



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS PROFESIONAL

Título:

**“DESARROLLO DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA EL ESTUDIO DE LA
DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN FUENTES
PUNTUALES.”**

Presenta:

I.Q. GERARDO ISIDORO MAGALLANES HOYOS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA QUÍMICA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. FRANCISCO MANUEL PACHECO AGUIRRE

CO-ASESOR DE TESIS:

DRA. MAYRA RUIZ REYES

H. PUEBLA DE ZARAGOZA A 15 DE DICIEMBRE DEL 2015

Gracias Dios mío.

Gracias Señor por la vida, la salud, por mi familia, amigos y por todos los días de mi vida en los que me acompañas, por darme la capacidad para desarrollarme en todos los aspectos de mi vida.

A ti, Madre santísima Virgen de Guadalupe porque me acompañas en cada instante de mi vida, protegiéndome y cubriéndome con tu mando, a mi a mis seres queridos, Tú que eres la madre de todos y nos cuidas te doy la gracias por que se que siempre estas a junto a mí, en los buenos y malos momentos.

El señor es mi pastor, nada me falta.
En verdes praderas me hace recostar;
me conduce hacia fuentes tranquilas.

Y repara mis fuerzas;
me guía por el sendero justo,
por el honor de su nombre.

Aunque camine por cañadas oscuras,
nada temeré, porque Tú vas conmigo;
Tú vara y tu cayado me dan aliento.

Preparas ante mí una gran mesa,
enfrente de mis enemigos;
me unges mi cabeza con perfume.
y mi copa rebosa.

Tu bondad y tu misericordia me acompañan en
todos los días de mi vida;
y habitaré en la casa del señor,
por los siglos de los siglos.

Salmo 23 de David.

El valor de las cosas, no está en el tiempo que duran, si no en la intensidad con que suceden, por eso existen momentos inolvidables, cosas inexplicables y personas incomparables.

-Anónimo-

DEDICATORIAS

A mi madre Ma. del Rosario Hoyos Calleja que me dio la vida y que con su ejemplo me enseña, ella es la persona más fuerte, tenaz y perseverante que conozco y con su ejemplo me ha demostrado que con paciencia y perseverancia todo es posible, ella es mi fuente de motivación más grande, gracias a ella he logrado lo que soy por eso este y todos los demás logros que alcance en mi vida se los dedico a ella, gracias mamá.

A mi tío Isidoro Hoyos Calleja por su sabio consejo y su apoyo en cada paso de mi vida tanto profesional como personal.

A mi hermana Ma. Cristina Magallanes Hoyos que siempre me apoya no importa las diferencias que tengamos.

A mis familiares más cercanos: Tío Polo, Cristina, Ana, Margarita, Yín y sus familias por su apoyo en mi desempeño personal y profesional.

A Patricia Illescas Flores que me ha acompañado a lo largo de mi maestría animándome en los buenos y malos momentos para que siga adelante.

Al Dr. Francisco Manuel Pacheco Aguirre y la Dra. Mayra Ruiz Reyes que me permitieron desarrollar este proyecto con ellos y un especial agradecimiento al Dr. Porque me ha enseñado mucho durante este corto tiempo con su sabio consejo y amistad.

AGRADECIMIENTOS

A mis colegas de la maestría que me brindaron su amistad desde ahora y en adelante: Carolina Osnaya Anahi González, Ma. Fernanda Velasco, Alberto Vázquez, Cesar Conde, José Muñoz, Alfonso Mata, Ana Hernández, Romeo de Coss, Maribel López, Isabel López Samanta Osnaya.

Al Ingeniero Carolina Sánchez Ramírez que me ha apoyado profesionalmente a lo largo de mi carrera.

A mis amigos de la infancia porque son los que me han acompañado, acompañan y acompañarán a lo largo de mi vida.

A mis compañeros de laboratorio que además de crear un gran y bonito grupo de convivencia por su apoyo y colaboración en este proyecto: Gabriela Lobato, Jezreel Soriano, Adán Cuevas, Yahir Saavedra, Ayari Hernández, Rodrigo Rodríguez, Ángel Flores, Betzabeth Carrasco.

A mis sinodales el M.I. Juan Carlos Pichardo Macías y la Dra. Georgette Rebollar Pérez por su ayuda en la elaboración de este escrito.

Al Dr. Sampieri porque siempre estuvo al pendiente de mi desempeño académico y a lo largo del proyecto.

A la FIQ por abrirme las puertas para poder realizar para seguir creciendo profesionalmente.

A Conacyt por el apoyo económico que me brindó para poder realizar mis estudios de maestría.

Índices

Índice Contenido

Índice Figuras.	i
Índice de Tablas.	ii
Índice de Nomenclatura.	iii
Resumen	iv
Abstract.	v
Introducción.	vii
Planteamiento del Problema.	viii
Justificación.	viii
Objetivo General.	ix
Objetivos Específicos.	ix
1. Capítulo I.	1
1.1 Antecedentes	2
2. Capítulo II.	13
2.1 Fundamentos del software de la ET.	14
2.1.1 Arduino.	14
2.1.2 Puertos Arduino.	15
2.1.3 LabVIEW.	16
2.1.4 Enlace entre Arduino y LabVIEW.	17
2.1.5 Fundamentos de programación.	18
3. Capítulo III	23
3.1 Desarrollo del Hardware.	26
3.1.1 Sección de monitoreo.	26
3.1.2 Cuerpo del túnel de viento.	27
3.1.3 Panel de convección forzada.	27
3.2 Desarrollo del Software.	27
4. Capítulo IV.	29
4.1 Diseño final de la sección de monitoreo.	30
4.2 Diseño final del túnel de viento.	32
4.3 Diseño final del panel de convección forzada.	35

Índices

4.4 Interconexión entre Arduino y LabVIEW.	36
4.5 Pruebas preliminares.	42
5. Conclusiones.	49
Bibliografía.	50

Índices

Índice de Figuras.

Figura 2.1. IDE de Arduino.	18
Figura 2.2. VIPM de NI.	18
Figura 2.3. Bloque Init de LabVIEW.	19
Figura 2.4. Bloque Close de LabVIEW.	19
Figura 2.5. Bloque Análogo y PWM del LabVIEW.	19
Figura 2.6. Arreglo de Bloques para Guardar la Información.	21
Figura 2.7. Código completo para un sensor.	22
Figura 3.1. Diagrama de pasos a desarrollar para el desarrollo de la ET.	25
Figura 3.2. Diagrama de bloques del manejo de la señal.	28
Figura 3.3. Tipos de señal de voltaje del Arduino.	28
Figura 4.1. Diseño mecánico de la sección de monitoreo con la orientación y localización de los sensores MQ-3.	30
Figura 4.2. Dizcretización de valores para la aproximación de un valor.	31
Figura 4.3. Estructura donde se encuentran montados los sensores MQ-3.	32
Figura 4.4. Estructura donde se encuentran montados los sensores MQ-3 (vista posterior).	32
Figura 4.5. Diseño mecánico del cuerpo del túnel de viento.	33
Figura 4.6. Vista interna del túnel de viento desde el panel de convección.	34
Figura 4.7. Panel de convección forzada (desmontado) y túnel de viento de la ET.	34
Figura 4.8. Vista interna del túnel de viento (desde la estructura de los MQ-3).	34
Figura 4.9. Diseño mecánico del panel de convección forzada.	35
Figura 4.10. Panel de convección forzada (montado) de la ET.	36
Figura 4.11. Código <i>LIFA_BASE</i> cargado en el IDE y el <i>Toolkit</i> de LabVIEW con Arduino.	37
Figura 4.12. Modificación del <i>LIFA_BASE</i> , función.	38
Figura 4.13. Panel de control de la ET.	39
Figura 4.14. Diagrama bifilar entre el sensor MQ-3 y el PLC.	40
Figura 4.15. Diagrama bifilar entre el sensor LM35 y el PLC.	40
Figura 4.16. Diagrama bifilar entre el sensor DS18B20 y el PLC.	41
Figura 4.17. Diagrama bifilar entre un ventilador y el PLC.	42
Figura 4.18. Gráfica del comportamiento individual del S-1,1,1.	43
Figura 4.19. Gráfica del comportamiento individual del S-2,3,2.	43
Figura 4.20. Gráfica del comportamiento individual del S-3,1,3.	44
Figura 4.21. Gráfica del comportamiento de los termopares en las pruebas de la ET.	45
Figura 4.22. Diagrama de la ubicación de los sensores MQ-3 en la gráfica de resultados.	46
Figura 4.23. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_0	46
Figura 4.24. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_1	46
Figura 4.25. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_2	47
Figura 4.26. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_3	47

Índices

Figura 4.27. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_4	47
Figura 4.28. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_5	47
Figura 4.29. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_6	47
Figura 4.30. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_7	47
Figura 4.31. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_8	48
Figura 4.32. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_9	48

Índice de Tablas.

Tabla 1.1. Síntesis de antecedentes.....	10
Tabla 2.1. Conversión de la información a notación fraccionaria (F-format).	21
Tabla 4.1. Datos de los termopares.....	43

Índices

Índice de Nomenclatura.

Símbolo.	Definición.
V	Voltaje.
mV	Milivolts.
mg	Miligramos.
L	Litros.
R_s	Resistencia variable.
R_0	Resistencia libre de etanol.
V_{out}	Voltaje de salida.
V_{cc}	Voltaje de entrada.
$K\Omega$	Kilohms
$^{\circ}C$	Grados centígrados.
t	Tiempo.
X,Y,Z	Coordenadas rectangulares.
ij	Coordenadas espaciales.
c	Concentración.
D	Difusividad.

Resumen

Magallanes Hoyos, Gerardo Magallanes Hoyos. Maestría en Ingeniería Química Facultad de Ingeniería Química BUAP Diciembre 2015 “**Desarrollo de una estación de trabajo para el estudio de la difusión de contaminantes atmosféricos en fuentes puntuales.**”. Asesores: Dr. Francisco Manuel Pacheco Aguirre y Dra. Mayra Ruiz Reyes.

El presente trabajo trata del diseño y construcción de una estación de trabajo (ET) para el estudio de la difusión y dispersión de gases contaminantes, que permita abordar diferentes escenarios bajo condiciones controladas de procesos de dispersión de sustancias en estado gaseoso. En la cual se puedan replicar a escala ingenieril (EI) las emisiones atmosféricas industriales. La ET consta de 5 elementos principales, el sistema de calentamiento, el panel de convección forzada, los sensores de concentración MQ-3 y temperatura, el microcontrolador Arduino y la interface LabVIEW que realiza la comunicación entre la ET y una unidad de cómputo. La ET dispone de 27 de sensores MQ-3, Hanwei, Henan, China, dispuestos a lo largo de la sección longitudinal y a partir de la sección transversal media en un solo sentido que coincide con la dirección de flujo. La geometría propuesta es de un prisma rectangular, en cuyo interior se instalaron los sensores formando una malla con distribución ortogonal y a su vez conectados a través de una interface, también desarrollada en este trabajo, con tarjeta electrónica Arduino Mega 2560, que en conjunto con el software LabVIEW permite establecer una comunicación continua sensor-PLC-PC a través de la cual la información es capturada y almacenada en tiempo real.

Las pruebas preliminares muestran, la adecuada función de los sensores MQ-3 indicando la concentración de etanol en gr L^{-1} en una sonda de prueba. Cuando los sensores se encontraban en un mismo punto, registraron la misma concentración además de una alta sensibilidad y una rápida respuesta para detectar los pequeños cambios de concentración. La evaluación de la concentración de la descarga y análisis de los datos permitirá la generación de modelos que permitan evaluar la concentración como función del tiempo y espacio.

Palabras clave: Contaminante, Dispersión, Difusión.

Abstract

Magallanes Hoyos, Gerardo Magallanes Hoyos. Maestría en Ingeniería Química Facultad de Ingeniería Química BUAP Diciembre 2015 “**Desarrollo de una estación de trabajo para el estudio de la difusión de contaminantes atmosféricos en fuentes puntuales.**”. Asesores: Dr. Francisco Manuel Pacheco Aguirre y Dra. Mayra Ruiz Reyes.

This paper is about the equipment development to carry out the construction of a workstation (WS) for the study of diffusion and dispersion of pollutant gases that can riposte different scenarios under controlled conditions in processes of gaseous substance. In which they can replicate engineering scale (ES) industrial air emissions. The WS has 5 main elements: heating system, forced convection panel, concentration sensors MQ-3 and temperature sensors, Arduino microcontroller and LabVIEW interface, which makes communication between the WS and computer unit. WS has 27 MQ-3, Hanwei, Henan, China sensors arranged along the longitudinal section and from the average cross section in one direction coincides with the direction of the flow. The proposed geometry is a rectangular prism, inside which sensors were installed in a grid with orthogonal distribution and in turn connected via an interface, also developed in this work, with the Arduino Mega 2560 board, which together with the LabVIEW software allows for continuous communication sensor-PLC-PC through which the information is captured and stored in real time.

Preliminary tests show the proper role of the MQ-3 sensors indicating the ethanol concentration in g L^{-1} . When the sensors were in one spot, recorded the same concentration as well as high sensitivity and fast response to detect small changes in concentration, we are currently evaluating the concentration of downloading and analyzing the data to then generate a model that includes this behavior as a function of time and space.

Keywords: pollutant, dispersion, diffusion.

Introducción

En los últimos años se ha puesto mayor atención a la modelación de fuentes de emisiones gaseosas que puedan simular el comportamiento de las descargas de gases contaminantes a la atmósfera, sin embargo, la representación experimental de estos sistemas que se desean estudiar no se ha llevado a cabo con la ayuda de modelos físicos a escala ingenieril bajo condiciones controladas en las que se puedan manipular las variables de control. La mejor manera de estudiar el comportamiento de un fenómeno es replicarlo de forma experimental. Para poder realizar un experimento, el sistema debe cumplir con ciertas características como son: ser observable y controlable (Fritzson, 2003). Por otro lado, para estudiar correctamente un fenómeno es necesario recrear el experimento bajo condiciones controladas ya sea in situ o a nivel laboratorio, en donde se encuentren definidas todas las variables, delimitando los parámetros de operación, con el fin de lograr un adecuado manejo de las condiciones que deseamos reproducir en el sistema. Cabe mencionar que tener repetitividad en los experimentos in situ es mucho más complejo que recrearlos con un equipo a nivel laboratorio (Bustos Salas C., 2004)

En el presente trabajo se efectuó la construcción de una ET que pueda replicar las emisiones gaseosas de fuentes puntuales de contaminantes atmosféricos bajo condiciones controladas recreando condiciones atmosféricas en un espacio confinado, es decir reproducir micro climas en un entorno donde se puedan manipular algunas características propias de estos sistemas, como son: la temperatura de emisión, la velocidad y dirección del viento, la temperatura del medio ambiente del espacio confinado, entre otras. Con la ayuda de sensores que puedan detectar los gradientes de concentración a lo largo del experimento, se tendrá la capacidad de estudiar el fenómeno dispersión y difusión de las emisiones gaseosas.

Al desarrollar este proyecto se podrá recabar información fehaciente que sea representativa de las emisiones de contaminantes para posteriormente realizar simulaciones que permitan obtener los parámetros de los modelos matemáticos que describen los fenómenos físicos involucrados en la difusión y/o dispersión de las emisiones atmosféricas de fuentes puntuales.

En la selección de las dimensiones del sistema se empleó la teoría de semejanza geométrica, mientras que para representar el desplazamiento y extensión de la pluma como consecuencia de las condiciones de la emisión se empleó la combinación de la teoría de semejanza dinámica y cinemática (partículas homólogas, sometidas a fuerzas externas, llegan a puntos homólogos en tiempos homólogos).

Planteamiento del problema

La información respecto del comportamiento de las emisiones de gases planificadas así como también de aquellas que son inesperadas, que comúnmente se producen como resultado de los procesos químicos o la operación de las plantas, han representado un alto riesgo tanto para el medio ambiente, como para los seres vivos, incluidos los seres humanos que habitan zonas aledañas a estas industrias.

Varios autores han llevado a cabo estudios sobre de la modelación de la difusión y dispersión de los contaminantes atmosféricos por fuentes puntuales en modelos matemáticos tridimensionales cuyo objetivo generalmente es identificar, modelar y simular el comportamiento de la concentración y dinámica de las emisiones gaseosas puntuales tales como los gases de combustión, metanol, etanol, dióxido de carbono entre otras (Dräger Technology for Life, 2010), así como también a partir de estos datos identificar el daño colateral que puedan causar estos contaminantes, sin embargo, la mayor parte de ellos carece de información o validación experimental por la inherente dificultad y riesgos que representa el estudio in situ de estos fenómenos.

Justificación

El presente trabajo representa una alternativa tecnológica para la adquisición de información con respecto de los parámetros a estudiar de la masas gaseosas contaminantes controladas en un entorno a escala ingenieril que complementarían el estudio, la modelación y simulación de la difusión y dispersión de las descargas de fuentes puntuales contaminantes.

Objetivos

Objetivo General

- I.** Desarrollar una estación de trabajo que permita controlar parámetros climáticos para el estudio de la difusión y dispersión de fuentes gaseosas contaminantes.

Objetivos Específicos

- I.** Desarrollar el Hardware de la estación de trabajo.
- II.** Desarrollar el software para los elementos de instrumentación y control de la estación de trabajo.
- III.** Articular los componentes de la estación de trabajo y comprobar su correcta instalación.
- IV.** Operar y efectuar las pruebas preliminares de operación y paro de la estación de trabajo para verificar su funcionamiento.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Antecedentes

La contaminación del aire proviene de una mezcla de varias fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores hasta el uso de pinturas, desodorantes, productos de limpieza doméstica entre otros. En general, para los propósitos de inventario las emisiones de gases contaminantes se pueden agrupar en cuatro categorías principales (SEMARNAT, 2008):

a. Fuentes puntuales o fijas.

Estas se caracterizan por ser fuentes de emisión que no pueden desplazarse, como son: chimeneas, torres de enfriamiento, hornos industriales.

b. Fuentes móviles.

Son aquellas en las que el origen de la emisión suele ser un vehículo automotor, por lo que tienden a desplazarse. Algunos ejemplos son: coches, camiones, trenes, barcos, aviones por mencionar algunos.

c. Fuentes de área.

Se podría decir que son una combinación entre las fuentes fijas y móviles, ya que estas fuentes de área son aquellas donde hay una gran afluencia de vehículos automotores o en zonas de complejos industriales. Ejemplos: estacionamientos de aeropuertos, zonas céntricas de ciudades densamente pobladas, complejos industriales con grandes cantidades de descargas.

d. Fuentes naturales.

Son muy similares a las fuentes fijas, con la diferencia que la emisión de gas se lleva a cabo por medio de un fenómeno natural. Como son: volcanes, incendios, entre otros.

En lo respecta a las plantas químicas de procesos estas son catalogadas como fuentes puntuales ya que en la mayoría de los procesos industriales tiene por lo menos una de las operaciones unitarias que se considera como fuente fija y cabe destacar la necesidad de contar con un sistema que permita monitorear las descargas de gases contaminantes, así como tener un sistema de contingencia para la detección de posibles descargas no planificadas, que puedan llegar a ocasionar daños.

Capítulo I

La función de un sistema de detección de gases no es simplemente saturar con sensores toda la planta, sino el verdadero reto es poder identificar los caminos migratorios de cualquier emisión de gases, basado en las variaciones de la dirección y velocidad del viento, la temperatura y humedad del ambiente, tipo de terreno, la distribución orográfica del lugar, la atmósfera circundante, las condiciones de la descarga de gas como son la temperatura y presión, entre otras. Todas estas variables son las que establecen la localización de los sensores ya que debe haber un equilibrio entre costo y reducción de riesgos y no solo distribuir los sensores junto a las fuentes de emisión ya que estos puntos son de alta concentración y podríamos tener lecturas erróneas y no muy confiables acerca del comportamiento del fenómeno de difusión y dispersión (M. Estevez ,2000). Para tener una adecuada distribución de los sensores es necesario hacer un estudio sobre el comportamiento de los gases, por lo que el desarrollo de un equipo que puede lograr la reproducción de ambientes controlados en los cuales se puedan manipular las diferentes variables que afectan los fenómenos de difusión y dispersión nos permite estudiar cuales variables son las que tienen mayor influencia sobre el comportamiento del gas así como comprender la cinética de las emisiones, para posteriormente con esta información hacer comparaciones con modelos matemáticos para ajustar los parámetros y hacer que estos modelos se asemejen más a los fenómenos físicos.

En las últimas décadas, la modelación se convirtió en una herramienta habitual de diversas disciplinas que busca explicar o reproducir sus respectivas observaciones. Es así como Higashi señala que: *“La modelación matemática es una metodología sistemática de comprobado éxito en el descubrimiento y entendimiento de los procesos y causas subyacentes en la naturaleza, basada sobre sus partes observables y sus relaciones”* (Higashi M, 1991). Sin embargo, es necesario comprobar que los modelos creados para la representación de emisiones gaseosas por fuentes puntuales se ajustan y que realmente sean representativos de los fenómenos de difusión y dispersión. La forma para validar cualquier modelo es llevar a cabo experimentos bajo condiciones controladas que nos permitan recrear, en este caso, el fenómeno de difusión y dispersión de gases de emisiones por fuentes puntuales para poder comparar los datos experimentales con los modelados y así poder ajustar el modelo matemático a los datos experimentales y de esta forma validar su semejanza con el fenómeno físico.

Capítulo I

De acuerdo a Manzur (2012), cuando existe la dispersión de un contaminante a partir de la fuga (descarga) de un gas, se presentan escenarios en que las propiedades del gas dominan sobre los mecanismos de transporte masa, mientras que en otros casos, las características del entorno son las que controlan los mecanismos de transporte de masa. Debido a lo anterior, realizar modelos matemáticos sobre emisiones de gases conlleva al uso de ecuaciones complejas multivariadas (María E. Manzur, 2012).

En el estudio de la dispersión de contaminantes, las propiedades comúnmente empleadas para caracterizar los gases son la densidad, temperatura y la presión a la que se emiten. Las características de los componentes que se estén liberando (densidad) y las condiciones del proceso (temperatura y presión) están relacionadas con el comportamiento de la emisión. Dichas propiedades determinarán la tendencia de la emisión como son: ascender, cuando la densidad del gas es menor al 2 % en comparación con la del aire, mantenerse, cuando la densidad varía menos del 2 % con respecto a la del aire y descender, cuando la densidad de la emisión es mayor al 2% de la del aire, pero su comportamiento también se ve influenciado por condiciones como la dirección y el flujo del viento (Dräger Technology for Life, 2010).

Tomando en cuenta todas las consideraciones anteriores se tiene una base para empezar a estudiar el comportamiento de los fenómenos de difusión y dispersión por medio de las fuentes puntuales ya sea con estudios in situ, réplicas gracias a equipos a escala o bien por modelación matemática. Se tiene como antecedente los siguientes autores que realizaron pruebas semejantes o bien desarrollaron un equipo similar al que se desarrolla en este trabajo.

En 1995 Davidson y colaboradores realizaron una serie de experimentos en el campo de Cardigton, Reino Unido, donde hicieron estudios sobre la dispersión de una pluma naturalmente flotante en contra de la dirección del viento para llegar a un arreglo de cubos de 2 metros en cada lado, para estudiar el desplazamiento de la pluma a través de los arreglos utilizados (cuadrangular y triangular), para observar los efectos y cambios de concentración que se iban dando con el uso de un trazador para poder observar la fluctuación de la pluma (M. J. Davidson K. R., 1995).

Capítulo I

Un año después el mismo Davidson realizó la simulación en un túnel de viento sobre dispersión de una pluma a través de un grupo de obstáculos, complementando y comparando este estudio con las pruebas de campo que realizó un año antes (M. J. Davidson W. H., 1996).

Dos años después Macdonald realizó una serie de experimentos, similares a los de Davidson, tanto de campo como en un túnel de viento a escala para realizar una comparación de ambos. Las pruebas experimentales las realizó en dos escalas distintas, en 1:100 para el túnel de viento y 1:10 en campo con más de un conjunto de arreglos para el grupo de obstáculos, se observó en estos estudios que la concentración de la pluma, cuando la fuente puntual estaba cerca de las dos primeras filas de obstáculos difería en gran medida del modelo Gaussiano de forma vertical y horizontal, mientras que después de las dos filas de obstáculos los resultados del modelo se aproximaban considerablemente a los experimentos (R. W. Macdonald, 1998).

Contini D., en 1998 realizó en la Universidad de Surrey EE.UU algunos estudios sobre el comportamiento de los gases bajo condiciones controladas, en los que evaluó la dispersión de contaminantes gaseosos en un modelo de túnel de viento de un incinerador de residuos, así se determinaron las concentraciones de la pluma vertical y horizontal, cambiando la dirección de viento y la fuente de emisión, los resultados obtenidos fueron comparados con el modelo estándar Gaussiano (Daniele Contini, 1998).

Kiyoshi Uehara y colaboradores desarrollaron en Japón en el año 1998 un túnel de viento para estudiar cómo la estratificación térmica afecta el flujo en y por encima de los cañones urbanos, para este estudio se utilizó un equipo con geometría de prisma rectangular, las dimensiones del trabajo de Kiyoshi eran de 2x3x24 m de alto, ancho y largo respectivamente (Uehara Kiyoshi, 1998). A similitud de este equipo la ET no cuenta con un control térmico preciso en la sección de pruebas, pero cuenta con un rango de trabajo de temperatura.

Al año siguiente se publicó un artículo en Alemania por P. Kastner-Klein y E.J. Plate sobre el estudio de la concentración en los cañones urbanos en un túnel de viento, con una geometría similar a la de Kiyoshi pero con dimensiones más reducidas. Teniendo

Capítulo I

1x2x10.5 m de alto, ancho y largo respectivamente, se colocaron bloques en forma de prisma rectangular para recrear los cañones urbanos, al igual que el experimento de Kiyoshi, para medir la concentración dentro de los cañones urbanos. Como gas contaminante ellos usaron una mezcla de aire con trazador SF₆ para detectar las variaciones de concentración dentro de los cañones urbanos (P. Kastner-Klein, 1999).

Un par de años después una investigación en conjunto se llevó a cabo entre G.A. Briggs y R.E. Britter, sobre difusión vertical de una pluma de gas denso sobre superficies rugosas en tres túneles de viento, en distintas ubicaciones, las cuales son, en la Universidad de Arkansas, en la Agencia de Protección Ambiental en Carolina del Norte y en la Universidad de Surrey. Estos experimentos estudian principalmente el comportamiento que tiene la pluma, observando cómo se van dando los perfiles de concentración en la pluma, la velocidad de desplazamiento y la expansión que se va dando (G.A. Briggs, 2001).

En 2003 I. Mavroidis llevó a cabo una investigación en Inglaterra sobre la dispersión de una pluma alrededor de la superficie de obstáculos individuales de diferente forma en dos escalas nominales, 1/10 y 1/20, la primera es escala de campo y la segunda en un túnel de viento. En ambas pruebas se usó un trazador y una fuente puntual para llevar a cabo el estudio. Se concluyó que tanto el comportamiento como la concentración de la pluma varía considerablemente dependiendo de la forma del objeto, la posición relativa de la fuente puntual con el obstáculo y la dirección del viento, esto debido que dependiendo de la forma del objeto y la dirección del viento se forman zonas de recirculación alrededor de este, cambiando las condiciones de la nube de contaminantes como son la dirección, concentración y comportamiento (I. Mavroidis, 2003).

Por otro lado Eliasson y colaboradores en 2004 llevaron estudios in situ, sobre el comportamiento de la turbulencia de flujos de viento en los cañones urbanos de la ciudad de Göteborg, Suecia. En este proyecto se montaron diferentes instrumentos tales como termopares, anemómetros sónicos, radiómetros en los diferentes perfiles verticales y a todo lo ancho del cañón urbano (I. Eliasson, 2004), en comparación con la ET, es un modelo a escala, en el cual se puede manipular con mayor facilidad las variables y tener ambientes controlados para las distintas pruebas que se deseen realizar, una gran diferencia con respecto a los instrumentos utilizados en el proyecto de Eliasson es el uso de anemómetros

Capítulo I

sónicos, sin embargo, aunque no se tiene un instrumento para medir la velocidad del viento en la ET, se tiene control sobre el panel de convección forzada el cual nos permite controlar la velocidad y dirección de la emisión de gases dentro del túnel.

Un proyecto similar fue llevado a cabo en la universidad de Colorado, el cual trata de la difusión de una pluma gaseosa sobre estructuras aisladas de geometría simple. Meroney en este estudio evaluó el efecto de estructuras en el curso de las emisiones, así como los gradientes térmicos que puedan influir en las corrientes de aire; en este estudio se resalta nuevamente la importancia de comprender la difusión de los gases (Meroney, 2008).

En el mismo año Olga V. Taseiko en Siberia, Rusia hizo un estudio sobre la dispersión de contaminantes en el aire dentro de cañones urbanos, utilizando un método matemático semi-empírico USM (Urban Street Model), para calcular la dispersión de contaminantes emitidas por vehículos. En este artículo se hizo un modelo conforme al arreglo de las calles teniendo en cuenta la separación entre edificios, y sus dimensiones (largo y alto). También toma en cuenta diferentes variables como la velocidad del viento la dirección y la interacción que tiene con las estructuras en el ambiente (Olga V. Taseiko, 2008). Aunque en este artículo se trabaja con la modelación, nos indica las diferentes consideraciones que deben ser tomadas para el estudio del fenómeno de dispersión y difusión. Consideraciones similares se toman para el desarrollo de la ET.

Ese mismo año se llevó a cabo otra investigación sobre el estudio del flujo y difusión gaseosa detrás de edificaciones aisladas. La escala usada para este proyecto fue de 1:500 y las dimensiones del túnel de viento eran de 1x1.2x14 m de alto, ancho y largo. La velocidad del efluente contaminante fue despreciable para las pruebas realizadas. Uno de los datos que se estudiaron fue la difusión de la nube, la concentración promedio vertical y lateral, así como las fluctuaciones de concentración que se fueron dando a diferentes distancias de la estructura aislada. Los resultados del estudio demuestran que los perfiles verticales de la velocidad media longitudinal alrededor del obstáculo muestra una alta acumulación de contaminante. Además los resultados obtenidos en los experimentos nos pueden ayudar para comprender mejor los mecanismos de contaminación en zonas urbanas (Mohamed F, 2008).

Capítulo I

El desarrollo de tecnología que nos permita llevar a cabo estudios sobre la difusión y dispersión y el control de todas las variables involucradas es de suma importancia, como lo son los equipos de esterilización Telstar, dentro de estos proyectos están incluidos equipos auxiliares, como el sistema de suministro de gas llamado EtO, generador de vapor limpio, un dispositivo integrado de la liberación paramétrica de producción y un conjunto de sensores de concentración para la detección de posibles fugas en la zona de trabajo (Telstar, 2009). Este equipo es muy similar a la ET que se desarrolla con la notoria diferencia que este equipo es una cámara totalmente cerrada que no permite interacción con el medio, sin embargo no contiene control de temperatura alguno.

Otros equipos que tienen una alta tecnología son las cámaras de simulación climática y envejecimiento ambiental acelerado (CCI Cámaras de Simulación climática y Envejecimiento Ambiental Acelerado, 2009). Este tipo de cámaras son capaces de reproducir, a escala laboratorio, todas las condiciones climáticas posibles que se pueden producir en la naturaleza, mediante la generación controlada de los parámetros de temperatura ambiente, porcentaje de humedad, presión y velocidad del viento, pudiendo recrear una densa gama de condiciones climáticas tanto reales como artificiales, sin embargo estos equipos no presentan la estructura de un túnel de viento para recrear un flujo de aire que lleve algún contaminante y no contiene sensores para la detección de los cambios de concentración de un gas contaminante, cabe mencionar que estos equipos son altamente precisos con los parámetros que pueden recrear.

También se han estudiado los perfiles de concentración in situ vertical y horizontal en las zonas urbanas de Nantes, Francia usando un trazador para poder estudiar el comportamiento, entender la forma en que estas masas de gases se desplazan y como se van dando las concentraciones por los cambios de temperatura y las diferentes variaciones en el viento (O. Connan, 2014). A diferencia de la ET que se desarrolla en este escrito, los trabajos in situ nos permiten tomar la información tal cual es de esa zona específica de estudio, aunque con la complicación de tener repetitividad en las pruebas ya que no es posible controlar las condiciones del ambiente; en cambio en una ET es posible mantener las condiciones de la prueba en cierto rango facilitando la reproducibilidad de los resultados.

Capítulo I

Como ya se ha mencionado el uso de modelos matemáticos nos ayuda a estudiar algunas de las características propias de los fenómenos de difusión y dispersión desde el punto de la abstracción adyacente, sin embargo, para que estos modelos sean representativos y a su vez puedan validarse es necesario comprobar experimentalmente que puedan reproducir de forma fehaciente el fenómeno de emisión de gases por fuentes puntuales. Para llevar a cabo la reproducción de forma experimental del fenómeno de emisión de gases por fuentes puntuales es necesario equipo que pueda manipular ciertas variables como lo son: la temperatura, velocidad y dirección del viento, presión, humedad relativa, entre otras.

Capítulo I

Tabla 1.1 Síntesis de antecedentes.

Año	Autores	Objetivo	Equipo	Resultados
1995	M. J. Davidson et al.	Fenómeno de dispersión de una pluma.	Conjunto de bloques diferentes arreglos.	Relación entre la concentración de la pluma y el tamaño del objeto.
1996	M. J. Davidson et al.	Simulación del fenómeno de dispersión de una pluma.	Túnel de viento de 2.1x3.7x18 m de alto, ancho y largo respectivamente con obstáculos.	Hay dos mecanismos que determinan el comportamiento de la pluma.
1998	R. W. Macdonald, R. F. Griffiths, D. J. Hall	Comparar resultados de pruebas de campo contra túnel de viento en modelos matemáticos.	Túnel de viento de 1.5x4.3x22 m de alto, ancho y largo respectivamente. Campo del Centro de Tecnología UMIST	Modelo Gaussiano no se apega cuando la fuente está cerca de un obstáculo, cuando la fuente está retirada si se aproxima.
1998	Daniele Contini, Andrea Corti, Alan Robins	Comportamiento de la pluma y dispersión de la emisión de gases.	Túnel de viento con una escala de 1:300, usaron dos chimeneas como fuente puntual.	Los perfiles de concentración vertical mostraron un leve incremento con respecto al modelo Gaussiano estándar.
1998	Kiyoshi Uehara et al.	Estratificación térmica y corrientes de aire en y sobre los cañones urbanos.	Túnel de viento 2x3x24 m de alto, ancho y largo respectivamente.	Cuando las condiciones no eran estables, se presentaban cambios más significativos dentro del cañón.
1999	P. Kastner-Klein, E.J. Plate.	Concentración de gases contaminantes dentro de los cañones urbanos con un trazador.	Túnel de viento 1x2x10.5 m de alto, ancho y largo respectivamente.	Cambios de concentración se ven afectados por la geometría de los objetos y la velocidad del viento.

Capítulo I

Tabla 1.1 Síntesis de Antecedentes (continuación).

Año	Autores	Objetivo	Equipo	Resultados
2001	G.A. Briggs et al.	Difusión vertical de un pluma de un gas denso.	Túnel de viento 2.1x6.1x24 m con tiro natural, el segundo 2.1x3.7x18 m con tiro forzado, y el tercero 1.5x3.5x20 m con tiro forzado.	Similitud en los datos correspondientes a la escala del equipo usado.
2003	I. Mavroidis, R.F. Griffiths, D.J. Hall.	Dispersión de una pluma alrededor de la superficie en obstáculos individuales.	Estudio de campo y un túnel de viento de 1.5x4.3x22 m de alto, ancho y largo respectivamente.	Pluma varía por la posición relativa de la fuente con respecto al objeto, la forma y tamaño objeto y la dirección del viento.
2004	I. Eliasson et al.	Perfiles verticales de concentración en los cañones urbanos.	Estudio in situ en la ciudad de Göteborg, Suecia.	Geometría de los techos de los edificios influye en los perfiles de concentración
2008	R.N. Meroney	Difusión de la pluma sobre estructuras aisladas.	Túnel de viento de 1x2x12 m de alto, ancho y largo respectivamente.	Formación de vértices cerca de las estructuras cambiando la dirección de la nube.
2008	Olga V. Taseiko et al.	Dispersión de contaminantes dentro de los cañones urbanos en Serbia, Rusia.	Método matemático semi-empírico USM (Urban Street Model).	Resultados obtenidos por el modelo USM se asemejan más a las mediciones reales, en comparación a otros modelos.

Capítulo I

Tabla 1.1 Síntesis de Antecedentes (continuación).

Año	Autores	Objetivo	Equipo	Resultados
2008	Mohamed F. Yassin, Masaake Ohba, Hideyuki Tanaka	Difusión gaseosa detrás de edificaciones aisladas.	Túnel de viento con dimensiones de 1x1.2x14 m de alto, ancho y largo respectivamente.	Difusión se ve afectada por la geometría y dimensiones de la edificación.
2009	Telstar	Desarrollar equipos de alta calidad y precisión para el control de parámetros ambientales.	Equipo para controlar las condiciones climáticas, para poder replicar los escenarios del medio ambiente.	Equipo que nos permite recrear con gran precisión las condiciones de temperatura y presión que deseemos.
2009	CCI Cámaras de Simulación climática y Envejecimiento Ambiental Acelerado	Desarrollar equipos de alta calidad y precisión para el control de parámetros ambientales.	Equipo que controla las condiciones ambientales, para replicar escenarios climáticos ficticios o reales.	Equipos que permiten controlar satisfactoriamente la temperatura, presión, porcentaje de humedad, velocidad y dirección del viento entre otras variables.
2014	O. Connan, et al.	Perfiles de concentración verticales y horizontales con un trazador en zonas urbanas.	Trazador SF ₆ (hexacloruro de azufre), equipo meteorológico para registrar las condiciones ambientales.	Perfiles verticales de la velocidad media longitudinal alrededor del obstáculo muestra una alta acumulación de contaminante.

Capítulo II

Fundamentos de programación y desarrollo

Capítulo II

2.1 Fundamentos del software de la ET

En este capítulo se exponen los fundamentos básicos de programación en lenguaje G (Graph) con los cuales se desarrollará la interface y la programación de las unidades lógicas programables (PLC'S), es importante destacar que el software es seleccionado en base a la disposición de licencias para LabVIEW y para los PLC'S Arduino de libre distribución, esto se menciona porque algunos de los parámetros son exclusivos de cada programa respectivamente.

2.1.1 Arduino

Arduino (Adafruit Industries, Torino, Italia) es una plataforma electrónica (tarjeta o placa electrónica) para la creación de prototipos de código abierto, está basada en software y hardware flexibles fáciles de usar. El Arduino cuenta con un entorno para el desarrollo de códigos (software) que permite llevar a cabo una acción (D' Ausilio, 2012). Su capacidad de interactuar con el entorno se logra a través del acceso a toda una gama de dispositivos como por ejemplo, sensores, motores, servomotores, actuadores, led (diodo emisor de luz).

El Arduino se conforma de dos partes: hardware y software; el hardware representa la tarjeta, los puertos, el procesador, capacitores, entre otros instrumentos y el software es representado por el IDE de Arduino (Integrated Development Environment) también conocido como Ambiente de Desarrollo Integrado (Arduino, 2014), que es donde se desarrolla el código del programa que ejecuta en la tarjeta.

En los sistemas de control, el Arduino actúa como un microcontrolador o PLC (Programmable Logic Controller) que forma un enlace entre el mundo físico y el digital, esto es logrado mediante los diferentes puertos que tiene Arduino que son: analógicos, digitales y PWM, con ello es posible mandar y/o recibir información.

El lenguaje de programación que se utiliza en el IDE de Arduino es Processing que es muy parecido al C/C++. Processing es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado basado en Java, que sirve como medio para la enseñanza y producción

Capítulo II

de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital (Processing, 2015). El IDE es el ambiente donde se desarrolla el código del Arduino para llevar a cabo un proyecto.

2.1.2. Puertos Arduino

Para que el PLC pueda recibir o mandar información es necesario conectar cualquier instrumento a uno de los tres diferentes tipos de puertos que posee que son, analógicos, digitales y PWM. Estos puertos difieren en su funcionamiento y es importante saber cuál es el tipo de puerto adecuado, pero antes de diferenciar los 3 tipos de puertos que se tienen, se define a que es un “puerto”. Un *puerto* es una interfaz a través de la cual se pueden enviar y recibir los diferentes tipos de datos (Sedra Adel S., Circuitos Microelectrónicos, 2006).

Los puertos analógicos emiten una señal analógica que es un voltaje o corriente que varía continuamente, estas señales representan una simulación continua de algún tipo de hecho, actividad o proceso, a diferencia de los puertos digitales que emiten una señal digital, en contraste con las señales analógicas estas no varían en forma continua o bien no realizan simulaciones continuas de un proceso o suceso, sino que cambian en pasos o incrementos utilizando el código binario que es representados por unos y ceros (Sedra Adel S., Circuitos Microelectrónicos, 2006).

Los puertos digitales solo tienen dos estados estado, prendido (on) o apagado (off), el cual corresponde a uno (1) y cero (0) respectivamente. Los pines digitales en el Arduino siempre dan una potencia de salida de 5 V cuando están en 1 y 0 V cuando están en 0. Esto quiere decir que solo tienen dos estados, encendido y apagado y no pueden dar ningún valor dentro de un rango intermedio (Arduino, 2014).

Sin embargo, el mundo real no es digital, y a veces, no se puede traducir los cambios en el entorno en lecturas digitales. Por ejemplo, la temperatura no cambia sólo de frío a caliente, cambia en un rango de valores, normalmente, estos cambios ocurren muy lentamente. Éste es el motivo por el cual, a menudo, utilizamos sensores analógicos para leer los parámetros del entorno tales como, la temperatura, la luz, o el movimiento (Arduino, 2014). Esta información resultante es almacenada como datos digitales

Capítulo II

secuenciales, dado que Arduino no puede manejar la información como los humanos, es necesario traducir los datos analógicos para que Arduino pueda procesarlos.

Los puertos analógicos como representan una señal continua pueden leer los valores intermedios, y no solo el máximo y el mínimo a diferencia de los puertos digitales. El Arduino puede distinguir entre 1024 valores distintos en el rango 0 a 5 V que es el voltaje que manejan los puertos analógicos. La resolución entre los valores máximos y mínimos difiere de un PLC a otro (Arduino, 2014).

Los pines PWM (Pulse With Modulation), que significa modulación por ancho de pulso son pines digitales pero con la diferencia que no solo tienen dos estados. Los pines digitales como ya se mencionó sólo pueden ser HIGH y LOW, que es lo mismo que tener 5 o 0 volts, sin embargo, los pines PWM tienen una función especial que trabaja como si fuera un pin analógico, con esta función es posible enviar un valor pseudo-analógico a estos pines digitales especiales o PWM (Arduino, 2014). El valor de estos pines tiene un rango de trabajo de 0-255 a diferencia de los analógicos que es de 0-1024. Esto sería que si el valor es 0, representa a un LOW y 255 es lo mismo que HIGH, pero con la diferencia que se obtienen 255 pasos entre HIGH y LOW, en otras palabras, los pines PWM, que es una señal digital, podemos transformar los 5 V de salida en un rango de 255 posibles valores.

2.1.3 LabVIEW

NI LabVIEW (National Instruments, Austin, Texas, EE.UU.) acrónimo de National Instruments Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench es una plataforma de programación gráfica que ayuda a ingenieros, científicos, investigadores a escalar el diseño de sistemas, pequeños o grandes, que ayudan a desarrollar un entorno para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico, llamado lenguaje G, donde la G simboliza el lenguaje gráfico (Jeffrey Travis, 2006). Recomendado para realizar pruebas de control, seguimiento de proceso (sistemas de medida) y diseño, simulado o real que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos, con esto puede acelerar la productividad. LabVIEW ofrece herramientas para la futura innovación de manera más eficiente.

Capítulo II

Los programas desarrollados en LabVIEW se llaman VI's (Virtual Instruments) o instrumentación virtual, porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real (LabVIEW, 2014). Como ya se mencionó, LabVIEW tiene un entorno de programación gráfico, por lo que los programas no se escriben, sino que se dibujan en forma de diagrama de bloques, lo que facilita la labor de elaborar un programa automatizado que nos sirva para controlar, medir y simular un proceso de manera más eficiente o bien para llevar a cabo alguna mejora.

El LabVIEW además de utilizar un lenguaje de programación más amigable, cuenta con la opción de crear una interfaz gráfica donde en lugar de observar el código, observa los instrumentos representativos de la programación desarrollada, de esta forma se facilita el uso del LabVIEW, ya que cualquier usuario puede usar la interface sin tener conocimientos de programación.

Los programas se dividen en dos partes, una llamada “Panel Frontal”, y otra “Diagrama de Bloques”.

- A. **Panel Frontal:** Es la interfaz del usuario o bien es donde el usuario interactúe con el programa como si estuviera controlado el panel de control de un equipo, aquí se encuentran los *controles* que pueden ser botones de encendido o apagado, led, e *indicadores* como son gráficas, tacómetros entre otros (Mihura, 2001).
- B. **Diagrama de Bloques:** Es la plataforma en donde, donde se desarrolla el programa agregando los bloques que representan la programación, así como el código que controla el programa (Mihura, 2001).

2.1.4 Enlace entre Arduino y LabVIEW

Como se menciona anteriormente al Arduino se le puede cargar un código, y este lo va a llevar a cabo de forma repetitiva hasta que se retire la fuente de poder, sin embargo los programas que se ejecutan en el Arduino no puede ser modificados mientras se estén ejecutando, esto es que si se desea efectuar una acción diferente se debe detener el proceso, modificar el código y volver a cargarlo. Por otro lado en LabVIEW es posible efectuar

Capítulo II

acciones diferentes mientras el programa se está ejecutando además que cuenta con un panel de control que facilita el manejo de la operación del programa, sin embargo LabVIEW no puede controlar de forma directa instrumentos físicos a comparación del Arduino, es por esto la importancia de combinar ambos programas. En la Figura 2.1 y Figura 2.2 son los programas donde se cargan los complementos para realizar la intercomunicación.



Figura 2.1. IDE de Arduino



Figura 2.2. VIPM de NI

2.1.5. Fundamentos de programación

El desarrollo del código para poder la operación de la ET se realiza en el programa LabVIEW en la ventana diagrama de bloques. Los bloques principales que se utilizan para el desarrollo de la programación son *Init*, *Close*, *Low-Level*, que son los bloques que contiene la paquetería del *Toolkit* de Arduino que se instaló.

Para empezar a desarrollar el código se agregaron los bloques *Init* y *Close* afuera del *while loop*, mientras que los demás bloques que representan los instrumentos se colocan dentro.

Los bloques *Init*, *Close* tienen la función de iniciar y cerrar la conexión con el Arduino. Dentro del bloque *Init* encontramos 8 conexiones, 6 del lado izquierdo y 2 del derecho, como se muestra en la Figura 2.3 la primera y tercera conexión son de suma importancia debido a que aquí es donde se da de alta el puerto serial y el tipo de tarjeta Arduino que se está utilizando respectivamente, en este proyecto cuenta con un Arduino

Capítulo II

Mega 2560. La segunda y cuarta conexión nos indica la velocidad de transferencia y los Bytes por paquete respectivamente, es importante que estos valores sean compatibles con los del Firmware del Arduino dentro del código del LIFA_BASE. Las conexiones de *Arduino Resource* y *error in/out* de los bloques *Init* y *Close* se conectan a cada uno los bloques que se encuentran dentro del *while loop* para tener todas las conexiones, y cerrar un circuito de información cerrado. Es importante destacar que solo se necesita un bloque *Init* por cada Arduino que se utiliza, sin embargo es necesario tener un bloque *Close* por cada bloque que se encuentre dentro del *while loop*.

Dentro de los bloques de *Low Level* hay una gama de opciones sobre las conexiones con respecto a los diferentes puertos que tienen el Arduino. Dentro de este paquete de bloques se utilizan dos para desarrollar el código de la ET, los cuales son Pin Analógico de Lectura (Analog Read Pin) y el Pin PWM de Escritura (PWM Write Pin) que son los bloques que representan los instrumentos que se encuentran montados en la ET. En la Figura 2.4 se puede observar las características de cada bloque para poder realizar una conexión de forma adecuada.

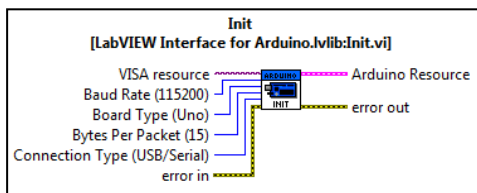


Figura 2.3. Bloque Init de LabVIEW.

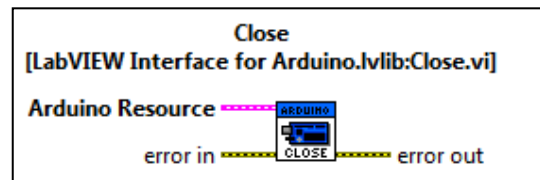


Figura 2.4. Bloque Close de LabVIEW.

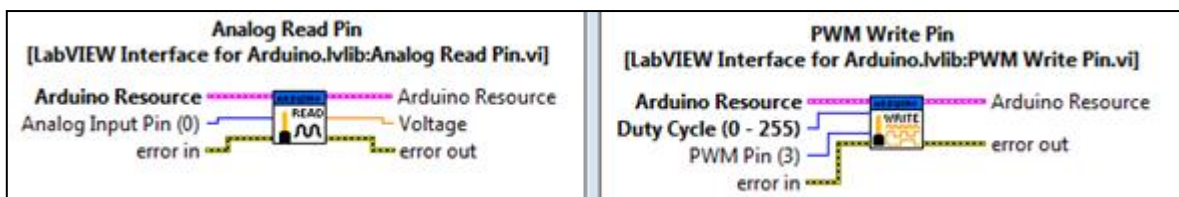


Figura 2.5. Bloque Análogo y PWM del LabVIEW.

El bloque analógico mostrado en la Figura 2.5 representa un puerto análogo del PLC haciendo referencia directa a que es un bloque de entrada o que solo recibe señales de voltaje, se observa que presenta 6 opciones de conexión de las cuales cuatro de ellas son las que se conectan al bloque *Init* y *Close* que son las dos de la parte superior (rosa) e inferior

Capítulo II

(amarillo con negro), mientras que las 2 opciones restantes representan el pin al que se encuentra conectado el instrumento en el PLC, que es la línea azul del lado izquierdo del bloque y la otra opción nos presenta el poder observar la señal de voltaje que está recibiendo el puerto, representado por una línea naranja del lado derecho del bloque. Ahora bien el bloque PWM cuenta con la misma cantidad de conexiones y casi la misma distribución, sin embargo los bloques PWM que se utilizan son de salida o bien que mandan una señal eléctrica al instrumento, de esta manera se tiene la conexión (azul) llamada Duty cycle o ciclo de trabajo que es el indicador con el cual se controla la señal que manda el PLC al instrumento conectado.

Los bloques PWM son usados para representar los ventiladores ya que estos reciben una señal para realizar una acción, mientras que los bloques analógicos son usados para representar los sensores que mandan una señal de voltaje que varía con respecto de la información que van obteniendo del medio, esta señal eléctrica se recibe y por medio de ecuaciones se transforma en una lectura que represente un valor entendible de lo que está pasando en el proceso. Los sensores con los que contamos son los de concentración MQ-3 y dos termopares el LM35 y DS18B20.

En la Figura 2.6 se muestra el arreglo de bloques se utiliza para poder almacenar la información que se obtiene durante cada prueba. La línea naranja representa la señal ya traducida en valores de concentración o temperatura que se lee en la interface. De la línea naranja sale una ramificación hacia un bloque con contorno negro, este bloque lee la información y lo transforma a un formato en el cual esta se pueda almacenar, este formato se llama F-format (fraccional notation) que representa una notación fraccionaria. En la Tabla 2.1 se ejemplifica como se realiza la conversión de la información. De forma adyacente se encuentra un bloque, el cual tiene tres entradas de información y una de ellas es la del bloque que acabamos de mencionar, que su función es concentrar y ordenar la información que recibe para poder distribuirla hacia su próximo destino, este bloque lo llamamos *construcción de arreglos*.

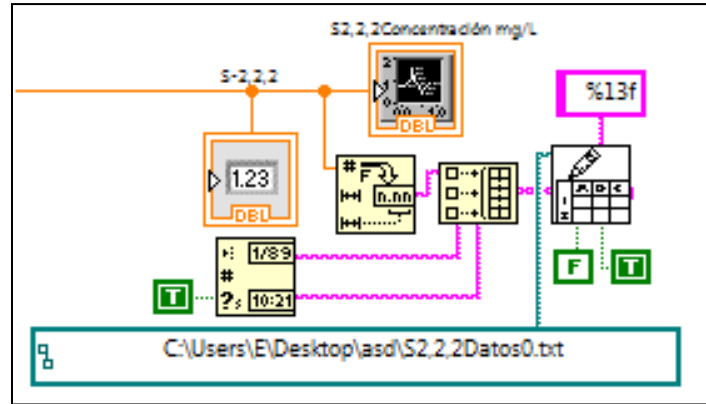


Figura 2.6. Arreglo de Bloques para Guardar la Información.

Tabla 2.1. Conversión de la información a notación fraccionaria (F-format).

Número	Espesor	Precisión	F-format
4.911	6	2	__4.91
.003926	8	4	__0.0039
-287.3	5	0	__287

Ya que se está almacenando la información sobre los datos que se van recabando de las pruebas que se realizan con la ET, es importante cuantificar la duración de las pruebas como la frecuencia con la que se van obteniendo los datos, es por eso que se agrega un bloque que nos da la fecha y hora de cada dato que se obtiene. Este bloque de Día/Tiempo tiene dos salidas que se conectan al bloque de construcción de arreglos.

Con los dos boques anteriores y el bloque de construcción de arreglos ya se tiene la información recabada de cada sensor con día y hora de forma ordenada, ahora bien toda esta información es necesario guardarla en algún lado. Es aquí donde entra el último bloque que da la instrucción de guardar la información para poder almacenar la información y tenerla disponible en el futuro. En este bloque se selecciona la ruta donde se guarda la información de cada sensor.

En la Figura 2.7 se ejemplifica de forma completa el conjunto de bloques usados para obtener y guardar la información de un sensor. Desde los bloques usados para realizar las operaciones que dan lugar a la Ec.3 hasta el conjunto de bloques se utiliza para archivar la información de cada sensor.

Capítulo II

Con este juego de herramientas LabVIEW puede controlar y adquirir datos desde el PLC, presentando la información en la UI o interfaz del usuario de forma concreta y fácil de manejar.

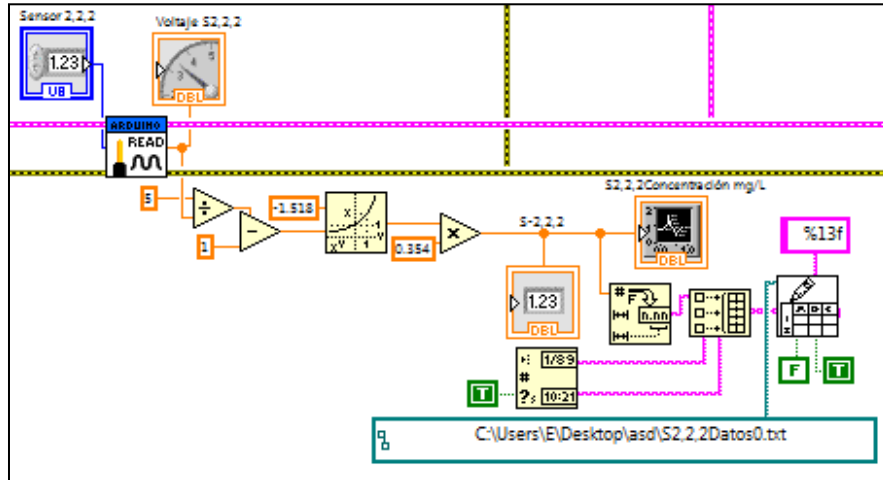


Figura 2.7. Código completo para un sensor.

Capítulo III

Metodología

Capítulo III

La ET que se va a desarrollar en este trabajo tiene la finalidad de estudiar los fenómenos de difusión y dispersión replicando las emisiones gaseosas, para almacenar la información obtenida de estas emisiones que posteriormente serán comparados con modelos matemáticos. La información de los cambios de concentración se irá cuantificando por medio de una red de sensores que estarán conectados a un PLC para poder ir recabando la información de las pruebas, todo eso se logrará mediante el código programado para el control y operación de la ET. En la Figura 3.1 se muestra la metodología desarrollada.

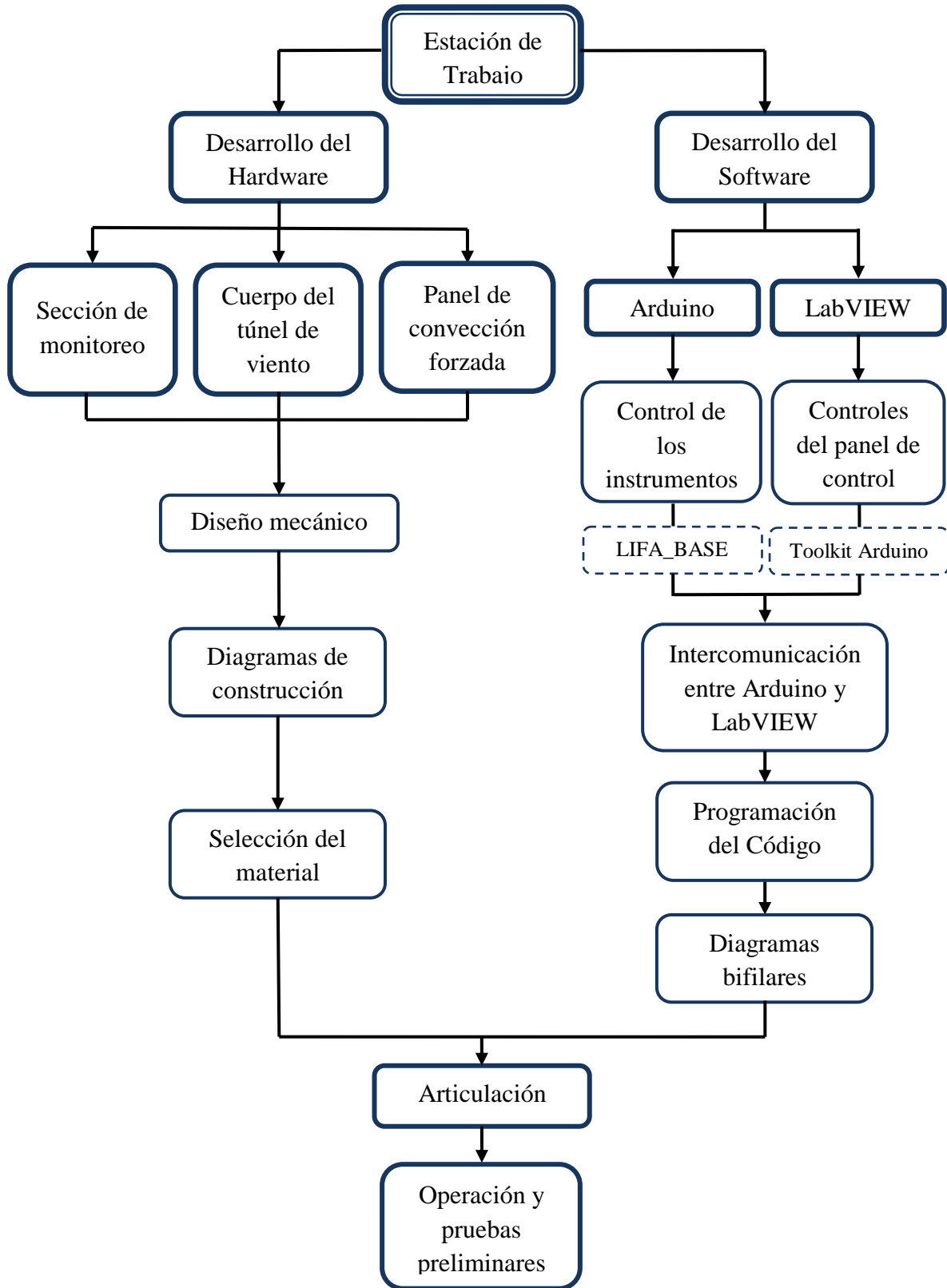


Figura 3.1. Diagrama de pasos a desarrollar para el desarrollo de la ET.

3.1 Desarrollo del Hardware

El desarrollo del hardware se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Para lo cual se definen tres secciones como se muestra en la Figura 3.1. Para poder llevar a cabo el desarrollo de hardware se definió el diseño mecánico de cada una de las secciones, indicando la geometría, distribución de sus elementos así como también de su localización y pertinencia, para que se puedan empezar a realizar los diseños mecánicos, diagramas de construcción y por último la selección del material con el cual se dispondrá a realizar cada sección utilizando los siguientes criterios: económico, facilidad de trabajo y versatilidad, para seleccionar el más adecuado. Cada una de las secciones del hardware va de la mano y se desarrollan en conjunto, destacando un poco más la sección de monitoreo ya que aquí es donde se realiza la toma de información.

3.1.1 Sección de monitoreo

Concentración: Para el seguimiento de la concentración del trazador se empleó un arreglo de 27 sensores, distribuidos en un arreglo 3D. Los sensores se colocaron de tal forma que la concentración medida es ortogonal a la dirección del desplazamiento de la masa de aire. La separación entre cada sensor es la misma con el fin de no introducir más factores al tiempo de detección del trazador, por lo que la altura máxima y la longitud de la distribución de los sensores basado en este arreglo.

Temperatura: Para el monitoreo de la temperatura se empleó un sensor en la fuente de emisión y otro en la entrada del aire, con el fin de dar seguimiento al gradiente térmico entre el gas de arrastre (aire) y la emisión del gas trazador. Cabe mencionar que la temperatura de la emisión del trazador cambia de forma independiente en función de las necesidades del operador de la ET.

Las señales de cada sensor son procesadas por el Arduino para posteriormente ser enviadas al LabVIEW.

3.1.2 Cuerpo de túnel de viento

Con el fin de disminuir las perturbaciones del entorno en las pruebas de emisión dentro de la ET, se acopló un recubrimiento de policarbonato (PC), empleando una geometría prisma rectangular cuya dimensión en la dirección al desplazamiento del aire es 2.4 veces mayor a la dirección perpendicular (horizontal) a la dirección del viento, esto debido a que la extensión de la pluma de emisión debida a procesos de convección es mayor en la dirección al desplazamiento del aire.

3.1.3 Panel de convección forzada

Para el efecto de los cambios de la velocidad del viento en la extensión y dilución de la nube se acoplaron 16 ventiladores cuya interface con el Arduino permite el control de la velocidad y la posición de máxima dilución.

3.2 Desarrollo del Software

El desarrollo del software se desarrolló en dos etapas: 1) Desarrollo de los códigos y programación de la interface entre los sensores de la ET, para la recepción y visualización de datos, 2) Desarrollo del sistema de control y operación de los actuadores e instrumentos de la ET.

El Arduino se selecciona ya que tiene la capacidad de controlar instrumentos físicos enviando o recibiendo señales eléctricas además de poder escribir programas dentro del IDE. El LabVIEW se selecciona ya que se puede desarrollar una programación y como resultado se obtiene una serie botones, graficas e indicadores para controlar el programa desarrollado. De esta forma se pretende desarrollar un programa el cual cuente con una sección donde se controlen los ventiladores, otra sección que contenga los indicadores que muestren la información de los sensores de concentración y temperatura, también contará con una sección para realizar la calibración de los MQ-3 y por último una sección donde se den de alta los PLC's y los puertos a los que van conectados los instrumentos.

Capítulo III

Una parte importante en el desarrollo del software de la ET, fue la caracterización preliminar del manejo de señales de los instrumentos, conexiones y componentes electrónicos adicionales, para ello fue necesario el desarrollo de diagramas bifilares de conexión de cada uno de los instrumentos e identificación de los puertos de conexión en los PLC's.

En la Figura 3.2 se muestra un diagrama de bloques que muestra el manejo de la señal entre los instrumentos, el Arduino y la programación, mientras que en la Figura 3.3 se muestran los tres tipos de señal de voltaje que maneja el Arduino.

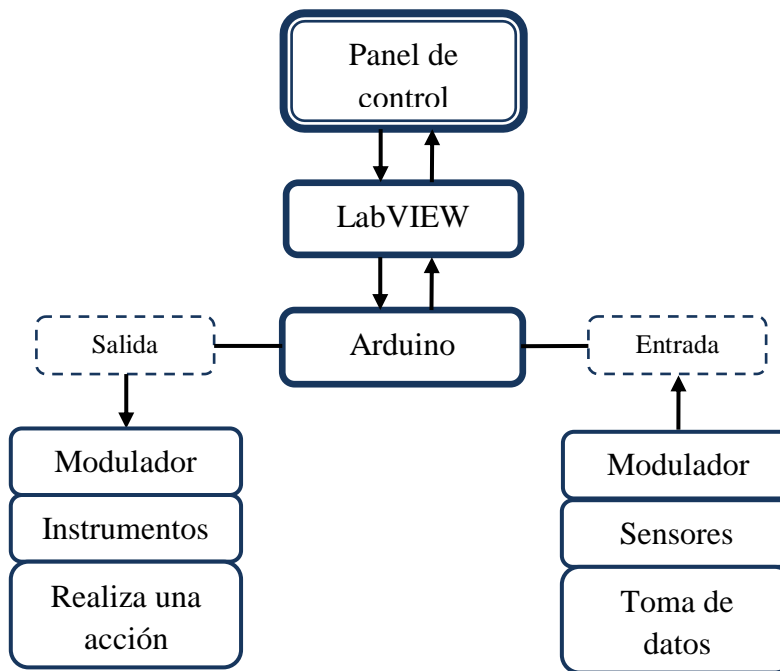


Figura 3.2. Diagrama de bloques del manejo de la señal.

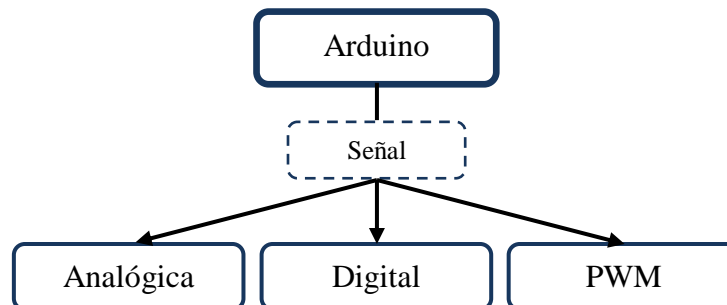


Figura 3.3. Tipos de señal de voltaje del Arduino.

Capítulo IV

Resultados

4.1. Diseño final de la sección de monitoreo

El diseño de la sección de monitoreo se obtuvo como una geometría en forma de prisma rectangular de 45x50x50 cm de largo, ancho y alto respectivamente, donde se montaron los sensores MQ-3 de forma ortogonal obteniendo una red de sensores. El material con el cual está construida esta sección es de polimetilmetacrilato, en la Figura 4.1 se muestra el diseño mecánico.

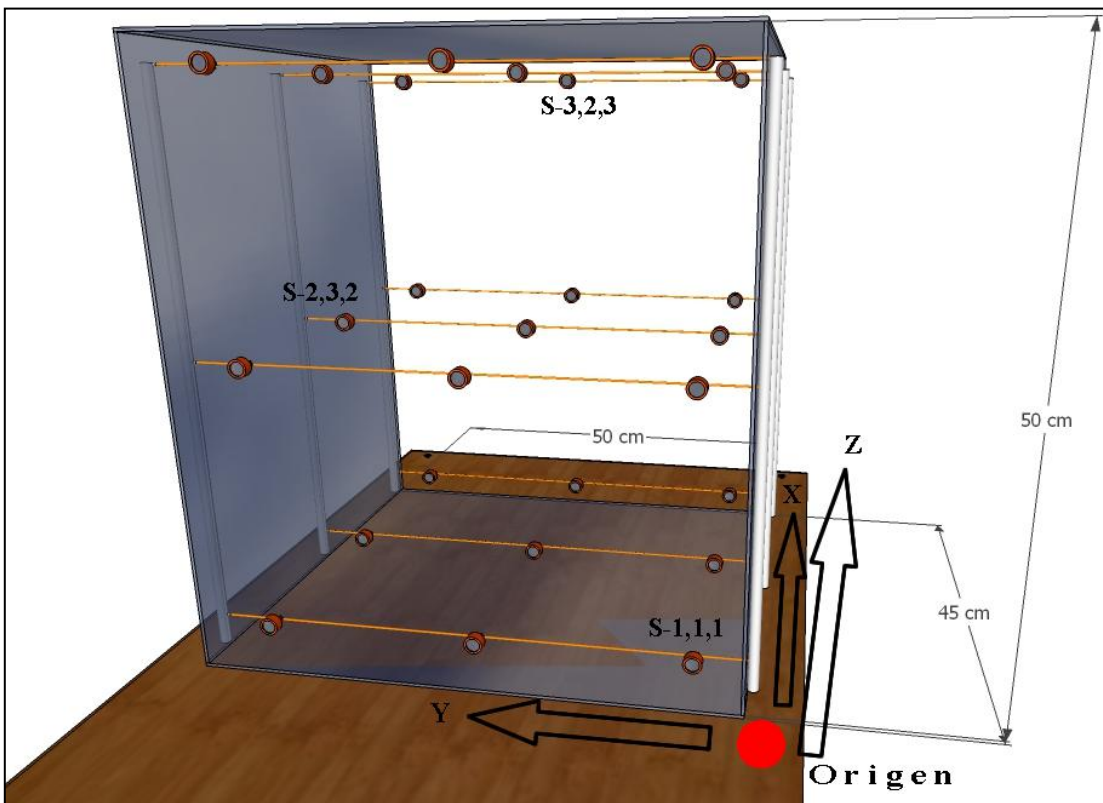


Figura. 4.1. Diseño mecánico de la sección de monitoreo con la orientación y localización de los sensores MQ-3.

La configuración geométrica para la colocación de los sensores, así como la sección de monitoreo se basó en una de las tres principales geometrías (prisma rectangular, cilíndrico y esférico) en la cuales se puede desarrollar el gradiente y la divergencia para la segunda ley de Fick, en la cual el fenómeno difusivo puede ser isotrópico Ec. 4.1 o anisotrópico Ec.4.2. La forma más común es considerar que el fenómeno puede representarse como un mecanismo de transferencia de masa, gobernado por la

Capítulo IV

concentración y factores externos tales como el flujo y dirección de viento, temperatura y concentración del gas de la fuente puntual.

$$\frac{\partial^2 c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$\frac{\partial^2 c}{\partial t^2} = D_X \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_Y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_Z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - v_x \frac{\partial c}{\partial x} \quad \text{Ec. 4.2}$$

Un punto importante a considerar dentro del diseño y la distribución de los sensores es la forma en la cual la Ec. 4.1 o Ec. 4.3 es discretizada para poder resolver aproximaciones de la concentración para una red de puntos, Figura 4.2. Para ello se propone establecer como elemento de solución una malla ortogonal en la cual se asigna la correspondencia de distancias conocidas entre ellos y se establecen como valores iniciales la concentración, temperatura y flujo en las fronteras seleccionadas, cuya configuración se reprodujo físicamente en la disposición de los sensores de la ET con el mínimo de resolución de puntos para facilitar su interpretación física como se muestra en la Figura 4.1, el resultado experimental estará conformado por la concentración del trazador correspondiente a cada nodo (malla de sensores), durante el proceso de dilución de la emisión, $C(t,x,y,z)$; la cual será comparada en trabajos posteriores con los resultados obtenidos al resolver la ecuación misma tratada en un método basado en diferencias finitas generalizadas y resuelta en el sentido de mínimos cuadrados.

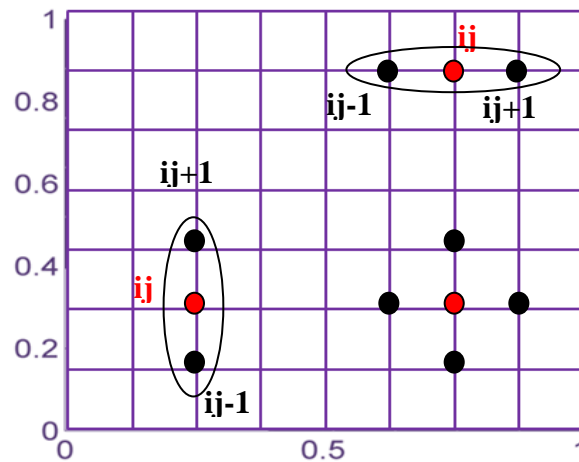


Figura 4.2. Discretización de valores para la aproximación de un valor.

Capítulo IV

En la Figura 4.3 y Figura 4.4 se puede observar la sección de monitoreo ya instalada en la ET con los sensores MQ-3 montados y con sus conexiones pertinentes. De esta manera se tiene lista para operar la sección de monitoreo.



Figura 4.3. Estructura donde se encuentran montados los sensores MQ-3.

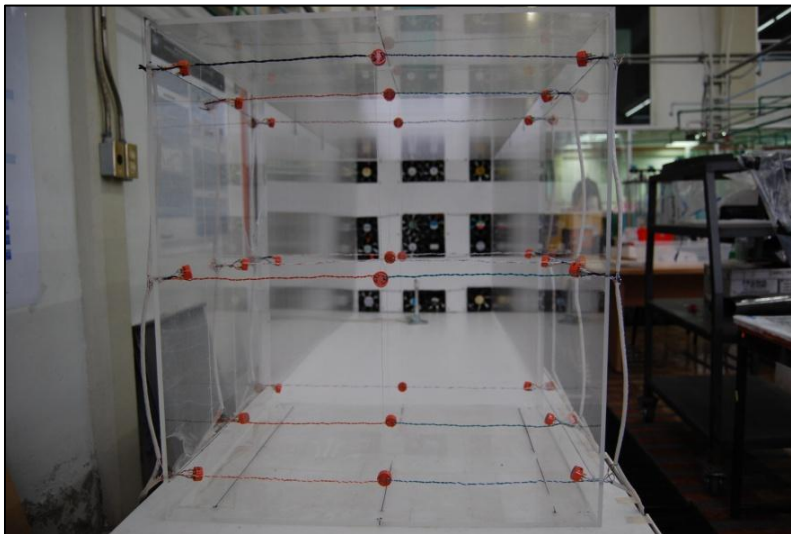


Figura 4.4. Estructura donde se encuentran montados los sensores MQ-3 (vista posterior).

4.2. Diseño final del túnel de viento

El siguiente paso del desarrollo de la ET es el cuerpo del túnel de viento como se muestra en el diseño mecánico de la Figura 4.5. De igual manera que la sección de

Capítulo IV

monitoreo, el túnel de viento cuenta con una geometría en forma de prisma rectangular de 120x60x50 cm de largo, ancho y alto respectivamente. El material de esta sección es de policarbonato (PC) debido a que es económico, es fácil de trabajar como también es versátil. En la Figura 4.6 se observa la parte interna del túnel de viento.

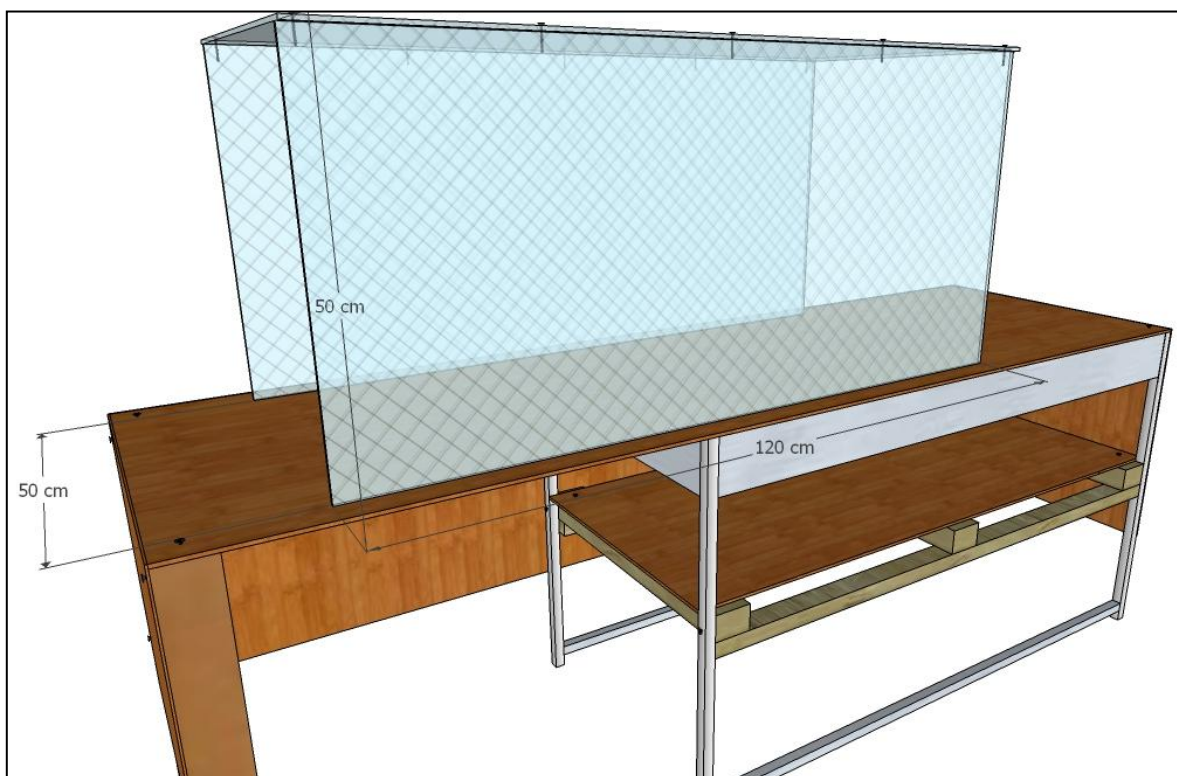


Figura 4.5. Diseño mecánico del cuerpo del túnel de viento.

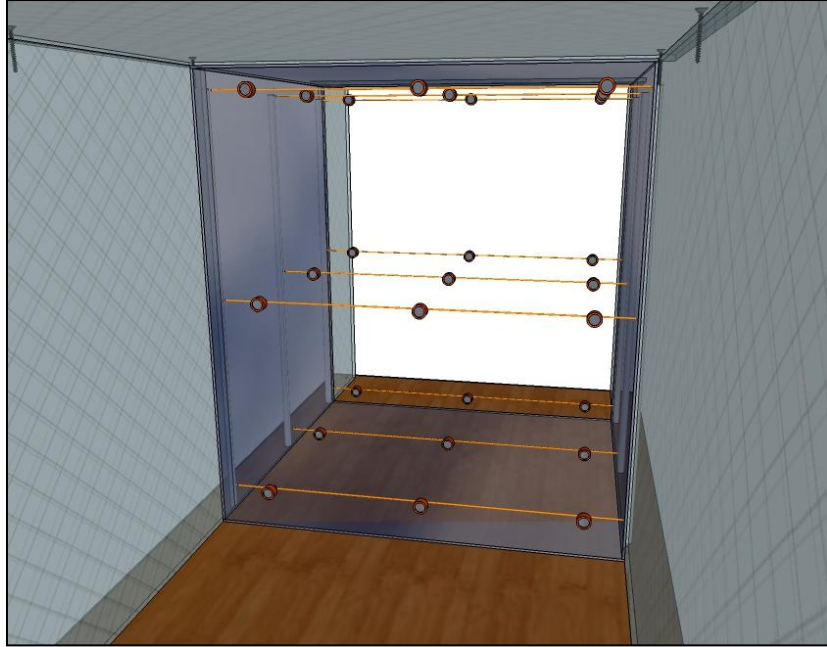


Figura 4.6. Vista interna del túnel de viento desde el panel de convección.

En la Figura 4.7 y Figura 4.8 se observa el cuerpo del túnel de viento en la ET, desde las dos vistas internas del túnel de viento, la primera que representa la cara frontal inmediata del túnel a la fuente de emisión; mientras que la segunda representa el final del túnel, acoplado a la sección de monitoreo donde se encuentran los sensores MQ-3.

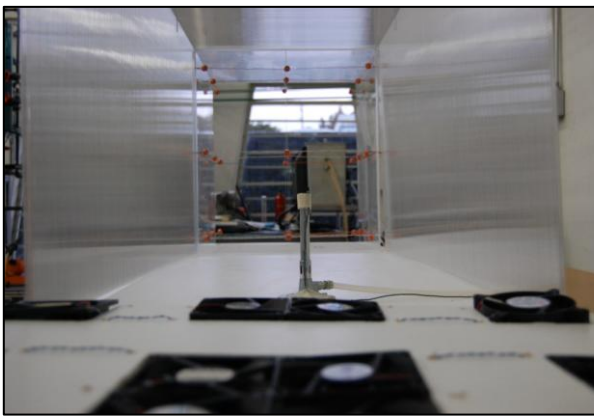


Figura 4.7. Panel de convección forzada (desmontado) y túnel de viento de la ET.

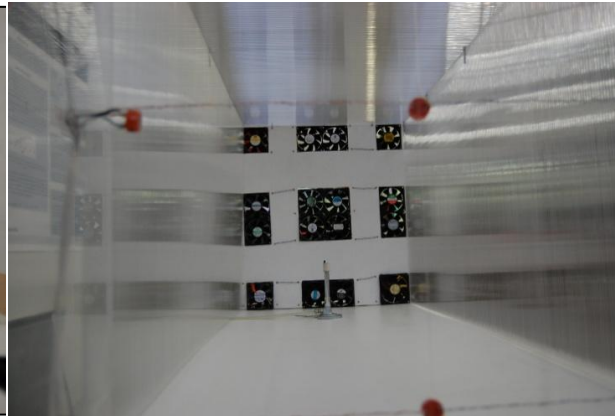


Figura 4.8. Vista interna del túnel de viento (desde la estructura de los MQ-3).

4.3. Diseño final del panel de convección forzada.

Posteriormente a estas dos secciones se encuentra el panel de convección forzada, donde se montaron 16 ventiladores para simular las corrientes de aire. La geometría de esta sección está dada por las dos secciones anteriores, el material que se seleccionó para esta sección fue una placa de madera de densidad media MDF, ya que bajo el criterio económico y de resistencia mecánica cumple con su trabajo, además de ser fácil de trabajar y versátil. Cada lado de un ventilador es de 8 cm, y su ubicación se da con respecto a la posición de los sensores MQ-3 como se observa en la Figura 4.9. En la Figura 4.10 se puede observar el panel de convección forzada al túnel de viento.

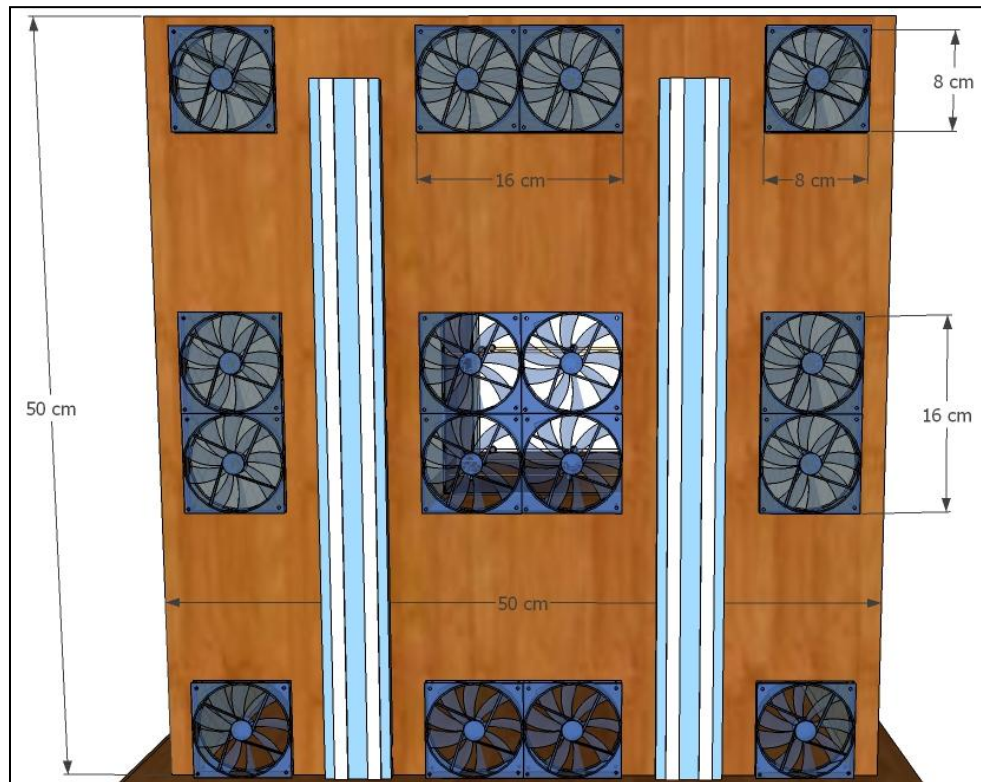


Figura 4.9. Diseño mecánico del panel de convección forzada.

En la Figura 4.14 se muestra como resultado final el panel de convección ya montado al inicio del túnel de viento con los 16 ventiladores y sus respectivas conexiones.

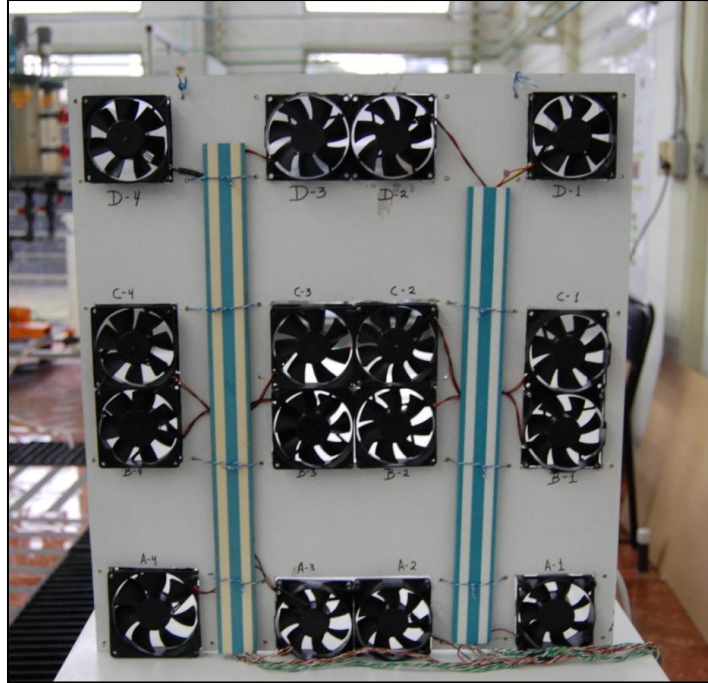


Figura 4.10. Panel de convección forzada (montado) de la ET.

4.3 Interconexión entre Arduino y LabVIEW.

La interconexión creada para el Arduino y el LabVIEW fue desarrollada al instalar los programas *LIFA_BASE* (Arduino, 2014) dentro del IDE de Arduino y *NI LabVIEW Interface para Arduino Toolkit* (LabVIEW, 2014), con la ayuda de la paquetería de instrumentos virtuales (por sus siglas en inglés VIPM). De esta forma se creó un enlace entre ambos programas para complementarse y poder desarrollar la interfaz que controle la ET Figura 4.11.

Capítulo IV

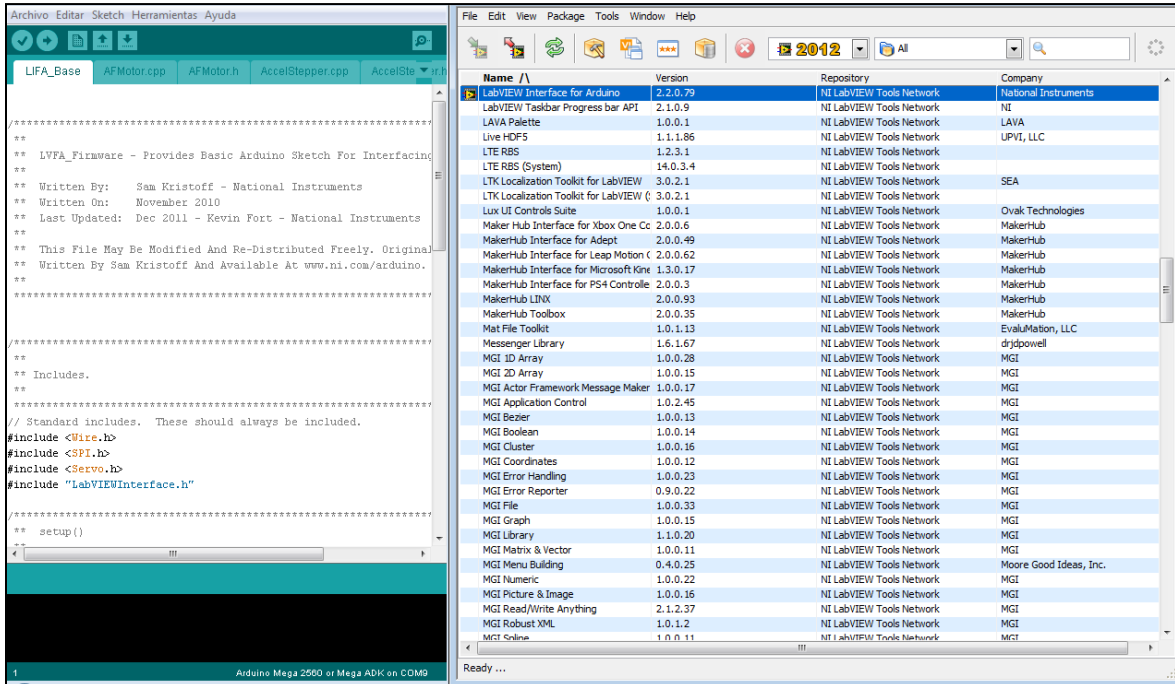


Figura 4.11. Código `LIFA_BASE` cargado en el IDE y el *Toolkit* de LabVIEW con Arduino.

Para el DS18B20 que es un sensor de *Dallas Semiconductors*, se realizó una modificación en el código del `LIFA_BASE` debido a que en un sensor tipo *one-wire*, que es un protocolo de comunicación basado en un bus de datos maestro y varios esclavos de una sola línea de datos en la que se alimenta y pasa la información (Dallas Semiconductors, 2015).

Se descargaron dos librerías llamadas “*Dallas Temperature*” y “*OneWire*” y se ubicaron dentro de la carpeta *Librerías* en la carpeta *Arduino*. Al modificar el programa `LIFA_BASE` se agregaron las librerías, las variables que identifica el puerto al que se da de alta el sensor (en este caso fue el puerto PWM 2), así como, los comandos y funciones para poder utilizar el DS18B20. En la Figura 4.12 se observa el código que se cargó.

```
LIFA_Base_DS18S20 | AFMotor.cpp | AFMotor.h | AccelStepper.cpp | AccelStepper.h | IRremote.cpp | IRremote.h | IRren
/** Functions
*****
// Función para obtener temperatura
float obtenerTemperatura(){
//returns the temperature from one DS18S20 in DEG Celsius

byte data[12];
byte addr[8];

if ( !ds.search(addr) ) {
//no more sensors on chain, reset search
ds.reset_search();
return -1000;
}

if ( OneWire::crc8( addr, 7) != addr[7] ) {
Serial.println("CRC is not valid!");
return -1000;
}

if ( addr[0] != 0x10 && addr[0] != 0x28) {
Serial.print("Device is not recognized");
return -1000;
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44,1); // start conversion, with parasite power on at the end

byte present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE); // Read Scratchpad

for (int i = 0; i < 9; i++) { // we need 9 bytes
data[i] = ds.read();
}

ds.reset_search();

byte MSB = data[1];
byte LSB = data[0];

float tempRead = ((MSB << 8) | LSB); //using two's compliment
float TemperatureSum = tempRead / 16;

return TemperatureSum;
}

// Writes Values To Digital Port (DIO 0-13). Pins Must Be Configured As Outputs Before Being Written To
```

Figura 4.12. Modificación del LIFA_BASE, función.

De esta forma se realizó la intercomunicación entre el Arduino y el LabVIEW para poder desarrollar una programación para el control de la ET y que reconozca todos los instrumentos.

En la Figura 4.13 se observa el panel de control que se desarrolló para la operación de la ET el cual se divide en 5 secciones, la primera son las instrucciones para la puesta en marcha y paro de la ET, esta sección se encuentra a la izquierda, la segunda y tercera sección representan los datos de concentración que registran los sensores MQ-3 durante las pruebas y los potenciómetros de calibración de los sensores, estos últimos se encuentran en amarillo. En la parte central se tienen dos termopares que nos indican lo temperatura de en el recipiente de calentamiento y a la salida de la emisión de gases y por ultimo del lado derecho se encuentra la representación del panel de convección forzada.

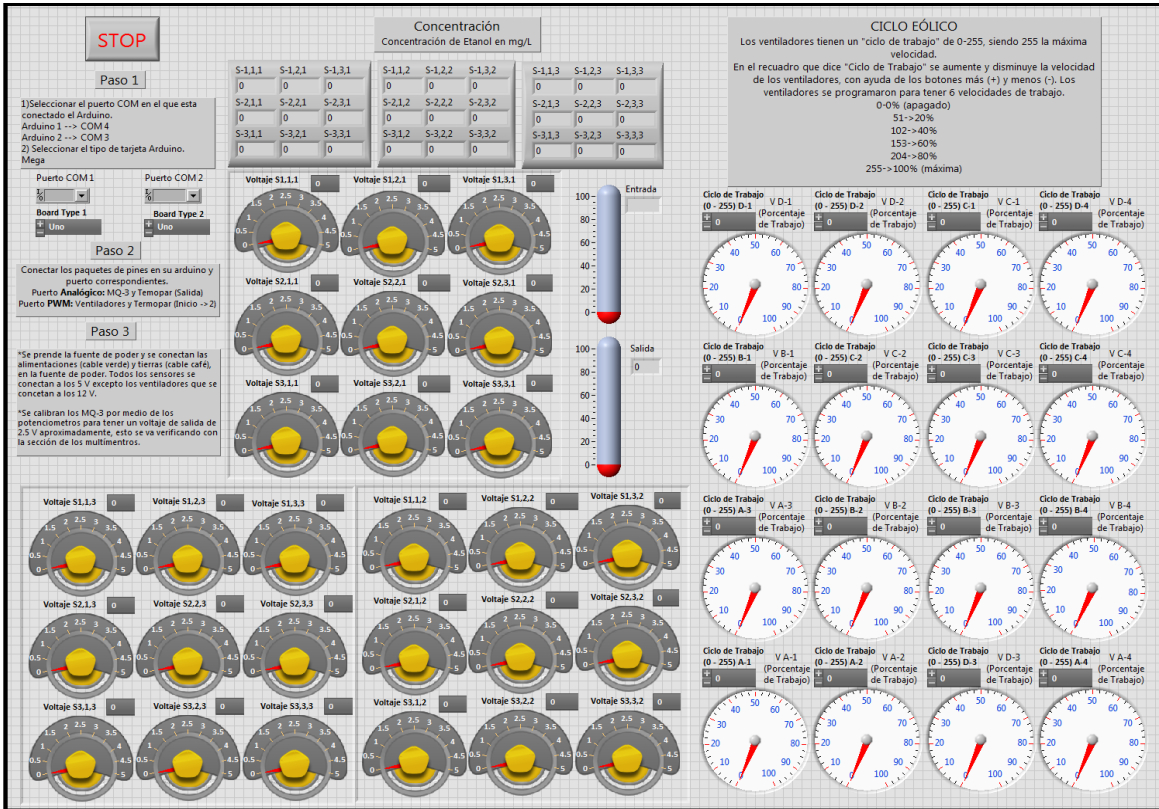


Figura 4.13. Panel de control de la ET.

En la Figura 4.15 se observa el diagrama bifilar de conexión que se desarrolló para los sensores MQ-3, en el cual se incorpora un potenciómetro de 100 K Ω para calibrar la señal que recibe el PLC a aproximadamente 2.6 V cuando se tiene un ambiente libre de etanol. Los MQ-3 se conectan a los puertos analógicos del PLC.

En la Figura 4.16 y la Figura 4.17 se muestran los diagramas bifilares desarrollados para los dos termopares, el LM35 y DS18B20 respectivamente.

El LM35 se conecta a una alimentación de 5 V y su señal de salida se conecta a un puerto analógico del PLC.

El DS18B20 se conecta a una alimentación de 5 V y se realiza un puenteo con una resistencia de 4.7 K Ω entre el cable de alimentación y el de datos que va al puerto PWM 2 del PLC.

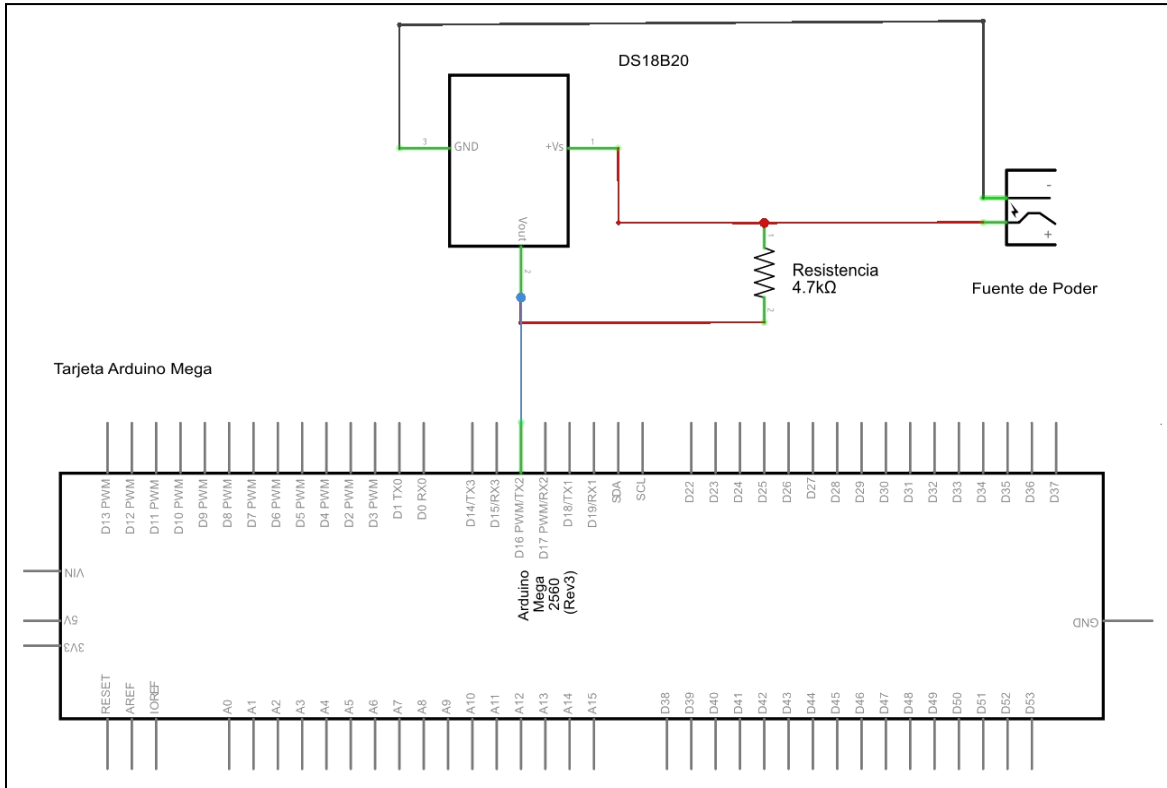


Figura 4.17. Diagrama bifilar entre el sensor DS18B20 y el PLC.

Para conectar los ventiladores al PLC fue necesario incorporar un transistor BJT tipo NPN para poder controlar las revoluciones de ventiladores, esto es debido a que los ventiladores trabajan con un voltaje mayor al del Arduino, también se adicionó un diodo entre el transistor y el puerto PWM al que se encuentra conectado el ventilador para prevenir alguna descarga. El diagrama bifilar se muestra en la Figura 4.18.

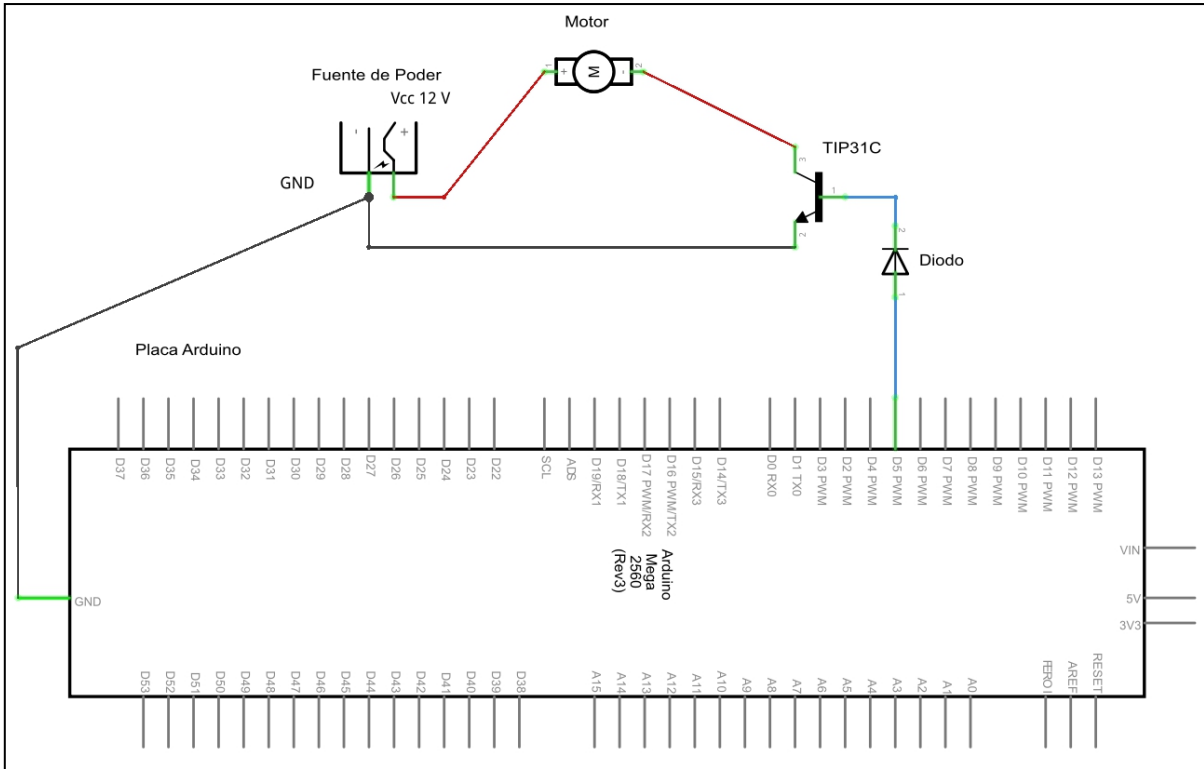


Figura 4.18. Diagrama bifilar entre un ventilador y el PLC.

4.4. Pruebas preliminares.

Para comprobar que todos los elementos de la ET funcionen de forma correcta se llevaron a cabo pruebas preliminares para la obtención de datos y manipulación de los instrumentos instalados, llevando a cabo pruebas independientes para cada elemento así como una prueba en conjunto con todos los elementos que conforma la ET para verificar que trabaje según lo planeado y descartar algún posible error a la hora de realizar el articulamiento de la ET y del código desarrollado.

El primer paso fue verificar que cada uno de los sensores MQ-3 registrara cambios de concentración, para verificar su funcionamiento y que correspondiera su localización con respecto a la sección de monitoreo y en el panel de control. En la Figura 4.19, Figura 4.20 y Figura 4.21 se puede observar el comportamiento individual de cada sensor.

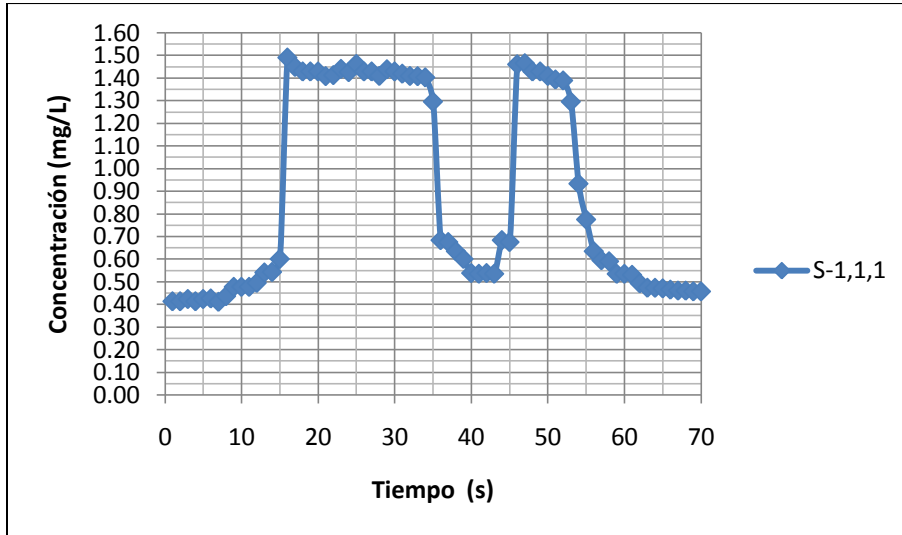


Figura 4.19. Gráfica del comportamiento individual del S-1,1,1.

A cada sensor se le aproxima, de forma individual, un objeto impregnado con etanol por aproximadamente 40 segundos para verificar, con la ayuda del panel de control, que se registre un cambio en la concentración de etanol y que sea correspondiente el nodo de la red de sensores con su respectivo display en el panel de control. Con esto se verificó que los 27 sensores MQ-3 registran los cambios de etanol y se encuentran sincronizados con el panel de control de la ET, así como también se almacena la información de cada sensor de la forma esperada.

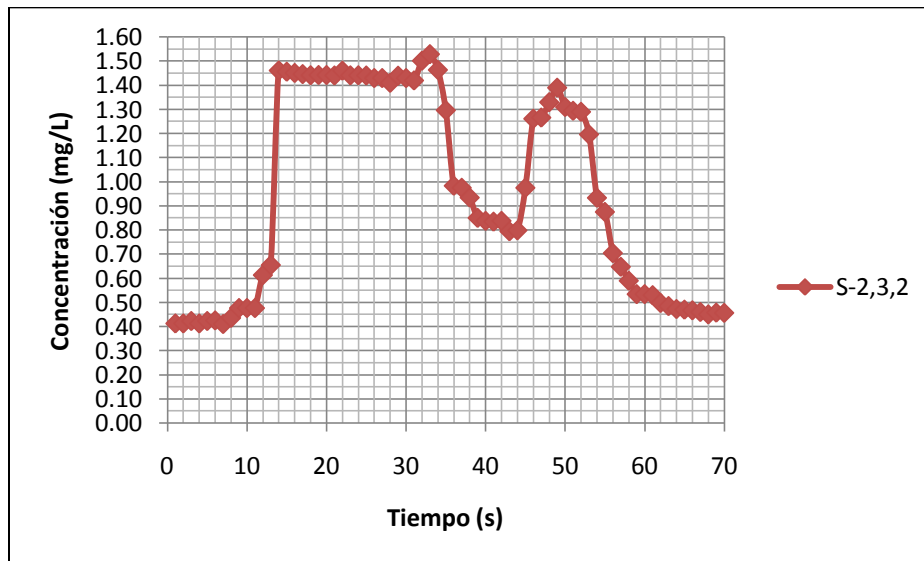


Figura 4.20. Gráfica del comportamiento individual del S-2,3,2.

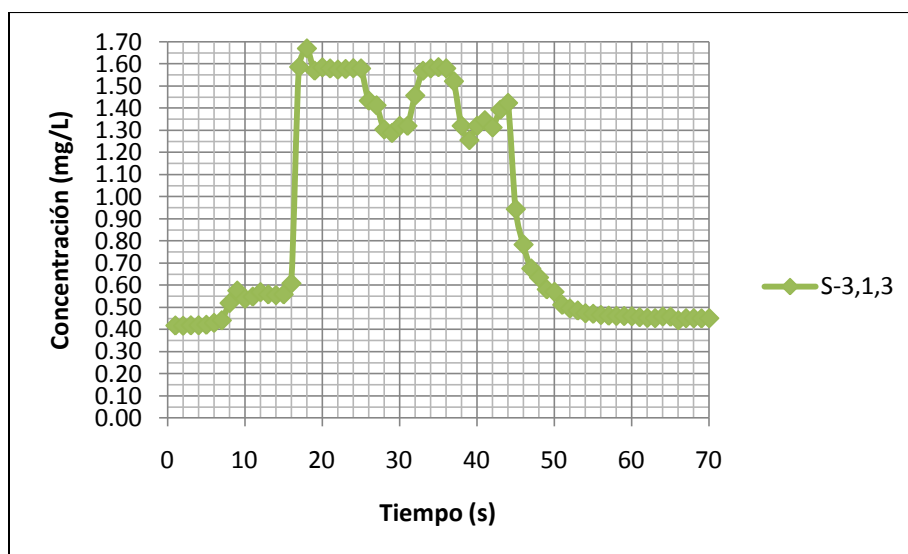


Figura 4.21. Gráfica del comportamiento individual del S-3,1,3.

De forma similar se realizó una prueba con los termopares conectados e instalados cada uno en su respectivo lugar, uno en el recipiente de calentamiento y en la salida de la fuente puntual, siendo el DS12B20 y el LM35 respectivamente. Al recipiente de calentamiento se le agregó 100 ml de etanol y posteriormente se inició la prueba. La prueba tuvo una duración de 900 segundos en la cual se fueron recabando las temperaturas de ambos termopares.

El termopar que se encuentra dentro del recipiente de calentamiento fue el primero en registrar un delta de temperatura, que fue incrementando paulatinamente hasta llegar a una temperatura constante de 72.12°C, mientras que el termopar que registra los datos de la emisión de gases tardó en registrar un cambio significativo en su delta de temperatura, en la Tabla 4.1 se puede observar los datos de la prueba y en la Figura 4.22 el comportamiento de cada termopar.

Tabla 4.1. Datos de los termopares.

Datos	Termopar de Entrada.	Termopar de Salida.
Temperatura mínima (°C)	21.75	19.70
Temperatura máxima (°C)	72.12	62.72
Tiempo en que alcanzó la máxima temperatura (seg.)	440	840

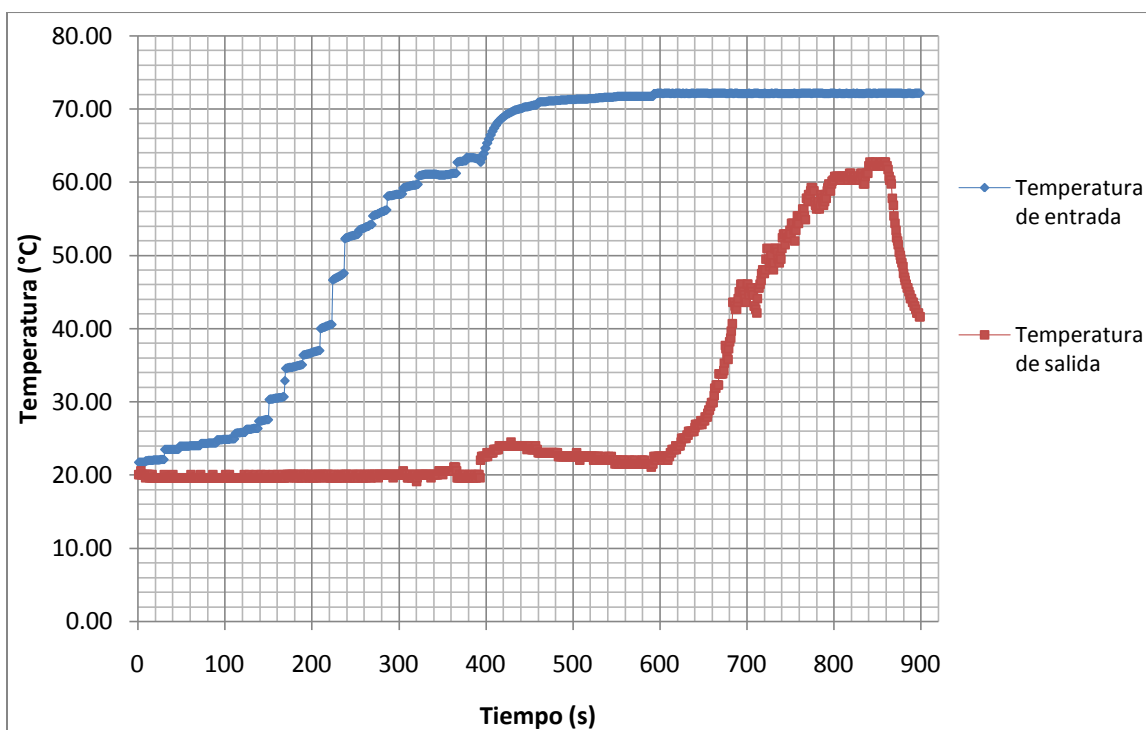


Figura 4.22. Gráfica del comportamiento de los termopares en las pruebas de la ET.

De esta forma, se observa que los termopares funcionan de forma adecuada registrando los cambios de temperatura en el recipiente de calentamiento como en la emisión de gases de la fuente puntual, almacenando la información como se tenía establecido en el código de la interfaz del usuario.

A continuación se muestran los resultados obtenidos durante la prueba, en la Figura 4.23 se ejemplifica el diagrama de cómo se fueron graficando los datos obtenidos por los sensores ubicados en el primer nivel con respecto al eje **Z** a diferentes tiempos, los sensores más próximos a la fuente puntual son los que se encuentran en la primera línea sobre el eje **Y** que están adyacentes al túnel de viento.

En la Figura 4.24 se puede observar como cada uno de los sensores MQ-3 posee la misma concentración de 4 mg L^{-1} al inicio de la prueba, que es el valor representativo para un ambiente libre de etanol, de la Figura 24 a la Figura 33 se muestran los resultados correspondientes a nueve puntos de muestreo con respecto al tiempo (t_i). En la Figura 4.25 que representa el t_1 , se puede observar que no hay cambio aparente en la concentración de etanol, mientras que en la Figura 4.26 aunque se observa un ligero cambio sigue siendo

Capítulo IV

perceptible, es hasta el tiempo t_3 cuando se distingue un cambio significativo en los datos obtenidos por los sensores MQ-3, tal y como se observa en la Figura 4.27. En el tiempo t_4 y t_5 como se observa en la Figura 4.28 y Figura 4.29 respectivamente, sigue registrándose un incremento de concentración.

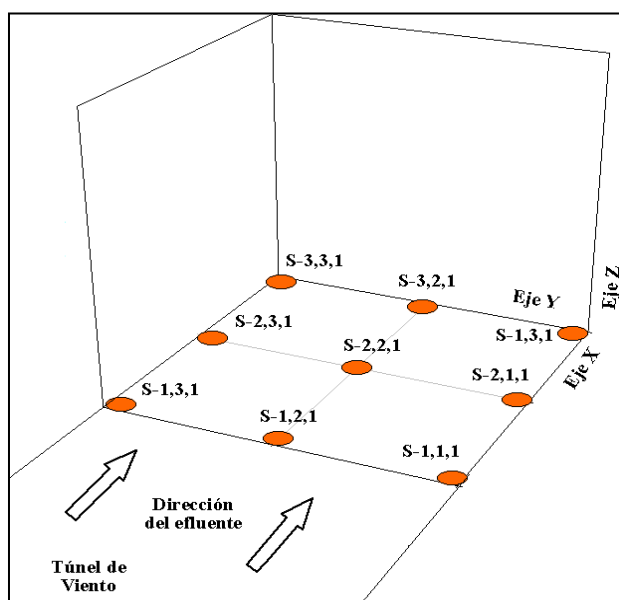


Figura 4.23. Diagrama de la ubicación de los sensores MQ-3 en la gráfica de resultados.

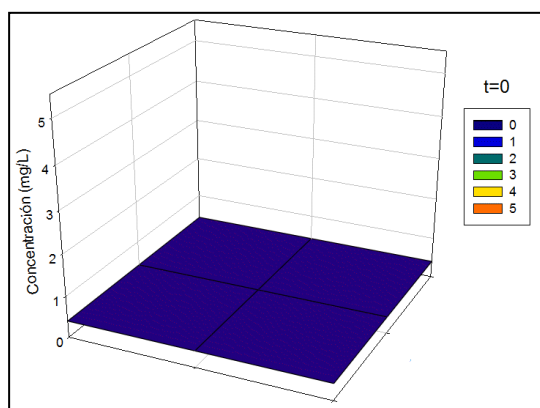


Figura 4.24. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_0 .

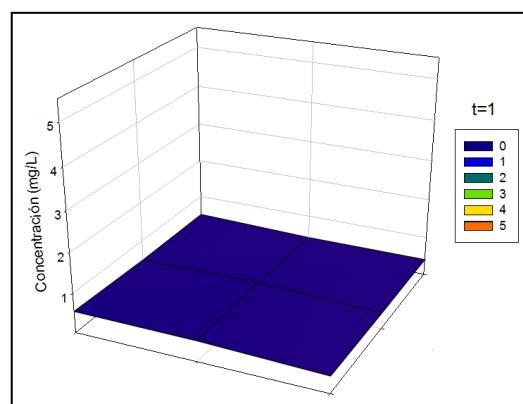


Figura 4.25. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_1 .

Sin embargo no es hasta el tiempo t_6 donde la concentración aumenta de forma más notoria como se observa en la Figura 4.30 y se registra un incremento mayor de concentración. Es hasta el tiempo t_7 donde se registra la mayor saturación de etanol en el ambiente de la estructura de los sensores del primer nivel Z, llegando a detectar una

Capítulo IV

concentración máxima de 5.34 mg L^{-1} de etanol, esto se puede observar en la Figura 4.31. En la Figura 4.32 y Figura 4.33 se observa como regresa a su lectura inicial de concentración.

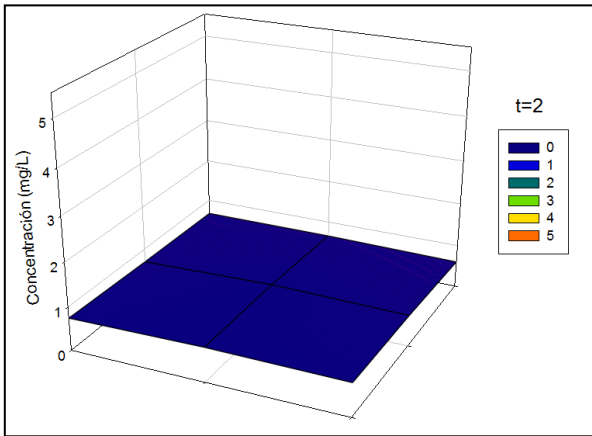


Figura 4.26. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_2 .

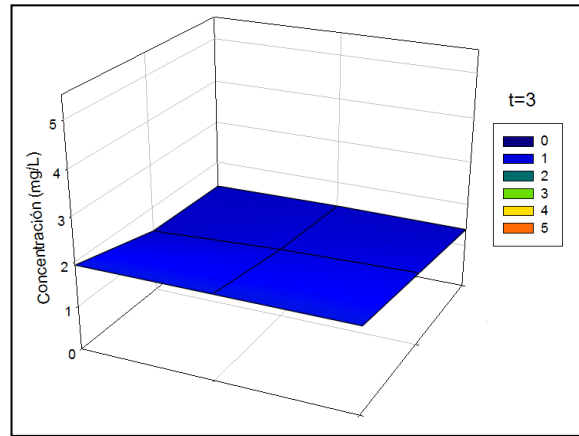


Figura 4.27. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_3 .

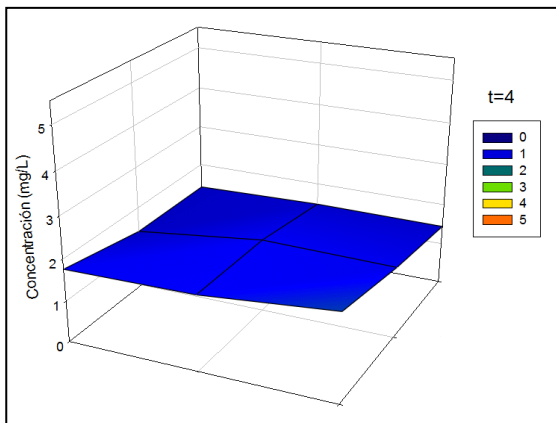


Figura 4.28. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_4 .

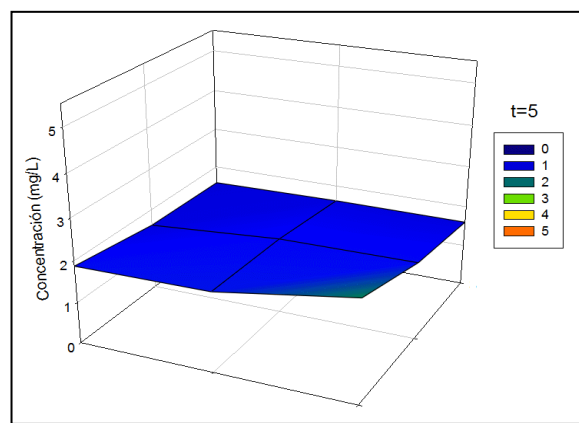


Figura 4.29. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_5 .

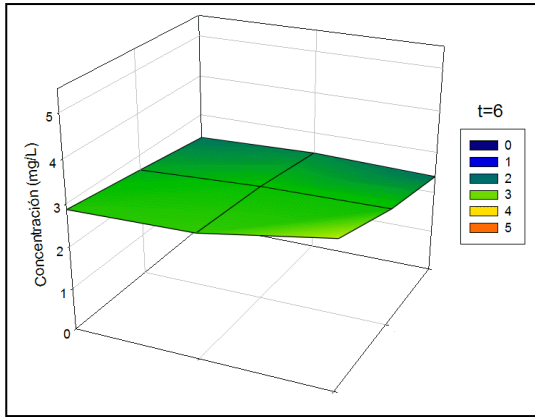


Figura 4.30. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_6 .

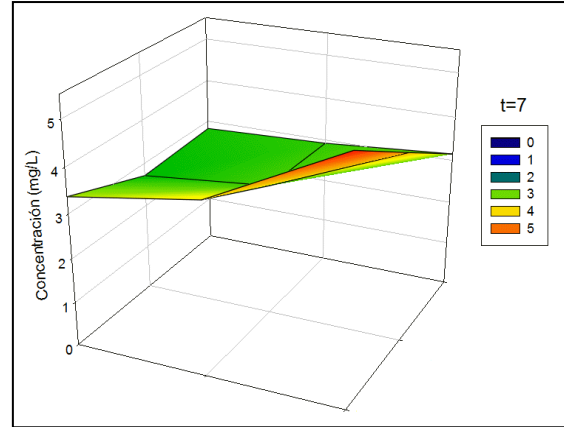


Figura 4.31. Datos Obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_7 .

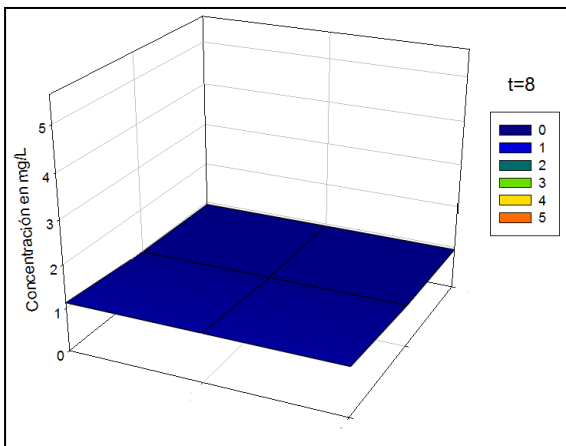


Figura 4.32. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_8 .

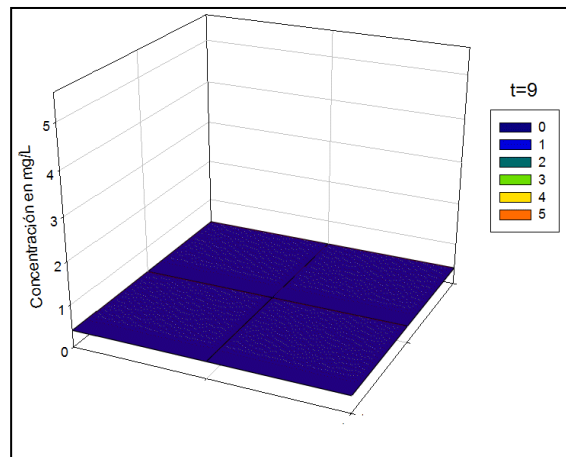


Figura 4.33. Datos obtenidos de los sensores MQ-3 en el t_9 .

Al concluir las pruebas preliminares se verificó que el panel de control cumplió con su objetivo y también se comprobó que todas las conexiones se realizaran de forma adecuada, pudiendo afirmar que la articulación del hardware y software se llevó con éxito para tener un ET funcional.

Conclusiones

Se obtuvo una sección de monitoreo capaz de detectar los cambios de concentración en los diferentes nodos con respecto al tiempo, conformada por una sección con geometría de prisma rectangular en cuyo interior se encuentran proporcionalmente distribuidos 27 sensores tipo MQ-3 China con una distribución ortogonal respecto de si mismos.

Se logró el desarrollo de un túnel de viento en donde es posible replicar las emisiones por fuentes puntuales, así como también, manipular algunas de las variables como flujo de emisión, temperatura de emisión, flujo y dirección de viento, (micro-climas) que modifican la transferencia de masa bajo condiciones controladas lo cual corresponde a un objetivo principal del presente trabajo.

Se construyó un panel con 16 ventiladores eléctricos de convección forzada distribuidos en las principales cardinales laminares del túnel de vientos, con lo cual se puede controlar dentro del túnel de viento diferentes condiciones de velocidad y dirección de flujo, creando zonas altamente laminares o turbulentas.

Se diseñó e implementó un software que establece comunicación entre la interfase y que funciona a su vez como elemento transductor entre la placa electrónica Arduino y el software LabVIEW para la recepción y envío de datos (Tx y Rx) entre la consola de trabajo (computadora) y la estación de trabajo experimental.

Se desarrollaron los diagramas bifilares de conexión entre los dispositivos, instrumentos y controladores dentro del sistema electrónico del equipo basados en un lenguaje simple con lo cual es posible manipular, reparar y/o ajustar cualquier componente de este circuito.

Se desarrolló el software para crear una interfase digital (panel de control de la ET) con el cual es posible operar el equipo, y almacenar la información recabada por los sensores de concentración en la sección de monitoreo y de temperatura para su posterior estudio.

Por lo anteriormente expuesto se puede concluir que se cumplieron adecuadamente los objetivos planteados en este trabajo de tesis.

Bibliografía

- Arduino. (2014). *Arduino*. Obtenido de Arduino: <http://arduino.cc/en/>
- Bustos Salas C., L. G. (2004). Aplicación de Modelos de Dispersión Atmosférica en la Evaluación de Impacto Ambiental: Análisis del Proceso. Santiago, Chile.
- CCI Cámaras de Simulación climática y Envejecimiento Ambiental Acelerado. (2009). Simulación Climática y Envejecimiento Ambiental Acelerado. Barcelona, España.
- D' Ausilio, A. (2012). Arduino: A low-cost multi purpose lab equipment. Genova, Italia.
- Dallas Semiconductors. (2015). Hoja de datos del sensor de temperatura DS18B20.
- Daniele Contini, A. C. (1998). Gaseous Pollutant Dispersion Measurements on a Wind Tunnel Model of a Waste Incinerator. *Elsevier Science* .
- Dräger Technology for Life. (2010). Gas Dispersion Risk Management Program.
- Eliasson, I., Offerle, B., Grimmond, C., Lindqvist, S. (2004). Wind fields and turbulence statistics in an urban street canyon. *Elsevier* .
- Fritzson, P. (2003). *Principles of Object-Oriented Modeling and Simulation with Modelica 2.1*. Wiley-IEEE Press.
- G.A. Briggs, R. B. (2001). Dense gas vertical diffusion over rough surfaces: Results of wind-tunnel studies. *Elsevier* .
- Higashi M, B. T. (1991). Theoretical Studies of Ecosystems and Enrichment of ecosystem theory. London: The network perspective.
- I. Mavroidis, R. G. (2003). Field and wind tunnel investigations of plume dispersion around single surface obstacles. *Elsevier* .
- Jeffrey Travis, J. K. (2006). *LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun*. Prentice Hall.
- LabVIEW. (2014). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/labview/esa/>
- M. J. Davidson, K. R. (1995). Plume dispersion through large groups of obstacles-A field investigation. *Elsevier* .

-
- M. J. Davidson, W. H. (1996). Wind Tunnel Simulations of Plume Dispersion through Groups of Obstacles. *Elsevier* .
- María E. Manzur, G. B. (2012). Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. *7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM*.
- Martín Estevez Nerea, M. M. (2000). Depuración de Emisiones Atmosféricas Industriales.
- Meroney, R. N. (2008). Gaseous Plume Diffusion About Isolated Structures of Simple Geometry. *Elsevier Science* .
- Mihura. (2001). *Learning LabVIEW for the First Time*. Prentice Hall.
- Mohamed F. Yassin, M. O. (2008). Experimental study on flow and gaseous diffusion behind an isolated building. *Elsevier* .
- O. Connan, P. L. (2014). Vertical and Horizontal Concentration Profiles from a Tracer Experiment in a Heterogeneous Urban Area. *Elsevier Science* .
- Olga V. Taseiko, S. V. (2008). Air pollution dispersion within urban street canyons. *Elsevier* .
- P. Kastner-Klein, E. P. (1999). Wind-Tunnel study of concentration fields in street canyons. *Elsevier* .
- Processing. (2015). *Processing*. Obtenido de <https://processing.org/>
- R. W. Macdonald, R. F. (1998). A Comparison of Results from Scaled Field and Wind Tunnel Modelling of Dispersion in Arrays of Obstacles. *Elsevier* .
- Sedra Adel S., S. K. (2006). *Circuitos Microelectrónicos*. España: Mc Graw Hill.
- SEMARNAT, I. W. (2008). *Guía de Elaboración y Usos de Inventarios de Emisiones*. México.
- Telstar. (2009). Nuevas Instalaciones de Esterilización. México.
- Uehara Kiyoshi, M. S. (1998). Wind tunnel experiments on how thermal stratification affects flow in and above urban street canyons. *Elsevier* .