

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“Sistema de Monitoreo de Variables
Ambientales Utilizando GPRS”**

POR

Ing. Ángel Alberto Cabrera Lara

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Francisco G. Flores García

ISSN: 0188-9060



RIITEC: (13)-TMCIE-2017

Torreón, Coahuila, México
Junio 2017

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de La Laguna

Torreón, Coah., 21/Junio/2017

Dependencia: DEPI/CPCIE

Oficio: DEPI/CPCIE/064/2017

Asunto: Autorización de impresión
de tesis.

C. Cabrera Lara Angel Alberto
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA.
PRESENTE

Después de haber sometido a revisión su trabajo de tesis titulado:

"Sistema de monitoreo de variables ambientales utilizando GPRS"

Habiendo cumplido con todas las indicaciones que el jurado revisor de tesis hizo, se le comunica que se le concede la autorización con número de registro **RIITEC: (13)-TMCIE-2017**, para que proceda a la impresión del mismo

Resibi original

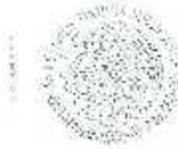
ATENTAMENTE

EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

DR. ARMANDO LONGORIA DE LA TORRE
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
del Instituto Tecnológico de la Laguna

AL
21/7/17





Torreón, Coah., 05/Junio/2017

DR. ARMANDO LONGORIA DE LA TORRE
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Por medio de la presente, hacemos de su conocimiento que después de haber sometido a revisión el trabajo de tesis titulado:

"Sistema de monitoreo de variables ambientales utilizando GPRS"

Desarrollado por el **C. Cabrera Lara Angel Alberto**, con número de control **M1513003** y habiendo cumplido con todas las correcciones que se le indicaron, estamos de acuerdo que se le conceda la autorización de la fecha de examen de grado para que proceda a la impresión de la misma.

ATENTAMENTE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

Dr. Francisco G. Flores García
Acorde/Director de Tesis

Dr. Mario F. J. Cepeda Rubio
Comité Tutorial

M.C. Martín Vázquez Rueda
Comité Tutorial

Dr. Francisco Valdés Perezgasga
Comité Tutorial



Dedicatoria

Dedico este trabajo ante todo a Dios, a mis padres por todo el apoyo mostrado durante el transcurso de estos dos años de maestría. A cada una de las personas que me brindaron su apoyo en este camino. Gracias a todos.

Agradecimientos

Mis Agradecimientos y mi gratitud van para aquellos que hicieron esto posible creyendo en mí y no solo eso, si no también, me dedicaron su tiempo y conocimiento para guiarme en el desarrollo de este proyecto hasta el término del mismo, Por ello agradezco en primera instancia a mi tutor el Dr. Francisco Gracia Flores por brindarme su confianza y apoyo desde el inicio, así como también, agradezco con profundo respeto a MC José Eduardo Mireles y Ing. Roseado de Ávila Ortiz. Gracias a todos.

Resumen

La contaminación ambiental asociada al desarrollo de las sociedades modernas es un problema que se ha incrementado en los últimos años. Principalmente la contaminación del aire debida a los gases que se generan por la actividad humana, tales como, Ozono, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno y Óxidos de azufre ha generado afectaciones en la salud, principalmente por la toxicidad de estos gases en los seres humanos.

El presente proyecto pretende ofrecer una alternativa de medición mediante la implementación de un sistema que registre al menos dos de los gases considerados en las directrices de contaminantes del aire estipulados por la Organización Mundial de la Salud.

Se utilizaron sensores comerciales miniaturizados y las técnicas de instrumentación avanzada para el monitoreo de dichas variables. Se generó un prototipo de nodo de monitoreo de calidad del aire de bajo consumo energético con transmisión inalámbrica del tipo GPRS con lo cual se puede abrir el ámbito de monitoreo hasta los equipos de telefonía celular.

La generación de estos prototipos ofrece las ventajas de menor costo, portabilidad para fijarse en cualquier punto, compatibilidad con los sistemas de comunicación actuales, mínimo consumo de energía, interfaces amables para los usuarios y una base de datos histórica disponible.

Palabras clave: Calidad del aire, GPRS, interfaz computacional.

Abstract

The environmental pollution associated with the development of modern societies is a problem that has increased in recent years. Mainly air pollution due to the gases generated by human activity, such as ozone, Carbon Monoxide, Oxides of Nitrogen and Oxides of sulfur has generated effects on the health, mainly by the toxicity of these gases in humans.

This project aims to offer an alternative measurement through the implementation of a system that will record at least two of the gases considered in the guidelines of air pollutants stipulated by the World Health Organization.

Commercial miniaturised sensors were used and the techniques of advanced instrumentation for the monitoring of these variables. A node prototype of air quality monitoring of low energy consumption with GPRS wireless transmission of the type with which you can open the scope of monitoring to the cellular telephone equipment.

The generation of these prototypes offers the advantages of lower cost, portability for fixed at any point, compatibility with current communication systems, minimum energy consumption, interfaces kind for users and a database of available historical data.

Keywords: Air Quality, GPRS, computer interface.

Índice

Generalidades

Dedicatoria	1
Agradecimientos	2
Resumen	3
Abstract	4
Índice	5
Índice de Tablas	7
Índice de figuras	8
Capítulo I	8
Introducción	
1.1 Introducción	8
1.2 Objetivo general	8
1.3 Objetivos Específicos	8
1.4 Justificación	12
Capítulo II	14
Fundamento Teórico de Calidad del Aire	
2.1 Introducción a la Calidad del Aire	14
2.2 Conceptos Generales	14
2.3 Principales Clases de Contaminantes del Aire	16
2.3.1 Partículas (PST y PM10)	16
2.3.2 Monóxido de Carbono	17
2.3.3 Óxidos de Nitrógeno	18
2.3.4 Plomo	18
2.4 Efectos de la contaminación del Aire	20

Capítulo III	22
Elementos de la red de Calidad del Aire	
3.1 Red inalámbrica de sensores.....	22
3.1.1 Topología de la red WSN	23
3.1.2 Componentes de un nodo WSN.....	24
3.2 Comunicaciones GPRS.....	25
3.2.1 Introducción histórica a GPRS.....	25
3.2.2 Protocolo GPRS	27
3.2.3 Identificador del protocolo GPRS	27
3.2.4 Arquitectura de la red GPRS	28
3.3 Sensor MQ-135.....	30
3.4 Módulo GPRS SIM908.....	32
3.4.1 Características del SIM908.....	32
Capítulo IV	34
Desarrollo	
4.1 Metodología	34
4.2 Diseño de la tarjeta para red de calidad de aire.....	34
4.3 Algoritmo de configuración para la lectura del Sensor MQ135.....	38
4.4 Algoritmo para el módulo SIM900.....	41
Capítulo V	46
5.1 Resultados.....	46
5.2 Instalación de nodos GPRS.....	48
Capítulo VI.....	50
6.1 Conclusiones.....	50
6.2 Referencias	51

Índice de figuras.

Figura.....	Página
Figura. 1	Nodo Sensor 22
Figura. 2	Topologías de la Red 23
Figura. 3	Componentes de la Red 25
Figura. 4	Transmisión de datos de la red 27
Figura. 5	Elementos de la Red GPRS 28
Figura. 6	Diagrama de sensor MQ-135 30
Figura. 7	Sensor MQ-135 31
Figura. 8	Curva Característica del sensor MQ-135 32
Figura. 9	Modulo SIM908 32
Figura 10.-	Tarjeta de Prueba. 35
Figura 11.-	Esquemático 36
Figura 12.-	Circuito impreso..... 37
Figura 13.-	Tarjeta finalizada..... 37
Figura 14.-	Código para la lectura del sensor..... 38
Figura 15.-	Configuración de registros del ADC..... 39
Figura 16.-	"uart.h"..... 40
Figura 17.-	Funciones de Configuración UART..... 41
Figura 18.-	Algoritmo del archivo header para SIM900..... 42
Figura 19.-	Algoritmo principal del proyecto..... 44
Figura 20.	Software Hércules..... 45
Figura 21.	Interfaz Serial del programa..... 46
Figura 22.	Servidor Raspberry pi 47
Figura 23	Ubicación del nodo sensor..... 48
Figura 24	Segunda ubicación del nodo sensor..... 48

Capítulo I Introducción

1.1 Introducción

Hoy en día nos encontramos en una situación de riesgo a causa de la contaminación de la atmósfera, provocada por la acumulación de gases en la misma; un primer efecto nocivo es que estos retienen el calor cerca de la superficie lo que ha ocasionado el aumento de la temperatura de todo el planeta en el último siglo. En consecuencia, se ha incrementado el nivel del mar y ha provocado el cambio climático a nivel mundial, que representa una amenaza para todos los seres vivos [1]. El segundo efecto tiene la misma inferencia ya que se refiere a los efectos sobre la salud de la población que ocasionan estos gases "contaminantes" [2].

El aire que respiramos todos los días, está conformado principalmente por nitrógeno y oxígeno, y en pequeñas porciones por vapor de agua y dióxido de carbono. Sin embargo, diversas actividades humanas como el uso masivo del transporte viejo e ineficiente, ocasionan la emisión a la atmósfera de gases, polvos, humos y especialmente partículas que alteran su composición y que además tienen serios impactos en el ambiente y en la salud de las personas, de los animales e incluso de la vegetación.

Dos son los tipos más importantes de contaminantes:

1. Los que se emiten directamente a la atmósfera resultado de un proceso de combustión. Se denominan también contaminantes primarios, como son el dióxido de azufre (SO_2), el monóxido de carbono (CO), vapores de combustibles y solventes, plomo (Pb) y las partículas suspendidas (PM).

2. Una vez que estos contaminantes son lanzados a la atmósfera pueden reaccionar con otros contaminantes con igual toxicidad, lo que se conoce como contaminantes secundarios, como el ozono (O_3), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y algunos otros tipos de partículas [3].

Debido a estos efectos y al hecho de que la generación de gases es inherente al

desarrollo de las sociedades se han formado grupos de expertos internacionales que se preocupan por establecer medidas y monitorear las concentraciones de estos gases. El concepto de "Calidad del aire" se introduce en el vocabulario para dar una indicación de cuanto está exento el aire de polución atmosférica y por lo tanto ser apto para ser respirado [4].

Directrices de la Organización Mundial de la Salud sobre la calidad del Aire

Estas directrices ofrecen orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes claves de la atmósfera que entrañan riesgos sanitarios. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM_{10}) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire.

Las Directrices se aplican en todo el mundo [5] y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales concernientes a:

- Partículas (PM)
- Ozono (O_3)
- Dióxido de nitrógeno (NO_2) y
- Dióxido de azufre (SO_2), en todas las regiones de la OMS.

Las Partículas Suspendidas

Las partículas más perjudiciales para la salud son las de 10 micras de diámetro, o menos ($\leq PM_{10}$), que pueden penetrar y alojarse en el interior profundo de los pulmones. La exposición crónica a las partículas agrava el riesgo de desarrollar cardiopatías y neumopatías, así como cáncer de pulmón.

Generalmente, las mediciones de la calidad del aire se notifican como concentraciones medias diarias o anuales de partículas PM_{10} por metro cúbico (m^3) de aire. Las mediciones sistemáticas de la calidad del aire describen esas concentraciones de PM expresadas en microgramos (μg)/ m^3 . Cuando se dispone de instrumentos de medición suficientemente sensibles, se notifican también las concentraciones de partículas finas ($PM_{2.5}$ o más pequeñas).

En la salud, la contaminación con partículas conlleva efectos sanitarios incluso en muy bajas concentraciones; de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud. Por consiguiente, los límites de la directriz de 2005 de la OMS se orientan a lograr las concentraciones de partículas más bajas posibles. En las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire se estima que una reducción media anual de las concentraciones de partículas (PM_{10}) de 70 microgramos/ m^3 , común en muchas ciudades en desarrollo, a 20 microgramos/ m^3 , permitiría reducir el número de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. Sin embargo, incluso en la Unión Europea, donde las concentraciones de PM de muchas ciudades cumplen los niveles fijados en las Directrices, se estima que la exposición a partículas de origen antropogénico reduce la esperanza media de vida en 8,6 meses.

OZONO

El ozono a nivel del suelo —que no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera superior— es uno de los principales componentes de la niebla tóxica. Éste se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes de las emisiones de vehículos o la industria y los compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos por los vehículos, los disolventes y la industria. Los niveles de ozono más elevados se registran durante los periodos de tiempo soleado.

En la Salud: El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares. Actualmente se trata de uno de los contaminantes atmosféricos que más preocupan en Europa. Diversos estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan un 0,3% y un 0,4% respectivamente con un aumento de 10 $\mu g/m^3$ en la concentración de ozono.

DIOXIDO DE NITRÓGENO

Como contaminante atmosférico, el NO_2 puede correlacionarse con varias actividades:

- Como contaminante atmosférico, el NO_2 puede correlacionarse con varias

actividades: En concentraciones de corta duración superiores a 200 mg/m^3 , es un gas tóxico que causa una importante inflamación de las vías respiratorias

- Es la fuente principal de los aerosoles de nitrato, que constituyen una parte importante de las $\text{PM}_{2.5}$ y, en presencia de luz ultravioleta, del ozono.
- Las principales fuentes de emisiones antropogénicas de NO_2 son los procesos de combustión (calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos y barcos).

En la salud: Estudios epidemiológicos han revelado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en relación con la exposición prolongada a este gas. La disminución del desarrollo de la función pulmonar también se asocia con las concentraciones de NO_2 registradas (u observadas) actualmente en ciudades europeas y norteamericanas.

DIOXIDO DE AZUFRE

El SO_2 es un gas incoloro con un olor penetrante que se genera con la combustión de fósiles (carbón y petróleo) y la fundición de menas que contienen azufre. La principal fuente antropogénica del SO_2 es la combustión de fósiles que contienen azufre usados para la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos a motor.

En la salud: SO_2 puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; asimismo, aumenta la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio. Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO_2 son más elevados. En combinación con el agua, el SO_2 se convierte en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida que causa la deforestación.

Se establecen los valores de las directrices según la OMS tal como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 - Valores límites establecidos como directrices por la OMS [6]

	PM _{2.5}	PM ₁₀	O ₃	NO ₂	SO ₂
Media anual	10	20		40	
Media (hrs.) µg/m ³	25 (24 hrs.)	50 (24 hrs.)	100 (8 hrs.)	200 (1 hrs.)	20 (24 hrs.) 500 (10 min.)

En esta tabla se establecen los límites que se consideran inocuos por promedio de exposición o por lapsos de tiempo prolongado. De aquí se desprende que concentraciones normales pero constantes provocan afecciones tales como las concentraciones altas en periodos de tiempo cortos.

1.2 Objetivo General

Medir concentraciones de dos variables distintas relacionadas con la calidad del aire, en el área del Tecnológico de la Laguna, mediante nodos electrónicos y tecnologías de transmisión modernas.

1.3 Objetivos Específicos

- Diseñar nodos sensores basados en microcontroladores del tipo PIC.
- Seleccionar el sensor adecuado para medir las ppm de los gases contaminantes, de acuerdo a sus especificaciones o características.
- Configurar el módulo celular SIM900 para la transmisión de los datos del sensor, mediante los comandos AT requeridos.

1.4 Justificación

El desarrollo de este sistema prototipo (nodos sensores) de medición de calidad del aire aportará una alternativa de comparación adicional a los esfuerzos realizados por las instancias gubernamentales y sociales, ofreciendo la robustez de los circuitos electrónicos de última tecnología en cuanto a procesamiento y comunicaciones añadiendo la adaptabilidad a los sistemas modernos de comunicación que son utilizados en telefonía satelital. La experiencia de la línea de investigación en el diseño de equipos de medición de variables y transmisión remota (plasmado en diseños de prototipos anteriores de medición) hacen viable la realización

del mismo. El campo experimental de muestreo es idóneo ya que las instalaciones se encuentran cerca de la empresa metalúrgica más importante del país.

El impacto en el ámbito de la salud se verá reflejado cuando la colaboración con organismos del sector salud arroje análisis de sintomatología en ciertas poblaciones respecto de las concentraciones del gas en la zona. Estas colaboraciones esperadas impactarán en la formación de recursos humanos de alto nivel en ciencia y tecnología, dando mayores índices a nuestra institución y aumentando la productividad de los miembros existentes.

El impacto tecnológico es de suma relevancia, ya que al diseñar e implementar sistemas de instrumentación y monitoreo por expertos mexicanos y con recursos propios se acortará el gran margen de desarrollo tecnológico que existe entre México y otros países, de donde siempre son adquiridos los equipos que se utilizan en estos proyectos. Esto se traduce en prestigio institucional, regional y nacional al igual que disminuye el costo de mantenimientos y reparaciones por personal experto extranjero.

Capítulo II Calidad del Aire

2.1 Introducción a la Calidad del Aire

La calidad del aire en Coahuila es una preocupación permanente, ya que los signos más evidentes de la disminución en su calidad, como la menor visibilidad y el incremento en las molestias y enfermedades asociadas a la contaminación, son ya cotidianos en los principales centros urbanos del estado y los coahuilenses en general perciben como grave, debido a lo evidente de este tipo de contaminación.

Sin embargo, más allá de ver el aire sucio, es necesario evaluar de manera cuantitativa su calidad, a través de la medición de los niveles en los que se presentan, tanto espacial como temporalmente. Estas mediciones al ser comparadas con normas nacionales e internacionales pueden determinar si la calidad del aire es satisfactoria o no, y en este último caso establecer programas de control acordes con la severidad del problema [6].

2.2 Conceptos Generales

¿Qué es Contaminación del Aire?

Puede definirse como la presencia en la atmósfera de uno o más elementos en cantidad, suficiente, de características o permanencia tales que causen efectos indeseables en el ser humano, las plantas, la vida animal o las construcciones o monumentos o que interfieran con el esparcimiento del ser humano. Estos elementos pueden ser polvos, emanaciones, olores, humos o vapor [7].

¿Cuáles son las fuentes de contaminación del aire?

Las fuentes de contaminación de origen humano se clasifican en cuatro grupos principales:

- Transporte: vehículos de motor, aviones, trenes, barcos y el consecuente manejo de los combustibles que utilizan.
- Combustión estacionaria: hogares, comercios, energía industrial, incluyendo termoeléctricas.
- Procesos industriales: químicos, metalúrgicos, refinerías, papeleras, etc.
- Otros: quemas agrícolas, basureros, incendios, fugas, derrames, etc.

¿Cómo se clasifican los contaminantes del aire?

Por su origen, los contaminantes pueden clasificarse como primarios o secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera (óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, hidrocarburos, monóxido de carbono, entre otros). Los contaminantes secundarios se forman en la atmósfera por reacciones fotoquímicas, por hidrólisis o por oxidación (ozono, nitrato de peroxiacetilo, etc) [8].

Por el estado de la materia en el que se encuentran se clasifican como partículas o como gases. Las partículas son sólidos y líquidos finamente divididos que pueden sedimentar, incluyen polvo, humo y cenizas. Los gases que incluyen también a los vapores, muchas veces son invisibles y a veces no se detectan con el sentido del olfato. Algunos de los contaminantes gaseosos más comunes son el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los óxidos de azufre.

A diferencia de las partículas, los gases no sedimentan sino que tienden a permanecer en la atmósfera, a transformarse en compuestos más simples o más complejos o a formar parte de los ciclos biogeoquímicos [9].

¿Qué es el monitoreo Atmosférico?

Se define como monitoreo atmosférico a todas las metodologías diseñadas para el muestreo, análisis y procesamiento de la información en forma continua acerca de las concentraciones de sustancias o contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado.

Su importancia radica en:

- a) Formular los estándares de calidad del aire.
- b) Llevar a cabo estudios epidemiológicos que relacionen los efectos de las concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud.
- c) Especificar tipos de fuentes emisoras
- d) Llevar a cabo estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales.
- e) Desarrollar programas para el manejo de la calidad del aire, se requiere una base de datos que aporte información para realizar de todos estos estudios que se genera a partir del monitoreo atmosférico.

2.3 Principales Clases de Contaminantes del aire

2.3.1 Partículas (PST y PM10)

Definición:

Cualquier material sólido o líquido dividido finamente, que puede ser visible o invisible. El material particulado forma una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. El tamaño del material particulado varía desde 0.005 hasta 100 micras (10⁻⁶) de diámetro aerodinámico, esto es, desde unos cuantos átomos hasta el grosor de un cabello humano.

Ejemplos:

Polvo, humo, gotitas de petróleo, berilio, asbesto.

Fuentes:

Las fuentes de emisión de las partículas al ambiente pueden ser naturales o antropogénicas. Las fuentes naturales incluyen tormentas de arena, actividad volcánica, incendios forestales, suelos erosionados, plantas y flores, microorganismos, desperdicios de animales. Las fuentes de partículas en ambientes urbanos pueden ser automóviles, autobuses, barcos, camiones de carga y equipo de construcción, así como hornos, plantas generadoras de energía e industrias [10].

Efectos:

Visibilidad disminuida; efecto del humo y polvo sobre la salud humana, enfermedades crónicas del sistema respiratorio; asbestosis; envenenamiento con plomo; suciedad de la casa y ropa; destrucción de la vida vegetal y la agricultura; efectos sobre el clima.

Regulación:

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto a partículas menores de 2.5 micras ($PM_{2.5}$) es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-025-SSA1-1993; para PM_{10} en la norma NOM-025-SSA1-1993; y para PST en la norma NOM-025-SSA1-1993.

2.3.2 Monóxido de Carbono

Definición:

Gas incoloro, inodoro, venenoso más ligero que el aire, producido por la combustión incompleta del carbón de los combustibles.

Fuentes:

El monóxido de carbono se forma en la naturaleza mediante la oxidación del metano (CH_4), que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La principal fuente antropogénica de monóxido de carbono son las fuentes estacionarias que queman combustibles; fuentes móviles que queman combustibles (motores de combustión interna, principalmente motores de gasolina) [11].

Efectos:

Pueden ser mortales en un tiempo corto en áreas cerradas; reacciona con la hemoglobina en la sangre, evitando la transferencia de oxígeno (el coeficiente de equilibrio para el CO en la hemoglobina es 210 veces el del oxígeno).

Regulación:

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al monóxido de carbono (CO) es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-021-SSA1-1993.

2.3.3 Óxidos de Nitrógeno

Óxidos de Nitrógeno (principalmente NO_2)

Definición:

Siete óxidos de nitrógeno: NO , NO_2 , NO_3 , N_2O , N_2O_4 , N_2O_5 . El trabajo sobre la contaminación del aire se refiere al NO y NO_2 , óxido nítrico y dióxido de nitrógeno. Ambos son gases incoloros [12]. Concentraciones excesivas en el aire ocasionan un color pardusco debido a la absorción de la luz en el área azul-verde del espectro. El dióxido de nitrógeno (NO_2), junto con las partículas suspendidas son los responsables de la capa café-rojiza que se puede ver con frecuencia sobre muchas áreas urbanas. [13]

Fuentes:

Producidos al quemar combustible a temperaturas muy altas a partir del nitrógeno del aire. También son producidos a partir del nitrógeno del carbón y los aceites pesados: grandes generadores de energía eléctrica, grandes calderas industriales, motores de combustión interna (vehículos automotores), plantas de ácido nítrico.

Efectos:

Visibilidad reducida; irritación en la nariz y los ojos, edema pulmonar, bronquitis y

neumonía; reaccionan con compuestos orgánicos volátiles bajo la influencia de la luz solar para formar el ozono, nitratos de peroxiacilo y smog. El ozono y el nitrato de peroxiacilo son oxidantes poderosos que actúan como irritantes severos para los ojos, la nariz y la garganta y ocasionan ruptura en el caucho, las pinturas, los textiles y dañan la vida de las plantas.

Regulación:

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al bióxido de nitrógeno (NO_2) en México es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-023-SSA1-1993. [14]

2.3.4 Plomo

Definición:

Un metal pesado con peso molecular de 207.

Fuentes:

La combustión del plomo de combustibles, pinturas basadas en plomo, tubería que contiene plomo, acumuladores almacenados. La fuente primaria de contaminación del aire por plomo ha sido el uso de combustibles con plomo en los automóviles. Debido a que el plomo no se consume en el proceso de combustión, se emite como material articulado [15].

Efectos:

Ataca el sistema nervioso central con daño neurológico consecuente. No se puede eliminar fácilmente del organismo.

Regulación:

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al plomo (Pb) es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-026-SSA1-1993.

2.4 Efectos de la contaminación del aire

El principal impacto de la contaminación del aire es el que tiene sobre la salud humana.

El patrón de exposición de una persona a un contaminante depende de tres factores principales:

- El tiempo que una persona pasa en diferentes micro ambientes como la casa, la oficina, la calle o el microbús;
- La concentración del contaminante en cada micro ambiente;
- Y la cantidad de aire que se inhala, la cual depende de la actividad realizada.

El ozono es un gran irritante para el sistema respiratorio, que produce tos, flema, dolor al respirar e inflamación en el tejido pulmonar, reduciendo la capacidad respiratoria, disminuye también la capacidad mucociliar, lo que debilita las defensas naturales del aparato respiratorio. Las enfermedades respiratorias son más frecuentes en niños expuestos al ozono. El ozono daña los textiles, los colorantes y el caucho [16]. El ozono es una amenaza significativa para las verduras frondosas, los cultivos, los arbustos, los frutales y los árboles de los bosques. Los oxidantes fotoquímicos, ozono y nitratos de peroxiacilo causan irritación de los ojos y ataques de asma y afectan a las personas sanas mientras hacen ejercicio.

El monóxido de carbono sustituye al oxígeno en la sangre y hace más lenta las reacciones. Esto es causa de una carga más pesada sobre el corazón, los pulmones, la tiroides y la capacidad mental [17]. Las emisiones de CO en un área cerrada pueden causar la muerte por insuficiencia cardíaca o sofocación, ya que la absorción de CO se incrementa con la concentración en el ambiente, con el aumento en el tiempo de exposición y con el incremento de la actividad física.

La exposición a bajos niveles de CO, también pueden causar un daño a la salud cuando las personas están bajo medicación, consumen bebidas alcohólicas o se encuentran en lugares altos.

Algunos tipos de hidrocarburos son tóxicos, otros no y muchos de ellos no presentan un

potencial significativo para afectar la salud en forma adversa. Los hidrocarburos aromáticos son agentes cancerígenos potenciales [18].

Capítulo III Elementos de la red de calidad de aire

3.1 Red Inalámbrica de sensores.

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red inalámbrica que consiste en dispositivos distribuidos espaciados autónomos utilizando sensores para monitorear condiciones físicas o ambientales. Un sistema WSN incorpora un gateway que provee conectividad inalámbrica de regreso al mundo de cables y nodos distribuidos Figura 1. El protocolo inalámbrico que seleccione depende en los requerimientos de la aplicación. Algunos de los estándares disponibles incluyen radios de 2.4 GHz basados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 (Wi-Fi) o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 Mhz [19].



Figura 1 Nodo Sensor

Ingenieros han creado aplicaciones WSN para diferentes áreas incluyendo cuidado de la salud, servicios básicos y monitoreo remoto. En el cuidado de la salud, los dispositivos inalámbricos vuelven menos invasivo el monitoreo a pacientes y posible el cuidado de la salud. Para servicios básicos como electricidad, alumbrado público y ayuntamientos de agua, los sensores inalámbricos ofrecen un método de bajo costo para un sistema de recolección de datos saludable que ayuden a reducir el uso de energía y mejor manejo de recursos [20]. El

monitoreo remoto cubre un amplio rango de aplicaciones donde los sistemas inalámbricos pueden complementar sistemas de cable reduciendo costos de cableado y permitiendo nuevos tipos de aplicaciones de medición. Aplicaciones de monitoreo remoto incluyen:

- Monitoreo ambiental de aire, agua y suelo
- Monitoreo estructural para edificios y puentes
- Monitoreo industrial de máquinas
- Monitoreo de procesos
- Seguimiento de activos

3.1.1 Topologías de Red WSN

Los nodos WSN están típicamente organizados en uno de tres tipos de topologías de red. Topología de estrella, cada nodo se conecta directamente al gateway. Topología de árbol, cada nodo se conecta a un nodo de mayor jerarquía en el árbol y después al gateway, los datos son ruteados desde el nodo de menor jerarquía en el árbol hasta el gateway. Finalmente, para ofrecer mayor confiabilidad, las redes tipo malla, la característica de esta topología es que los nodos se pueden conectar a múltiples nodos en el sistema y pasar los datos por el camino disponible de mayor confiabilidad. En enlace malla es referido como un ruteador

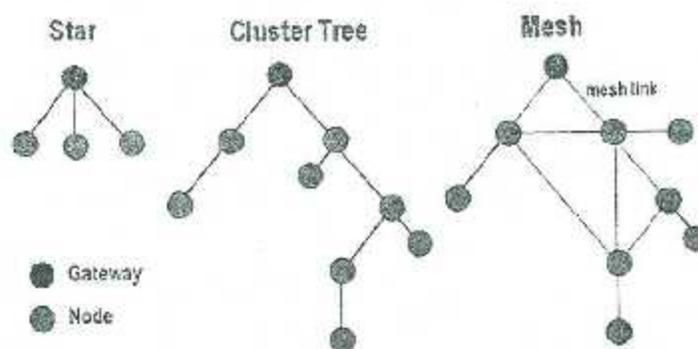


Figura 2. Topologías de una red.

3.1.2 Componentes de un nodo WSN

Un nodo WSN contiene varios componentes técnicos. Estos incluyen el radio, batería, microcontrolador, circuito analógico y una interfaz a sensor. En sistemas alimentados con batería, altas tasas de datos y uso frecuente de radio consumen mayor energía. A menudo es un requerimiento tres años de vida de una batería, así que hoy en día muchos de los sistemas WSN están basados en ZigBee debido al bajo consumo de potencia. Debido a que la tecnología de vida de la batería y manejo de potencia están en constante desarrollo y debido al ancho de banda IEEE 802.11 disponible, WiFi es una tecnología interesante [21].

La segunda consideración tecnológica para los sistemas WSN es la batería. En adición con los requerimientos de larga vida, usted debe considerar el tamaño y el peso de las baterías así como los estándares internacionales para envío de baterías y disponibilidad de baterías. El bajo costo y la gran disponibilidad de carbón zinc y baterías alcalinas las hacen una opción común.

Para extender la vida de la batería, periódicamente un nodo WSN se enciende y transmite datos alimentándose del radio y posteriormente apagándose para conservar energía. La tecnología de radio WSN debe eficientizar la transmisión de una señal y permitir al sistema regresar al modo sleep con un uso mínimo de energía. Esto significa que el procesador involucrado debe ser capaz de despertar, encenderse y volver a sleep de manera eficiente [22]. La tendencia del microprocesador para WSN incluye la reducción de consumo de energía mientras mantiene o incrementa la velocidad de procesador. Parecido a su opción de radio, la compensación de consumo de energía y velocidad de procesamiento es clave al seleccionar procesador para WSN. Esto hace a la arquitectura x86 una opción difícil para dispositivos alimentados con batería.

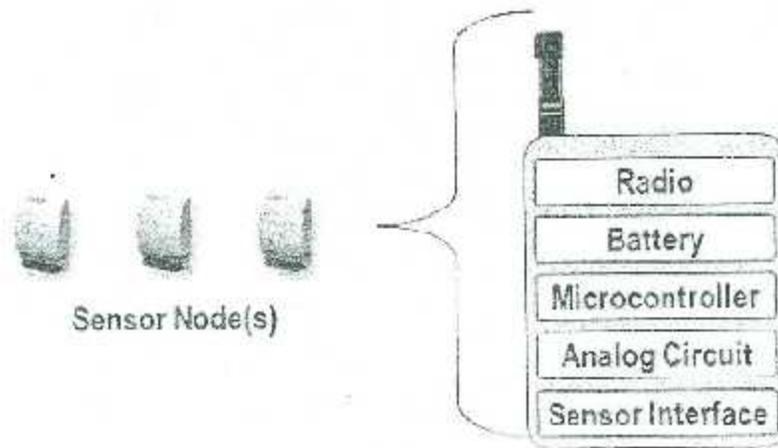


Figura 3. Componentes de la red

3.2 Comunicación GPRS.

3.2.1 Introducción histórica a GPRS

En la década de los noventa, las redes de telefonía móvil se encontraban en su Segunda Generación. Ésta se caracterizaba por usar sistemas digitales, frente a los analógicos que se venían usando hasta ese momento. Se conseguía de esta forma mejorar la calidad de la señal de voz y dar la posibilidad de transmitir paquetes de datos. El estándar que se impuso en Europa, y sigue usándose en la actualidad, es GSM (Global System for Mobile communications) [23].

La red GSM preveía unos servicios de transmisión de datos desde su fase inicial. Sin embargo, se trataba de servicios con modalidad de transferencia por conmutación de circuitos. Esto quiere decir que la red, una vez establecida la conexión física entre dos usuarios, dedicaba los recursos propios hasta que no fuera solicitada expresamente la liberación de la conexión, independientemente del hecho de que los dos usuarios se intercambiaran datos o no durante todo el proceso de conexión.

Este modo de transferencia es adecuado para las señales de voz, ya que mantener los recursos ocupados durante todo el proceso de intercambio de información facilita el tráfico de

señales sensibles a retardos. Sin embargo, no es adecuado para la transmisión de paquetes de datos [24].

Las características de la tecnología GSM para el envío de datos inalámbricos desde cualquier lugar y en cualquier momento son las siguientes:

- Velocidad de transferencia de 9,6 Kbps.
- Tiempo de establecimiento de conexión entre 15 y 30 segundos.
- Pago por tiempo de conexión.

La baja velocidad de transferencia limita la cantidad de servicios que Internet nos ofrece.

La modalidad de transferencia basada en conmutación de circuitos solo es óptima en el caso en que los dos usuarios tengan que intercambiarse una cantidad significativa de datos (transferencia de ficheros o archivos). Resulta ineficiente en cuanto los datos a intercambiarse son de pequeña entidad o bien, en el caso más frecuente, el tráfico de datos es de tipo interactivo o transitorio, es decir, el tiempo de uso efectivo de los recursos de la red supone sólo una pequeña parte con respecto al tiempo total de conexión (como, por ejemplo, la navegación en Internet a través del World Wide Web) [25].

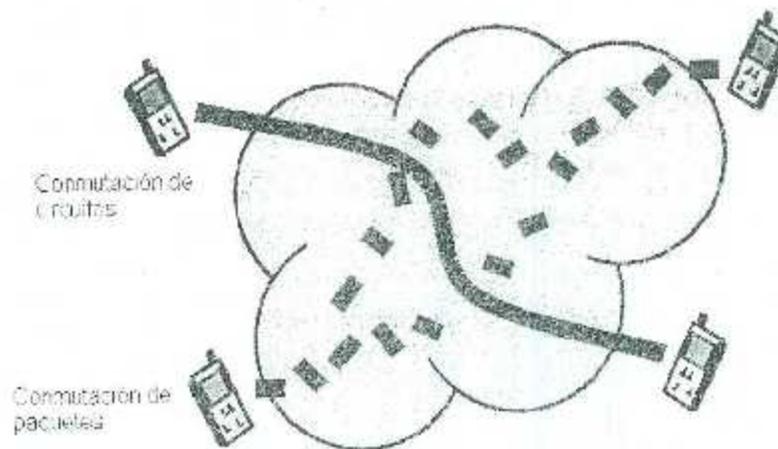


Figura 4. Transmisión de datos de la red

3.2.2 Protocolo GPRS

El protocolo GPRS es un protocolo de nivel tres, transparente para todas las entidades de red comprendidas entre el terminal móvil y el nodo SGSN al que el móvil está conectado. Este protocolo soporta tanto el intercambio de informaciones de control como de paquetes PDP-PDU (Packet Data Protocol - Protocol Data Unit) entre el móvil y el nodo al que se encuentre conectado [26].

El formato de una trama GPRS contiene los siguientes campos:

- Identificador del protocolo GPRS.
- Identificador del protocolo de los PDU (identificador de PDP).
- Mensaje GPRS.

3.2.3 Identificador del protocolo GPRS

El identificador del protocolo GPRS es una información numérica cuyo objetivo es el de distinguir las ráfagas (los burst) que contienen paquetes GPRS, de las ráfagas que contienen información GSM.

El nodo de soporte GSN (Gateway Support Node) de GPRS es el elemento principal de la infraestructura. Existen dos tipos de nodos GSN: unos de entrada (Serving GPRS Support Node, SGSN), que proporcionan conectividad a las BSC de GSM y otros de salida (Gateway GPRS Support Node, GGSN) [28], que interconectan el sistema con redes de datos externas. Estos routers pueden proporcionar la conexión y la intercomunicación con otras redes de datos, pueden administrar la movilidad de los usuarios a través de los registros de GPRS y son capaces de entregar los paquetes de datos a las estaciones móviles, independientemente de su posición. Físicamente los GSN pueden estar integrados en el MSC (Mobile Switching Center) o pueden ser elementos separados de la red.

Otro nuevo nodo que añade GPRS al sistema GSM es el BG (Border Gateway), que es necesario principalmente por razones de seguridad y está situado en la conexión con la red.

Las redes troncales Inter-PLMN e Intra-PLMN también son elementos nuevos y están basadas en redes IP. Una PLMN (Public Land Mobile Network) es una red de telefonía móvil.

Además, aparecen unas nuevas gateways en el sistema GPRS, las CG (Charging Gateway) troncal (backbone) Inter-PLMN. Mediante él se pueden intercambiar datos con otras PLMNs (Public Land Mobile Network).

Otros nodos que constituyen una novedad en la red son los firewalls o barreras de seguridad, cuya misión es proteger a la red de accesos no deseados, pues en GPRS los nodos tienen direcciones IP y son, por tanto, susceptibles de ataques externos. Los sistemas GSM actuales fueron diseñados originariamente para las llamadas de voz, en tanto que el principal objetivo de GPRS es ofrecer acceso a las redes de datos estándar tanto con TCP/IP como con X.25. Esas redes consideran la red GPRS como una subred normal. El GGSN se comportará como un encaminador (router) y ocultará las características específicas de la red GPRS a las redes de datos externas [29].

3.3 Sensor MQ-135

Los sensores de gas de la serie MQ son sensores analógicos por lo que son fáciles de implementar con cualquier microcontrolador [30].

Estos sensores son electroquímicos y varían su resistencia cuando se exponen a determinados gases, internamente posee un calentador encargado de aumentar la temperatura interna y con esto el sensor pueda reaccionar con los gases provocando un cambio en el valor de la resistencia. El calentador dependiendo del modelo puede necesitar un voltaje entre 5 y 2 voltios, el sensor se comporta como una resistencia y necesita una resistencia de carga (R_L) para cerrar el circuito y con este hacer un divisor de tensión y poder leerlo desde un microcontrolador:

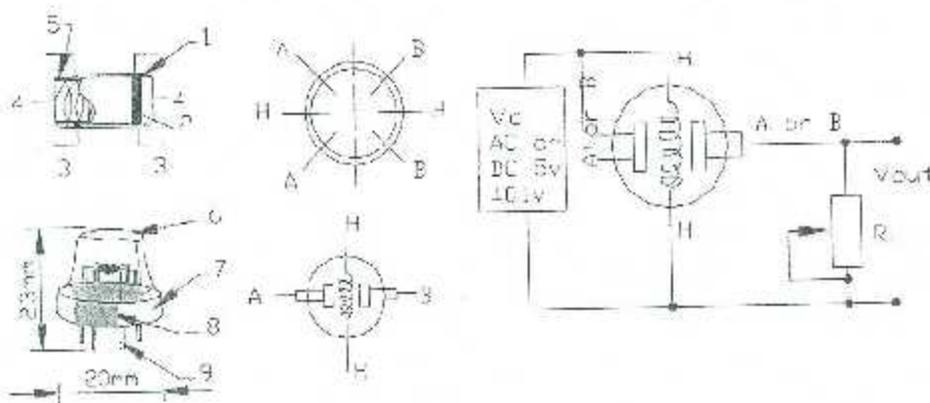


Figura 6. Diagrama de sensor MQ-135

Debido al calentador es necesario esperar un tiempo de calentamiento para que la salida sea estable y tenga las características que el fabricante muestra en sus datasheet, dicho tiempo dependiendo del modelo puede ser entre 12 y 48 horas.

La diferencia entre los distintos tipos de sensores MQ es la sensibilidad a cierta gama de gases, más sensibles a algunos gases que a otros, pero siempre detectan a

más de un gas, por lo que es necesario revisar los datasheet para escoger el sensor adecuado para nuestra aplicación.

Se utilizan en equipos de control de calidad del aire para edificios y oficinas, son adecuados para la detección de NH_3 , NO_x , alcohol, benceno, humo, CO_2 , etc.

Este último sensor es sensible en similar proporción a los gases mencionados, con lo que podemos determinar si el aire está limpio.



Figura 7. Sensor MQ-135

A continuación se muestra la curva característica del sensor MQ-135, donde la ordenada significa relación de resistencia del sensor (R_s/R_o) y la abscisa la concentración de los gases. R significa la resistencia a diferentes gases, R_o significa resistencia del sensor al Cl_2 50 ppm. La curva característica del sensor es logarítmica [30].

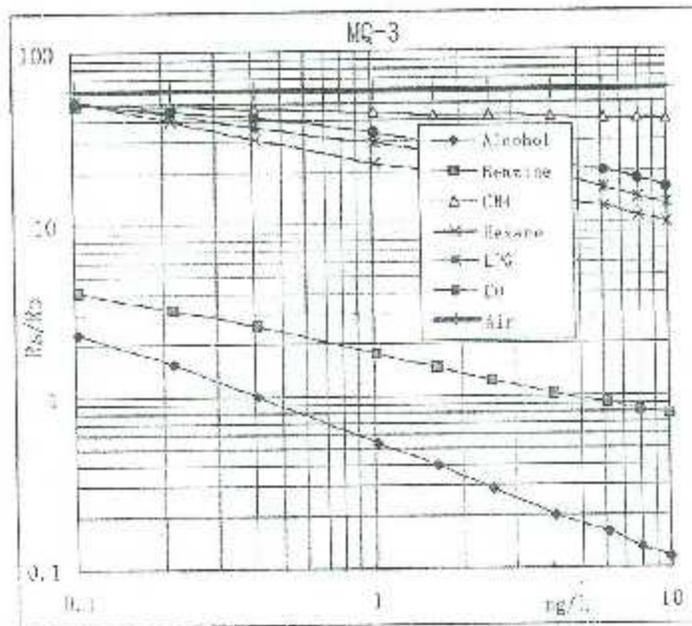


Figura 8. Curva característica del sensor MQ-135.

3.4 Características del SIM908

El módulo es un integrado con un alto rendimiento el cual incluye un módulo GSM/GPRS de cuatro bandas que trabaja en las frecuencias GSM 850 Mhz, EGMS 900 Mhz, DCS 1800 Mhz y PCS 1900 Mhz. El GPRS del SIM908 es multi-slot clase 10 / clase 8 y soporta el esquema de codificación GPRS CS - 1, CS - 2, CS - 3 y CS - 4 [31].

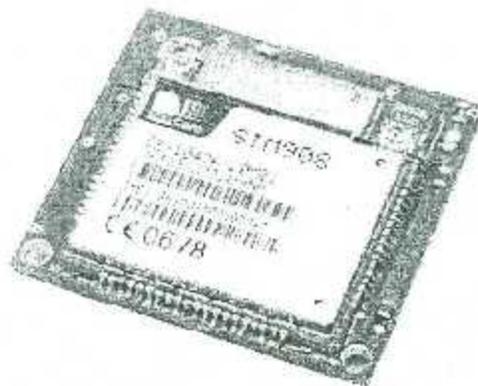


Figura 9. Módulo SIM908.

El módulo SIM908 cuenta con un puerto serial para comunicarse con un microcontrolador o un transceptor RDS232 tipo MAX232.

Este puerto serial cuenta con las siguientes cualidades:

- Puerto serial asíncrono con líneas de estado y control.
- Velocidades desde 1200bps a 115200bps.
- El puerto puede ser usado para comandos AT o tramas de datos.
- Soporta control de flujo por hardware (RTS/CTS) y software (XON/XOFF).
- Soporta auto detección de velocidad desde 1200bps a 57600bps.

La comunicación entre el módulo y el microcontrolador es a través de comandos AT. El conjunto de comandos AT es una combinación del GSM07.05, GSM07.07, los comandos AT desarrollados por SIMCom [32].

Capítulo IV Desarrollo

4.1.- Metodología.

El diseño de la red celular GPRS está basado en una arquitectura distribuida, por lo cual cada nodo tiene la capacidad de comunicarse con otros y poder enviar la información al Gateway, es decir, a la tarjeta electrónica con los dos protocolos de comunicación empleados. El diseño de cada tarjeta electrónica se realizó en el software llamado KiCad. La tarjeta electrónica cuenta con la parte de adquisición de los datos, así como también la transmisión de los mismos por medio del módulo SIM900.

La adquisición de datos empieza desde la lectura del sensor MQ-135, la cual es enviada al PIC18LF45K22 por medio de la salida analógica del sensor. Una vez recibida la lectura del sensor se procesa la información con el algoritmo desarrollado tanto para convertir la lectura en PPM (partes por millón), así como para su transmisión a la tarjeta de desarrollo Raspberry pi2. La transmisión entre el PIC18LF44K22 y el módulo SIM900 se realiza a través del módulo UART con el que cuenta el propio PIC18LF44K22.

4.2.- Diseño de la tarjeta para red de calidad de aire.

Antes de diseñar la tarjeta electrónica las pruebas se llevaron a cabo con los módulos en una protoboard, con la ventaja de manipular de mejor manera cada uno de los dispositivos electrónicos (PIC, MODULO, etc.). En la figura 10 podemos observar el modelo de prueba de la tarjeta electrónica.

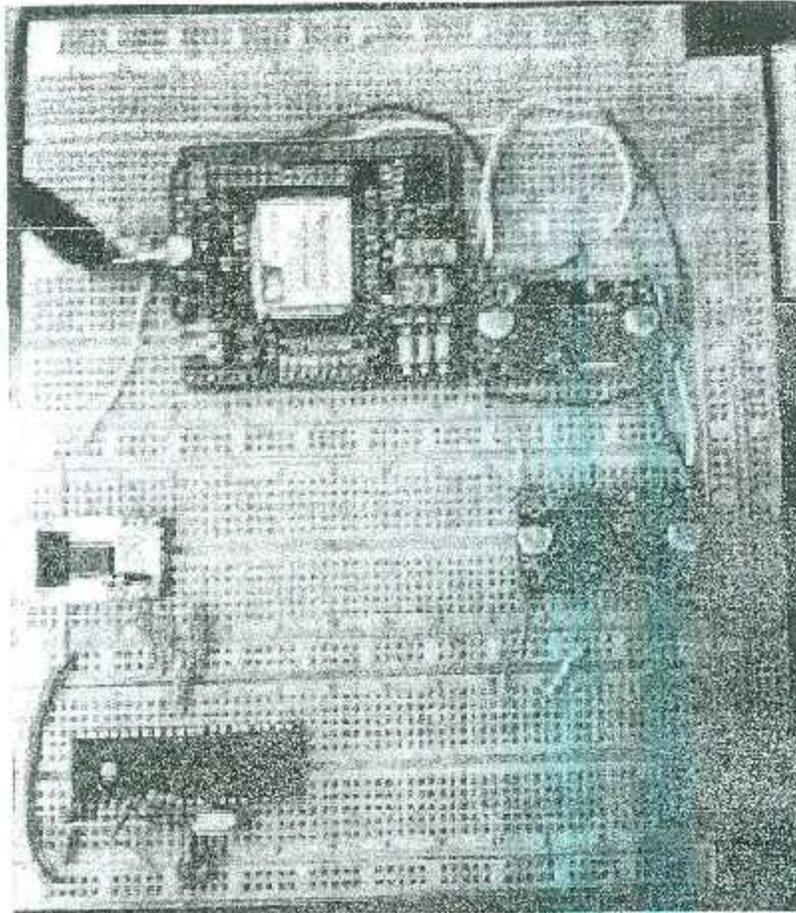


Figura 10.- Tarjeta de Prueba.

El diseño y elaboración de la tarjeta electrónica con los dos protocolos de comunicación se realizó en el software llamado "KiCad". Para llevar a cabo este proceso como primera etapa se diseña el esquemático del circuito, en la Figura 11 se describe visualmente.

En la cual se selecciona o se diseña el dispositivo dependiendo si este se encuentra en las librerías del programa. Una vez seleccionado los dispositivos, se empatan los pines de cada uno, por ejemplo, entradas y salidas, alimentación de cada uno (fuentes), tierras comunes, líneas de transmisión, así como también, se realizan los circuitos de configuración de cada uno si así lo requiere.

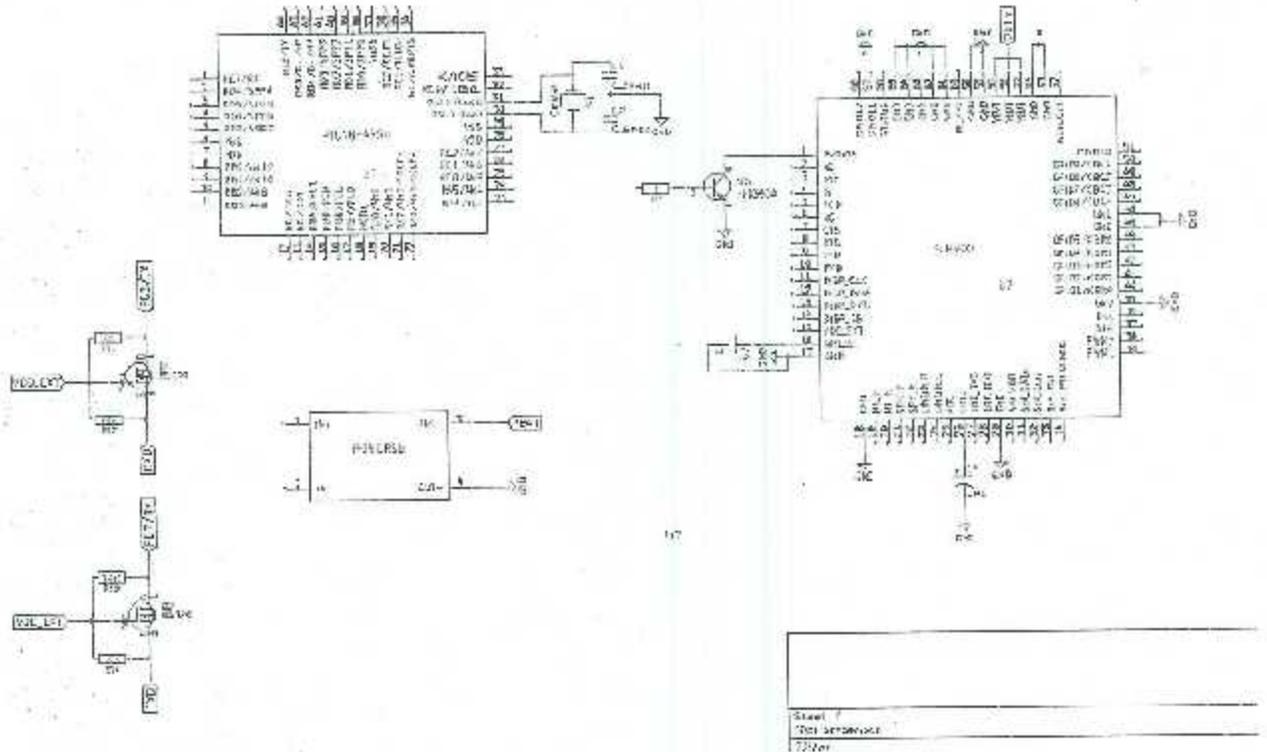


Figura 11.- Esquemático

Una vez diseñado el esquemático se generó el circuito impreso de la tarjeta, el punto primordial de esta etapa es acomodar y rutear cada elemento de manera óptima para la tarjeta aprovechando las dimensiones dadas por el programa. En la Figura 12 se observa el circuito impreso de la tarjeta.

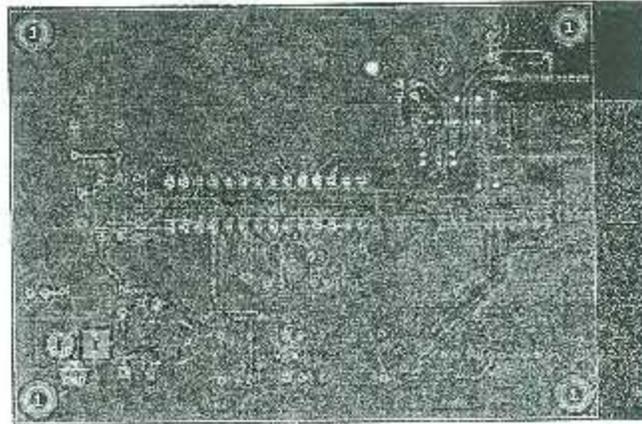


Figura 12.- Circuito impreso.

En la Figura 13 se muestra la etapa final de la tarjeta, donde el circuito impreso fue estampado en una baquelita de cobre y se fueron soldando los dispositivos reales del circuito. En este punto se realizaron pruebas de continuidad de cada una de las pistas y del circuito completo una vez soldado.

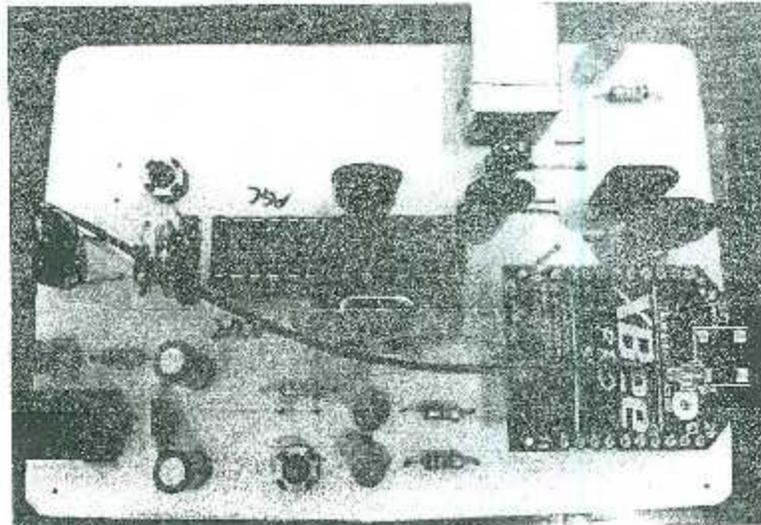


Figura 13.- Tarjeta finalizada.

4.3.- Algoritmo de configuración para la lectura del Sensor MQ135.

Se configura el ADC del PIC18LF44K22, para tomar las lecturas del sensor, para así, procesar la información por medio diferentes ecuaciones hasta obtener las PPM (partes por millón) del gas calibrado. A continuación se presenta el algoritmo generado para este propósito [Figura 14].

```

while(1){
    if (leer){
        leer = 0;

        datoAde = ADC_GetConversion(channel_ADC);

        res = adc_getresistencia(datoAde, MQ135_FULLDOWNRES);

        mq135_ro = mq135_getro(res, MQ135_DEFAULTPPM);

        ppm = mq135_getppm(res, MQ135_DEFAULTPPM);

        if((checkNetworkRegistration() == OK) && (checkGPRS_connection() == OK)){
            setTCP/IP_modeApp(TRANSPARENT_MODE);
            if((setAPN(apn)) == OK) && (bringUpWirelessConnection() == OK){

                /*Establece la conexión TCP con la IP y número de Puerto*/
                if(TCPUDP_startConnection(TCP, ipAddress, port) == OK){
                    while(contador-- != 0){ /*Mientras se lee que a 0
                        d = mq135_getppm(res, mq135_ro);

                        sprintf(MessageBuffer, "PPM = %d\r\n", d);
                        TCPUDP_sendData(MessageBuffer, TRANSPARENT_MODE); /*Envía el
                        delay_ms(2000);
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

Figura 14.- Código para la lectura del sensor.

MPLAB XC8 es el programa de desarrollo que se seleccionó para desarrollar y compilar el algoritmo, a su vez, programar el PIC18LF44K22 con el algoritmo.

Se generó un archivo ".h" dentro del mismo proyecto, el cual contiene la configuración de los registros del ADC y de la UART [Figura 15]:

```

#include <avr.h>
#include <ada.h>

...

Section: ADC Module APIs

void ADC_Initialize(void)
{
    // set the ADC to the settings selected in the User Interface

    // Software stop: ADC enabled: ONP EN0;
    ADSCON0 = 0x01;

    // DITHER CODE: INT0P0 VREF: AVCC16 VREF;
    ADSCON1 = 0x00;

    // ADTH align: ADSCF 00; ADSCF F00000;
    ADSCON2 = 0xED;

    // ADRESL 0;
    ADRESL = 0x00;

    // ADRESH 0;
    ADRESH = 0x00;
}

```

Figura 15.- Configuración de registros del ADC.

```
#ifndef USART_H
#define USART_H

#include <stdbool.h>
#include <stdint.h>

#define CLOCK_FREQ 64000000
#define GetSystemClock() CLOCK_FREQ

#define UART_ENABLE    RCSTAbits.SPEN

#define UART_TRISTX    TRISCbits.TRISC6
#define UART_TRISRX    TRISCbits.TRISC7
#define UART_Tx        PORTCbits.RC6
#define UART_Rx        PORTCbits.RC7

/*
// Use following only for Hardware Flow Control
#define UART_DTS    PORTBbits.RB9
#define UART_DSR    LACDbits.LA1D7
#define UART_RTS    LATBbits.LA1B4
#define UART_CTS    RCSTAbits.RC14
```

Figura 16.- "uart.h"

```

void putsUSART( char *data){
do { // Transmite a byte
while(IKSTALbits.TRMT == 0);
USART_putcUSART(*data);
} while( *data++ );
}

void getsUSART(char *buffer, unsigned int len)
{
char i; // Length counter
unsigned char data;
uint16_t timeOut = 1000000;

for(i=0;i<len;i++) // Only receive len characters
{
while(PIRbits.RCIF == 0){
timeOut--;
if(timeOut == 0){
return; //if timeout llega a 0 sale de la función getsUSART
}
}
data = USART_getcUSART(); // Get a character from the USART
// and save it to the string
*buffer = data;
buffer++; // Increment the string pointer
}
}

```

Figura 17.- Funciones de Configuración UART.

4.4 Algoritmo para el módulo SIM900.

Como se vio en el capítulo anterior el Módulo SIM900 trabaja con comandos AT, los cuales son transmitidos al módulo a través de la UART del PIC18LF44k22, los comandos AT son definidos en un archivo tipo cabecera junto con las funciones creadas para la transmisión y recepción de estos. Se crean funciones tanto para comparar los comandos, así como también para dar el comando respuesta de acuerdo a cada comando AT.

En la Figura 18 se muestran las funciones de la SIM900, a su vez, los comandos AT utilizados para la transmisión y recepción del módulo.

```

#define GPRS_STAT_INDEX 14
void sim900Init();
//void delay_ms(long int);
uint8_t checkNetworkRegistration(void);
bool checkGPRSConexion(void);
void SIM_ON(void);
void sendSIM_Command( uint8_t *command);
void sendSMS(uint8_t *cellNumber, uint8_t *message);
void send_ATCommand( uint8_t *command, uint8_t *value);
uint8_t processReceivedSMS(const uint8_t *message, const uint8_t *statParam);
uint8_t readSMS(uint8_t *index);
uint8_t setAPN(uint8_t *apn);
uint8_t checkGPRS_connection(void);
uint8_t TCPUDP_startConnection(uint8_t *mode, uint8_t *ip_address, uint8_t *port);
uint8_t TCPUDP_sendData(const uint8_t *data, int tcpip_appMode);
uint8_t TCPUDP_closeConnection(void);
uint8_t setTCPPIP_modeApp(int tcpip_appMode);
void TCPUDP_quitDataMode(void);
uint8_t TCPUDP_cipShut(void);
uint8_t call(uint8_t *cellNumber);

uint8_t IP_app_setAPN_GPRS(uint8_t *apn);
uint8_t IP_app_openGPRS_Context(void);
uint8_t IP_app_queryBearer(void);
uint8_t IP_app_closeGPRS_context(void);
uint8_t HTTP_Init(void);
uint8_t HTTP_setBearerProfile(void);
uint8_t HTTP_setURL(uint8_t *url);

```

Figura 18.- Algoritmo del archivo header para SIM900.

En la Figura 19 se muestra el código principal del algoritmo donde se integra el código del sensor MQ135, la interrupción de 15 minutos (el tiempo de cada lectura del sensor será de 15 minutos) y el código del Módulo SIM900.

El código cuenta con una bandera que cambia de estado pasando el tiempo de 15 minutos, en ese instante se habilita o entra de un ciclo el cual contiene las ecuaciones para realizar la conversión de resolución a PPM (partes por millón). También cuenta con una serie de condiciones, las cuales inicializan la etapa de comunicación hacia el módulo GPRS, dentro

de la cual se encuentran los comandos de transmisión los cuales nos permiten mandar los datos hacia la tarjeta Raspberry pi2.

```
#include "system.h"
#include "pin.h"
#include "wiringPi.h"
#include "Adafruit_GCS_I2C.h"

#define VREF 3.3 //Vcc de sensor DS18B20
#define RESOLUTION 1024 //1024 de bits para 12bits de DS18B20

const uint8_t pin(23) = "/dev/gpiochip0/gpio0-line23";
const uint8_t i2cAddress(16) = "0x48";
const uint8_t port(5) = "/dev/gpiochip0/gpio0-line5";

// Definición de variables
uint8_t MessageBuffer[30];
uint8_t contador;
float temperatura; //variable donde almacenar el valor de temperatura de temperatura

int dataOut;
char strData[20];
long read, write, read = 0;
double d;

// Inicialización
volatile int count = 0;
volatile int leer = 0;

float convert_ADValueToVoltage(void)

void interrupt isr(void)
{
    if(INTCONbits.INT0IF == 1)
    {
        if(contador > 5000)
        {
            LATBbits.LATB5L = 1;
            count = 0;
            leer = 1;
        }
        TMR0L = 0x00;
        TMR0H = 0x3C;
        INTCONbits.INT0IF = 0;
    }
}
```

```

void main(void) {

    SYSTEM_Initialize();
    SYSTEM_Initializee();
    ADC_SelectChannel(0);

    SYSTEM_ON();
    sim900Init();
    contador = 20;

while(1){
    at („leer“);

    leer = 0;

    datoAde = ADC_Conversion(channel_A0);

    res = mdm_getresistance(datoAde, MD135_FULLCONVRES);

    md135_id = md135_getid(res, MD135_DEFAULTID);

    res = mdm_getppp(res, MD135_DEFAULTPP);

    if((!checkNetworkRegistration() == CR) || (!checkPPRS_connection() == CR) ||
        !tcpDF_mdmApp(MDM_COMMAND_MODE);
        !!(setATNApp() == CR) || !(bringUpWirelessConnection() == CR)){

        // Despliega la conexión PPRS para la IP y el puerto de destino
        if(!tcpDF_startConnection(PRS, ipAddress, port) == CR){
            contador = 0; // Se resetea el contador de intentos
        }

        id = md135_getppp(res, MD135_ID);

        sprintf(MessageBuffer, "IDM = %d\\%d\\%d", id);
        tcpDF_sendData(MessageBuffer, MD135_PACKET_SIZE); // Envía los datos al servidor de destino
        delay_ms(2000);

        //
        tcpDF_getDataMdm(); // Obtiene el dato de destino
        tcpDF_closeConnection(); // Despliega la conexión TCP
    }
}
}

```

Figura 19.- Algoritmo principal del proyecto.

Capítulo V Resultados

5.1 Resultados

La interfaz final del proyecto se realizó en conjunto con otro proyecto, desarrollada en HTML5, buscando como característica principal un acceso sencillo, rápido y con mayor cobertura. Se diseñó una web donde se puede consultar la información a través de cualquier navegador o Smartphone.

Debido al planteamiento anterior se realizaron las capturas de las lecturas por medio de interfaces seriales con programas auxiliares como el Hércules (Figura 20). Este programa nos permite configura fácilmente los puertos de la PC y un servidor TCP.

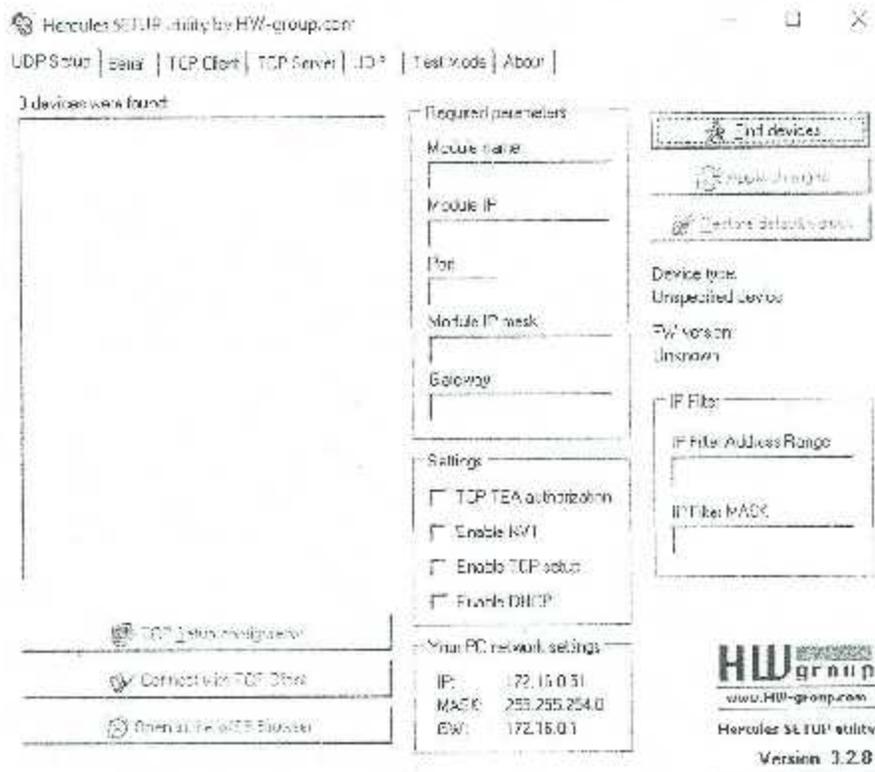


Figura 20. Software Hércules.

5.2 Instalación de nodos GPRS.

La ubicación de los nodos sensores se definió de tal manera de poner a prueba el protocolo de comunicación GPRS y su cobertura, teniendo esto en cuenta se instaló primeramente en la parte norte-este del Instituto Tecnológico de la Laguna, en la parte de arriba de la azotea de una caseta de vigilancia, pues favorecen la medición de CO_2 por tener una altura de 3m. En la figura 20 se puede observar la ubicación del módulo instalado.

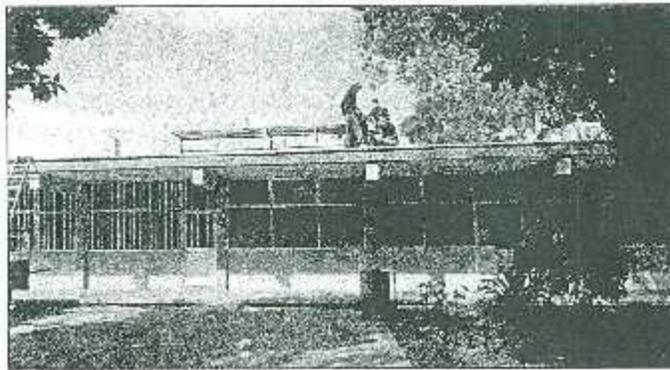


Figura 23. Ubicación del nodo de transmisión.

La segunda instalación de prueba se llevó a cabo fuera de las instalaciones del Instituto Tecnológico de la Laguna, el nodo sensor se instaló en una residencia ubicada en el ejido ANA prolongación carretera Torreón-San Pedro, tomando como característica la distancia de esta ubicación con el Instituto Tecnológico de la Laguna. En la figura 21 se puede observar la ubicación del módulo instalado.

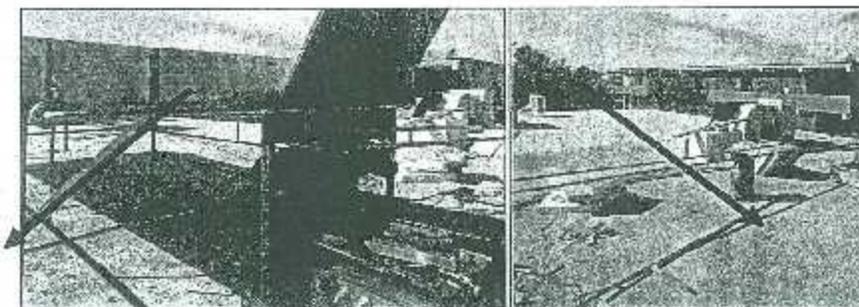


Figura 24. Segunda ubicación del nodo de transmisión.

Se debe aclarar la tarjeta Raspberry pi se encontró en todo momento en una ubicación al exterior del Instituto Tecnológico de la Laguna, debido a problemas con los puertos requeridos para enlazarnos de la tarjeta SIM a la Raspberry PI. Por medio de los modem de infinitem fuimos capaces de hacer una conexión estable y eficaz.

Capítulo VI Conclusiones

6.1.- Conclusiones.

Una de las características del sensor es la variedad de gases a los que se puede calibrar el sensor (MQ-135), es decir, su curva característica, esto también genera una dificultad debido a que el rango en su curva característica es más sensible, esto al ponerlo en la ecuación de conversión a partes por millón deberá ser también más específico.

El MQ-135 es un sensor de gran capacidad, por ello se requiere tener mayor ajuste en su calibración, desafortunadamente no se probó o busco la referencia de otros sensores, aunque no hay tanta variedad de estos. Aun así se calibro el CO₂ con la mayor precisión según las referencias y estándares tomados.

La etapa de comunicación GPRS es una fuerte ventaja para la transmisión de la información, siendo que, podemos transmitir largas distancias, en proyectos anteriores nos vimos limitados en el rango de transferencia de datos, no solo por la distancia si no por estructuras que interrumpían la señal.

El algoritmo del GPRS requiere de pruebas de estrés llevándolo a que tenga diferentes fallos para mejorar su transmisión, aunque, en las diferentes pruebas realizadas su funcionamiento fue óptimo. Permitiendo enfocarnos en otras áreas del proyecto.

La medición de dióxido de carbono se comporta estable en un valor de 300 ppm hasta cerca de la 1:00 p. m. y alcanza un valor de 519 ppm alrededor de las 3.00 p. m. En la ubicación donde se instalaron los nodos, dentro del Instituto Tecnológico de la Laguna en el laboratorio de Máquinas Eléctricas e Instrumentación.

La instalación de los módulos se hizo cuidando la altura de 3 metros sobre el nivel de piso, teniendo dos ubicaciones cercanas (50 metros), una encima del laboratorio de máquinas eléctricas e instrumentación y el otro provisionalmente sobre la barda que divide el Tecnológico con la colonia Luis Echeverría, ya que una de las intenciones es monitorear el área cercana a

una escuela primaria federal para que auxilie en el análisis de las afectaciones a los menores que estudian en dicha escuela.

6.2 Referencias.

1. IPCC, Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad; 5° Informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático; GTII (2014).
2. Informe Anual 2013, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, febrero de 2014 (www.unep.org/annualreport/2013, consultada el 02/02/2015)
3. Contaminación atmosférica; Erenesto Martínez Ataz y Yolanda Díaz de Mera Morales. Universidad de Castilla-La Mancha. 2004.
4. Review of the National Ambient Air Quality Standards; EPA-452/R-07-007; Julio 2007.
5. Organización Mundial de la Salud (OMS); Calidad del aire (exterior) y salud; Nota descriptiva No. 313; marzo 2014.
6. Gestión Integral de calidad del aire y RETC <http://www.sema.gob.mx/SGA-MONITOREO-CLASES.htm>.
7. Informe de Evaluación Periodo 2010-2011: Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Región de la Comarca Lagunera 2010-2015 (2012)
8. Evaluación costo-efectividad del programa U005 Seguro Popular, Centro de Investigaciones y Docencia Económicas, Secretaría de Salud, 2010
9. 4° Reporte de calidad del aire en la región Lagunera, Facultad de Ciencias Biológicas de Torreón, SSSA Gobierno del Municipio de Torreón, 2012.
10. JÜRGEN FALBE: Römpf Chemie-Lexikon, 9ª edición, 4º vol. (1991)
11. CMS, 2006: Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.
12. ERNST DAHLKE: Der Ozon-Ratgeber (The Ozone Guide), Südwest. (1994)
13. Vlachokostas, Ch., Natis, SA, Achillas, Ch. et al. 2010. Economic damages of ozone air pollution to crops using combined air quality and GIS modelling. *Atmospheric Environment*. 44:3352-3361.
14. DAR/BUND. Summer, Sund and... Ozone 05.93
15. WHO, 2013, Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical report, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2013.
16. WHO, 2008, Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2008.
17. VDI 4300, Parte 1ª, borrador: Medida de la contaminación en interiores/Aspectos generales de la estrategia de las mediciones. 19895.
18. Chen, C., Zhao, B., Weschler, Ch.J., 2012, 'Assessing the Influence of Indoor Exposure to 'Outdoor Ozone' on the Relationship between Ozone and Short-term Mortality in U.S. Communities' *Environmental Health Perspectives*. (120/2) 235-240.
19. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España, (1991).

20. CRAPO, J.; MILLER, E.J.; MOSSMAN, B.; PAYAR, W.A.; KILEY, J.P. Environmental lung diseases. Relationships between acute inflammatory responses to air pollutants and chronic lung disease. *Am. Rev. Respir. Dis.* 145: 1506-1512. 1992.
21. KOREN, H.S.; DEVLIN, R.B.; GRAHAM, D.E.; MANN, R.; Mc GEE, M.R.; HORSTMAN, D.H.; KOZUMBO, W.J.; BECKER, S.; HOUSE, D.H.; Mc DONNELL, W.; BROMBERO, R.A. Ozone-induced inflammation in the lower airways of human subjects. *Am. Rev. Respir. Dis.* 139: 407-415. 1989.
22. FANTONE, J.C.; WARD, E.A. III. Mechanisms of lung parenchymal injury. *Am. Rev. Respir. Dis.* 130: 484-491. 1984.
23. HAMMER, D.I.; HASSELBLAD, V.; PORTNOY, B.; WEHRLE, E.F. Los Angeles student nurse study. *Arch. Environ. Health* 28: 255-260. 1974.
24. KAGAWA, J.; TOYAMA, T. Photochemical air pollution. *Arch. Environ. Health*, 30: 117-122. 1975.
25. SCHMITZBERGER, R.; RHOMBERG, K.; BÜCHELE, H.; PUCHEGGER, R.; SCHMITZBERGER-NATZMER, D.; KEMMLER, O.; PANOSCH, B. Effects of air pollution on the respiratory tract of children. *Pediatric Pulmonology* 15: 68-74. 1993.
26. BATES, D.V. Ozone - myth and reality. *Environ. Res.* 50: 230-237. 1989.
27. BATES, D.V.; SIZTO, A. The Ontario Air Pollution Study: Identification of the causative agent. *Environ. Health Perspect.* 79: 69-72. 1989.
28. STRÓM, U.; ALFREDSSON, L.; MALMFORS, I.; SELROOS, O. Ozone: causation and aggravation of lung diseases. *Indoor Environ.* (3): 69-78. 1994.
29. GARAI, I. Programa piloto de vigilancia epidemiológica activa para la medición del impacto en salud de la contaminación atmosférica. III Jornadas de Sanidad Ambiental. 1996.
30. Technical Data MQ135 Gas Sensor, 338: 199-203. 1991.
31. SIM900 Hardware Design V2.0. SIMCom A Company of SIM tech, 2010/12/15.
32. SIM900 AT Command Manual V1.03, 2010/12/24.