



DIVISIÓN DE ESTUDIOS POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Opción 1.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE MONITOREO DE LA
CALIDAD DEL AIRE EN UNA SALA AISLADA**

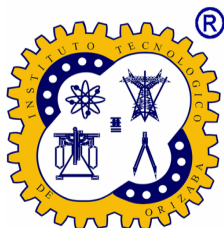
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

PRESENTA:

JORGE MOISÉS GALVÁN CHÁVEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. GERARDO ÁGUILA RODRÍGUEZ



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO MARZO 2025



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado

Orizaba, Veracruz, **20/febrero/2025**
Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. JORGE MOISÉS GALVÁN CHÁVEZ

Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

P R E S E N T E.-

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

" DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN UNA SALA AISLADA".

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

DRA. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
ENCARGADA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



OG-13-F06



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

Av. Oriente 9 #852 Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320
Orizaba, Veracruz. Tel. 01 (272) 1105360
e-mail: info@orizaba.tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Orizaba

División de Estudios de Posgrado

Orizaba, Veracruz, 29/enero/2025

Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

JORGE MOISÉS GALVÁN CHÁVEZ

La cual lleva el título de:

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN UNA SALA AISLADA"

Y concluyen que se acepta.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DR. GERARDO ÁGUILA RODRÍGUEZ

FIRMA

SECRETARIO: DRA. BLANCA ESTELA GONZÁLEZ SÁNCHEZ

FIRMA

VOCAL: DR. JOSÉ PASTOR RODRÍGUEZ JARQUIN

FIRMA

VOCAL SUP.: DR. OSCAR OSVALDO SANDOVAL GONZÁLEZ

FIRMA

Por lo cual este comité tutorial al realizar dicha revisión de la tesis en su versión final autoriza su impresión.
Vo. Bo.

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

DRA. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

TA-09-18



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

Av. Oriente 9 #852 Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320
Orizaba, Veracruz. Tel. 01 (272) 1105360
e-mail: info@orizaba.tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx



Índice General

Índice de Figuras	i
Índice de Tablas.....	ii
Introducción General.....	iii
Problemática	iv
Objetivos.....	v
Objetivo General	vi
Objetivos Específicos.....	vii
Hipótesis	viii
Justificación.....	ix
Recursos.....	x
Recursos Humanos.....	xi
Recursos Materiales	xii
Capítulo 1: Aspectos generales de una sala de quirófano, normal y servicios.....	1
1.1 Estado del Arte.....	1
1.2 Normas	4
1.3 Fundamentos Teóricos	6
1.3.1 Aspectos generales de humedad, temperatura y	6
dióxido de carbono	6
1.3.2 Humedad	6
1.3.3 Temperatura	7
1.3.4 Dióxido de carbono	7

1.3.5 Quirófano	9
1.4 Sensores para variables ambientales	10
1.4.1 Tipos de sensores	10
1.4.2 Sensor inteligente	11
1.4.3 Sensores para temperatura	12
1.4.4 Sensores para humedad relativa	13
1.4.5 Sensores para gases	13
1.5 Acondicionamiento y procesamiento de las señales	14
1.5.1 Acondicionamiento	14
1.5.2 Procesamiento	15
1.5.3 Microcontroladores	15
1.6 Monitoreo inalámbrico de datos	16
1.6.1 Topologías de red	19
Capítulo II Desarrollo del sistema para monitoreo ambiental en sala de quirófano	20
2.1 Introducción	20
2.2 Metodología de solución	20
2.3 Ubicación de los módulos de medición	21
2.6 Procedimiento Experimental	23
2.7 Instrumentación de los Sensores	27
2.7.1 Sensor SH1101 para medir Humedad Relativa	27
2.7.2 Sensor LM35 para medir Temperatura	32
2.7.3 Sensor MG811 para medir Dióxido de Carbono	33
2.7.4 Sensor MQ-4 para medir metano	35
2.8 Microcontrolador PIC18F4550	38
2.8.1 Frecuencímetro	39

2.9 Estrategia de Medición	41
Capítulo III Pruebas y Resultados Finales	43
3.1 Circuitos impresos para el procesamiento	43
3.2 Circuitos impresos de acondicionamiento de la señal para el sensor HS1101	44
3.3 Pruebas realizadas al frecuencímetro digital	47
3.4 Pruebas de los sensores en la cámara de medición	50
3.5 Fabricación de los circuitos impresos para la comunicación inalámbrica	50
3.5 Interfaz Gráfica para graficar datos	52
Conclusiones	54
Referencias	56
Apéndice I.....	60
Apéndice III	67
Productividad Académica	67

Índice de Figuras

Figura 1.1. Climatización en Quirófanos dentro de un hospital [28]	5
Figura 1.2 Diagrama a bloques de un sensor inteligente [13].....	12
Figura 1.3 Diagrama a bloques del acondicionamiento de señales	14
Figura 1.4 Elementos básicos que constituyen a un microcontrolador [15].....	15
Figura 1.4 Clasificación topológica de redes	19
Figura 2.1 Esquema descriptivo de la metodología de solución	20
Figura 2.2 Ubicación de los módulos de medición	21
Figura 2.3 Caja de registro	22
Figura 2.3 Cámara de medición de humedad relativa	23
Figura 2.5 Cámara de pruebas	24
Figura 2.6 Diagrama a bloques de la fuente de calor	25
Figura 2.7 Fuente de calor	26
Figura 2.8 Fuente de calor	27
Figura 2.9 Sensor HS1101 para medir la humedad relativa [17]	28
Figura 2.10 Gráfica de respuesta del sensor SH1101. [18]	29
Figura 2.11 Diagrama interno del CI555 y forma física de su encapsulado	29
..... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 2.12 Diseño del oscilador astable utilizando el CI555	30
Figura 2.13 Sensor LM35 [19].....	32
Figura 2.14 Diagrama a bloques para el sensor LM35	33
Figura 2.15 Sensor MG811 para medir CO ₂	34
Figura 2.16 Gráfica de respuesta del sensor MG811	35
Figura 2.17 Sensor MQ-4 para medir metano.....	35
Figura 2.18 Gráfica de respuesta del sensor MQ-4	36
Figura 2.19 Módulos de medición para gases: a) Sensor MG-811 para medir CO ₂ , b) Sensor MQ-4 para medir metano	37
Figura 2.20 Diagrama esquemático de los módulos para medir gases.....	37
Figura 2.21 Diagrama a bloques del frecuencímetro digital	39

Figura 2.22 Diagrama de instrumentación del sistema experimental ubicado en el Laboratorio de Sensores e Interfaces Multimodales.....	41
Figura 3.1 Módulos para medir la calidad del aire.....	43
Figura 3.2 Segunda versión de módulo para el procesamiento de los datos.....	44
Figura 3.3 Sensor dentro de la cámara de medición	45
Figura 3.4 Señal de salida del oscilador	46
Figura 3.5 Grafica de respuesta del sensor HS1101.....	47
Figura 3.6 Grafica de respuesta del frecuencímetro digital.....	49
Figura 3.7 Pruebas de medición del patrón y el sistema desarrollado	50
Figura 3.8 Socket para conectar los módulos XBEE	51
Figura 3.9 Módulos para transmitir datos de manera inalámbrica	51
Figura 3.10 Interfaz gráfica desarrollada en la plataforma de Visual C#.....	53

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Valores de riesgo de la concentración del CO2	8
Tabla 2.1 Características del sensor HS1101 [17].....	28
Tabla 2.2 Valores de resistencias para el circuito multivibrador con el CI555.....	31
Tabla 2.3 Características principales de sensor LM35 [18].....	32
Tabla 2.4 Características principales de sensor MG811	34
Tabla 2.5 Características principales de sensor MQ-4.....	36
Tabla 3.1 Valores teóricos de salida del sensor HS1101	46

Introducción General

Actualmente, la ciencia y la investigación han incursionado en casi todos los sectores de la sociedad, pues gracias a ellas es como se llevan a cabo diversos procesos que requieren sistemas tecnológicos e inteligentes para medir, monitorear, controlar y regular, variables ambientales que se ven implícitas de forma directa en muchas actividades del ser humano. En este contexto, los sensores juegan un papel muy importante debido a que son los ojos electrónicos que establecen los parámetros de funcionamiento de un proceso. Existen variables que, con la ayuda de un sensor en específico, se pueden medir y monitorear de manera continua; tales como temperatura, humedad relativa, presión, flujo, nivel, etc. Asimismo, existen sensores que detectan el movimiento, la luz y la presencia de gases, entre ellos el dióxido de carbono, oxígeno, butano, propano, humo, solo por mencionar algunos.

En el desarrollo de este proyecto los sensores juegan un papel fundamental debido a que se aborda el desarrollo de un prototipo que, para medir humedad relativa, la concentración del dióxido de carbono y metano, y la temperatura. Con la finalidad de verificar que los rangos de variación de dichas variables permanezcan dentro de lo establecido en la Norma Española UNE 100713, que rige las condiciones adecuadas para instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales. Lo anterior permitirá un espacio con las condiciones ambientales adecuadas para que las personas dentro de ese sitio, no se vean afectadas.

Este documento se estructura de la siguiente manera: primeramente, se exponen los motivos principales que dieron origen a este trabajo, y posteriormente, se describen los elementos que lo componen. Está dividido en tres capítulos, en el primero se presenta una recopilación de diversos trabajos relacionados con el nuestro, así como una descripción general de las propiedades de la humedad, temperatura, metano y dióxido de carbono, incluyendo una revisión de los conceptos más importantes que son necesarios para un mejor entendimiento del tema y de los diversos dispositivos electrónicos que se utilizaron.

El capítulo II incluye la explicación de la teoría de funcionamiento de los dispositivos

utilizados, el diseño y fabricación de circuitos impresos que muestran la distribución de estos últimos en el prototipo de medición. También contiene la descripción del procedimiento experimental que se llevó a cabo para realizar la medición de las magnitudes de interés, y el método a través del cual se obtuvieron los grupos de datos correspondientes.

Por último, en el capítulo III se dan a conocer los resultados obtenidos, se presenta el resultado de las pruebas realizadas a cada dispositivo y a su vez se describe el funcionamiento del sistema de monitoreo, también se incluyen los productos obtenidos a lo largo del desarrollo de esta tesis.

Finalmente se presenta una sección de conclusiones y la tabla de referencias bibliográficas que dan sustento y veracidad a este proyecto.

Problemática

En un área quirúrgica, el surgimiento de infecciones nosocomiales se torna delicado, puesto que se trata de un sitio donde los pacientes se someten a diversos procedimientos en los que por lo general, los órganos internos quedan expuestos directamente con el medio haciendo al paciente potencialmente más propenso a contraer infecciones durante y después de la intervención, de ahí la importancia de que el quirófano sea un área con condiciones ambientales óptimas que impidan el surgimiento de infecciones. Variables como la humedad relativa y la temperatura pueden ayudar considerablemente a la proliferación de agentes patógenos en el quirófano, por lo cual deben mantenerse dentro de los rangos que establece la norma española UNE1000713.

Por lo anterior, existe la necesidad de realizar el desarrollo de sistema de medición y monitoreo que permita conocer la variación de estas variables dentro de un quirófano, lo cual ayudará a establecer los parámetros necesarios para efectuar un control óptimo de los sistemas de ventilación y aire acondicionado. Este proyecto surge como una herramienta para conocer la concentración ambiental en tiempo real de la temperatura, metano, humedad relativa y dióxido de carbono.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema capaz de medir, monitorear y desplegar datos del porcentaje de humedad relativa (%HR), la temperatura ambiental (T °C), metano (CH_4) y la concentración de dióxido de carbono (CO_2).

Objetivos Específicos

- Desarrollar un sistema de medición en un ambiente controlado para obtener datos de la medición de las variables de interés.
- Realizar el acondicionamiento de la señal eléctrica de los sensores seleccionados.
- Desarrollar tarjetas electrónicas PCB para acondicionar, transmitir y desplegar datos.
- Construir el módulo de medición y transmisión de los datos obtenidos por los sensores.
- Diseñar una interfaz gráfica en visual studio C# para monitorear el cambio de las variables de interés.

Hipótesis

Es posible diseñar un sistema capaz de medir, monitorear y desplegar datos del porcentaje de humedad relativa (%HR), la temperatura ambiental ($T\text{ }^{\circ}\text{C}$), metano (CH_4) y la concentración de dióxido de carbono (CO_2).

Justificación

Un sistema de medición como el que se realizará en este proyecto forma parte de lo que se conoce como Quirófano Integrado, el cual se caracteriza porque la instalación de los equipos se realiza en el techo o las paredes, haciendo uso de brazos articulados. De esta manera se eliminan las conexiones eléctricas en el piso. También se caracterizan porque integran monitores para desplegar datos en tiempo real y cirugía video asistida.

La importancia del monitoreo de variables como la temperatura y la humedad relativa dentro de un quirófano, radica en que con esos datos es posible establecer los parámetros necesarios para realizar un control adecuado de los sistemas de aire acondicionado, con el firme propósito de brindar un espacio bajo las condiciones de clima establecidas por la norma UNE1000713 para la ventilación de hospitales.

Se pretende que el sistema de adquisición de datos que se desarrollará tenga la capacidad de medir eficientemente las variables antes mencionadas. Los datos obtenidos serán procesados y transmitidos a una computadora, en la cual se visualizarán los datos mediante una interfaz gráfica que sea amigable al usuario, es decir, de fácil interpretación.

Recursos

Recursos Humanos:

- Tesista
- Director de tesis
- Profesores del programa de posgrado

Recursos Materiales:

- Material de laboratorio (osciloscopio, LCR, fuente de voltaje, generador de señales)
- Sensores
- Cámara de medición
- Microcontroladores
- Módulos de Comunicación (inalámbrica)
- Computadora

Capítulo 1: Aspectos generales de una sala de quirófano, normal y servicios

1.1 Estado del Arte

La medición y monitoreo de humedad relativa y de temperatura, así como del CO₂ se ha extendido de manera sobresaliente en actividades tales como: invernaderos, almacenes (principalmente de alimentos), aplicaciones de domótica, centros de atención médica, entre otras, cuya práctica se desarrolla paralelamente con el desarrollo tecnológico. Actualmente existen sistemas para medir estas variables que son robustos y confiables; gobernados por microcontroladores capaces de capturar, procesar, desplegar y transmitir datos tanto analógicos como digitales.

Ahora bien, se han realizado trabajos relacionados con el monitoreo de estas variables. El sistema reportado en [1] fue diseñado para monitorear la humedad relativa y la temperatura en un área de embalaje de alimentos. Se diseñó un sensor capacitivo para obtener datos de la humedad relativa, y para medir la temperatura se implementó un termistor no lineal. El procesamiento de las señales se llevó a cabo con un microcontrolador PIC16F877 y los datos se visualizaron en un Display de Cristal Líquido (LCD).

[2] Es el desarrollo de prototipo automático que controle la temperatura, la ventilación y automatice el riego de un invernadero. Se realizaron tres módulos de control: control del microclima, control del riego y control de las ventanas del inmueble. El sistema en general cuenta con diversos sensores de medición y utiliza un PLC para enviar/recibir datos y para indicar acciones de control a los actuadores. Se incluye una computadora central que recibe y registra toda la información y se utiliza comunicación TCP/IP entre el PLC y el invernadero.

Existen diversos trabajos en invernaderos, otro ejemplo de ello es [3] que consiste en realizar el monitoreo y control de la humedad relativa, humedad del suelo, temperatura y el sistema de riego. Cuenta con un PLC S7-200 para procesar las señales y para enviar datos hacia el pc. El PLC también envía señales de control hacia los actuadores dentro del invernadero. Se desarrolló una interfaz gráfica en Matlab para visualizar los datos.

Por su parte en [4] se presenta un estudio de una red de sensores inalámbrica basada en la tecnología Arduino bajo el protocolo de comunicación Zigbee. El sistema cuenta con una red de sensores de temperatura y del ruido en la playa de Ibiza, España. El procesamiento de las señales se hizo con la tarjeta de Arduino Diecimila Atmega 168. La comunicación inalámbrica hacia la PC se realizó con módulos X-bee de Maxstream. La información se registra haciendo uso de una base de datos, a su vez se visualiza en una interfaz gráfica.

Por otro lado, en [5] se desarrolló un sistema para monitorear en línea, la temperatura utilizando 2 sensores DS1621, el cual tiene un rango de medición de -55°C a 12°C con un voltaje de salida digital. Establece una comunicación RS232 con el pc y los datos se visualizan en una interfaz gráfica en C++ y también en un servidor web.

Un proyecto similar fue el realizado por [Orai, Nisi, Al-Khawa, Nissi, 2009] el cual realizó un sistema que realiza el monitoreo de la temperatura y la luminosidad en un cuarto. Utilizó el sensor LM35 para medir temperatura y una LDR para luminosidad, el procesamiento de datos lo hizo con un ADC0808. Los datos se envían hacia la PC por el puerto paralelo y también hacia un servidor web. El sistema es capaz de utilizar la comunicación GPRS lo cual permite la opción de enviar y recibir señales de acción por medio de un dispositivo móvil.

Otra aportación importante fue [6], que consiste en un sistema que mide la temperatura corporal y pulsaciones del cuerpo humano. En general este sistema cuenta con un sensor LM35 y sensores del latido del corazón. Las señales son procesadas por un PIC16F877A mismo que envía los datos a la PC bajo la tecnología Zigbee, gracias a una interfaz gráfica se pueden visualizar los datos. Se utiliza un modem GSM para enviar un mensaje de texto al médico en turno en caso de que los datos sean los no deseados. Este sistema mejora en gran medida el diagnóstico clínico.

[7] En esta publicación se presenta el desarrollo de un prototipo para controlar la ventilación de un quirófano y la sala de recuperación de un hospital. El sistema se rige por las normas ambientales en hospitales establecidas por ASRHAE. Se implementó un sensor PT100 STA 250 para medir temperatura y un controlador Omron E5CK-AA1-

500. El controlador procesa la señal proveniente del sensor y a su vez envía las señales de control a las válvulas que activan o desactivan el sistema de aire acondicionado.

En la universidad del Quindío, Colombia [8] se desarrolló un prototipo de monitoreo ambiental al interior de un invernadero. Dicho sistema requirió de sensores LM35 para temperatura, 2 sensores HIH 4000-002 para humedad relativa y un sensor DRC-00400 que sirve para medir la humedad del suelo. Para la transmisión de los datos hacia la PC se utilizaron dispositivos transceptores TRF que operan en la banda libre de frecuencia de 2.4GHz con modulación GFSK y comunicación Full Dúplex, poseen un alcance de 150 metros con una tasa de transferencia de 1Mbps. Se utilizó un PIC18f2550 para procesar las señales y un PIC16F628 para hacer la comunicación con los transceptores. Los datos se visualizaron en una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW.

Por otro lado, [9] realizó un dispositivo portátil para obtener mediciones del CO₂ y el nivel de ruido en un área de industrial de la ESPEL. Para medir el CO₂ se utilizó

un sensor MG-811 y para el ruido se utilizó un micrófono de condensador electret. Para procesar las señales se utilizó un PIC18F452, este dispositivo también envía las órdenes a los actuadores correspondientes. La comunicación hacia la PC se hizo con un CI MAX-

232. Este sistema cuenta con una memoria EEPROM 24LC04 para almacenar los datos. Se desarrolló también una interfaz gráfica en LabVIEW para visualizar los datos.

Por todo lo anterior, podemos observar que la mayor parte de los trabajos estudiados están relacionados con el monitoreo ambiental de invernaderos.

Este proyecto que se realizará el monitoreo de las siguientes variables: temperatura ambiental, porcentaje de humedad relativa, metano y CO₂, con la firme intención que posteriormente se lleve a cabo su implementación dentro de una sala de quirófano.

1.2 Normas

La norma UNE100713 para Instalaciones de Acondicionamiento de Aire en Hospitales, fue elaborada por una Comisión Técnica de Normalización, a cargo de AENOR (Asociación Española de Normalización), este último pertenece a organismos internacionales de normalización, ISO, CEI, CEN, CENELEC, ETSI, COPANT, etc.

Las siglas UNE son un acrónimo de Una Norma Española, y de la numeración que tiene, el 1 se refiere al comité técnico del que depende la norma, el 007 es el número de norma emitida por dicho comité, y finalmente, el 13 es el año de edición de la norma.

Como su nombre lo indica, esta norma contiene los requisitos que cada institución médica debe cumplir para su funcionamiento, y su aplicación contempla las áreas de quirófanos, partos, endoscopia, fisioterapia, área de cuidados intensivos, medicina intensiva, habitaciones con camas para hospitalización, cuidados especiales (urgencias, pasillos, rayos x, sala de

recuperación en quirófanos), cuidados de enfermos infecciosos, cuidados prematuros, cuidados para recién nacidos, farmacia, esterilización y otras áreas (cocina, lavandería, laboratorios, vestuarios).

Este trabajo se sujeta a los requisitos en cuanto a temperatura ambiental y humedad relativa que deben existir en una sala de quirófano, establecidos por esta norma, mismos que se presentan en la figura 1.1.

Exigencias en la climatización en hospital							
1	2	3	4	5		7	8
	Área de hospital Grupo de locales Tipo de local	Clase de local	Caudal mínimo de aire exterior ¹⁾ m ³ /(h.m ²)	Condiciones ambientales ³⁾		HR ⁴⁾ %	Presión sonora máxima ²⁾ dB(A)
				Temperatura mín. °C	Temperatura máx. °C		
I	Área de exploración y tratamiento						
I.1	Quirófanos						
I.1.1	Quirófanos tipo A y B, incluso accidentes y partos	I	(apartado 6.6)	22	26	45-55	40
I.1.2	Pasillos, almacén, material estéril, entrada y salida	I	15	22	26	45-55	40
I.1.3	Sala despertar	I	15	22	26	45-55	35
I.1.4	Otros locales	I	15	22	26	45-55	40

Figura 1.1. Climatización en Quirófanos dentro de un hospital [28]

En las columnas 5 y 6 de la tabla que se muestra en la figura 1.1 (recuadro color rojo), se dan a conocer los valores mínimo (columna 5) y máximo (columna 6). El rango de humedad relativa permisible se indica en la columna 7 de la misma tabla (recuadro color verde).

1.3 Fundamentos Teóricos

1.3.1 Conceptos generales de humedad, temperatura y dióxido de carbono

A continuación, se presentan términos y definiciones importantes para familiarizarse con las variables de interés, lo cual ayudará a comprender mejor la necesidad de su monitoreo.

1.3.2 Humedad

Humedad es el nombre que recibe la cantidad de vapor de agua existente en el aire. Se trata de una variable física que se relaciona directamente con la cantidad de moléculas de agua presentes en una sustancia en estado gaseoso o sólido. Esta variable, así como el punto de rocío son de considerable importancia en diversos procesos industriales por el nivel de afectación que pueden ocasionar en ambientes no controlados.

Al tratar este tema se deben abordar varios términos para una mejor comprensión de esta misma, así tenemos las siguientes definiciones [10]:

- **Humedad Absoluta:** se refiere a la cantidad de agua en kilogramos por kilogramo de aire seco.
- **Porcentaje de Humedad:** se calcula multiplicando el contenido de vapor de agua en 1 kg de aire seco por 100 y dividiendo por la cantidad máxima de vapor que ese aire puede contener en condiciones de saturación.
- **Humedad Relativa:** es la relación entre la presión parcial del vapor de agua a una temperatura determinada y la presión total de saturación

de ese vapor a la misma temperatura, y se expresa como un porcentaje de humedad.

- Punto de Rocío: es la temperatura a la cual el vapor de agua presente en el aire o gas se condensa, convirtiéndose en líquido.

De la lista anterior, la humedad relativa es la de nuestro interés ya que es la que más se relaciona con fenómenos naturales que indiquen directamente en el confort y bienestar humano.

1.3.3 Temperatura

Se considera una propiedad física que determina si dos o más sistemas están en equilibrio térmico, es decir, si comparten la misma temperatura. Concretamente, la temperatura indica el grado de calor o frío de un objeto o del entorno [10]. Comúnmente, la temperatura se mide con un instrumento llamado termómetro brindando una lectura en unidades llamadas grados. En el Sistema Internacional, la unidad fundamental de medida de la temperatura es el Kelvin. Existen otras escalas para medir esta magnitud física, tales como Celsius o centígrada, en Estados Unidos se usan las escalas Fahrenheit y Rankine.

1.3.4 Dióxido de carbono

Se trata de un gas que también es conocido como bióxido de carbono y anhídrido carbónico, forma parte del aire y sus moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono, su fórmula química es

CO₂. Está presente en la atmosfera y la generación principal es por la quema de combustibles fósiles y por la respiración de los seres vivos [9].

A pesar de ser un gas incoloro, inodoro, no inflamable y propicio para que la temperatura terrestre permita el bienestar humano tampoco es esencial para la vida y está incluido en el grupo de los gases que dan origen al efecto invernadero del planeta. Sin embargo, si este gas se presenta en concentraciones superiores al 3% de la masa total de aire, tiene efectos peligrosos. Según el Ministerio de Trabajo y el Departamento de Salud y Seguridad Laboral de los Estados Unidos (OSHA), en recintos que presentan una concentración del 4% de CO₂ representan peligro de muerte para los seres humanos.

En la Tabla 1.1 que indica los diferentes grados de peligrosidad de este gas según su concentración en el ambiente [11].

Tabla 1.1 Valores de riesgo de la concentración del CO₂

Concentración de CO ₂ (ppm)	
150000	Provoca la muerte en minutos
15000	Provoca dolores de cabeza y riesgos de hiperventilación
5000	Limite en concentración en el área de trabajo
>1000	Fatiga y reducción de la concentración
1000	Nivel máximo recomendado en colegios
800	Nivel máximo recomendado para oficinas
~370	Concentración promedio en el ambiente

La unidad de medida comúnmente utilizada para los gases se conoce como Partes Por Millón (ppm), lo cual se puede apreciar claramente en la columna de la izquierda de la tabla 1.1. Las partes por millón de un gas, significa que, de un millón de partículas de aire presente en una determinada atmósfera, un cierto número de partículas pertenecen al gas de interés [12].

1.3.5 Quirófano

Este término se deriva de los vocablos “*quiro*”, mano y “*fanos*”, visible o manifiesto. Generalmente, se utiliza para nombrar a cualquier sala de operaciones en hospitales, clínicas u otros centros. [6]

Actualmente, los quirófanos están en continua innovación gracias a la incorporación de nuevas tecnologías, técnicas y conocimientos con la finalidad de mejorar la asistencia quirúrgica de los pacientes. [6]

Existen diversas clasificaciones para un quirófano según la necesidad del paciente, y de acuerdo con el departamento al que pertenezca dentro de un centro de salud o unidad hospitalaria, para los fines de este trabajo de tesis solo indicaremos su clasificación según el área física que lo conforma.

Clasificación de un área quirúrgica:

- 1ª Zona: Corresponde a las áreas de recepción, vestuario, administración, unidad de recuperación y de transferencia.
- 2ª Zona: Incluye los almacenes de suministros y equipos, así como el área de esterilización.
- 3ª Zona: Es el área física de mayor restricción, se considera un área limpia ya que aquí es donde se ubica la sala de operaciones. Debe cumplir con ciertas normas que aseguren la calidad de los materiales físicos para su construcción además de normas que establecen los parámetros

climáticos que deben existir en esta zona, entre ellos la temperatura ambiental y la humedad. [15]

Cabe señalar que la implementación de este trabajo de tesis tendrá lugar en la 3ª Zona de un quirófano, es decir en la sala de operaciones.

1.4 Sensores para variables ambientales

Un sensor es un dispositivo que proporciona información sobre una variable en específico para procesarla y generar órdenes o activar algún proceso. Su función primordial es transformar una medida obtenida a partir de un fenómeno físico o químico en una medida eléctrica. Sin embargo, generalmente la señal de salida no suele tener las características apropiadas para accionar dispositivos actuadores, por lo tanto, se debe realizar un procesamiento a la señal [10].

1.4.1 Tipos de sensores

Para describir los tipos de sensores es necesario hacer una clasificación para entender mejor su composición y principio de funcionamiento. De esta manera, tomando como base la naturaleza de su funcionamiento se clasifican de la siguiente manera [10]:

- **Posición:** Los elementos que lo componen experimentan cambios según la posición que ocupan en cada momento.
- **Fotoeléctricos:** Son aquellos que varían en función de la luz que los afecta.
- **Magnéticos:** Se trata de dispositivos que muestran cambios en respuesta a un campo magnético que los atraviesa.

- **Temperatura:** Estos presentan variaciones dependiendo de la temperatura del entorno en el que se encuentran.
- **Humedad:** Son sensores que reaccionan a los niveles de humedad presentes en su entorno.
- **Presión:** Se refieren a aquellos que cambian en función de la presión a la que están expuestos.
- **Movimiento:** Son sensores que varían según los movimientos a los que son sometidos.
- **Químicos:** Se les denomina así a los sensores que presentan cambios en función de los agentes químicos externos que actúan sobre ellos.

Existe otra clasificación para los sensores con base al principio de fabricación [10]:

- **Mecánicos:** Son dispositivos que emplean contactos mecánicos que se abren y cierran.
- **Resistivos:** Se refieren a aquellos que incorporan elementos resistivos en su diseño.
- **Capacitivos:** Son aquellos que utilizan capacitores en su construcción.
- **Inductivos:** Se caracterizan por el uso de bobinas en su fabricación.
- **Piezoeléctricos:** Estos dispositivos utilizan cristales, como el cuarzo, en su elaboración.
- **Semiconductores:** Se trata de dispositivos que emplean materiales semiconductores en su fabricación.

1.4.2 Sensor inteligente

Este dispositivo se define como aquel que combina la capacidad de medir alguna magnitud física, así como la integración de funciones de acondicionamiento y procesamiento digital de los datos, todo en un mismo sistema miniaturizado [13]. También puede incluir un tipo de comunicación hacia la PC, principalmente. En la figura 1.1, se presenta un diagrama a bloques de las partes que comúnmente integran un sensor inteligente.

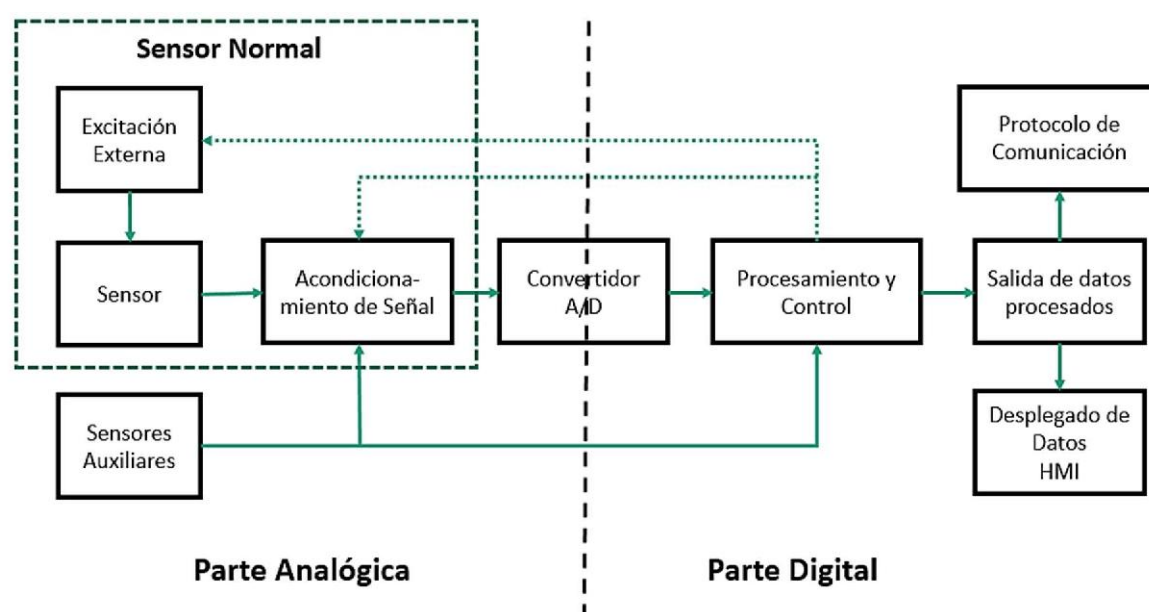


Figura 1.2 Diagrama a bloques de un sensor inteligente [13]

En la figura 1.2 se presentan las dos partes que integran un sensor inteligente. En el recuadro de líneas punteadas se observan los bloques que comúnmente componen a un sensor normal [13].

1.4.3 Sensores para temperatura

Existe una gran variedad de sensores para medir no solo la temperatura sino cualquier otra variable, cada sensor posee características distintas como rango

de medición, principio de funcionamiento, exactitud, repetividad y precio.

Sin embargo, cada sensor está diseñado de acuerdo con la variable que va a medir y es así como llegamos a los tipos de sensores que comúnmente son utilizados para medir la temperatura.

Generalmente, la temperatura se mide haciendo uso de sensores conocidos como termistores, y pueden ser PCT, NTC y semiconductores.

1.4.4 Sensores para humedad relativa

La mayor parte de los sensores para medir esta variable son de tipo resistivo o capacitivo. Estos sensores generalmente están diseñados con placas paralelas o electrodos porosos. El material dieléctrico puede absorber o liberar vapor de agua del entorno en función de los cambios en el nivel de humedad. Estas variaciones en la constante dieléctrica provocan cambios en la capacitancia eléctrica del dispositivo, lo que genera una impedancia que fluctúa según la humedad. Un cambio del 30 % en la constante dieléctrica está asociado a una variación de entre 0 y 100 % de humedad relativa.

El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad. Esto permite al vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para la sencilla calibración del sensor. Este tipo de sensor es especialmente apropiado para ambiente de alta temperatura porque el coeficiente de temperatura es bajo. Los sensores capacitivos son ideales para mediciones que requieren una alta sensibilidad a niveles bajos de humedad, ya que ofrecen una respuesta bastante rápida.

Sensores para gases

Los sensores más conocidos para la medición de gases presentan un funcionamiento químico, y a continuación se describe su funcionamiento básico. Un sensor químico se puede definir como un pequeño aparato que, gracias a la interacción química entre el analito gaseoso y el sensor, convierte información química o bioquímica, ya sea cualitativa o cuantitativa, en una señal que puede

medirse y resultar útil para el análisis. [14]. Los sensores electroquímicos se clasifican en potenciométricos (que miden el voltaje), amperométricos (que miden la corriente) y conductimétricos (que evalúan la conductividad o resistencia). [10].

1.5 Acondicionamiento y procesamiento de las señales

Cuando se trabaja con sensores estas dos etapas forman parte fundamental en la implementación física de dichos dispositivos y forman parte de la estructura de lo que se conoce como un sensor inteligente.

1.5.1 Acondicionamiento

El acondicionamiento permite presentar la información con las características adecuadas para ser registrada o procesada por algún dispositivo, ya sea un microcontrolador o un microprocesador, o bien algún otro dispositivo para procesar señales [13].

El acondicionamiento de una señal consiste en un proceso que requiere de circuitos electrónicos con funciones de filtrado, amplificación de una señal, adaptación de impedancias y la modulación y demodulación de una señal. Entre los circuitos más comunes se encuentra el puente de Wheatstone, amplificadores, arreglos con transistores, osciladores cuando se usan sensores capacitivos, etc.

En la figura 1.3 podemos ver un diagrama ilustrativo del acondicionamiento de señales.

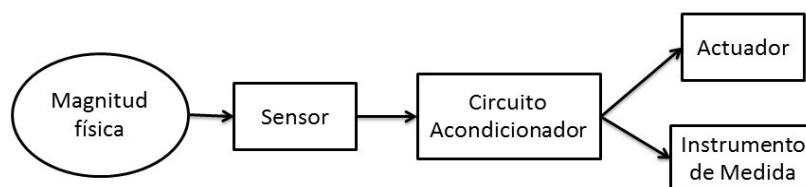


Figura 1.3 Diagrama a bloques del acondicionamiento de señales

1.5.2 Procesamiento

Esta etapa consiste en registrar, interpretar, almacenar, desplegar y transmitir un conjunto de datos digitales dentro del dominio correspondiente, comúnmente provenientes de un convertidor analógico digital. En cuanto a sensores se refiere, esta etapa también sirve para realizar funciones de corrección de no linealidad de la señal o para mejorarla en algún sentido [13].

Generalmente, esta función se realiza con un sistema basado en la implementación de un procesador o algún microcontrolador, el cual posee una lista de instrucciones de programación para realizar las funciones asignadas por el usuario.

1.5.3 Microcontroladores

Los microcontroladores son dispositivos programables, diseñados con las características ideales para controlar y realizar diferentes tareas.

A diferencia de un microprocesador, un microcontrolador está pensado para ser implementado en múltiples aplicaciones al más mínimo costo [15] [16].

Los componentes básicos que generalmente constituyen un microcontrolador se muestran en la figura 1.4.

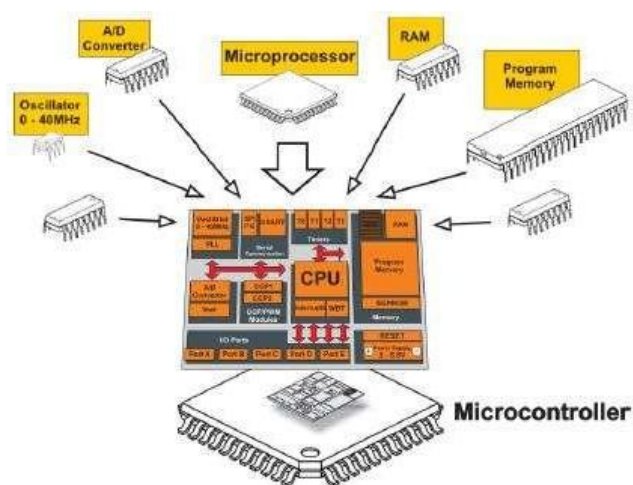


Figura 1.4 Elementos que constituyen a un microcontrolador [15]

La elección de un modelo en específico de microcontrolador para trabajar en algún proyecto depende directamente de los requerimientos propios de la aplicación. También es importante tener en cuenta las entradas y salidas (analógicas/digitales), si existe la necesidad de un ADC (Convertidor Analógico Digital) y si se desea establecer un tipo de comunicación hacia un ordenador u otro dispositivo, o bien, si la aplicación requiere desplegar o transmitir datos, etc. El costo de un microcontrolador principalmente depende de los recursos antes mencionados, generalmente entre más recursos tenga, mayor será su costo. Su tamaño también se relaciona con los recursos de funcionamiento, aunque de forma relativa ya que actualmente existen microcontroladores SMD (Surface Mount Device) de dimensiones considerablemente reducidas. Algunos fabricantes de estos dispositivos son: AVR de Atmel, Parallax, Motorola, Microchip, solo por mencionar algunos [15].

1.6 Monitoreo inalámbrico de datos

La tecnología inalámbrica ha evolucionado significativamente en los últimos años. Diferentes tecnologías se implementan en la transmisión de datos de forma remota y mucho más aún en las telecomunicaciones a través de todo el mundo. [17]. En 1996 la IEEE permitió el uso de un estándar para realizar redes locales de comunicación llamado 802.11b o Wi-Fi. Dicho protocolo de comunicación se caracteriza por la rapidez para transmitir datos, la flexibilidad y la facilidad de uso.

En un sistema de comunicación, generalmente intervienen los siguientes elementos:

Servidor. Se trata de una computadora central que posee los recursos más amplios, incluyendo disco duro para almacenamiento, memoria RAM y velocidad del procesador. Entre sus funciones dentro de la red se encuentran la gestión del enlace y la comunicación entre todas las computadoras, la provisión de servicios de comunicación hacia otras redes, y la implementación de medidas de seguridad como cortafuegos y antivirus. Además, tiene aplicaciones utilizadas por las demás computadoras que forman parte de la red, como bases de datos y herramientas de desarrollo.

Estaciones de trabajo. Son las computadoras en la red que acceden a los servicios de otras computadoras conectadas. Inicialmente, estas eran máquinas de menor capacidad de procesamiento, pero en la actualidad, casi cualquier computadora de la red puede llevar a cabo una o varias funciones que antes se consideraban exclusivas del servidor.

Tarjeta de red. Se les conoce con este nombre a los dispositivos que permiten a las computadoras comunicarse entre sí. Su tarea primordial es recibir datos de una computadora y enviarlos a otras dentro de la red. El envío de datos mediante cables fue el método más empleado al inicio, actualmente la información puede ser enviada mediante fibra óptica o de forma inalámbrica a través del aire.

Medio de comunicación. Se le conoce con este nombre al medio físico o canal entre los nodos de una red por medio del cual se transmite la información.

1.6.1 Topologías de red

La topología de una red hace referencia a la forma en la que físicamente se encuentran distribuidos los elementos que integran la red de comunicación. En la figura 1.4 se muestran los tipos de topología que se usan dependiendo la aplicación.

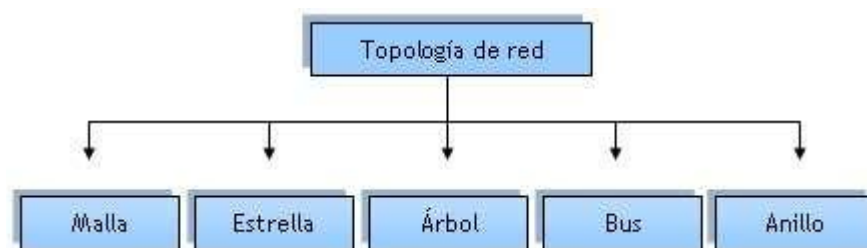


Figura 1.4 Clasificación topológica de redes.

A lo largo de este capítulo se han abordado temas importantes que le dan cuerpo y sustento a este proyecto, a partir de aquí esta información es de gran importancia para visualizar una forma de trabajo y ejecución de acciones correspondientes. Se han definido las características principales de las variables a medir, así como un panorama general de los dispositivos que podemos implementar para realizar su medición.

En el capítulo II se describirán las actividades realizadas para conocer el funcionamiento de los sensores que se van a utilizar, así mismo los dispositivos auxiliares como son, microcontrolador, Timer 555, Módulos de transmisión inalámbrica de datos, etc. También se abordará puntualmente cada procedimiento experimental.

Capítulo II Desarrollo del sistema para monitoreo de variables ambientales

2.1 Introducción

En este escrito se presentan las actividades llevadas a cabo para el desarrollo de este trabajo de tesis, las cuales incluyen principalmente el estudio de los sensores, la identificación de la ubicación para los módulos de medición, el dispositivo para procesar las señales y también la investigación de los dispositivos de comunicación inalámbrica para la transmisión de datos.

2.2 Metodología de solución

El diagrama que se observa en la figura 2.2.1, describe la metodología de solución empleada.

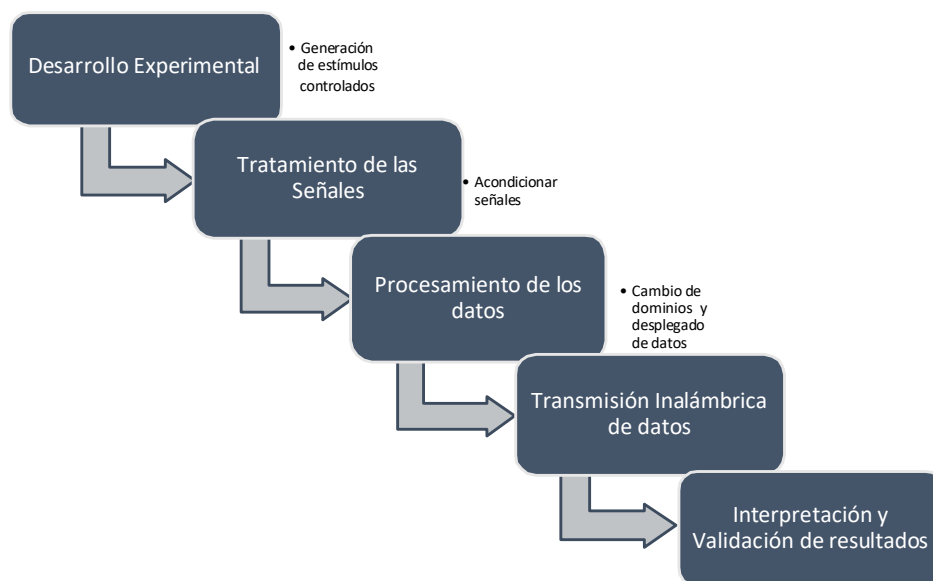


Figura 2.1 Esquema descriptivo de la metodología de solución.

Plantear una metodología de solución fue importante, ya que en ella se describe de forma gráfica cada una de las etapas que en conjunto conforman el desarrollo de este proyecto de tesis. En los siguientes párrafos se describirá cada bloque de forma específica.

2.3 Ubicación de los módulos de medición.

Una tarea importante fue el estudiar el área de un quirófano, se realizó una visita al HG No. 8 ubicado en la ciudad de Córdoba, Ver. Con la finalidad de conocer la infraestructura de un quirófano y estimar las dimensiones óptimas que debería poseer de un prototipo de medición.



Figura 2.2 Áreas posible para la ubicación de módulos de medición.

En la figura 2.2, se muestra el área remarcada en rojo que el personal médico sugirió como ubicación adecuada para instalar módulos de medición dentro de un quirófano. Junto a cada recuadro también se observa un círculo de color rojo, que muestra la ubicación de la conexión a la red eléctrica, necesaria para brindar energía a cada módulo.

Cada módulo debe tener dimensiones pequeñas dado el espacio reservado para su ubicación, esto será un factor que tomar en cuenta al momento de fabricar los circuitos impresos.

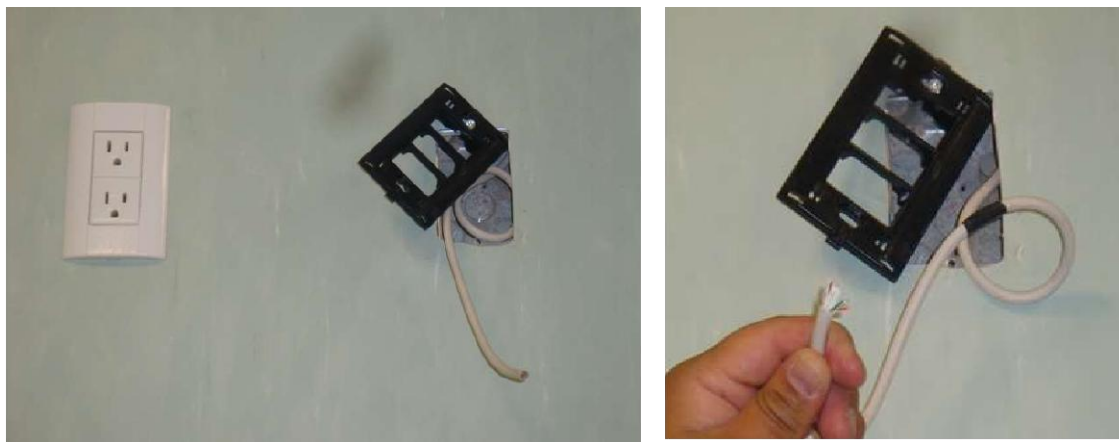


Figura 2.3 Caja de registro.

La figura 2.3 permite observar las dimensiones de una caja de registro, aproximadamente de esas mismas dimensiones deben ser los circuitos impresos.

A continuación, se describirán cada uno de los sensores estudiados incluyendo sus características de funcionamiento y circuitos de acondicionamiento.

2.6 Procedimiento Experimental

Una parte esencial del proyecto es el desarrollo experimental, ya que es aquí donde se realizaron las actividades correspondientes a la caracterización de los sensores. Primeramente, se realizaron ajustes al sistema de medición ubicado en el laboratorio de sensores e interfaces multimodales con la finalidad de hacer un manejo más eficiente del mismo, y así optimizar la calidad del procedimiento para medir las variables de interés. A cada contenedor se instaló un conector rápido para evitar fugas de aire al momento de conectar las mangueras por donde circulara el vapor hacia la cámara de medición, o en su caso el aire seco, estos se colocaron

en un costado del contenedor, respectivamente, observar figura 2.7. También se utilizaron conectores pasa muro que se colocaron en la parte superior de cada contenedor con el mismo objetivo que tienen los conectores rápidos (evitar fugas de aire), el aire que circulara por este medio es el que proporcionan las bombas de aire las cuales forman parte de la cámara de medición (entrada de aire).

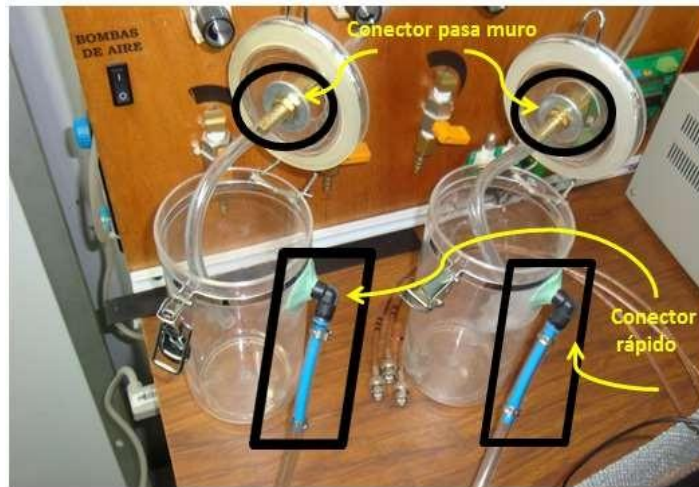


Figura 2.3 Cámara de medición de humedad relativa

Observando con atención la Figura 2.3, se pueden apreciar los conectores rápidos que se incorporaron a los contenedores de cada sustancia, uno para agua y otro para la arena sílice. El objetivo principal de esta actividad fue aumentar la funcionalidad de esta cámara evitando fugas de aire ocasionadas por la manera en que anteriormente se realizaban las conexiones.

Para complementar esta tarea también se construyó una cámara de pruebas hecha con acrílico, cuyas dimensiones físicas son más grandes con respecto a la cámara existente, aunque para su construcción se siguió el mismo modelo, de esta forma se pudo adaptar al sistema de medición sin problema, dicha cámara se presenta en la figura 2.9.

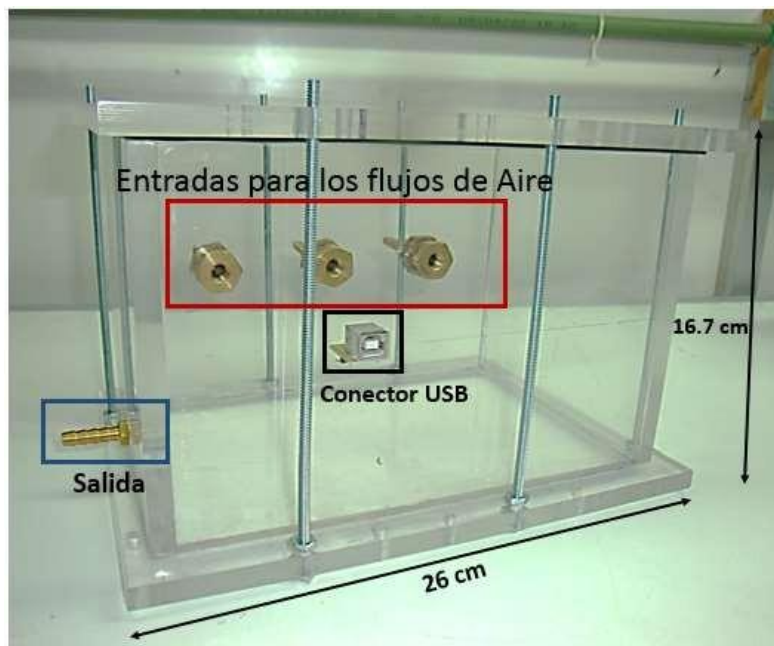


Figura 2.5 Cámara de pruebas

Como se observa en la figura 2.5 la cámara construida tiene la capacidad para permitir la entrada de 3 flujos de aire, uno de aire húmedo, otro de aire seco y el tercero para dióxido de carbono o aire caliente. Se colocó un conector USB para poder alimentar el circuito de procesamiento, el cual se colocará dentro de la cámara de pruebas junto con los 3 sensores. En la parte inferior derecha se observa un conector para que por esa área salga el aire y de esa forma exista una recirculación del aire dentro de la cámara. También se construyó una fuente de calor para aumentar la temperatura del flujo de aire que entrara a la cámara de medición, dicho sistema se describe en el siguiente diagrama a bloques:

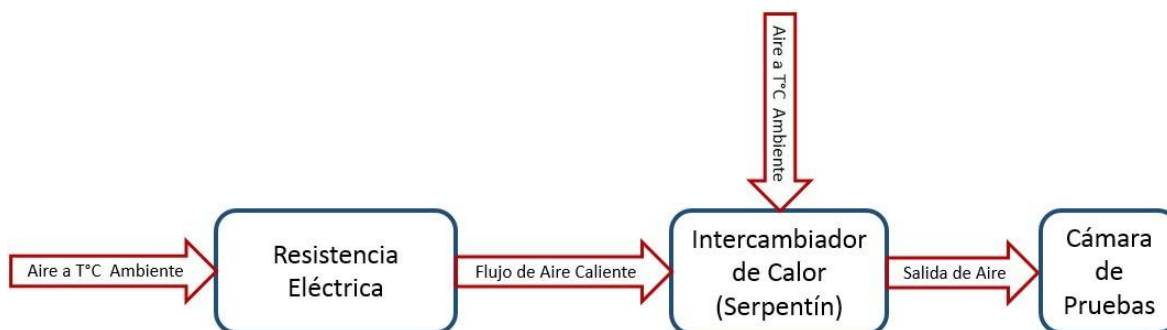


Figura 2.6 Diagrama a bloques de la fuente de calor

La fuente de calor funciona con una resistencia eléctrica y un ventilador, ambos integrados de tal forma que el flujo de aire del ventilador incide directamente sobre la resistencia caliente, de esta forma el flujo de aire proveniente del ventilador se calienta aproximadamente a 70°C . Para generar la variación de la temperatura del aire que llega a la cámara de pruebas, se utilizó un intercambiador de calor hecho con un serpentín de tubo de cobre (Figura 2.7), ya que éste permite obtener cambios rápidos de temperatura del aire o líquido que fluye en su interior. Actualmente los serpentines son utilizados en procesos industriales para enfriar líquidos o gases, además de que son esenciales en el funcionamiento de los calentadores de agua que utilizan gas LP (Boyle). La resistencia eléctrica se introdujo dentro de una caja hecha de acrílico blanco para poder integrarla al intercambiador (Serpentín), en la figura 2.7 se muestra la caja de acrílico que se construyó.



Figura 2.7 Fuente de calor

Si se observa detenidamente la figura 2.7, se aprecian las partes importantes que tiene la fuente de calor. En la parte superior se logra apreciar la salida de aire caliente, en los costados de esta área se colocaron dos escuadras de metal para que sirvieran como soporte y así fijar el serpentín de tubo de cobre, ya que como se mencionó en párrafos anteriores lo utilizaremos como intercambiador de calor.

También se pueden dos interruptores colocados en la parte inferior de la caja, el de la derecha es para encender o apagar el sistema y el segundo para obtener aire a temperatura ambiente (relativamente más frio). En la figura 2.11 se presenta la integración de la caja de acrílico con el serpentín de tubo de cobre.

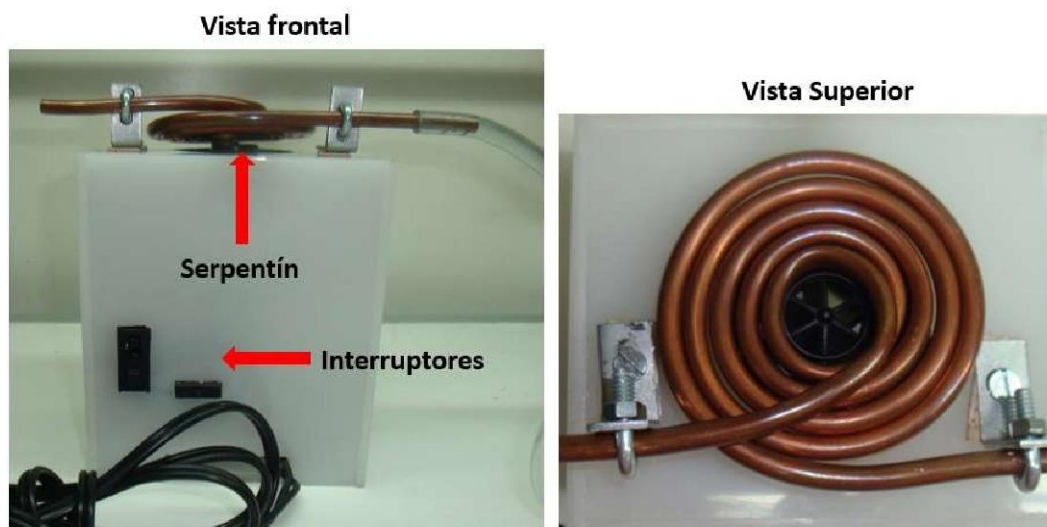


Figura 2.8 Fuente de calor

Como se mencionó anteriormente, el serpentín se colocó en la parte superior de la fuente de calor, en la imagen de la izquierda de la figura 2.8 se pueden observar los dos extremos del serpentín, en uno entrará el flujo de aire a temperatura ambiente, después de la circulación a lo largo del tubo este flujo caliente o frío según corresponda, será dirigido hacia la cámara de medición.

2.7 Instrumentación de los Sensores

2.7.1 Sensor SH1101 para medir Humedad Relativa

Para medir la humedad relativa existen numerosos dispositivos, en nuestro caso particular utilizaremos el sensor HS1101 cuyo fabricante es Humirel. Este dispositivo está diseñado a base de una celda capacitiva, altamente recomendado para ser usado en múltiples aplicaciones de control para aire acondicionado tanto en oficinas como en los hogares y en automóviles, asimismo en el control de sistemas inmersos en procesos industriales, y en general en aplicaciones que requieran la medición puntual de esta variable.

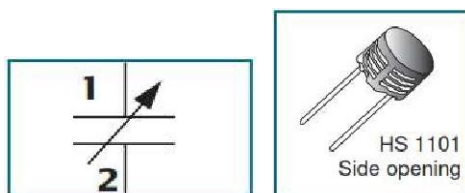


Figura 2.9 Sensor HS1101 para medir la humedad relativa [17]

Claramente, en la figura 2.9 se observan el símbolo del sensor HS1101 a la izquierda, y el encapsulado físico de éste mismo sensor, derecha. A continuación, se presentan las características principales sobre el funcionamiento de este sensor, las cuales fueron determinantes para su selección.

Tabla 2.1 Características del sensor HS1101 [17]

Características	Sensor HS1101
Rango de medición	1% a 99% de HR
Valor nominal de capacitancia	Min. 177pF – Típico 180pF – Max 183pF
Tiempo de Respuesta	5 S
Histéresis	+/-1.5
T°C de Operación	-40 a 100 °C

Como se aprecia en la tabla anterior, las características del sensor son adecuadas para la aplicación en este proyecto, ya que se requiere un dispositivo con alta sensibilidad capaz de medir la humedad relativa en ambientes poco húmedos, pero con una respuesta relativamente rápida, además de que el rango de medición está dentro de los valores de humedad relativa de interés.

En la figura 2.4 se presenta la gráfica de la respuesta del sensor dada por el fabricante.

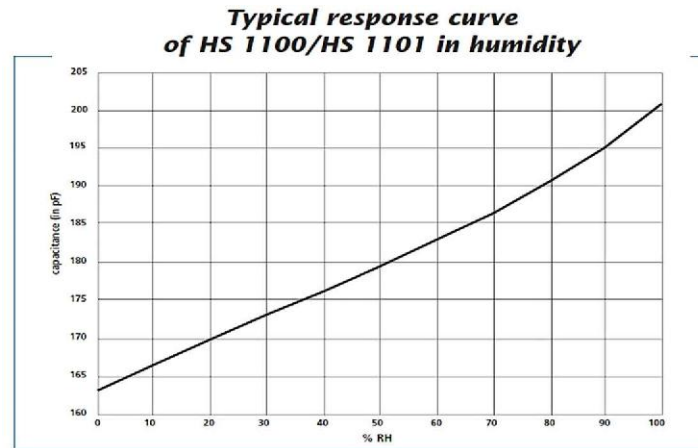


Figura 2.10 Grafica de respuesta del sensor SH1101. [18]

Este sensor es una celda capacitiva y para su funcionamiento, particularmente, se implementó un circuito temporizador utilizando un CI LM555, el cual es un dispositivo electrónico de uso común con el que se pueden realizar circuitos osciladores, multivibradores de un disparo, alarmas contra robo y monitores de voltaje, por citar algunos ejemplos, ya que este dispositivo es capaz de producir intervalos de tiempo medidos. Dentro de sus principales ventajas es que es fácil de utilizar, es confiable y de muy bajo costo.

El circuito integrado LM555 tiene dos modos de operación, como un multivibrador astable o de oscilación libre, o bien como un multivibrador monoestable o de un disparo. En la figura 2.12 se presenta este C.I. así como sus terminales de conexión, imágenes obtenidas de la hoja de datos del fabricante.

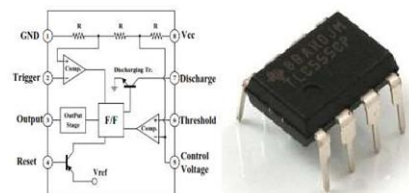


Figura 2.11 Diagrama interno del CI555 y forma física de su encapsulado.

Para la implementación de nuestro sensor para humedad relativa, se utilizó un oscilador en configuración astable utilizando el CI555, a continuación, en la figura 2.13 se muestra el diagrama esquemático de dicho circuito.

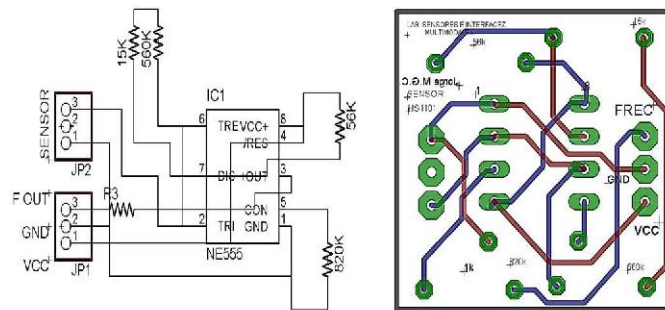


Figura 2.12 Diseño del oscilador astable utilizando el CI555.

Esta figura (2.12) en el costado izquierdo se muestra el sensor HS1101 implementado como un capacitor variable que se conecta a los pines 2 (disparo) y 6 (umbral) del CI555 ya que esas dos terminales permiten tener en cada salida nivel alto y nivel bajo. La señal en frecuencia que proporciona este circuito se obtiene en el pin 3 del CI555. En el lado izquierdo de la misma figura se observa el diseño PCB del circuito impreso, listo para ser fabricado físicamente.

Debido a que la carga y descarga del sensor se efectúa a través de dos resistencias, los periodos de alto y bajo de la señal, así como la frecuencia de salida y el ciclo de trabajo quedan determinados por las siguientes fórmulas:

$$t_{\text{ALTO}} = C @ \%RH * (R_1 + R_2) * \ln 2$$

$$t_{\text{BAJO}} = C @ \%RH * R_1 * \ln 2$$

$$F = 1 / (t_{\text{ALTO}} + t_{\text{BAJO}}) = 1 / (C @ \%RH * (R_2 + 2 * R_1) * \ln 2)$$

$$\text{Ciclo Util de trabajo} = t_{\text{ALTO}} * F = R_1 / (R_2 + 2 * R_1)$$

De donde:

t_{ALTO} = Tiempo en estado alto.

t_{off} = Tiempo en estado bajo.

F = Frecuencia.

RH = Humedad relativa.

$C@ \%RH$ = Porcentaje de la capacitancia nominal.

De tal manera que para garantizar un ciclo útil de trabajo aproximado al 50%, la resistencia R_4 (conectada entre los pines 7 y 8) debe ser pequeña en comparación con R_3 (conectada entre los pines 6 y 7), aunque no de un valor muy bajo. La resistencia R_4 desequilibra el sistema de compensación de temperatura interno del 555 con el fin de coincidir con el coeficiente de temperatura del sensor capacitivo.

Por otro lado, para asegurar la condición de una frecuencia de salida de 6.66Khz cuando la $RH=55\%$, el fabricante del sensor recomienda los siguientes valores de resistencias para R_4 y R_3 según el CI555 que se esté utilizando. En la tabla 2.3 se observan los valores de resistencias mencionados.

Tabla 2.2 Valores de resistencias para el circuito multivibrador con el CI555

Fabricante del 555	Valores para R1	Valores para R2
TLC555 (Texas)	909kΩ	576 kΩ
TS555 (STM)	100nF	523 kΩ
7555 (Harris)	1732 kΩ	549 kΩ
LMC555 (National Instruments)	1238 kΩ	562 kΩ

Finalmente, contemplando lo estudiado hasta este momento sobre el sensor HS1101, se procedió a la elaboración del circuito impreso del circuito oscilador estable para la implementación física del sensor, mismo que será mostrado en un apartado posterior.

2.7.2 Sensor LM35 para medir Temperatura

El sensor LM35 se utilizó frecuentemente en diversos proyectos que requieren la medición de la temperatura gracias a sus características sumamente atractivas, es un sensor diseñado en estado sólido cuya salida en voltaje es proporcional a la temperatura expresada en grados Celsius. Una de sus ventajas durante la implementación es que no necesita de un circuito externo de calibración y tiene bajo consumo de corriente, su uso se encuentra dentro de un vasto número de aplicaciones en ambientes cerrados como almacenes, oficinas, en el hogar, y procesos que requieren mantener un monitoreo continuo de la temperatura. En la figura 2.5 se da un esquema para este sensor.

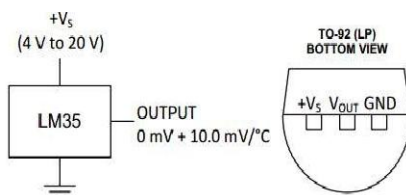


Figura 2.13 Sensor LM35 [19]

En la tabla 2.2 podemos observar las principales características eléctricas del sensor LM35.

Tabla 2.3 Características principales de sensor LM35 [18]

Características	Sensor LM35
Rango de medición	0°C a 150 °C (Configuración utilizada)
Salida en Voltaje	10mV/ °C
Voltaje de Alimentación	4v a 30v

Existen dos configuraciones para conectar este dispositivo, cada una determina el rango de medición en el cual operara el sensor, que puede ser de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ o bien de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Particularmente utilizaremos la segunda configuración misma que se muestra en la figura 4, ya que no se tiene contemplado medir temperaturas por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Una vez presentado las características principales de este dispositivo, entre las cuales se destaca su funcionamiento sin necesidad de algún circuito externo de excitación o de acondicionamiento, ya que como se mencionó la señal de salida es lineal proporcionando un voltaje del orden de milivolts ($10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$).

De esta manera se presenta un diagrama bloques que ilustra la forma del procedimiento que se siguió para experimentar el funcionamiento de este dispositivo.

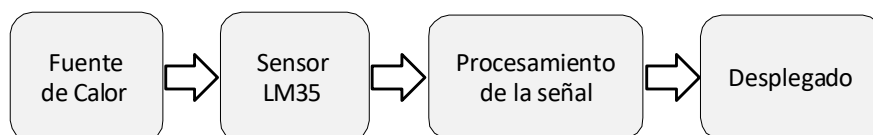


Figura 2.14 Diagrama a bloques para el sensor LM35

De los cuatro sensores que se utilizaron, éste es el más fácil de implementar debido a que solo se conectó de forma directa a la fuente de alimentación y posteriormente se capturo la señal por el microcontrolador encargado de procesar la información.

2.7.3 Sensor MG811 para medir Dióxido de Carbono

Como parte del monitoreo de la calidad del aire, en este proyecto se incluye la medición tanto del dióxido de carbono como de metano también conocido como gas natural.

Existen dos tipos de sensores para medir el dióxido de carbono, los que miden la concentración de CO_2 por Infrarrojos; estos absorben moléculas de CO_2 de la luz a una determinada longitud de onda ($4.26\text{ }\mu\text{m}$) y los sensores electroquímicos, estos últimos cuando entran en contacto con el Dióxido de Carbono llevan a cabo una

reacción química en su interior que produce una fuerza electromotriz la cual determina el nivel de dióxido de carbono existente en ese ambiente. En nuestro caso utilizaremos el sensor MG811, un sensor electroquímico que podemos observar en la figura 2.4.

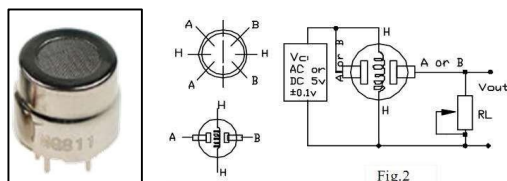


Figura 2.15 Sensor MG811 para medir CO₂

En la siguiente tabla se presentan las principales características del sensor:

Tabla 2.4 Características principales de sensor MG811

Características		Sensor MG811
Rango de detección (ppm)		350 a 10000
Voltaje de calentamiento		6 ± 0.1 DC 0 AC
Corriente de calentamiento		200 mA
Condiciones de trabajo	de	-20 °C a 50 °C, 0%HR a 65 %HR
Señal de salida		30-50 mV

Se puede observar que el sensor MG811 posee un rango de medición muy amplio y la señal de salida es un voltaje analógico proporcional a la concentración de CO₂. En la figura 2.5 se presenta la gráfica de respuesta dada por el fabricante.

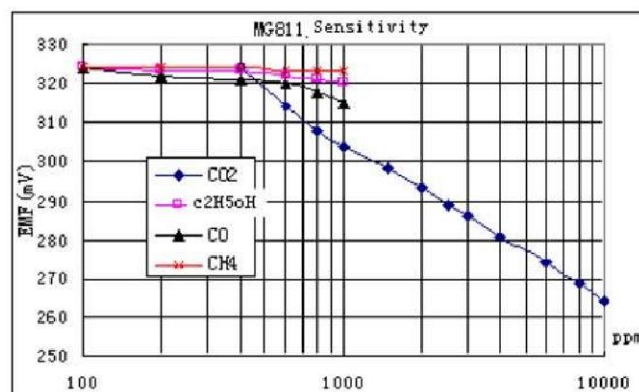


Figura 2.16 Grafica de respuesta del sensor MG811

2.7.4 Sensor MQ-4 para medir metano

El sensor que se utilizará para medir el metano es el MQ-4, dicho sensor tiene un funcionamiento similar al MG-811 para dióxido de carbono ya que también se trata de un sensor electroquímico, el cual podemos apreciarlo en la figura 2.17.

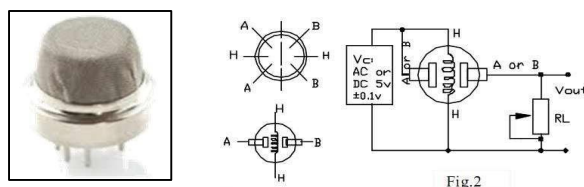


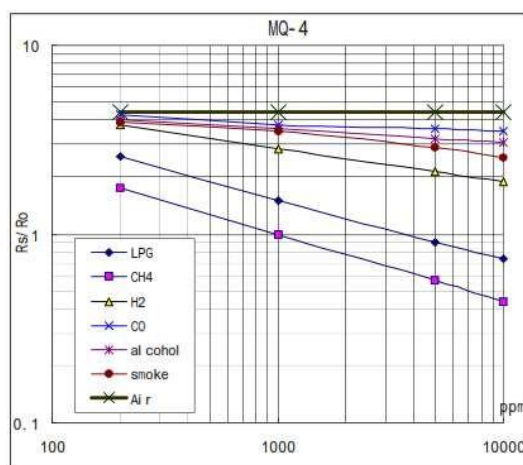
Figura 2.17 Sensor MQ-4 para medir metano.

En la siguiente tabla se presentan las principales características del sensor MQ-4:

Tabla 2.5 Características eléctricas del sensor MQ-4

SENSOR MQ-4	
Rango de detección (ppm)	200 a 10000
Voltaje de calentamiento	5 ± 0.2 DC
Corriente de calentamiento	150 mA
Condiciones de trabajo	-20 °C a 70 °C, 5%HR a 95 %HR
Señal eléctrica de salida	1.3 - 4.6 V

Como se observa en la tabla 2.2, las características del sensor cubren el requerimiento de la medición de un nivel bajo de este gas, ya que en el ambiente donde se llevará a cabo el monitoreo este gas puede existir en concentraciones muy bajas. En general el sensor cuenta con características muy similares al MG-811. La figura 2.7 muestra la gráfica de respuesta del sensor MQ-4 proporcionada por el fabricante.

**Figura 2.18 Gráfica de respuesta del sensor MQ-4.**

Ambos sensores presentados anteriormente, para medir CO_2 y metano se están utilizando en módulos de dimensiones pequeñas, que se muestran en la figura 2.19.

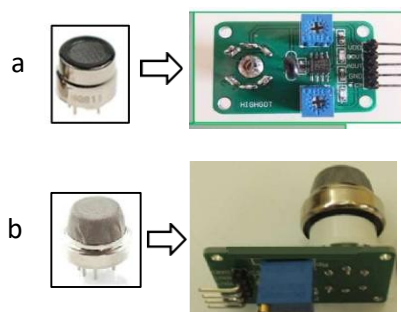


Figura 2.19 Módulos de medición para gases: a) Sensor MG-811 para medir CO_2 , b) Sensor MQ-4 para medir metano.

El motivo de utilizar los módulos fue que ambos incluyen una base para conectar el sensor, con esto se brinda protección al dispositivo y se evitan posibles averías de funcionamiento en caso de soldarlos directamente a la PCB. Aunado a lo anterior, en la figura 2.20 se muestra el diagrama esquemático que describe el funcionamiento básico de cada módulo.

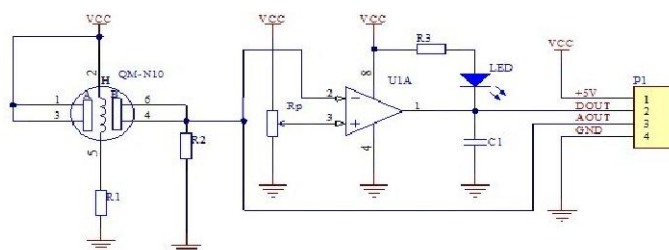


Figura 2.20 Diagrama esquemático de los módulos para medir gases.

Claramente se observa en el diagrama anterior los pines de conexión del sensor, tanto los pines 1, 2, y 3 están conectados directamente a 5V, y la señal de salida se obtiene a través de los pines 6 y 4. El conector de color crema con pines 1, 2, 3, 4, es para la alimentación de voltaje a todo el módulo (pin 1 para vcc y pin 4 para tierra) y también para capturar la señal de salida del sensor (pin 2 salida

diferencial, pin 3 salida directa del sensor). En el nodo A se aprecia que es el punto donde la señal de salida se dirige al amplificador operacional y también hacia el pin de salida A Out (pin 3 del conector), por lo tanto, la señal se puede trabajar directamente del sensor (opción que estamos utilizando), o bien, de la etapa proveniente del amplificador operacional (D Out, pin 2 del conector).

2.8 Microcontrolador PIC18F4550

El microcontrolador con el que se ha trabajado para procesar los datos es el PIC18F4550 de Microchip, dentro de sus principales características de funcionamiento es que permite establecer comunicación vía USB, tiene una frecuencia de trabajo hasta de 48 Mhz, cuenta con dos módulos CCP, tiene comunicación UART e I2C y cuenta con 10 canales ADC de 10 bits.

Uno de los recursos más importantes que se utilizará del microcontrolador 18F4550 es el ADC. Se usarán dos canales, uno para procesar la señal de sensor LM35 y otro para el sensor MG811.

Para medir la frecuencia de salida el oscilador 555 generada por el sensor HS1101, se realizó un frecuencímetro digital utilizando el Timer1 del PIC18F4550, el cual basa su funcionamiento en el conteo de los pulsos de subida de la señal de entrada, de esa forma tenemos una lectura de la frecuencia equivalente a la humedad relativa. El procesamiento de una señal analógica bajo esta técnica es el principio de funcionamiento de lo que se considera un sensor inteligente, por lo que se usó esta forma de procesar datos. A continuación, se describe su funcionamiento.

2.8.1 Frecuencímetro digital

La medición de la frecuencia está inmersa en múltiples aplicaciones electrónicas y con mayor frecuencia cuando se trabaja con sistemas que incluyen

la implementación de sensores capacitivos, como sucede en nuestro caso.

La ventaja principal de utilizar esta forma para procesar una señal es que permite trabajar de forma digital, evitando etapas comunes como la conversión de la frecuencia a voltaje, y posteriormente la conversión analógica digital, todo con ayuda del microcontrolador. El siguiente diagrama a bloques, presentado en la figura 2.21 describe la metodología que se siguió para la construcción del frecuencímetro digital.

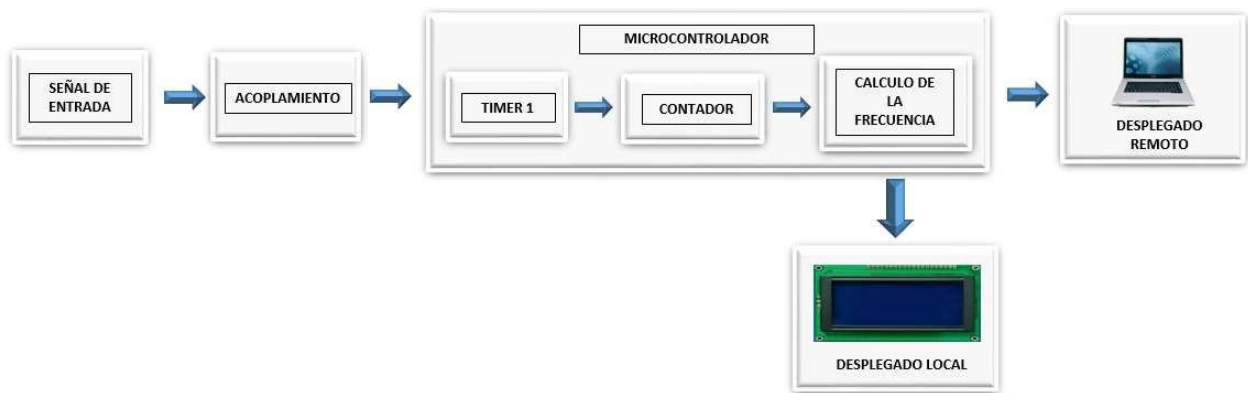


Figura 2.21 Diagrama a bloques del frecuencímetro digital

El recurso principal del PIC18f4550 que permitió el desarrollo del frecuencímetro, es el módulo timer1 el cual trabaja con una resolución de 16 bits. Este módulo tiene dos modos de funcionamiento, como temporizador y como contador. En primer lugar, fue necesario configurar el timer 1 como contador, posteriormente, se realizaron los cálculos para establecer el valor de la frecuencia de entrada con la formula:

$$F = \text{timer1} + \text{contador} * 2n^q$$

De donde:

F = es la frecuencia

timer1 = es el valor leído por el módulo contador.

Contador = que se activa por el desbordamiento del timer1.

Una vez leída la frecuencia se procedió a realizar el cambio de dominio para poder visualizar la humedad equivalente a esa frecuencia. Esto se llevó a cabo con la formula () tomando en cuenta los datos proporcionados por el sensor.

$$HR = \frac{f_{m\acute{a}x.} - f_{in}}{f_{m\acute{i}n.}} * HR_{m\acute{a}x.}$$

De donde:

HR = Humedad relativa medida

$f_{m\acute{a}x}$ = es el valor máximo del rango de medición del sensor.

f_{in} = es la frecuencia leída por el frecuencímetro.

$f_{m\acute{i}n}$ = es el valor mínimo del rango de medición del sensor.

Para visualizar los datos correspondientes a la concentración de las variables ambientales, se envían los datos a un display de cristal líquido de 4 renglones con 20 dígitos cada uno, lo cual es suficiente para mostrar los resultados de la medición de las 4 variables. Posteriormente se desarrolló una interfaz gráfica en la plataforma de C# para desplegar los datos de forma remota en la PC, esto se presenta en un siguiente apartado.

2.9 Estrategia de Medición

Es este apartado se describe la estrategia que se estableció para poder realizar mediciones en diversos ambientes controlados dentro de la cámara de medición. Cabe mencionar que las pruebas se llevaron a cabo haciendo uso del sistema experimental que se encuentra en el laboratorio de sensores e interfaces multimodales, a continuación, en la figura 2.22 se muestra el diagrama a bloques de dicho sistema.

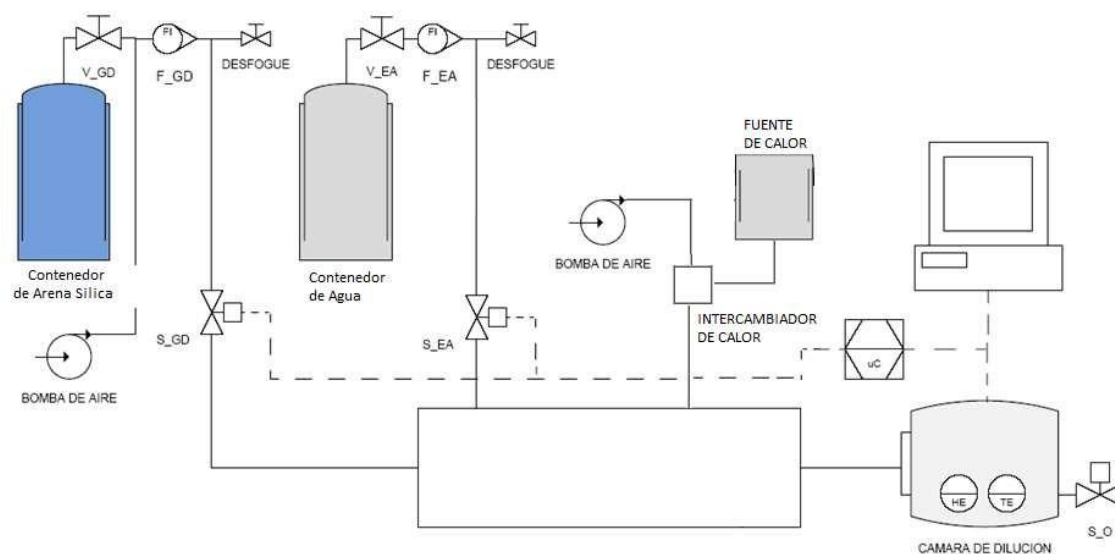


Figura 2.22 Diagrama de instrumentación del sistema experimental ubicado en el Laboratorio de Sensores e Interfaces Multimodales.

Como se aprecia en la figura 2.22, este sistema cuenta con los elementos necesarios para generar una atmosfera controlada ideal para caracterización de los sensores mencionados con anterioridad.

Los principales componentes que se pueden apreciar en el diagrama de la figura 2.22, son 2 contenedores para poder generar una atmosfera con determinada variación de humedad relativa, uno para colocar arena Silica y el otro para colocar agua natural, también se aprecian un par de bombas de aire, una conectada hacia los contenedores arriba mencionados y la otra conectada a un intercambiador de calor de temperatura. En la parte inferior del diagrama, se observa la cámara de medición, esta se utilizó como la atmosfera donde se llevarán a cabo las mediciones correspondientes de los sensores, los cuales estarán colocados en su interior.

La bomba de aire conectada hacia los contenedores generara un flujo de aire que se va a dirigir a un contenedor respectivamente, cuando el flujo de aire se dirija hacia la salida del contenedor, este aire habrá pasado por el agua natural o por la arena Silica, de tal forma que a la salida del contenedor habrá el mismo flujo de aire proveniente de la bomba, pero con mayor o menor concentración de humedad que la que tenía al inicio. De esta manera podemos obtener un flujo de aire más seco o con mayor humedad, en comparación al aire del medio ambiente.

Cada contenedor tiene una conexión directa con la cámara de medición para que en el interior de la cámara tengamos una atmosfera con condiciones ambientales perfectamente aisladas y controladas. Por otro lado, la segunda bomba dirige un flujo de aire constante hacia un intercambiador de calor o serpentín, realizado a partir de tubo de cobre. Dicho serpentín también posee una conexión directa con la cámara de medición. Ahora entonces, el serpentín está sometido al efecto calorífico de una fuente de calor, con lo cual se obtiene el intercambio de temperatura del flujo de aire interno a través del serpentín, con lo cual se espera que dentro de la cámara de medición también haya una variación de temperatura.

Hasta aquí se ha descrito la metodología que se ha utilizado para poder generar una atmosfera controlada con las condiciones necesarias para poder llevar a cabo mediciones confiables de las variables de interés.

Capítulo III Pruebas y Resultados Finales

A continuación, se describirán las pruebas realizadas a cada dispositivo, asimismo se presentarán los resultados obtenidos.

3.1 Circuitos impresos para el procesamiento

Para el procesamiento de las señales incluyendo el frecuencímetro, fue necesario diseñar y fabricar una serie de circuitos impresos para implementar el microcontrolador junto con todos sus componentes de funcionamiento.

A continuación, en la figura 3.1 se muestra el diseño realizado en el software de Eagle versión 6.6.

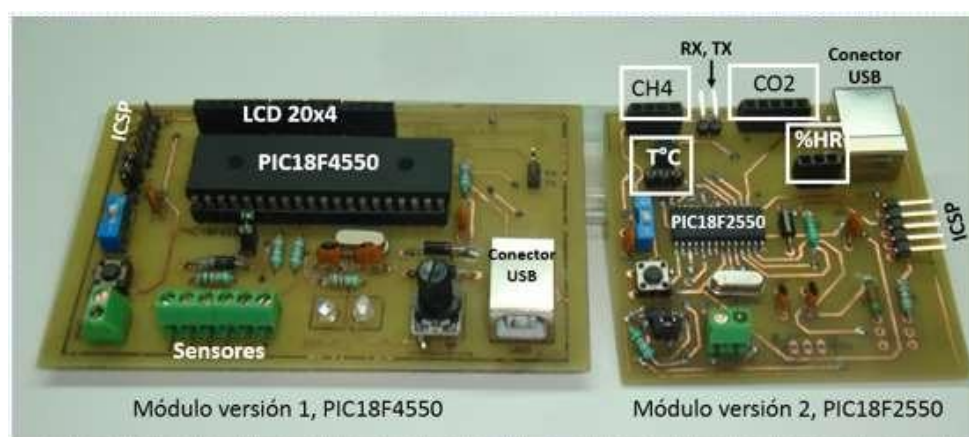


Figura 3.1 Módulos para medir la calidad del aire

En la figura 3.1 se muestran ambos diseños de los módulos, se pueden observar cada uno de sus componentes. El módulo de la izquierda es una de las primeras versiones, el módulo de la derecha es la versión más reciente, claramente se puede observar una reducción en cuanto a sus dimensiones físicas además de que ya se incluyen los conectores para colocar los sensores en el mismo circuito impreso (figura 3.2).

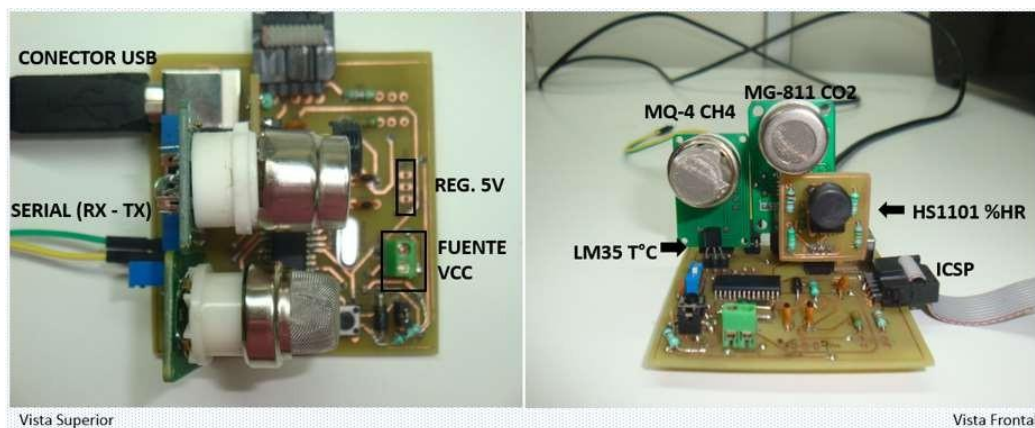


Figura 3.2 Segunda versión de módulo para el procesamiento de los datos

La figura 3.2 permite observar el segundo diseño del módulo que se fabricó para procesar los datos, ya con todos los sensores incluidos, cabe mencionar que el módulo permite establecer la comunicación USB con la PC, así mismo la comunicación serial con dispositivos que utilicen la comunicación serial.

Cada uno de los diseños PCB son de doble capa, fueron realizados en el software Eagle. Posteriormente, se fabricaron por el método de transferencia térmica.

3.2 Circuitos impresos de acondicionamiento de la señal para el sensor HS1101

En cuanto a los sensores para medir humedad relativa, fue necesario fabricar una serie de circuitos impresos para poder acondicionar la señal eléctrica de dicho sensor, en un apartado anterior se hizo la descripción del diseño para esta etapa.

Ahora entonces se muestra en la figura 3.3 los diversos diseños de los circuitos impresos que se fabricaron de forma gradual.

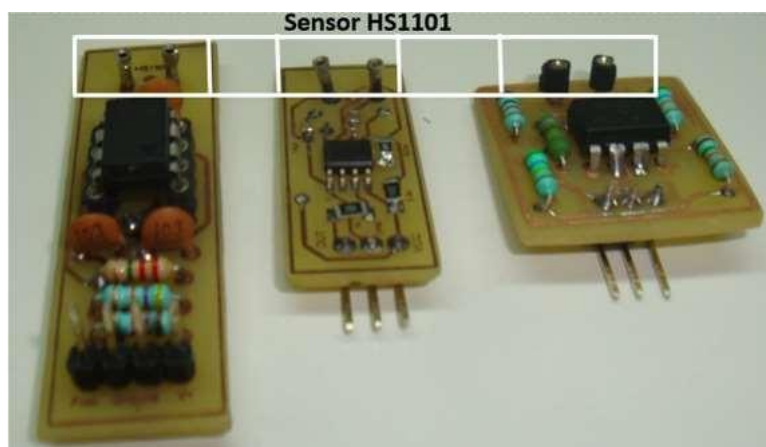


Figura 3.3 Sensor dentro de la cámara de medición

En la figura 3.3 observamos los tres diseños diferentes que se realizaron para conectar el sensor HS1101, el circuito que se ubica en la parte izquierda es una de las primeras versiones que se fabricaron, misma que a pesar de brindar buenos resultados se sometió a modificaciones en cuanto a las dimensiones físicas, así como la forma de ubicar los conectores para las señales.

El circuito que se encuentra en la parte central de la figura 3.3 se fabricó utilizando componentes de montaje superficial, con el objetivo de reducir considerablemente las dimensiones del circuito, este diseño presento ciertos inconvenientes y tomando en cuenta que la implementación de componentes de montaje superficial no era algo fundamental se procedió a modificar nuevamente el diseño. Finalmente, se fabricó el circuito impreso que se ubica en la parte derecha de la figura 3.3, este diseño es compacto a pesar de no tener componentes de

montaje superficial. Se puede decir que el diseño es el resultado final de todos los que se realizaron en esta etapa.

En la tabla 3.1 observamos los valores teóricos en capacitancia del sensor SH1101

Tabla 3.1 Valores teóricos de salida del sensor

HS1101	
Valores de Capacitancia	
Mínimo	Máximo
177	183

Una vez realizadas una serie de pruebas con el sensor de humedad fue posible confirmar que efectivamente, el circuito impreso diseñado con el oscilador 555 en conjunto con el sensor de humedad HS1101, permitía obtener una señal cuadrada con un ciclo de trabajo aproximadamente al 50%, tal como se aprecia en la figura 3.4.



Figura 3.4 Señal de salida del oscilador

Utilizando la cámara de medición descrita con anterioridad y el circuito impreso para el sensor HS1101, se procedió a la obtención de la gráfica de respuesta del sensor de humedad capacitivo HS1101, misma que se puede observar con detalle en la figura 3.6.

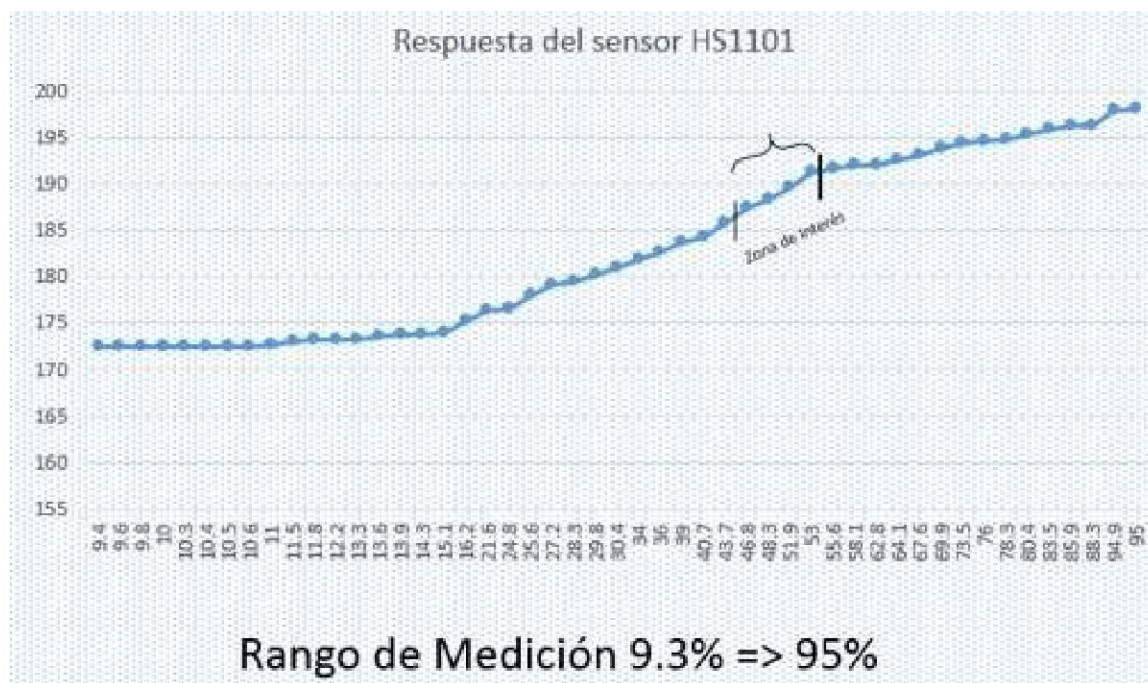


Figura 3.5 Gráfica de respuesta del sensor HS1101

3.3 Pruebas realizadas al frecuencímetro digital

Las pruebas que se realizaron al frecuencímetro fueron fundamentadas con la utilización de instrumentos electrónicos del laboratorio de sensores e interfaces multimodales, de esta forma se llevaron a cabo una serie de mediciones para verificar su funcionamiento.

El generador de señales y el osciloscopio digital fueron las herramientas que permitieron verificar el frecuencímetro, a continuación, se describen los pasos que se realizaron para cada prueba.

- En primer lugar, con el generador de señales se obtuvo una señal cuadrada con un ciclo de trabajo aproximado al %50.
- Se verificó con el osciloscopio que efectivamente la señal tenía las características necesarias para su medición, esto es, ser una señal cuadrada con un ciclo de trabajo del 50%.
- Se encendió el frecuencímetro digital desarrollado, se procedió a conectar la señal cuadrada proveniente del generador de señales hacia el frecuencímetro.
- Una vez conectados los instrumentos se procedió a tomar las lecturas correspondientes.
- Se modificó el ciclo de trabajo de la señal cuadrada para verificar si la lectura con ayuda del frecuencímetro digital se veía afectada.

En la figura 3.6 se observa la gráfica de respuesta del frecuencímetro, cabe mencionar que se realizaron pruebas con diversos valores de frecuencias, solo se muestra una gráfica en la que se realizó un barrido de frecuencias desde los 200Hz hasta los 15KHz. Es importante destacar que dichas señales cuadradas para determinar la gráfica de respuesta del frecuencímetro tenían un ciclo de trabajo del 40% y la lectura de la señal no se vio afectada.

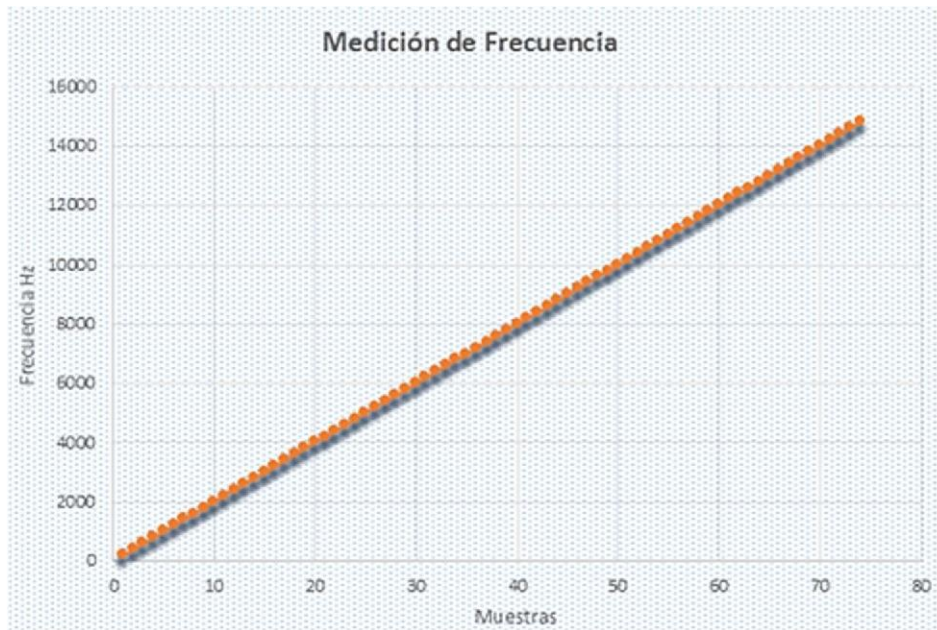


Figura 3.6 Gráfica de respuesta del frecuencímetro digital

En la gráfica mostrada en la figura 3.6 se muestra la linealidad de nuestro instrumento digital para medir frecuencias, el eje vertical contiene los valores en frecuencia que va desde 0Hz hasta 16KHz. Por su parte, el eje horizontal contiene el número de muestras que se tomaron para graficar.

La línea en color naranja corresponde a la medición tomada por el osciloscopio y la señal azul las medidas tomadas con el frecuencímetro, nuestro patrón de medición fue el osciloscopio ya que es un dispositivo robusto y muy confiable en la medición de diversas señales. Con esto pudimos verificar que efectivamente, la estrategia para medir frecuencia utilizando un frecuencímetro arrojó resultados aceptables que no se ven afectados de manera drástica por el ciclo de trabajo de la señal a medir. Esto último, permite concluir que, aunque la señal de cuadrada proveniente del acondicionamiento del sensor de humedad HS1101 no posea un ciclo de trabajo exactamente del 50%, la medición de la frecuencia no se verá afectada drásticamente.

3.4 Pruebas de los sensores en la cámara de medición.

Se muestra en la figura 3.8 la cámara de medición, la cual contiene los sensores utilizados, así como el patrón de medición para validar los datos obtenidos de humedad y temperatura.



Figura 3.7 Pruebas de medición del patrón y el sistema desarrollado.

3.5 Fabricación de los circuitos impresos para la comunicación inalámbrica

Una parte fundamental de este proyecto es brindarle la capacidad de poseer un medio de transmisión de datos de manera inalámbrica con ayuda de los dispositivos de radiofrecuencia conocidos como XBEE, de esta forma se procedió a la fabricación de una serie de socket para conectar los dispositivos mencionados. La figura 3.9 muestra los sockets fabricados para conectar los módulos XBEE.



Figura 3.8 Socket para conectar los módulos XBEE

En la figura 3.9 observamos los tres sockets utilizados para conectar los módulos de radiofrecuencia, antes de la fabricación de esos circuitos impresos se habían elaborado otros diseños que brindaron resultados no tan satisfactorios, solo se presentan los resultados finales que se tienen al respecto. En la misma figura se pueden observar que cada socket tiene un regulador de voltaje a 3.3v, que es el voltaje máximo de alimentación para los módulos XBEE, así como los pines donde se conectarán los mismos módulos.

Ahora bien, en la siguiente figura se presentan los sockets de la figura 3.9 pero ya con los XBEE conectados adecuadamente.

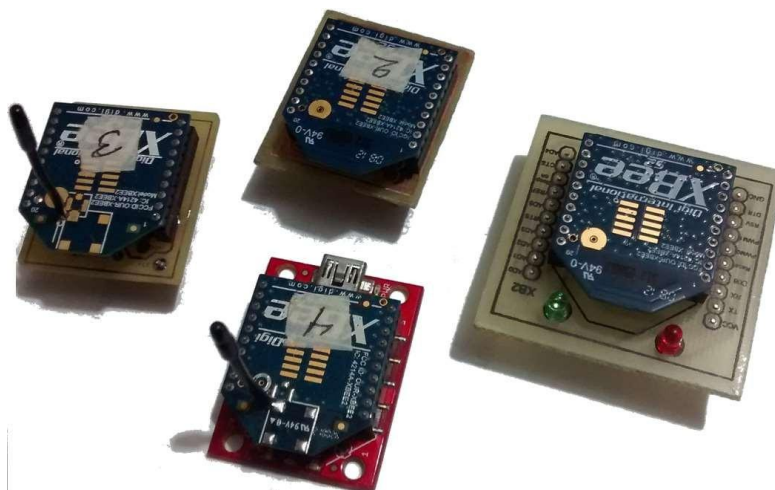


Figura 3.9 Módulos para transmitir datos de manera inalámbrica

La figura anterior presenta los módulos necesarios para desarrollar la red de comunicación inalámbrica, de los cuatro dispositivos uno será el que tendrá el papel de coordinador, este será el encargado de controlar el flujo de la comunicación, y los otros tres serán los routers que enviarán los datos que estén midiendo.

Para programarlos se utilizó el software XCT-U, de la compañía DIG International. Este software permite configurar cada uno de los dispositivos según corresponda. De esta forma se pueden configurar para que funcionen dentro de diversas topologías de red. En nuestro caso particular, se configuró un dispositivo como coordinador y los demás como routers.

3.5 Interfaz Gráfica para desplegar los datos obtenidos

La segunda etapa para el despliegue de los datos es una interfaz desarrollada en C#, esta interfaz cuenta con tres gráficas para ver en tiempo real la entrada de los datos obtenidos de la concentración de las variables ambientales, también cuenta con indicadores de alarma para indicar rangos fuera de los preestablecidos según la norma UNE100713. La primera etapa para el despliegue de los datos es de forma local mediante un display de cristal líquido de 4 líneas con 20 caracteres cada una. En la figura 3.11 se puede apreciar el aspecto visual de dicha interfaz.

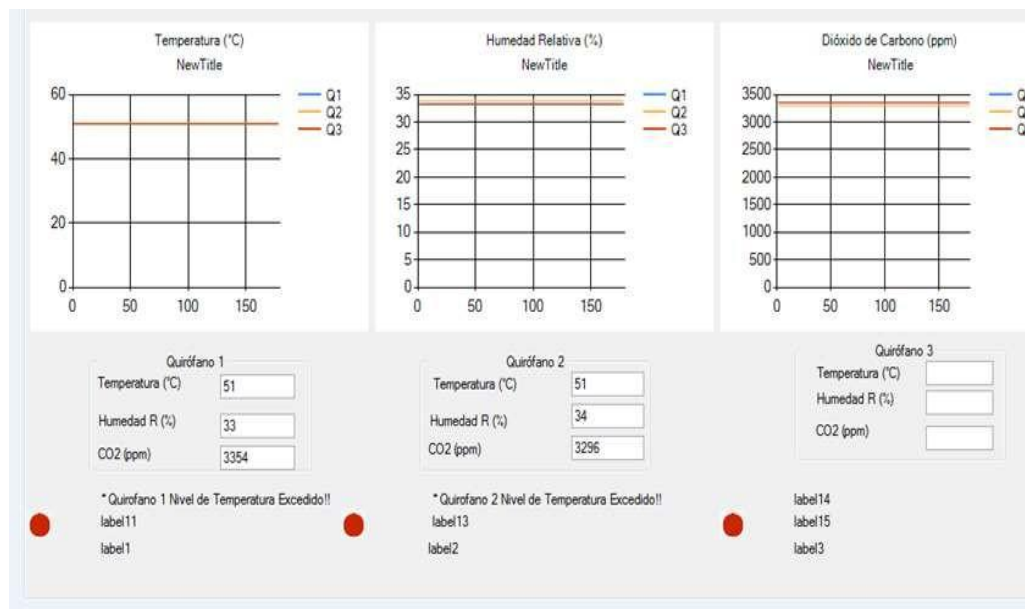


Figura 3.10 Interfaz gráfica desarrollada en la plataforma de Visual C#

Esta interfaz gráfica nos permite observar los datos numéricos equivalentes a la medición de los sensores, la gráfica ubicada a la izquierda de la figura 3.9 pertenece a las mediciones de temperatura, la gráfica ubicada en medio muestra los datos leídos de humedad relativa, y finalmente, la gráfica ubicada a la derecha de la figura 3.9 desplegará el valor de la concentración de dióxido de carbono.

Conclusiones

Este trabajo de tesis ha permitido llevar a cabo la instrumentación puntual de sensores para medir diversas magnitudes ambientales, tales como la temperatura, la humedad relativa y gases como el dióxido de carbono y el metano.

Se estudiaron diversos tipos de sensores, para la humedad relativa se llevó a cabo la investigación que permitió conocer una de las formas óptimas para trabajar con sensores capacitivos esta tarea permitió llegar hasta el diseño y elaboración de un frecuencímetro digital con la capacidad necesaria para poder medir la frecuencia no solo de señales cuadradas, sino que también permite medir frecuencias de señales sinusoidales y triangulares. Dicho frecuencímetro fue sometido a diversas pruebas de medición, una de las más importantes fue la comparación de sus lecturas con respecto a un osciloscopio tectronix con la finalidad de verificar su correcto funcionamiento, se puede decir que el osciloscopio nos sirvió como patrón de medida de la frecuencia y como testigo de la exactitud de nuestro dispositivo desarrollado.

También se llevó a cabo la instrumentación de sensores electroquímicos para medir dióxido de carbono (MG-811) y metano (MQ-4), dada la naturaleza de los sensores, ambos tienen un principio de funcionamiento semejante y solo fue necesario un estudio minucioso de cada uno para conocer las características eléctricas de funcionamiento y la forma más adecuada de implementarlos en este proyecto.

Un punto importante de este proyecto fue la fabricación de un módulo multifuncional utilizando el microcontrolador PIC18F2550, capaz de realizar las tareas de medir frecuencia, esto es que el módulo nos funciona como un frecuencímetro digital, de la misma forma podemos procesar señales analógicas provenientes de 4 sensores que también están incluidos en el módulo, además de que permite llevar a cabo una comunicación vía USB y serial con la PC, aunado a

todo esto, este módulo también cuenta con la integración de dispositivos XBEE para transmitir datos digitales por radiofrecuencia hacia un computador.

El módulo desarrollado tiene como finalidad comprobar su funcionalidad en un ambiente médico para monitorear la calidad del aire dentro de un quirófano, su aplicación no se reduce a un área específica debido a sus características ya mencionadas, por lo que puede ser implementado en diversos entornos ambientales.

Referencias

- [1] M. H. U. R. Marmolejo, «Desarrollo de Monitor de Humedad Relativa y Temperatura,» *Investigación y Ciencia*, nº 38, 2007.
- [2] M. Hernández y A. S. Toledo, «Control Remoto de Temperatura, Ventilación y Riego en un Invernadero,» *Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico*, 2008.
- [3] D. C. Reveles y J. V. Minjares, «Automatización de un invernadero con el PLC S7-200,» Zacatecas, 2008.
- [4] L. A. Solvez y J. Mora, «Estudio de una red de sensores sin hilos basada en la tecnología Arduino bajo protocolos de comunicación ZigBee,» Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, 2009.
- [5] G. Bucur y C. Gauca, «Temperature Monitoring System with Integrated Sensors,» *Buletinul*, vol. 41, nº 3, pp. 99-104, 2009.
- [6] S. J. Selvarani, «Online Health Monitoring System Using Zigbee,» *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, vol. 3, nº 4, 2011.
- [7] M. Villalba y S. Villacís, «Sistema de control de temperatura para la climatización del quirófano y la sala de recuperación del hospital municipal nuestra señora de la merced de la ciudad de Ambato,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011.
- [8] P. Muñoz, J. Buitrago, A. Arboleda, O. Cortes, A. Sánchez y C. Zapata, «Sistema de Instrumentación y Monitoreo para el Invernadero la Aldana de la Universidad del Quindío,» *Scientia et Technica*, nº 49, 2011.
- [9] D. C. Yáñez y B. G. Maisincho, «Diagnóstico de un ambiente laboral mediante diseño y construcción de un dispositivo portátil evaluador del CO2 y ruido para el área industrial de la ESPEL,» Latacunga, 2011.
- [1 A. C. Solé, Instrumentación Industrial, Barcelona: Marcombo, 1997.
- 0]
- [1 O. M. d. I. Salud, «Manual de aplicación de la lista OMS de verificación de la seguridad 1] de la cirugía 2009,» vol. 204, nº 1-15, 2009.

- [1 A. Online, «Tiesto Angertina SA,» Academia Online, 2010. [En línea]. Available:
2] <http://www.academiatesto.com.ar/cms/?q=unidades-de-medida>. [Último acceso: 15 10
2013].
- [1 P. Ripka y A. Tipek, Modern Sensors Handbook, CA: Pavel Ripka; Alois Tipek, 2007.
3]
- [1 M. Cortés, T. Otero, M. Méndez, M. Suárez, M. Díaz y E. Vera, «Desarrollo de
4] Sensores Electroquímicos,» *Revista Colombiana de Física*, vol. 38, nº 4, 2006.
- [1 F. E. V. Pérez y R. P. Areny, Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC,
5] Cuba: Alfaomega; Marcombo, 2007.
- [1 E. G. Breijo, Compilador C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC,
6] México: Marcombo; Alfaomega, 2008.
- [1 HUMIREL, *TECHNICAL DATA, RELATIVE HUMIDITY SENSOR HS1101/HS1100*,
7] 2002.
- [1 TEXAS INSTRUMENTS, *TECHNICAL DATA, LM35 Precisión Centigrade*
8] *Temperature Sensors*, DALLAS, TEXAS, 2013.
- [1 M. C. Popoca, F. M. Á. Marín, A. Q. Nolasco, S. Kleisinger, L. T. Chávez y E. M. Sáenz,
9] «Sistema de Riego Automatizado con Balance Hídrico, Medición de Humedad del
Suelo y Lisímetro,» *Agricultura Técnica en México*, pp. 459-470, 2008.
- [2 A. A. Tahat, «Mobile Messaging Services-Based Personal Electrocardiogram
0] Monitoring System,» *International Journal of Telemedicine and Applications*, 2009.
- [2 G. C. Ayala, C. L. Macías, A. L. Ruelas, J. M. García, A. M. Enríquez, H. C. Meza y J.
1] F. Beltrán, «Diseño de un Prototipo Didáctico para la Implementación de Redes de
Sensores Inalámbricos Basados en el Protocolo Zigbee,» *Revista de la Sociedad,
Cultura y Desarrollo Sustentable*, vol. 7, nº 3, pp. 315-324, 2011.
- [2 M. A. d. P. Hdez. y C. d. P. S., «Ardudrop 1.0: Dispositivo Electrónico para el Estudio
2] de la Humedad del Suelo,» *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, vol. 7,
2010.
- [2 R.-H. Ma, Y.-H. Wang y C.-Y. Lee, «Wireles Remote Weather Monitoring System
3] Based on MEMS Technologies,» *Sensors*, vol. 11, 2011.

- [2 E. M. A., R. S.A., C. E. S. R. y R. N. F., «Desarrollo de un Sistema de Monitoreo en
4] Tiempo Real para la Humedad Relativa,» *Revista Colombiana de Física*, vol. 39, nº 2,
2007.
- [2 J. P. M. Campuzano, «Sistema de Control Automático para Monitorear y Controlar el
5] Ambiente al Interior de un Invernadero,» Medellín, 2012.
- [2 O. Majdi, N. Mahdi y D. Ingried, «WAP Based Remote Controlling and Monitoring
6] System. International Review on Computers and Software (I.RE.CO.S),» *IRECOS*, vol.
5, nº 4, pp. 406-409, 2010.
- [2 M. B. Uría, R. F. Robledo y D. G. Álvarez, «El Quirófano,» *Grupo 8 Grupo 8*.
7]
- [2 Asociación Española de Normalización y Certificación. (2005). *Instalaciones de*
8] *acondicionamiento de aire en hospitales*, 2005.
- [2 I. S. S. Number, «Revista de calidad ambiental interior en hospitales y salas de
9] ambiente controlado,» *International Standard Serial Number*, nº 5, 2011.
- [3 M. Cortés, T. Otero, M. Méndez, M. Suárez, M. Díaz y E. Vera, *Desarrollo de Sensores*
0] *Electroquímicos*, Cartagena; Bogotá; Tunja, 2005.
- [3 W. T. S. Lenntech, «Water Treatment Solutions Lenntech,» Water Treatment Solutions
1] Lenntech, 09 11 2012. [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/dioxido-de-carbono.htm>. [Último acceso: 2013 08 05].
- [3 M. Rosell y A. Muñoz, «Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.
2] Ventilación General en Hospitales,» nº 859, pp. 1-6.
- [3 I. T. e. e. Á. Q. d. Hospital, «Innovaciones Tecnológicas en el Área Quirúrgica del
3] Hospital,» Innovaciones Tecnológicas en el Área Quirúrgica del Hospital, 15 11 2012.
[En línea]. Available:
http://www.aeih.org/ih/comision/DocumentacionJornadas/Valencia_5_Marzo_2009/INNOVACIONESAREAQUIRURGICA. [Último acceso: 2013 07 13].
- [3 A. s. Termostatos, «Aprenda sobre Termostatos,» Aprenda sobre Termostatos, 02 11
4] 2012. [En línea]. Available:

www.mge.com/images/PDF/Brochures/Spanish/Thermostat_Spanish.pdf. [Último acceso: 4 08 2013].

[3 Humectadores, «Humectadores,» 15 11 2012. [En línea]. Available:

5] www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/8_leg.pdf.

[Último acceso: 15 07 2013].

[3 C. T. A.-C. 1. Climatización y S. AFEC, «Norma Española UNE100713: Instalaciones
6] de Acondicionamiento de aire en hospitales,» AENOR, Madrid, 2005.

[3 C. Raya, «Redes Locales,» de *Redes Locales*, 2ª ed., México, México: Alfa Omega,
7] 2003, pp. 277-285.

Apéndice I

En esta sección se presenta el código desarrollado para realizar el procesamiento de la señal de frecuencia, producida por el circuito de acondicionamiento para el sensor de humedad. Para el desarrollo del código se utilizó el software PIC C compiler.

```
#include <18F4550.h>
#device adc=10
#Fuses HSPLL, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP, NODEBUG, USBDIV, PLL5,
CPUDIV1, VREGEN
#use delay(clock=48000000)
//#include <lcd9.c>
//#define G 0b11011111

#include "usb_cdc.h"
#include "usb_desc_scope.h"

unsigned char secuencia[4];
unsigned char secuencia_hilo;
unsigned char temporizador_secuencia_hilo;
float sen1, sen2, sen3, temp, co2,ch4, frecuencia, contador, HR;

#define COMIENZA_HILO(A)      secuencia_hilo      =      secuencia[A];
temporizador_secuencia_hilo      =      0;      if(secuencia_hilo      ==
temporizador_secuencia_hilo) {
#define PAUSA_HILO } temporizador_secuencia_hilo++; if(secuencia_hilo ==
temporizador_secuencia_hilo) {
#define TERMINA_HILO(B)      }      secuencia[B]++;      if(secuencia[B]      >
temporizador_secuencia_hilo) secuencia[B] = 0;
```

```
#int_TIMER1
```

```
void TIMER1_isr(void)//Función de interrupción por desbordamiento TMR1
{
    contador=contador+1 ;
    set_timer1(0);//carga del TMR
```

```
}

int main(void)
{
    usb_cdc_init();//Se Inicializa
    usb_init(); // el USB

    while (!usb_cdc_connected())// el USB se conecta

    {
        output_high(pin_c1); //Envia un 1 lógico en el pin C1
        output_low(pin_c2); //Envia un 0 lógico en el pin C1
        delay_ms(10); //retardo en milisegundos
        output_low(pin_c1);
        output_high(pin_c2);
        delay_ms(10);
    } //Se queda aquí mientras usb no esté conectado correctamente
    usb_task(); // Monitorea el estado del USB
    if(usb_enumerated()) // Si se enumera el USB
    {
        setup_adc_ports(AN0_TO_AN2); //Indica canales analógicos a utilizar
        setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Establece el tipo de reloj a utilizar

        // lcd_init(); // inicializa el LCD

        while(TRUE)
        {
            COMIENZA_HILO(0) // LEE EL PRIMER CANAL ANALOGICO-DIOXIDO DE
CARBONO

            output_high(pin_c1);
```

```
set_adc_channel(0);    //Lee el canal analógico 0
delay_us(200);
sen1= read_adc(); //guarda lectura del canal analógico 0 en variable
sen1

co2=(5.0*sen1/1024.0*100)+100; //se calcula la ppm equivalente a la
concentración del gas

// lcd_gotoxy(2,1); // Indica que se visualizaran los datos a partir de la
posicion 2 de la línea 1 del LCD
//printf(lcd_putc,"CO2 = %f ppm" co2); // sintaxis para imprimir
delay_ms(500);
PAUSA_HILO
TERMINA_HILO(0);

COMIENZA_HILO(1); // LEE EL SEGUNDO CANAL ANALOGICO-
TEMPERATURA
output_high(pin_c2);
output_low(pin_c1);

set_adc_channel(1);    //Adquisición del Sensor de entrada.
delay_us(200);
sen2= read_adc();
temp=5.0*sen2/1024.0*100;

//lcd_gotoxy(2,2);
//printf(lcd_putc,"Temp= %f %cC" temp, G);
delay_ms(500);
PAUSA_HILO
TERMINA_HILO(1);

COMIENZA_HILO(2); // LEE EL TERCER CANAL ANALOGICO - METANO
```

```
output_high(pin_c1);
output_low(pin_c2);

set_adc_channel(2);    //adquisición del Sensor de entrada.
delay_us(200);
sen3= read_adc();
ch4=(5.0*sen3/1024.0*100)+50;

//lcd_gotoxy(2,3);
//printf(lcd_putc,"CH4 = %f ppm" ch4);
delay_ms(500);
PAUSA_HILO

TERMINA_HILO(2);

COMIENZA_HILO(3); // LEE LA FRECUENCIA CON AYUDA DEL TIMER 1
output_high(pin_c2);
output_low(pin_c1);
setup_timer_1(T1_EXTERNAL|T1_DIV_BY_1); // Prender Timer 1
(Frecuencia a leer)
set_timer1(0);          // Poner a 0 el registro

enable_interrupts(INT_TIMER1); //Habilito interrupción particular del
TIMER1
enable_interrupts(GLOBAL); //Habilito interrupciones globales

delay_ms(1000);          // Tiempo de lectura

setup_timer_1(T1_DISABLED); // Apagar para leer sin
interferencias
```

```
        disable_interrupts(INT_TIMER1); //Deshabilitó interrupción particular
del TIMER1
        disable_interrupts(GLOBAL); //Deshabilitó interrupciones globales
        Frecuencia = get_timer1();           // Leer Timer 1 16 bits (65536
máximo)

        Frecuencia = (Frecuencia + contador * 65535);

        //set_timer1 (0);
        //contador = 0;

        HR = (((7349 - frecuencia)/1318)*99);

        //lcd_gotoxy(2,4);
        //printf(lcd_putc,"HR = %f %%" HR);
        //delay_ms(2000);
        //lcd_gotoxy(2,4);
        // printf(lcd_putc,"Frecuencia=%fHz" frecuencia);

        printf(usb_cdc_putc,"%f,%f,%f,%f\n",co2,temp,ch4,hr);           //Imprime
TODAS LAS VARIABLES POR USB HACIA LA PC
        //printf(usb_cdc_putc,"%f\n",temp);
        //printf(usb_cdc_putc,"%f\n",ch4);
        //printf(usb_cdc_putc,"%f\n",HR);

PAUSA_HILO

TERMINA_HILO(3);
        // Apaga ambos leds o manda a cero lógico los pines c2 y c1
        output_low(pin_c2);
        output_low(pin_c1);
        delay_ms(1000);
```

```
}  
return 0;  
}  
}
```

Apéndice II

El código presentado en esta sección es para el procesamiento de la señal del sensor para medir la temperatura. Fue realizado en el software PIC C compiler.

```
//Programación del PIC18F2550
#include <18F2550.h>
#define adc=10
#define fuses
HSPLL,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VRE
GEN
#define delay(clock=48000000)
#include <lcd.c>
#define G 0b11011111
//#define ADC =8 //Configuración del ADC
#include "usb_cdc.h"
#include "usb_desc_scope.h"

float adc1,prom1;
int16 temp,sum1;
int cont=0;

void main()
{
    usb_cdc_init();
    usb_init(); //inicializamos el USB
    lcd_init();
```

```
while (!usb_cdc_connected())
{
    output_high(pin_a4);
    delay_ms(10);
    output_high(pin_a4);
    delay_ms(10);
} //Se queda aquí mientras usb no esté conectado correctamente

usb_task();
if(usb_enumerated()){

    setup_adc_ports(ALL_ANALOG);    // A0 y A1 como analógicas.
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);

    while(true)
    {
        output_low(pin_a4);
        output_high(pin_b3);

        set_adc_channel(0);    //Adquisición del Sensor de entrada.
        delay_us (20);
        adc1= read_adc();

        sum1=sum1+adc1;
        cont++;

        if(cont==20)
        {
            prom1=sum1/20;
```

```
temp=5.0*prom1/1024.0*100.0;

printf(usb_cdc_putc,"Temp=%f%cC\n",temp,G);

prom1=0;
sum1=0;
}
else{}
}

}
}
```