

Sistema básico de monitorización para la regulación de la contaminación atmosférica en la Ciudad de Esmeraldas: caso IOT para redes sensoriales

Basic monitoring system for the regulation of air pollution in the City of Esmeraldas: IOT case for sensory networks

Joseph Eli Izquierdo-Obando
joseph.izquierdo@pucese.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5828-7767>
Gobierno Autónomo Descentralizado de la
Provincia de Esmeraldas, Ecuador

Cindy Johanna Choez Calderón
cindy.choez.calderon@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3968-9397>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas, Ecuador

David Leonardo Rodríguez-Portes
david.pucese@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1574-4382>
Ingeniero en Sistemas, Magister en
Administración de Empresas

Adrián Eduardo Figueroa Jara
afigueroa@incomsis.com
<https://orcid.org/0009-0001-0358-932X>
Gerente INCOMSIS-EC CIA LTDA

Douglas Eduardo Quiñonez Arroyo
douglas.quinonez@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3555-0585>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas, Ecuador

RESUMEN

El internet de las cosas implica un modelo de gestión para aumentar la eficiencia de los procesos productivos, inclusive cuando se trata de aplicaciones que no pertenecen al proceso de manufactura, pero necesitan de datos relevantes para tomar decisiones técnicas a nivel de control y ejercer acción sobre una salida. Se presenta una red sensorial que permite determinar los niveles de contaminación sobre la norma aplicada al Ecuador, y en base a ella se determina la ubicación técnica más conveniente para poder instalar una red de comunicación que permita la visualización de los datos recolectados.

Palabras claves: Monitorización, contaminación atmosférica, redes sensoriales.

ABSTRACT

The Internet of Things implies a management model to increase the efficiency of production processes, even when it comes to applications that do not belong to the manufacturing process, but need relevant data to make technical decisions at the control level and take action on them. A sensory network is presented that allows to determine the levels of contamination on the norm applied to Ecuador, and based on it, the most convenient technical location is determined to be able to install a communication network that allows the visualization of the collected data.

Keywords: Monitoring, air pollution, sensory networks.

INTRODUCCIÓN

Existen varias metodologías para la medición de sustancias gaseosas en el aire ambiente, entre las que se pueden citar:

Monitoreo mediante sistemas pasivos

Estos sistemas se basan en la absorción sobre un sustrato que se encarga de retener el contaminante a ser medido. Este contaminante llega al sustrato mediante un mecanismo de difusión molecular a través del aire, luego esas muestras son enviadas a un laboratorio en el que se produce la resorción de la sustancia contaminante para proceder a un análisis cuantitativo utilizando técnicas instrumentales. Se caracterizan por su bajo costo, por lo que se pueden instalar varios de éstos en diferentes zonas a ser analizadas, así se puede tener una red de datos muy significativa; tienen simplicidad en la toma de la muestra y en el análisis de laboratorio, es así que no necesitan de personal altamente calificado y la muestra no requiere de aporte energético externo; pero no todo son ventajas, ya que para la toma de muestras y el análisis en el laboratorio requieren de un mayor tiempo para recoger una cantidad significativa de gas a ser analizado.

Monitoreo mediante sistemas activos

La diferencia con los sistemas de monitoreo pasivos está en los mecanismos de circulación del aire. Así, mientras un sistema pasivo no requiere de aporte energético externo para captar la muestra a ser medida, un sistema activo requiere una bomba de aspiración para forzar el paso de una corriente de aire, este aire pasa a través de un reactivo químico específico o bien hacia un medio físico de recolección, así se puede obtener una muestra cuantificable y analizable, similar a la obtenida en los sistemas pasivos, ya que esta muestra debe trasladarse a un laboratorio para proceder a su análisis cuantitativo.

Monitoreo mediante analizadores automáticos

Consiste en la utilización de propiedades físicas o químicas de la sustancia contaminante a ser medida y cuantificada

de forma continua, utiliza métodos óptico-electrónicos o sensores para la medición. La muestra de aire que se desea medir entra en una cámara de reacción en la que alguna propiedad óptica del contaminante se determina de forma directa o mediante la generación de una reacción química que produce un determinado fenómeno, como puede ser el caso de la luz fluorescente o quimiluminiscente. La mayoría de los sistemas de monitoreo son de este tipo, son más rápidas y sencillas de utilizar, además están normalizadas las técnicas por las que se rige la cuantificación de cada contaminante.

Monitoreo mediante sensores remotos

Consiste en la utilización de sensores remotos, dan valores correspondientes a una medición integrada de varios componentes (sistemas multicomponente) dentro de un espacio previamente especificado, alcanzan rangos espaciales superiores a los 100 metros.

Monitoreo mediante bioindicadores

Conocido también como biomonitorización, es una técnica que consiste en observar la acción que produce el contaminante determinado que se desea medir sobre algún ser vivo que sea sensible a este. Esta técnica cubre un extenso rango de sistemas de muestreo y análisis, todos con diferente grado de desarrollo, en el caso del aire generalmente se usan plantas como bioindicadores.

Monitoreo de gases contaminantes mediante sensores

El monitoreo de gases peligrosos para la calidad del aire a diferencia de la medición como voltaje, temperatura o humedad, es un tema complejo, ya que existen cientos de gases y una extensa gama de aplicaciones en donde están presentes, por lo que el tema se complica más porque hay varios sensores que pueden ser usados para su medición. Cada sensor tiene un principio de detección único, por lo tanto, tiene características de respuesta al gas también únicas. La mayoría de sensores son sensitivos a un grupo de gases, por lo que, para seleccionar un sensor o un sistema de detección, es importante conocer qué tipo de sensores están disponibles y las respuestas características a diversos gases, para así obtener óptimos resultados. Existen sensores que son robustos, resistentes a la corrosión y al polvo, y pueden ser adecuados para sistemas multisensor, tienen expectativa de vida útil larga, bajos costos y son fáciles de operarlos y mantenerlos, incluso por personal mínimamente capacitado. Las aplicaciones de uso son: monitoreo de gases tóxicos para la salud humana y monitoreo de gases combustibles, para el monitoreo de gases tóxicos se requieren sensores sensibles a niveles bajos de concentraciones, en cambio, para el monitoreo de gases combustibles se requieren sensores que puedan detectar altas concentraciones de gases. Un sensor, también conocido como captador o transductor, es un dispositivo diseñado específicamente para recibir una información correspondiente a una magnitud externa al mismo, transformándola en otra magnitud, generalmente eléctrica, que permita una cuantificación y una manipulación mucho más sencillas. (Cardona, 2011). Los sensores utilizados para medir la contaminación atmosférica pueden tomar datos de los valores de emisión y de inmisión, y pueden formar parte de sistemas de regulación automática, de sistemas de detección y de registro de datos. Para cuantificar la contaminación atmosférica se utilizan estaciones integrales de medida automáticas. Estas se encargan de determinar la concentración existente de cada contaminante en tiempo real, facilitando la labor de actuación en caso de producirse alguna anomalía o emergencia. Dichas estaciones están formadas por sensores, los cuales transforman la magnitud referente a la contaminación atmosférica en una señal eléctrica cuantificable y que se pueda procesar electrónicamente, para que mediante un sistema de información poder visualizar dichos datos. Entre los sensores más comunes usados para monitorear la calidad del aire se tienen:

a) Sensores electroquímicos

Consisten en un electrodo sensor (cátodo) y un contra electrodo (ánodo) separados por una capa de electrolito. El gas que entra en contacto con el sensor reacciona sobre la superficie del electrodo sensor generando una reacción de oxidación, una corriente proporcional a la concentración de gas es generada y puede ser medida para determinar la concentración de gas. Tiene como características: bajo consumo de energía, buena sensibilidad, selectividad, puede ser usado en unidades portátiles alimentadas con baterías, expectativa de vida de uno a tres años. Alrededor de 30 gases pueden ser detectados con este tipo de sensores en bajos rangos de ppm (partes por millón) o $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramos por metro cubico). Diseñados para detectar gases tales como monóxido de carbono, sulfato de hidrógeno, dióxido de sulfuro, cloro y dióxido de nitrógeno.

b) Sensores catalíticos de gases combustibles

En presencia de gases combustibles, las moléculas de gas se queman sobre la superficie del sensor, esto causa que la temperatura del sensor se incremente, el cambio de temperatura altera la resistencia de un alambre de platino en espiral que es recubierto con un óxido metálico tratado catalíticamente y que está conectado a un circuito de puente Wheatstone, produce una señal proporcional a la concentración del gas. La salida del sensor catalítico es directamente proporcional a la concentración de gas, hasta el límite explosivo inferior. Sus características son: expectativas de vida de uno a dos años y alteración del catalizador.

c) Sensores de gas de estado sólido

Se componen de uno o más óxidos metálicos de metales de transición, estos óxidos están preparados y procesados para formar un sensor en forma de burbuja. Un calefactor se inserta en el sensor para mantener el sensor a una temperatura óptima para la detección del gas. Un par de electrodos apropiados se insertan en el óxido metálico, para medir sus cambios de conductividad en forma de señal, pueden ser usados para detectar una variedad de gases en bajos rangos de ppm, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o rangos de combustibles. Entre sus características están: la versatilidad se logra variando los materiales de óxidos metálicos, la flexibilidad y expectativas de larga vida superior a los 10 años.

d) Sensores infrarrojos

Absorben la radiación infrarroja en largos de ondas específicas. Esta energía hace que se incremente la temperatura de las moléculas de gas. El cambio de temperatura se mide como una concentración de gas. Se caracterizan por: mínimo contacto físico, el sensor puede ser usado de forma continua y expuesta a altas concentraciones de gas, robusto. Estos sensores son ideales para aplicaciones de altas concentraciones de hidrocarburos. También son monitores efectivos para medir el dióxido de carbono.

e) Detectores de fotoionización

Utilizan luz ultravioleta para ionizar las moléculas de gas, se emplean en la detección de compuestos orgánicos volátiles conocidos como VOC's. Entre sus características se pueden nombrar: buena sensibilidad, respuesta rápida y selectividad, son utilizados sólo para aplicaciones portátiles.

Tecnología Arduino

Una placa Arduino es una placa electrónica que es Open Source y Open Hardware que comunica un microcontrolador con puertos de entrada y/o salida, tiene un lenguaje de programación Processing/Wiring y una memoria Eeprom que actúa como un pequeño disco duro, aquí se almacenan los programas que se van a ejecutar. Esta memoria es no volátil, es decir que así se apague la placa Arduino los datos permanecen ahí, también se debe indicar que soporta interfaces de comunicación como: wireless, bluetooth, ethernet, entre otras. Arduino dispone de un entorno propio de desarrollo de programación conocido como IDE que se puede obtener para diferentes sistemas operativos como: Windows, Mac y Linux, el cual se transfiere mediante cable USB. Esta interfaz permite introducir el programa a ejecutar en la placa Arduino y es donde se define que hacer tanto con las entradas como con las salidas que dispone la placa. Por tratarse de una plataforma Open Hardware, se la puede construir fácilmente mediante los patrones que se pueden descargar directamente de la página web de Arduino, además que existen una multitud de distribuidores de estas placas. Existen diferentes placas de Arduino, las cuales dependen mucho del tamaño del proyecto, de la cantidad de entradas y/o salidas requeridas, si la alimentación y programación se va a realizar con la propia placa, si va a interactuar con su misma circuitería o si va a comunicarse con dispositivos externos móviles como: pda's, receptores, celulares, entre otros; así, se tienen entre las placas Arduino más conocidas: Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Diecimila/Duemilanove, Arduino Pro, Arduino Nano, entre otras.

4.1.2. Estructura del Sistema de Monitoreo

Para el funcionamiento del Sistema de Monitoreo de Gases Contaminantes. En la figura 1 se puede observar la integración de hardware para capturar los valores de los diferentes gases contaminantes desde los sensores hasta mostrar su transmisión por nodo.

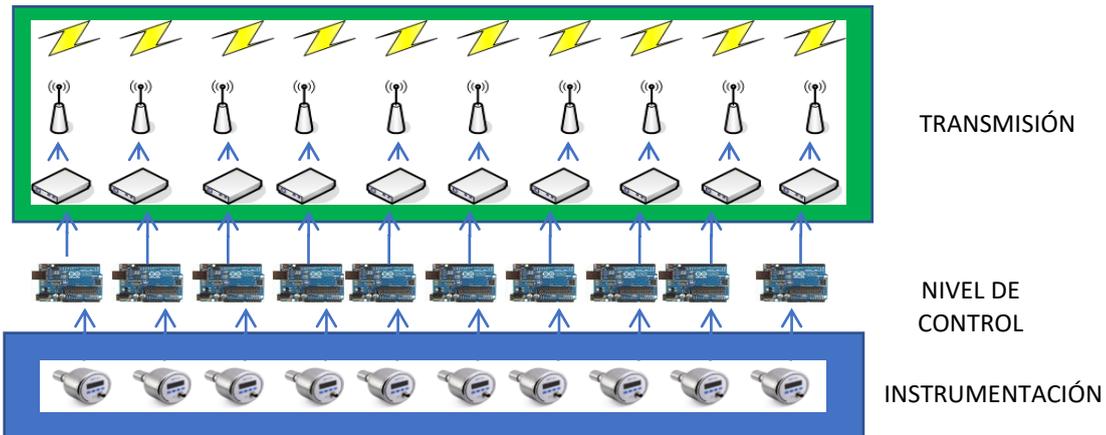


Figura 1. Conexiones de Hardware del Nivel Inferior

Dicha información que se va desde el microcontrolador vía ethernet hasta un Switch y luego mediante una antena envía los datos para su gestión en una base de datos. Como se nota, el sistema tiene diez nodos en donde se censa, y tiene dos nodos de transmisión puramente. Estos nodos poseen antenas de mayor capacidad de transmisión que apuntan a la antena que será la central y estará ubicada en las instalaciones del cliente. Desde aquí se podrá tener cada una red y gestionar la base de datos general, para presentarla en una página web y un registro propio. No se va a dar una dirección pública IP para manejar mejor el sigilo de los datos. Todo esto se ve en la figura 2.

En resumen, primero se tiene la conexión de la tarjeta Arduino con los sensores de gases contaminantes; luego estos datos son enviados al nodo central y guardados en una la base de datos en SQL Server. Esta base de datos contiene una tabla para cada tipo de gas contaminante. La transmisión se hace mediante antenas dirigidas que envían la información hacia los focos específicos que la retransmiten hasta el nodo central en donde se puede ver la información. Finalmente, mediante una página web son mostrados los valores en tiempo real conforme van ingresando los datos a la tarjeta Arduino desde cada sensor, además en la página web se puede consultar los valores guardados en la base de datos de acuerdo a una fecha específica. En cada nodo de sensamiento se colocará un LCD para ver localmente los datos de los medidores.

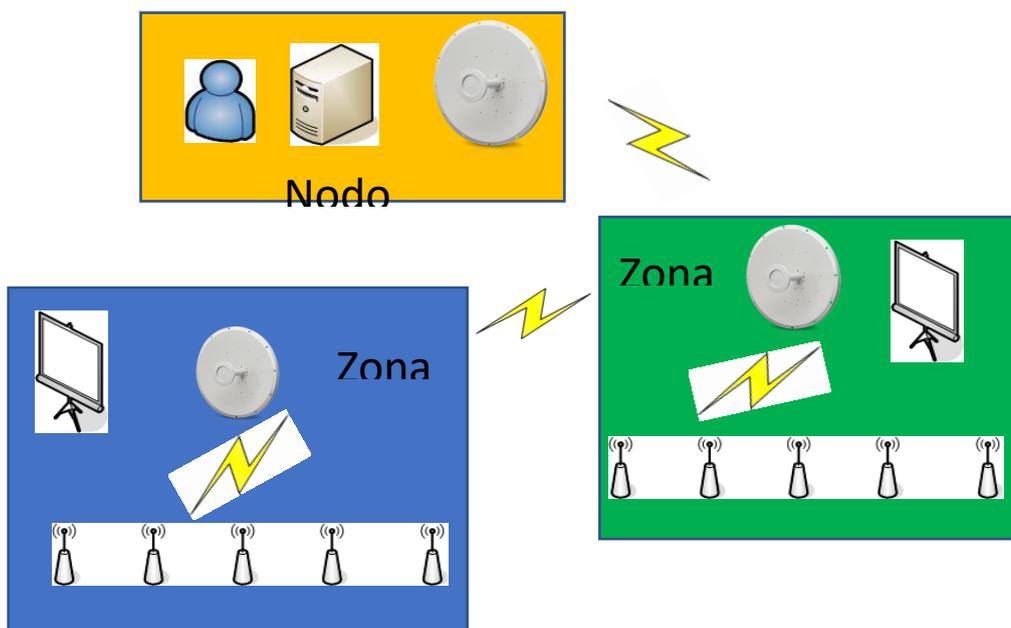


Figura 2. Conexiones de Hardware de nivel superior

Se ha dividido en dos zonas a las estaciones, la zona sur y la zona norte. Cada una con un grupo de 5 antenas posicionadas por sectores de cobertura. Las 5 primeras apuntarán a una antena bidireccional ubicada en el cerro el gatazo, mientras los 5 restantes a otra antena bidireccional ubicada en la PUCESE. La antena del Gatazo se comunicará con la de la PUCESE, a fin de tener una estación de monitoreo local para mantenimiento y control del sistema. Mientras que la antena de la PUCESE enviará las señales al servidor que estará ubicado en la estación del cliente.

Sensores de gases contaminantes compatibles con placa Arduino

Para la realización del proyecto, se requieren sensores que midan gases contaminantes como: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Azufre (SO₂), Ozono (O₃), Dióxido de Nitrógeno (NO₂); que son considerados entre los diferentes gases contaminantes, como los más peligrosos para la salud humana y que son regulados según la Norma de calidad de aire ambiente o nivel de inmisión, que rige en todo el territorio nacional.

Entre los diferentes tipos de sensores que pueden conectarse con la placa Arduino y que detectan gases contaminantes se tienen aquellos que posean salidas analógicas para procesarlas en el microcontrolador. Usaremos marcas que posean certificaciones de calidad y usen estándares conocidos, como por ejemplo, para medir CO usaremos sensores Zareba Sensepoint de Honeywell, capaces de medir Oxígeno, Monóxido de Carbono, Sulfuro de Hidrógeno, hidrógeno, Cloro, Dióxido de Sulfuro, Dióxido de nitrógeno y amoníaco. Posee certificaciones Ex II 2 G D EExd ia IIC Ex II 2 G D EExe II T6 T85 Deg C T4 T135 Deg C y EMC según EN50270 Inflamables EN50054 Tóxicos EN445544 (sólo H₂S). Para medir CO₂ el equipo cuenta con las certificaciones siguientes RoHS directive 2002/95/EG, Tested according; Immunity: EN 61000-6-3:2007, Emission: EN 61000-6-2:2007.

Para humedad y temperatura usaremos un sensor de marca Schneider SD series, que posee certificaciones CE, UL, US, EN6100-6-3-2007 Class B, EN 61326-1-2006 Class B, EN61000-6-2-2005 y con una precisión según la NTP. Para la medición de gases como el dióxido de azufre, amoníaco, oxígeno y dióxido de nitrógeno, usaremos un sensor de tipo industrial de alta fidelidad y durabilidad. La tecnología usada posee todas las certificaciones de seguridad y de trabajo en ambientes hostiles, por lo que su durabilidad en el ambiente normal será prolongada. Necesita un transmisor para dar la señal de 4 a 20 mA, que será usada por la placa Arduino. Su marca es Emerson.

a) Sensor para medir Monóxido de Carbono.

Basados principalmente en sensores de principio electroquímico (sensores de estado sólido), diseñados para funcionar libres de mantenimiento y alta estabilidad durante un largo periodo de tiempo. Una barrera de difusión capilar controla la entrada del gas al interior de la cápsula sensible, generando una corriente de tipo proporcional a la concentración de gas presente en el exterior del sensor, proporcionando un valor de medida preciso de la presencia del gas tóxico. El sensor posee una gran sensibilidad al monóxido de carbono CO, además presenta estabilidad y larga vida de duración. Se alimenta con 18 a 30 voltios de DC, trabaja a temperaturas de -40 °C a 50 °C, su rango de detección va de 2 ppm hasta 500 ppm. Este sensor es un sensor de larga durabilidad en ambientes no industriales.

b) Sensor para medir Dióxido de Carbono.

Dispone de un sistema óptico herméticamente sellado que le mantiene libre de partículas contaminantes y su electrónica incluye sistema de auto diagnóstico e indicación de fallo. La trazabilidad de todos los componentes y testeo del 100% de la producción garantiza y ofrece máxima fiabilidad. Señales de salida por relé, 0-4Vcc, 1-5Vcc, 0-10Vcc, 2-10Vcc, 0/4-20mA, UART digital interfaz, protocolo Modbus, PWM. Modelo con alarma visual (LEDs indicativos de estado) y sonora prefijada a 1400ppm (con pulsador de paro/silenciador de 30 minutos). Rangos programables o específicos según directrices de la OMS y ASHRAE para la monitorización de dióxido de carbono. Libres de mantenimiento y con esperanza de vida superior a los 15 años, calibración automática, versiones testeadas y calibradas desde el 1% al 100% de CO₂. Mide de 0 a

5000 ppm.

c) Sensor para medir Dióxido de Azufre, Amoniaco, Oxígeno y Dióxido de Nitrógeno; ST3 Series Electrochemical Toxic Gas Sensor

Las características de medición de los sensores son:

SULPHUR DIOXIDE [SO₂] (Electrochemical)

P/N: ST330(A/S)-100-ASSY

Response Time: T20 ≤ 9 sec | T50 ≤ 15 sec | T90 ≤ 30 sec

Accuracy: (+/-) 3% Full Scale

Detection Range: 0—20/100 ppm (Field Selectable)

Zero Drift: < 0.1 ppm per year

Repeatability: < 2 ppm full scale

Temperature: -30°C to +50°C (-22°F to 122°F)

Relative Humidity: 5–95% RH non condensing

IP/NEMA Rating: IP64 - NEMA 4X

Metallurgy: Aluminum or 316 SS

Sensor Separation: Up to 2000 feet/600 meters (18 AWG cabling)

Transmitter Req'd: Millennium II Series (M21, M22, M2B)

Warranty: 2 years

NITROGEN DIOXIDE [NO₂] (Electrochemical)

P/N: ST373(A/S)-10-ASSY

Response Time: T50 ≤ 12 sec | T90 ≤ 38 sec

Accuracy: (+/-) 0.4% Full Scale

Detection Range: 0—10 ppm

Zero Drift: < 0.03 ppm per year

Repeatability: < 0.4% full scale

Temperature: -20°C to +50°C (-4°F to 122°F)

Relative Humidity: 5–95% RH non condensing

IP/NEMA Rating: IP64 - NEMA 4X

Metallurgy: Aluminum or 316 SS

Sensor Separation: Up to 2000 feet/600 meters (18 AWG cabling)

Transmitter Req'd: Millennium II Series (M21, M22, M2B)

Warranty: 2 years

HYDROGEN SULPHIDE [H₂S] (Electrochemical)

P/N: ST320(A/S)-100-ASSY

Response Time: T50 ≤ 17 sec | T90 ≤ 30 sec

Accuracy: (+/-) 3% Full Scale

Detection Range: 0—20/50/100 ppm (Field Selectable)

Zero Drift: (+/-) 2% per year

Repeatability: < 5% full scale

Temperature: -40°C to +50°C (-40°F to 122°F)

Relative Humidity: 0–99% RH non condensing

IP/NEMA Rating: IP64 - NEMA 4X

Metallurgy: Aluminum or 316 SS

Sensor Separation: Up to 2000 feet/600 meters (18 AWG cabling)

Transmitter Req'd: Millennium II Series (M21, M22, M2B)

Warranty: 2 years

OXYGEN and OZONE [O₂] (Electrochemical)

P/N: ST340(A/S)-25-ASSY

Response Time: T50 ≤ 10 sec | T90 ≤ 20 sec

Accuracy: (+/-) 3% Full Scale

Detection Range: 0—25% oxygen

Zero Drift: < 0.03 ppm per year

Repeatability: < 3% full scale

Temperature: -20°C to +50°C (-4°F to 122°F)

Relative Humidity: 5–95% RH non condensing

IP/NEMA Rating: IP64 - NEMA 4X

Metallurgy: Aluminum or 316 SS

Sensor Separation: Up to 2000 feet/600 meters (18 AWG cabling)

Transmitter Req'd: Millennium II Series (M21, M22, M2B)

Warranty: 2 years

AMMONIA [NH₃] (Electrochemical)

P/N: ST370(A/S)-100-ASSY

Response Time: T50 ≤ 8 sec | T90 ≤ 36 sec

Accuracy: (+/-) 0.4% Full Scale
 Detection Range: 0—50/100 ppm (Field Selectable)
 Zero Drift: < 0.03 ppm per year
 Repeatability: < 0.4% full scale
 Temperature: -20°C to +50°C (-4°F to 122°F)
 Relative Humidity: 5–95% RH non condensing
 IP/NEMA Rating: IP64 - NEMA 4X
 Metallurgy: Aluminum or 316 SS
 Sensor Separation: Up to 2000 feet/600 meters (18 AWG cabling)
 Transmitter Req'd: Millennium II Series (M21, M22, M2B)
 Warranty: 1 year

Para el transmisor tenemos:

Millennium II Transmitter - Single Channel [Gas Detection]

P/N: M21-XX-X

Power Consumption:

2.4W @ 24 or 12 Vdc (average - varies by sensor types/quantities)

Voltage Range: 10.5 – 32.0 Vdc (HART: 18 – 32 Vdc)

EMC Compliance: EN 50270:2006 per EMC directive 2004/108/EC

Display: Organic LED (OLED), Power/Status LED's

Temperature: -55°C to +85°C (-67°F to +185°F) Certified Operating Range

Relative Humidity: 0-99% RH non condensing

Enclosure Metallurgy: Aluminum or 316 SS

Enclosure Conduit Opening: 3/4" NPT (3X)

Outputs Standard: Analog 4-20mA

Outputs Optional: Four 5 Amp Form C Relays, RS 485 Modbus RTU, and HART

Sensors: Combustible Gases: SC3 Series Infrared and Catalytic Bead; Toxic Gases: ST3 Series Electrochemical and NE-MOS

Warranty: 3 years

Mounting: Surface Mount / Pipe Mount / Duct Mount

Weight: Aluminum: 2.4 kg (5.3 lbs), Stainless Steel (316SS): 2.6 kg (5.5 lbs)

Conversiones

Las unidades de medición de estos sensores vienen en rangos de ppm (partes por millón), por lo que es necesario realizar una conversión de unidades a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramos por metro cúbico), para obtener los valores de acuerdo a la tabla del Anexo II de la Norma de la calidad del aire o nivel de inmisión expedida por el Ministerio del Ambiente en el Ecuador. Esta conversión depende principalmente del peso molecular del gas contaminante a medir, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{ppm} \times \text{PM} \times 10^3 / 24.45$$

Esta fórmula es utilizada para la conversión de un gas cuando la presión es 1 atmósfera (760 mmHg), como es el caso de la ciudad de Esmeraldas que se encuentra a nivel del mar y a 25°C. La siguiente tabla muestra los valores de conversión para los gases contaminantes.

Tabla 4: Conversión de unidades de gases contaminantes

Gas contaminante	Fórmula molecular	25°C, 1 atm	Peso Molecular
Monóxido de carbono	CO	1 ppm = 1145 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	28.01 g/mol
Dióxido de carbono	CO ₂	1 ppm = 1940 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	44.01 g/mol
Dióxido de azufre	SO ₂	1 ppm = 2860 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	64.06 g/mol
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	1 ppm = 1880 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	46.01 g/mol
Ozono	O ₃	1 ppm = 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	48.0 g/mol

Fuente: WHO. Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No 23. Copenhagen, 1987.

d) Sensor para medir Humedad y Temperatura

Permiten una tensión de entrada de 24 voltios de corriente alterna o de 20 a 36 voltios de corriente continua y disponen de tres salidas seleccionables, 0-5 voltios, 0-10 voltios o 4-20 miliamperios. Los sensores SCD, funcionan con un rango de temperatura de entre 0 y 50°C, usan la última tecnología de muestreo NDIR (Difusión Infrarroja No-Dispersiva) que proporciona tanto una excelente precisión como un buen cierre. La precisión especificada por un período de no menos de cinco años, todos los elementos de la gama cuentan con Calibración Automática de Referencia (ABC). Esta función mantiene

un registro de la lectura más baja, asegurando su funcionamiento "out of the box" y por encima del período de calibración automática. La gama dispone de modelos equipados con un transmisor de humedad relativa con elemento capacitativo digital de Película Delgada que proporciona una precisión de $\pm 2\%$ en el intervalo de 10 a 80% de humedad relativa a 25°C. Las características de los sensores SCD/SCR permiten ofrecer al mercado un producto que proporciona datos de CO₂, humedad y temperatura en un solo punto disminuyendo el coste de instalación. Además, gracias al control de la ventilación, y dependiendo de la ocupación se minimiza el consumo energético.

e) Fuente de Alimentación

Para energizar la tarjeta concentradora Arduino y la tarjeta Shield sensor, se utiliza una fuente regulada de hasta 48 voltios de corriente continua DC, la cual a su vez es alimentada con 120 voltios de corriente alterna AC. La misma fuente tendrá la alimentación de los sensores y transmisores.

f) Caja de conexión de placa Arduino

En el conector DB-25 van conectados dos cables, uno de 3 hilos que es por donde se envían los voltajes de alimentación de los sensores y para el encendido del ventilador y el otro cable es un multipar de 8 hilos, de los cuales se utilizan 6 para recibir la señal de los sensores; cuya distribución es de la siguiente manera:

g) Computadores

Usaremos 2 computadores Intel core i 7 portátiles de 12 GB en RAM marca HP para la configuración y un servidor HP Server DL 380 P de 32 GB de RAM y tres discos de un Tera cada uno.

h) Antenas de transmisión

Nos permiten enviar los datos hacia un nodo central y de retransmisión. Deben tener línea de vista por lo que estarán levantadas en una torre de 20 metros de longitud. Las antenas serán de marca UBIQUITI. Para los nodos ubicados en el gatazo, PUCESE y donde el cliente se usarán antenas airGrid M AG-HP-5G27 de la marca ubiquiti, las mismas que poseen 1 Gbps para datos, trabajan a 5GHz, y poseen un alcance de más de 30 Kilómetros. Para los nodos usaremos antenas nanoBeam NBE-M9-15 con alcance sobre los 15 kilómetros, frecuencia de trabajo de 5 Ghz y 150 Mbps.

i) Switchs

Necesarios en cada ubicación para formar una red entre los computadores de estación y el del cliente que es en donde se podrán visualizar los datos en formato de lectura. Es importante que los switchs trabajen a la frecuencia de 5 Ghz.

Requerimientos de Software

a) Interfaz de desarrollo Arduino y drivers para S.O. Windows

Es necesaria la instalación de software de Arduino que se puede descargar gratuitamente de internet ya que se trata de software Open Source. La versión de instalación del proyecto es la 1.0.2.

b) Codificación para Reconocimiento de Sensores

La codificación o sketch que utiliza la placa Arduino, se compone de varias funciones o subprocesos que serán llamadas de acuerdo a la programación del Arduino.

c) Programa de Arduino para Visual Studio

Este programa es un plugin que se puede descargar gratuitamente de internet, proporciona una alternativa sencilla para programar y compilar las tarjetas Arduino directamente desde Visual Studio 2010, además es compatible con el IDE de Arduino.

d) Diseño del Windows Form

Para la lectura y almacenamiento de los datos en tiempo real, se lo realiza mediante un Windows Forms creado en Visual Studio 2010 Ultimate. Estos datos estarán almacenándose en forma dinámica en la base de datos generada en SQL-Server.

e) Diseño del Sitio Web

La página web del sistema de monitoreo de gases contaminantes está diseñado mediante Web Forms. En su Menú Principal, consta de cinco pestañas distribuidas de la siguiente manera:

- a) En la opción **Mediciones**, se puede visualizar los datos de las mediciones de los diferentes sensores que constan en el sistema, los cuales están conectados al shield sensor de la tarjeta Arduino. Sus valores están expresados en °C (Grados Centígrados) para temperatura, % (Porcentaje) para la humedad, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramos por metro cúbico) para las concentraciones de Monóxido y Dióxido de Carbono, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno y Ozono. Estos valores se encuentran en tiempo real.
- b) En la opción **Hardware**, se pueden visualizar gráficos, datasheet e información de los diferentes sensores utilizados en el proyecto, así como de la placa Arduino y de la tarjeta X-bee utilizada para comunicación inalámbrica.
- c) En la opción **Norma de Calidad del Aire**, se puede observar la norma de calidad del aire o nivel de inmisión que regula la contaminación ambiental expedida por el Ministerio del Ambiente en el Ecuador.
- d) En la opción **Tendencias**, se pueden consultar los datos de contaminación de los diferentes gases que componen el sistema de monitoreo, al realizar esta consulta se obtiene los valores medidos durante todo un día, escogido en el calendario que muestra la página. Los datos mostrados están almacenados en las tablas de la base de datos 'GASES'.

Creación de la Base de Datos

La base de datos, que esta creada en SQL-Server 2008 R2. Y va guardando todos los datos obtenidos de cada uno de los sensores; y, además contiene la tabla Temporal, que es utilizada para mostrar en la página web el último valor obtenido por cada sensor en forma dinámica, mediante la configuración de un disparador (trigger), este permite ir actualizando la tabla temporal mientras van ingresando los valores de los sensores que son adquiridos desde la placa Arduino a través de la comunicación serial.

4.1.3. Ubicación de los sensores

La ubicación de los sensores será de 10 en total, es decir 10 nodos o estaciones ubicadas a lo largo de la línea de aire

desde la ubicación de las plantas industriales hacia el mar. Cada aproximadamente 2 Kilómetros habrá una estación. El nodo principal estará en la PUCESE y el nodo de cliente estará en el Municipio de Esmeraldas. La figura 3, 4, 5, 6, 7 y 8 muestran la ubicación de las estaciones en el punto rojo.

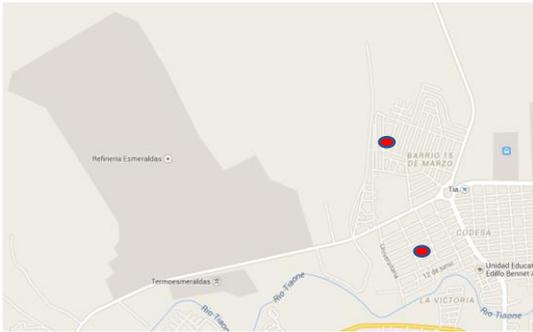


Figura 3. Ubicación de los sensores en la ciudad



Figura 4. Ubicación de los sensores en la ciudad



Figura 5. Ubicación de los sensores en la ciudad

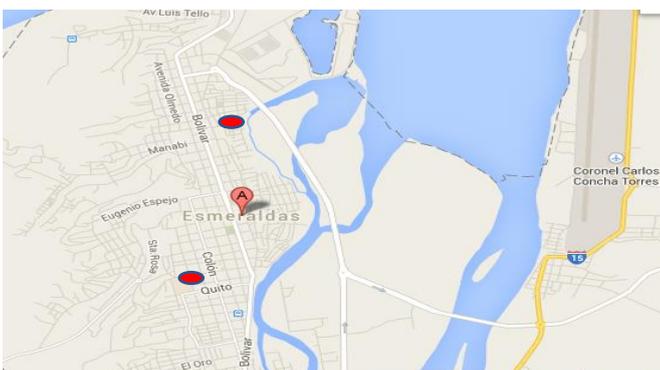


Figura 6. Ubicación de los sensores en la ciudad

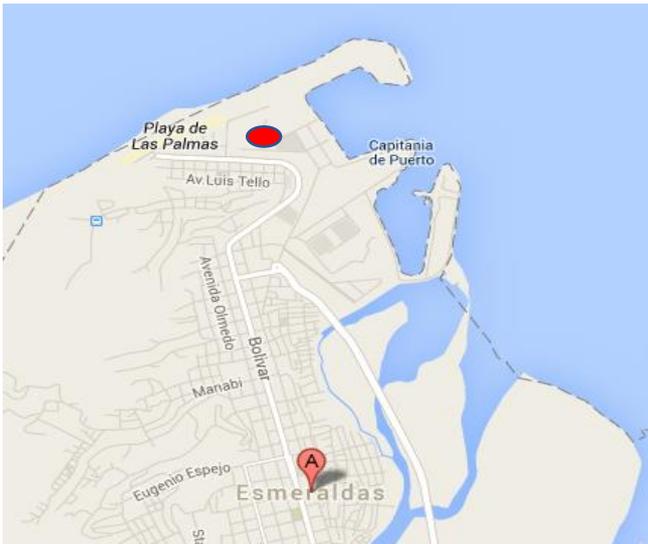


Figura 7. Ubicación de los sensores en la ciudad



Figura 8. Ubicación de los sensores en la ciudad

Impacto ambiental

INDICADOR	NIVELES DE IMPACTO			
	0	1	2	3
Datos de la calidad del aire				X
Permite regulación de organismos de control			X	
Preservación del medio ambiente			X	
Reduce costos de monitoreo			X	
Consumo de energía				X
TOTAL			6	6

$$\text{Nivel de impacto ambiental} = \frac{\Sigma}{\text{Número de indicadores}} = \frac{12}{5} = 2.4$$

Nivel de impacto ambiental = Alto

Permite crear un sistema confiable para obtener datos de la calidad del aire, posibilitando controlar las regulaciones que existen para la contaminación ambiental. Facilitando la información y tener un criterio sobre si los estándares de calidad del aire se están logrando. Además, permite preservar el medio ambiente, mediante el bajo consumo de energía que necesita el sistema para su funcionamiento.

Impacto tecnológico

INDICADOR	NIVELES DE IMPACTO			
	0	1	2	3
Solución técnica			X	
Confiable				X
Innovación			X	
Integra información				X
Tiempo de mantenimiento				X
Mejora de hardware y software			X	
TOTAL			6	9

$$\text{Nivel de impacto tecnológico} = \frac{\Sigma}{\text{Número de indicadores}} = \frac{15}{7} = 2.14$$

Nivel de impacto tecnológico = Alto

Crea una solución técnica, económica y confiable para realizar un seguimiento en tiempo real de la calidad del aire existente. Implementa innovación, permitiendo un espacio de la Universidad en el campo de la tecnología a nivel local y nacional. Permite crear un sistema integrador de información. Teniendo la posibilidad de comunicación inalámbrica, se puede interconectar entre varios sistemas de monitoreo de gases contaminantes basados en tecnología Arduino. Es un sistema que posibilita un mínimo de mantenimiento, además de hacer mejoras en cuanto al software y hardware utilizados.

El presupuesto referencial para dos años de operación desglosado es:

ESTACIONES DE MEDICION EN PUNTOS ESPECIFICOS DE LA ZONA URBANA				
CANTIDAD	DETALLE	UNIDAD DE MEDIDA	P.U	P. TOTAL
10	SENSORES DE GAS CO HONEYWELL	UNIDAD	1340,00	13.400,00
10	SENSORES DE GAS CO ₂ HONEYWELL	UNIDAD	1618,00	16.180,00
10	SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA SCNEIDER	UNIDAD	738,00	7.380,00
10	SESNOR MULTIGAS EMERSON	UNIDAD	2.178,00	21.780,00
10	TRANSMISORES PARA SESNOR MULTIGAS	UNIDAD	11.50,00	11.500,00
2	CPU PORTATIL DE CALIBRACIÓN CORE i3	UNIDAD	780,00	1.560,00
10	CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS	UNIDAD	350,00	3.500,00
10	ANTENAS UBIQUITI NANOBEAM 5 GHZ	UNIDAD	200,00	2.000,00
10	CONTROLADOR ARDUINO + KIT	UNIDAD	88,00	880,00
10	FUENTES DE ALIMENTACION	UNIDAD	68,00	680,00
10	UPS	UNIDAD	550,00	5.500,00
10	SWITCH	UNIDAD	68,00	680,00
10	ARMARIOS IPV5	UNIDAD	280,00	2.800,00
30	CABLE ETHERNET	METRO	0,80	24,00
TOTAL				87.864,00

ESTACION DE RECEPCION Y CLIENTE				
Cantidad	Detalle	Unidad de medida	P.U	P. TOTAL
1	CPU CORE i7 + PANTALLA MOUSE TECLADO	PAQUETE	900,00	900,00
1	LICENCIA VISUAL BASIC		160,00	160,00
3	ANTENAS UBIQUITI HP 5 GHZ	UNIDAD	250,00	750,00
3	UPS	UNIDAD	250,00	750,00
3	SWITCH	UNIDAD	80,00	240,00
1	SERVIDOR HP	UNIDAD	7.800,00	7.800,00
TOTAL				10.600,00
OBRA CIVIL				

CANTIDAD	DETALLE	UNIDAD DE MEDIDA	P.U	P. TOTAL
10	TORRES x10 m	UNIDAD	280,00	2.800,00
3	TORRES x20 m	UNIDAD	480,00	1140,00
13	MATERIALES DE CONSTRUCCION	PAQUETE	2.000,00	26.000,00
TOTAL				29.940,00
HONORARIOS PROFESIONALES				
CANTIDAD	DETALLE	UNIDAD DE MEDIDA	P.U	P. TOTAL
1	DISEÑO Y CONFIGURACION DE RED	OBRA	2500,00	2500,00
1	PROGRAMACION DE EQUIPOS	OBRA	2.800,00	2.800,00
1	SUPERVISION DE OBRA CIVIL	OBRA	900,00	900,00
1	MANO DE OBRA	OBRA	340,00	340,00
TOTAL				6540,00
SUMINISTROS DE INSTALACION				
CANTIDAD	DETALLE	UNIDAD DE MEDIDA	P.U	P. TOTAL
2	MULTIMETROS	UNIDAD	15,00	30,00
1	KIT DESTORNILLADORES	PAQUETE	60,00	60,00
TOTAL				90,00

GASTOS PRIMER AÑO				
CANT.	DETALLE	P.U	MENSUAL	ANUAL
1	SERVICIO MANTENIMIENTO	-	-	900,00
1	ALQUILER DE ESPETRO RADIO ELECTRICO	-	15,00	180,00
10	ALQUILER ESPACIO FISICO DE ESTACIONES	150,00	1.500,00	18.000,00
10	CINTAS AISLANTES	0,60	-	6,00
10	SPRAY ANTICORROSIVO	2,80	-	28,00
5	PASTA FRIA	1,30	-	6,50
10	BROCHAS	1,20	-	12,00
20	PINTURA ANTICORROSIVA	16,30	-	326,00
TOTAL				19458,5
TOTAL INVERSION FIJA				135.034,00
TOTAL GASTOS MANTENIMIENTO AÑO 1				19458,5
TOTAL GASTOS MANTENIMIENTO AÑO 2				19458,5
INVERSION TOTAL				173.951,00

El Impacto económico sobre sistemas de la misma funcionalidad es:

INDICADOR	NIVELES DE IMPACTO		
	1	2	3
Fiabilidad de los componentes		X	
Reducción en costos de hardware			X
Reducción en costos de software		X	
Reducción de costos de mantenimiento		X	
Menor costo de monitoreo			X
TOTAL		6	&

$$\text{Nivel de impacto económico} = \frac{\Sigma}{\text{Número de indicadores}} = \frac{12}{5} = 2.4$$

Nivel de impacto económico = Alto

Este tipo de proyecto, genera un espacio para futuras investigaciones, aumentando varios temas para el estudio y realización de proyectos que pueden realizar la comunidad universitaria de esmeraldas, además de presentar ventajas como la reducción de los costos de mantenimiento y de monitoreo de gases contaminantes. También posibilita la reducción de costos de hardware y software, haciendo al sistema más asequible y generando plazas de trabajo para su implementación

REFERENCIAS

- [1] Abbas Fotouhi, Rubiyah Yusof, Rasoul Rahmani, Saad Mekhilef, and Neda Shateri. A review on the applications of driving data and traffic information for vehicles energy conservation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37(Supplement C):822 – 833, 2014.
- [2] Apurba Sakti, Jeremy J. Michalek, Erica R.H. Fuchs, and Jay F. Whitacre. A techno-economic analysis and optimization of li-ion batteries for light-duty passenger vehicle electrification. *Journal of Power Sources*, 273(Supplement C): 966 – 980, 2015.
- [3] Apurba Sakti, Jeremy J. Michalek, Erica R.H. Fuchs, and Jay F. Whitacre. A techno-economic analysis and optimization of li-ion batteries for light-duty passenger vehicle electrification. *Journal of Power Sources*, 273(Supplement C):966 – 980, 2015.
- [4] G. Nielson and A. Emadi. Hybrid energy storage systems for high-performance hybrid electric vehicles. In 2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pages 1–6, Sept 2011.
- [5] Hanane Hemi, Jamel Ghouili, and Ahmed Cheriti. A real time fuzzy logic power management strategy for a fuel cell vehicle. *Energy Conversion and Management*, 80(Supplement C):63 – 70, 2014. 1056 Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies | Vol. 3 | n. 1 | Jan-Mar | 2022 | e-ISSN: 2675-9780 Recebido: Aceito: Disponível: <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i1.282> Recebido: 05/01/2021 Aceito: 11/12/2021 Disponível: 15/02/2022
- [6] Hanane Hemi, Jamel Ghouili, and Ahmed Cheriti. Combination of markov chain and optimal control solved by pontryagin's minimum principle for a fuel cell/supercapacitor vehicle. *Energy Conversion and Management*, 91(Supplement C): 387 – 393, 2015.
- [7] Himanshu Khurana, Mark Hadley, Ning Lu, and Deborah A Frincke. Smart-grid security issues. *IEEE Security & Privacy*, 8(1), 2010.
- [8] Hoke, A. Brissette, K. Smith, A. Pratt, and D. Maksimovic. Accounting for lithium-ion battery degradation in electric vehicle charging optimization. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2(3):691– 700, Sept 2014. [8] J. Shen, S. Dusmez, and A. Khaligh. Optimization of sizing and battery cycle life in battery/ultracapacitor hybrid energy storage systems for electric vehicle applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4):2112–2121, Nov 2014.
- [9] Lijun Gao, R. A. Dougal, and Shengyi Liu. Power enhancement of an actively controlled battery/ultracapacitor hybrid. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20(1):236–243, Jan 2005.
- [10] M Devineni, A Dinger, M Gerrits, T Mezger, X Mosquet, M Russo, G Sticher, and H Zablitz. Powering autos to 2020: the era of the electric car. Boston Consulting Group, 2011.
- [11] M. E. Choi, J. S. Lee, and S. W. Seo. Real-time optimization for power management systems of a battery/supercapacitor hybrid energy storage system in electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(8):3600–3611, Oct 2014.
- [12] M.A. Hannan, F.A. Azidin, and A. Mohamed. Hybrid electric vehicles and their challenges: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29(Supplement C):135 – 150, 2014.
- [13] M.A. Hannan, M.M. Hoque, A. Mohamed, and A. Ayob. Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(Supplement C):771 – 789, 2017.
- [14] M.Y. Ayad, M. Becherif, and A. Henni. Vehicle hybridization with fuel cell, supercapacitors and batteries by sliding mode control. *Renewable Energy*, 36(10):2627 – 2634, 2011. *Renewable Energy: Generation & Application*.
- [15] Martin Redelbach, Enver Doruk Ozdemir, and Horst E. Friedrich. Optimizing battery sizes of plug-in hybrid and extended range electric vehicles for different user types. *Energy Policy*, 73(Supplement C):158 – 168, 2014.
- [16] P. Rodatz, G. Paganelli, A. Sciarretta, and L. Guzzella. Optimal power management of an experimental fuel cell/supercapacitor-powered hybrid vehicle. *Control Engineering Practice*, 13(1):41 – 53, 2005.
- [17] P. Thounthong, V. Chunkag, P. Sethakul, B. Davat, and M. Hinaje. Comparative study of fuel-cell vehicle hybridization with battery or supercapacitor storage device. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(8):3892– 3904, Oct 2009.
- [18] Q. Xiaodong, W. Qingnian, and Y. YuanBin. Power demand analysis and performance estimation for activecombination energy storage system used in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(7):3128–3136, Sept 2014.
- [19] Richard G Newell and Stuart Iler. The global energy outlook. Technical report, National Bureau of Economic Research, 2013. Sciarretta and L. Guzzella. Control of hybrid electric vehicles. *IEEE Control Systems*, 27(2):60–70, April 2007.
- [20] Shunping JIA, Hongqin PENG, Shuang LIU, and Xiaojie ZHANG. Review of transportation and energy consumption related research. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 9(3):6 – 16, 2009.
- [21] T.M.I. Mahlia, R. Saidur, L.A. Memon, N.W.M. Zulkifli, and H.H. Masjuki. A review on fuel economy standard for motor vehicles with the implementation possibilities in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9):3092–3099, Dec 2010.
- [22] Tedjani Mesbahi, Fouad Khenfri, Nassim Rizoug, Khaled Chaaban, Patrick Bartholome us, and Philippe Le Moigne. Dynamical modeling of li-ion batteries for electric vehicle applications based on hybrid particle swarm– nelder–mead (pso–nm) optimization algorithm. *Electric Power Systems Research*, 131(Supplement C):195 – 204, 2016.