

## **Diseño de un sistema de monitorización de la calidad de aire, basado en una red sensorial y técnicas de IOT para la ciudad de Esmeraldas**

### **Projeto de um sistema de monitoramento da qualidade do ar baseado em uma rede de sensores e técnicas IOT para a cidade de Esmeraldas**

DOI:10.34115/basrv6n2-020

Recebimento dos originais: 14/01/2022

Aceitação para publicação: 28/02/2022

#### **José Luis Sampietro-Saquicela**

PhD en Automática y Robótica y Visión, Especialista de Ingeniería en CELEC EP  
TERMOESMERALDAS I

Instituição: Celec Ep Termoesmeraldas I

Endereço: W8G6+JWC, Vuelta Larga - Ecuador

E-mail: jose.sampietr@celec.gob.ec

#### **Jaime Rafael Bastidas-Heredia**

MBA por la Escuela Politécnica Nacional (quito) y MSc en Energías Renovables y sostenibilidad Energética por la Universitat de Barcelona, España

Instituição: Universitat de Barcelona, España

Endereço: Gran Via de les Corts Catalanes, 585, 08007 - Barcelona - Espanha

E-mail:jaime.rafael.bastidas@upc.edu

#### **Mauricio Alberto Masache-Heredia**

Magister en Ambiente Especialidad Eficiencia Energética

Instituição: Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Endereço: Ave 12 de Octubre 1076, Quito 170143 - Ecuador

E-mail:mmasache204@puce.edu.ec

#### **Leonela Del Rocio de La A Salinas**

Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones

Instituição: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Endereço: Avda. principal La Libertad, Santa Elena - La Libertad - Ecuador

E-mail: leo\_1019@hotmail.es

#### **Rolando Edison Carrera Fernández**

Magister en Telecomunicaciones

Instituição: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Endereço: Av. Pdte. Carlos Julio Arosemena Tola, Guayaquil 090615 - Ecuador

E-mail: r.carrera@hotmail.com

#### **Miguel Ángel Velasco Parra**

Ingeniería en Electrónica y Automatización Industrial

Instituição: Escuela Superior Politécnica del Litoral

Endereço: Vía Perimetral 5, Guayaquil - Ecuador

E-mail: mavelasc@espol.edu.ec

**Jorge Gabriel Checa Burgos**

Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, Ingeniero Eléctrico de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Estudiante de la maestría en Electricidad en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas - Ecuador.

Instituição: Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas - Ecuador

Endereço: Esmeraldas - Equador

E-mail: jcheca@institutos.gob.ec

**Jenny Alexandra Guzmán Acurio**

Magister en Gestión Ambiental

Instituição: Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia

Endereço: 948 - 196 Valencia - Ecuador

E-mail: jagacurio@gmail.com

**Mirna Geraldine Cevallos Mina**

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

Instituição: Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas

Endereço: X8FM+HF8, Esmeraldas - Equador

E-mail: mirna.cevallos.mina@utelvt.edu.ec

**Byron Fernando Chere Quiñónez**

Ingeniero Eléctrico, Instituto de Posgrado, Maestría de Investigación en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia en la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Instituição: Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador

Endereço: Avenida Universitaria, Portoviejo - Ecuador

E-mail: bchere8077@utm.edu.ec

**RESUMEN**

El presente artículo define la estructura funcional de una red de monitoreo de calidad de aire. Es importante destacar que la implementación se realiza con controladores que permiten una programación escalable, y cuya conexión a sensores no implica el coste adicional de buses de comunicación o software propietarios. La arquitectura planteada permite la interconectividad de la red, y la distribución en varios nodos. Se analiza también la causalidad de las emisiones contaminantes que afectan a una determinada comunidad, la misma que abarca a la ciudad de Esmeraldas. La estrategia de implementación está denotada y enmarcada por la ley y la legislación ambiental, y deberá ser contrastada con los datos de emisiones de las fuentes industriales. También será de amplia ayuda para cuantificar las emisiones vehiculares.

**Palabras-claves:** diseño, sistema de monitorización, calidad de aire, red sensorial, técnicas de IOT.

**RESUMO**

Este artigo define a estrutura funcional de uma rede de monitoramento da qualidade do ar. É importante destacar que a implementação é feita com controladores que permitem programação escalável, e cuja conexão a sensores não implica em custo adicional de barramentos de comunicação ou software proprietário. A arquitetura proposta permite a interconectividade da rede e a distribuição em vários nós. A causalidade das emissões poluentes que afetam uma determinada comunidade, a mesma que inclui a cidade de Esmeraldas, também é analisada. A estratégia de implementação é indicada e enquadrada pela legislação e legislação ambiental, devendo ser contrastada com os dados de emissão de fontes industriais. Também será de grande ajuda na

quantificação das emissões dos veículos.

**Palavras-chave:** design, sistema de monitoramento, qualidade do ar, rede sensorial, técnicas de IOT.

Projeto de um sistema de monitoramento da qualidade do ar, baseado em uma rede sensorial e técnicas de IOT para a cidade de Esmeraldas.

## 1 INTRODUCCIÓN

### a) Agentes contaminantes en la ciudad de Esmeraldas

En la ciudad de Esmeraldas se ha tenido la construcción de industrias importantes para el crecimiento económico tanto de la ciudad como del país, entre estas grandes industrias tenemos:

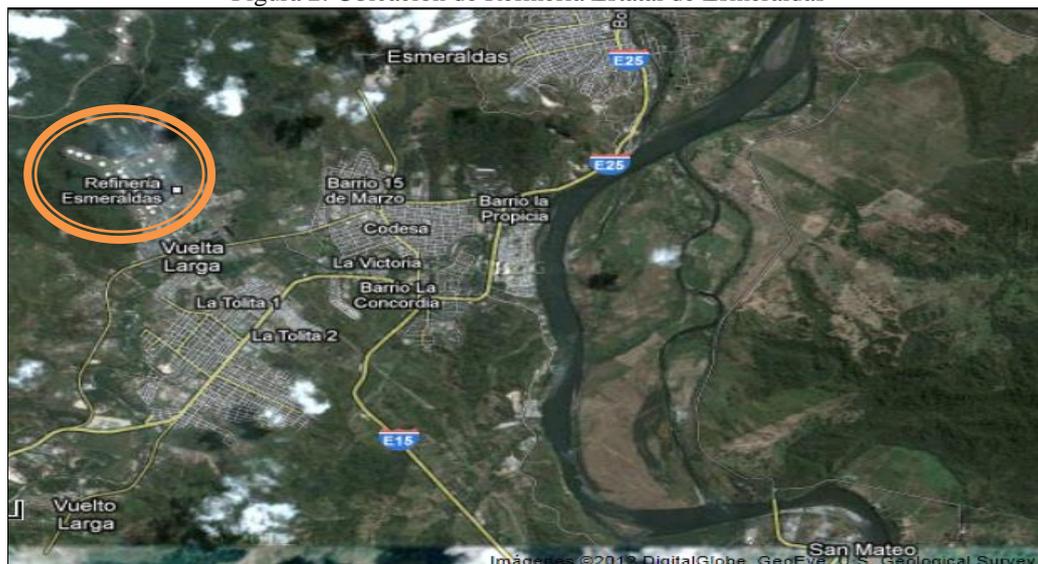
Refinería Estatal Esmeraldas: La Refinería Estatal Esmeraldas (REE) se ubica en la ciudad de Esmeraldas a siete kilómetros del centro de la ciudad en dirección suroeste, junto a la vía que conduce al cantón Atacames. Inició su operación en 1978, con una capacidad de 55.600 barriles diarios. Fue diseñada para procesar crudo de 28° API, o sea liviano. Para 1987, se realiza la primera ampliación a 90 mil barriles diarios de refinación. Más tarde, en 1995, se inició la segunda ampliación a 110 mil barriles para tratar crudo de 23 a 27 ° API. (Benítez, 2005)

Finalmente, la Refinería pasó por un proceso de re- potenciación a cargo de la compañía surcoreana SK E&C.

Figura 1: Refinería Estatal Esmeraldas



Figura 2: Ubicación de Refinería Estatal de Esmeraldas



Fuente: <http://maps.google.es/>

Codesa: Funciona desde hace más de 35 años en la ciudad, aquí se procesan 70 metros cúbicos diarios de madera rolliza para elaborar 1200 tableros contrachapados que se envían a otras ciudades como Quito y Guayaquil.

CelecEP Termoesmeraldas: Como planta térmica está considerada una de las más grandes del país y con el mayor índice de generación. Su principal usuario es el Sistema Nacional Interconectado y REE, al cual se conecta en diferentes niveles de voltaje.

Figura 3: Celec EP Termoesmeraldas



En aplicación a la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, el 17 de noviembre de 1998, el Instituto Ecuatoriano de Electrificación, INECEL en proceso de liquidación, resuelve constituir la

Compañía de Generación Termoeléctrica Esmeraldas. - Termo Esmeraldas Sociedad Anónima, para asumir las actividades inherentes a la producción de energía termoeléctrica. La empresa Termo Esmeraldas S.A. inicia formalmente sus actividades comerciales a cargo de INECEL el 1 de agosto de 1982. Las actividades de producción de Termo Esmeraldas se desarrollaron como uno de los objetivos de la política energética gubernamental y la información contable como sociedad anónima se registra desde el 1 de abril de 1999. La actual Ley de Régimen del Sector Eléctrico determina la segmentación del sector en las actividades de generación, transmisión y distribución; y, comercialización, a través de Unidades de Negocio, constituidas en la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC S.A. el 13 de enero de 2009, con escritura pública, ante el Notario Décimo Séptimo del Cantón Quito. (Celec EP, 2009). Luego de esto en el 2014 empieza a generar la Central Esmeraldas II con 96 MW de capacidad con tecnología basada en motores de combustión, manejada con combustibles como Diesel y Fuel Oil 7. Desde Enero del 2012 la central la Propicia de 10,5 MW entra a ser parte de la Unidad de negocios Termoesmeraldas, siendo parte de la generación. Exeptuando la central Esmeraldas II las demás centrales estan ya en una etapa de desgaste avanzada, y debido a la falta de recursios, se convierten en potenciales fuentes contaminantes de la ciudad.

Entre otras grandes industrias y sectores productivos de la ciudad, se tiene: puerto marítimo, puerto pesquero, terminal petrolero de Balao. Estas industrias, así como el crecimiento en los últimos años del parque automotor se han convertido en la mayor fuente de emisión de gases contaminantes como son: los óxidos de azufre ( $H_2S$ ,  $SO_2$ ), los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), el monóxido de carbono ( $CO$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el benceno, el plomo, entre otros tipos de contaminantes; los límites permisibles establecidos por los organismos médicos y de control, en el caso de Ecuador es el **Ministerio del Ambiente**, el ente regulador. Los altos índices de concentración, pueden presentar problemas respiratorios y de salud en la población de la ciudad de Esmeraldas, tanto a personas que residen cerca a los focos contaminantes como al resto de habitantes, por lo que es necesario tener información acerca de la contaminación que pueda existir en la ciudad, para así poder tomar las debidas precauciones. En la provincia de Esmeraldas, la ciudad de esmeraldas cuenta con 8 parroquias rurales y 5 parroquias urbanas:

## 2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una vez identificada de manera general la problemática que envuelve a la provincia, nos centraremos en la contaminación, y describiremos desde su concepción, hasta los tipos de la misma. Se conoce como contaminación, a la transmisión y difusión de sólidos, líquidos o gases tóxicos a medios como la atmósfera, el agua, o el suelo. De acuerdo al origen, existe contaminación

proveniente de eventos naturales como: erupciones volcánicas, incendios forestales, entre otros, o de los desechos de las actividades del ser humano como: procesos industriales, combustión de hidrocarburos, incremento de automóviles en las ciudades, ensayos nucleares, desechos orgánicos, por citar algunos casos; y que estos, son causa de múltiples problemas a la salud de las personas y a los bienes en general. La contaminación es difícil de eliminar, pero si se realiza un control y se toma conciencia de los problemas que causa, es posible disminuir sus niveles de contaminación para así preservar la salud de todos los seres vivos en general y especialmente la de la especie humana.

## 2.1 TIPOS DE CONTAMINACIÓN

De acuerdo al recurso natural que afecta la contaminación puede ser:

### a) Contaminación atmosférica (aire)

Este tipo de contaminación se da por la liberación de sustancias químicas y partículas en la atmósfera alterando su composición, lo que ocasiona un riesgo para la salud de las personas y de otros seres vivos. Los gases contaminantes del aire más comunes son: el monóxido de carbono, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno producidos en la combustión en las industrias y de los motores de los vehículos. La contaminación atmosférica se dice que es local, cuando los efectos ligados al foco de emisión afecta solo a las inmediaciones del mismo, o es global, cuando las características del contaminante afectan al equilibrio del planeta y zonas distantes a los focos emisores, entre estos se pueden citar la lluvia ácida y el calentamiento global.

### b) Contaminación hídrica (agua de mares, ríos, lagos)

Este tipo de contaminación se da por la liberación de residuos y contaminantes que son drenados a las alcantarillas y luego llegan hacia los ríos, penetrando en aguas subterráneas o descargando directamente en lagos y mares; otros que contaminan los océanos y playas, son los desechos marinos que en su mayoría son plásticos, algunas veces se acumulan en alta mar como en la gran mancha de basura del Pacífico norte; los derrames de petróleo en los pozos petroleros o por fugas en sus tuberías de transporte, también son contaminantes de los efluentes hídricos.

### c) Contaminación edafológica (suelo)

Este tipo de contaminación se da cuando productos químicos son liberados por un derrame o filtraciones sobre la tierra. Entre los contaminantes del suelo están los hidrocarburos como el petróleo y sus derivados, los metales pesados presentes en las baterías,

los herbicidas y plaguicidas rociados en los monocultivos producidos por la industria; también los vertederos y cinturones ecológicos que entierran grandes cantidades de basura en las ciudades. Esta contaminación afecta a la salud de las personas de forma directa y al entrar en contacto con fuentes de agua. (Cisneros Sonia Elizabeth, 2012)

## 2.2 EMISORES CONTAMINANTES

Contaminante se considera a toda materia, energía, organismo vivo, sustancia o sus derivados que al incorporarse a los componentes del ambiente, alteran sus características, dañando los bienes o perjudicando la salud de las personas, animales o plantas. (López, 2011). Estos emisores contaminantes van de acuerdo al desarrollo de la humanidad, ya sea económico, político o social. El ser humano, quien utiliza los recursos naturales de forma indiscriminada mediante: las industrias que emiten grandes cantidades de sustancias tóxicas a la atmósfera, la tala de bosques, la caza de especies protegidas, el consumo de energía no renovable, el derrame de petróleo, todo esto afecta al planeta en general.

De acuerdo a las características específicas de los contaminantes, se clasifican en:

### a) Agentes contaminantes físicos

Son aquellos que su presencia altera la calidad de los componentes del ambiente, se caracterizan por un intercambio de energía entre la persona y el ambiente que el organismo no soporta. Son considerados contaminantes físicos, entre otras formas de energía: el ruido, luz intensa, vibraciones, temperaturas, presión, radiaciones ionizantes.

### b) Agentes contaminantes químicos

Están constituidos por materia inerte orgánica o inorgánica, ya sea natural o sintética como: gases, vapores, polvos, humos y nieblas. Son aquellas sustancias que alteran la conformación química de los componentes del medio ambiente, entre otros podemos citar: gases tóxicos, metales pesados, ácidos orgánicos e inorgánicos, así como también, los insecticidas.

### c) Agentes contaminantes biológicos

Se consideran a los microorganismos, que pueden degradar la calidad del aire, agua, suelo y alimentos. Están constituidos por agentes vivos que contaminan el medio ambiente y que pueden dar lugar a enfermedades infecciosas o parasitarias, entre estos agentes contaminantes están: los microbios, los insectos, las bacterias, los virus.

d) Agentes contaminantes psicosociales

Se consideran a los factores que surgen de las relaciones humanas y que desencadenan presiones o tensiones emocionales que culminan en crisis de angustia, producen daño en la salud, son consecuencia de la automatización, división del trabajo y especialización en tareas simples y repetitivas, que conducen a la monotonía y falta de interés en el ser humano que pueden llegar incluso a degenerar en problemas psíquicos.

### 2.3 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en el aire de sustancias o energías que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza. Si éstas ponen en peligro la salud del hombre, su bienestar o sus recursos, se convierten en contaminantes. La **contaminación del aire** afecta de diferente manera a la salud de las personas y depende de factores como el nivel de exposición a los contaminantes, de la resistencia y a la capacidad física de cada individuo. (Marcano, 2011).

Para determinar si el aire está contaminado, en la tabla 1, se puede visualizar la composición del aire seco, a nivel del suelo; a esos valores el aire se encuentra libre de contaminación.

Tabla 1: Contaminación del aire y del agua

COMPONENTES PRINCIPALES	CONCENTRACION (% Volumen)	PESO TOTAL (Millones de toneladas)
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	78.09	4.220'000.000
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20.95	1.290'000.000
Argón (Ar)	0.93	72'000.000
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	0.032	2'700.000
<b>COMPONENTES MENORES</b>		
Neón (Ne)	0.0018	70.000
Helio (He)	0.00052	4.000
Metano (CH <sub>4</sub> )	0.00015	4.600
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0.00005	190
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	0.00002	1.700
Monóxido de Carbono (CO)	0.00001	540
Xenon (Xe)	0.000008	2.000
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.000002	190
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0.0000006	21
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	0.0000001	9
Oxido Nítrico (NO)	0.00000006	3
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.00000002	2
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.00000002	1

Fuente: Stocker /Seager. Química Ambiental: Contaminación del aire y del agua

## 2.4 M PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE

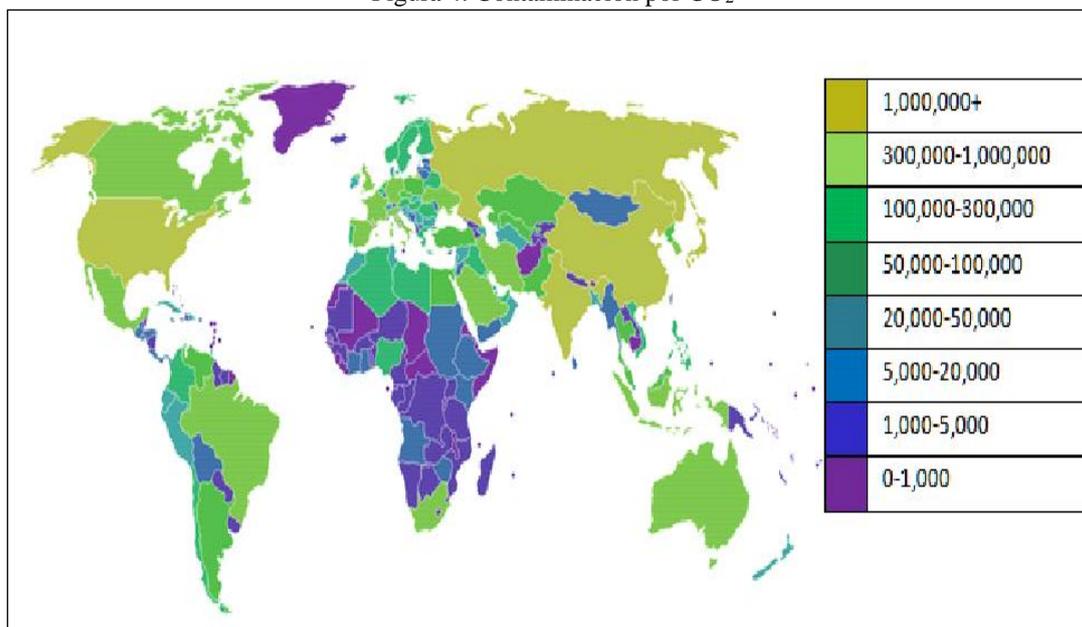
Entre los principales contaminantes del aire están:

a) Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

Se origina en los procesos de combustión. Es el principal gas del efecto invernadero (GEI), emitido por quema de combustibles fósiles. Los niveles de dióxido de carbono, llegaron a cifras récords en el año 2006, acelerando el calentamiento global según informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Este gas producido por las actividades humanas y al cual el Panel Internacional del Clima de la ONU culpa de fomentar el calentamiento a nivel mundial. (Blanco, 2008)

Este crecimiento en las concentraciones es debido principalmente a la quema de combustibles fósiles para energía, y en menor grado a la deforestación. Se puede observar, la Emisión de dióxido de carbono por país, en millones de toneladas en la figura 4.

Figura 4. Contaminación por CO<sub>2</sub>



Fuente:[http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n\\_atmosf%C3%A9rica](http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica)

b) Monóxido de Carbono (CO)

Se produce por las combustiones incompletas, en particular de la siderurgia, refinерías de petróleo y motores de vehículos. Es un gas incoloro, inodoro y tóxico.

c) Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

El humo, la niebla o ambos provienen de las centrales eléctricas, fábricas, automóviles y del combustible de uso doméstico. El aire contaminado agrava las enfermedades

respiratorias, corroe árboles y construcciones de piedra caliza; afecta también a productos textiles sintéticos.

d) Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

Se producen por los motores de combustión interna, los aviones, los hornos, el uso excesivo de fertilizantes, los incendios de bosques, entre otros. Son el constituyente característico del smog de las grandes ciudades que ocasiona infecciones respiratorias, entre ellas la bronquitis, especialmente a los recién nacidos.

e) Material particulado

Está constituido por una mezcla de materiales sólidos y líquidos en forma de partículas suspendidas en el aire, varían de tamaño, forma y composición. Su tamaño va desde los 0.005 hasta 100 micras de diámetro aerodinámico, para entender mejor va desde unos cuantos átomos hasta el grosor de un cabello humano. Entre los principales se tiene al material particulado PM<sub>2.5</sub>, cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 micras; y, al material particulado PM<sub>10</sub>, de diámetro aerodinámico menor a 10 micras.

Entre otros contaminantes del aire están: el metano (CH<sub>4</sub>), influye sobre el clima con altas incidencias sobre el ozono en la tropósfera, el vapor de agua en la estratósfera y la capacidad oxidante de la atmósfera; el fosfato, se encuentra en las aguas de alcantarillas y de desechos, proviene de los detergentes, fertilizantes y de los residuos de las crías de animales; el mercurio (Hg), se produce en la utilización de combustibles fósiles, en la industria, en las centrales de energía eléctrica, en fabricación de pinturas, en papeleras, constituye un grave agente contaminante de los alimentos, especialmente de los provenientes del mar; el petróleo y sus derivados, la contaminación es causada por extraer el producto, durante su refinación, por los accidentes de buques petroleros y por la evacuación que se efectúa durante el transporte, causa daños desastrosos en el medio, destruyendo el plancton, la flora y fauna marinas; plaguicidas, son tóxicas para los crustáceos, incluso en cantidades pequeñas, se utilizan en la agricultura; sustancias radioactivas, se originan en la producción de energía atómica, en la fabricación y pruebas de armas nucleares, en desechos radioactivos arrojados al mar y por los buques de propulsión nuclear.

### 3 REGULACIONES ACTUALES EN EL ECUADOR

Antes de poder establecer algún criterio técnico, debemos conocer las regulaciones que enmarcan el desarrollo del presente proyecto. Existen algunos reglamentos que norman la contaminación, como la norma de calidad de aire ambiente o nivel de inmisión, que se coloca en el anexo 3. También existe el Libro VI TULAS - Normas Técnicas Ambientales en Puertos y Aeropuertos, y el plan nacional de calidad de aire. El primero norma las alertas y parámetros permisibles, define las ecuaciones y parámetros a seguir, al igual que el segundo. En la tabla 2, se muestra un resumen de los límites permisibles enmarcados en la regulación.

Tabla 2. Alertas en contaminantes por periodo de tiempo

CONTAMINANTE Y PERÍODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
<b>Monóxido de Carbono</b> Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15000	30000	40000
<b>Ozono</b> Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	400	600
<b>Dióxido de Nitrógeno</b> Concentración promedio en una hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1000	2000	3000
<b>Dióxido de Azufre</b> Concentración promedio en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	1000	1800
<b>Material particulado PM 10</b> Concentración en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	250	400	500
<b>Material Particulado PM 2,5</b> Concentración en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	150	250	350

Nota:

[1] Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25° C y 760 mm Hg.

Mientras el plan nos indica la realidad del país y apunala nuestro diagnóstico del problema zonal. Resulta interesante conocer los programas que posee el plan, los mismos que son:

#### Programa 1

##### Control y vigilancia de la calidad del aire

Propuesto para implementar una base de datos con información sobre fuentes, emisiones y características de las emisiones.

Este proyecto nos permitirá conocer el estado actual de la calidad del aire a nivel nacional, implementando un sistema de monitoreo como una herramienta de gestión de la calidad del aire para medir los contaminantes y proporcionar información que permita identificar y valorar la vulnerabilidad, riesgos y prioridades relacionadas con la calidad del aire.

Debido a la poca información que existe del recurso aire en el país, es necesario gestionar, recopilar y difundir información mediante la creación de un SICA.

- Este proyecto permitirá homologar el diagnóstico y reporte de las enfermedades respiratorias evaluando la relación existente entre datos de calidad del aire y enfermedades respiratorias.

Los modelos predictivos tienen como fin simular el comportamiento de los contaminantes primarios y secundarios formados en la atmósfera lo que permitirá estimar futuras concentraciones de contaminantes que permitirán a las entidades encargadas establecer estrategias efectivas para reducir la contaminación del aire.

## **Programa 2**

### **Mejoramiento de la calidad del aire y prevención de su deterioro**

Este proyecto permitirá el fortalecimiento del rol que desempeña el Ministerio del Ambiente y otras autoridades ambientales, minimizando los conflictos de competencia que afectan la aplicación del marco normativo sobre la gestión del recurso aire.

Este proyecto permitirá contar con especialistas en gestión de la calidad del aire, promoviendo la capacitación y generando el interés que este tema amerita dentro de la sociedad.

Un elemento fundamental para la gestión de la calidad de aire es la implementación de programas de reducción y control de emisiones en las fuentes de generación. Esto tiene como objetivo el mejoramiento de la calidad de aire y la reducción de los contaminantes del aire ambiente que causan impacto y problemas en la salud.

Existe la necesidad de generar combustibles de mejor calidad ya que los producidos por el Ecuador actualmente no cumplen con parámetros internacionales que están especificados para salvaguardar la salud de las personas, adicionalmente el mejoramiento de combustibles iría de la mano con la capacidad de implementar óptimas tecnologías vehiculares.

Este proyecto permitirá reducir las emisiones de contaminantes del aire generadas por fuentes móviles, controlando los niveles de emisiones, así como las condiciones técnico mecánicas y de seguridad del parque vehicular que circula a nivel nacional, tanto del transporte público como del transporte privado.

Este proyecto fomenta la participación ciudadana, así como el acceso a la información generada sobre temas de interés para la misma, con el fin de buscar la participación activa de las personas contribuyendo al cambio de actitudes y valores en la ciudadanía respecto a la calidad del aire.

### Programa 3

#### **Medidas a ser aplicadas durante los estados de alerta**

El desarrollo de planes de contingencia están destinados a ser aplicados para poder minimizar el impacto en la seguridad, salud y bienestar de la población ante casos de episodios críticos de contaminación del aire, como son las altas concentraciones de contaminantes comunes del aire de origen antrópico u otras de origen natural.

#### **Financiamiento del Plan Nacional de Calidad del Aire**

Los costos de la implementación del PNCA deben ser financiados por la sociedad en su conjunto, el Estado asume los costos a través del gobierno nacional y los gobiernos locales como entes reguladores como parte del presupuesto general del estado y presupuesto de los gobiernos locales así como recursos provenientes de la cooperación internacional o de los organismos multilaterales de crédito, las empresas o personas objeto de las regulaciones asumen los costos de remediar los daños o prevenir el deterioro del recurso aire.

El PNCA busca integrar recursos, además de esfuerzos, para la consecución de los objetivos del mismo. Para este efecto se proponen las siguientes formas de financiamiento:

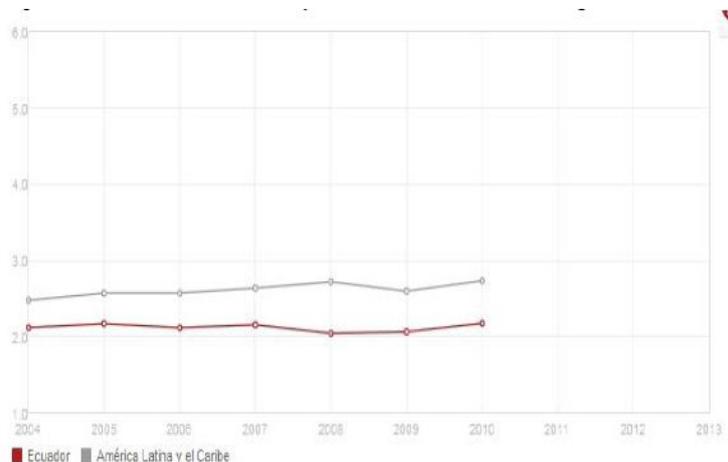
- Adaptar de manera preferencial todos los recursos de los que se disponga a nivel nacional a ejecutar y fortalecer los programas propuestos en el PNCA.
- Establecer acciones, mediante convenios interinstitucionales, entre todos los involucrados, para la ejecución, financiamiento y fiscalización de proyectos y/o programas que apunten fortalecer el PNCA.
- Lograr vínculos con entidades de apoyo y remediación del medio ambiente, organismos multilaterales de crédito, entidades de cooperación internacional, la Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica en América latina y el Caribe, ONG's tanto nacionales como internacionales las cuales cuentan con los recursos, el conocimiento y varias buenas prácticas que pueden ser un apoyo a la consecución de los objetivos del PNCA.

Adicionalmente se propone la implementación de instrumentos financieros tales como el mercado de emisiones o “bonos de descontaminación” basado en límites a contaminantes atmosféricos.

Como podemos observar, ya existe una normativa y un plan que define la creación de presupuesto para proyectos de este tipo y de la búsqueda de ayuda y cooperación internacional para el mismo. Analicemos ahora la realidad actual. Pese a que existen estas regulaciones, en la figura 5 podemos ver como las emisiones de gases contaminantes van en aumento. Según el Banco

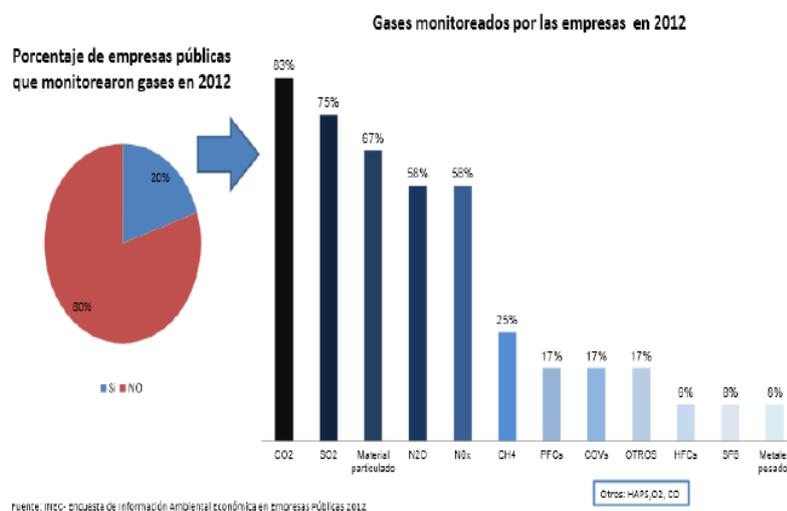
Mundial, las emisiones de CO<sub>2</sub> en toneladas métricas per cápita para Ecuador en comparación con América Latina y el Caribe se indican en la mencionada figura.

Figura 5. Emisiones de CO<sub>2</sub>



La figura 6 nos indica el monitoreo y emisiones de CO<sub>2</sub> en las empresas públicas.

Figura 6. Monitoreo y emisiones de CO<sub>2</sub>



En la figura 7, podremos ver la cantidad de fondos que se destinan en las empresas estatales a la implementación de sistemas de monitoreo de gases para saber si se concuerdan con las normas específicas existentes en la legislación vigente. Y como veremos, la cantidad es ínfima, pues es menor al 1%. Esto nos da una idea del pobre sistema de detección de gases en el país. Referente a las empresas privadas, podemos ver la figura 8 que nos muestra el monitoreo de gases en su producción.

Figura 7. Inversión en monitoreo de gases

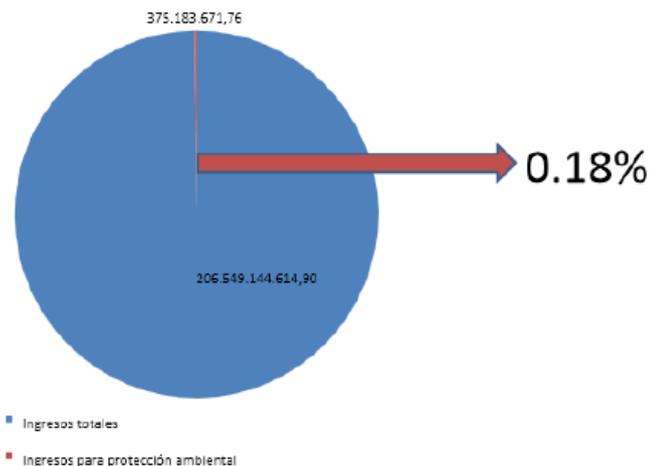
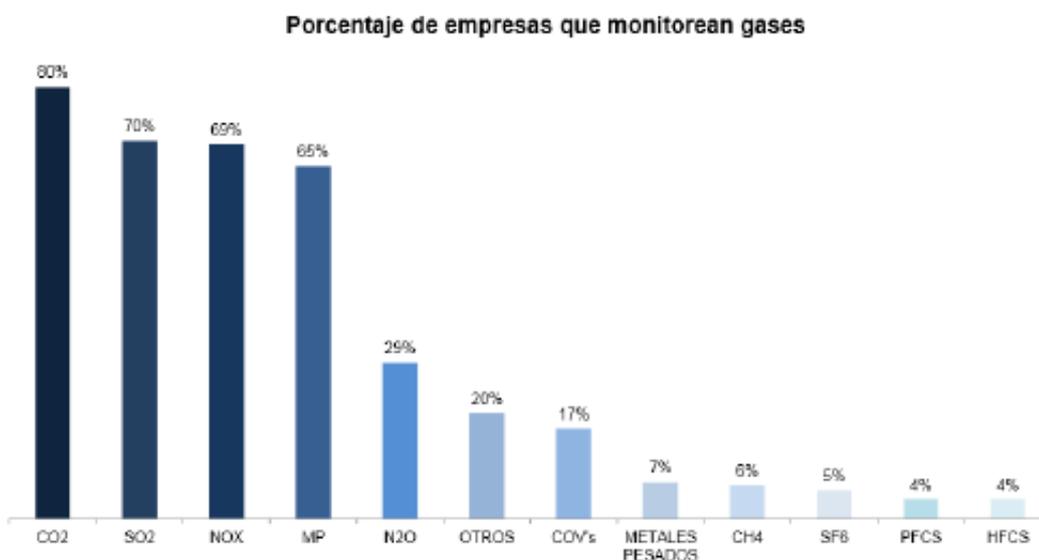


Figura 8. Monitoreo y emisiones de gases en empresas privadas



Los datos anteriores muestran que los gases aumentan debido al aumento del parque automotor y del crecimiento industrial a base de energía fósil en la ciudad. Pese a esto, la ciudad no cuenta con un sistema instalado de medición de gases contaminantes que pueda ser observado por la comunidad. Cada central industrial está obligado a cumplir la normativa de inmisión, y se realizan estudios periódicos de la cantidad de contaminantes producidos en su operación habitual. También la Pontificia Universidad católica sede Esmeraldas, cuenta con dos proyectos, el primero como tesis de grado y el segundo como un concurso interno que trata sobre temas de nodos de medición de gases. Una red de vigilancia de la contaminación atmosférica es un conjunto de estaciones de control de la calidad del aire que sirven para observar, como su nombre lo indica el

estado de la calidad del aire en una zona definida. Su principal objetivo, es el de conocer en todo momento los valores de contaminación atmosférica en un área determinada, para así poder prevenir y actuar ante cualquier situación de contaminación. Entre las redes más importantes de vigilancia de la contaminación atmosférica a nivel mundial, se pueden mencionar:

- a) La red BAPMON (Background Air Pollution Monitoring Network)
- b) Se trata de una red de vigilancia de la contaminación atmosférica de fondo, contribuye a la observación de la evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. (Tropósfera.org, 2005)
- c) La red EMEP (European Monitoring Evaluation Programme)
- d) Apareció a la firma del Convenio de Ginebra sobre la contaminación atmosférica transfronteriza, su finalidad es el seguimiento y evaluación de contaminantes al transportarse a largas distancias. (Magrama.gob.es, 2010)
- e) De las redes de monitoreo en el Ecuador se tienen pocas, entre las más conocidas están:
- f) En Esmeraldas, el proyecto de diseño, suministro, montaje y puesta en funcionamiento de un sistema de monitoreo continuo de emisiones, en 22 fuentes fijas de combustión que servirá internamente a Refinería Estatal Esmeraldas para el control oportuno de la combustión y la optimización de los procesos. (PROYECING, 2011)
- g) En Quito, se tiene un sistema de monitoreo de la calidad del aire con estaciones de medición “UREMAQ”. También existe la CORPAIRE, que regula la calidad de aire.
- h) En Santo Domingo de los Tsáchilas, el sistema de medición de calidad del aire como parte del Proyecto de Implantación del Sistema nacional de monitoreo y vigilancia de la calidad del aire.
- i) Entre los estudios o tesis cabe mencionar: el sistema nacional de información de calidad del aire “SINAICA”. (Bermeo & Páez, 2003)
- j) Según información del Ministerio del Ambiente se quiere tener estos proyectos a nivel nacional en zonas que sobrepasen los 150000 habitantes. (Extra.ec, 2011). El Ministerio del ambiente mediante su directora provincial, indica que ellos están ya realizando un proyecto para la medición de gases.

En la provincia de Esmeraldas y especialmente en el cantón Esmeraldas, también se tiene el “**Estudio de la Calidad del Aire de la Ciudad de Esmeraldas**”, realizado en octubre del 2004 entre las entidades de Petroecuador, La Universidad Central del Ecuador y el Ilustre Municipio de

Esmeraldas. No se puede tener acceso completo al estudio, pero las conclusiones y recomendaciones transcritas del mismo son:

1. “Los resultados de la presente investigación son válidos para los periodos estudiados y las condiciones climáticas imperantes. Vale destacar que durante la primera etapa de inspección desarrollada los meses de febrero y marzo del 2005, los planteles educativos se encontraban en periodo de vacaciones; mientras que en la segunda etapa en el mes de julio, la Refinería Estatal se encontraba funcionando parcialmente debido a un mantenimiento de ciertas unidades de proceso.”

2. “Los niveles de contaminación del aire en la ciudad de Esmeraldas no son uniformes y de acuerdo con el índice de calidad del aire urbano (ORAQUI), este se encuentra en condiciones aceptables, pues su valor no excede de 30. Esto se debe a que siendo una ciudad costera, esta favorecida por la brisa marina, lo que origina velocidades del aire en la ciudad, que oscilan entre 0.5-2.5 m/s sobre el nivel del suelo (a 2 m), contribuyendo de este modo a dispersar los contaminantes, gracias al fenómeno de di fusión turbulenta.”

3. “El parque automotor de la ciudad de Esmeraldas es completamente heterogéneo, tanto en marcas, modelos y estado de los mismos, por lo que se hace difícil hacer conclusiones específicas sobre el cumplimiento de la normativa vigente.”

4. “En sectores aledaños a la Refinería se detectan olores desagradables, debido a la presencia de compuestos derivados del azufre de carácter mercaptánico, que son los responsables de ese olor característico y que es perceptible por el olfato humano en concentraciones inferiores a las partes por billón.”

5. “Los olores que se detectan en el sector de CODESA, corresponden a la descomposición parcial de la biomasa que se procesa en la planta industrial del mismo nombre de dicho sector.”

En el mismo informe se recomienda:

1. “Formular un plan integral de gestión ambiental, en el cual, las emisiones gaseosas sean una parte del mismo. Además, incluir programas de capacitación, comunicación, concienciación, motivación e incentivos para preservar el ambiente, entre otros.”

2. “Hasta que el organismo competente emita normas y regulaciones de carácter nacional, el Muy Ilustre Municipio de Esmeraldas podría actualizar sus ordenanzas mediante la homologación de ordenanzas que existen en otras ciudades, particularmente en lo referente a ruido

que es el contaminante físico que a la fecha más afecta a la ciudad”.

3. “Planear una red de monitorización continua local con miras a una integración nacional, la que deberá ser coordinada por la asociación de municipalidades.”<sup>1</sup>

Los contaminantes analizados en el aire fueron: monóxido de carbono, CO; dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>; dióxido de nitrógeno, NO<sub>2</sub>; compuestos orgánicos volátiles, VOC's; compuestos aromáticos: benceno, tolueno, xileno (BTX); ozono, O<sub>3</sub>; material particulado, PM<sub>2,5</sub> y ruido. Todas estas determinaciones se efectuaron midiendo las condiciones meteorológicas imperantes durante el tiempo de análisis. Los resultados se los expresa en función del índice de calidad del aire ORAQUI. (Convenio, 2004). Por lo tanto, partimos de que existe una regulación y un plan de calidad de aire, han existido estudios anteriores, y las empresas industriales hacen pruebas en los focos de emisión de manera regular. Pero ninguno de estos ha tenido la difusión suficiente para empezar a tomar acción sobre sus resultados. No ha existido un estudio que relacione directamente la contaminación y el aumento de morbilidad y daño a la estructura agraria, ganadera, etc. Por lo anteriormente expuesto, se propone la instalación de un **sistema de monitorización que capture datos en tiempo real de los parámetros de contaminación del aire en puntos estratégicos de la ciudad de Esmeraldas, con la finalidad de conocer con exactitud los niveles de contaminación de este elemento**. Así se podrán emitir reportes a los organismos de control para que establezcan los controles adecuados y oportunos que permitan disminuir el impacto negativo sobre el Medioambiente y la población esmeraldeña. Esto orientado a que existe una serie de parámetros relativos a la concentración de determinadas sustancias en el aire que se han de controlar con el fin de que no sobrepasen un determinado valor a la hora de su emisión, así como cuando se realizan medidas de inmisión en zonas próximas, es decir, zonas a las que llegan los contaminantes debido a la dispersión de los mismos en la tropósfera desde los focos de emisión. El control de estos parámetros hace que sean necesarias estaciones de medida con el fin de realizar un seguimiento en tiempo real, que permita la toma de decisiones rápidas para evitar que se produzcan catástrofes derivadas de la ausencia de regulación. Las estaciones de medida se encargan de medir la concentración de cada contaminante en el aire, para lo cual hacen uso de cadenas de medida, tomando los datos mediante sensores con el fin de realizar un tratamiento de la información lo más automatizado posible. La medida de inmisión es cuantificar la concentración de cada uno de los contaminantes del aire en zonas cercanas a los focos de emisión o en sitios específicos existentes en una población o ciudad, para eso se debe tomar en cuenta las zonas en

---

<sup>1</sup>Estudio de la Calidad del Aire de la Ciudad de Esmeraldas – Informe final, Convenio 2004525, Octubre 11 de 2004, Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

donde más tiempo se concentran la mayor cantidad de habitantes, ya sea por la existencia de centros educativos, locales comerciales, entidades bancarias y el comercio en general.

<b>Material particulado PM 2,5</b>			
Concentración en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	150	250	350

Tabla 3: Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión

<b>CONTAMINANTE Y PERÍODO DE TIEMPO</b>	<b>ALERTA</b>	<b>ALARMA</b>	<b>EMERGENCIA</b>
<b>Dióxido de Carbono</b> Concentración promedio en ocho horas (ppm)	5000	10000	15000

Fuente: Acuerdo 50 NCA – Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión

Tabla4: El valor límite de exposición profesional (LEP-VLA) del INSHT

Fuente: Higiene Industrial: INSHT. Límites de Exposición Profesional  
<http://www.letsprevent.com/2012/01/higiene-industrial-insht-reglamento-limites-exposicion-2012/>

## 4 OBJETIVOS DEL DISEÑO

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar en tiempo real el grado de contaminación atmosférica en puntos estratégicos del perímetro urbano de la ciudad a través de una red sensorial inalámbrica.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar los datos obtenidos de la red sensorial con los niveles permisivos estipulados en las regulaciones ambientales y ofrecer una tabla estadística apropiada con históricos regulares.

Ofrecer una red escalable, segura, confiable y privada para la seguridad y sigilo de los datos obtenidos.

Generar conocimiento, trabajo y recursos para la población, en base a la implementación y sostenibilidad del proyecto.

## 5 METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

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

### 5.1 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.

### 5.2 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.

### 5.3 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.

#### 5.4 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.

#### 5.5 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.

### 6 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.

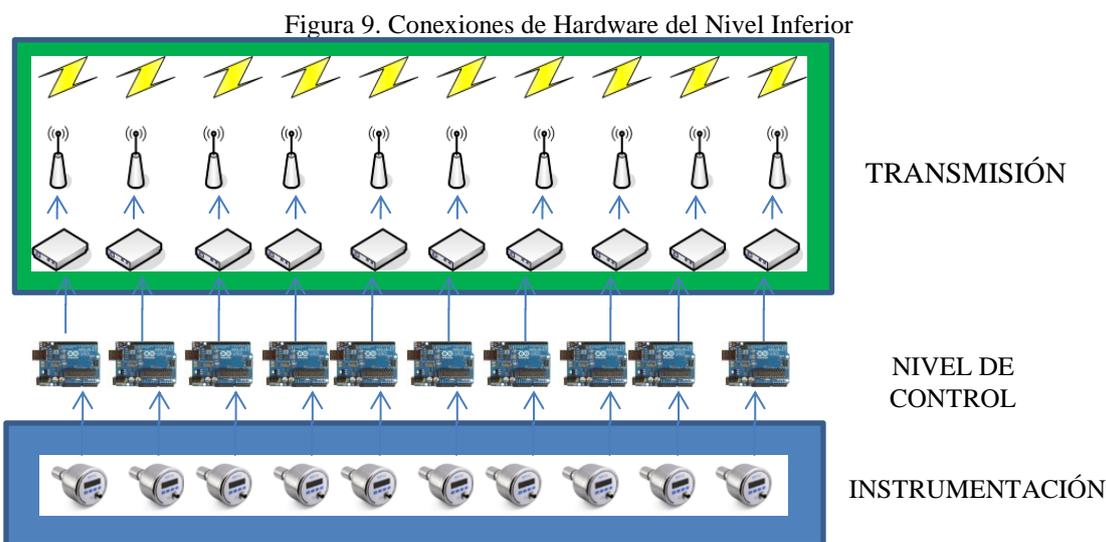
## 7 TECNOLOGÍA ARDUINO

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.

## 8 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE MONITOREO

Para el funcionamiento del Sistema de Monitoreo de Gases Contaminantes. En la figura 9 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.

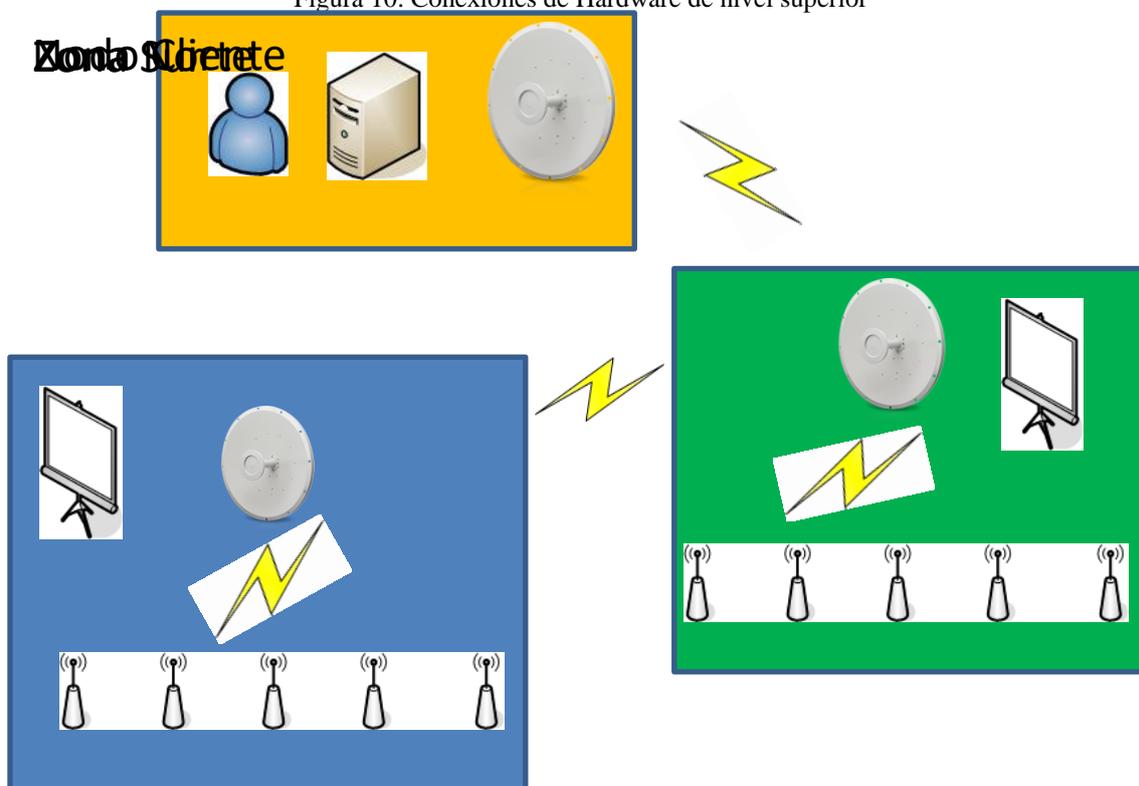


Dicha información que se va desde el microcontrolador vía ethernet hasta un Switch y luego mediante una antena envía los datos para su gestión en una base de datos. Como se nota, el sistema tiene diez nodos en donde se censa, y tiene dos nodos de transmisión puramente. Estos nodos poseen antenas de mayor 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 10.

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 10. 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 las 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.

### 8.1 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 (CO<sub>2</sub>), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>); 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 H<sub>2</sub>S). Para medir CO<sub>2</sub> 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-diagnos 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 interface, 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 CO<sub>2</sub>. Mide de 0 a 5000 ppm.

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

Las características de medición de los sensores son:

**SULPHUR DIOXIDE [SO<sub>2</sub>] (Electrochemical)**

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

Response Time: T<sub>20</sub> ≤ 9 sec | T<sub>50</sub> ≤ 15 sec | T<sub>90</sub> ≤ 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 [NO<sub>2</sub>] (Electrochemical)**

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

**Response Time:** T<sub>50</sub> ≤ 12 sec | T<sub>90</sub> ≤ 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 [H<sub>2</sub>S] (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 [O<sub>2</sub>] (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 [NH<sub>3</sub>] (Electrochemical)**

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

**Response Time:**  $T_{50} \leq 8 \text{ sec}$  |  $T_{90} \leq 36 \text{ sec}$

**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)

## 9 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 6: Conversión de unidades de gases contaminantes

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

## 10 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.

## 11 UBICACIÓN DE LOS SENSORES

La ubicación de los sensores será de 10 en total, es decir o 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 ubicación SANTA CRUZ y el nodo de cliente estará en el alguna entidad pública de Esmeraldas como el Municipio o la Prefectura. La figura 20, 21, 22, 23, 24 y 25 muestran la ubicación de las estaciones en el punto rojo.

Figura 11. Ubicación de los sensores en la ciudad

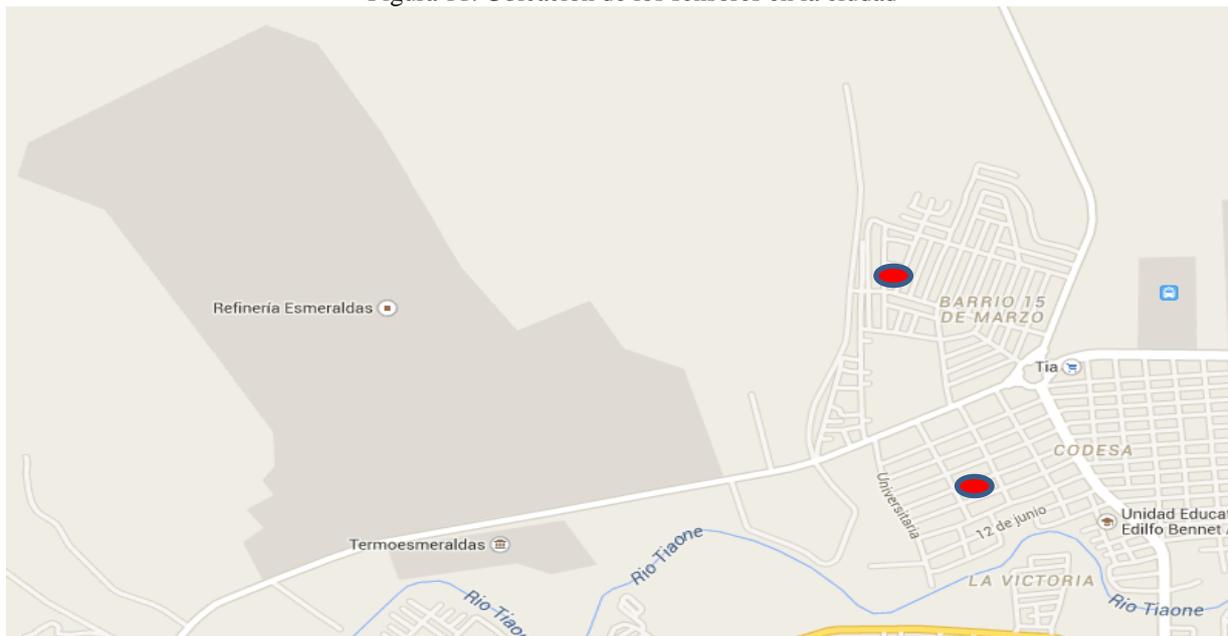


Figura 12. Ubicación de los sensores en la ciudad

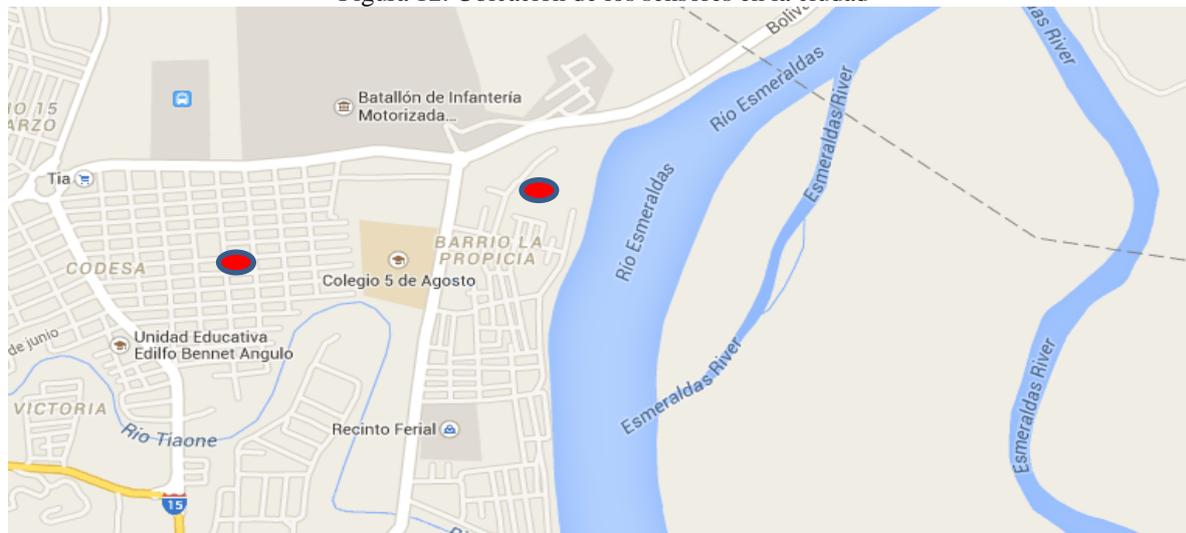


Figura 13. Ubicación de los sensores en la ciudad

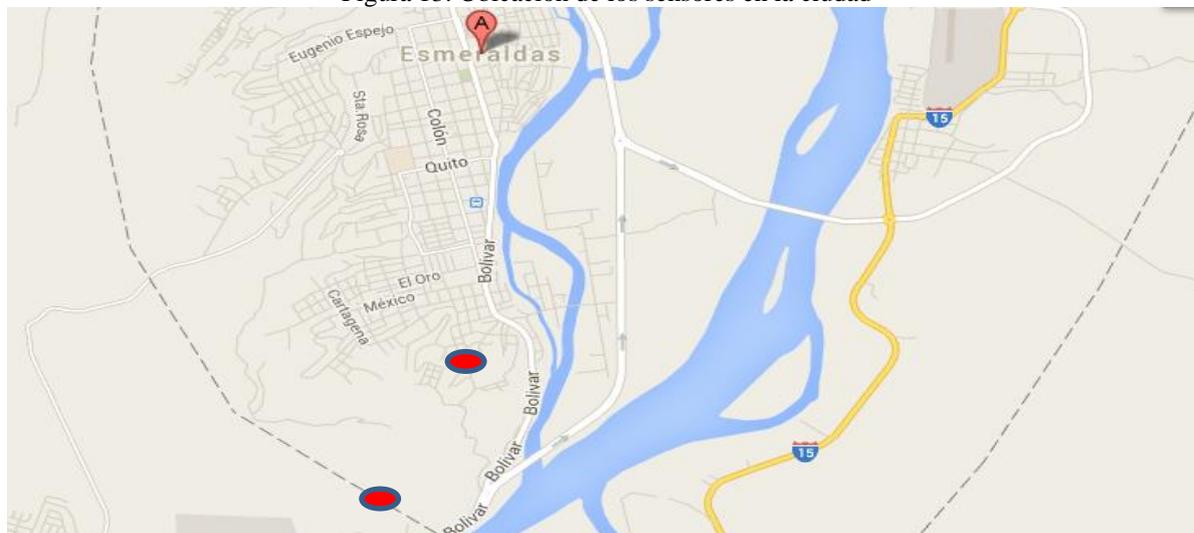


Figura 14. Ubicación de los sensores en la ciudad

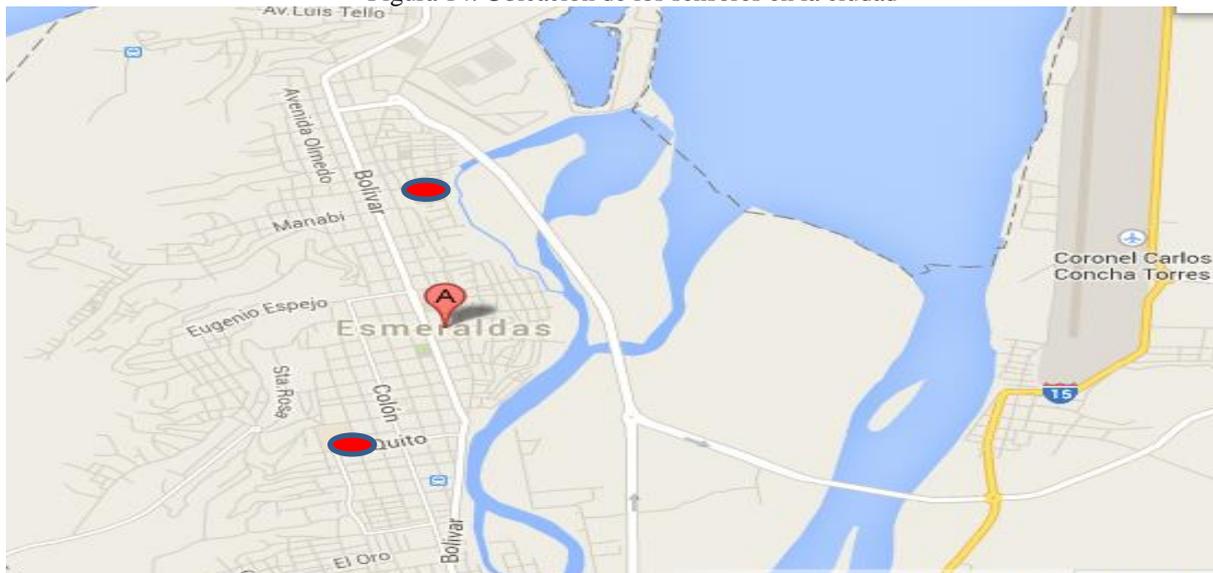


Figura 15. Ubicación de los sensores en la ciudad

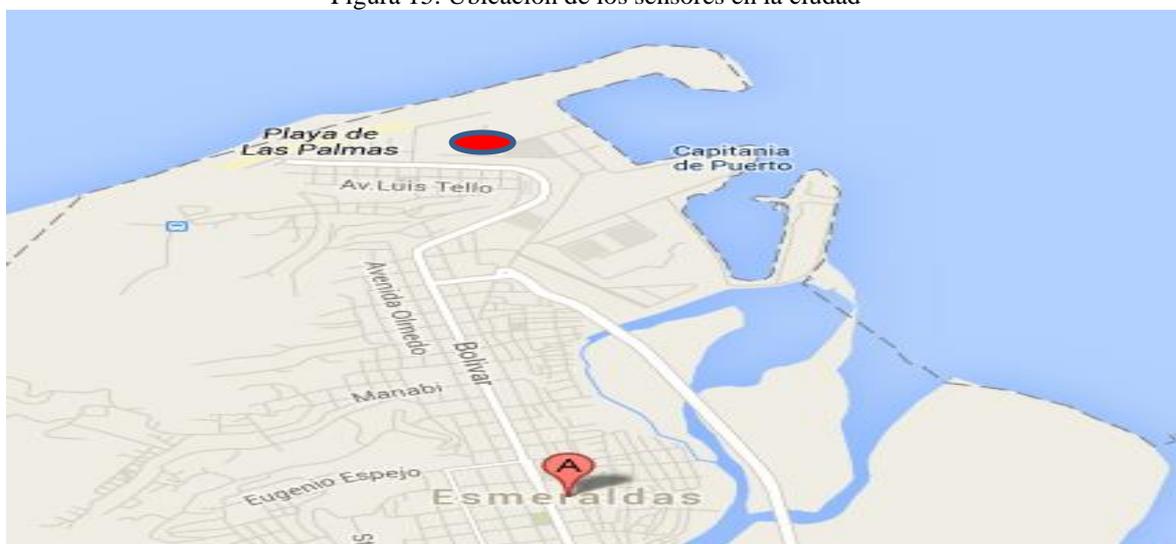


Figura 16. Ubicación de los sensores en la ciudad



## 12 CONCLUSIONES

El sistema de Monitoreo de gases es importante para la ciudad de Esmeraldas, ya que esta es una de las ciudades con mayor cantidad de industrias de generación del país. El diseño presentado es escalable, y en base a tecnología libre. En un primer trabajo se presenta el diseño del sistema como tal, quedando para ocasiones futuras la simulación del mismo mediante el sistema descrito. En la actualidad las fuentes de generación se obligan a tener un sistema de monitoreo continuo de gases, el mismo que puede ser contrastado con la medición distribuida. Finalmente la interconexión existente permite la transparencia de los datos en un tema altamente influenciado por el poder político y de los actores del mismo. Del mismo modo, en un trabajo aparte se procederá a la evaluación de la viabilidad del proyecto.

## REFERENCES

- [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 technoeconomic 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 technoeconomic 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.
- [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 Zablit. *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 active-combination 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 Bartholomeus, and Philippe Le Moigne. Dynamical modeling of li-ion batteries for electric vehicle applications based on hybrid particle swarm–elder–mead (pso–nm) optimization algorithm. *Electric Power Systems Research*, 131(Supplement C):195 – 204, 2016.
- [23] X. Hu, N. Murgovski, L. M. Johannesson, and B. Egardt. Optimal dimensioning and power management of a fuel cell; battery hybrid bus via convex programming. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 20(1):457–468, Feb 2015.
- [24] X. Hu, S. J. Moura, N. Murgovski, B. Egardt, and D. Cao. Integrated optimization of battery sizing, charging, and power management in plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 24(3):1036–1043, May 2016.

- [25] Zhongyue Zou, Junyi Cao, Binggang Cao, and Wen Chen. Evaluation strategy of regenerative braking energy for supercapacitor vehicle. *ISA Transactions*, 55(Supplement C):234 – 240, 2015.
- [26] Ziyu Song, Heath Hofmann, Jianqiu Li, Jun Hou, Xuebing Han, and Minggao Ouyang. Energy management strategies comparison for electric vehicles with hybrid energy storage system. *Applied Energy*, 134(Supplement C):321 – 331, 2014.