



División de Estudios Profesionales
Ingeniería en Sistemas Computacionales

TESIS DEFENDIDA POR
MARIO HUMBERTO URIEGAS DE LEÓN

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

M.C José Isidro Hernández Vega

Director del Comité

**M.C. Dolores Gabriela Palomares
Gorham**
Miembro del Comité

M.C. Elda Reyes Varela
Miembro del Comité

Ing. Magaly Benítez Tamez
Jefa del Departamento de Sistemas y
Computación



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NUEVO LEÓN

Sector NACE: RSGC 602 37
Terminación: 2012.09.22
Alcance: Proceso Educativo desde la
Inscripción hasta la entrega de Título Profesional



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SENSORES ELECTROQUÍMICOS
EN LA MEDICIÓN DE CONTAMINANTES A TRAVÉS DE UN VANT
TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

**PRESENTA
MARIO HUMBERTO URIEGAS DE LEÓN**

NO. DE CONTROL 14480514

**DIRECTOR DE TESIS
M.C. JOSÉ ISIDRO HERNÁNDEZ VEGA**

**CO-DIRECTORA DE TESIS
M.C. DOLORES GABRIELA PALOMARES GORHAM**

Cd. Guadalupe, Nuevo León, México, Enero de 2019

RESUMEN del proyecto de tesis de **MARIO HUMERTO URIEGAS DE LEÓN**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES. Guadalupe, Nuevo León. Enero de 2019.

TÍTULO DE TESIS

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SENSORES ELECTROQUÍMICOS
EN LA MEDICIÓN DE CONTAMINANTES A TRAVÉS DE UN VANT**

Resumen aprobado por:

M.C. JOSE ISIDRO HERNANDEZ VEGA

RESUMEN

En este proyecto de tesis se presenta la comparación de diferentes sensores utilizados para monitoreo de contaminantes. La finalidad fue evaluar la eficiencia de los sensores usados en el proyecto de Monitoreo de Contaminantes Criterio.

Para la solución del problema se instrumentó una tarjeta de adquisición de datos donde se colocaron los sensores en un Vehículo Aéreo No Tripulado, tomando en cuenta las herramientas de software que sirvieron de interfaz en el sistema de adquisición del proyecto.

Con la instrumentación desarrollada y los sensores adquiridos para el proyecto se realizan pruebas experimentales del monitoreo de contaminantes. Se compararon las características de los siguientes sensores: infrarrojo multigas NDIR, el sensor EX Drager y el sensor Parallax 605-00008-ND.

Se realizó una evaluación de cada sensor en su desempeño obteniendo resultados favorables, los cuales se muestran en el capítulo de resultados de la presente tesis.

Se muestran las especificaciones técnicas del sensor de ozono MQ-131 y del sensor de calidad del aire MQ135, que se utilizaron para evaluar los resultados de la medición de contaminantes del proyecto Monitoreo de contaminantes en el aire utilizando un sistema mecatrónico inteligente para plumas industriales en el área metropolitana de Monterrey,

Palabras Clave:

Sensores, VANT, contaminantes criterio, interfaces, plumas industriales, tarjeta de adquisición de datos.

Abstract of the thesis presented by **MARIO HUMERTO URIEGAS DE LEÓN** as a partial requirement to obtain the Engineering in Computer System. Guadalupe, Nuevo Leon, Mexico, January 2019.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF ELECTROCHEMICAL SENSORS IN THE
MEASUREMENT OF POLLUTANTS THROUGH AN UAV

Abstract approved by:

M.C. JOSE ISIDRO HERNANDEZ VEGA

ABSTRACT

In this thesis project, the comparison of different sensors used to monitor pollutants is presented. The purpose was to evaluate the efficiency of the sensors used in the Criteria Pollutant Monitoring project.

To solve the problem, a data acquisition card was installed where the sensors were placed in an Unmanned Aerial Vehicle, taking into account the software tools that served as an interface in the project's acquisition system.

With the developed instrumentation and the sensors acquired for the project, experimental tests of contaminant monitoring are carried out. The characteristics of the following sensors were compared: NDIR multigas infrared, EX Drager sensor and Parallax sensor 605-00008-ND.

An evaluation of each sensor was made in its performance obtaining favorable results, which are shown in the results chapter of this thesis.

The technical specifications of the MQ-131 ozone sensor and the MQ135 air quality sensor are shown, which were used to evaluate the pollutant measurement results of the Air pollutant monitoring project using an intelligent mechatronic system for industrial plumes in the metropolitan area of Monterrey,

Keywords:

Sensors, UAV, criteria pollutants, interfaces, industrial pens, data acquisition card.

DEDICATORIAS

A mis maestros.

M.C. José Isidro Hernández Vega por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis; a la M.C. Dolores Gabriela Palomares Gorham por su apoyo tiempo y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

A mis amigos y compañeros.

P.T.B. Andrés González Rodríguez por su apoyo inigualable durante el desarrollo de este proyecto ya que sin sus conocimientos no hubiera sido posible la realización de esta tesis, a Rodrigo Aldahyr G. Marroquín Rodríguez por su apoyo y paciencia al realizar el prototipo y sus respectivas pruebas, a P.T.B. Miguel Ángel Nava Martínez que nos ayudó a analizar la información obtenida a través de todo el proyecto. |

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Nuevo León que me ha permitido realizar mis estudios de licenciatura, así como utilizar sus instalaciones para el desarrollo de mi tesis. Al Programa de Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por la beca otorgada al incorpórame al proyecto de investigación: Monitoreo de contaminantes en el aire utilizando un sistema mecatrónico inteligente para plumas industriales en el área metropolitana de Monterrey, aprobado en la Convocatoria 2017 para el Fortalecimiento del Cuerpos Académico: Tecnologías Mecatrónicas Sustentables e Inteligentes, clave ITNLE-CA-5

A mi asesor de tesis, el M.C. José Isidro Hernández Vega por su gran ayuda y colaboración en cada momento de consulta y soporte en este trabajo de investigación.

A los compañeros y co-trabajadores de proyecto en las áreas adyacentes del estudio, por la ayuda prestada durante el desenvolvimiento de este trabajo en todas sus etapas: Rodrigo Marroquín, Andrés González, Miguel Nava.

Al Instituto Tecnológico de Nuevo León, por el apoyo al proyecto y por los espacios prestados.

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SENSORES ELECTROQUÍMICOS EN LA MEDICIÓN DE CONTAMINANTES A TRAVÉS DE UN VANT

CONTENIDO

RESUMEN	II
ABSTRACT.....	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
CONTENIDO.....	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XI
Capítulo I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación del problema	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3. Definición del problema.....	4
1.4. Justificación.....	4
1.5 Objetivos	5
1.5.1 Objetivo general	5
1.5.2 Objetivos particulares	5
1.6 Hipótesis.....	5
1.7 Alcances y Limitaciones.....	6
1.8 Estructura de la tesis.....	7
Capitulo II MARCO TEORICO	8
2.1 Antecedentes	8
2.2 Sensores utilizados en medición de contaminantes para fuentes fijas	10
2.2.1 Características de los sensores electroquímicos	10
2.2.2 Sensores catalíticos.	11
2.2.3 Sensores infrarrojos.	14
2.2.4 Sensores semiconductores.	15

2.3 Conceptos de telecomunicación	17
2.3.1 Telemetría	17
2.4 Herramientas para la interfaz de adquisición de datos	18
2.4.1 Node.JS.....	18
2.4.2 Ground Station.....	20
Capítulo III MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	21
3.1 Definición de la metodología empleada para el proyecto.....	21
3.2 Material y equipo utilizado	21
3.2.1 Cuerpo del Dron	21
3.2.2 Controlador de vuelo	22
3.2.3 Los motores	22
3.2.4 Empuje (thrust).....	22
3.2.5 Radio control	23
3.2.6 Batería	23
3.2.7 Telemetría	23
3.2.8 GPS	24
3.2.9 Sensor MQ 131	24
3.2.10 Sensor MQ 135	25
3.3 Procedimiento.....	26
3.4 Desarrollo.....	29
3.4.1 Etapa 1.....	29
3.4.2 Etapa 2.....	30
3.4.3 Etapa 3.....	30
3.4.4 Etapa 4.....	32
3.5 Trabajo con los sensores electroquímicos y su evaluación de eficiencia en la medición de contaminantes.	32
3.6 Consideraciones para el diseño	34
Capítulo IV RESULTADOS.....	35
4.1 Comparación de sensores de monitoreo de calidad aire.	36
4.2 Ventajas/desventajas en el uso del prototipo diseñado, comparado con los demás sensores.	40

Capítulo V CONCLUSIONES	41
5.1 Conclusiones	41
5.2 Recomendaciones	42
5.3 Trabajos futuros	42
REFERENCIAS.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Sensores catalíticos	11
2	Funcionamiento de un sensor catalítico	11
3	Ejemplo de sensor catalítico caliente	12
4	Representación de puente Wheatstone	12
5	Representación de sensor infrarrojo	14
6	Funcionamiento de sensor semiconductor	15
7	Armazón de dron	21
8	Controlador de vuelo	22
9	Motores	22
10	Trust	22
11	Radiocontrol	23
12	Batería de litio	23
13	Telemetría	23
14	GPS	24
15	Sensor MQ 131	25
16	Sensor MQ 135	26
17	V.A.N.T. en pleno vuelo	29
18	Batería de litio	29
19	Hexacóptero volando	30
20	V.A.N.T. utilizado en el proyecto	30
21	Armazón del dron con sus sensores colocados	31
22	Sensores MQ	31
23	Diagrama	32
24	Niveles de monóxido de carbono	33
25	Niveles de monóxido de carbono	33
26	Ejemplo de grafica de detección de CO	35
27	Sensor infrarrojo multigas NDIR	36
28	Sensor Ex Drager	37
29	Parallax 605-00008-ND	38

LISTA DE TABLAS

Tabla	Titulo	Página
1	Comparación de sensor infrarrojo	36
2	Comparación de sensor Catalítico	37
3	Comparación de sensor Semiconductor	38
4	Tabla de elección de sensores	39

Capítulo I INTRODUCCIÓN

Una de las formas de medir la contaminación del aire es mediante estaciones de monitoreo, en la mayoría de éstas se utilizan equipos continuos. La normatividad federal establece la medición de los siguientes contaminantes criterio: dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono y partículas suspendidas; lamentablemente a través de los años las diferentes formas de medir las contaminación ambiental se han vuelto obsoletas debido, en parte, a la recopilación de datos que solo abarcan un área limitada y no cuentan con medios de difusión llamativos para la sociedad. En este trabajo se manejará una forma más adecuada de recopilar, almacenar y visualizar esta información.

Existen una variedad de sensores para el monitoreo de la calidad del aire que funcionan bajo diferentes principios, como son los catalíticos, infrarrojos o de gas de estado sólido; en nuestro caso manejaremos sensores electroquímicos y más adelante explicaremos las características de cada uno.

1.1 Motivación del problema

La medición de contaminantes ambientales cuenta con diferentes técnicas y herramientas que están asociadas al tipo de problema que resuelven. Existen sensores de alta precisión, los cuales tienen un costo elevado. La selección de los sensores depende de la fuente de emisión que se desea analizar, para el contexto de la tesis es el monitoreo de contaminantes criterio en fuentes fijas, en específico, chimeneas industriales.

Los sensores de medición de gas se clasifican de acuerdo con sus principios operativos, siendo los más comunes los sensores electrocatalíticos, de estado sólido, electroquímicos, potenciométricos, infrarrojos no dispersivo (NDIR), amperométricos, térmicos, conductométricos y ópticos.

La motivación para el desarrollo de la tesis es conocer y evaluar la eficiencia de los sensores electroquímicos en la medición de contaminantes criterio. Conociendo sus características, es factible realizar experimentos de funcionalidad en la medición de contaminantes mediante un VANT.

Este estudio ayudará a la construcción del prototipo para el proyecto “Monitoreo de contaminantes en el aire utilizando un sistema mecatrónico inteligente para plumas industriales en el área metropolitana de Monterrey”.

1.2 Planteamiento del problema

Los principales contaminantes que afectan la zona metropolitana de Monterrey de acuerdo al Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) son:

- Monóxido de carbono.
- Dióxido de carbono.
- Ozono (O_3).
- Óxido de nitrógeno (NO).
- Dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Dióxido de azufre (SO_2).
- Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).

Estos contaminantes causan daños a la salud, principalmente en las vías respiratorias y actividad cerebral al exponerse durante periodos prolongados o a altas concentraciones.

En la actualidad existen una gran cantidad de sensores para el monitoreo de la calidad del aire que funcionan bajo diferentes principios. Dependiendo de su aplicación se deben considerar los siguientes aspectos:

- Principio de funcionamiento.
- Clases de contaminantes a medir.
- Consumo de energía.
- Sensibilidad-robustez.
- Tamaño-peso.

Para los sensores que se usarán en el proyecto es importante conocer las características de los mismos para evaluar su eficiencia y que cumplan con el objetivo del proyecto.

1.3. Definición del problema

Conocer la eficiencia de los sensores electroquímicos y analizar su eficacia para la confiabilidad de las mediciones de los gases estudiados. Mostrando resultados con los experimentos realizados bajo una metodología planteada, estableciendo la factibilidad de implementarlos en la tarjeta de adquisición que datos que se diseña para el VANT.

1.4. Justificación

La necesidad de comprobar la eficiencia de los sensores que envían datos monitoreados en tiempo real mediante una tarjeta de adquisición de datos, depende en gran medida de establecer la precisión de la medición de los contaminantes. No podemos definir una correcta medición si los sensores no están midiendo correctamente bajo una calibración establecida. La eficiencia de los sensores se encuentra en su sensibilidad (ppm o bpm), peso, consumo de energía y su capacidad de calibración.

Las especificaciones de datos que proporcionan los fabricantes son de gran ayuda, pero es preciso saberlas interpretar. Cada proyecto que implique manejo de sensores de una medición del ambiente debe de estar correctamente configurado a su contexto de aplicación. Si previamente no realizamos los estudios y pruebas necesarias para evaluar un tipo de sensor, corremos el riesgo de no contar con mediciones correctas.

La justificación práctica de este proyecto de tesis consiste en evaluar los sensores a utilizar en el mismo, con la finalidad de formar un criterio metódico para la evaluación de los sensores usados.

Con la integración de los sensores a la tarjeta de adquisición de datos se cuenta con una interfaz dinámica que funciona tanto para recibir los datos provenientes del VANT como para actuar como mediador en el almacenamiento de estos datos dentro de un sistema gestor y proporcionar un entorno web donde se puedan visualizar los datos en una aplicación integrada del prototipo. Debido a la forma en que funciona el proyecto es realmente necesario comprobar que se cuenta con

sensores fiables en comparación con los que se estudiaron durante la investigación (catalíticos, infrarrojos y semiconductores).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Realizar una evaluación de sensores electroquímicos asegurando una comunicación entre la tarjeta de adquisición de datos y una interfaz de comunicación VANT-GCS para asegurar el envío y recepción de datos, en las señales captadas por sensores que puedan instrumentarse en el VANT para el proyecto monitoreo de contaminantes.

1.5.2 Objetivos particulares

- Generar una instrumentación para la prueba de sensores.
- Configurar las herramientas de trabajo de comunicación entre los sensores y la interfaz de adquisición de datos.
- Realizar pruebas de comunicación entre los sensores y la interfaz de adquisición de datos.
- Evaluar la funcionalidad de los sensores electroquímicos.

1.6 Hipótesis

Los sensores electroquímicos son eficientes en la medición de contaminantes criterio para el prototipo con respecto a otro tipo de sensores como los catalíticos, infrarrojos, de gas de estado sólido.

1.7 Alcances y Limitaciones

El alcance es demostrar la eficiencia de los sensores electroquímicos en cuanto a la medición de contaminantes, sensibilidad (ppm, bpm) que puede medir y sus correspondientes rangos, entre otras características; comparándolas con las de los sensores semiconductores, infrarrojos y catalíticos.

Limitaciones:

Las limitaciones del proyecto de tesis estuvieron en función de los sensores adquiridos los cuales fueron: MQ 131 y MQ135. Las mediciones que se realizaron con estos fueron de acuerdo a las características del fabricante.

La comparación se hizo con respecto a 3 sensores, siendo el sensor infrarrojo multigas NDIR, el sensor EX Drager y el sensor Parallax 605-00008-ND en sus características y de acuerdo a las fichas técnicas del fabricante, dado que estos últimos no se adquirieron físicamente.

1.8 Estructura de la tesis

En el **capítulo 1** se verán los temas que dieron el porqué del proyecto, sus objetivos, planteamiento del problema incluyendo los antecedentes del mismo.

El **capítulo 2** incluye el marco teórico tomado en cuenta para la realización de este proyecto.

El **capítulo 3** incluye la metodología llevada a cabo para su realización.

En el **capítulo 4** se presentan los resultados alcanzados del proyecto de tesis.

En el **capítulo 5** se presentan las conclusiones del proyecto, así como las recomendaciones y posibles trabajos futuros.

Capítulo II MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

Los sensores electroquímicos, al igual que cualquier otro tipo de instrumento para medir contaminantes, han evolucionado a lo largo de la historia. Anecdóticamente, podríamos decir que los primeros sensores fueron los canarios; ya que estas aves se utilizaban antiguamente en las minas de carbón para detectar gases tóxicos. Los canarios se mueren antes que las personas en presencia de monóxido de carbono o metano y como suelen estar cantando la mayoría del tiempo, el hecho de que no lo hicieran se convertía en una alarma sonora.

Década de los 50's

El llamado "padre" de los biosensores, Leland C. Clark, a mediados de 1950, intentó crear un sensor para medir la reducción del oxígeno en sangre con un electrodo de platino, consiguiendo medir la oxigenación en sangre relacionándola con la corriente medida en el electrodo, finalizó sus trabajos con el electrodo de O_2 , pero no se conformó y con la idea de ampliar su uso al de medir más analitos en el cuerpo humano.

Década de los 60's

En 1962 propuso hacer sensores más inteligentes. Lo que él quería decir con esto era que sería una buena idea combinar las enzimas y otros materiales biológicos con los sensores electroquímicos que había hasta esa época. Con esta idea, y con la ayuda de Lyon acoplaron a este electrodo de platino (también llamado electrodo de Clark) una membrana semipermeable con la enzima glucosa oxidasa, lo que permitía la determinación de la concentración de glucosa, creando el primer biosensor propiamente dicho. Este consistía en un electrodo de O_2 con la enzima glucosa oxidasa inmovilizada. Este sensor permitía relacionar directamente la concentración de glucosa con la disminución de la concentración de oxígeno. Posteriormente, Guilbault y Montalvo detallaron el primer electrodo enzimático

potenciométrico basado en la inmovilización de la enzima ureasa sobre un electrodo selectivo de amonio.

Década de los 70's

En 1975 esto se convirtió en una realidad comercial, poniéndose a la venta el primer analizador de glucosa basado en la detección amperométrica de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) en Ohio. Este fue el primer biosensor a la venta de los muchos que se comercializarían más adelante. También en este mismo año Divis se preguntó: ¿por qué no usamos las bacterias como elemento biológico en los sensores para medir la cantidad de alcohol en una muestra? Esta pregunta causó un gran revuelo en muchas grandes empresas de medio ambiente de Japón y otros lugares que se pusieron en marcha en su investigación y no tardaron mucho tiempo en desarrollar los electrodos microbianos. Un año antes se comenzó a usar transductores térmicos (*thermal enzyme probes*) y los termistores enzimáticos (*enzyme thermistors*). Posteriormente se comenzó a usar los biosensores basados en fibra óptica, que originaron la aparición de los denominados "optados". Éstos se usaron en un primer momento para la determinación de CO₂ y O₂.

Década de los 80's- Actualidad

En 1982, basándose en la utilización de mediadores electroquímicos para favorecer la transferencia de electrones desde el centro redox de una enzima a la superficie del electrodo se construyeron la nueva generación de sensores electroquímicos. Actualmente existen multitud de sensores en los cuales se combinan la amplia diversidad de componentes biológicos (enzimas, ácidos nucleicos, receptores celulares, anticuerpos y células intactas) con los diferentes tipos de transductores (electroquímicos, ópticos, piezoeléctricos, termométrica). Éstos se pueden utilizar en numerosos problemas de la actualidad como el análisis clínico, de alimentos, bebidas, vigilancia del medio ambiente, defensa, seguridad y muchas más áreas.[10]

2.2 Sensores utilizados en medición de contaminantes para fuentes fijas

2.2.1 Características de los sensores electroquímicos

Un sensor electroquímico o biosensor es, un dispositivo autónomo e integrado capaz de proveer información analítica específica, bien cuantitativa o semicuantitativa, utilizando un elemento de reconocimiento biológico, en contacto directo con un elemento de transducción electroquímico.

Los sensores electroquímicos han sido ampliamente estudiados a lo largo del tiempo debido a las numerosas ventajas de la transducción electroquímica que hacen que sea una de las más extendidas:

- Los volúmenes de muestra necesarios para cada medida son pequeños, lo que facilita la miniaturización y la simplificación, así como la posibilidad de realizar análisis in situ.
- La señal es eléctrica, por lo que se puede llevar a cabo la transducción en tiempo real.
- Los límites de detección que proporciona son suficientes para la detección de una gran cantidad de componentes de interés.
- La instrumentación necesaria es de bajo coste.

En los sensores electroquímicos se miden las propiedades eléctricas de los componentes de interés al entrar en contacto con el elemento de transducción. Estas propiedades eléctricas medidas pueden ser de diferentes tipos, en función de si se miden cambios en el potencial (potenciometría), alteraciones de las propiedades conductoras del medio (conductimetría); o cambios en la intensidad de corriente tras aplicar un potencial constante (amperometría).[1] [2] [3]

2.2.2 Sensores catalíticos.

A estos sensores también suelen llamarlos pellistores -palabra formada por la combinación de las palabras en inglés *pellet* y *resistor*-. Su funcionamiento es por la oxidación del gas vía catalítica.



Figura 1. Sensores Catalíticos

Estos sensores están compuestos por dos bobinas de platino, ambas encapsuladas en un material cerámico de alúmina. Uno de estos encapsulados está cubierto de un material catalizador -normalmente de paladio- que causa y acelera la oxidación del elemento (esta parte es conocida como elemento detector) mientras que el otro encapsulado no tiene ese material para la oxidación del gas (esta parte se conoce como elemento de referencia), por lo que es inerte.

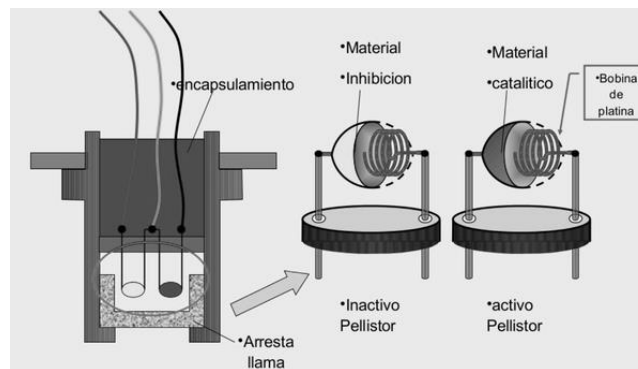


Figura 2. Funcionamiento de un sensor catalítico

El principio de operación de este sensor consiste en la oxidación del gas en la superficie del elemento catalítico por medio de calor generado a partir de una corriente eléctrica que circula por la bobina. La corriente pasa por la espiras hasta alcanzar una temperatura entre los 450°C y los 550°C, permitiendo la oxidación del gas. Cuando este gas ha sido oxidado -esto es, que se ha quemado- provoca un incremento superior de temperatura en la bobina tratada y no en la otra,

ocasionando un desajuste en el circuito mediante la variación de la resistencia eléctrica, ya que el incremento de la temperatura en el elemento detector provoca un aumento en su resistencia eléctrica mientras que en el elemento de referencia su resistencia eléctrica permanecerá sin cambios.

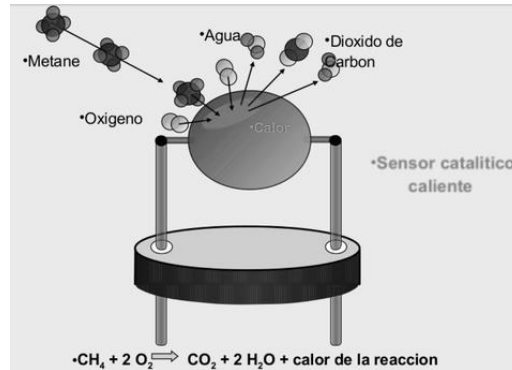


Figura 3. Ejemplo de sensor catalítico caliente

El desajuste ocurre en un circuito con una configuración llamada *punte Wheatstone*.

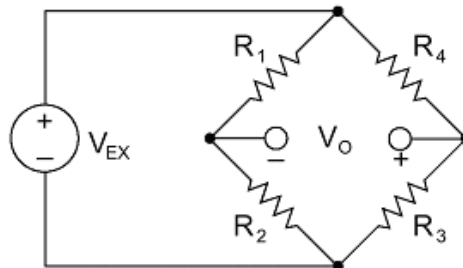


Figura 4. Representación de puente Wheatstone

El puente Wheatstone es formado por ambos elementos -ver la figura- Una resistencia variable es ajustada para mantener un balance del circuito cuando el sensor se encuentre en un ambiente con aire. Cuando, además del aire hay un gas, sólo la resistencia del elemento detector se incrementa, causando un desajuste en el circuito que proporciona una diferencia de potencial.

Los sensores catalíticos son sensibles y pueden funcionar indeseablemente en presencia de gases inhibidores tales como dióxido de azufre (SO_2), ácido sulfhídrico (H_2S), compuestos halogenados, etc. También el catalizador puede sufrir envenenamiento si se encuentra en el aire vapores de silicón, grasas, ésteres de fosfato, ácidos, entre otros.

Los sensores contienen una malla de hilos de acero y debajo de esta malla se encuentra confinado el elemento de sensado. La importancia de esta malla radica en los siguientes aspectos:

- Sirve como filtro al retener las partículas suspendidas que se encuentren en el ambiente, permitiendo solamente el paso de compuestos gaseosos.
- Protege las bobinas encapsuladas.
- Es una malla anti-explosión que mantiene al sensor intacto a altas temperaturas. [1] [5]

2.2.3 Sensores infrarrojos.

Estos sensores funcionan con emisores y receptores de luz infrarroja. Si un gas se encuentra en el ambiente, éste interfiere con la potencia de transmisión entre el emisor y el receptor. Esta alteración determina qué tipo de gas se encuentra presente.

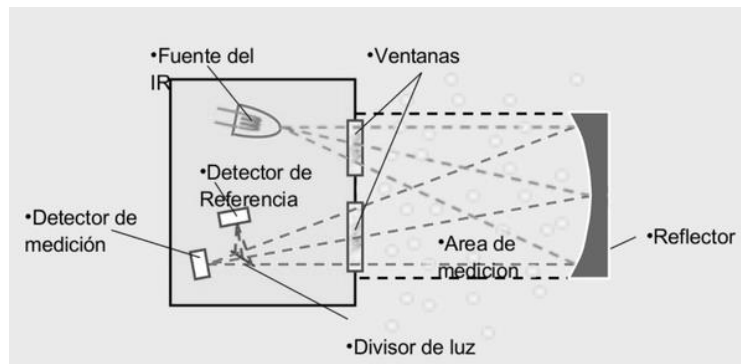


Figura 5. Representación de sensor infrarrojo

El funcionamiento de estos sensores se basa en el principio de que el gas absorbe energía de la emisión a una determinada longitud de onda -normalmente en el rango de los infrarrojos- Los gases que puede detectar este tipo de sensor son aquellos que contengan más de un tipo de átomo, como dióxido de carbono (CO_2) o metano (CH_4) ya que absorben la radiación infrarroja. Los gases con un sólo tipo de átomo como el oxígeno (O_2) o el hidrógeno (H_2) no pueden. Cuando los gases pasan entre el emisor y el receptor, el gas absorbe parte de la radiación infrarroja y la menor intensidad de la emisión es detectada por el receptor. La concentración del gas detectado es proporcional a la cantidad de luz infrarroja absorbida. [6]

2.2.4 Sensores semiconductores.

Los sensores de gases más utilizados se basan en óxidos semiconductores cuya conductividad eléctrica se ve modulada como consecuencia de la reacción producida entre el semiconductor y los gases presentes en la atmósfera. El dióxido de estaño es uno de los semiconductores que presenta más interés tecnológico como material activo en sensores de gases. Las propiedades de sensado del SnO_2 (sensibilidad, selectividad y reproducibilidad) dependen de varios factores, siendo los más relevantes el tamaño de partícula, distribución de tamaño de partícula y área superficial específica. La utilización de SnO_2 nano cristalino beneficia sustancialmente el sensado de gases, debido a la magnificación de los efectos superficiales.

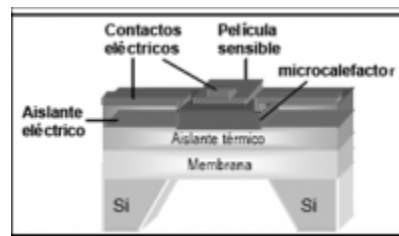


Figura 6. Funcionamiento de sensor semiconductor

El agregado de contaminantes en óxidos metálicos semiconductores permite alterar sus características eléctricas. Mediante la detección de las variaciones de conductividad eléctrica en la película de SnO_2 por el fenómeno de adsorción, se detectan las partículas de gas presentes en el ambiente. (Ante la presencia de un gas, el óxido del metal hace que el gas se disocie en iones cargados con el resultado de una transferencia de electrones. Un par de electrodos parcialmente embebidos en el óxido del metal mide el cambio de conductividad del sensor. Este cambio es proporcional a la concentración del gas).

Los sensores de gases semiconductores, ya sean de películas gruesas, películas delgadas MOS, micro maquinado, entre otros, requieren ser calentados de manera localizada y uniforme entre 200 y 450° C. (para mantenerlo a una temperatura óptima para la detección de gas). Debido a que su sensibilidad depende fuertemente de la temperatura de operación, es necesario controlar cuidadosamente dicha temperatura. Por tal motivo, el calefactor integrado de platino cumple la doble función de calefactor y controlar la temperatura deseada.

Los sensores, pueden detectar una gran gama de gases en rangos de ppm o combustibles. Se pueden conseguir diferentes características de respuesta variando los materiales, las técnicas del proceso y la temperatura de trabajo. Su simplicidad de construcción resulta en una vida de 10 a 25 años libre de problemas. Son robustos, aguantan choques y vibraciones siendo válido para servicio anti explosión. [1] [5]

2.3 Conceptos de telecomunicación

2.3.1 Telemetría

Telemetría es un tipo de señal inalámbrica entre dos o más puntos por el cual se pueden transmitir los datos a lo largo de un área determinada dependiendo de los parámetros con los que habían sido configurados. Este sistema permite la monitorización, mediación y/o rastreo de magnitudes físicas o químicas a través de datos que son transferidos a una central de control.

Esta tiene como objetivo permitir la mediación de magnitudes físicas o químicas, conocer los estados de los procesos y sistema, así como controlar de manera remota el funcionamiento, corregir los errores y enviar la información recabada hacia un sistema de información para su uso y provecho.

El sistema de telemetría funciona por medio de un transductor como dispositivo de entrada, un medio de transmisor en forma de líneas de cable u ondas de radio, procesamiento de señales, dispositivo de grabación o visualización de datos. El transductor tiene como principal función convertir la magnitud física o química como: la temperatura, presión, vibraciones, voltaje, en una señal eléctrica, que es transmitida a distancia a efecto de ser registrada y medida.

También permite supervisar los niveles de líquidos en ríos, contenedores, depósitos, entre otros, permite medir los parámetros de fluidos como temperatura, presión, caudales, y el monitoreo del medio ambiente como la propiedad del viento, agua, aire, y detectar gases peligrosos para el mismo.

2.4 Herramientas para la interfaz de adquisición de datos

2.4.1 Node.JS

El node.js que es un entorno de ejecución para JavaScript construido con el motor de JavaScript V8 de Chrome se puede usar para tanto la recolección de datos que se pueden recibir para la estación de tierra así como el enlace a una base de datos para almacenar la información y la creación de un servidor para una interfaz web en la que es posible monitorear la información almacenada dentro de la base de datos. Node.js usa un modelo de operaciones E/S sin bloqueo y orientado a eventos, que lo hace liviano y eficiente. El ecosistema de paquetes de Node.js, npm, es el ecosistema más grande de librerías de código abierto en el mundo. Estas a su vez son necesarias para la escucha de los componentes externos como lo pueden ser las antenas de telemetría, que pueden enviar y recibir datos reconocibles dentro del programa para su posterior almacenamiento

La meta número uno declarada de Node es "proporcionar una manera fácil para construir programas de red escalables".

En sí, Node es un programa de servidor. Sin embargo, el producto base de Node definitivamente *No* es como Apache o Tomcat. Esos servidores básicamente son productos para servidor listos para instalar y que están listos para implementar aplicaciones instantáneamente. Usted podría tener un servidor estar listo y en operación en un minuto con estos productos. Node definitivamente no es esto. De forma similar a como Apache puede agregar un módulo PHP para permitir a los desarrolladores crear páginas Web dinámicas, y un módulo SSL para conexiones seguras, Node también tiene el concepto de módulos que se pueden agregar a su núcleo mismo. Literalmente hay cientos de módulos de los que se puede escoger con Node, y la comunidad es bastante activa en cuanto a producir, publicar y actualizar docenas de módulos por día.

La concurrencia de Node.js funciona con un modelo de evaluación de un único hilo de ejecución, usando entradas y salidas asíncronas las cuales pueden ejecutarse concurrentemente en un número de hasta cientos de miles sin incurrir en costos asociados al cambio de contexto. Este diseño de compartir un único hilo de

ejecución entre todas las solicitudes atiende a necesidades de aplicaciones altamente concurrentes, en el que toda operación que realice entradas y salidas debe tener una función callback. Un inconveniente de este enfoque de único hilo de ejecución es que Node.js requiere de módulos adicionales como cluster para escalar la aplicación con el número de núcleos de procesamiento de la máquina en la que se ejecuta. V8 es el entorno de ejecución para JavaScript creado para Google Chrome. Es software libre desde 2008, está escrito en C++ y compila el código fuente JavaScript en código de máquina en lugar de interpretarlo en tiempo real.

Node.js contiene libuv para manejar eventos asíncronos. Libuv es una capa de abstracción de funcionalidades de redes y sistemas de archivo en sistemas Windows y sistemas basados en POSIX como Linux, Mac OS X y Unix. El cuerpo de operaciones de base de Node.js está escrito en JavaScript con métodos de soporte escritos en C++.

Node.js incorpora varios "módulos básicos" compilados en el propio binario, como por ejemplo el módulo de red, que proporciona una capa para programación de red asíncrona y otros módulos fundamentales, como por ejemplo Path, FileSystem, Buffer, Timers y el de propósito más general Stream. Es posible utilizar módulos desarrollados por terceros, ya sea como archivos ".node" precompilados, o como archivos en javascript plano. Los módulos Javascript se implementan siguiendo la especificación CommonJS para módulos, utilizando una variable de exportación para dar a estos scripts acceso a funciones y variables implementadas por los módulos.

Los módulos de terceros pueden extender node.js o añadir un nivel de abstracción, implementando varias utilidades middleware para utilizar en aplicaciones web, como por ejemplo los frameworks connect y express. Pese a que los módulos pueden instalarse como archivos simples, normalmente se instalan utilizando el Node Package Manager (npm) que nos facilitará la compilación, instalación y actualización de módulos así como la gestión de las dependencias. Además, los módulos que no se instalen en el directorio por defecto de módulos de Node

necesitarán la utilización de una ruta relativa para poder encontrarlos. El wiki Node.js proporciona una lista de varios de los módulos de terceros disponibles.

El desarrollo homogéneo entre cliente y servidor de Node.js puede ser combinado con una base de datos documental (por ejemplo, MongoDB o CouchDB) y JSON lo que permite desarrollar en un entorno de desarrollo JavaScript unificado. Con la adaptación de los patrones para desarrollo del lado del servidor tales como MVC y sus variantes MVP, MVVM, etc. Node.js facilita la reutilización de código del mismo modelo de interfaz entre el lado del cliente y el lado del servidor.

El bucle de eventos que Node.js registra con el sistema operativo y cada vez que un cliente establece una conexión se ejecuta un callback. Dentro del entorno de ejecución de Node.js, cada conexión recibe una pequeña asignación de espacio de memoria dinámico, sin tener que crear un hilo de ejecución. A diferencia de otros servidores dirigidos por eventos, el bucle de gestión de eventos de Node.js no es llamado explícitamente sino que se activa al final de cada ejecución de una función callback. El bucle de gestión de eventos se termina cuando ya no quedan eventos por atender.

2.4.2 Ground Station

Estación de tierra o GCS: sirve como módulo central para la configuración de la VANT, monitorear los datos de la computadora de vuelo y los componentes que se encuentren instalados, monitorea los datos del estado del dron mientras este recopila la información de los contaminantes en un área determinada, durante el tiempo que el vehículo se encuentre en operación.

Capítulo III MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.1 Definición de la metodología empleada para el proyecto

METODOLOGÍA

La metodología utilizada es la de espiral, en la que se dividieron las tareas durante todo el proceso del proyecto. Cada integrante del equipo realizó sus actividades de forma independiente, unificando al final el conjunto de los trabajos en un prototipo. Mi participación dentro del proyecto se llevó a cabo con la siguiente metodología.

- Identificación de los componentes del dron.
- Familiarización con el armado del dron.
- Obtención de los datos técnicos de los diferentes sensores.
- Elaboración de tabla comparativa de las especificaciones de los sensores.
- Evaluar si los sensores MQ son adecuados para el montaje en el dron y la medición de los contaminantes.

3.2 Material y equipo utilizado

3.2.1 Cuerpo del Dron

Se manejó un Hexacóptero Tarot s550.



Figura 7. Armazon de dron

3.2.2 Controlador de vuelo

Es el sistema o computadora que dirige los movimientos del dron a través de instrumentos de medición como el giroscopio y el acelerómetro, y en otros casos, también utilizando GPS o barómetro.

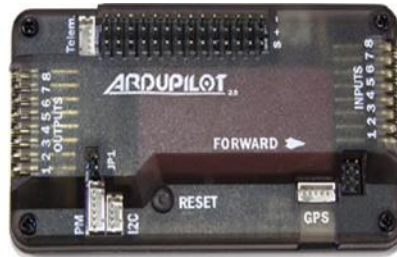


Figura 8. Controlador de vuelo

3.2.3 Los motores

Los motores son parte del sistema de propulsión. Los motores que se utilizan tienen un impacto enorme en la capacidad de carga máxima que el dron pueda soportar, así como el tiempo de vuelo.



Figura 9. Motores

3.2.4 Empuje (thrust)

Da el direccionamiento de los motores del dron, así como pasa la corriente para su funcionamiento.

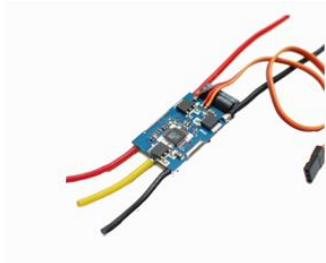


Figura 10. Thrust

3.2.5 Radio control

Utilizado para controlar el dron en modo manual o de respaldo cuando se vuela en modo automático.



Figura 11. Radiocontrol

3.2.6 Batería

Las baterías utilizadas para dar poder al dron. Es un tipo de batería recargable de tecnología de ion de litio en un empaque suave, haciéndolas más ligeras pero también quitándole rigidez a la cobertura.



Figura 12. Batería de litio

3.2.7 Telemetría

Permite la comunicación entre el dron y la estación de tierra y/o la radio.



Figura 13. Telemetría

3.2.8 GPS

El GPS es el sistema de posicionamiento global, el cual nos puede dar la ubicación del dron ya que está basado por satélites y cuenta con 24 satélites puestos en órbita.



Figura 14. GPS

3.2.9 Sensor MQ 131

Es un ozono (O_3) sensor de gas que detecta las concentraciones de gas ozono en el aire y emite su lectura como una tensión analógica. Mide la concentración de ozono de 10 ppb a 2 ppm.



Figura 15. Sensor MQ 131

Características:

- Voltaje de funcionamiento: 4.5V a 5V DC.
- Alta sensibilidad al gas ozono.
- También sensibles a cloro (Cl_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Tipo de interfaz: analógicos.
- Larga vida y bajo costo.

Especificaciones:

Monitoreo de la calidad del aire en la oficina o edificio y fuentes fijas.

- Su uso en entornos de investigación y experimentos.[8]

3.2.10 Sensor MQ 135

El chip principal del sensor es el **LM393** y la sonda de detección es el MQ135, con tensión de funcionamiento DC 5V.



Figura 16. Sensor MQ 135

Características:

- Señal instrucciones indicador de salida;
- Doble salida de señal (salida analógica y salida de nivel TTL);
- Señal válida de salida TTL es baja; (salida de luz baja señal, que se puede acceder al microcontrolador puerto IO)
- Tiene una larga vida y estabilidad fiable;
- Características de recuperación de respuesta rápida;

Aplicaciones:

Un aparato de detección de gases peligrosos para la familia, el medio ambiente, apto para el amoníaco, compuestos aromáticos, azufre, vapores de benceno, el humo y otros gases de detección de gas, campo de concentración de ensayo elemento sensible a los gases nocivos: 10 a 1000 ppm. [9]

3.3 Procedimiento

- Instrumentación para sensores.

- Configuración de las herramientas de trabajo de comunicación entre los sensores y la interfaz de adquisición de datos.
- Pruebas de comunicación entre los sensores y la interfaz de adquisición de datos.
- Evaluar la funcionalidad de los sensores electroquímicos.

La manera en que se logró permitir el acceso a la comunicación por telemetría mediante el puerto COM así como asignar el sistema gestor de base de datos y la correcta asignación de complementos necesarios para la función como servidor de una interfaz web es el producto final del tiempo y esfuerzos invertidos.

Para lograr lo mencionado se van declarando los complementos que se utilizaran.

```
var express = require('express'), http = require('http');
```

```
var pg = require('pg');
```

```
var serialport = require("serialport");
```

```
var moment = require('moment');
```

```
var morgan = require('morgan');
```

En la siguiente parte se habilita el host “8080” para su posterior visualización en una página web, también se llama la librería (socket.io) para habilitar el servidor.

Después se establece en “var connectionString” la conexión con el servidor colocando su ubicación con su respectiva contraseña, nombre del servidor y administrador, en “var client” se checa si está conectando con el servidor, en caso de no conectar manda el mensaje “could not connect to postgres” en caso de conectar consulta en la tabla el campo “id” de la tabla “tbldata” en dado caso de no encontrar la tabla el campo “id” se mostrara “error running query), después se asignara el id de los datos que se van obteniendo para su posterior almacenamiento.

Se declara el puerto es el que estará conectada la antena de telemetría se usara el COM 10 en caso de que no esté en ese COM la antena se tendrá que modificar desde administrador de dispositivos para que quede como COM 10.

Luego se almacenan todos los datos que nos llegaran directamente de la raspberry en una matriz de datos que se irán separando para posteriormente almacenarlos en la base de datos.

Una vez almacenándose los datos, de acuerdo a: pero primero:

- La declaración de los campos de la tabla de la base de datos así como el tipo de dato que serán esos campos `client.query("INSERT INTO tblldata(latitude, longitude, altitude, speed, pressure, temperature, humidity, temperature_2, uv, co, created_at, updated_at).`
- Se declaran en el orden que se almacenarán los datos `values($1, $2, $3, $4, $5, $6, $7, $8, 0, $9, NOW(), NOW())"`
- Las variables en las que se encuentran los datos en el mismo orden que el anterior:

Los valores ya declarados se les ponen una etiqueta en su respectiva variable para que en otra sección del código puedan ser reconocidos y reutilizados.

Ahora se mostrará un salto de línea en cada dato que se vaya recibiendo, para que no se amontonen en la visualización de datos en la consola.

En esta parte del código se coloca la hora en que se fueron registrando cada uno de los datos de acuerdo a su forma de llegada

Después se imprime la consola si el servidor está conectando

Y ya se podrá ejecutar el programa.

3.4 Desarrollo

Se podría decir que el proyecto fue dividido en cuatro etapas, esto no sin antes haber establecido una planeación del proyecto, estudiando el contexto del problema, analizar los alcances y limitaciones, establecer los requerimientos y tener una comprensión de los módulos de comunicación y de los sensores.

Se llevaron a cabo cuatro etapas y posteriormente la evaluación de los sensores, motivo de esta tesis.



Figura 17. V.A.N.T. en pleno vuelo

3.4.1 Etapa 1

En esta etapa se aprendió sobre lo relacionado con los VANTS.

- Aprendiendo generalmente sobre los drones, sus componentes y conexiones, así como datos específicos: los tipos de drones con los que íbamos a trabajar (cuadricóptero, hexacópteros), motores, baterías, hélices, estructura, materiales, computadoras de vuelo, telemetría, GPS, tipos de arquitectura de la computadora de vuelo (abierta, semi-abierta, cerrada).



Figura 18. Batería de litio

- Se practicó el armado de los drones y como se ajustan sus partes.
- Se aprendió a calibrar los sensores de la computadora de vuelo y el radiocontrol.
- Se hicieron y monitorearon diversas pruebas de vuelo para aprender y llegar a corregir errores.



Figura 19. Hexacóptero volando

3.4.2 Etapa 2

En esta etapa se realizó la evaluación de los sensores utilizados.

- Evaluación de los requerimientos de los sensores a utilizar.
- Verificación de la utilización de sensores MQ 131 y MQ 135.
- MQ 131, sustancias detectadas ozono con un voltaje de 6V.
- MQ 135, sustancias detectadas Benceno, alcohol, humo y en general medidor de calidad del aire con un voltaje de 5V.
- Realización de pruebas de laboratorio para comprobar su correcto funcionamiento.



Figura 20. V.A.N.T. utilizado en el proyecto

3.4.3 Etapa 3

Esta etapa fue la programación de las placas

- La instalación del sistema operativo jessie raspbian en la raspberry pi 3 modelo B.
- La configuración del dronekit en la raspberry para la la transmisión de datos.

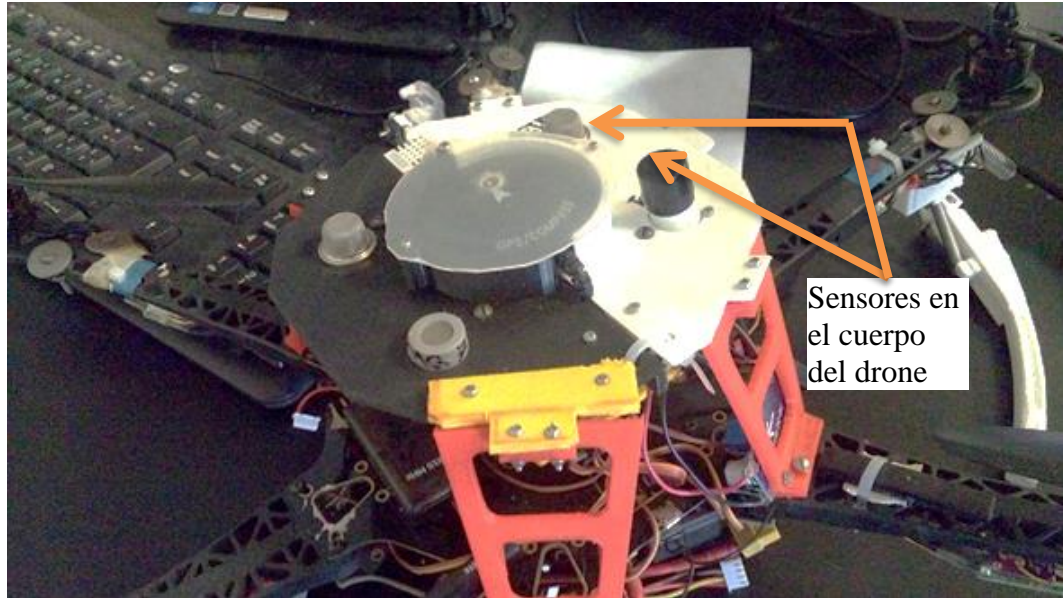


Figura 21. Armazón del dron con sus sensores colocados

- El ensamble del Arduino con los respectivos sensores MQ, observando la imagen anterior se observa su instalación.



Figura 22. Sensores MQ

- La integración de las placas en el VANT.

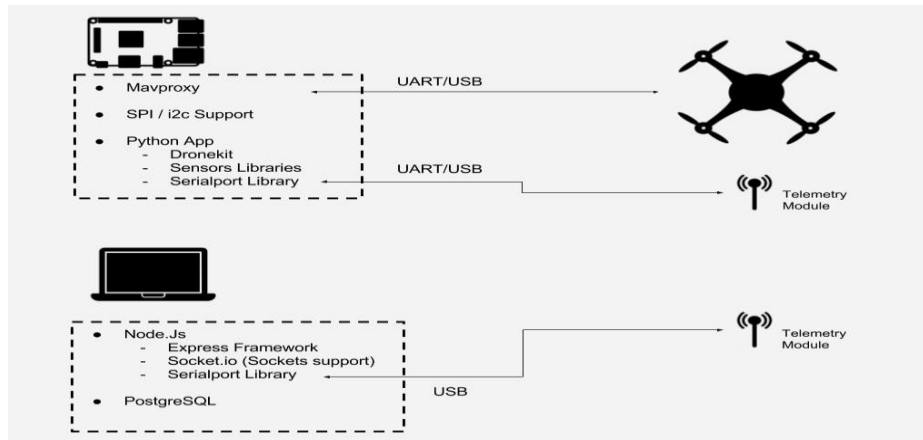


Figura 23. Diagrama

3.4.4 Etapa 4

Aquí se realizó la configuración de la estación de tierra con los programas necesarios para la recepción de datos y almacenamiento de los mismos en una base de datos. Así como el monitoreo de la información por medio de una interfaz web.

- Evaluar protocolos de comunicación entre el VANT y la estación de tierra
- Se instalaron los programas necesarios para la configuración de la estación de tierra (NodeJS versión 4.x.), para el almacenamiento de los datos (PostgreSQL).
- Se configuró el programa principal en NodeJS para actuar como la estación de tierra, receptor de los datos así como de estos interpretarlos para ser almacenado, conectarse a una base de datos y servir como una interfaz web.
- Generar pruebas de comunicación para la transmisión de datos
- Crear la interfaz
- Evaluación de la interfaz
- Dentro de archivos del programa principal se cargaron las librerías y recursos necesarios para que al desplegar la página web, ésta tuviera el contenido obtenido de la base de datos.

3.5 Trabajo con los sensores electroquímicos y su evaluación de eficiencia en la medición de contaminantes.

Los sensores electroquímicos utilizados en el proyecto fueron los MQ 131 y MQ 135, fueron instalados en la parte superior de un V.A.N.T. y conectados a un arduino instalado en el mismo, como se muestra en la figura 23.

Una vez instalados correctamente los sensores, se hicieron pruebas en laboratorio para hacer mediciones del ambiente; después de obtener los datos colocamos una fuente de gas para comprobar el funcionamiento de los sensores, en especial del 135. En cuanto colocamos la fuente de gas las lecturas en pantalla se modificaron y registraron un aumento relacionado con el monóxido de carbono.

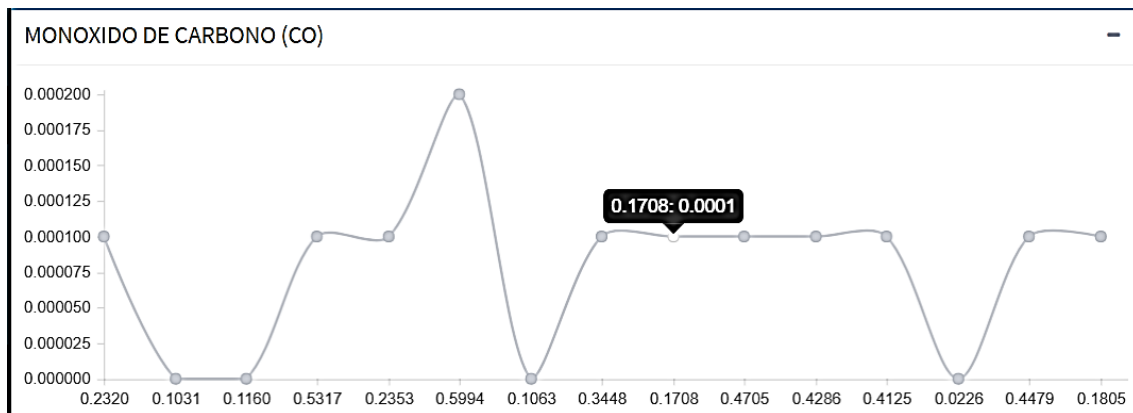


Figura 24. Niveles de monóxido de carbono

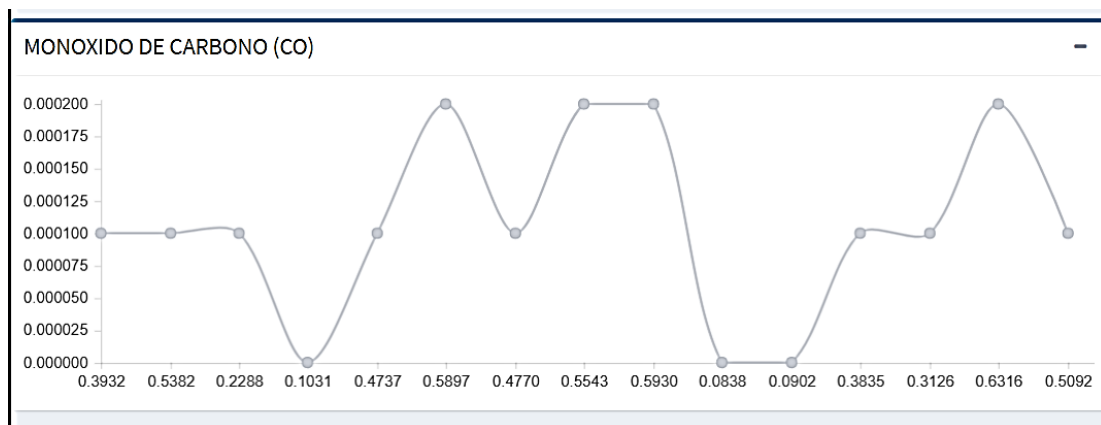


Figura 25. Niveles de monóxido de carbono

Como se observa en las imágenes anteriores hubo picos de aumento en cuanto al monóxido de carbono, debido a que los sensores se acercaban y alejaban a la fuente de gas o tapábamos los mismos sensores para corroborar que no arrojaran datos al azar.

3.6 Consideraciones para el diseño

Para la correcta comunicación entre el VANT y la estación de tierra se tomó en cuenta los datos que serían recopilados, los materiales utilizados que en este caso es el diseño del dron y la utilización de los sensores adecuados, se decidió usar sensores electroquímicos por su fiabilidad ya que son capaces de recopilar datos de sustancias con 1 átomo como son el oxígeno (O_2) y el hidrogeno (H_2) o de 2 tipos de átomo como el dióxido de carbono (CO_2) o metano (CH_4), es importante mencionar esto ya que así puede medir las sustancias necesarias para nuestro proyecto.

Si el sensor utilizado no fuera capaz de medir los datos de alguna de esas sustancias nos resultaría inútil, tal como es el caso de los sensores infrarrojos que solo pueden detectar gases con más de un tipo de átomo, siendo la razón por la que no podrían medir el oxígeno en el ambiente

Capítulo IV RESULTADOS

Se realizó una evaluación de sensores electroquímicos asegurando una comunicación entre la tarjeta de adquisición de datos y una interfaz de comunicación VANT-GCS para conseguir el envío y recepción de datos desde las señales captadas por los sensores montados en el VANT.

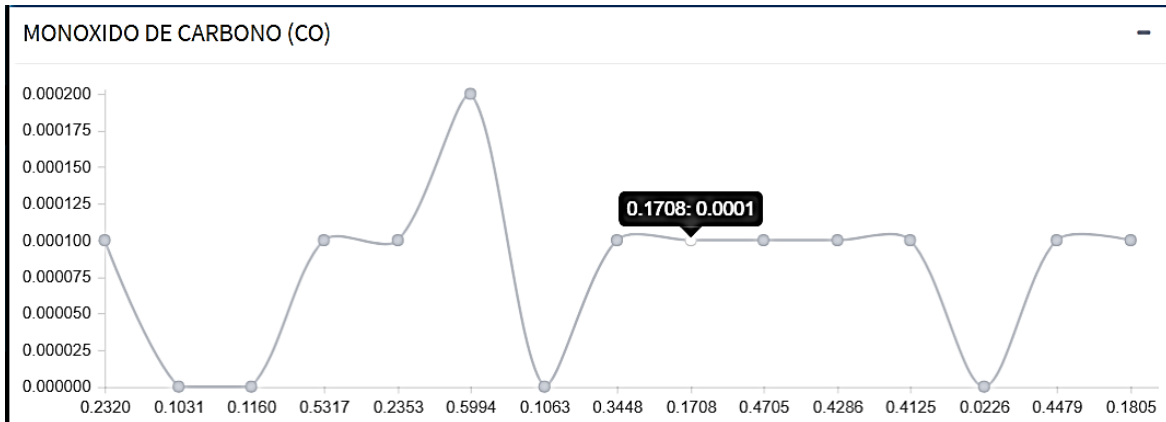


Figura 26. Ejemplo de grafica de detección de CO

En la gráfica anterior se muestran las mediciones obtenidas por los sensores electroquímicos del dron en una de las pruebas realizadas.

4.1 Comparación de sensores de monitoreo de calidad aire.

Los diferentes sensores analizados durante esta investigación cuentan con características tanto similares como diferentes de los sensores electroquímicos usados en el proyecto, por ejemplo haremos una comparación inicial entre los sensores MQ y los sensores infrarrojos multigas NDIR, catalíticos Ex Drager y semiconductores Parallax 605-00008-ND. [6]



Figura 27. Sensor infrarrojo multigas NDIR

Tabla 1 Comparación de sensor infrarrojo

Sensores	Sensores MQ131 y 135	Sensor infrarrojo multigas NDIR
Principio de operación	Electroquímica	Infrarroja
Clase de gases que puede medir	Ozono (O ₃), Benceno (C ₆ H ₆), alcohol(OH), humo, calidad del aire	Gases con más de un tipo de átomo por ejemplo: Dióxido de carbono (CO ₂) o metano (CH ₄)
Tiempo de respuesta de resultados	Unos pocos minutos a unas horas para una medición estable.	Depende del número de muestras seleccionado para la medida
Unidades de medida	ppm(partes por millón), mg/L o bpm (partes por billón)	Vpm, mg/m ³ , mg/NM ³ , %
Peso	10 g	12 kg
Alimentación	4.5V a 5V DC	110-230V AC+/- 10%
Consumo de energía (W)	Puede llegar a 800 mW	Aproximadamente 70VA
Sensibilidad-robustez	Buena	Grande
Tamaño (en orden de cm)	2.3 alto x 1.9 diámetro	450x132x380mm
Desventaja particular	Se necesita un tipo de sensor por cada tipo de gas a medir	No puede medir gases con un solo tipo de átomo por ejemplo: oxígeno (O ₂) o el hidrógeno (H ₂)-. No se puede colocar en drons.

En cuanto a los sensores catalíticos seleccione el sensor Ex Drager para una comparación.[13] [14]



Figura 28. Sensor Ex Drager

Tabla 2 Comparación de sensor Catalítico

Sensores	Sensores MQ131 y 135	Sensores Ex Drager
Principio de operación	Electroquímica	Catalítica
Clase de gases que puede medir	Ozono (O ₃), Benceno (C ₆ H ₆), alcohol(OH), humo, calidad del aire	Gases y vapores explosivos.
Tiempo de respuesta de resultados	Unos pocos minutos a unas horas para una medición estable.	Unos pocos segundos a minutos
Unidades de medida	ppm(partes por millón), mg/L o bpm (partes por billón)	% Vol. de O ₂ y de ppm para CO o H ₂ S
Peso	10 g	15 g
Alimentación	4.5V a 5V DC	5V DC
Consumo de energía (W)	Puede llegar a 800 mW	Hasta 700 mW
Sensibilidad-robustez	Buena	Media
Tamaño (en orden de cm)	2.3 alto x 1.9 cm diámetro	11.5x7.2x4.1 cm
Desventaja particular	Se necesita un tipo de sensor por cada tipo de gas a medir	No funciona si entra en contacto con ácido sulfhídrico o siliconas

Se hizo una búsqueda de sensores semiconductores fiables para una comparación adecuada. [11] [12]



Figura 29. Parallax 605-00008-ND

Tabla 3 Comparación de sensor Semiconductor

Sensores	Sensores MQ131 y 135	Parallax 605-00008-ND
Principio de operación	Electroquímica	Semiconductor
Clase de gases que puede medir	Ozono (O ₃), Benceno (C ₆ H ₆), alcohol(OH), humo, calidad del aire	Gas Licuado de Petróleo (GLP), iso-butano, propano, metano, alcohol, o hidrógeno, y también se puede utilizar para detección de humo
Tiempo de respuesta de resultados	Unos pocos minutos a unas horas para una medición estable.	Unos pocos minutos
Unidades de medida	ppm(partes por millón), mg/L o bpm (partes por billón)	ppm(partes por millón)
Peso	10 g	12 g
Alimentación	4.5V a 5V DC	5V
Consumo de energía (W)	800 mW	800mw
Sensibilidad-robustez	Buena	Buena
Tamaño (en orden de cm)	2.3 alto x 1.9 cm diámetro	2.5 alto x 2 cm diámetro
Desventaja particular	Se necesita un tipo de sensor porcada tipo de gas a medir	La resistencia del sensor varía según la concentración de gases detectados

En la tabla 4 se otorga una calificación a la eficiencia o cumplimiento de los requisitos de los sensores para la aplicación en el proyecto, de acuerdo a la siguiente ponderación:

- 100: Excelente.
- 90: Muy bien.
- 80: Bien.
- 70: Suficiente.
- 60 Insuficiente.
- NC no cumple
- Califica/No califica

Con respecto a una desventaja particular de cada sensor, se evalúa si éste califica o no para la realización del proyecto.

Tabla 4 Tabla de elección de sensores

Sensores	Sensores MQ131 y 135	Sensor infrarrojo multigas NDIR	Sensores Ex Drager	Parallax 605-00008-ND
Clase de gases que puede medir	90	60	NC	80
Tiempo de respuesta de resultados	80	80	90	80
Unidades de medida	100	90	80	90
Peso	100	NC	90	100
Alimentación	100	60	100	100
Consumo de energía (mw)	100	60	100	100
Sensibilidad-robustez	90	60	80	90
Tamaño (en orden de cm)	100	60	70	100
Desventaja particular	Califica	No califica	No califica	Califica
Eficacia	760	Descartado	Descartado	740

4.2 Ventajas/desventajas en el uso del prototipo diseñado, comparado con los demás sensores.

Infrarrojo

Ventajas sobre los infrarrojos es su tamaño compacto y poco peso útil para usarlo en un VANT, puede medir gases con más de un tipo de átomo, bajo consumo energético.

Catalíticos

Se fijan más en la detección de gases explosivos y no en la medición de contaminantes, si entra en contacto con ácido sulfhídrico o siliconas.

Semiconductores

Este tipo de sensores cuentan con características físicas similares a los MQ pero son superiores en cuanto a la cantidad de gases que son capaces de detectar. Sin embargo su imposibilidad de detectar el ozono y el monóxido de carbono los pone en un plano inferior a los MQ.

Capítulo V CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

En cuanto a los sensores MQ los resultados arrojaron que:

- Estos sensores no son adecuados para todos los gases.
- Generalmente solo son adecuados para gases electroquímicamente activos como por ejemplo Ozono (O_3), Benceno (C_6H_6), alcohol (OH), o el humo.
- Los sensores pueden verse afectados por la exposición prolongada a los gases ácidos como el ácido sulfhídrico [H_2S] y el dióxido de carbono [CO_2] en grandes concentraciones como en áreas muy contaminadas o en chimeneas industriales
- La mayoría de los sensores de oxígeno no deben usarse continuamente en atmosferas que contienen más del 25% de CO_2 , limitando sus operaciones en temperaturas extremadamente frías o excesivamente cálidas.
- Los sensores semiconductores perciben una mayor cantidad de gases entre ellos: Gas Licuado de Petróleo (GLP), iso-butano, propano, metano, alcohol, o hidrógeno, y también se puede utilizar para detección de humo sin embargo no perciben el ozono ni el monóxido de carbono lo que es esencial para un correcto monitoreo.
- En conclusión, los sensores electroquímicos por sus características físicas (poco peso y tamaño compacto) fueron de muy fácil instalación en el V.A.N.T. y dieron los resultados esperados con sus mediciones.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda trabajar con los sensores MQ de acuerdo a los resultados alcanzados en la tesis. Los electroquímicos tienen ventajas y características que sirven para la detección de gases útiles para el proyecto, además de su precio accesible y tamaño.

En la tesis se demuestra en los resultados que utilizar los sensores MQ fue la decisión correcta para este proyecto de monitoreo de contaminantes.

Concluyendo, los sensores trabajan bajo ciertos rangos de medición ppm (partes por millón) e inclusive bpm (partes por billón), lo que los hace adecuados para la medición de distintos contaminantes en el área metropolitana de Monterrey.

Se recomienda usar los sensores en áreas sin alta concentración de dióxido de carbono o ácido sulfhídrico.

Otra consideración para los sensores es la de no exponerlos a condiciones adversas para su correcto funcionamiento, como son temperaturas extremas, alta concentración de gases corrosivos por largo tiempo, humedad.

5.3 Trabajos futuros

Para la continuidad de este proyecto la proyección de un monitoreo urbano en lugar de uno industrial no debe ser descartado.

Con lo realizado en la construcción de la interfaz de adquisición de datos en el VANT y los sensores seleccionados, se encontró que en las pruebas de laboratorio realizaban mediciones congruentes de acuerdo a la configuración del fabricante, las pruebas realizadas en campo mostraron la misma consistencia debido a que las mediciones fueron las deseadas. Queda pendiente realizar otras experimentaciones bajo condiciones de campo más controladas, por ejemplo, cerca de los emisores de una fuente fija.

De acuerdo a las comparativas realizadas en esta investigación los sensores electroquímicos utilizados fueron los correctos.

REFERENCIAS

- [1] 330 Ohms. (2016). Cómo funcionan los sensores de gas?. 15/09/2018, de 330ohms Sitio web: <http://blog.330ohms.com/2016/07/11/como-funcionan-los-sensores-de-gas/>
- [2] Manuel Cano Luna. (2008). Diseño y aplicación de sensores electroquímicos. 05/10/2018, de Universidad de Córdoba Sitio web: <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/422/9788478019311.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] Olaya Amor Gutiérrez. (2015). sensor enzimático de papel. 05/09/2018, de Universidad de Oviedo Sitio web: http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/32151/1/TFM_OLAYA%20AMOR%20GUTIERREZ.pdf
- [4] Luis Llamas. (2016). Detector de gases con Arduino y la familia de sensores MQ. 05/09/2018, de Luis Llamas Sitio web: <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>
- [5] Luis Escalona, Lisbeth Manganiello, Martha López, Cristóbal Vega. (2012). Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes. 17/08/2018, de Revista Ingeniería UC Sitio web: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v19n1/art09.pdf>
- [6] HISPACONTROL S.L.. (2017). Analizador multigases por infrarrojos NDIR. 15/09/2018, de FER strumenti Sitio web: <http://www.hispacontrol.com/recursos/pdf/enox.pdf>
- [7] EMERSON.inc. (2018). Detectores ultrasónicos de fugas de gas. 27/08/2018, de EMERSON.in Sitio web: <https://www.emerson.com/es-mx/automation/measurement-instrumentation/flame-gas-detection/about-ultrasonic-gas-leak-detectors>

- [8] Estrategias Creativas S.A.S.. (2018). MQ-131 OZONO SENSOR DE GAS. 05/10/2018, de Plintec Sitio web: <http://plintec.co/tienda/sensores-y-otros-perifericos/418-mq-131-ozono-sensor-de-gas.html>
- [9] Estrategias Creativas S.A.S.. (2018). MQ-131 OZONO SENSOR DE GAS. 05/10/2018, de Plintec Sitio web: <http://plintec.co/tienda/sensores-y-otros-perifericos/419-sensor-mq135-para-calidad-de-aire.html>
- [10] Lucia Senra Bao y Emma Soengas Gonda. (2010). Historia de biosensores. 07/11/2018, de fundacion telefonica Sitio web: <https://biotecnologia.fundaciontelefonica.com/2010/07/12/historia-de-los-biosensores/>
- [11] European Editors. (2014). Sensores para monitoreo de calidad del aire y seguridad. 28/10/2018, de Digikey Sitio web: <https://www.digikey.com.mx/es/articles/techzone/2014/may/sniffing-the-air-sensors-for-monitoring-air-quality-and-safety>
- [12] DigikeyElectronics. (2018). Parallax Inc. 28/10/2018, de Digikey Sitio web: <https://www.digikey.com.mx/product-detail/es/605-00008/605-00008-ND/2666950>
- [13] Dräger.inc. (2018). DrägerSensor XXS. 28/10/2018, de Drägerwerk AG & Co Sitio web: https://www.draeger.com/es_es/Applications/Products/Mobile-Gas-Detection/DraegerSensors/DraegerSensor-XXS#benefits
- [14] Dräger.in. (2018). Sensores catalíticos Ex Dräger. 28/10/2018, de Drägerwerk AG & Co Sitio web: https://www.draeger.com/es_mx/Applications/Products/Mobile-Gas-Detection/DraegerSensors/Catalytic-Ex-Sensors#benefits

Anexos

Departamento: **Sistemas y Computación**
Cd. Guadalupe, N.L., a 6 de febrero de 2018

Asunto: **Solicitud de registro de tesis**

Ing. Magaly Benítez Tamez

Jefa del Departamento de Sistemas y Computación del I.T de Nuevo León

Presente.

Por este conducto solicito a usted sea registrada la tesis que llevaré a cabo bajo la línea de investigación de Tecnologías de Información y Comunicación. La realización de esta tesis servirá como el producto académico para la obtención del grado de Ingeniero en Sistemas Computacionales en este Instituto Tecnológico de Nuevo León.

Los datos de registro de la tesis son:

a) Nombre del estudiante	Mario Humberto Uriegas de León No. de control: 14480514
b) Programa Educativo	Ingeniería en Sistemas Computacionales
c) Título de tesis:	Evaluación de la eficiencia de los sensores electroquímicos en la medición de contaminantes a través de un VANT.

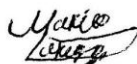
Así mismo, le informo que para este proyecto mi comité de seguimiento de tesis es:

Director de tesis: M.C. José Isidro Hernández Vega

Co-Director: M.C. Jonam Leonel Sánchez Cuevas

Agradezco de antemano su valioso apoyo para el registro de este proyecto académico.

Atentamente



C. Mario Humberto Uriegas de León

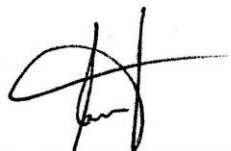
Estudiante de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales

No. de control: **14480514**



SEP
T N M S E S
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE NUEVO LEÓN
DEPARTAMENTO DE
SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

VoBo.



M.C. José Isidro Hernández Vega
Director de Tesis



M.C. Jonam Leonel Sánchez Cuevas
Co-Director de Tesis

c.c.p. Archivo
c.c.p. Directores y Co-Director de Tesis
c.c.p. Estudiante