WSN Dynamic Configuration. Disponible: <http://www.ni.com/example/31479/en/#toc1>

[22] P. Tirira, Transmisor/receptor inalámbrico de señales analógicas y digitales basado en la tecnología Zigbee, para la comunicación de las estaciones de bombeo de la red principal del sistema de agua potable Sumak Yaku-Araque del cantón Otavalo, Proyecto previo a la obtención del título de ingeniera en electrónica y redes de comunicación, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2012. Disponible: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1057/1/04%20RED%20O12-%203%20DOCUMENTO%20TESIS.pdf>

[23] S. Farahani, "RF Propagation, Antennas, and Regulatory Requirements," en Zigbee Wireless Networks and Transceivers. United States of America: Elsevier Ltd, 2008, pp. 171-206

[24] National Instruments, How Do I Access the User LED on a Wireless Node?. Disponible:

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/C8C6EADF9C5C4EC7862579610001FFF4>

[25] National Instruments, Redes Inalámbricas de Sensores. Disponible:

<http://www.ni.com/wsn/esa/>

[26] National Instruments, ¿Por qué escoger Inalámbricos?, de:

<http://www.ni.com/wsn/whychoose/esa/>

[27] Jennic, Co-existence of IEEE 802.15.4 at 2.4 GHz Application Note, 2008.

Disponible: http://www.jennic.com/files/support_files/JN-AN-1079%20Coexistence%20of%20IEEE%20802.15.4%20In%20The%202.4GHz%20Band-1v0.pdf

[28] *TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR.* Disponible:

<https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>

[29] *TECHNICAL DATA MQ-2 GAS SENSOR.* Disponible:

<http://www.seeedstudio.com/depot/datasheet/MQ-2.pdf>

[30] *TECHNICAL DATA MQ-9 GAS SENSOR.* Disponible: <http://arduino-ua.com/docs/MQ-9.pdf>

[31] *TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR.* Disponible:

<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>

[32] *Pyroelectric Infrared PIR Motion Sensor Detector Module User's Guide*.
 Disponible: http://sure-electronics.net/DC,IC%20chips/DC-SS015_Ver1.0_EN.pdf

[33] *PIR Motion Sensor*. Disponible: <http://learn.adafruit.com/downloads/pdf/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor.pdf>

[34] *Integrated Silicon Pressure Sensor Altimeter/Barometer Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated*. Disponible: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX4115.pdf

[35] *Ambient Light Sensor TEMT6000*. Disponible: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TEMT6000.pdf>

[36] *ACS712*. Disponible: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>

[37] TEMT6000 ambient light sensor (sparkfun breakout) by BARRAGAN. Disponible: <http://wiring.org.co/learning/basics/ambientlighttemt6000.html>

[38] *HIH-4030/31 Series*. Disponible: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/SEN-09569-HIH-4030-datasheet.pdf>

[39] *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Disponible: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

[40] National Instruments, Using the Elapsed Time Express VI in LabVIEW 8.0 (and Higher). Disponible: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/05A9C3B0A4D5A7638625712B006FB30F>

[41] *LabVIEW Database Connectivity Toolkit User Manual*, National Instruments, 2008. Disponible: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371525a.pdf>

[42] Wikipedia La enciclopedia libre, Simple Mail Transfer Protocol. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Simple_Mail_Transfer_Protocol

[43] Problemas al enviar mensajes de correo electrónico con POP o con IMAP. Disponible: <https://support.google.com/mail/answer/78775?hl=es>

[44] National Instruments, Comunicación Serial Utilizando LabVIEW con un Microcontrolador. Disponible: <http://www.ni.com/white-paper/7907/es/>

[45] National Instruments, What Do The Different WSN Link Quality Values Mean?. Disponible:

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/F2481F62895C7CAB862576AE001C3EDF>

[46] Earth's CO2 Home Page. Disponible: <http://co2now.org/>

[47] Monóxido de carbón. Disponible: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MonoxiCar.htm>

[48] Hidrógeno. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3geno>

ANEXOS

Anexo A. HOJAS DE DATOS TÉCNICOS DE LOS SENSORES

TECHNICAL DATA

MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope Fast response and High sensitivity
 Stable and long life Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃, NO_x, alcohol, Benzene, smoke, CO₂, etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

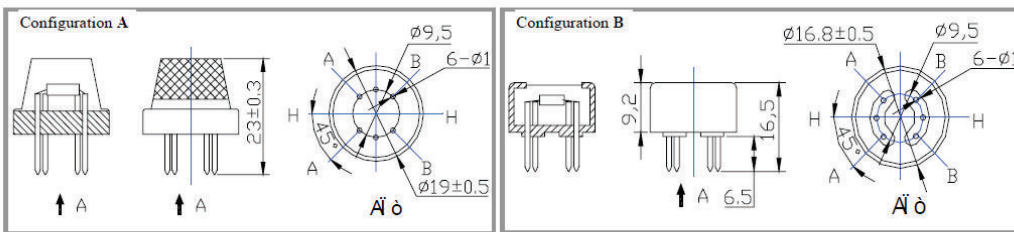
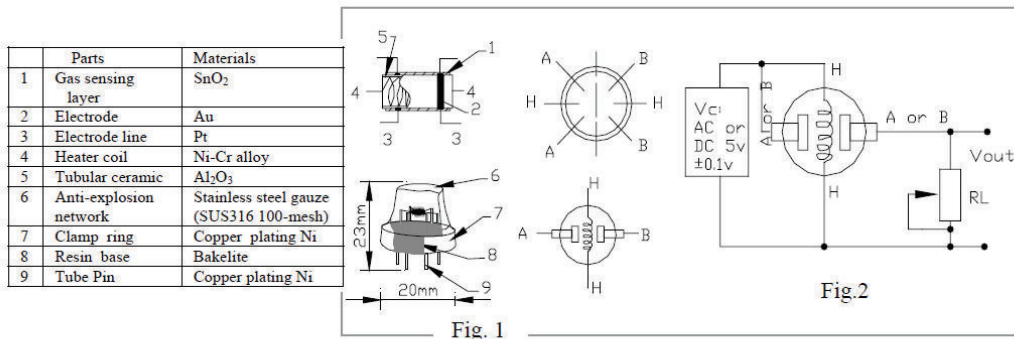
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10□-45□	
T _{as}	Storage Tem	-20□-70□	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	30KΩ-200KΩ (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20□±2□ Vc: 5V±0.1 Humidity: 65%±5% Vh: 5V±0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive

components. The enveloped MQ-135 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2
 E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

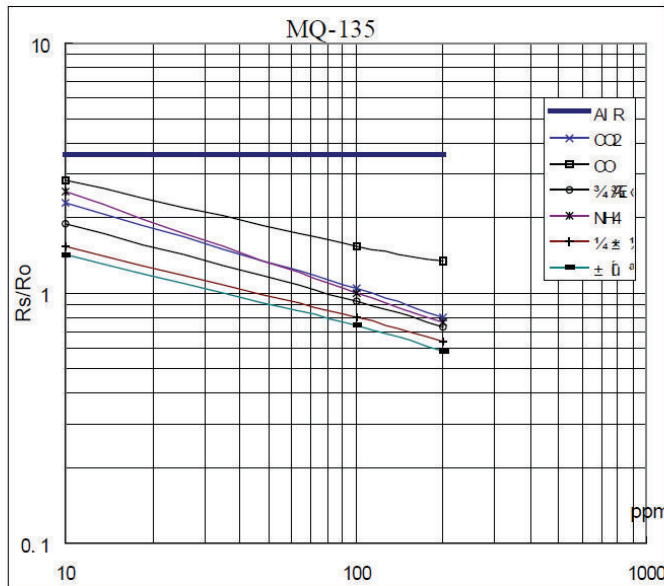


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases. in their: Temp: 20 $^{\circ}$ C Humidity: 65% ϕ O_2 concentration 21% $R_L=20k\Omega$ R_o : sensor resistance at 100ppm of NH_3 in the clean air. R_s :sensor resistance at various concentrations of gases.

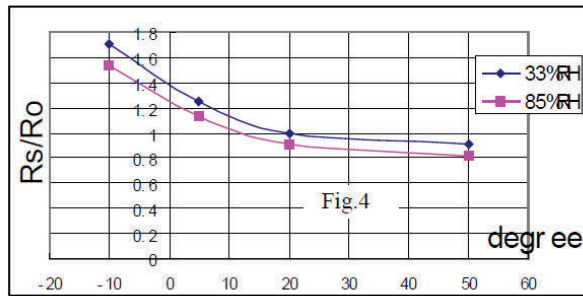


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity. R_o : sensor resistance at 100ppm of NH_3 in air at 33%RH and 20 degree. R_s : sensor resistance at 100ppm of NH_3 at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is difference to various kinds and various concentration gases. So,When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH_3 or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance that (R_L) about 20 K Ω (10K Ω to 47 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.



TECHNICAL DATA

MQ-2 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope
Stable and long life

Fast response and High sensitivity
Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of LPG, i-butane, propane, methane ,alcohol, Hydrogen, smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

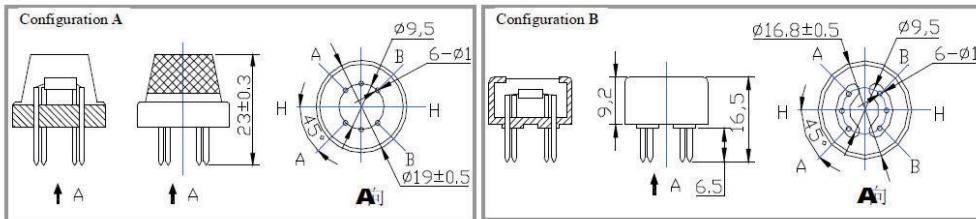
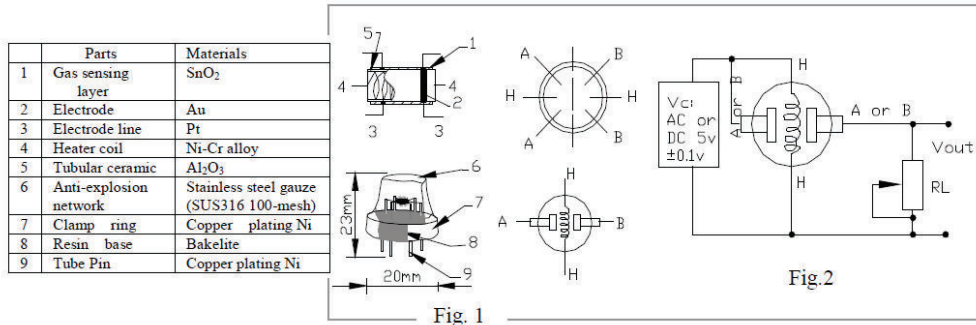
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Tao	Using Tem	-20℃-50℃	minimum value is over 2%
Tas	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R _s	Sensing Resistance	3K Ω -30K Ω (1000ppm iso-butane)	Detecting concentration scope: 200ppm-5000ppm LPG and propane 300ppm-5000ppm butane 5000ppm-20000ppm methane 300ppm-5000ppm H ₂ 100ppm-2000ppm Alcohol
α (3000/1000) isobutane	Concentration Slope rate	≤0.6	
Standard Detecting Condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65%±5%	V _c :5V±0.1 V _H : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-2 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a

crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-2 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

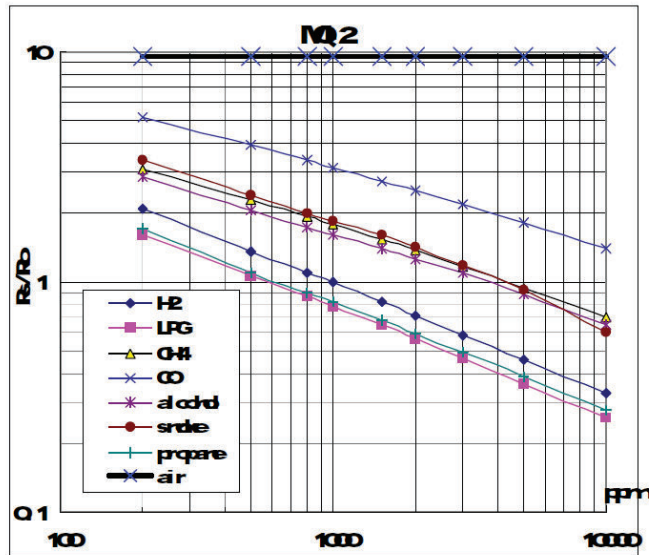


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-2

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-2 for several gases.

in their: Temp: 20℃、
Humidity: 65%、
O₂ concentration 21%
RL=5kΩ

R₀: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in the clean air.
R_s:sensor resistance at various concentrations of gases.

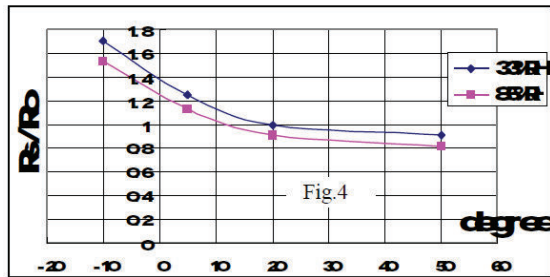


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-2 on temperature and humidity.

R₀: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in air at 33%RH and 20 degree.
R_s: sensor resistance at 1000ppm of H₂ at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-2 is difference to various kinds and various concentration gases. So,When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm liquified petroleum gas<LPG>,or 1000ppm iso-butane<i-C₄H₁₀>concentration in air and use value of Load resistance that(R_L) about 20 KΩ (5KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

TECHNICAL DATA MQ-9 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to carbon monoxide and CH₄, LPG.
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide and CH₄, LPG in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	technical condition	Remark
V _c	circuit voltage	5 ±0.1	AC or DC
V _H (H)	Heating voltage (high)	5 ±0.1	AC or DC
V _H (L)	Heating voltage (low)	1.4 ±0.1	AC or DC
R _L	Load resistance	Can adjust	
R _H	Heating resistance	33 ±5%	Room temperature
T _H (H)	Heating time (high)	60 ±1 seconds	
T _H (L)	Heating time (low)	90 ±1 seconds	
P _s	Heating consumption	Less than 340mw	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
T _{ao}	Using temperature	-20℃ -50	
T _{as}	Storage temperature	-20 -50	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

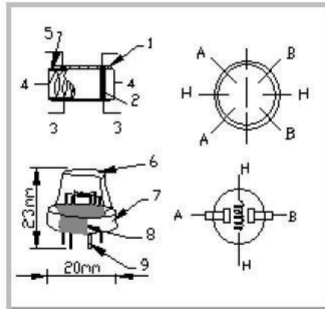
c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
R _s	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature -20℃ ± 2℃	relative humidity 68% ± 5%	R: 10K ± 5%
		V: 5/±0.1 V H: 5/±0.1 V H: 1.4/±0.1 V	
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide 500ppm-10000ppm CH ₄ 500ppm-10000ppm LPG	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-9 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-9 have

6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO ₂
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al ₂ O ₃
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1

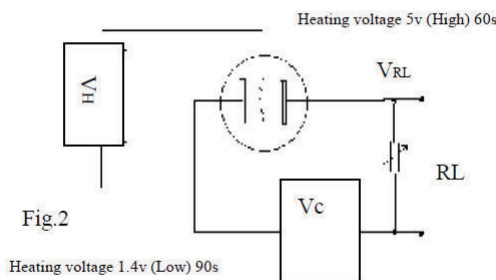
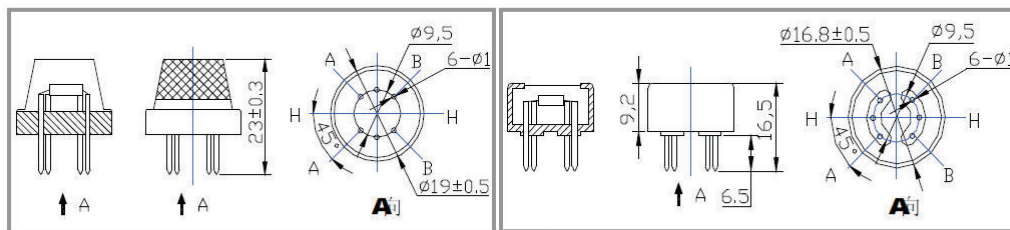


Fig.2

Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-9 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

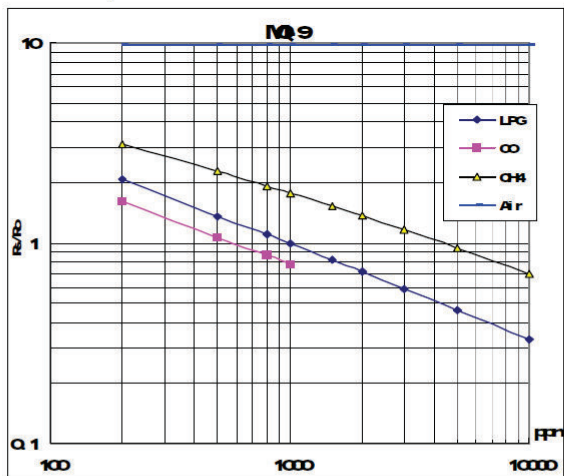


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-9

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-9 for several gases.

in their: Temp: 20℃、

Humidity: 65%、

O₂ concentration 21%

RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 1000ppm

LPG in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

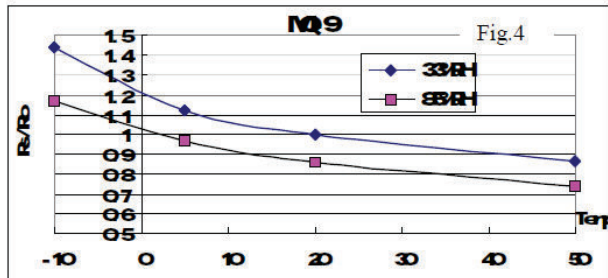


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-9 on temperature and humidity.

R_0 : sensor resistance at 1000ppm LPG in air at 33%RH and 20degree.

R_s : sensor resistance at 1000ppm LPG at different temperatures and humidities.

OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R_s is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R_L which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s \setminus R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

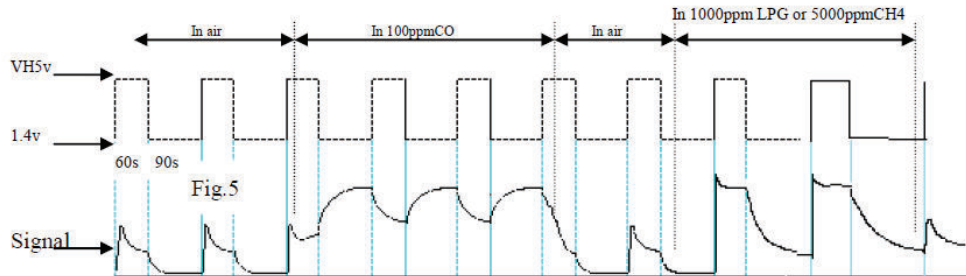


Fig. 5 shows alterable situation of R_L signal output measured by using Fig. 2 circuit output signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO) or CH_4 , output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-9 gas sensitive components is made of SnO_2 with stability. So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-9 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm and 5000ppm CH_4 or 1000ppm LPG concentration in air and use value of Load resistance that(R_L) about 20 K Ω (10K Ω to 47 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep time of preheating through electricity is over 48 hours.
- Adjust the load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a CH_4 or LPG concentration at the end point of 60 seconds.

TECHNICAL DATA**MQ-7 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V±0.1	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	33 Ω ± 5%	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60±1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90±1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20°C -50°C	
Tas	Storage temperature	-20°C -50°C	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

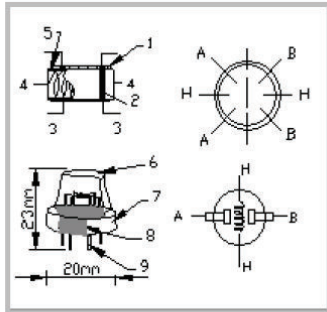
c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature -20°C ± 2°C Vc:5V±0.1V VH:5V±0.1V VH:1.4V±0.1V	relative humidity 65%±5% RL:10K Ω ± 5%	
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO ₂
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al ₂ O ₃
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1

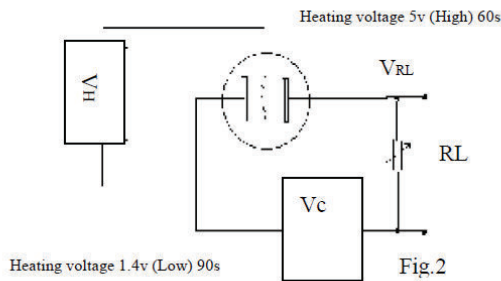
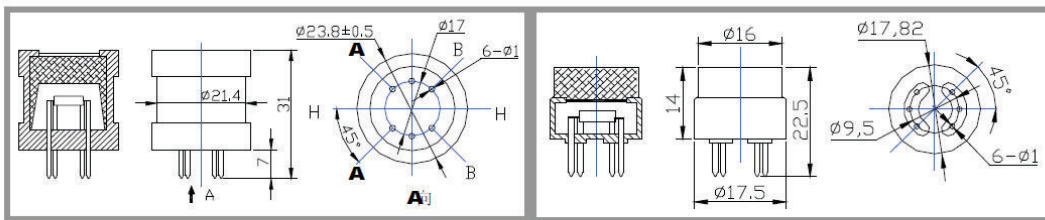


Fig.2

Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

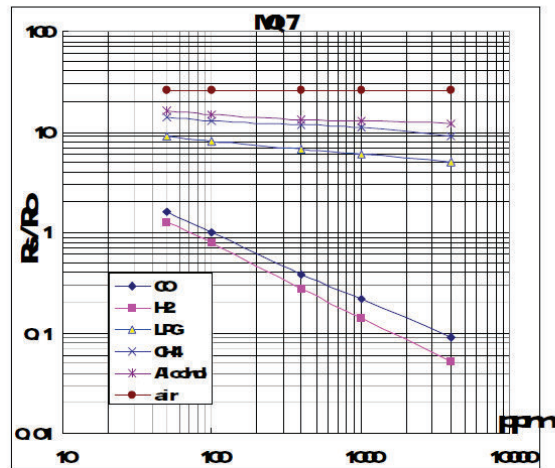


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases.

- in their: Temp: 20°C ,
- Humidity: 65% ,
- O₂ concentration 21%
- RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

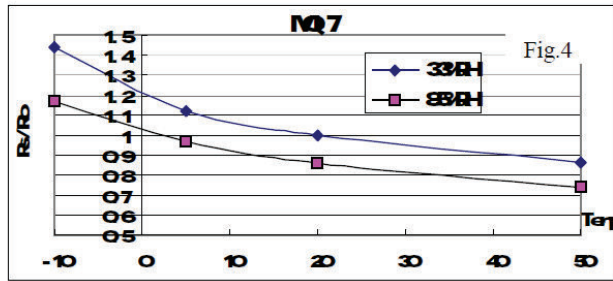


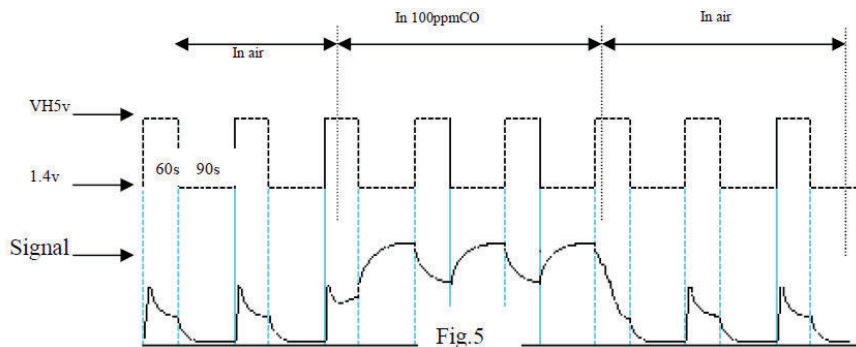
Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.
 Ro: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.
 Rs: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R_s is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R_L which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s \setminus R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of R_L signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of SnO_2 with stability. So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that (R_L) about $10 \text{ K} \Omega$ ($5 \text{ K} \Omega$ to $47 \text{ K} \Omega$).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

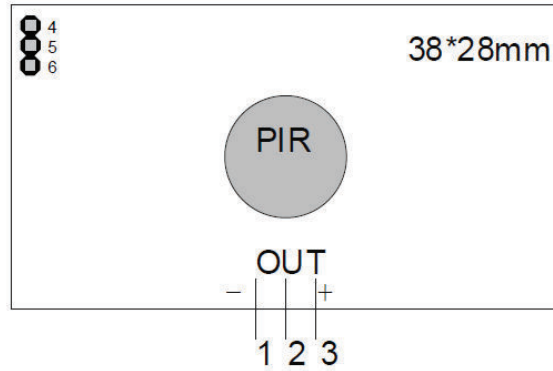
[Supplying special IC solutions. More detailed technical information, please contact us.](#)



Pyroelectric Infrared PIR Motion Sensor Detector Module User's Guide

Chapter1.Overview

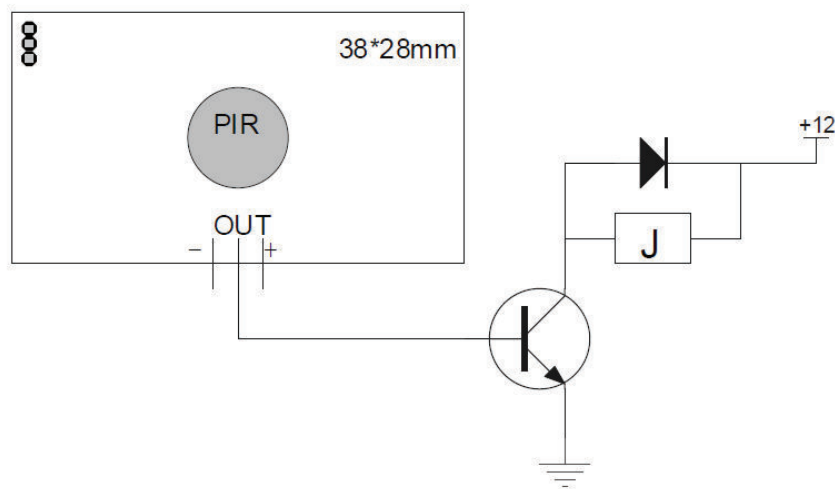
Module's External Connection schematic



- 1.Power In, Negative-
- 2.OUT, Signal Output
- 3.Power In, Positive+

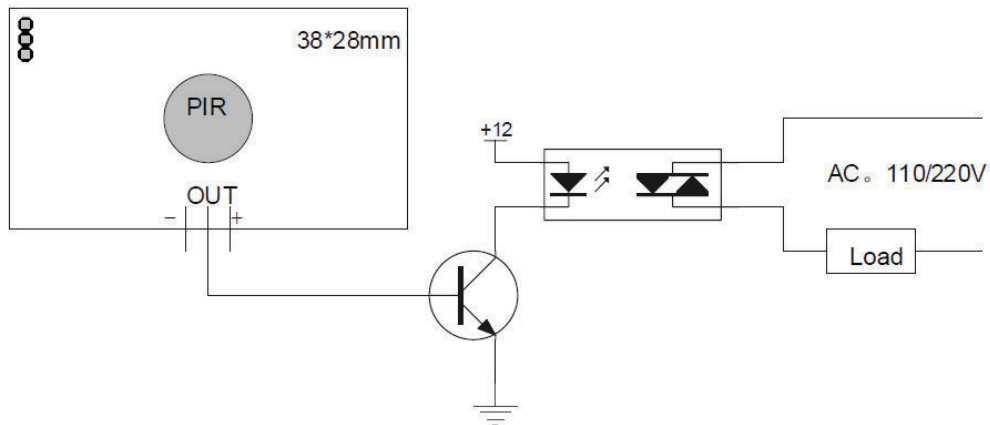
4-5	H, recurring trigger port
5-6	L non-recurring trigger port

DC load circuit schematic



Overview

AC load circuit schematic



Main Technical Specifications

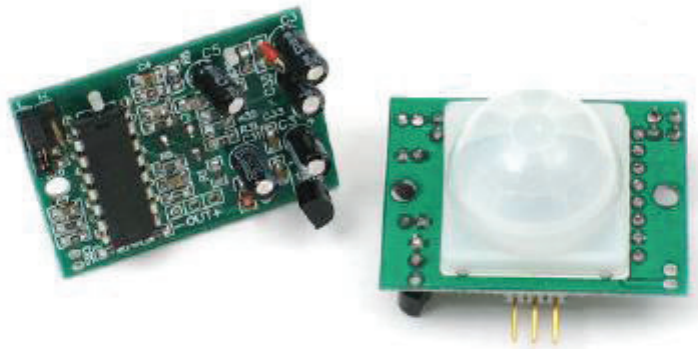
1. Power Voltage: DC4.5-20V
2. Quiescent current: 50 μ A
3. Level output: High, 3V
4. Level output: Low, 0V
5. Level Holding Time: 3seconds
6. Trigger method: L nonrecurring trigger; H recurring trigger
7. Sensing angle: 110°
8. Sensing distance: 7m

This module outputs signal for two times after initial powering and enters into normal testing process following a 2-minutes delay. The level holding time is 3 seconds and the interval is 5 seconds. A photosensitive resistor could prevent the module from being triggered in daylight. The factory preset of this module is nonrecurring trigger and this module will be triggered when human proximity is detected.

 adafruit learning system

PIR Motion Sensor

Created by Ladyada



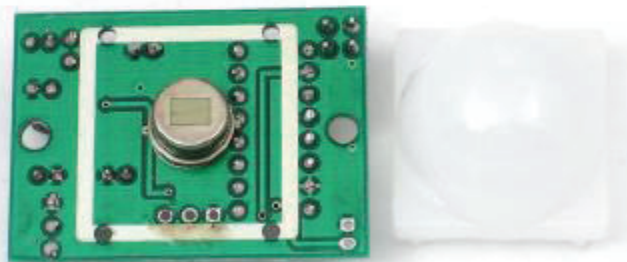
Last updated on 2014-01-28 06:15:25 PM EST

Overview

PIR sensors allow you to sense motion, almost always used to detect whether a human has moved in or out of the sensors range. They are small, inexpensive, low-power, easy to use and don't wear out. For that reason they are commonly found in appliances and gadgets used in homes or businesses. They are often referred to as PIR, "Passive Infrared", "Pyroelectric", or "IR motion" sensors.



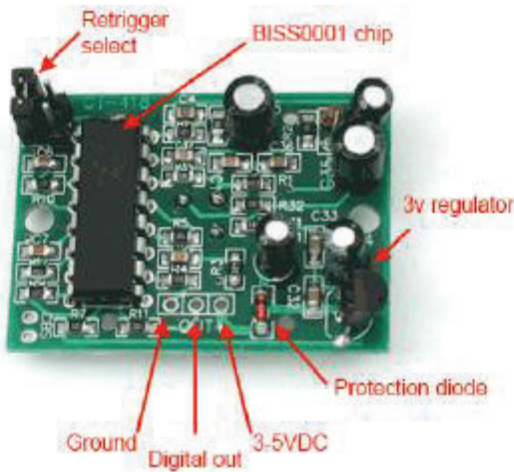
PIRs are basically made of a [pyroelectric sensor \(http://adafru.it/aKh\)](http://adafru.it/aKh) (which you can see above as the round metal can with a rectangular crystal in the center), which can detect levels of infrared radiation. Everything emits some low level radiation, and the hotter something is, the more radiation is emitted. The sensor in a motion detector is actually split in two halves. The reason for that is that we are looking to detect motion (change) not average IR levels. The two halves are wired up so that they cancel each other out. If one half sees more or less IR radiation than the other, the output will swing high or low.



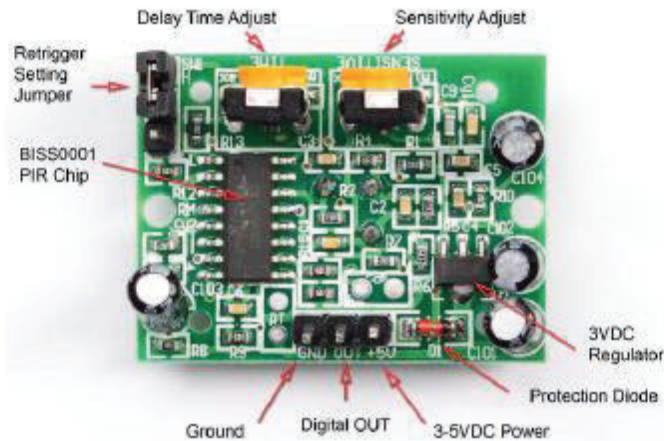
Along with the pyroelectric sensor is a bunch of supporting circuitry, resistors and capacitors. It seems that most small hobbyist sensors use the [BISS0001 \("Micro Power PIR Motion Detector IC"\) \(http://adafru.it/clR\)](http://adafru.it/clR), undoubtedly a very inexpensive chip. This chip takes the output of the sensor and does some minor processing on it to emit a digital output pulse from the analog

sensor.

Our older PIRs looked like this:



Our new PIRs have more adjustable settings and have a header installed in the 3-pin ground/out/power pads



For many basic projects or products that need to detect when a person has left or entered the area, or has approached, PIR sensors are great. They are low power and low cost, pretty rugged, have a wide lens range, and are easy to interface with. Note that PIRs won't tell you how many people are around or how close they are to the sensor, the lens is often fixed to a certain sweep and distance (although it can be hacked somewhere) and they are also sometimes set off by housepets. Experimentation is key!

Some Basic Stats

These stats are for the PIR sensor in the Adafruit shop which is very much like the Parallax one (<http://adafru.it/aKj>). Nearly all PIRs will have slightly different specifications, although they all pretty much work the same. If there's a datasheet, you'll want to refer to it

- **Size:** Rectangular
- **Price:** \$10.00 at the Adafruit shop (<http://adafru.it/alH>)
- **Output:** Digital pulse high (3V) when triggered (motion detected) digital low when idle (no motion detected). Pulse lengths are determined by resistors and capacitors on the PCB and differ from sensor to sensor.
- **Sensitivity range:** up to 20 feet (6 meters) 110° x 70° detection range
- **Power supply:** 3V-9V input voltage, but 5V is ideal.
- **BIS0001 Datasheet** (<http://adafru.it/cIR>) (the decoder chip used)
- **RE200B datasheet** (<http://adafru.it/cIS>) (most likely the PIR sensing element used)
- **NL11NH datasheet** (<http://adafru.it/cIT>) (equivalent lens used)
- **Parallax Datasheet on their version of the sensor** (<http://adafru.it/cIU>)

More links!

- A great page on PIR sensors from GLOLAB \ (<http://adafru.it/aKn>)
- **NYU sensor report** (<http://adafru.it/aKo>)

Integrated Silicon Pressure Sensor Altimeter/Barometer Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPX4115 series is designed to sense absolute air pressure in an altimeter or barometer (BAP) applications. Freescale's BAP sensor integrates on-chip, bipolar op amp circuitry and thin film resistor networks to provide a high level analog output signal and temperature compensation. The small form factor and high reliability of on-chip integration makes the Freescale BAP sensor a logical and economical choice for application designers.

Features

- 1.5% Maximum Error over 0° to 85°
- Ideally suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations
- Durable Epoxy Unibody Element
- Easy-to-Use Chip Carrier Option

Typical Applications

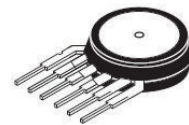
- Altimeter
- Baromete

ORDERING INFORMATION ⁽¹⁾				
Device	Options	Case No.	MPX Series Order No.	Marking
Basic Element	Absolute, Element Only	Case 867-08	MPX4115A	MPX4115A
Ported Elements	Absolute, Ported	Case 867B-04	MPX4115AP	MPX4115AP
	Absolute, Stove Pipe Port	Case 867E-03	MPX4115AS	MPX4115A
	Absolute, Axial Port	Case 867F-03	MPX4115ASX	MPX4115A

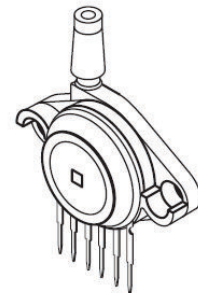
1. The MPX4115A BAP Sensor is available in the Basic Element package or with pressure port fittings that provide mounting ease and barbed hose connections.

MPX4115 SERIES

OPERATING OVERVIEW
 INTEGRATED
 PRESSURE SENSOR
 15 to 115kPa
 (2.18 to 16.7 psi)
 0.2 to 4.8 Volts Output



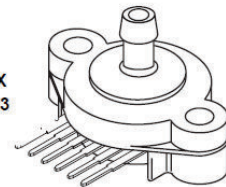
MPX4115A
 CASE 867-08



MPX4115AP
 CASE 867B-04



MPX4115AS
 CASE 867E-03



MPX4115ASX
 CASE 867F-03

PIN NUMBERS

1	V _{OUT} ⁽¹⁾	4	N/C ⁽²⁾
2	GND	5	N/C ⁽²⁾
3	V _S	6	N/C ⁽²⁾

1. Pin 1 is noted by the notch in the lead.
2. Pins 4, 5, and 6 are internal device connections. Pin 1 is noted by the notch in the Lead. Do not connect to external circuitry or ground.

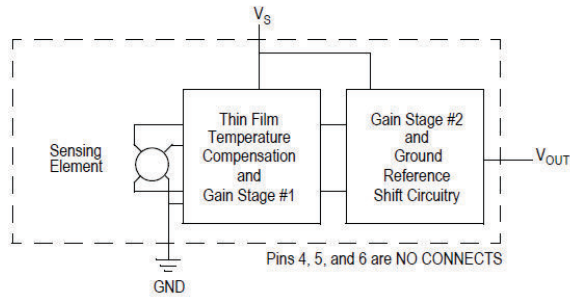


Figure 1. Integrated Pressure Sensor Schematic

Table 1. Maximum Ratings⁽¹⁾

Parametrics	Symbol	Value	Unit
Overpressure ⁽²⁾ (P1 > P2)	P _{max}	400	kPa
Burst Pressure ⁽²⁾ (P1 > P2)	P _{burst}	1000	kPa
Storage Temperature	T _{stg}	-40° to +125°	°C
Operating Temperature	T _A	-40° to +125°	°C

1. T_C = 25°C unless otherwise noted.
2. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

Table 2. Operating Characteristics

($V_S = 5.1$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, P1 > P2 Decoupling circuit shown in Figure 3 required to meet electrical specifications.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾	P _{OP}	15	-	115	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V _S	4.85	5.1	5.35	Vdc
Supply Current	I _o	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset ⁽³⁾ @ V _S = 5.1 Volts	V _{off}	0.135	0.204	0.273	Vdc
Full Scale Output ⁽⁴⁾ @ V _S = 5.1 Volts	V _{FSSO}	4.725	4.794	4.863	Vdc
Full Scale Span ⁽⁵⁾ @ V _S = 5.1 Volts	V _{FSS}	—	4.59	—	Vdc
Accuracy ⁽⁶⁾	—	—	—	±1.5	%V _{FSS}
Sensitivity	V/P	—	46	—	mV/kPa
Response Time ⁽⁷⁾	t _R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I _{o+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁸⁾	—	—	20	—	mSec
Offset Stability ⁽⁹⁾	—	—	±0.5	—	%V _{FSS}

1. 1.0kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.

2. Device is ratiometric within this specified excitation range.

3. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.

4. Full Scale Output (V_{FSSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.

5. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.

6. Accuracy (error budget) consists of the following:

Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.

Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.

Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure at 25°C.

TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.

TcOffset: Output deviation with minimum pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.

Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{FSS} at 25°C.

7. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.

8. Warm-up is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the Pressure has been stabilized.

9. Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

Table 3. Mechanical Characteristics

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Weight, Basic Element (Case 867)	—	—	4.0	—	Grams
Common Mode Line Pressure ⁽¹⁾	—	—	—	690	kPa

1. Common mode pressures beyond what is specified may result in leakage at the case-to-lead interface.

Figure 2 illustrates the absolute sensing chip in the basic chip carrier (Case 867). A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the sensor diaphragm. The MPX4115A series pressure sensor operating characteristics, and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media, other than dry air, may have adverse effects on

sensor performance and long-term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

Figure 4 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum, and maximum output curves are shown for operation over a temperature range of 0° to 85°C. (The output will saturate outside of the specified pressure range.)

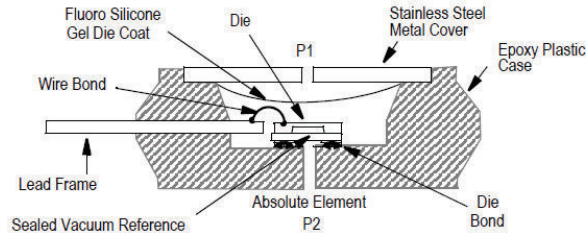


Figure 2. Cross-Sectional Diagram (Not to Scale)

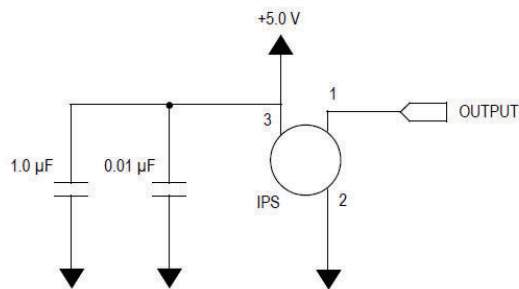


Figure 3. Recommended Power Supply Decoupling.

(For output filtering recommendations, please refer to Application Note AN1646.)

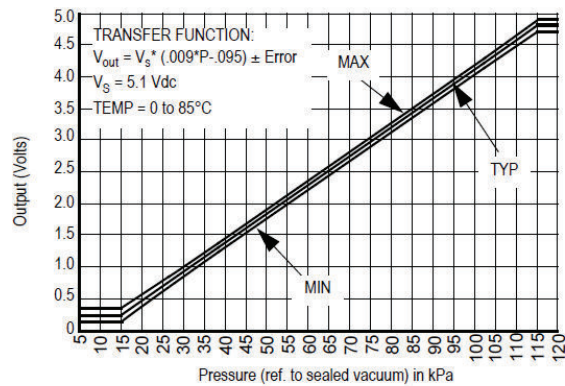


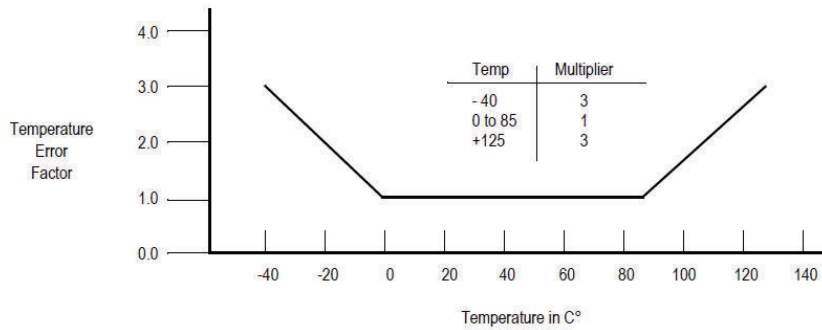
Figure 4. Output versus Absolute Pressure

Transfer Function (MPX4115)

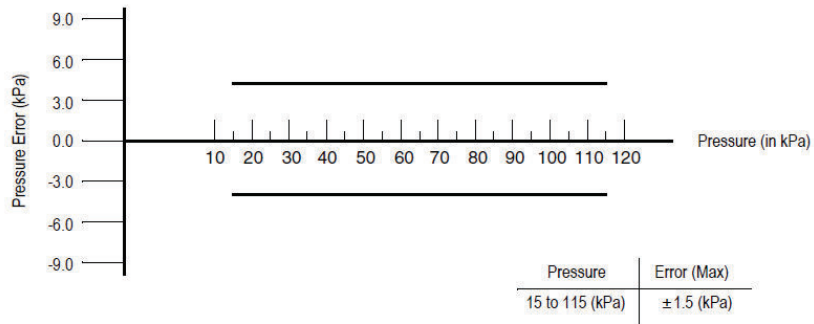
Nominal Transfer Value: $V_{out} = V_S (P \times 0.009 - 0.095)$
 $\pm (\text{Pressure Error} \times \text{Temp. Factor} \times 0.009 \times V_S)$
 $V_S = 5.1 \text{ V} \pm 0.25 \text{ Vdc}$

Temperature Error Band

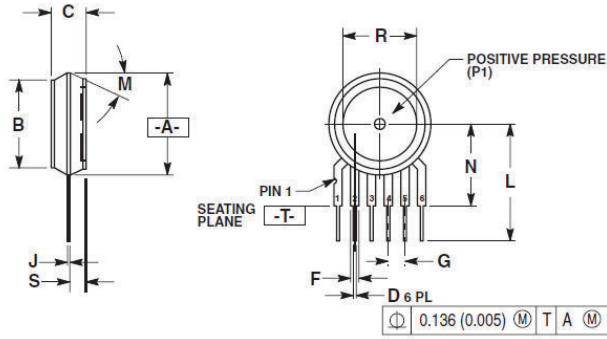
MPX4115A Series



Pressure Error Band



PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION -A- IS INCLUSIVE OF THE MOLD STOP RING. MOLD STOP RING NOT TO EXCEED 16.00 (0.630).

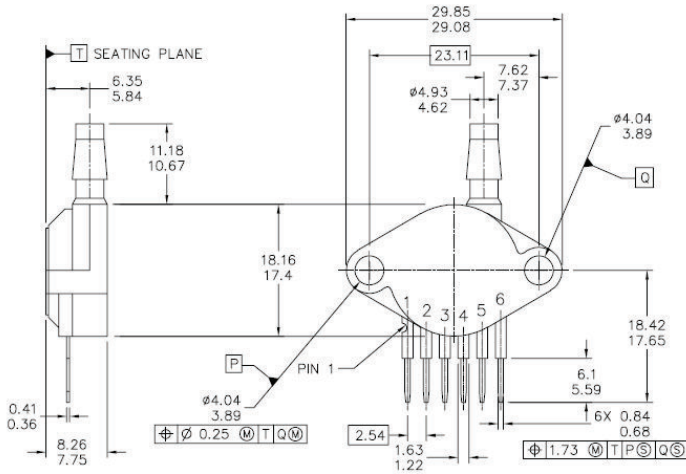
DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.595	0.630	15.11	16.00
B	0.514	0.534	13.06	13.56
C	0.200	0.220	5.08	5.59
D	0.027	0.033	0.68	0.84
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.014	0.016	0.36	0.40
L	0.685	0.725	17.65	18.42
M	30° NOM		30° NOM	
N	0.475	0.495	12.07	12.57
R	0.430	0.450	10.92	11.43
S	0.090	0.105	2.29	2.66

STYLE 1:
PIN 1: VOUT
2: GROUND
3: VCC
4: V1
5: V2
6: VEX

STYLE 2:
PIN 1: OPEN
2: GROUND
3: -VOUT
4: VSUPPLY
5: +VOUT
6: OPEN

STYLE 3:
PIN 1: OPEN
2: GROUND
3: +VOUT
4: VSUPPLY
5: -VOUT
6: OPEN

CASE 867-08 ISSUE N BASIC ELEMENT (A, D)

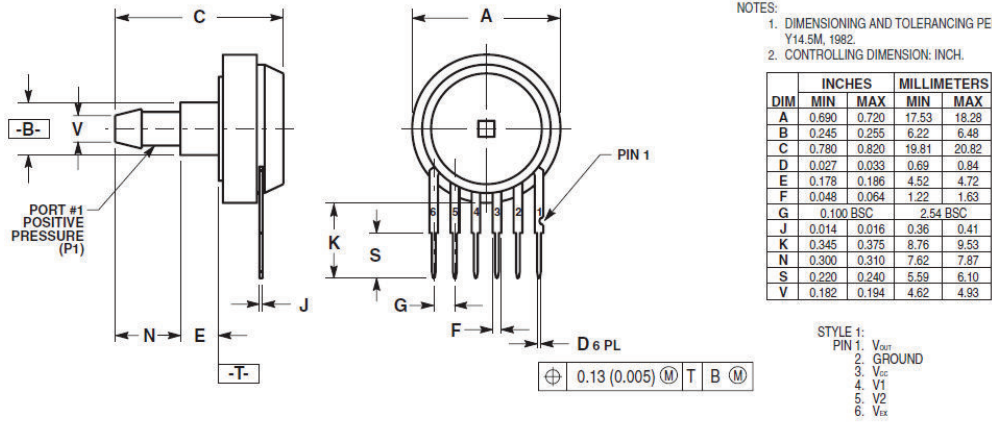


- NOTES:
1. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
 2. DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994.
 3. 867B-01 THRU -3 OBSOLETE, NEW STANDARD 867B-04.

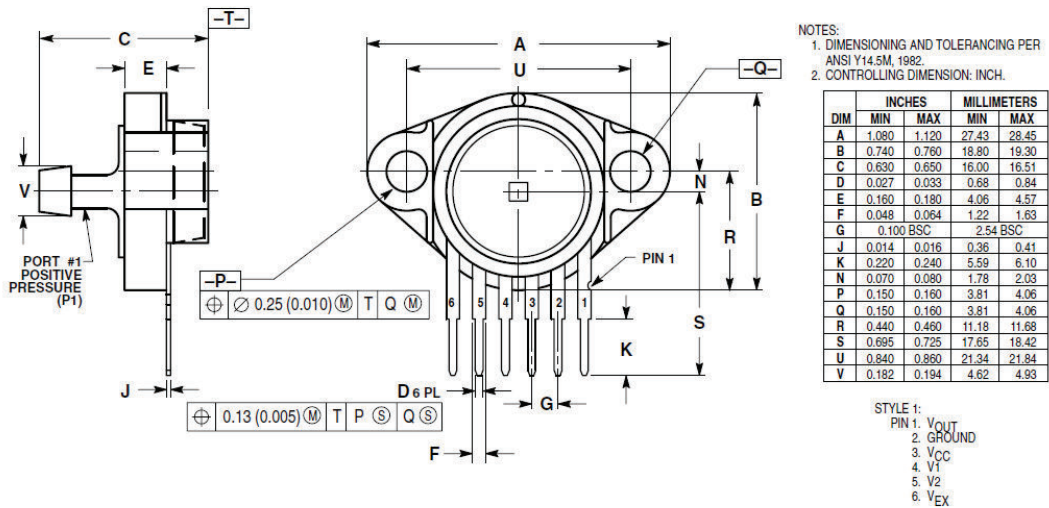
STYLE 1:
PIN 1: V OUT
2: GROUND
3: VCC
4: V1
5: V2
6: V EX

CASE 867B-04 ISSUE G PRESSURE SIDE PORTED (AP, GP)

PACKAGE DIMENSIONS



**CASE 867E-03
ISSUE D
PRESSURE SIDE PORTED (AS, GS)**



**CASE 867F-03
ISSUE D
PRESSURE SIDE PORTED (ASX, GSX)**

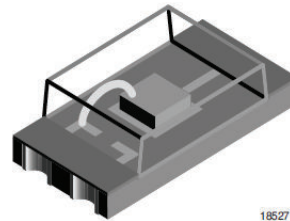
MPX4115 SERIES



Ambient Light Sensor

Description

TEMT6000 is a silicon NPN epitaxial planar phototransistor in a miniature transparent mold for surface mounting onto a printed circuit board. The device is sensitive to the visible spectrum.



18627

Features

- Adapted to human eye responsivity
- Wide angle of half sensitivity $\varphi = \pm 60^\circ$
- SMD style package on PCB technology
- Suitable for IR reflow soldering

- Lead free component
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

Applications

Ambient light sensor for display backlight dimming in:
Mobile phones
Notebook computers
PDA's
Cameras
Dashboards

Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Collector Emitter Voltage		V_{CEO}	6	V
Emitter Collector Voltage		V_{ECO}	1.5	V
Collector current		I_C	20	mA
Total Power Dissipation	$T_{amb} \leq 55^\circ\text{C}$	P_{tot}	100	mW
Junction Temperature		T_j	100	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range		T_{amb}	- 40 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range		T_{stg}	- 40 to + 85	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	$t \leq 3\text{ s}$	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance Junction/ Ambient		R_{thJA}	450	K/W

TEMT6000

Vishay Semiconductors



Basic Characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Collector Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 0.1\text{ mA}$	V_{CEO}	6			V
Collector dark current	$V_{CE} = 5\text{ V}, E = 0$	I_{CEO}		3	50	nA
Collector-emitter capacitance	$V_{CE} = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}, E = 0$	C_{CEO}		16		pF
Collector Light Current	$E_v = 20\text{ lx}$, standard light A	I_{ca}	3.5	10	16	μA
	$E_v = 100\text{ lx}$, standard light A	I_{ca}		50		μA
Angle of Half Sensitivity		ϕ		± 60		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		λ_p		570		nm
Range of Spectral Bandwidth		$\lambda_{0.1}$		360 to 970		nm
Collector Emitter Saturation Voltage	$E_v = 20\text{ lx}, 0.45\text{ }\mu\text{A}$	V_{CEsat}		0.1		V

Typical Characteristics ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

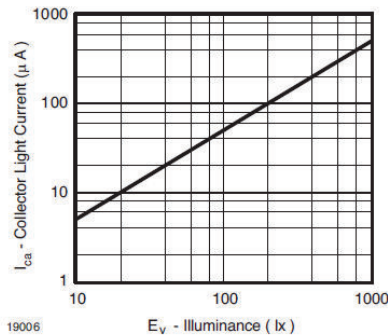


Figure 1. Collector Light Current vs. Illuminance

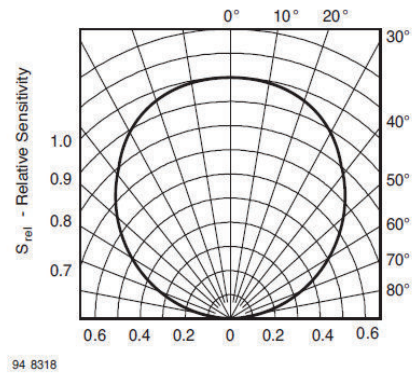


Figure 3. Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

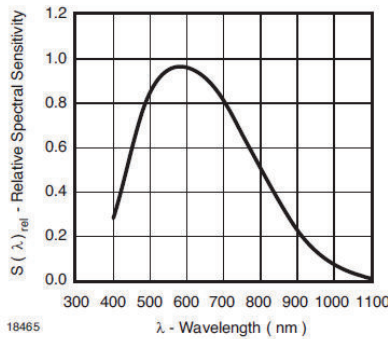


Figure 2. Relative Spectral Responsivity vs. Wavelength

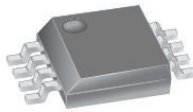
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



Description

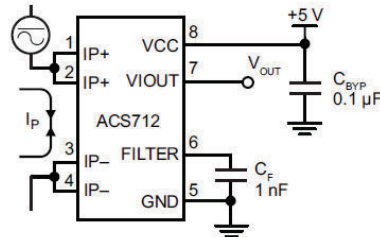
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(Source)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(Sink)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFRI}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

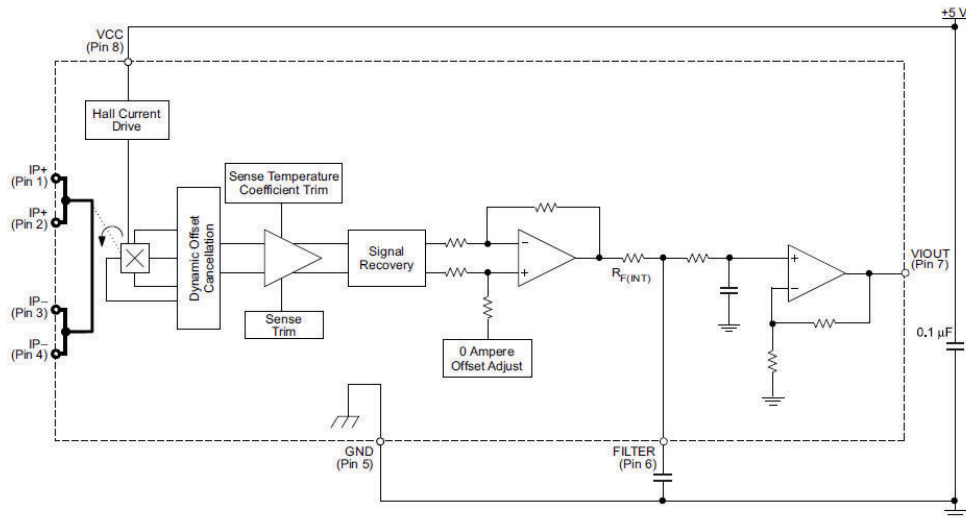


Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

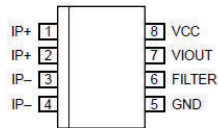
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	4.7	–	–	kΩ
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	mΩ
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		kΩ

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

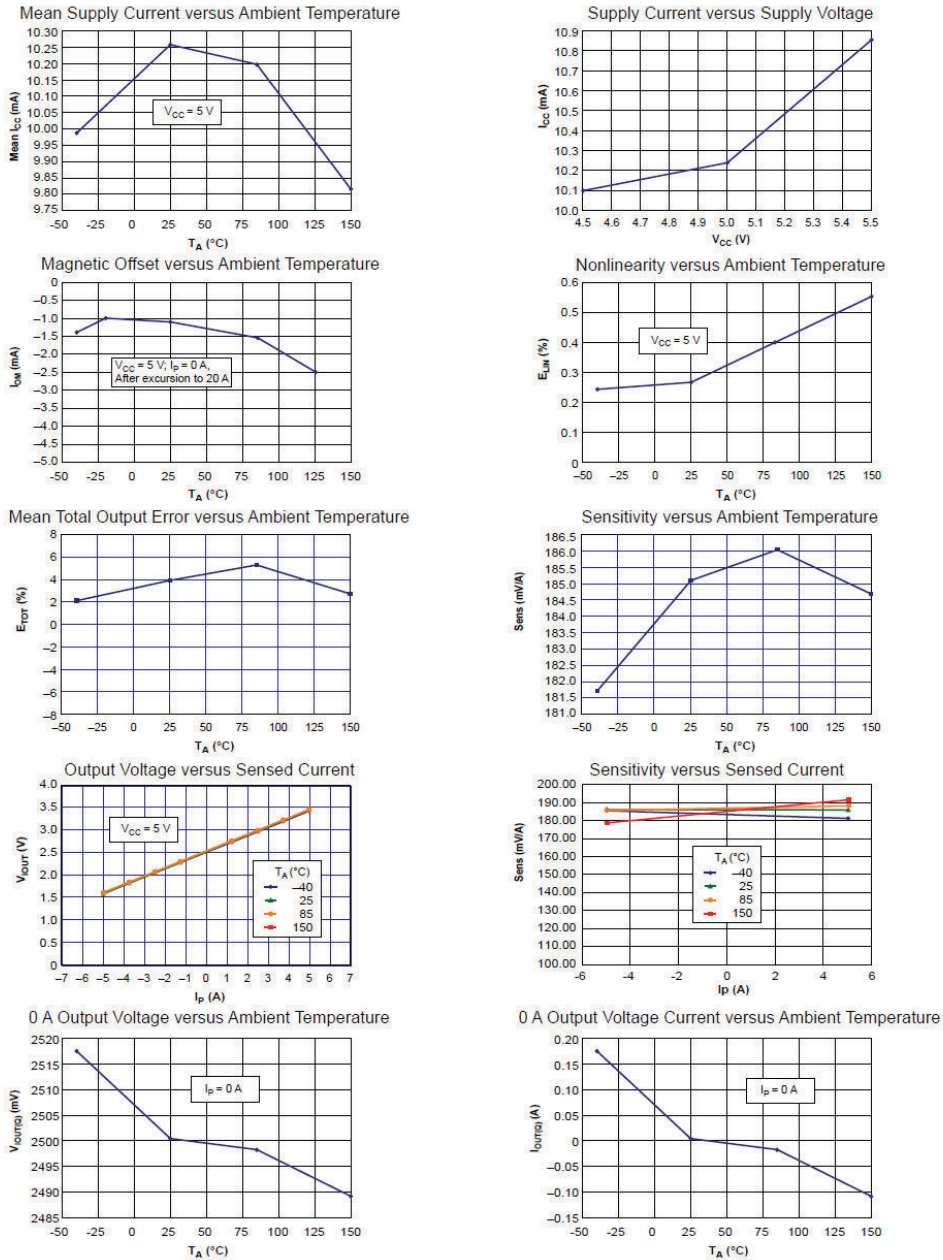
²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

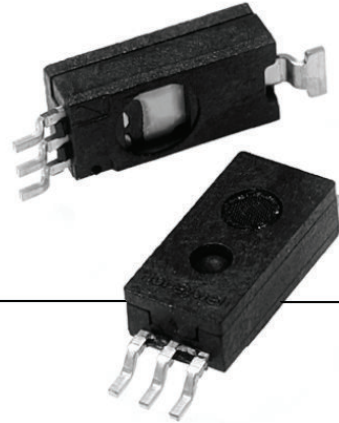
Characteristic Performance

$I_p = 5\text{ A}$, unless otherwise specified



HIH-4030/31 Series

Humidity Sensors



DESCRIPTION

Honeywell has expanded our HIH Series to include an SMD (Surface Mount Device) product line: the new HIH 4030/4031. The HIH 4030/4031 complements our existing line of non-SMD humidity sensors. SMD packaging on tape and reel allows for use in high volume, automated pick and place manufacturing, eliminating lead misalignment to printed circuit board through-hole.

The HIH-4030/4031 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users.

Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's near linear voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-4030/4031 Series is often ideally suited for low drain, battery operated systems.

Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

FEATURES

- Tape and reel packaging allows for use in high volume pick and place manufacturing (1,000 units per tape and reel)
- Molded thermoset plastic housing
- Near linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- Enhanced accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

The HIH-4030/4031 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SMD.

The HIH-4030 is a covered integrated circuit humidity sensor. The HIH-4031 is a covered, condensation-resistant, integrated circuit humidity sensor that is factory-fitted with a hydrophobic filter allowing it to be used in condensing environments including industrial, medical and commercial applications.

The RH sensor uses a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning.

The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as condensation, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

Sample packs are available. See order guide.

POTENTIAL APPLICATIONS

- Refrigeration equipment
- HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) equipment
- Medical equipment
- Drying
- Metrology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

HIH-4030/31 Series

TABLE 1. PERFORMANCE SPECIFICATIONS (At 5 Vdc supply and 25 °C [77 °F] unless otherwise noted.)

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Specific Note
Interchangeability (first order curve)	–	–	–	–	–
0% RH to 59% RH	-5	–	5	% RH	–
60% RH to 100% RH	-8	–	8	% RH	–
Accuracy (best fit straight line)	-3.5	–	+3.5	% RH	1
Hysteresis	–	3	–	% RH	–
Repeatability	–	±0.5	–	% RH	–
Settling time	–	–	70	ms	–
Response time (1/e in slow moving air)	–	5	–	s	–
Stability (at 50% RH in a year)	–	±1.2	–	% RH	2
Stability (at 50% RH in a year)	–	±0.5	–	% RH	3
Voltage supply	4	–	5.8	Vdc	4
Current supply	–	200	500	µA	–
Voltage output (1 st order curve fit)	$V_{OUT} = (V_{SUPPLY})(0.0062(\text{sensor RH}) + 0.16)$, typical at 25 °C				
Temperature compensation	True RH = (Sensor RH)/(1.0546 – 0.00216T), T in °C				
Output voltage temp. coefficient at 50% RH, 5 V	–	-4	–	mV/°C	–
Operating temperature	-40[-40]	See Figure 1.	85[185]	°C[°F]	–
Operating humidity (HIH-4030)	0	See Figure 1.	100	% RH	5
Operating humidity (HIH-4031)	0	See Figure 1.	100	% RH	–
Storage temperature	-50[-58]	–	125[257]	°C[°F]	–
Storage humidity	See Figure 2.			% RH	5

Specific Notes:

1. Can only be achieved with the supplied slope and offset. For HIH-4030/31-003 catalog listings only.
2. Includes testing outside of recommended operating zone.
3. Includes testing for recommended operating zone only.
4. Device is calibrated at 5 Vdc and 25 °C.
5. Non-condensing environment. When liquid water falls on the humidity sensor die, output goes to a low rail condition indicating no humidity.

General Notes:

- Sensor is ratiometric to supply voltage.
- Extended exposure to ≥90% RH causes a reversible shift of 3% RH.
- Sensor is light sensitive. For best performance, shield sensor from bright light.

FACTORY CALIBRATION DATA

HIH-4030/31 Sensors may be ordered with a calibration and data printout. See Table 2 and the order guide on the back page.

TABLE 2. EXAMPLE DATA PRINTOUT

Model	HIH-4030-003
Channel	92
Wafer	030996M
MRP	337313
Calculated values at 5 V	
V _{OUT} at 0% RH	0.958 V
V _{OUT} at 75.3% RH	3.268 V
Linear output for 3.5% RH accuracy at 25 °C	
Zero offset	0.958 V
Slope	30.680 mV/%RH
Sensor RH	$(V_{OUT} - \text{zero offset})/\text{slope}$ $(V_{OUT} - 0.958)/0.0307$
Ratiometric response for 0% RH to 100% RH	
V _{OUT}	V _{SUPPLY} (0.1915 to 0.8130)



Humidity Sensors

FIGURE 1. OPERATING ENVIRONMENT (Non-condensing environment for HIH-4030 catalog listings only.)

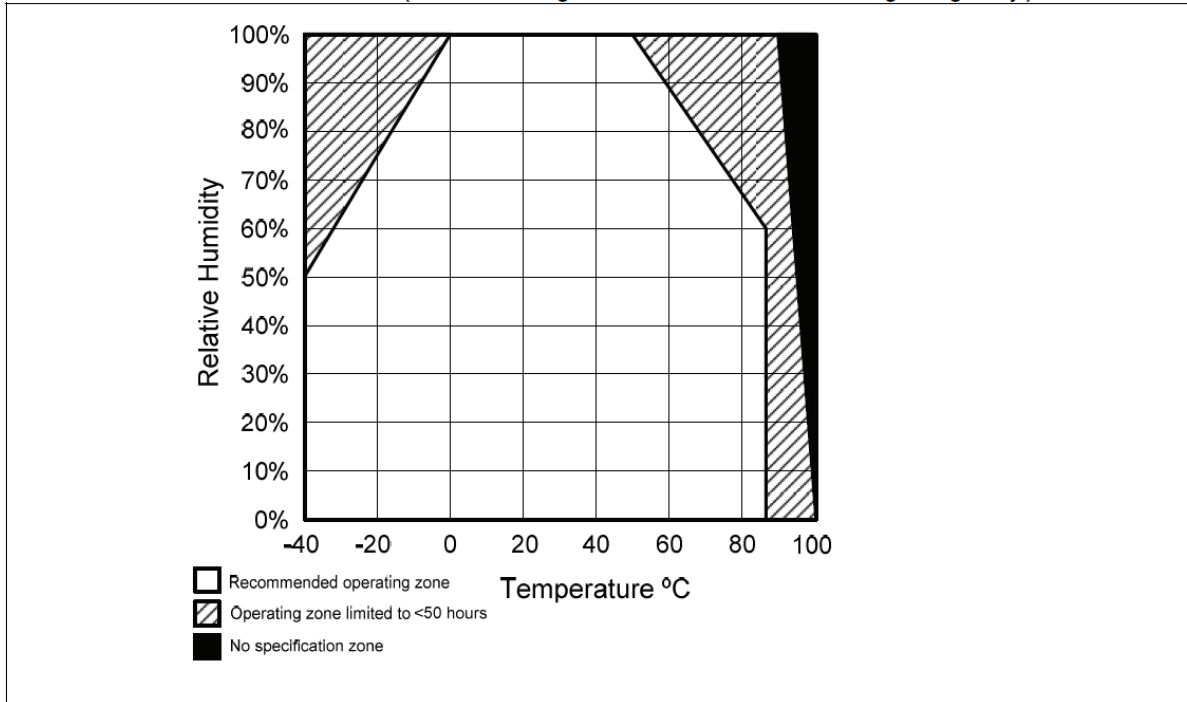
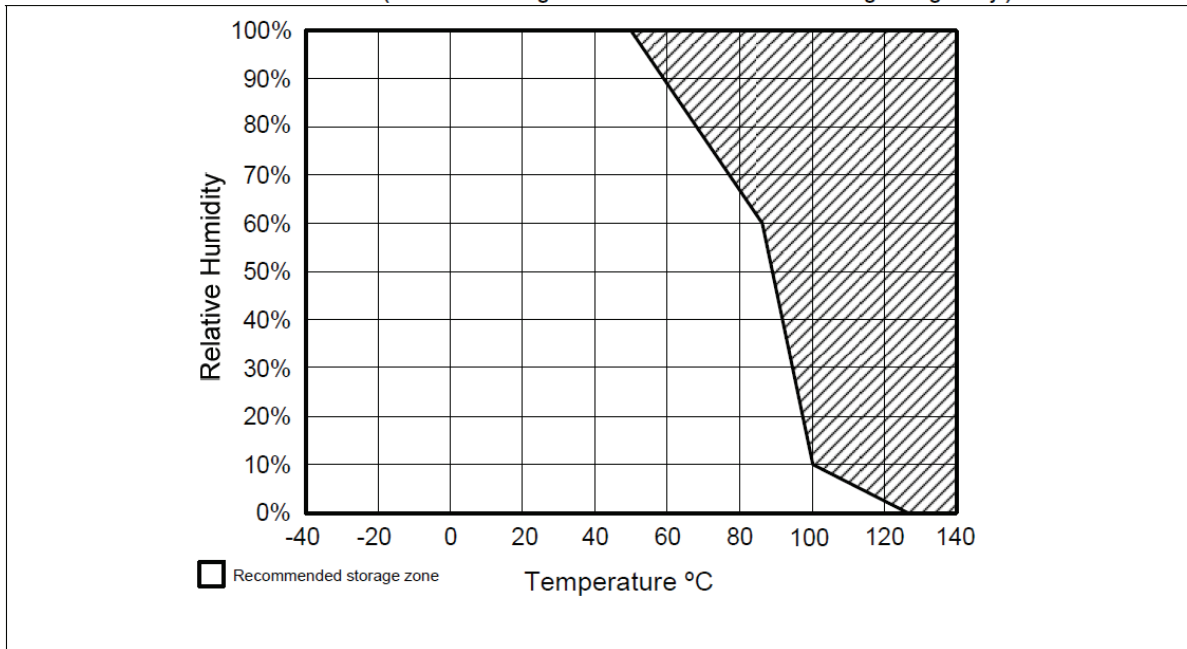


FIGURE 2. STORAGE ENVIRONMENT (Non-condensing environment for HIH-4030 catalog listings only.)



HIH-4030/31 Series

FIGURE 3. TYPICAL OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY (At 25 °C and 5 V.)

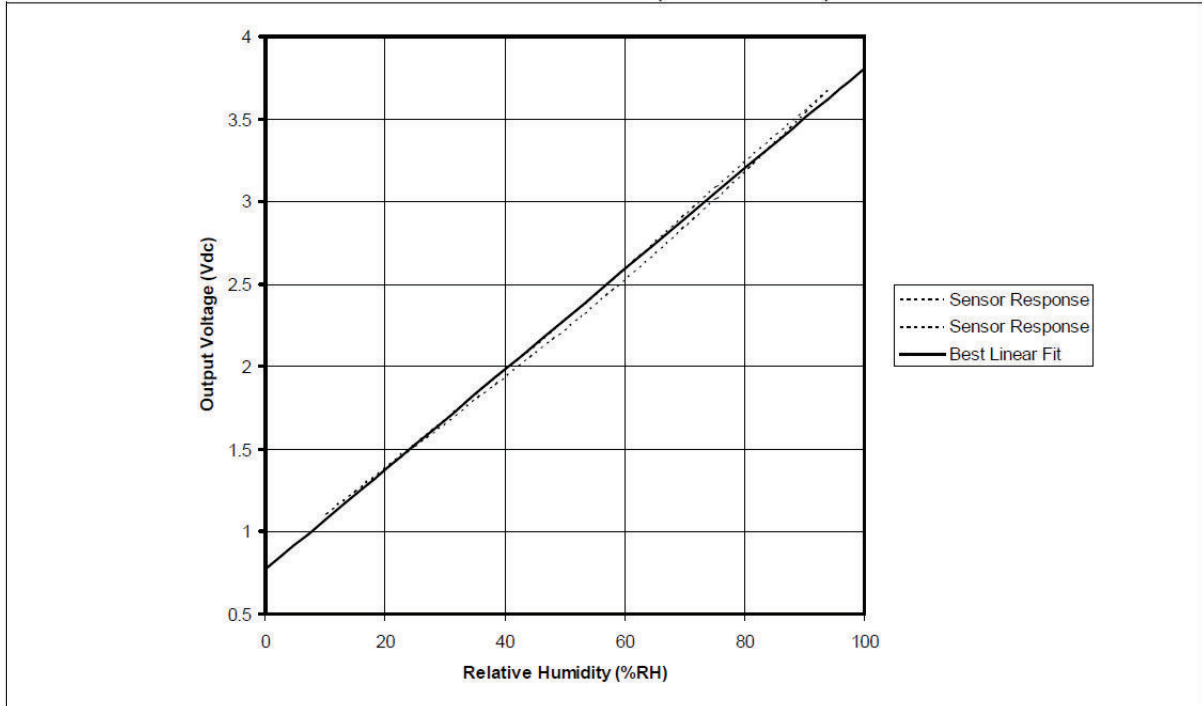
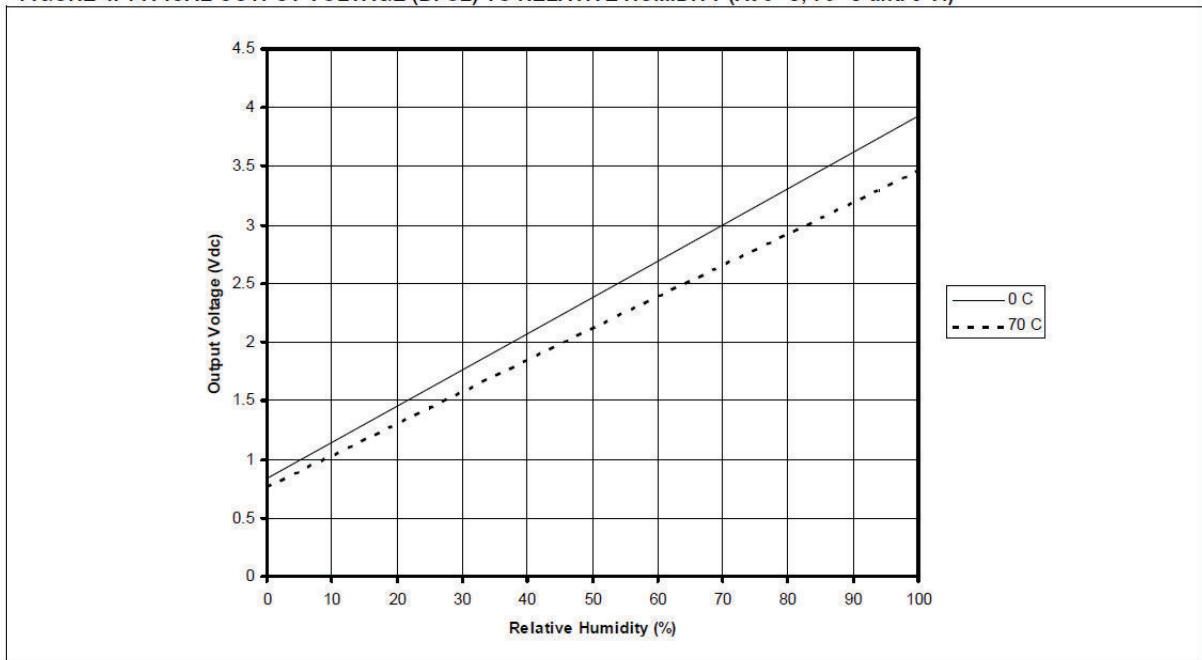
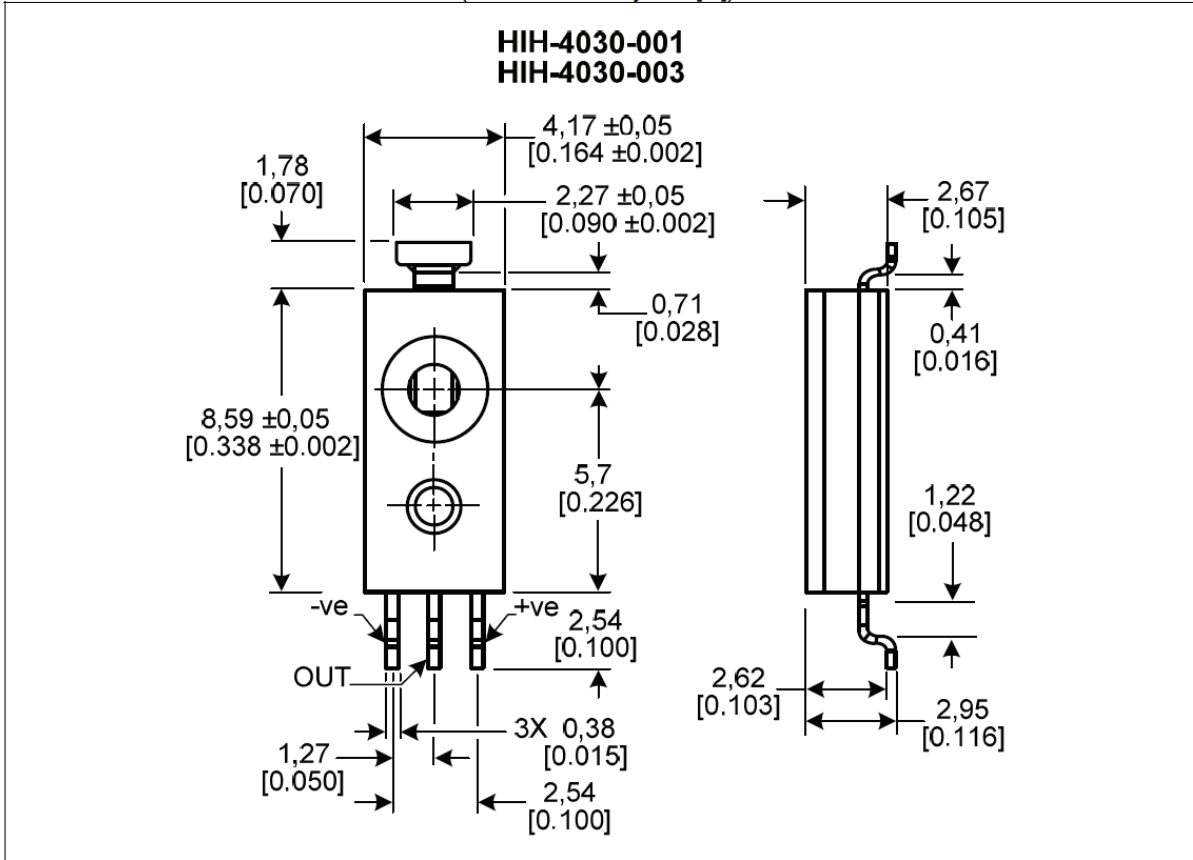


FIGURE 4. TYPICAL OUTPUT VOLTAGE (BFSL) VS RELATIVE HUMIDITY (At 0 °C, 70 °C and 5 V.)



Humidity Sensors

FIGURE 5. HIH-4030 MOUNTING DIMENSIONS (For reference only. mm/[in])



LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

FEATURES

- Calibrated Directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10 mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at +25°C)
- Rated for Full –55°C to +150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 to 30 V
- Less than 60-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Nonlinearity Only ±¼°C Typical
- Low Impedance Output, 0.1 Ω for 1 mA Load

DESCRIPTION

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, with an output voltage linearly proportional to the Centigrade temperature. Thus the LM35 has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full –55°C to +150°C temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 make interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a –55°C to +150°C temperature range, while the LM35C is rated for a –40°C to +110°C range (–10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

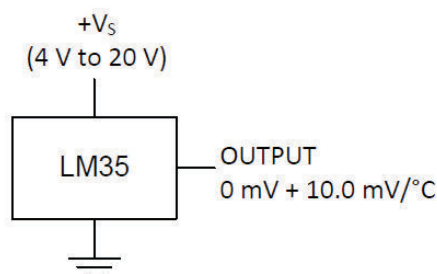
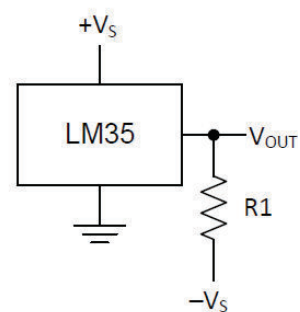


Figure 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)



Choose $R_1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = 1500 \text{ mV at } 150^\circ\text{C}$
 $V_{\text{OUT}} = 250 \text{ mV at } 25^\circ\text{C}$
 $V_{\text{OUT}} = -550 \text{ mV at } -55^\circ\text{C}$

Figure 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

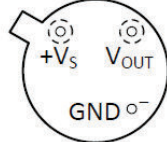
Copyright © 1999–2013, Texas Instruments Incorporated



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

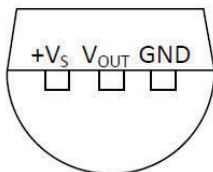
CONNECTION DIAGRAMS

**METAL CAN PACKAGE
TO (NDV)**

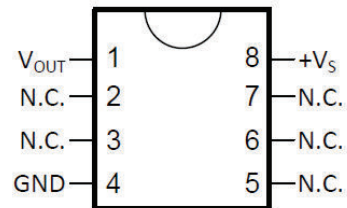


Case is connected to negative pin (GND)

**PLASTIC PACKAGE
TO-92 (LP)
BOTTOM VIEW**

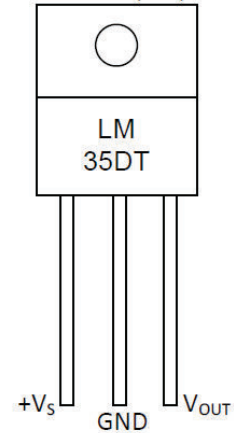


**SMALL-OUTLINE MOLDED PACKAGE
SOIC-8 (D)
TOP VIEW**



N.C. = No connection

**PLASTIC PACKAGE
TO-220 (NEB)**



Tab is connected to the negative pin (GND).

NOTE: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP

Anexo B. HOJAS DE DATOS TÉCNICOS DE LOS NODOS Y GATEWAY

Ordering Information | Detailed Specifications | Pinouts/Front Panel Connections
For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resources tab on ni.com.

Last Revised: 2011-05-06 13:22:49.0

Wireless Sensor Network Programmable Analog Input Measurement Nodes NI WSN-3202, NI WSN-3212, NI WSN-3226



- Create a reliable network, with support for hundreds of nodes, to monitor your assets or environment
- Programmable with the LabVIEW Wireless Sensor Network (WSN) Module: customize node behavior to extend battery life, increase sample rates, save data locally, and perform local analysis and DIO control
- NI-WSN software provides easy network configuration, drag-and-drop LabVIEW programming, and support for logging, alarming, and web-based data visualization
- Low-power operation, with up to 3-year battery life
- 2.4 GHz, IEEE 802.15.4 radio that provides up to 300m outdoor range
- Four analog input channels per measurement node
- Bi-directional digital channels, configurable for input, sinking output, or sourcing output (2-4 DIO channels per node)
- Industrial ratings: -40 to 70 °C operating temperature and 50 g shock, 5 g vibration

Overview

The National Instruments wireless sensor network (WSN) platform delivers low-power measurement nodes that offer industrial certifications, reliable networking, and optional weatherproof outdoor enclosures for long-term, remote monitoring applications. The measurement nodes have direct sensor connectivity and a 2.4 GHz radio to wirelessly transmit data to a WSN gateway. Each measurement node offers four analog input channels and two to four digital I/O channels that you can configure for input, sinking output, or sourcing output. With graphical LabVIEW software, you can easily configure your network, collect measurement data, trigger alarms through SMS or e-mail, and even view monitoring data within a Web browser. With the NI LabVIEW Wireless Sensor Network (WSN) Module, you can customize the behavior of programmable NI WSN measurement nodes. Use this module to optimize node behavior for your application: customize sample and transmission rates, perform onboard analysis or data reduction, respond to digital value changes, perform local control of DIO lines, and even store data to flash memory.

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Model	Signal Type(s)	Analog Input Channels	Resolution (bits)	Minimum Sample Interval (seconds)	Input Range(s)	DIO Channels	DIO Voltage Range (V)	Maximum DIO Sourcing (aggregate)	Additional Features
NI WSN-3202	Voltage	4	16	1	±10, ±5, ±2, ±0.5 V	4 (sinking or sourcing)	5 to 30	1 A	12 V, 20 mA sensor power output
NI WSN-3212	Thermocouple, Voltage	4	24	2	±73 mV	4 (sinking or sourcing)	5 to 30	500 mA	Support for J, K, R, S, T, N, B, E thermocouple types
NI WSN-3226	Voltage, Resistance/RTD	4	20	1	±10V, 400Ω, 4kΩ, 100kΩ	2 (sinking or sourcing)	5 to 30	1A	12V, 50mA sensor power output, 50/60Hz rejection, battery backup support

[Back to Top](#)

Application and Technology

Programmable WSN Measurement Nodes and the LabVIEW WSN Module

NI recommends the programmable versions of NI WSN measurement nodes. With programmable nodes and the LabVIEW WSN Module, you can use graphical programming to customize node firmware and optimize node operation for your applications.

You can use LabVIEW WSN applications to extend battery life, perform onboard analysis or data reduction, and even programmatically control DIO lines in response to analog data or network status changes. The programmable nodes also deliver access to the node's onboard flash memory, where you can store measurement data or other node parameters.

An example LabVIEW WSN application might be used to sample the analog inputs once an hour, store measurement data to flash, and transmit 24 data points at midnight each day. This same application could be used to turn on a relay or actuator if analog data rose above a specified threshold, such as turning on a fan if an acquired temperature was above a critical level. And because these applications are written in the LabVIEW graphical development environment, customizing node firmware is easy, without any need for low-level assembly or machine code knowledge. With the LabVIEW WSN Module, the custom applications are wirelessly downloaded to the node's onboard processor, where they can dictate sample and transmission rates, onboard data analysis, and how the node responds to network status changes or digital value changes.

Power

You can power the NI WSN measurement nodes with four 1.5 V AA alkaline battery cells, delivering three-year battery-powered operation at a one-minute sample interval. The NI WSN-3226 also supports 1.5 V AA lithium cells. Each node features an external power port, so you can provide line power or use other forms of power such as solar or vibration energy harvesting. The WSN-3226 supports battery backup, meaning you can connect both external and battery power; the node defaults to external power and automatically switches to battery power in the event the external power drops below a voltage threshold. The external power input should be used to power NI WSN nodes operating in router mode, which is a feature that you can enable in software to set up a self-healing mesh network of nodes. Router nodes increase density, distance, and redundancy in your wireless network.

Each node offers bidirectional digital I/O channels for input, sinking output, or sourcing output. You must use an external power supply to provide sourcing output through the digital I/O channels, with a maximum total current output (aggregate on all channels) of 500 mA on the NI WSN-3212 and 1 A on the NI WSN-3202 and WSN-3226. The WSN-3202 and WSN-3226 also feature a 12 V sensor power output line that you can use to drive external sensors.

Wireless and Mesh Networking

The measurement nodes and gateways communicate wirelessly using 2.4 GHz radios and the reliable NI-WSN protocol based on IEEE 802.15.4. The network accommodates up to 36 nodes per gateway, with access to 14 nonoverlapping wireless channels, so you can reliably configure fourteen 36-node networks (2,016 analog channels) in the same vicinity without sharing any wireless bandwidth. Each radio delivers an outdoor range of up to 300 m with line of sight, and up to 100 m indoors, performing reliably even in high EMI environments.

Gateways, routers, and end nodes work together to form a mesh network. Measurement nodes can operate as routers or end nodes, providing the flexibility to extend the range or density of your sensor network. When nodes are configured as routers, they can repeat messages from end nodes and extend network range while acquiring measurement data.

When a node powers up, it scans for available networks, locates either a gateway or router node, and attempts to join. When the node joins the network, it downloads the latest configuration from the gateway and begins its normal operation of acquiring measurement data, controlling digital I/O, and transmitting data back to the gateway for processing, alarming, and visualization.

Software Overview

With NI-WSN software, you can easily configure your sensor network and quickly extract measurement data from your wireless sensor network with the LabVIEW graphical development environment.

NI WSN measurement nodes configured with a gateway are automatically added to your LabVIEW project, giving you instant access to their I/O and properties. Simply drag and drop I/O variables from a LabVIEW project to a LabVIEW block diagram for data extraction, analysis, and presentation. Using the drag-and-drop LabVIEW variables, you can monitor the analog and digital channels as well as other node attributes such as link quality, battery voltage, and whether a node is configured as a router or end node. Because of these properties, you can intelligently maintain your network and choose the best locations for your measurement nodes. The LabVIEW project interface also offers access to node property configuration utilities. You can modify node sample intervals, define the analog and digital channel parameters, and provide aliases.

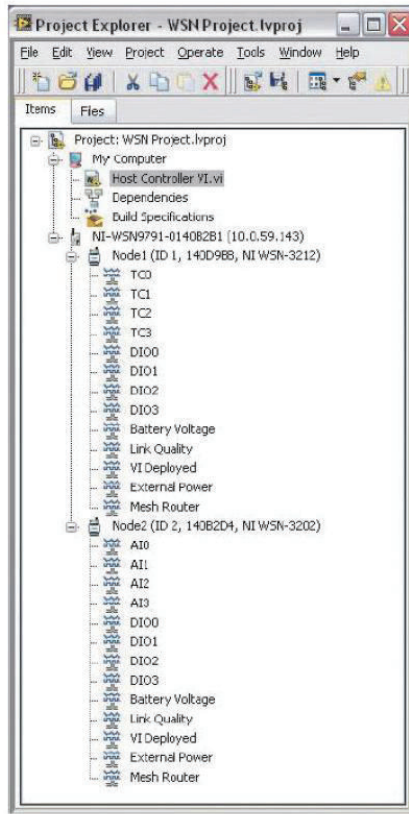


Figure 1. LabVIEW Project and NI WSN

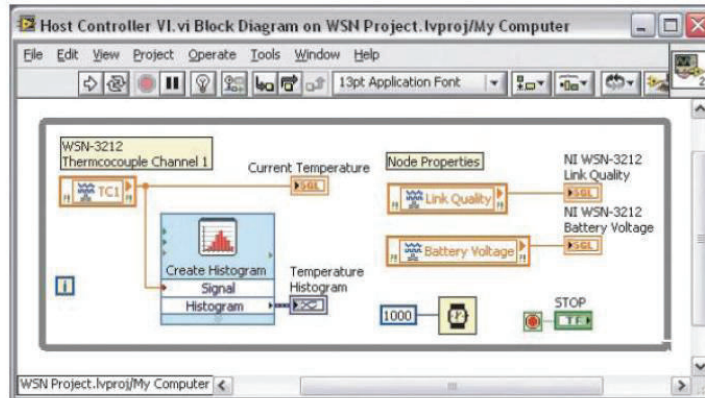


Figure 2. Extracting NI WSN Measurement Data Using LabVIEW

LabVIEW delivers a common development environment for all of your monitoring and control applications as well as rapid programming, easy network configuration, and open connectivity to a variety of third-party instruments and systems. And with a multitude of LabVIEW add-ons, you can visualize data in a Web browser, conduct advanced data processing and analysis, or perform integrated event detection and alarming

Node Programming (LabVIEW WSN)

You can customize the behavior of programmable NI WSN measurement nodes with the LabVIEW WSN Module. Use this module to perform custom analysis, extend battery life, and embed local decision making on NI WSN measurement nodes.

With the LabVIEW WSN Module, you can significantly increase the battery life of your NI WSN measurement nodes while increasing performance and flexibility. By default, a node transmits every acquired value back to the gateway at the specified sample interval; however, in many applications, it is sufficient to simply monitor a given input for a threshold crossing or average values over a period of time. In these applications, powering the radio to transmit every acquired sample uses excessive power and reduces battery life. With LabVIEW WSN, you can add intelligence to the node to transmit data only when required. Additionally, you can monitor battery voltage and network status as well as modify the sample interval of the node to optimize behavior for specific operating conditions.

This also helps you achieve higher sample rates by customizing how the node acquires and transmits data. Exact sample rates depend on how many channels you are sampling, the analysis performed on each sample, and how many samples are transmitted back to the host, but programmable WSN nodes can achieve faster sample rates than those noted in the specifications. Refer to the LabVIEW WSN benchmarks white paper on NI Developer Zone for more information on increasing sample rates.

Using a subset of LabVIEW analysis functions and floating-point math operations, you can preprocess data acquired by NI WSN measurement nodes. A variety of analog and digital sensors can interface directly with these nodes, and you can use LabVIEW WSN to scale and convert raw sensor data into meaningful engineering units before transmitting.

With LabVIEW WSN, you can also embed intelligence on NI WSN measurement nodes, so decisions can be made autonomously without transmitting the stimulus and response to and from a host computer or embedded controller. You can use the digital output lines on an NI WSN measurement node to actuate relays and perform simple on/off control. For example, a programmed node can turn on a fan when a temperature threshold is exceeded, which reduces response time and increases reliability by removing the need for host interaction.

NI WSN Applications and Architectures

NI wireless sensor networks are ideally suited for long-term remote monitoring applications for subjects such as the environment, water quality, structural health, energy quality and consumption, transportation, and machine condition. NI WSN measurement nodes can withstand outdoor and industrial environments and reliably monitor assets or surroundings to provide enhanced visibility into the overall health of your systems or processes.

The NI WSN platform can function as a simple, stand-alone wireless monitoring system, or be combined with other hardware components to achieve a complete wired and wireless measurement and control system. Through LabVIEW, you can combine NI wireless sensor network devices with other NI platforms to customize and enhance your measurement capabilities. You can complement your NI WSN with embedded NI CompactRIO systems, vision systems, or even human machine interfaces (HMIs) to create a fully integrated solution that meets the unique needs of your application.

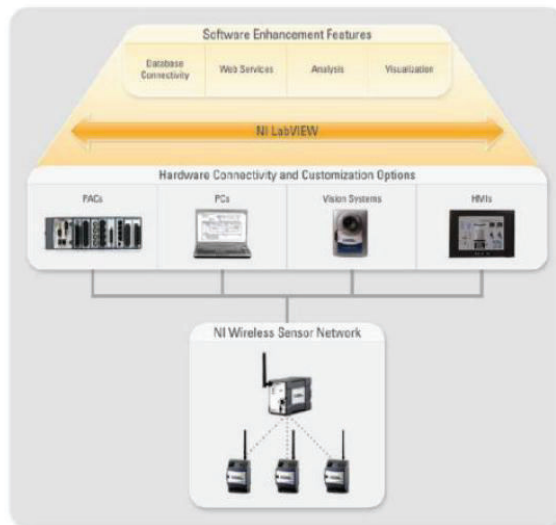


Figure 3. Customize and enhance your NI WSN system.

Mechanical Information

The measurement node housing measures 5 by 3.3 by 1.5 in. (H by W by D), with the external antenna extending 4.25 in., resulting in a total height of 9.25 in. You can unscrew the faceplate of the measurement node to reveal the battery compartment, which holds four AA batteries and a reset button for manual reboots. Consult the user guide for detailed mechanical information.



Figure 4. Measurement Node External Features



Figure 5. Outdoor Enclosure With NI WSN Measurement Node (not included)

Accessories

NI WSN accessories include options for gateway and measurement node mounting as well as weatherproof enclosures for outdoor use of the measurement nodes and gateways. Available mounting accessories offer options to panel mount and DIN-rail mount WSN measurement nodes and gateways. The NI WSN-3281 magnetic panel mount kit provides easy setup and takedown on virtually any metal surface. For high shock and vibration applications, NI recommends a panel mounting configuration rather than DIN rail.

The NI WSN-3291 is an outdoor, weatherproof enclosure for NI WSN measurement nodes. The enclosure features two I/O glands for routing power or sensor cables and is shipped with four I/O gland inserts and two I/O gland plugs so you can customize the glands for your application. The WSN-3291 offers an IP65 (Ingress Protection) rating to protect NI WSN measurement nodes for long-term, outdoor deployment.

Please view the WSN accessories data sheet for a complete list of WSN mounting accessories, outdoor enclosures, backshell kits, and power supplies.

[Back to Top](#)

Ordering Information

For a complete list of accessories, visit the product page on ni.com.

Products	Part Number	Recommended Accessories	Part Number
Starter Kits			
NI WSN Starter Kit (Americas)	781080-01	No accessories required.	
NI WSN Starter Kit (Europe/Asia)	781080-11	No accessories required.	
Programmable Measurement Nodes			
NI WSN-3202 Analog Input Node (Americas)	780997-02	No accessories required.	
NI WSN-3202 Analog Input Node (Europe/Asia)	780997-12	No accessories required.	
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Americas)	780998-02	No accessories required.	
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Europe/Asia)	780998-12	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Americas)	781295-02	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Europe/Asia)	781295-12	No accessories required.	
Outdoor Enclosures			
NI WSN-3294 Ethernet Gateway Enclosure	199975-01	No accessories required.	
NI WSN-3291 Measurement Node Enclosure	780994-01	No accessories required.	
WSN Gateways			
NI WSN-9791 Ethernet Gateway (Americas)	780996-01	No accessories required.	
NI WSN-9791 Ethernet Gateway (Europe/Asia)	780996-11	No accessories required.	
NI 9792 Programmable WSN Gateway (Americas)	781294-01	No accessories required.	
NI 9792 Programmable WSN Gateway (Europe/Asia)	781294-11	No accessories required.	
Nonprogrammable Measurement Nodes			
NI WSN-3202 Analog Input Node (Americas)	780997-01	No accessories required.	
NI WSN-3202 Analog Input Node (Europe/Asia)	780997-11	No accessories required.	
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Americas)	780998-01	No accessories required.	
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Europe/Asia)	780998-11	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Americas)	781295-01	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Europe/Asia)	781295-11	No accessories required.	

[Back to Top](#)

Support and Services

System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at ni.com/advisor to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit ni.com/calibration.

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- **Support** - Visit ni.com/support to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.

- **Discussion Forums** - Visit forums.ni.com for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- **Online Community** - Visit community.ni.com to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit ni.com/repair.

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- **Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- **On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- **Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- **Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- **Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit ni.com/training for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit ni.com/warranty.

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted.

For the gateway specifications, refer to the gateway documentation.

Analog Input	
Number of channels	4 single-ended channels
ADC resolution	16 bits
DNL	No missing codes guaranteed
INL	Refer to the <i>Absolute Accuracies Formulas</i> section
Minimum sample interval	1 second
Input coupling	DC
Nominal input ranges	±10 V, ±5 V, ±2 V, ±0.5 V
Minimum over range	4%
Input impedance (at DC)	
Powered on	>1 GΩ
Powered off/overload	10 kΩ
Input bias current	3 nA
Crosstalk (at 1 KHz)	
Adjacent channels	>100 dB
Non-adjacent channels	>100 dB
Analog bandwidth	7 kHz
Overvoltage protection	±30 V (one channel only)

AI Absolute Accuracy Tables and Formulas

The values in the following tables are based on calibrated scaling coefficients, which are stored in the onboard EEPROM.

Accuracy Summary				
Nominal Range (V)	Maximum Absolute Accuracy (mV) [*] -40 to 70 °C	Typical Absolute Accuracy (mV) [*] 25 ° ±5 °C	Random Noise σ (μV_{rms})	Sensitivity [†] (μV)
±10	38.21	3.70	342	137
±5	22.91	2.40	172	68.5
±2	10.52	1.49	69	27.5
±0.5	2.69	0.29	18	7

^{*} Absolute accuracy values at full scale on the analog input channels computed using the specified temperature range and are valid for averaging 100 samples immediately following calibration. Refer to the *Absolute Accuracy Formulas* section for more information.

[†] Sensitivity is the smallest voltage change that can be detected. It is a function of noise.

Accuracy Details (Maximum Values)					
Nominal Range (V)	Residual Gain Error (ppm of Reading)	Gain Tempco (ppm/°C)	Residual Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range/°C)	INL Error (ppm of Range)
±10	102	31	164	22	100
±5	137	41	240	22	100
±2	182	48	420	22	100
±0.5	160	50	300	24	100

Absolute Accuracy Formulas

$AbsoluteAccuracy = Reading \cdot GainError + Range \cdot OffsetError + NoiseUncertainty$

$GainError = ResidualGainError + GainTempco \cdot TempChangeFromLastCal$

$OffsetError = ResidualOffsetError + OffsetTempco \cdot TempChangeFromLastCal + INL_Error$

$NoiseUncertainty = (3 \cdot RandomNoise) / \sqrt{NumberofReadings}$ for a coverage factor of 3 σ and averaging 100 points.

Absolute accuracy at full scale on the analog input channels is determined using the following assumptions:

$TempChangeFromLastCal = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

$NumberofReadings = 100$

$CoverageFactor = 3 \sigma$

For example, on the 10 V range, the absolute accuracy at full scale is as follows:

$GainError = 10 \text{ V} \cdot (102 \text{ ppm} + 31 \text{ ppm} \cdot 45) = 14.97 \text{ mV}$

$OffsetError = 10 \text{ V} \cdot (164 \text{ ppm} + 22 \text{ ppm} \cdot 45 + 100\text{ppm}) = 12.54 \text{ mV}$

$NoiseUncertainty = 3 \cdot 342 \mu\text{V} / 100^{0.5} = 0.103 \text{ mV}$

$AbsoluteAccuracy = 27.61 \text{ mV}$

Sensor Power

Voltage

Typical (10 mA)	12.6 V
Minimum	11.5 V
Maximum	13.35 V
Output Current	17 mA maximum at -40 to 70 °C, 20 mA maximum at 25 °C
Delay from sensor power active to measurement	0 ms, 25 ms, 100 ms, 200 ms, always ON

Digital I/O

Number of channels	4 bi-directional, individually settable
Modes (configurable per channel)	Drive High Only, Drive Low Only, Drive High and Low, and Tristate
Power-on output state	High Impedance, Tristate
DIO power supply voltage range ($V_{\text{DIO_PWR}}$)	5 to 30 V


Digital Output

Total DIO current (all channels)	1 A maximum
Output current (one channel)	0.5 A maximum

Output voltage	
Sourcing	$V_{DIO_PWR} - 0.5\text{ V} - (0.9\ \Omega \times I_{OUT})$ minimum
Sinking	$0.9\ \Omega \times I_{OUT}$ maximum
Protection	
Voltage	30 VDC maximum
Reversed voltage	30 VDC maximum
Short circuit	
Trip current	0.57 A minimum 3.5 A maximum
Trip time	2.5 s at 5 A typical at 25 °C
Switching time	
Sinking, 10 K Ω pull-up	15 μ s
Sourcing, 10 K Ω pull-down	3.5 ms
Digital Input (Tristate Mode)	
Input voltage range	0 to 30 V
Digital input logic levels	
High level input voltage	1.7 to 30 V
Low level input voltage	0 to 0.45 V
Input current (0 to 30 V)	-160 μ A to 400 μ A, maximum
Contact to ground detection	
Contact close resistance (to ground)	<2.5 K Ω
Contact open resistance (to ground)	>40 K Ω
Contact capacitance	<20 nF
Node Resources for LabVIEW WSN	
User flash size	248 Kbytes
Number of flash erase cycles per sector	100,000
Wireless Characteristics	
Radio mode	IEEE 802.15.4
RF data rate	250 kbit/s
Frequency band ¹	ISM 2.4 GHz (2400 MHz to 2483.5 MHz)
Channels ²	11–24
TX power	
Americas	+17 db (50 mW)
International	+10 db (10 mW)
Range	
Americas	Up to 300 m
International	Up to 150 m
Modulation type	DSSS (O-QPSK)
Receiver sensitivity	-102 dBm
Antenna	
Connector	Female RP-SMA connector

VSWR	MAX 2.0
Impedance	50 Ω
Directivity	Omni
Nominal gain	1.5 dBi

Power Requirements

 **Caution** Use the NI WSN-3202 with a 24 VDC, UL Listed, limited power source (LPS) supply. The power supply must bear the UL Listed and LPS Marks. The power supply must also meet any safety and compliance requirements for the country of use.

Battery Power

The battery power specifications are typical at 25 °C. Do not use rechargeable batteries.

Internal battery

Type	4 AA, alkaline only
Voltage range	3.6–7.5 V
Power consumption ³	
60 second sample interval	0.5 mW at 6 V
1 second sample interval	13.3 mW at 6 V

Battery life³

60 second sample interval	Up to 3 years
1 second sample interval	Up to 1 month

External Power

External power	9 to 30 V
Power input mating connector	2-position mini-combicon, Phoenix Contact part number: 1714977
Power consumption	
End node mode	
60 second sample interval	16 mW at 24 V
1 second sample interval	33 mW at 24 V
Router mode ⁴	300 mW at 24 V

Physical Characteristics

Screw-terminal wiring	14 to 24 AWG wire
Torque for screw terminals	0.2 to 0.25 N · m
Dimensions	Refer to the <i>NI WSN-3202 Device Dimensions</i> figure in the <i>NI WSN-3202 User Guide and Specifications</i> for device dimensions
Weight	Approximately 242 g (8.5 oz)
Weight with antenna	Approximately 256 g (9 oz)

Antenna Dimensions

Not attached	+5.71 mm (+0.225 in.)
Attached, fully extended	+108.7 mm (+4.28 in.)

 **Note** Refer to the *Dimensions* section of the *NI WSN-3202 User Guide and Specifications* for device dimensions with the antenna attached.

Safety Standards

If you need to clean the device, wipe it with a dry towel.

The NI WSN-3202 is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

- EN 50371, 60215, & FCC 1.1310 Radiation Exposure Limits



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label, or go to ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

V terminal to C terminal	30 V max, Measurement Category I
--------------------------	----------------------------------

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



Caution Do *not* connect the system to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

RF Safety Warning

This equipment complies with FCC radiation exposure limits set for uncontrolled equipment and meets the FCC radio frequency (RF) Exposure Guidelines in Supplement C to OET65. This product generates and radiates radio frequency energy. To comply with the radio frequency radiation exposure guidelines in an uncontrolled environment, this equipment should be installed and operated with at least 20 cm between the radiator and the person's body (excluding extremities: hands, wrists, feet, and legs).

Environmental

The NI WSN-3202 is intended for indoor use only. For outdoor use, mount the system in a suitably rated enclosure.

Operating temperature (IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)	-40 to 70 °C
Storage temperature (IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)	-40 to 85 °C
Operating humidity (IEC-60068-2-56)	10 to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC-60068-2-56)	5 to 95% RH, noncondensing
Maximum altitude	2,000 m
Pollution Degree (IEC 60664)	2

Shock and Vibration

Operating vibration, random (IEC 60068-2-64)	5 g _{rms} , 10 to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine, 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations
Operating vibration, sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 to 500 Hz

Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-2-1 (IEC 61326-2-1): Class A emissions, Industrial immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Caution Operate this product with shielded cables and accessories.



Note For EMC certification and additional information, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive
- 1999/5/EC; Radio and Telecommunications Terminal Equipment (R&TTE) Directive

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

EU Regulatory Statements

National Instruments tímto prohlašuje, že tento NI WSN-3202 je ve shodě se základními požadavky a dalšími příslušnými ustanoveními směrnice

cs Česky [Czech]	1999/5/ES.
da Dansk [Danish]	Undertegnede National Instruments erklærer herved, at følgende udstyr NI WSN-3202 overholder de væsentlige krav og øvrige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.
de Deutsch [German]	Hiermit erkläre National Instruments, dass sich das Gerät NI WSN-3202 in Übereinstimmung mit den grundlegenden Anforderungen und den übrigen einschlägigen Bestimmungen der Richtlinie 1999/5/EG befindet.
et Eesti [Estonian]	Käesolevaga kinnitab National Instruments seadme NI WSN-3202 vastavust direktiivi 1999/5/EÜ põhinõuetele ja nimetatud direktiivist tulenevatele teistele asjakohastele sätetele.
en English	Hereby, National Instruments, declares that this NI WSN-3202 is in compliance with the essential requirements and other relevant provisions of Directive 1999/5/EC.
es Español [Spanish]	Por medio de la presente National Instruments declara que el NI WSN-3202 cumple con los requisitos esenciales y cualesquiera otras disposiciones aplicables o exigibles de la Directiva 1999/5/CE.
el Ελληνική [Greek]	ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ National Instruments ΔΗΛΩΝΕΙ ΟΤΙ ΝΙ WSN-3202 ΣΥΜΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΟΥΣΙΩΔΕΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΛΟΙΠΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 1999/5/ΕΚ.
fr Français [French]	Par la présente National Instruments déclare que l'appareil NI WSN-3202 est conforme aux exigences essentielles et aux autres dispositions pertinentes de la directive 1999/5/CE.
it Italiano [Italian]	Con la presente National Instruments dichiara che questo NI WSN-3202 è conforme ai requisiti essenziali ed alle altre disposizioni pertinenti stabilite dalla direttiva 1999/5/CE.
lv Latviski [Latvian]	Ar šo National Instruments deklarē, ka NI WSN-3202 atbilst Direktīvas 1999/5/EK būtiskajām prasībām un citiem ar to saistītajiem noteikumiem.
lt Lietuvių [Lithuanian]	Šiuo National Instruments deklaruoja, kad šis NI WSN-3202 atitinka esminius reikalavimus ir kitas 1999/5/EB Direktyvos nuostatas.
nl Nederlands [Dutch]	Hierbij verklaart National Instruments dat het toestel NI WSN-3202 in overeenstemming is met de essentiële eisen en de andere relevante bepalingen van richtlijn 1999/5/EG.
mt Malti [Maltese]	Hawnhekk, National Instruments, jiddikjara li dan NI WSN-3202 jikkonforma mal-higijiet essenzjali u ma provjedimenti oħrajn relevanti li hemm fid-Direttiva 1999/5/EC.
hu Magyar [Hungarian]	Alulírott, National Instruments nyilatkozom, hogy a NI WSN-3202 megfelel a vonatkozó alapvető követelményeknek és az 1999/5/EC irányelv egyéb előírásainak.
pl Polski [Polish]	Niniejszym National Instruments. oświadczam, że NI WSN-3202 jest zgodny z zasadniczymi wymogami oraz pozostałymi stosownymi postanowieniami Dyrektywy 1999/5/EC.
pt Português [Portuguese]	National Instruments declara que este NI WSN-3202 está conforme com os requisitos essenciais e outras disposições da Directiva 1999/5/CE.
sl Slovensko [Slovenian]	National Instruments izjavlja, da je ta NI WSN-3202 v skladu z bistvenimi zahtevami in ostalimi relevantnimi določili direktive 1999/5/ES.
sk Slovensky [Slovak]	National Instruments týmto vyhlasuje, že NI WSN-3202 spĺňa základné požiadavky a všetky príslušné ustanovenia Smernice 1999/5/ES.
fi Suomi [Finnish]	National Instruments vakuuttaa täten että NI WSN-3202 tyypinen laite on direktiivin 1999/5/EY oleellisten vaatimusten ja sitä koskevien direktiivin muiden ehtojen mukainen.
sv Svenska [Swedish]	Härmed intygar National Instruments att denna NI WSN-3202 står i överensstämmelse med de väsentliga egenskapskrav och övriga relevanta bestämmelser som framgår av direktiv 1999/5/EG.
is Íslenska [Icelandic]	Hér með lýsir National Instruments yfir því að NI WSN-3202 er í samræmi við grunnkröfur og aðrar kröfur, sem gerðar eru í tilskipun 1999/5/EC.
no Norsk [Norwegian]	National Instruments erklærer herved at utstyret NI WSN-3202 er i samsvar med de grunnleggende krav og øvrige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.

Environmental Management







NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at ni.com/environment. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of the product life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment, visit ni.com/environment/weee.htm.

Battery Replacement and Disposal	
	Battery Directive This device contains a long-life coin cell battery. If you need to replace it, use the Return Material Authorization (RMA) process or contact an authorized National Instruments service representative. For more information about compliance with the EU Battery Directive 2006/66/EC about Batteries and Accumulators and Waste Batteries and Accumulators, visit ni.com/environment/batterydirective .
	电子信息产品污染控制管理办法 (中国 RoHS)
	中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息, 请登录 ni.com/environment/rohs_china 。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china)
Regulatory Information	
United States	
This product generates and radiates radio frequency energy. To comply with the radio frequency radiation exposure guidelines in an uncontrolled environment, this equipment must be installed and operated while maintaining a minimum body-to-antenna distance of 20 cm.	
This product complies with Part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to these two conditions: (1) this device may not cause harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.	
This product does not contain any user serviceable components. Any unauthorized product changes or modifications will invalidate the warranty and all applicable regulatory certifications and approvals.	
Canada	
This product complies with Industry Canada RSS-210.	
Cet appareil est conforme aux norme RSS210 d'Industrie Canada.	
Europe—EU Declaration of Conformity 	
Marking by the above CE symbol on the label indicates compliance with the Essential Requirements of the R&TTE Directive of the European Union (1999/5/EC). This equipment meets the following conformance standards: EN 300 893, EN300 328, EN301 489-17, EN60950.	
Europe – Restrictions for Use of 2.4 GHz Frequencies in European Community Countries	
België/ Belgique:	For private usage outside buildings across public grounds over less than 300m no special registration with IBPT/BIPT is required. Registration to IBPT/BIPT is required for private usage outside buildings across public grounds over more than 300m. For registration and license please contact IBPT/BIPT. Voor privé-gebruik buiten gebouw over publieke grond over afstand kleiner dan 300m geen registratie bij BIPT/IBPT nodig; voor gebruik over afstand groter dan 300m is wel registratie bij BIPT/IBPT nodig. Voor registratie of licentie kunt u contact opnemen met BIPT. Dans le cas d'une utilisation privée, à l'extérieur d'un bâtiment, au-dessus d'un espace public, aucun enregistrement n'est nécessaire pour une distance de moins de 300m. Pour une distance supérieure à 300m un enregistrement auprès de l'IBPT est requise. Pour les enregistrements et licences, veuillez contacter l'IBPT.
Deutschland:	License required for outdoor installations. Check with reseller for procedure to follow. Anmeldung im Outdoor-Bereich notwendig, aber nicht genehmigungspflichtig Bitte mit Händler die Vorgehensweise abstimmen.
France:	Restricted frequency band: only channels 1 to 7 (2400 MHz and 2454 MHz respectively) may be used outdoors in France. Bande de fréquence restreinte : seuls les canaux 1- 7 (2400 et 2454 MHz respectivement) doivent être utilisés endroits extérieur en France. Vous pouvez contacter l'Autorité de Régulation des Télécommunications (http://www.art-telecom.fr) pour la procédure à suivre.
Italia:	License required for indoor use. Use with outdoor installations not allowed. E'necessaria la concessione ministeriale anche per l'uso interno. Verificare con i rivenditori la procedura da seguire.
Nederland:	License required for outdoor installations. Check with reseller for procedure to follow. Licentie verplicht voor gebruik met buitenantennes. Neem contact op met verkoper voor juiste procedure.
Japan	
The certified radio equipment is embedded in this device.	
	 201WW 08215142 本機器には認証済み無線設備が内蔵されています
Singapore	
	Complies with IDA Standards DA 105602
Taiwan R.O.C.	

低功率電波輻射性電機管理辦法

第十二條經型式認證合格之低功率射頻電機，非經許可，公司、商號或使用者均不得擅自變更頻率、加大功率或變更原設計之特性及功能。

第十四條低功率射頻電機之使用不得影響飛航安全及干擾合法通信；經發現有干擾現象時，應立即停用，並改善至無干擾時方得繼續使用。

前項合法通信，指依電信規定作業之無線電信。低功率射頻電機須忍受合法通信或工業、科學及醫療用電波輻射性電機設備之干擾。

¹ Due to regulations, the frequency bands depend upon the country of operation.

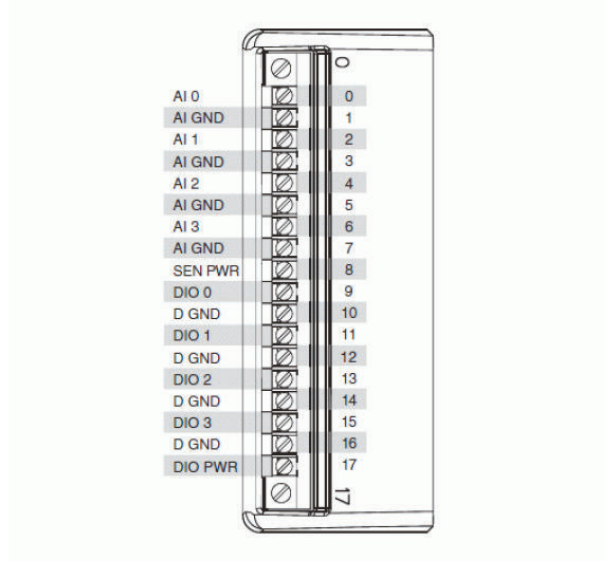
² Due to regulations, the valid channels depend upon country of operation.

³ Device executing NI-WSN firmware. End node mode. Sensor power not used.

⁴ Router connected directly to gateway. Routing messages for one end node at a one minute sample interval.

[Back to Top](#)

Pinouts/Front Panel Connections



NI WSN-3202 Connector Pinout

[Back to Top](#)

©2011 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, FieldPoint, LabVIEW, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, and ni.com are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved.

Last Revised: 2014-11-06 07:13:57.0

NI 9792

Programmable WSN Gateway



2010
ENGINEERS'
CHOICE
AWARDS

- Support for hundreds of nodes to help you create a reliable network to monitor your assets or environment
- Ability to target and program the NI 9792 with NI LabVIEW Real-Time for embedded data analysis, logging, and visualization
- 533 MHz Freescale MPC8347 real-time processor, 2 GB onboard storage for local data logging, and 256 MB DDR2 RAM
- Integrated Web (HTTP) and file (FTP) server for remote data access and visualization
- NI-WSN software that provides easy network configuration, drag-and-drop LabVIEW programming, and support for logging, alarming, and Web-based data visualization
- 2.4 GHz, IEEE 802.15.4 radio to communicate with distributed WSN measurement nodes and dual 10/100 Mbit/s Ethernet port for flexible connectivity to other network devices, such as databases or cell modems
- Redundant 9 to 35 VDC power input
- Industrial ratings: -40 to 70 °C operating temperature, 50 g shock, 5 g vibration
- Up to 300 m outdoor range with line of sight
- Each gateway supports up to 36 measurement nodes in a mesh configuration
- Support for 14 gateways in the same location, using noncompeting wireless channels

Overview

The National Instruments wireless sensor network (WSN) platform delivers low-power measurement nodes that offer industrial certifications, reliable networking, and optional weatherproof outdoor enclosures for long-term, remote monitoring applications.

The NI 9792 programmable WSN gateway manages the wireless network of distributed WSN measurement nodes and can communicate with other hardware through a variety of open communication standards such as TCP/IP, Modbus, and serial. This high-performance controller features a 2.4 GHz IEEE 802.15.4 radio to communicate with up to 36 distributed NI WSN measurement nodes (in a mesh configuration). The NI 9792 also features dual Ethernet ports to provide flexible connectivity to other devices in your measurement system, such as enterprise-level networks, cellular modems, or wired I/O systems. In addition, the controller offers a built-in Web server so that you can host measurement data for remote visualization from within a Web browser. With this flexibility, you can create complete wired and wireless measurement and control solutions that meet the unique needs of your application, as seen in Figure 1.

With graphical NI LabVIEW software, you can easily configure your network, collect measurement data, trigger alarms through SMS or e-mail, and even view monitoring data within a web browser. With the LabVIEW Real-Time Module, you can deploy embedded applications to run on the NI 9792 to perform local processing, data hosting, and communication with other devices through serial or Ethernet. With the LabVIEW Wireless Sensor Network (WSN) Module, you can customize the behavior of programmable NI WSN measurement nodes. Use this module to optimize node behavior for your application: customize sample and transmission rates, perform onboard analysis or data reduction, respond to digital value changes, perform local control of DIO lines, and even store data to flash memory.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

Software Compatibility

- LabVIEW
- LabVIEW Real-Time Module

[Back to Top](#)

Application and Technology

Local Programming for Embedded Monitoring, Analysis and Data Storage

By combining the NI LabVIEW Real-Time Module with the NI 9792 programmable WSN gateway, you can deploy embedded applications to collect, process, and host data from your wireless measurements. With 2 GB of onboard storage, the gateway is well-suited for embedded data-logging applications for which you need to aggregate data from distributed wireless measurement nodes and/or wired I/O systems. The NI 9792 also features a Hi-Speed USB host port to which you can connect external USB-based storage media for embedded logging applications requiring more data storage. In addition, the NI 9792 incorporates a fault-tolerant file system that provides increased reliability for data logging.

System and Network Architectures

NI wireless sensor networks are ideally suited for long-term remote monitoring applications focusing on subjects such as the environment, water quality, structural health, energy quality and consumption, transportation, and machine condition. NI WSN measurement nodes can withstand outdoor and industrial environments and reliably monitor assets or surroundings to provide enhanced visibility into the overall health of your systems or processes.

The NI wireless sensor network system is built on a low-power, reliable IEEE 802.15.4 network. The WSN gateway coordinates the wireless network, performing functions such as device authentication, message buffering, and network topology administration. The NI 9792 gateway does not need to be connected to a host controller because it can operate headlessly while running deployed LabVIEW Real-Time applications.

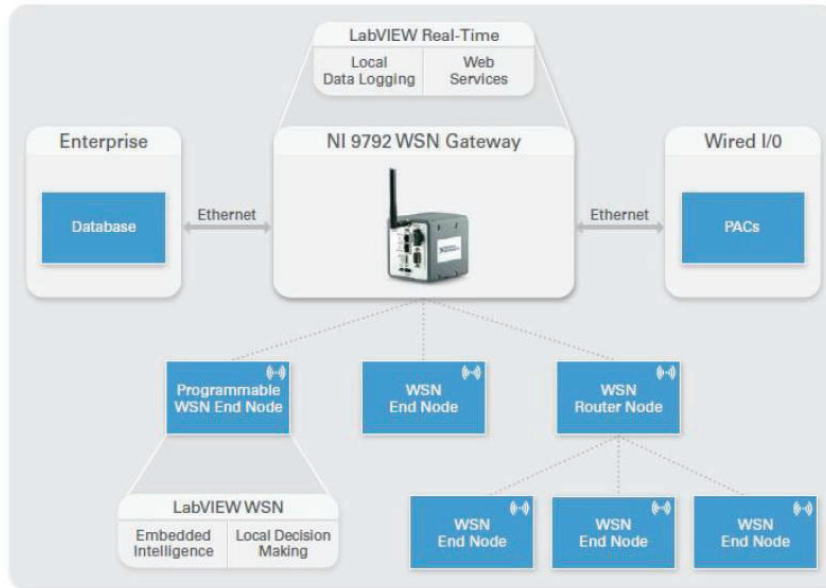


Figure 1. NI WSN systems provide flexible connectivity to other devices in your application.

The 9 to 30 VDC externally powered gateway offers -40 to 70 °C operating temperatures, 50 g shock ratings, and a compact form factor. Up to 36 measurement nodes can communicate with a single gateway, and each gateway can operate on any of 14 wireless communication channels to increase network size and ensure coexistence with other wireless devices. This allows a full WSN system to scale to over 2,000 analog channels (14 gateways X 36 nodes per gateway X 4 analog channels per node).

The gateway, routers, and end nodes work together to form a mesh network. Measurement nodes can operate as routers or end nodes, providing the flexibility to extend the range of your sensor network. When nodes are configured as routers, they can repeat messages from end nodes and extend network range while acquiring measurement data.

Software Overview

With NI-WSN software, you can easily configure your sensor network and quickly extract measurement data from your wireless sensor network with the LabVIEW graphical development environment.

NI WSN measurement nodes configured with a gateway are automatically added to your LabVIEW project, giving you instant access to their I/O and properties. Simply drag and drop I/O variables from a LabVIEW project to a LabVIEW block diagram for data extraction, analysis, and presentation. Using the drag-and-drop LabVIEW variables, you can monitor the analog and digital channels as well as other node attributes such as link quality, battery voltage, and whether a node is configured as a router or end node. Because of these properties, you can intelligently maintain your network and choose the best locations for your measurement nodes. The LabVIEW project interface also offers access to node property configuration utilities. You can modify node sample intervals, define the analog and digital channel parameters, and provide aliases.

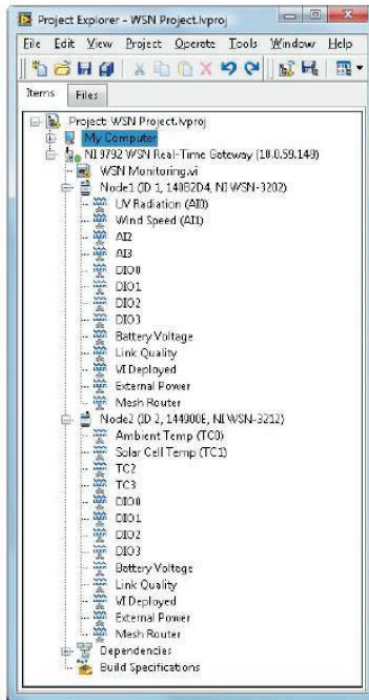


Figure 2. NI WSN System in the LabVIEW Project

Simply drag and drop I/O variables from the LabVIEW project to a LabVIEW block diagram for data extraction, logging, analysis, and presentation.

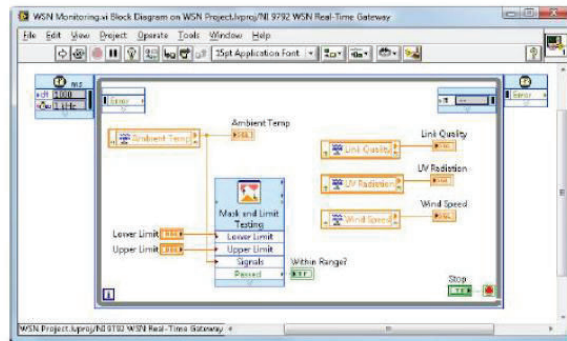


Figure 3. Extracting NI WSN Measurement Data Using LabVIEW

LabVIEW delivers a common development environment for all of your monitoring and control applications as well as rapid programming, easy network configuration, and open connectivity to a variety of third-party instruments and systems. And with a multitude of LabVIEW add-ons, you can visualize data in a Web browser, conduct advanced data processing and analysis, or perform integrated event detection and alarming

Gateway Programming (LabVIEW Real-Time)

The LabVIEW Real-Time Module helps you use LabVIEW graphical programming to create applications that run on embedded hardware targets such as the NI 9792. You can use most of the built-in math and signal processing algorithms that come with LabVIEW in your real-time applications, and add embedded data logging and communication. In addition, you can run textual math scripts on your real-time system with the optional LabVIEW MathScript RT Module. Developing real-time programs in LabVIEW is nearly identical to developing standard LabVIEW applications for your PC. Your embedded, real-time program can provide the following capabilities:

- Remote configuration, data access, alarms, and notifications using the onboard Web server
- Open communication through TCP/IP, Modbus, serial, shared variables, and Web services
- Third-party connectivity to other WSN gateways/vendors
- Remote communication through e-mail and FTP protocols
- Watchdog functions to automatically restart some hardware targets if your program stops running

Node Programming (LabVIEW WSN)

NI recommends the programmable versions of both nodes and gateways. You can customize the behavior of programmable NI WSN measurement nodes with the LabVIEW WSN Module. Use this module to perform custom analysis, extend battery life, and embed local decision making on NI WSN measurement nodes.

With the LabVIEW WSN Module, you can significantly increase the battery life of your NI WSN measurement nodes while increasing performance and flexibility. By default, a node transmits every acquired value back to the gateway at the specified sample interval; however, in many applications, it is sufficient to simply monitor a given input for a threshold crossing or average values over a period of time. In these applications, powering the radio to transmit every acquired sample uses excessive power and reduces battery life. With LabVIEW WSN, you can add intelligence to the node to transmit data only when required. Additionally, you can monitor battery voltage and network status as well as modify the sample interval of the node to optimize behavior for specific operating conditions.

This also helps you achieve higher sample rates by customizing how the node acquires and transmits data. Exact sample rates depend on how many channels you are sampling, the analysis performed on each sample, and how many samples are transmitted back to the host, but programmable WSN nodes can achieve faster sample rates than those noted in the specifications. Refer to the LabVIEW WSN benchmarks white paper on NI Developer Zone for more information on increasing sample rates.

Using a subset of LabVIEW analysis functions and floating-point math operations, you can preprocess data acquired by NI WSN measurement nodes. A variety of analog and digital sensors can interface directly with these nodes, and you can use LabVIEW WSN to scale and convert raw sensor data into meaningful engineering units before transmitting.

With LabVIEW WSN, you can also embed intelligence on NI WSN measurement nodes, so decisions can be made autonomously without transmitting the stimulus and response to and from a host computer or embedded controller. You can use the digital output lines on an NI WSN measurement node to actuate relays and perform simple on/off control. For example, a programmed node can turn on a fan when a temperature threshold is exceeded, which reduces response time and increases reliability by removing the need for host interaction.

Mechanical Information

The NI 9792 gateway measures approximately 3.5 by 3.3 by 3.75 in. (L by W by H). The front of the gateway features power, status, activity, and user LEDs, along with a DIP switch bank to perform actions such as IP address reset and SAFE mode configuration. Redundant power supply connections and dual Ethernet ports complement the RS232 port and Hi-Speed USB port, each of which provides strain relief. The back of the device offers DIN-rail and panel mount plate screw holes in addition to a grounding screw on the bottom of the device. Consult the NI 9792 user guide for detailed mechanical information.



Figure 4. NI 9792 External Features

WSN Accessories

NI WSN accessories feature options for gateway and measurement node mounting as well as a weatherproof enclosure for outdoor use of the measurement nodes and gateways.

Please view the WSN accessories data sheet for a complete list of WSN mounting accessories, outdoor enclosures, backshell kits, and power supplies.

[Back to Top](#)

Ordering Information

For a complete list of accessories, visit the product page on ni.com.

Products	Part Number	Recommended Accessories	Part Number
WSN Starter Kits			
NI WSN Starter Kit (Americas)	781080-01	No accessories required.	
NI WSN Starter Kit (Europe/Asia)	781080-11	No accessories required.	
Programmable Measurement Nodes			
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Europe/Asia)	780998-12	No accessories required.	
NI WSN-3231 RS-485 Serial Node (Europe/Asia)	781977-12	No accessories required.	
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Americas)	780998-02	No accessories required.	
NI WSN-3230 RS-232 Serial Node (Americas)	781637-02	No accessories required.	
NI WSN-3230 RS-232 Serial Node (Europe/Asia)	781637-12	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Europe/Asia)	781295-12	No accessories required.	
NI WSN-3202 Analog Input Node (Americas)	780997-02	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Americas)	781295-02	No accessories required.	
NI WSN-3202 Analog Input Node (Europe/Asia)	780997-12	No accessories required.	
NI WSN-3214 Strain/Bridge Completion Node (Americas)	781636-02	No accessories required.	
NI WSN-3214 Programmable Strain/Bridge Completion Node (Europe/Asia)	781636-12	No accessories required.	
NI WSN-3231 RS-485 Serial Node (Americas)	781977-02	No accessories required.	
WSN Gateways			

NI WSN-9791 Ethernet Gateway (Americas)	780996-01	No accessories required.
NI WSN-9791 Ethernet Gateway (Europe/Asia)	780996-11	No accessories required.
NI 9792 Programmable WSN Gateway (Americas)	781294-01	No accessories required.
NI 9792 Programmable WSN Gateway (Europe/Asia)	781294-11	No accessories required.
NI 9795 WSN C Series Gateway (Global)	781992-01	No accessories required.

[Back to Top](#)

Support and Services

System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at ni.com/advisor to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit ni.com/calibration.

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- **Support** - Visit ni.com/support to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- **Discussion Forums** - Visit forums.ni.com for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- **Online Community** - Visit community.ni.com to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit ni.com/repair.

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- **Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- **On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- **Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- **Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- **Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit ni.com/training for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit ni.com/warranty.

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

These specifications are typical at 25 °C unless otherwise noted. For the NI WSN-32xx specifications, refer to the device user guides.

Wireless Characteristics

Radio mode	IEEE 802.15.4
RF data rate	250 kbits/s
Frequency band ¹	ISM 2.4 GHz (2400 MHz to 2483.5 MHz)
Channels ²	11–24

TX power

Version	Maximum Radio Output	Outdoor Range
Americas	+17 dBm max (50 mW)	Up to 300 m
Europe/Asia	+10 dBm max (10 mW)	Up to 150 m

Modulation type	DSSS (O-QPSK)
Receiver sensitivity	−102 dBm
Antenna	
Connector	Female RP-SMA connector
VSWR	MAX 2.0
Impedance	50 Ω
Directivity	Omni
Nominal gain	1.5 dBi

Network Interface

Ethernet port 1	10BaseT and 100BaseTX Ethernet
Ethernet port 2	10BaseT and 100BaseTX Ethernet
Compatibility	IEEE 802.3
Communication rates	
Ethernet port 1	10 Mbps, 100 Mbps, auto-negotiated
Ethernet port 2	10 Mbps, 100 Mbps, auto-negotiated
Maximum cabling distance	100 m/segment

RS-232 DTE Serial Port

Baud rate	300–230, 400 bps
Data bits	5, 6, 7, 8
Stop bits	1, 1.5, 2
Parity	Odd, even, mark, space, none
Flow control	RTS/CTS, XON/XOFF, DTR/DSR, none

USB Port

Maximum data rate	480 Mb/s
Maximum current	500 mA

Memory

Non-volatile	2 GB
--------------	------

Use the following formula to determine the minimum life span in years of the nonvolatile memory:

$$\text{Memory life span in years} = \text{Amount of memory in NI 9792 (MB)} \times 100,000/365 \text{ days} / [\text{file size (MB)} \times \text{write rate (per day)}]$$

DRAM	256 MB
------	--------


Internal Real-Time Clock

Accuracy 200 ppm; 35 ppm at 25 °C

Integrated Voltage Input Monitor

The integrated voltage input monitor under reports the voltage at the power connector by up to 400 mV because of voltage drops across internal circuits.

Power Requirements

 **Caution** You must use a UL Listed ITE power supply marked LPS with the NI 9792. The power supply must also meet any safety and compliance requirements for the country of use.

Recommended power supply 15 W secondary, 35 VDC max

Power consumption 9.5 W

Maximum power consumption 15 W

Voltage requirement

On powerup 9 to 35 V

After powerup 6 to 35 V

 **Note** For EMC compliance, operate this device with shielded cables. The NI 9792 is guaranteed to power up when 9 V is applied to V and C. After power up, it can operate on as little as 6 V.

Physical Characteristics

If you need to clean the NI 9792, wipe it with a dry towel.

Screw-terminal wiring 12–18 AWG shielded copper conductor wire with 10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end

Torque for screw terminals 0.5 to 0.6 N · m (4.4 to 5.3 lb · in.)

Weight Approx. 833 g (29.4 oz)

Weight with antenna Approx. 842 g (29.7 oz)

Dimensions Refer to the *NI 9792 WSN Real-Time Gateway User Guide and Specifications* for device dimensions.

Safety Standards

 **Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label, or go to ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

The NI 9792 is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1
- EN 50371, 60215, & FCC 1.1310 Radiation Exposure Limits

Hazardous Locations

U.S. (UL) Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nC IIC T4

Canada (C-UL) Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4

Europe (DEMKO) Ex nA nL IIC T4


 **Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label, or go to ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

V terminal to C terminal 35 V max, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.

 **Caution** Do not connect the system to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

RF Safety Warning

This equipment complies with FCC radiation exposure limits set for uncontrolled equipment and meets the FCC radio frequency (RF) Exposure Guidelines in Supplement C to OET65. This product generates and radiates radio frequency energy. To comply with the radio frequency radiation exposure guidelines in an uncontrolled environment, this equipment should be installed and operated with at least 20 cm between the radiator and the person's body (excluding extremities: hands, wrists, feet, and legs).

Electromagnetic Compatibility



Caution Electromagnetic interference can adversely affect--- the measurement accuracy of this product. The input/output terminals of this device are not protected for electromagnetic interference. As a result, this device may experience reduced measurement accuracy or other temporary performance degradation when connected cables are routed in an environment with radiated or conducted radio frequency electromagnetic interference. To limit radiated emissions and to ensure that this device functions within specifications in its operational electromagnetic environment, take precautions when designing, selecting, and installing measurement probes and cables.

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1-2 (IEC 61326-1-2): Class A emissions; Basic Immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11, Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note For the standards applied to access the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.



Note For EMC compliance, operate this product according to the documentation.

CE Compliance



This product meets the essential requirements of applicable European Directives as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Regulatory Information

United States

This product generates and radiates radio frequency energy. To comply with the radio frequency radiation exposure guidelines in an uncontrolled environment, this equipment must be installed and operated while maintaining a minimum body-to-antenna distance of 20 cm.

This product complies with Part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to these two conditions: (1) this device may not cause harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

This product does not contain any user serviceable components. Any unauthorized product changes or modifications will invalidate the warranty and all applicable regulatory certifications and approvals.

Canada

This product complies with Industry Canada RSS-210.

Cet appareil est conforme aux norme RSS210 d'Industrie Canada.

Europe—EU Declaration of Conformity



Marking by the above CE symbol on the label indicates compliance with the Essential Requirements of the R&TTE Directive of the European Union (1999/5/EC). This equipment meets the following conformance standards: EN 301489-01, EN300 328, EN301 489-17, EN60950.

Europe – Restrictions for Use of 2.4 GHz Frequencies in European Community Countries

België/ Belgique:	For private usage outside buildings across public grounds over less than 300m no special registration with IBPT/BIPT is required. Registration to IBPT/BIPT is required for private usage outside buildings across public grounds over more than 300m. For registration and license please contact IBPT/BIPT.
	Voor privé-gebruik buiten gebouw over publieke grond over afstand kleiner dan 300m geen registratie bij BIPT/IBPT nodig; voor gebruik over afstand groter dan 300m is wel registratie bij BIPT/IBPT nodig. Voor registratie of licentie kunt u contact opnemen met BIPT.
	Dans le cas d'une utilisation privée, à l'extérieur d'un bâtiment, au-dessus d'un espace public, aucun enregistrement n'est nécessaire pour une distance de moins de 300m. Pour une distance supérieure à 300m un enregistrement auprès de l'IBPT est requise. Pour les enregistrements et licences, veuillez contacter l'IBPT.
Deutschland:	License required for outdoor installations. Check with reseller for procedure to follow.
	Anmeldung im Outdoor-Bereich notwendig, aber nicht genehmigungspflichtig. Bitte mit Händler die Vorgehensweise abstimmen.
France:	Restricted frequency band: only channels 1 to 7 (2400 MHz and 2454 MHz respectively) may be used outdoors in France.
	Bande de fréquence restreinte : seuls les canaux 1-7 (2400 et 2454 MHz respectivement) doivent être utilisés endroits extérieur en France. Vous pouvez contacter l'Autorité de Régulation des Télécommunications (http://www.art-telcom.fr) pour la procédure à suivre.
Italia:	License required for indoor use. Use with outdoor installations not allowed.
	E' necessaria la concessione ministeriale anche per l'uso interno.

	Verificare con i rivenditori la procedura da seguire.
Nederland:	License required for outdoor installations. Check with reseller for procedure to follow.
	Licentie verplicht voor gebruik met buitenantennes. Neem contact op met verkoper voor juiste procedure.

Japan

The certified radio equipment is embedded in this device.

Singapore



Taiwan R.O.C.






低功率電波輻射性電機管理辦法

第十二條經型式認證合格之低功率射頻電機，非經許可，公司、商號
用者均不得擅自變更頻率、加大功率或變更原設計之特性及功能。

第十四條低功率射頻電機之使用不得影響飛航安全及干擾合法通信；
現有干擾現象時，應立即停用，並改善至無干擾時方得繼續使用。
前項合法通信，指依電信規定作業之無線電信。低功率射頻電機須

EU Regulatory Statements

cs Česky [Czech]	National Instruments tímto prohlašuje, že tento NI WSN-9792 je ve shodě se základními požadavky a dalšími příslušnými ustanoveními směrnice 1999/5/ES.
da Dansk [Danish]	Undertegnede National Instruments erklærer herved, at følgende udstyr NI WSN-9792 overholder de væsentlige krav og øvrige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.
de Deutsch [German]	Hiermit erklärt National Instruments, dass sich das Gerät NI WSN-9792 in Übereinstimmung mit den grundlegenden Anforderungen und den übrigen einschlägigen Bestimmungen der Richtlinie 1999/5/EG befindet.
et Eesti [Estonian]	Käesolevaga kinnitab National Instruments seadme NI WSN-9792 vastavust direktiivi 1999/5/EÜ põhinõuetele ja nimetatud direktiivist tulenevatele teistele asjakohastele sätetele.
en English	Hereby, National Instruments, declares that this NI WSN-9792 is in compliance with the essential requirements and other relevant provisions of Directive 1999/5/EC.
es Español [Spanish]	Por medio de la presente National Instruments declara que el NI WSN-9792 cumple con los requisitos esenciales y cualesquiera otras disposiciones aplicables o exigibles de la Directiva 1999/5/CE.
el Ελληνική [Greek]	ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ National Instruments ΔΗΛΩΝΕΙ ΟΤΙ ΝΙ WSN-9792 ΣΥΜΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΟΥΣΙΩΔΕΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΛΟΙΠΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 1999/5/ΕΚ.
fr Français [French]	Par la présente National Instruments déclare que l'appareil NI WSN-9792 est conforme aux exigences essentielles et aux autres dispositions pertinentes de la directive 1999/5/CE.
it Italiano [Italian]	Con la presente National Instruments dichiara che questo NI WSN-9792 è conforme ai requisiti essenziali ed alle altre disposizioni pertinenti stabilite dalla direttiva 1999/5/CE.
lv Latviski [Latvian]	Ar šo National Instruments deklarē, ka NI WSN-9792 atbilst Direktīvas 1999/5/EK būtiskajām prasībām un citiem ar to saistītajiem noteikumiem.
lt Lietuvių [Lithuanian]	Šiuo National Instruments deklaruoja, kad šis NI WSN-9792 atitinka esminius reikalavimus ir kitas 1999/5/EB Direktyvos nuostatas.
nl Nederlands [Dutch]	Hierbij verklaart National Instruments dat het toestel NI WSN-9792 in overeenstemming is met de essentiële eisen en de andere relevante bepalingen van richtlijn 1999/5/EG.
mt Malti [Maltese]	Hawnhekk, National Instruments, jiddikjara li dan NI WSN-9792 jikkonforma mal-htigijiet essenzjali u ma provvedimenti oħrajn relevanti li hemm fid-Dirrettiva 1999/5/EC.
hu Magyar [Hungarian]	Alulírott, National Instruments nyilatkozom, hogy a NI WSN-9792 megfelel a vonatkozó alapvető követelményeknek és az 1999/5/EC irányelv egyéb előírásainak.
pl Polski [Polish]	Niniejszym National Instruments. oświadcza, że NI WSN-9792 jest zgodny z zasadniczymi wymogami oraz pozostałymi stosownymi postanowieniami Dyrektywy 1999/5/EC.
pt Português [Portuguese]	National Instruments declara que este NI WSN-9792 está conforme com os requisitos essenciais e outras disposições da Directiva 1999/5/CE.
sl Slovensko [Slovenian]	National Instruments izjavlja, da je ta NI WSN-9792 v skladu z bistvenimi zahtevami in ostalimi relevantnimi določili direktive 1999/5/ES.

 Slovensky [Slovak]	National Instruments týmto vyhlasuje, že NI WSN-9792 spĺňa základné požiadavky a všetky príslušné ustanovenia Smernice 1999/5/ES.
 Suomi [Finnish]	National Instruments vakuuttaa täten että NI WSN-9792 tyypinen laite on direktiivin 1999/5/EY oleellisten vaatimusten ja sitä koskevien direktiivin muiden ehtojen mukainen.
 Svenska [Swedish]	Härmed intygar National Instruments att denna NI WSN-9792 står i överensstämmelse med de väsentliga egenskapskrav och övriga relevanta bestämmelser som framgår av direktiv 1999/5/EG.
 Íslenska [Icelandic]	Hér með lýsir National Instruments yfir því að NI WSN-9792 er í samræmi við grunnkröfur og aðrar kröfur, sem gerðar eru í tilskipun 1999/5/EC.
 Norsk [Norwegian]	National Instruments erklærer herved at utstyret NI WSN-9792 er i samsvar med de grunnleggende krav og øvrige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.

Online Product Certification

To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Shock and Vibration

To meet these specifications for shock and vibration, you must panel mount or wall mount the WSN system, affix ferrules to the ends of all terminal wires, install a strain relief on the power cable, and install tie wraps on the Ethernet and power cables. You can order the NI 9979, a strain-relief kit for the power cable, from National Instruments. The kit is NI part number 196939-01.

Operating vibration, random (IEC 60068-2-64)	5 g _{rms} , 10 to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine, 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations
Operating vibration, sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 to 500 Hz

Environmental

The NI 9792 device is intended for indoor use only.

Operating temperature (IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)	-40 to 70 °C
Storage temperature (IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)	-40 to 85 °C
Ingress protection	IP 40
Operating humidity (IEC-60068-2-56)	10 to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC-60068-2-56)	5 to 95% RH, noncondensing
Maximum altitude	2,000 m
Pollution Degree (IEC 60664)	2

Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at ni.com/environment. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of the product life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment, visit ni.com/environment/weee.htm.

Battery Replacement and Disposal



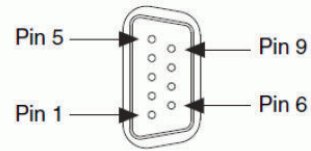
Battery Directive This device contains a long-life coin cell battery. If you need to replace it, use the Return Material Authorization (RMA) process or contact an authorized National Instruments service representative. For more information about compliance with the EU Battery Directive 2006/66/EC about Batteries and Accumulators and Waste Batteries and Accumulators, visit ni.com/environment/batterydirective.

¹ Due to regulations, the frequency bands depend upon the country of operation.

² Due to regulations, the valid channels depend upon country of operation.

[Back to Top](#)

Pinouts/Front Panel Connections



NI 9792 RS-232 Serial Port

DB-9 Pin Descriptions

Pin	Signal
1	DCD
2	RXD
3	TXD
4	DTR
5	GND
6	DSR
7	RTS
8	CTS
9	RI

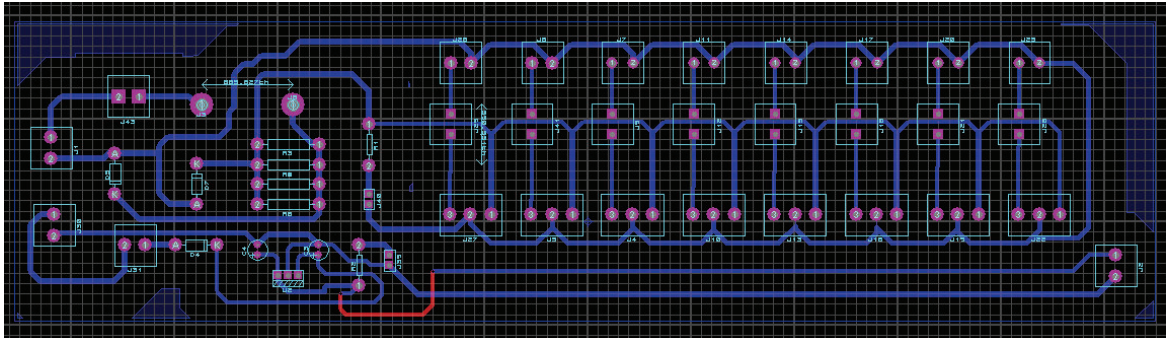
[Back to Top](#)

©2011 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, FieldPoint, LabVIEW, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, and ni.com are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

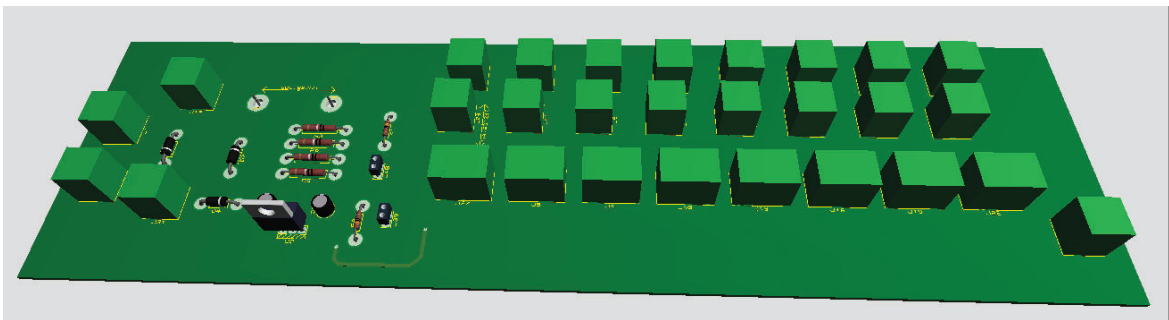
[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2014 National Instruments Corporation. All rights reserved.

Anexo C. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS

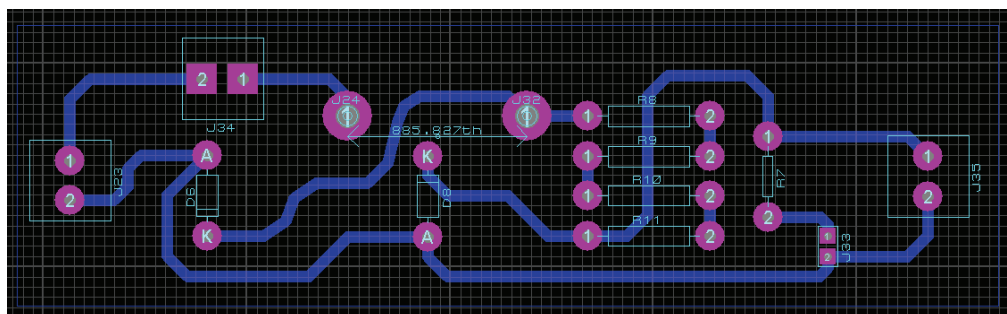
Anexo C.1 Circuito impreso para la placa de cada nodo realizado en ARES 7 Professional



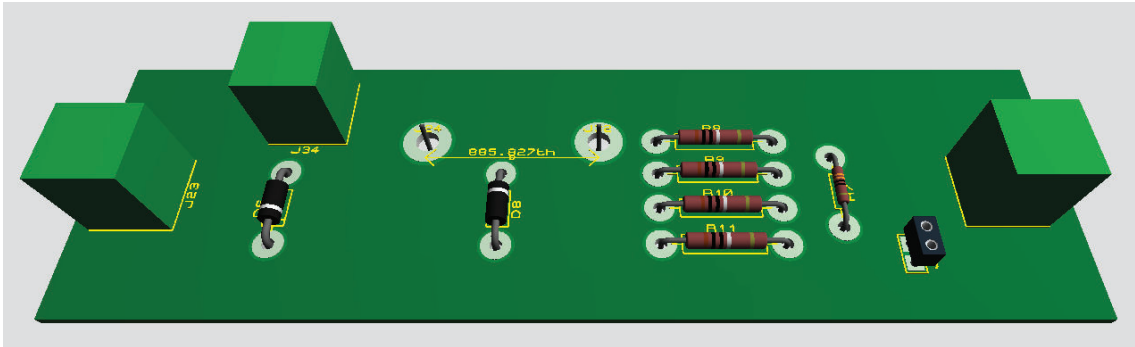
Anexo C.2 Vista en 3D de la placa para cada nodo realizada en ARES 7 Professional



Anexo C.3 Circuito impreso para la placa para el gateway realizado en ARES 7 Professional



Anexo C.4 Vista en 3D de la placa para el gateway realizada en ARES 7 Professional



Anexo D. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Hoja guía N° 1

1. Tema

Redes de Sensores Inalámbricos (Parte 1)

2. Objetivos

- a. Dar a conocer al estudiante sobre la teoría de las redes de sensores inalámbricos y sus aplicaciones.
- b. Identificar los elementos de la red de sensores inalámbricos implementada en el Laboratorio de Instrumentación Industrial.

3. Teoría

Red de sensores inalámbricos

Es un sistema constituido por nodos, un gateway y una estación base; capaz de adaptarse e interactuar en ambientes heterogéneos, debido al cambio dinámico de su topología, cuyo objetivo es obtener mediciones y/o actuar sobre dichos ambientes. Conocida como WSN por sus siglas en inglés *Wireless Sensor Network*.

4. Trabajo Preparatorio

- a. Realizar un resumen sobre los elementos de una red de sensores inalámbricos y el estándar IEEE 802.15.4.

5. Procedimiento

- a. Conectar la alimentación de todos los dispositivos de la WSN y verificar su correcto funcionamiento en el software NI MAX
- b. Ejecutar el VI correspondiente a la WSN

6. Informe

- a. Descripción de lo realizado durante la práctica que incluya captura de pantalla del VI funcionando y de la interfaz del NI MAX que muestre la correcta configuración de los nodos.
- b. Presentación adecuada de resultados obtenidos.
- c. Conclusiones y Recomendaciones.

7. Referencias

F. Álvarez (2015). Implementación de una red de sensores inalámbricos con topología ClusterTree en el laboratorio de instrumentación industrial. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Control. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

Hoja guía N° 2

1. Tema

Redes de Sensores Inalámbricos (Parte 2)

2. Objetivos

- a. Configurar los equipos de la red de sensores inalámbricos implementados en el Laboratorio de Instrumentación Industrial.
- b. Desarrollar un VI en LabVIEW para la WSN del Laboratorio de Instrumentación Industrial.

3. Teoría

Red de sensores inalámbricos

Es un sistema constituido por nodos, un gateway y una estación base; capaz de adaptarse e interactuar en ambientes heterogéneos, debido al cambio dinámico de su topología, cuyo objetivo es obtener mediciones y/o actuar sobre dichos ambientes. Conocida como WSN por sus siglas en inglés *Wireless Sensor Network*.

Elementos de una red de sensores inalámbrico

Nodo

Son dispositivos autónomos compuestos por un microcontrolador o un microprocesador de baja potencia, una fuente de energía (baterías o fuente externa), un sistema de comunicación y uno o varios sensores. Los nodos según la función que desempeñen dentro de la red, se pueden clasificar en:

- *Router*: tiene la capacidad de encaminar hacia el gateway la información que envían otros nodos. El sistema de comunicación en este tipo de nodos tiende a estar continuamente en funcionamiento. Un nodo router tiene la posibilidad también de adquirir datos por medio de sensores.
- *Final*: es un nodo que adquiere datos de diferentes variables, dependiendo del tipo de sensor y envían su información hacia un nodo router o directamente al gateway. También puede realizar acciones de control por medio de señales digitales. El elemento de comunicación se encuentra en modo dormido (bajo consumo de potencia) en la mayor parte del tiempo para evitar el consumo elevado de energía. Puede tener la opción de recibir información del gateway o de un nodo asociado, pero no podrá encaminar paquetes de datos.

Gateway

Es un dispositivo que hace posible la interconexión de estándares y protocolos comunicación diferentes, traduciendo la información de un tipo de una red inicial a otra de destino.

Estación base

Es un dispositivo que almacena, analiza y procesa la información procedente de los nodos, una vez que ha sido convertida por el gateway.

4. Trabajo Preparatorio

- a. Estudiar los documentos “*USER GUIDE AND SPECIFICATION – NI 3202 NI Wireless Sensor Network 4-Channel, 16-Bit Analog Input Node*” y “*GETTING STARTED GUIDE – NI 9792 WSN Real-Time Gateway*”
- b. Realizar un resumen sobre el procedimiento que se requiere para configurar el dispositivo NI 9792 WSN Real-Time Gateway y agregar nodos NI WSN 3202 al mismo.
- c. Consultar la *IP address* y *Hostname* del *NI 9792 WSN Real-Time Gateway* y los *Serial Number* de los *NI 3202*, que se encuentran implementados en el Laboratorio de Instrumentación Industrial.
- d. Realizar un VI en LabVIEW con el que se demuestre el correcto funcionamiento de la red de sensores inalámbricos implementada en el laboratorio, tomando en cuenta los sensores implementados en cada nodo del Laboratorio de Instrumentación Industrial. (Simular las señales analógicas y digitales que proporcionan los nodos implementados)

5. Procedimiento

- a. Configurar el *NI 9792 WSN Real-Time Gateway* y adicionar los tres nodos existentes en el Laboratorio de Instrumentación Industrial.
- b. Comprobar el VI realizado (Reemplazar señales simuladas por las reales de cada nodo)
- c. Formar una red inalámbrica con topología ClusterTree con la NI WSN del Laboratorio de Instrumentación Industrial.

6. Informe

- a. Descripción de lo realizado durante la práctica que incluya captura de pantalla del VI funcionando y de la interfaz del NI MAX que muestre la correcta configuración de los nodos.
- b. Presentación adecuada de resultados obtenidos.
- c. Conclusiones y Recomendaciones.

7. Referencias

F. Álvarez (2015). Implementación de una red de sensores inalámbricos con topología ClusterTree en el laboratorio de instrumentación industrial. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Control. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

8. Nota

Presentar en el trabajo preparatorio el *Frontal Pannel* y *Block Diagram* del VI desarrollado.