



FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA MONITORIZACIÓN DE
CONCENTRACIONES DE GAS FORMALDEHÍDO EN EL LABORATORIO DE
PATOLOGÍA DEL HOSPITAL DEL NIÑO”**

Proyecto final de graduación presentado como requisito para optar por el título de
Licenciatura en Ingeniería Biomédica e Instrumentación en la Universidad Latina de
Panamá

María Milagros Castillo Ríos
C.I. 8-973-2350

Director:
Mgr. Alfredo Lescher

Panamá, República de Panamá
2025

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi amor a mi madre, Olivia Ríos. Desde el instante en que decidí emprender este camino, has confiado en mí sin dudarlo, brindándome tu apoyo incondicional en cada paso. A través de esta tesis, quiero expresar mi agradecimiento por cada esfuerzo, cada sacrificio y cada palabra de aliento que me has ofrecido a lo largo de los años. Ser tu hija es el mayor regalo que la vida me ha dado, y agradezco a Dios por permitirme caminar a tu lado.

Además, quiero dedicar esta tesis a dos personas muy especiales que nos dejaron demasiado pronto, sin la oportunidad de verme graduar del colegio. Estoy segura de que, desde el cielo, han estado a mi lado en cada paso, y espero que hoy se sientan orgullosos de mí. A mi padre, Fernando Castillo, y a mi abuela, Eduvina Ríos, con todo mi cariño y mi gratitud eterna.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, quien me regala la vida cada día y cuya voluntad me ha guiado en la consecución de mis metas y propósitos a lo largo de este recorrido.

A mi mamá, mi pilar inquebrantable, le agradezco por su apoyo incondicional y por ser esa voz de aliento en los momentos difíciles. Gracias por recordarme siempre que hay una solución y que nunca estoy sola. Pero, principalmente, gracias por ser la primera en creer en mí.

Quiero también agradecer a mi tío José Ríos por su invaluable ayuda al establecer contactos con instituciones y hospitales para la realización de mis pruebas, así como por su apoyo constante a lo largo de este proceso.

Agradezco de todo corazón a todas las personas que, de una forma u otra, me brindaron su apoyo durante la elaboración de esta tesis.

Mi sincero agradecimiento al profesor Alfredo Lescher, mi director de tesis, por confiar en mí desde el primer día, por su guía y consejos, y por compartir su valiosa sabiduría.

Asimismo, estoy agradecida con el profesor Ernesto Ibarra, cuya enseñanza durante estos años ha sido una fuente de inspiración para mi desarrollo profesional.

Al profesor Luis Estrada, le agradezco por su confianza en mi proyecto, por escucharme y por ayudarme a alcanzar mis objetivos.

Agradezco también al profesor Manuel Cerón por su colaboración en la optimización del equipo, así como sus consejos y valiosas aportaciones para mejorar el dispositivo que diseñé.

A Madeline Pérez, le estoy muy agradecida por compartir su experiencia y orientarme en la metodología del proyecto.

El Dr. Moisés Espino merece un reconocimiento especial por permitirme realizar las mediciones en el laboratorio de patología del Hospital del Niño.

A los colaboradores del laboratorio de patología, especialmente a la Magister Lizbeth, les agradezco por su interés en mi proyecto y por compartir su experiencia y conocimientos.

A mis amigos de toda la vida, María Laura Gómez y Ariel Alexander Chong, les agradezco por su apoyo incondicional y por estar siempre dispuestos a escucharme y a confiar en que lograría mis metas, sin importar el tiempo que tomara. Los quiero mucho por estar siempre tan pendientes de mí y de mi proyecto.

A mis amigas del trabajo, Daniela, Adriana, Carolina y Génesis, les agradezco por sus palabras de aliento y su comprensión para seguir realizando mi tesis, aunque estuviera trabajando al mismo tiempo.

Por último, quiero expresar mi gratitud a todas las personas—familiares, amigos, profesores, compañeros y profesionales—que me ofrecieron una palabra de aliento en este camino. Su apoyo ha sido fundamental en la realización de este sueño.



UNIVERSIDAD LATINA DE PANAMÁ

DECLARACIÓN JURADA

Yo MARÍA MILAGROS CASTILLO RÍOS con cédula de identidad personal número, 8-973-2350 estudiante graduando del programa/carrera de LIC. EN INGENIERÍA BIOMÉDICA E INSTRUMENTACIÓN declaro bajo la gravedad del juramento que el material que aparece en este trabajo de graduación, en la opción: TESIS (Tesis, proyecto final, pasantía, otro), es de mi producción intelectual, en razón de lo cual exonero a la Universidad Latina de Panamá de cualquier responsabilidad relacionada con este aspecto.

Como constancia, firmo la presente declaración el día 27 del mes de Febrero del año 2025.

Firma del estudiante: Maria M. Ríos

Cédula: 8-973-2350

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
DECLARACIÓN JURADA	5
ÍNDICE GENERAL	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
LISTADO DE ABREVIATURAS	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	13
1.1 Antecedentes del problema de investigación	14
1.2 Planteamiento del problema.....	14
1.3 Justificación de la investigación	17
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivos Generales.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
1.5 Alcance y límites de la investigación	19
1.6. Línea de investigación a la que pertenece el estudio.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes de investigaciones realizadas en el tema	22
2.2. Bases teóricas que sustentan la investigación	24
2.2.1 Descripción general del Formaldehído	24
2.2.2. Historia	25
2.2.3 Usos y aplicaciones.....	26
2.2.4 Unidad de medición de las concentraciones	26
2.2.5 Valor de límite ambiental del formaldehído	27
2.2.6 Efectos sobre la salud	29
2.2.7 Laboratorio de Patología	32
2.2.8 Medidas preventivas y de protección	34
2.2.9 Medición del formaldehído	36
2.2.10 Monitores de lectura directa	37
2.2.11 Tipos de monitores de lectura directa	39
2.2.12 Tipos de sensores para monitores de lectura directa.....	40
2.2.13 Ventajas y desventajas de monitores de lectura directa.....	42
2.2.14 Microcontrolador.....	43

2.2.15	Tipos de microcontroladores	46
2.2.16	Lenguajes de programación	47
2.2.17	Internet de las Cosas (IoT)	49
2.2.18	Base de datos	53
2.3.	Variables	55
2.3.1.	Definición conceptual de las variables	55
2.3.2.	Definición operacional de las variables	55
2.4.	Glosario de términos	56
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		58
3.1.	Tipo y diseño de investigación	59
3.2.	Población y muestra.....	60
3.3.	Procedimiento de investigación.....	62
3.3.1.	Planteamiento del problema.....	62
3.3.2.	Revisión de la literatura.....	62
3.3.3.	Diseño de investigación	63
3.3.4.	Selección de la muestra	64
3.3.5.	Recopilación de datos	64
3.3.5.1.	Diseño del prototipo inicial.....	64
3.3.5.2.	Diseño de interfaz gráfica de usuario	69
3.3.5.3.	Optimización : Prototipo Final.....	71
3.3.5.4.	Evaluaciones, análisis y presentación de los resultados	77
3.3.6.	Análisis de datos	79
3.3.7.	Interpretación de resultados	83
3.3.8.	Informe de resultados.....	84
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		85
4.1.	Métodos de análisis.....	86
4.2.	Análisis de datos	87
4.2.1.	Monitorización del Día 20 de Febrero - HN	88
4.2.2.	Cálculo de Error Experimental.....	97
4.3.	Discusión de hallazgos.....	98
CONCLUSIONES.....		100
RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS		102
LIMITACIONES DEL ESTUDIO		103
REFERENCIAS.....		104
ANEXOS		112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Configuración química del Formaldehído.....	24
Tabla 2. Límites de exposición profesional (OELs) internacionales del formaldehído.....	28
Tabla 3. Clasificación del grado cancerígeno del formaldehído por diferentes organismos internacionales.....	31
Tabla 4. Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de los lenguajes de programación	48
Tabla 5. Componentes electrónicos del prototipo inicial	65
Tabla 6. Resultado del análisis Bland-Altman en Área A (HN - 20/02/2025).....	90
Tabla 7. Resultado del análisis Bland-Altman en Área B (HN - 20/02/2025).....	92
Tabla 8. Resultado del análisis Bland-Altman en Área C (HN - 20/02/2025)	94
Tabla 9. Resultado del análisis Bland-Altman en Área D (HN - 20/02/2025)	96
Tabla 10. Error Relativo Porcentual entre ambas mediciones.....	97
Tabla 11. Desviación estándar de las mediciones en cada área.....	97
 Tabla A. 1. Valores obtenidos para la calibración del dispositivo diseñado	 122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Países que contribuyeron a la producción mundial de formaldehído en 2006.	25
Figura 2. Escala de niveles mínimos de riesgo del formaldehído vía respiratoria en humanos y sus efectos sobre la salud.	30
Figura 3. Esquema de las distintas tareas dentro del proceso de trabajo en un Laboratorio de Patología.....	33
Figura 4. Arquitectura del modelo IoT de 3 capas.....	50
Figura 5. Arquitectura del modelo IoT de 5 capas.....	51
Figura 6. Etapas para el diseño del sistema de monitorización de concentraciones de gas formaldehído	63
Figura 7. Proceso general del diseño de sistemas de adquisición y procesamiento de datos	64
Figura 8. Diagrama de flujo del código de programación.....	67
Figura 9. Diseño inicial del sistema de monitorización de concentración de formaldehído	68
Figura 10. Transición del Microcontrolador	72
Figura 11. Transición de la pantalla LCD 16x2 a 20x4.....	73
Figura 12. Módulo de Potencia Ajustable DC Step Up Boost DC-DC SX1308	74
Figura 13. Módulo cargador de placa de carga de batería de litio TC4056A	74
Figura 14. Proceso de diseño de placas de circuito impreso (PCB) y la conexión de componentes electrónicos a través de soldadura	75
Figura 15. Diseño e impresión 3D de carcasa.	76

Figura 16. Gráfica de HN - 20/02/2025, Área A: Mesa de tallado - HCHO (mg/m ³) .	89
Figura 17. Gráfica de HN - 20/02/2025, Área A: Mesa de tallado - HCHO (ppm)	89
Figura 18. Análisis de Bland-Altman, HN - 20/02/2025, Área A: Mesa de tallado - HCHO (mg/m ³)	90
Figura 19. Gráfica de HN - 20/02/2025, Área B: Recepción de muestras - HCHO (mg/m ³).....	91
Figura 20. Gráfica de HN - 20/02/2025, Área B: Recepción de muestras - HCHO (ppm).....	91
Figura 21. Análisis de Bland-Altman, HN - 20/02/2025, Área B: Recepción de muestras - HCHO (mg/m ³)	92
Figura 22. Gráfica de HN - 20/02/2025, Área C: Procesador de tejidos - HCHO (mg/m ³).....	93
Figura 23. Gráfica de HN - 20/02/2025, Área C: Procesador de tejidos - HCHO (ppm)	93
Figura 24. Análisis de Bland-Altman, HN - 20/02/2025, Área C: Procesador de tejidos - HCHO (mg/m ³).....	94
Figura 25. Gráfica de HN - 20/02/2025, Área D: Depósito de reactivos - HCHO (mg/m ³).....	95
Figura 26. Gráfica de HN - 20/02/2025, Área D: Depósito de reactivos - HCHO (ppm)	95
Figura 27. Análisis de Bland-Altman, HN - 20/02/2025, Área D: Depósito de reactivos - HCHO (mg/m ³).....	96
Figura A. 1. Prototipo funcional	112
Figura A. 2. Datasheet de sensor ZE08-CH ₂ O	113
Figura A. 3. Datasheet de Pantalla LCD 20x4 con módulo I2C.....	114
Figura A. 4. Datasheet de Microcontrolador ESP32 WROOM-32 de 38 pines.....	115
Figura A. 5. Diagrama esquemático del sistema de monitorización de concentraciones de formaldehído	116
Figura A. 6. Diseño PCB del sistema de monitorización de concentraciones de formaldehído	117
Figura A. 7. Diseño 3D de PCBs del sistema de monitorización de concentración de formaldehído	118
Figura A. 8. Diseño 3D de la carcasa.....	119
Figura A. 9. Dispositivo final.....	120
Figura A. 10. Datasheet del Monitor de calidad de aire Yvelines HTO-131.....	121
Figura A. 11. Laboratorio de Patología del Hospital del Niño	123
Figura A. 12. Áreas en el Laboratorio de Patología del HN donde se realizaron las monitorizaciones de concentración de formaldehído	124
Figura A. 13. Proceso de validación del sistema de monitorización de concentración de formaldehído construido - Área A: Mesa de tallado, HN	125
Figura A. 14. Proceso de validación del sistema de monitorización de concentración de formaldehído construido - Área B: Recepción de muestras, HN.....	126

Figura A. 15. Proceso de validación del sistema de monitorización de concentración de formaldehído construido - Área C: Procesador de tejidos, HN.....	127
Figura A. 16. Proceso de validación del sistema de monitorización de concentración de formaldehído construido - Área D: Depósito de reactivos, HN	128
Figura A. 17. Carta que solicita el permiso para realizar pruebas del sistema de monitoreo en el laboratorio de patología del HN.	129
Figura A. 18. Carta que remite la aprobación de la realización de pruebas del sistema de monitoreo en el laboratorio de patología del HN.	130
Figura A. 19. Carta remitida por la profesora de español.....	131
Figura A. 20. Formulario de entrega de proyecto.....	132

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Conversión de ppm a mg/m ³ para el formaldehído.....	27
Ecuación 2. Curva de calibración	77
Ecuación 3. Promedio de valores.....	81
Ecuación 4. Promedio de valores.....	82
Ecuación A. 1. Cálculo de la pendiente (m)	122
Ecuación A. 2. Cálculo de la pendiente reemplazando los valores	122
Ecuación A. 3. Cálculo de la intersección (b)	122
Ecuación A. 4. Cálculo de la intersección reemplazando los valores.....	122
Ecuación A. 5. Fórmula utilizada para despejar X.....	122

LISTADO DE ABREVIATURAS

HN: Hospital del Niño

OMS: Organización Mundial de la Salud

OSHA: Administración de Seguridad y Salud Ocupacional

PPM: Partes Por Millón

PCB: Printed Circuit Board/Placa de circuito impreso

PCBA: Printed Circuit Board Assembly /Ensamblaje de placa de circuito impreso

INTRODUCCIÓN

En los hospitales, el aire puede estar cargado de diversos compuestos químicos que, aunque no siempre son evidentes de inmediato, representan un riesgo importante para la salud a largo plazo. Gases como el óxido de etileno, glutaraldehído y formaldehído, que se utilizan en procesos de esterilización, conservación de muestras y fijación de tejidos, pueden acumularse en el ambiente. Sin una adecuada supervisión, el personal de salud podría verse expuesto a niveles perjudiciales. La inhalación continua de estas sustancias puede provocar problemas respiratorios, irritación en los ojos y la piel, e incluso enfermedades más graves con una exposición prolongada (Quirónprevención, 2019).

Uno de los compuestos más alarmantes en los laboratorios de patología es el formaldehído, un gas sin color y de aroma fuerte que se usa con frecuencia para la fijación de tejidos. A pesar de su eficacia en la preservación de muestras biológicas, su toxicidad ha sido bien documentada. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) lo ha clasificado como carcinogénico para los seres humanos, vinculándolo con el cáncer nasofaríngeo y la leucemia mieloide (NIH, 2011). Además, exposiciones prolongadas pueden causar efectos negativos, como asma ocupacional, dolores de cabeza, mareos y sensibilidad química múltiple, impactando la calidad de vida de los trabajadores.

Recientes incidentes han puesto en relieve la necesidad de implementar controles más estrictos. En el Hospital Universitario de Toledo, por ejemplo, más de 140 empleados han reportado síntomas de intoxicación por exposición al formaldehído, lo que ha resultado en ausencias laborales y una investigación sobre las condiciones de seguridad en el departamento de patología (Ser, 2025). Este tipo de situaciones enfatiza la urgencia de establecer sistemas de vigilancia que faciliten la detección y reducción de gases perjudiciales en los laboratorios antes de que su concentración origine problemas de salud.

Frente a esta situación, la investigación que se presenta propone el diseño de un sistema para monitorizar las concentraciones de formaldehído en laboratorios de patología. El objetivo principal de este sistema es detectar de forma precisa y en

tiempo real los niveles de formaldehído en el ambiente laboral, permitiendo la adopción inmediata de medidas correctivas cuando se sobrepasen los límites de exposición permitidos. Esto busca reducir al mínimo la exposición del personal de salud a este agente nocivo y asegurar un ambiente laboral seguro, en conformidad con las normativas de seguridad laboral vigentes (Quirónprevención, 2019).

La puesta en marcha de este sistema no solo ayudará a prevenir enfermedades laborales, sino que también potenciará la cultura de seguridad en los entornos sanitarios. Adicionalmente, permitirá el cumplimiento de normativas internacionales que requieren la vigilancia y control de agentes químicos nocivos en el entorno laboral. Al ofrecer información constante sobre la calidad del aire, este sistema se transformará en una herramienta clave para salvaguardar a los profesionales de la salud, fomentando su bienestar y asegurando que su labor se realice en un ambiente seguro y saludable.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 Antecedentes del problema de investigación

La monitorización ambiental en hospitales, clínicas y laboratorios es esencial para garantizar la seguridad y el bienestar de los pacientes y el personal. Los equipos necesarios para medir los parámetros ambientales incluyen dispositivos para controlar la temperatura, la humedad, la calidad del aire y la presión diferencial. La temperatura y la humedad son especialmente importantes para mantener los fármacos, las vacunas, la sangre y los tejidos en condiciones óptimas. La calidad del aire interior también es crucial para prevenir enfermedades que pueden ser perjudiciales para la salud (VAISALA, 2020).

El formaldehído o metanal se obtiene de la oxidación catalítica del metanol en fase de vapor, se conoce con su fórmula $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$ y es un gas tóxico, incoloro, inflamable, con olor fuerte y que se polimeriza fácilmente en presencia de trazas de impurezas polares (ácidos, alcalinos) o agua (SRT, 2021). A temperaturas menores de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ se convierte en un líquido transparente e incoloro y las disoluciones acuosas al $\sim 40\%$ se conocen con el nombre de formol, que es un líquido incoloro de olor penetrante y sofocante; estas disoluciones pueden contener alcohol metílico como estabilizante (INSST, 2018).

En la evaluación de riesgos asociados con la exposición a un agente químico peligroso por inhalación, según Bonilla y Oswaldo (2015) se comienza con la clara identificación de las tareas o situaciones de exposición, y debe incluirse la realización de mediciones para determinar la presencia del agente químico. Algunos de los métodos de detección del formaldehído incluyen la espectrofotometría, la cromatografía de gases, los métodos electroquímicos y los sensores de gas semiconductores, estos últimos han ganado atención debido a su simplicidad, bajo coste y portabilidad (Yuan et al., 2021).

1.2 Planteamiento del problema

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció en 2010 una "directriz de calidad del aire interior" (IAQG) para el formaldehído en 0.08 ppm, que se aplica a todos los periodos de 30 minutos durante toda la vida, pero poco después Golden en

2011 también analizó los datos de formaldehído y propuso un valor guía para el aire en interiores de 0.1 ppm (Nielsen et al., 2016). Se considera que la exposición laboral es la principal fuente de contacto con este compuesto y se produce principalmente por inhalación y contacto con la piel (SRT, 2021).

En el 2006 la Agency for Research on Cancer (IARC) y la Association Santé Environnement France (ASEF), en 2010, concluyeron que existe evidencia suficiente de las propiedades cancerígenas del formaldehído, basándose principalmente en su asociación con el cáncer de nasofaringe y la leucemia, clasificado como cancerígena categoría 1 (Hurtado et al., 2016). Debido a su carcinogenicidad, se están abandonando algunos usos del formaldehído y se han establecido normativas para limitar su presencia en determinados productos (Yuan et al., 2021).

Como lo mencionan Bonilla y Oswaldo (2015), en un estudio realizado por Ghasemkhani et al. en el 2005, en ocho grandes hospitales de enseñanza de Teherán, Irán; se llevó a cabo una estrategia de muestreo del aire para determinar las concentraciones de formaldehído en los laboratorios de patología, quirófanos y otros. Se realizaron mediciones de larga y corta duración, con un total de 160 muestras. Se encontró que los niveles de concentración de formaldehído en los laboratorios de patología excedían el límite recomendado por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), cuyo Valor Límite de Umbral de Tope / Pico (TLV-C) es de 0.3 ppm. Este estudio resalta la importancia de monitorizar y controlar la exposición al formaldehído en entornos de laboratorio para proteger la salud del personal.

En Estados Unidos la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) en su Sección III: Capítulo 2 del Manual Técnico de la OSHA (OTM) ha establecido un límite de exposición permisible (PEL), y para el muestreo de promedios ponderados en el tiempo (TWA) de 8 horas y límites de exposición a corto plazo (STEL) de 15 o 30 minutos, para el formaldehído se estableció 0.75 ppm (TWA de 8 horas) y 2 ppm (STEL 15 min). Mientras que el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) propone 0.016 ppm (TWA de 8 horas) y 0.1 ppm (STEL 15 min) («Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas - Derecho a Saber», 2016).

El formaldehído se utiliza ampliamente en el área de la salud, especialmente en laboratorios de Anatomía Patológica y Salas de Autopsias, donde se llevan a cabo investigaciones relacionadas con enfermedades, autopsias y análisis forenses. En un laboratorio de anatomía patológica, se realizan diversas actividades relacionadas con el estudio de muestras biológicas y tejidos humanos, incluyen la fijación, procesamiento, corte, tinción y examen microscópico de muestras de tejido, así como la preparación y conservación de órganos y tejidos para su estudio (Hurtado et al., 2016).

Según el California Department of Public Health & California Department of Industrial Relations (2011) uno de los enfoques para reducir la irritación causada por el formaldehído es el uso de medidas de protección, como, por ejemplo, el uso de batas de manga larga, guantes de látex, gafas, gorro y mascarilla. Sin embargo, la falta de reconocimiento del riesgo potencial de exposición lleva a una utilización inadecuada de dichas medidas, lo que puede resultar en un aumento de síntomas en el personal de salud, independientemente del tiempo de exposición. En la vida diaria no se puede evitar el formaldehído y los materiales que lo contienen, pero es importante regular su cantidad mediante dispositivos y tomar medidas adecuadas para asegurar condiciones saludables en el puesto de trabajo.

Por lo tanto, es fundamental diseñar un sistema efectivo para la monitorización de las concentraciones de formaldehído en el aire de los laboratorios de patología en Panamá, con el fin de identificar y controlar adecuadamente la exposición a este agente químico peligroso, ya que a concentraciones superiores a 0.1 ppm en el aire puede causar irritación en los ojos y membranas mucosas, dolores de cabeza, ardor en la garganta (Campos Fabregat, 2021), inflamación de la piel, síntomas gastrointestinales e intoxicación sistémica (Yuan et al., 2021). Incluso algunos efectos respiratorios como bronquitis asmática, irritación de las vías aéreas inferiores, edema pulmonar, neumonía, pérdida de la conciencia, coma e incluso la muerte en concentraciones elevadas (SRT, 2021).

- ¿Cuáles son los niveles que se manejan, en el laboratorio de patología, en el uso del formaldehído?

- ¿Podría diseñarse un sistema de monitoreo de formaldehído con una efectividad similar a la de los equipos comerciales?
- ¿Los resultados que se obtendrán estarán por debajo o sobre algún límite de exposición permisible establecido por organizaciones internacionales como OSHA?
- ¿Qué normativa o estándar para el límite de exposición permisible podría utilizarse en Panamá?

1.3 Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación se justifica por la necesidad de diseñar un sistema para monitorizar los niveles de formaldehído en laboratorios de patología es esencial desde una perspectiva social, debido a los peligros que representa para la salud humana la exposición a este compuesto. El formaldehído, un agente carcinógeno conocido, puede ocasionar irritación en los ojos, la nariz y la garganta, problemas respiratorios, cutáneos (Campos Fabregat, 2021). Varios estudios se han enfocado en la exposición laboral al formaldehído en laboratorios de anatomía patológica, resaltando la importancia de establecer medidas de vigilancia epidemiológica y prevención para resguardar la salud de los trabajadores.

A través del diseño de un sistema para monitorizar, en el ambiente de laboratorios de patología, los niveles de formaldehído y estudiar las regulaciones existentes, se contribuye a la producción de conocimiento científico y tecnológico, lo que es fundamental para el desarrollo académico y la investigación en universidades. La implementación y verificación de dicho sistema en un entorno existente implica un proceso de aprendizaje y generación de conocimiento, lo que a su vez promueve la integración interdisciplinaria y el avance significativo en el ámbito de las ciencias básicas y la investigación científica. Este enfoque no solo garantiza un ambiente de trabajo seguro, sino que también fomenta la aplicación práctica del conocimiento científico, contribuyendo al desarrollo científico y productivo de la sociedad.

El uso de un método científico es fundamental por varias razones: primero, al realizar bancos de pruebas y recopilar datos para su posterior análisis estadístico, se garantiza la fiabilidad y la objetividad de los resultados, lo que es esencial en un entorno académico y de investigación. Este enfoque riguroso no solo permite verificar hipótesis a través de la experimentación, sino que también sienta las bases para el desarrollo de un marco de referencia que puede ser utilizado por otros investigadores en el campo de la patología y disciplinas relacionadas. Además, la aplicación de un método de experimentación desarrollado no solo contribuye al avance del conocimiento científico, sino que también fomenta la adquisición de nuevos conocimientos y la mejora continua de las prácticas en el ámbito de la salud y la investigación

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos Generales

Diseñar un sistema para el monitoreo continuo y análisis de las concentraciones de gas formaldehído en el laboratorio de patología del Hospital del Niño, con el fin de garantizar un ambiente de trabajo seguro para el personal de salud.

1.4.2 Objetivos Específicos

- I. Realizar una revisión exhaustiva de la literatura sobre el formaldehído, sus efectos en la salud, las regulaciones existentes para su control en laboratorios de patología y los métodos de monitorización existentes.
- II. Diseñar un sistema de monitoreo para las concentraciones de gas formaldehído en el ambiente del laboratorio de patología.
- III. Validar los resultados medidos del sistema diseñado con una herramienta existente (monitor de Formaldehído) bajo los límites de exposición permisible de OSHA.

1.5 Alcance y límites de la investigación

Los alcances de la investigación sobre el "Diseño de un sistema para la monitorización de concentraciones de gas formaldehído en el laboratorio de patología del Hospital del Niño" es desarrollar un sistema que permita monitorear las concentraciones de formaldehído en el ambiente de un laboratorio de patología. Se medirá la concentración de formaldehído, como variable dependiente que representa las diferentes concentraciones de formaldehído en el ambiente de trabajo de los laboratorios; el tiempo de exposición, como variable independiente que indica el tiempo durante el cual se medirá la concentración de formaldehído; y medidas de seguridad implementadas, como variable de control que describe las medidas de seguridad, como el uso de equipos de protección personal o sistemas de ventilación, que se aplican para reducir la exposición al formaldehído.

El periodo de recolección de información, marco teórico y planteamiento de la metodología será de aproximadamente 4 meses. Luego la confección del sistema y programación sería de 6 meses, mientras que la recolección de datos en los laboratorios y validación con otros instrumentos tendrá otra duración de 3 meses. La investigación se llevará a cabo en el laboratorio de patología del Hospital del Niño.

Las limitantes del proyecto para diseñar un sistema de monitoreo de formaldehído en laboratorios de patología son las siguientes:

- Restricciones de tiempo para la medición: Debido a los requisitos y especificaciones del agente químico, las pruebas de medición se llevarán a cabo en 1 día, en un período de tiempo lo más corto posible para minimizar la exposición del personal.
- Escasez de áreas alternativas para la investigación: Dado que el formaldehído se utiliza en ciertas aplicaciones, la disponibilidad de áreas alternativas para la investigación puede ser limitada. Esto podría restringir la capacidad de realizar comparaciones significativas o de llevar a cabo estudios en entornos con condiciones variables.

1.6. Línea de investigación a la que pertenece el estudio

Debe declararse en esta sección que el estudio presentado pertenece a la línea de investigación en ciencias de la salud, específicamente en el tema de ingeniería clínica y biomédica el cual trata de: ***Diseño de un sistema para la monitorización de concentraciones de gas formaldehído en el laboratorio de patología del Hospital del Niño.***

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigaciones realizadas en el tema

Rivera Orcoapaza (2015) con su tesis “Determinación del Daño Genotóxico en Trabajadores Expuestos a Formaldehído de Tres Laboratorios de Anatomía Patológica de Lima Metropolitana” tenía como objetivos la evaluación de la concentración de formaldehído en el aire de los laboratorios, la determinación del daño genotóxico local a través del test de micronúcleos y anomalías nucleares en células epiteliales bucales. En los resultados se obtuvo una concentración media de 0.96 mg/m³ de formaldehído en el aire, superando el valor límite permisible (TLV-ceiling 0.37 mg/m³) por la Dirección General de Salud Ambiental de Perú (DIGESA)) adoptado del Valor Límite Umbral de la ACGIH. Concluyendo con que los trabajadores de laboratorios de anatomía patológica están expuestos a altas concentraciones de formaldehído presentes en el ambiente de trabajo, que superan el valor límite permisible establecido a nivel nacional.

En “Análisis de la exposición Ocupacional a Formaldehído en el Servicio de Anatomía Patológica del Hospital México” por Mora Sánchez (2019), el objetivo de establecer medidas preventivas y correctivas que minimicen la exposición de los trabajadores a esta sustancia química. Se realizó una caracterización básica de la exposición laboral al formaldehído, bajo los criterios de la INSHT, y mediante el análisis de las condiciones laborales lo que permitió generar la estrategia de muestreo para tomar las muestras de campo con: la aplicación de tubos colorimétricos marca Dräger, el método COSHH Essentials, el método de evaluación el estándar Fume Hood Testing ANSI/ASHRAE 10-1995, muestreo personal con cartuchos Sep-Pak DNPH-Sílica de la marca Waters y un detector de cromatografía líquida marca Waters modelo AcQuity H Class; para analizar datos y compararlos con los criterios de valoración. Se identificaron las fuentes de emisión y se realizaron mediciones de la concentración de formaldehído en el aire y se emitieron recomendaciones orientadas al control de la exposición ocupacional a este agente químico, mediante el análisis de los datos obtenidos en la caracterización básica y la estimación de la exposición.

El trabajo "Diseño e Implementación de un Prototipo de Bajo Costo para el Monitoreo de la Calidad del Aire en Ambientes Interiores" fue realizado por Castiblanco Avendaño y Cañón Alfonso (2019), sus objetivos incluyen la contextualización, diseño

e implementación de un dispositivo tecnológico de bajo costo para monitorear la calidad del aire en ambientes interiores, así como la selección de dispositivos para censar las variables más significativas de la calidad del aire y la evaluación del sistema de monitorización diseñado e implementado. Como resultado, se presenta un prototipo que transmite en tiempo real las mediciones hacia un sistema remoto para su comparación con los niveles establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la Resolución No. 2254 del 1 NOV 2017, "Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones".

La tesis titulada "Desarrollo de un Sistema para el Monitoreo y Control de la Calidad del Aire en Entornos Cerrados Usando IoT con Redes de Sensores Electroquímicos" por Oña Leyme (2020), tuvo como objetivo principal diseñar e implementar un sistema de monitoreo y control de la calidad del aire en entornos cerrados, basándose en la tecnología IoT y sensores electroquímicos. Este sistema permite detectar y medir contaminantes gaseosos y particulares, alertando a los usuarios sobre posibles situaciones de riesgo para la salud y el bienestar ambiental. Los resultados mostraron que el sistema es capaz de detectar y medir contaminantes gaseosos y particulares con una alta precisión y fiabilidad. Los datos recopilados fueron almacenados en una base de datos y presentados en forma gráfica y tabular en una aplicación web, permitiendo a los usuarios monitorizar la calidad del aire en tiempo real. Adicionalmente, se demostró que el sistema es compatible con diferentes tipos de sensores electroquímicos y protocolos de IoT, lo que permite adaptarlo a diversas aplicaciones y entornos.

En el trabajo de maestría "Control de la Exposición a Formaldehído y Xileno en el Servicio de Anatomía Patológica del Hospital San Vicente de Paúl" por Argüello Miranda (2023), tenía por objetivo implementar un programa para controlar la exposición a formaldehído y xileno, buscando reducir los riesgos de enfermedades relacionadas con estos compuestos. Estableció mediciones personales y ambientales mediante el método de Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con base en el método NIOSH 2016 para determinar niveles de exposición y analizó resultados de encuestas y auditorías para identificar áreas de riesgo y mejorar prácticas de seguridad. Los resultados revelaron niveles de exposición dentro de los límites

máximos permitidos, pero no los recomendados para prevenir enfermedades y también se identificaron áreas críticas con mayores niveles de exposición y se propondrán medidas de control específicas para ellas.

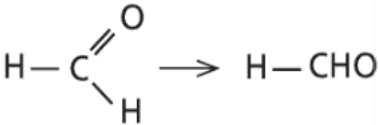
2.2. Bases teóricas que sustentan la investigación

2.2.1 Descripción general del Formaldehído

El formaldehído (número CAS 50-00-0) es un gas incoloro, inflamable y muy reactivo a temperatura ambiente. Las principales propiedades químicas y físicas (de la sustancia pura) son las siguientes: masa molecular 30,03 g/mol; densidad relativa del vapor 1,03-1,07 (aire = 1); punto de fusión -92 °C; y punto de ebullición -19,1 °C. El formaldehído es soluble en agua (alrededor de 400 g/l a 20 °C), etanol y cloroformo y miscible con acetona, benceno y dietiléter (Kaden et al., 2010). Su estructura química se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Configuración química del Formaldehído

Fórmula estructural	Fórmula molecular	Nomenclatura
	CH ₂ O	International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Metanal Tradicional Formaldehído

Fuente: Picó, A. G. (2018). Compuestos orgánicos. Oxigenados y nitrogenados. En *Química básica* (p. 796). [Libro]

A temperatura ambiente, el formaldehído puro es un gas incoloro con un intenso olor penetrante, irritante y asfixiante. Tiene la capacidad de polimerizarse fácilmente, formando paraformaldehído, y puede generar mezclas explosivas con el aire en forma de gas. En términos comerciales, la formalina es una solución acuosa que contiene un 37% de formaldehído y un

10-15% de metanol como estabilizador para prevenir la polimerización. Por otro lado, el formol es una solución al 10% de formaldehído en agua (Gupta, 2017).

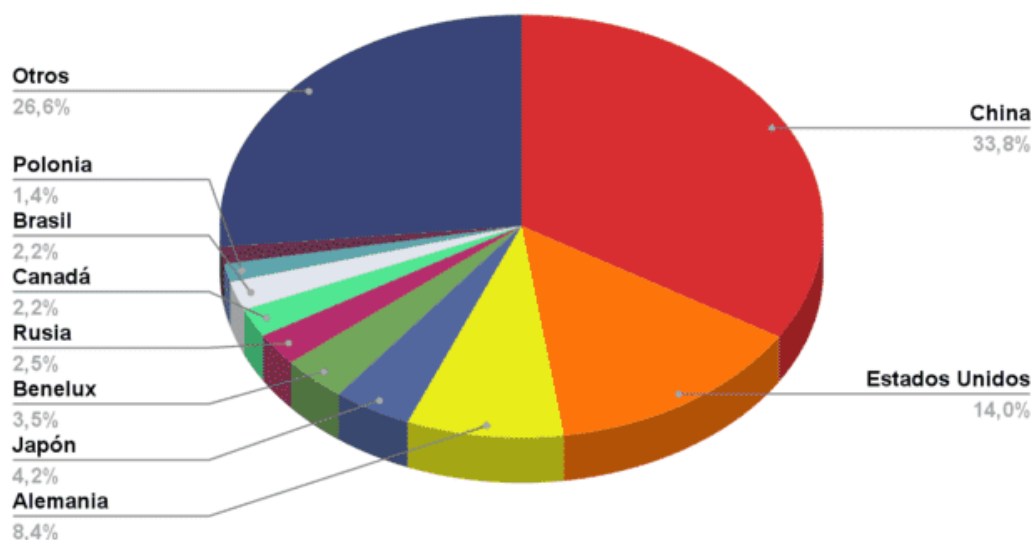
2.2.2. Historia

El químico ruso Aleksandr Butlerov sintetizó esta sustancia química en 1859, pero fue el químico alemán August Wilhelm von Hofmann quien la identificó como el producto formado al pasar metanol y aire por una espiral de platino caliente en 1867, y este método sigue siendo la base de los catalizadores metálicos (Zhang, 2018).

Desde principios de los años 90, el formaldehído se produce comercialmente y figura entre las 25 sustancias químicas de mayor volumen producidas en Estados Unidos. En la década de 2000 se producían anualmente más de 11.000 millones de libras de formaldehído en Estados Unidos, frente a los 43.000 millones de libras que se producían en todo el mundo (Gupta, 2017). En 2006, China produjo el 34% de la producción mundial, cuatro veces más que Alemania y casi dos veces y medio más que Estados Unidos (Zhang, 2018). En la Figura 1 se muestra la gráfica completa:

Figura 1

Países que contribuyeron a la producción mundial de formaldehído en 2006.



Fuente: Zhang, L. (2018). Rediseñado del *Formaldehyde: Exposure, Toxicity and Health Effects*. Royal Society of Chemistry (p. 7) [Libro].

2.2.3 Usos y aplicaciones

El formaldehído está ampliamente distribuido en el entorno, ya que proviene de diversas fuentes naturales y actividades humanas. En la naturaleza, se libera a través de la quema de biomasa, la descomposición y la actividad volcánica. Las fuentes generadas por el ser humano incluyen emisiones industriales directas, la quema de combustibles en vehículos y otros procesos de combustión como en centrales eléctricas e incineradoras (Kaden et al., 2010).

Además, a nivel mundial, se produce industrialmente para la producción de resinas de fenol- o ureal-formaldehído, plásticos y productos químicos intermedios que se emplean en la construcción de edificios, tratamientos textiles, láminas decorativas, compuestos de moldeo, etc. (Gupta, 2017). La posterior introducción del formaldehído en 1893 fue como fijador, fue un paso importante en la historia de la conservación y ha constituido la base de las prácticas modernas de embalsamamiento de cadáveres humanos para la enseñanza de la anatomía (Rea, 2022). La formalina se utiliza habitualmente como conservante de tejidos o bactericida en los laboratorios médicos y de embalsamamiento (Zhang, 2018).

2.2.4 Unidad de medición de las concentraciones

En Estados Unidos, la exposición al formaldehído en el aire se mide en partes por millón o partes por billón (ppm o ppb), que refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia (agente, etc.) que hay por cada millón de unidades del conjunto. En otros países se mide en miligramos por metro cúbico (mg/m^3), de lo que surge un factor de conversión que depende de las propiedades físicas de cada contaminante (Zhang, 2018). Como referencia, la conversión de ppm a mg/m^3 para el formaldehído es la siguiente:

Ecuación 1. Conversión de ppm a mg/m³ para el formaldehído

$$1.0 \text{ ppm} = \frac{\text{Peso Molecular de Formaldehído}}{\text{Factor de Conversión}} = \frac{30.03}{24.45} = 1.23 \text{ mg/m}^3 \quad (1)$$

Pero hay otros factores de conversión como: a 760 mmHg y 20 °C, 1 ppm = 1,249 mg/m³ y 1 mg/m³ = 0,801 ppm. A 25 °C, 1 ppm = 1,228 mg/m³ y 1 mg/m³ = 0,814 ppm (Kaden et al., 2010).

2.2.5 Valor de límite ambiental del formaldehído

Los límites de exposición profesional (OELs) al formaldehído se definen de la siguiente manera: la media ponderada en el tiempo aceptable (TWA), que representa la exposición diaria promedio de un trabajador al formaldehído durante una jornada laboral de 8 horas; los límites de exposición a corto plazo (STEL), que indican la exposición media aceptable durante un breve lapso de tiempo (generalmente 15 minutos); y el valor límite umbral (TLV), que establece el nivel de formaldehído al que un trabajador puede estar expuesto diariamente a lo largo de su vida laboral sin experimentar efectos adversos (Zhang, 2018).

Diversos países en distintos continentes establecen variados valores para TWA, STEL y TLV del formaldehído en entornos laborales. Estas diferencias reflejan las diversas normativas y enfoques adoptados a nivel internacional en cuanto a la protección de la salud ocupacional frente a este compuesto químico. En Europa el Comité Científico para los Límites de Exposición Profesional (SCOEL, 2017) de la Unión Europea establece el menor valor con 0.3 ppm (TWA) y 0.6 ppm (STEL), mientras que el valor más alto permitido es el del Servicio de Salud y Seguridad (HSE, 2007) del Reino Unido con 2 ppm en ambos TWA y STEL. En Australia, la Agencia Nacional de Control de Productos Químicos (NICNAS, 2016) recomienda 1 ppm (TWA) y 2 ppm (STEL), igual que el Servicio de Salud e Higiene Industrial (SAIOH, 2006) en Sudáfrica (Zhang, 2018).

En Asia, el Servicio de Higiene y Seguridad en el Trabajo (JSOH, 2015) de Japón solo propone un límite de 0.1 ppm (TWA) y el Centro de Investigación y Prevención de Enfermedades Profesionales (MHPRC, 2007) de China un 0.4 ppm (TLV). En América del Norte, el Servicio de Salud y Seguridad en el Trabajo de Canadá (CCOHS, 2006) y el Instituto de Seguridad y Salud Industrial (IRSST), que predomina en Quebec, sólo proponen un TLV de 0.3 ppm y 2 ppm respectivamente, mientras que el Servicio de Salud y Seguridad en el Trabajo de Ontario propone 1 ppm (STEL) y 1.5 ppm (TLV).

Estados Unidos, por otro lado, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, 2006) estableció el "límite de exposición permisible" (PEL) en lugar de "OEL" como 0,75 ppm (TWA) y 2 ppm (STEL). El Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, 2006) propuso los "límites de exposición recomendados (REL)" más pequeños de 0.016 ppm (TWA) y 0.1 ppm (STEL), además de un valor de 0.3 ppm (TLV) por parte de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) en el 2002 (Zhang, 2018).

Tabla 2

Límites de exposición profesional (OELs) internacionales del formaldehído

País	OELs (ppm)			Referencia
	TWA	STEL	TLV	
Europa				
Unión Europea	0.3	0.6		SCOEL (2017)
Reino Unido	2	2		HSE (2007)
Australia				
Australia	1	2		NICNAS (2016)
África				
Sudáfrica	1	2		SAIOH (2006)
Asia				
Japón	0.1			JSOH (2015)
China			0.4	MHPRC (2007)
América del Norte				
Canadá			0.3	CCOHS (2006)
Quebec			2	IRSST (2013)
Ontario		1	1.5	MLO (2015)
Estados Unidos				
PEL	0.75	2		OSHA (2006)
REL	0.016	0.1	0.3	NIOSH (2006) y ACGIH (2002)

Fuente: Zhang L. (2018). Rediseñado del *Formaldehyde: Exposure, Toxicity and Health Effects*. Royal Society of Chemistry (p. 23) [Libro].

En Panamá el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2001, aprobado por el Ministerio de Comercio e Industrias mediante la Resolución N° 124 del 20 de marzo de 2001 y publicado en la Gaceta Oficial del 17 de mayo de 2001, aborda las condiciones de higiene y seguridad industrial para el control de la contaminación atmosférica en ambientes de trabajo producida por sustancias químicas. Este reglamento incluye una lista con compuestos químicos, concentración ponderada en el tiempo (CPT) y concentración para exposición de corto tiempo (CCT). El formaldehído tiene valores de 0.75 ppm (CPT) y 2 ppm (CCT), exactamente los mismos PEL propuestos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) en Estados Unidos.

La OMS recomendó unos límites de exposición al formaldehído en interiores de 0,08 ppm (0,1 mg/m³), que siguen países como el Reino Unido, Japón y China; Australia, Alemania, Canadá y Singapur aplican un límite más elevado de 0,1 ppm (0,12 mg/m³) y según el Occupational Safety and Health Administration (OSHA), el límite de exposición al formaldehído es de 0,75 ppm en interiores (Zhang, 2018).

2.2.6 Efectos sobre la salud

Distintas concentraciones de formaldehído en el aire generan diversos efectos adversos para la salud en humanos y animales, como lo informó la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR) en 2008. Concentraciones de formaldehído entre 0,1-0,5 ppm (0,12-0,6 mg/m³) son perceptibles por los sentidos humanos; niveles de 0,6-1,9 ppm (0,6-1,2 mg/m³) pueden causar irritación ocular y eczema; mientras que concentraciones superiores a 2 ppm (2,46 mg/m³) pueden provocar irritación nasal y faríngea (Zhang, 2018). En la Figura 2. se muestra la escala de concentración y enfermedades que causa el formaldehído.

La toxicidad aguda del formaldehído, resultado de una única o múltiples exposiciones breves (generalmente menos de 24 horas), puede causar efectos adversos que varían en gravedad e intensidad. La irritación de las mucosas es el síntoma más común, manifestándose a través de tos, dermatitis, piel seca, estornudos y ojos llorosos. Exposiciones severas pueden desencadenar problemas nasales y faríngeos, conjuntivitis, laringoespasmo, edema pulmonar, rinitis crónica, pérdida del olfato, congestión faríngea y alergias dérmicas (Zhang, 2018).

Figura 2

Escala de niveles mínimos de riesgo del formaldehído vía respiratoria en humanos y sus efectos sobre la salud.



Fuente: Zhang, L. (2018). Rediseñado del *Formaldehyde: Exposure, Toxicity and Health Effects*. Royal Society of Chemistry (p. 21) [Libro].

La exposición prolongada al formaldehído puede ocasionar efectos adversos, denominados toxicidad crónica, que incluyen irritación de las vías respiratorias superiores e inferiores, irritación ocular, cambios degenerativos, inflamatorios e hiperplásicos en la mucosa nasal, dolor abdominal, úlceras cutáneas, dolor torácico, pérdida de apetito y temblores. Asimismo, puede desencadenar neurotoxicidad con síntomas como mareos, cefaleas, pérdida de memoria y trastornos del sueño; afectar la función pulmonar con resistencia a la ventilación y obstrucción en las vías respiratorias pequeñas; inducir asma y alterar la respuesta inmunitaria (Zhang, 2018).

El riesgo de cáncer derivado de la exposición al formaldehído se evalúa a partir de las tres cohortes ocupacionales más grandes y actualizadas, identificadas por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), que ha clasificado al formaldehído como carcinógeno para los seres humanos. Aunque el formaldehído puede causar cáncer nasofaríngeo en humanos, no se han observado aumentos significativos en niveles medios de exposición iguales o inferiores a 1,25 mg/m³ y con exposiciones máximas por debajo de 5 mg/m³ (Kaden et al., 2010). En la Tabla 3. se muestra la clasificación de formaldehído por organismos internacionales:

Tabla 3

Clasificación del grado cancerígeno del formaldehído por diferentes organismos internacionales

Organización	Clasificación	Descripción
European Chemicals Agency (ECHA)	2	Sospechoso de producir cáncer en humanos.
American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH)	A2	Carcinógenos con sospecha de serlo en el humano.
International Agency for Research on Cancer (IARC)	1	El agente (o mezcla) es carcinogénico para el hombre.
Unión Europea (EU)	1B	Sustancias de las que se sabe que son carcinógenas para el hombre, en base a la existencia de pruebas en animales.
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)	1B	Puede provocar cáncer.

Fuente: Hurtado et al. (2016). Rediseño de Medición de concentraciones de formaldehído en un laboratorio de anatomía humana, comparándolas con estándares internacionales. *ANUARIO 2016 de la Universidad Evangélica de El Salvador*. (pp. 278) [Tesis].

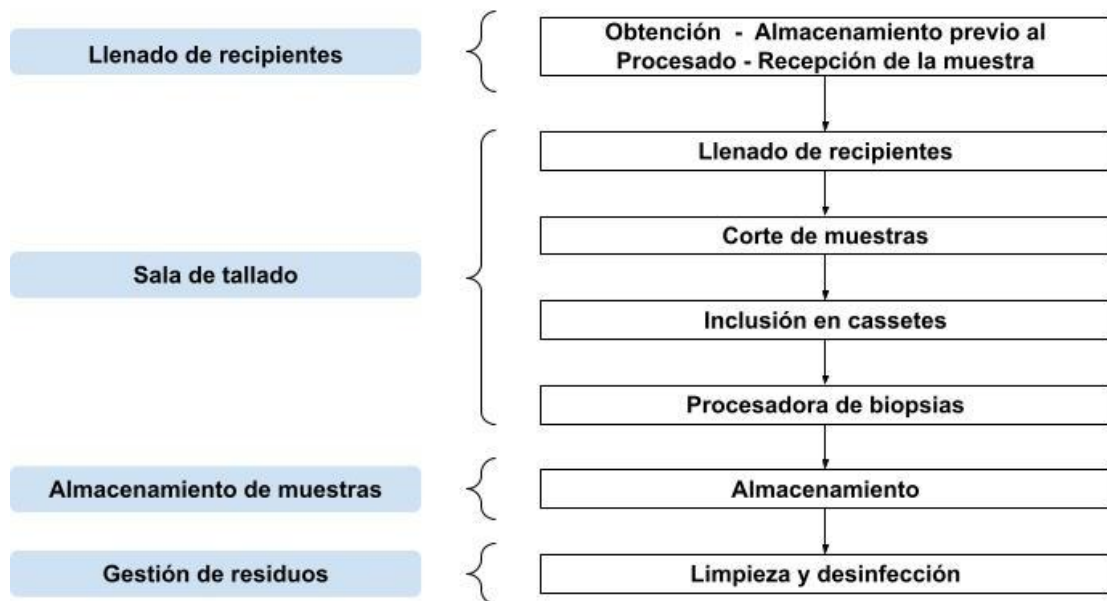
2.2.7 Laboratorio de Patología

Los laboratorios de patología pueden incluir laboratorios clínicos, forenses o de investigación, junto con áreas de apoyo como depósitos de cadáveres clínicos o forenses, laboratorios de autopsias, almacenamiento de órganos, laboratorios de preparación de muestras y portaobjetos, laboratorios de microscopía para el análisis de muestras, y salas de conferencias para revisar material de autopsias. Estas áreas de apoyo suelen ubicarse en hospitales, instalaciones forenses o laboratorios de investigación.

Los laboratorios de patología forense, clínica y de investigación realizan actividades que involucran el uso de tejidos enfermos y dañados, así como materiales contaminados o infecciosos de organismos vivos. Estas operaciones incluyen el corte de tejidos, la disección, la mezcla química, la manipulación mecánica de órganos y tejidos, procedimientos bioquímicos de gran variedad, la microscopía, el cultivo microbiológico, la preparación de muestras y la tinción (DiBerardinis et al., 2013). En la Figura 3. se muestra algunas de las tareas que se realizan en un laboratorio de patología:

Figura 3

Esquema de las distintas tareas dentro del proceso de trabajo en un Laboratorio de Patología



Fuente: SESCAM. (2018). GUÍA DE ACTUACIÓN FRENTE AL RIESGO DE EXPOSICIÓN AL FORMALDEHÍDO DE LOS TRABAJADORES DEL SERVICIO DE SALUD DE CASTILLA-LA MANCHA. En el Servicio de Salud de Castilla-La Mancha (SESCAM). (p. 11) [Guía].

Según el SESCAM (2018) algunos puestos de trabajo dentro del laboratorio de patología son:

1. Transporte, recepción y registro de muestras. Verificación, numeración y registro informático de las muestra-peticiones.
2. Tallado de las muestras. Implica detallar la cantidad y tamaño de las muestras, describir sus características, y colocar las partes necesarias en un bloque numerado para su análisis diagnóstico.
3. Procesamiento de las muestras. Consiste en una serie de baños a diferentes temperaturas y concentraciones de distintos reactivos: formaldehído, alcohol (a diferentes gradientes), xilol y parafina caliente.

4. Inclusión. Consiste en la elaboración de los bloques de parafina sólida con la muestra en su interior.
5. Corte histológico. Implica cortar secciones de bloques de parafina de aproximadamente 2,5 micras de grosor y colocar las muestras en portaobjetos para su posterior tinción.
6. Tinción histológica. Consiste en colorear las muestras en los portaobjetos, diferenciando entre tinciones habituales como la Hematoxilina-eosina y tinciones histoquímicas como Giemsa, tricrómico de Masson, Azul Alcian, entre otras, que pueden realizarse tanto de forma automática como manual.
7. Montaje, etiquetado y adjudicación. Implica poner cubreobjetos sobre los portaobjetos teñidos, enumerarlos con etiquetas autoadhesivas para luego distribuirlos al patólogo.
8. Almacenamiento de muestras. Las muestras post-tallado se distinguen tanto por los bloques de parafina como por los portaobjetos. Existen archivadores específicos para cada tipo de muestra a almacenar. La eliminación de las muestras se lleva a cabo mediante la incineración en las unidades o empresas designadas por el hospital para este fin.

2.2.8 Medidas preventivas y de protección

El Servicio de Salud de Castilla-La Mancha (SESCAM, 2018) recomienda las siguientes medidas de prevención cuando no es posible la eliminación o sustitución del formaldehído:

- Utilizar mesas de tallado con extracción localizada y restringir el acceso a personal autorizado.
- Agrupar las tareas que generan formaldehído en áreas específicas para reducir la exposición.

- Recoger muestras en envases precargados y mantener los recipientes cerrados.
- Lavado frecuente de manos, evitar comer en el lugar de trabajo y seguir procedimientos para evitar aerosoles.
- Almacenar muestras en armarios estancos con ventilación forzada y minimizar el tiempo de exposición al formaldehído.
- Realizar vigilancia periódica de la salud de los trabajadores y adaptar el puesto de trabajo para embarazadas y madres lactantes.

Para los envases, recipientes o contenedores de biopsias conservadas en formol se deben reunir las siguientes características:

- Resistencia química frente al formaldehído, tanto del cuerpo como de la tapa.
- Hermeticidad y robustez para evitar aperturas de la tapa o roturas del recipiente en caso de caídas, golpes o vuelcos.
- Estanqueidad para evitar que los vapores de formaldehído salgan al exterior.
- Los contenedores pesados deben incorporar asas que faciliten su movimiento.

También se deben contar con los siguientes equipos de protección personal (PPE) al trabajar con formaldehído:

1. Guantes de protección. Preferiblemente de nitrilo, butilo o neopreno, al manipular formaldehído. Estos deben retirarse después de su uso y lavarse las manos.
2. Gafas de seguridad. Resistentes a gases o vapores, o protectores faciales en caso de riesgo de salpicaduras.

3. Delantales o batas impermeables desechables. Para situaciones donde puedan ocurrir salpicaduras, se deben utilizar.
4. Protección respiratoria. En tareas con riesgo de inhalación, se debe emplear, una máscara con filtro específico para formaldehído. Es esencial cambiar el filtro si se contamina con salpicaduras y según lo indique la ficha técnica.

2.2.9 Medición del formaldehído

Para determinar el formaldehído se han desarrollado diferentes métodos con distintos fines, como la cromatografía iónica, la polarografía, el análisis radiométrico con dimedona, la espectrofotometría con pararosanilina, la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), la voltamperometría de adsorción, la cromatografía de gases (GC), el análisis por inyección en flujo, espectrometría de masas de preconcentración-ionización química, fluorescencia, matriz de microelectrodos interdigitados, sensor de gases, chip microfluídico de polidimetilsiloxano, espectroscopia de RMN, nano-redes de electrohilado, sensor de SnO₂ funcionalizado con Pd, DOAS (espectroscopia de absorción óptica diferencial), sonda fluorescente y quimioluminiscencia de inyección de flujo (He, 2017).

Algunos de los métodos más utilizados según SESCOAM (2018), son los siguiente:

1. Métodos de captación activa.

- Método colorimétrico. Método espectrofotométrico mediante la sal disódica del ácido 4,5-dihidroxinaftaleno 2,7-disulfónico (ácido cromotrópico). Basado en el método del NIOSH 3500. También el método aceptado del INSHT (MTA/MA-018/A89, más no es recomendado para muestreos de corta exposición.
- Método de cromatografía líquida. Método de cromatografía líquida de alta resolución con detección ultravioleta mediante captación activa con

sílica gel impregnado con hidroclorehidrato de 2,4-dinitrofenilhidracina, o método NIOSH 2016.

- Método de cromatografía de gases. Método de cromatografía de gases con detección de ionización de llama mediante captación activa con tubo absorbente conteniendo 10% de 2-hidroximetil piperidina en XAD-2, conocido como el método NIOSH 2541, más no recomendado para muestreos de corta exposición.

2. Métodos de captación pasiva.

- Método calorimétrico. Método espectrofotométrico mediante captación pasiva (por difusión) mediante la sal disódica del ácido 4,5-dihidroxi-naftaleno 2,7-disulfónico (ácido cromotrópico). Ejemplo el Monitor 3M Formaldehído Modelo 3721.
- Método OSHA ID-205. Método no recomendado para muestreos de corta exposición.

3. Métodos de lectura directa.

- Tubos colorimétricos. Existen tubos de lectura directa de varias marcas y rangos de medición (Draeger, MSA, Gastec). Se pueden utilizar como medida aproximada, o para verificaciones rápidas, ya que su nivel de precisión es del 25-35 %. Su sensibilidad es del orden de 0,2-0,3 mg/m³.
- Lectura directa. Existen en el mercado diversos monitores de lectura directa basados en diferentes sistemas de medición, ejemplo : Formaldemeter 400, Formaldemeter htV-m, MIRAN® SapphiRe Analyzer, etc.

2.2.10 Monitores de lectura directa

Los equipos de control y detección son herramientas fundamentales para evaluar los datos de los incidentes en tiempo real, como los instrumentos de lectura directa que proporcionan información en el momento del muestreo, lo

que permite una evaluación rápida de los riesgos en el lugar de los hechos y la toma de decisiones. Se utilizan para detectar y controlar determinados gases y vapores tóxicos y peligrosos, agentes químicos y biológicos y radiaciones ionizantes (Noll & Hildebrand, 2022).

Los monitores están compuestos por un sensor que, al entrar en contacto con el gas a medir, genera una señal eléctrica que se registra en un dial y que se convierte en unidades de concentración del gas presente en el entorno. Además pueden contar con alarmas programadas que advierten de situaciones peligrosas cuando las concentraciones de contaminantes alcanzan un determinado nivel, realizar mediciones puntuales o de larga duración, etc (ASEPEYO, 2021).

Según Noll y Hildebrand (2022) algunas características que podrían tenerse en cuenta son las siguientes:

1. Portabilidad y facilidad de uso, es decir, fácil de transportar, de manejar, peso, etc.
2. Tiempo de respuesta, cuando detecta un producto y cuando se produce una lectura en el monitor. Si el monitor tiene alarma es necesario exponerse a concentraciones por encima del punto de alarma, registrar a qué concentración empieza a sonar la alarma, y cuánto tarda en volver al nivel base.
3. Sensibilidad y selectividad, que es la capacidad de seleccionar una sustancia química específica o grupos de sustancias químicas que reaccionan de forma similar.
4. Límite inferior de detección, al que responderá un instrumento de control, ya que existen varios intervalos de funcionamiento para concentraciones muy altas o muy bajas.

2.2.11 Tipos de monitores de lectura directa

Como mencionan Noll y Hildebrand (2022), desde el punto de vista del principio de funcionamiento, estos instrumentos pueden agruparse en: ionizantes, electroquímicos, espectroquímicos, fotométrico, termoquímicos, cromatografía de gases y espectrometría de gases.

1. Monitores con detectores electroquímicos: La técnica electroquímica consiste en la medida de señales eléctricas asociadas a sistemas químicos, que explotan las propiedades de conductividad, potenciometría, coulombimetría y amperometría asociadas a la presencia de determinadas sustancias.
2. Detectores de ionización: Existen cuatro tipos de detectores de ionización: ionización de llama (FID), fotoionización (PID), electrocaptura (ECD) y espectrometría de movilidad iónica (IMS). Cada técnica se basa en la capacidad de la fuente de energía repetitiva para ionizar las especies de interés.
3. Monitores espectroquímicos: incluyen analizadores de infrarrojos, ultravioletas y luz visible, detectores quimioluminiscentes y fotométricos. En general, utilizan un espectro o parte de un espectro para determinar una especie química. Una aplicación de la espectroscopia visible es la colorimetría, en la que una muestra reacciona con un contaminante de interés, formando un producto coloreado.
4. Monitores fotométricos: incluye analizadores de fluorescencia, detectores fotométricos de llama, intensidad espectral y analizadores fotométricos de reflectancia. Estos monitores son útiles para especies tóxicas.
5. Monitores termoquímicos: los gases y vapores tienen propiedades térmicas que pueden aprovecharse para su análisis. Los detectores de conductividad térmica funcionan según el principio de que un cuerpo

caliente pierde calor a una velocidad que depende de la composición del gas circundante.

6. Cromatógrafos de gases: representan una familia distinta de monitores, ya que abordan simultáneamente la separación y la detección en la vigilancia de la higiene industrial, y constituyen un ámbito en el que se está investigando y desarrollando actualmente. Los detectores más utilizados en los cromatógrafos de gases diseñados para aplicaciones de higiene industrial son el FID y el PID. También se limitan a los análisis de compuestos orgánicos volátiles.

2.2.12 Tipos de sensores para monitores de lectura directa

Basado en ASEPEYO (2021) los sensores de los monitores de lectura directa son:

1. Electroquímicos: se basan en la medida de una corriente que se establece entre dos electrodos del sensor cuando el gas a medir reacciona electroquímicamente con el electrodo de trabajo. La configuración de los sensores varía según los fabricantes y según el gas a medir. En el caso de los sensores electroquímicos, el gas se difunde en la celda del sensor que contiene un electrólito y dos electrodos. Cuando el gas entra en contacto con el electrólito se crea una corriente eléctrica entre el ánodo y el cátodo que hace variar la diferencia de potencial entre ambos. Esta variación de la señal eléctrica se mide y amplifica siendo proporcional a la concentración del gas presente.
2. Térmicos: Detectan las variaciones en las propiedades térmicas de los gases, el calor de combustión y la conductividad. Un tipo de sensor térmico son los sensores de combustión catalítica, que miden el porcentaje del Límite Inferior de Explosividad (LIE) de los gases inflamables presentes en la atmósfera. El funcionamiento se basa en el puente de Wheatstone, cuando el puente está equilibrado no hay

corriente en el miliamperímetro. La oxidación del elemento catalítico expuesto al aire, compuesto por un filamento de platino envuelto por cámara de alúmina, en presencia de un gas combustible, incrementa su resistencia eléctrica y genera una corriente proporcional a la concentración de gas en el amperímetro.

Además de los sensores de combustión catalítica, también hay sensores de conductividad térmica (hilo caliente), que utilizan termistores (miden la conductividad térmica) y su principio de funcionamiento es similar al de los sensores de combustión catalítica, aunque se basa en la comparación de la conductividad térmica de una mezcla de gas con una muestra de aire puro. El sensor está compuesto por dos cámaras, cada una con un termistor, uno de ellos expuesto a la atmósfera exterior (sin protección y a una elevada temperatura), el otro en una atmósfera con aire puro. Cuando se mide en una atmósfera contaminada, se desequilibra el puente, al variar la conductividad térmica.

3. Electromagnéticos: Los sensores electromagnéticos se utilizan principalmente para medir el dióxido de carbono (CO_2), aunque modificando la longitud de onda del filtro se pueden medir otros gases como el óxido de etileno y el óxido nitroso. Estos sensores son estables y fiables, aunque en algunos casos su largo tiempo de respuesta en funcionamiento no los hace recomendables como equipos de intervención rápida y además, suelen ser caros.

El principio de funcionamiento se basa en la irradiación del gas que entra en la celda con una lámpara de infrarrojos. El gas absorbe parcialmente la radiación a una determinada longitud de onda. Mediante un filtro óptico determinado se selecciona la parte del espectro de luz o longitud de onda a la que el gas absorbe dicha radiación, una vez ha pasado por la cámara de medición. Finalmente, el detector de onda registra la diferencia entre la radiación inicial y la final, a una longitud de

onda determinada, que es proporcional a la concentración de contaminantes expresada en porcentaje o ppm.

4. Detectores de fotoionización (PID): La detección de gases mediante fotoionización se emplea para identificar y cuantificar bajas concentraciones de sustancias químicas ionizables como Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) y otros gases nocivos. Los dispositivos de fotoionización funcionan al exponer el gas a luz ultravioleta de alta energía en una cámara de medición, lo que provoca la ionización de sus partículas. Los iones cargados eléctricamente generan una corriente medida en electrodos, la cual es proporcional a la concentración del gas en porcentaje o partes por millón. Al final, los iones se recombinan al descargarse en los electrodos para regenerar la molécula original.

2.2.13 Ventajas y desventajas de monitores de lectura directa

Según el Center for Construction Research and Training (CPWR,2018) las ventajas y desventajas del monitoreo en tiempo real se incluyen:

Ventajas

- Los resultados son inmediatos (segundos o minutos).
- Relativamente económicos (desde unos pocos cientos de dólares).
- Relativamente fáciles de operar con una capacitación adecuada.
- Permiten un ingreso seguro en espacios confinados.

Desventajas

- Intervalo de concentración limitado: puede ser que no se detecten los niveles suficientemente altos o suficientemente bajos de tóxicos o materiales inflamables.

- La mayoría de los monitores no pueden identificar un contaminante desconocido o distinguir un contaminante de otro.
- Se debe realizar calibrado y mantenimiento con regularidad.
- Los niveles de fondo u otros productos químicos pueden dar lugar a lecturas falsas (sensibilidad cruzada).
- Los instrumentos comunes tienen pocos sensores.

2.2.14 Microcontrolador

El microcontrolador es un tipo de procesador diseñado para aplicaciones específicas, actuando como un puente entre los procesadores generales y los especializados. Se trata de un procesador programable que se enfoca en un conjunto particular de tareas, como el control integrado, el procesamiento de señales digitales o las comunicaciones, optimizando su rendimiento para estas funciones específicas (Dawoud & Peplow, 2022).

Los microcontroladores se utilizan en un gran número de sistemas electrónicos como:

- Sistema de gestión del motor en automóviles
- Teclados de PC
- Instrumentos electrónicos de medición
- Impresoras
- Teléfonos móviles y por satélite
- Televisión, radio, sistema estéreo, reproductores de CD, equipos de grabación
- Audífonos y sistemas de pruebas médicas
- Sistema de alarma de seguridad, sistema de alarma contra incendios, sistema de servicio de edificios
- Estufas y lavavajillas inteligentes, lavadoras y secadoras
- Control de fábrica

El microcontrolador integra todas las funcionalidades presentes en un microprocesador, además de añadir características que lo convierten en un sistema microcomputador completo por sí mismo. Incluye memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM), puertos de entrada/salida paralelos y serie, contadores y un circuito de reloj. Además, cuenta con dispositivos periféricos incorporados en el chip que permiten tener un sistema microcomputador en un solo componente (Godse & Godse, 2020).

El microcontrolador, al ser un microprocesador integrado en un solo chip, posee componentes adicionales que le habilitan para supervisar dispositivos externos en tiempo real. Según Dawoud y Peplow (2022), se emplea para:

- Adquirir información de diversos sensores.
- Procesar los datos obtenidos para generar un resultado que generalmente se traduce en una serie de acciones.
- Utilizar dispositivos de salida para llevar a cabo las tareas requeridas por el sistema.

En Dawoud y Peplow (2022) la estructura interna de un microcontrolador incluye:

1. CPU: es el ordenador forma parte del microcontrolador, cuya función principal es ejecutar los programas suministrados por el diseñador.
2. Unidad de memoria: es el microcontrolador que utiliza la memoria para almacenar datos y programas. Los dispositivos de memoria directamente accesibles por la CPU consisten en circuitos integrados semiconductores denominados RAM y ROM.
3. Unidad de entrada-salida: al integrar la CPU, la memoria interna y los buses en un solo chip, se crea una entidad con la capacidad de ejecutar ciertas funciones. Los buses se emplean para facilitar la comunicación con el entorno externo. La interacción del microcontrolador con el

mundo exterior se desarrolla en tres etapas o niveles: a través de puertos, circuitos de interconexión y dispositivos de entrada/salida (E/S) o periféricos informáticos.

4. Comunicación en serie: los dispositivos de entrada/salida (E/S) facilitan la transferencia de datos en forma de palabras (o bytes) entre el sistema informático y el entorno externo. Este método se conoce como comunicación paralela y presenta ciertas limitaciones, como la cantidad de líneas o canales requeridos para la transferencia de datos. Para mitigar este inconveniente sin comprometer la funcionalidad, se recurre a la comunicación serie. A través de un puerto, la comunicación serie se emplea para establecer conexiones con dispositivos externos mediante una transmisión secuencial de datos.
5. Oscilador de reloj: El procesador ejecuta el programa de la memoria a un ritmo determinado por la frecuencia del reloj oscilador. El reloj controla el tiempo de ejecución de las instrucciones.
6. Unidad de temporizador: los temporizadores se utilizan normalmente para proporcionar un retardo constante, cronometrar eventos, contar eventos y muchas otras aplicaciones.
7. Convertidores A/D y D/A: en la mayoría de las aplicaciones de control, las señales periféricas son de naturaleza analógica, en contraste con la capacidad de los microcontroladores para procesar señales digitales (binarias). Para abordar esta diferencia, se recurre a un conversor analógico-digital para transformar las señales analógicas en un formato comprensible por los microcontroladores. Asimismo, la generación de señales analógicas se logra mediante un convertidor digital-analógico, utilizadas para controlar motores, pantallas visuales, reproducir música y otras funciones.

2.2.15 Tipos de microcontroladores

Según Godse y Godse (2020) hay muchos tipos de microcontroladores que requieren diferentes chips de soporte y recursos para desarrollar un sistema de microcontrolador en particular. Por ejemplo:

1. Microcontroladores integrados: cuando el chip del microcontrolador incluye todos los componentes hardware requeridos para operar una aplicación específica, se le conoce como microcontrolador integrado. Este tipo de microcontrolador solo requiere alimentación, un circuito de reinicio y un reloj para funcionar. La comunicación del microcontrolador integrado con dispositivos externos se realiza a través de sus pines digitales de entrada/salida (E/S).

Un ejemplo de microcontrolador integrado es el ESP32 de Espressif Systems, que incluye en un solo chip la CPU, memoria, interfaces de comunicación y periféricos necesarios para diversas aplicaciones IoT. Este microcontrolador puede operar con solo conectar la alimentación y configurar sus pines E/S para interactuar con sensores, actuadores u otros dispositivos externos.

2. Microcontroladores de memoria externa: en ocasiones, en sistemas de gran escala, la memoria integrada para programas y datos resulta insuficiente. Para abordar esta limitación, ciertos microcontroladores admiten la expansión mediante memoria externa. En el caso de conexiones con memoria externa, algunos pines de los puertos se emplean como líneas de dirección y datos. La incorporación de memoria externa a los microcontroladores disminuye sus capacidades de entrada/salida en paralelo.

Godse y Godse (2020) también destacan ciertos aspectos que los diseñadores deben considerar al seleccionar un controlador:

- Debe cumplir con los requisitos computacionales de la aplicación de manera eficiente y económica, abarcando aspectos como velocidad,

formato de empaquetado, capacidad de memoria RAM y ROM, cantidad de pines de entrada/salida (E/S), temporizadores integrados, y consumo energético.

- Disponibilidad de herramientas de desarrollo de software como compiladores, ensambladores y depuradores.
- Disponibilidad actual y futura en términos de cantidades necesarias.
- Capacidad de actualización a versiones más avanzadas en rendimiento o eficiencia energética.

2.2.16 Lenguajes de programación

La computadora es un dispositivo que opera exclusivamente con lenguaje binario, compuesto únicamente por ceros y unos, conocido como lenguaje máquina o de bajo nivel. A pesar de esto, la creación de cada instrucción en términos de ceros y unos resulta compleja y laboriosa. Para abordar esta dificultad surgieron los lenguajes ensamblador y de alto nivel como solución a este problema (Godse & Godse, 2020). Estos se clasifican en las siguientes categorías y la Tabla 4. muestra sus ventajas y desventajas:

1. Lenguaje máquina: el ordenador sólo puede entender el lenguaje máquina, que utiliza ceros y unos. En el lenguaje máquina, las diferentes instrucciones para el ordenador se formatean tomando diferentes combinaciones de ceros y unos.
2. Lenguaje ensamblador: utiliza instrucciones simbólicas y códigos de máquina ejecutables. Las abreviaturas significativas se utilizan para instrucciones específicas de la máquina. y el ensamblador es necesario para traducir instrucciones de lenguaje ensamblador a instrucciones de lenguaje de máquina para ejecutar un programa en un ordenador.

3. Lenguaje de alto nivel: Este tipo de lenguaje se compone de palabras y símbolos que se asemejan al inglés. Al escribir programas en lenguaje de alto nivel, es necesario adherirse a reglas específicas. Estos programas son conocidos como programas fuente. Los intérpretes son herramientas informáticas empleadas para transformar estos programas a un formato comprensible por la máquina.

Un ejemplo común de lenguaje de alto nivel es Python. Al escribir un programa en Python, se utilizan palabras clave y estructuras que se asemejan al lenguaje humano, lo que facilita la comprensión y escritura del código. El intérprete de Python convierte este código en instrucciones entendibles por la computadora para su ejecución.

Tabla 4

Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de los lenguajes de programación

	Lenguaje máquina	Lenguaje ensamblador	Lenguaje de alto nivel
Ventajas	- traducción gratuita - alta velocidad	- fácil de entender y utilizar - menos propenso a errores - eficacia - más control sobre el trabajo duro	- legibilidad - independiente de la máquina - fácil depuración - más fácil de mantener - bajo coste de desarrollo - documentación sencilla
Desventajas	- dependiente de la máquina - lenguaje complejo - propenso a errores - tedioso - lento y costoso	- depende de la máquina - más difícil de aprender - tiempo de desarrollo lento - menos eficiente - sin estandarización - sin apoyo de la tecnología moderna de ingeniería de software	- escaso control del hardware - menos eficiente - dificultad de portabilidad

Fuente: Godse, A. P., & Godse, D. A. (2020). Microcontrollers. Technical Publications.(p. 17-25). [Libro]

2.2.17 Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas o IoT (Internet of Things) es una red global abierta y completa de dispositivos inteligentes que poseen la capacidad de autoorganizarse, intercambiar información, datos y recursos, así como responder y adaptarse a cambios en su entorno. Estos dispositivos están interconectados mediante direcciones únicas y utilizan protocolos de comunicación estándar. En la actualidad, el IoT se ha convertido en una de las principales tendencias tecnológicas, impulsando el avance en el sector de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) (Crespo & Alonso, 2022).

La implementación a gran escala de la tecnología IoT promete transformar muchos aspectos del modo que vivimos, como electrodomésticos inteligentes o aplicaciones de control de energía doméstica permite la automatización de nuestros hogares enfocándonos en la sostenibilidad energética y medio ambiente. Otros productos que se utilizan son los “wearables” orientados a la salud como dispositivos de monitorización de constantes vitales remotos, o dispositivos médicos conectados en tiempo real, que están evolucionando el panorama de los servicios de salud (Crespo & Alonso, 2022).

La arquitectura del modelo IoT hace referencia a los dispositivos de las diferentes capas o funciones aplicadas a los casos de uso complementario y elementos que lo conforman. Se ha propuesto varias arquitectura pero todas tienen en común áreas específicas como la capa de sensorización, la de procesamiento de datos y visualización de la información (Crespo & Alonso, 2022).

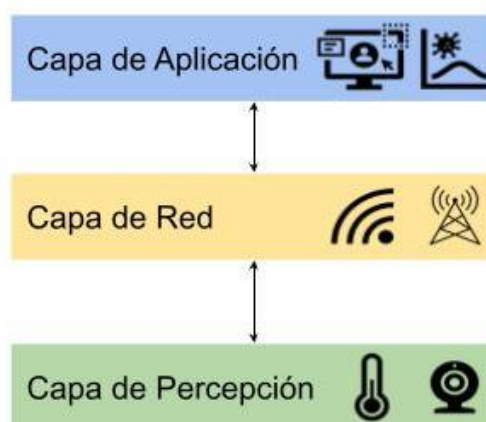
1. Modelo de tres capas. Desde un punto de vista abstracto podemos conceptualizar el modelo de la siguiente forma en la Figura 4.

- Capa de percepción: incluye todos los elementos necesarios para adquirir y procesar los datos incluyendo todos los dispositivos finales como sensores o actuadores.

- Capa de red: conceptualiza la transmisión de datos de un entorno desde los dispositivos finales a las aplicaciones y plataformas software que lo procesan y viceversa. Las conexiones con objetos inteligentes, dispositivos de red y servidores de aplicación se gestionan en este nivel.
- Capas de aplicación: proporciona las aplicaciones específicas del caso de uso de IoT para los usuarios finales. Es donde se integra la lógica aplicación de operación y de negocio asociada con el servicio que lo habilita.

Figura 4

Arquitectura del modelo IoT de 3 capas.



Fuente: Crespo, E. V., & Alonso, I. M. (2022). Rediseñado de *Ciberseguridad IoT y su aplicación en Ciudades Inteligentes*. Ra-Ma Editorial. (p. 90). [Libro]

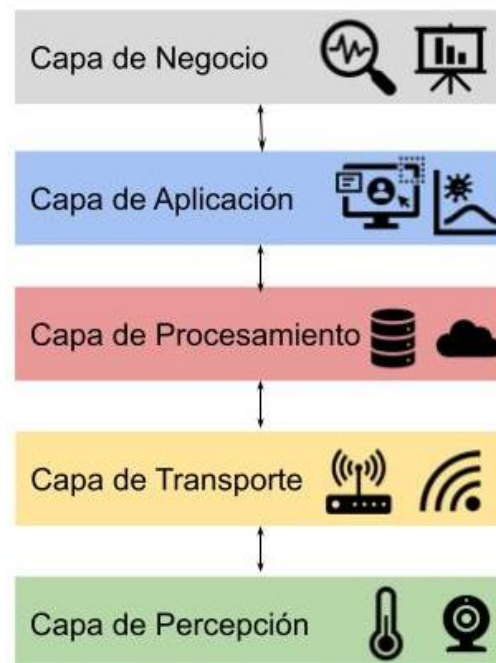
2. Modelo de cinco capas. Se puede ampliar con capas intermedias como se muestra en la Figura 5. El modelo de cinco capas adicionalmente incluye:

- Capa de transporte: es análoga a la capa de red y acota la transmisión de datos y los dispositivos finales desde la capa de percepción a la capa de procesamiento y viceversa.

- Capa de procesamiento: también conocida como capa middleware, Se encarga de transportar, analizar y almacenar los datos de los dispositivos finales y la aplicación IoT.
- Capaz de negocio: gestiona el sistema IoT al completo, incluyendo las aplicaciones, los modelos de negocio y la privacidad de los usuarios finales.

Figura 5

Arquitectura del modelo IoT de 5 capas.



Fuente: Crespo, E. V., & Alonso, I. M. (2022). Rediseñado de *Ciberseguridad IoT y su aplicación en Ciudades Inteligentes*. Ra-Ma Editorial. (p. 93). [Libro]

Entre los componentes del modelo IoT están:

1. Dispositivos: un dispositivo inteligente puede definirse como un objeto virtual o físico capaz de ser identificado e integrado en redes de comunicación. Los dispositivos inteligentes pueden tener características como medidores, calibradores, actuadores, almacenamiento y

procesado de información, ejecución de aplicaciones locales o en nube, etc.

2. Comunicación: los protocolos de comunicación varían dependiendo de los casos de uso y diseño de las aplicaciones IoT. La combinación de diferentes protocolos es práctica común, utilizando gateways y pasarlas al middleware la interoperatividad. Los protocolos pueden ser inalámbricos, como los de corta distancia (Bluetooth, Wi-Fi, NFC, RFID o Zigbee) y protocolos de largo alcance como LoRaWAN, NM-IoT, LTE-M.
3. Control y toma de decisiones inteligente: herramientas de análisis de datos y gestión de datos masivos que nos permiten obtener conclusiones de los patrones de datos generados. Las decisiones inteligentes o informadas dependen sobre todo de la cantidad y calidad de la información disponible para poder tomarlas.

Desde la perspectiva del usuario, es esencial contar con una herramienta apropiada para dar instrucciones al sistema operativo, lo que implica la capacidad del usuario de acceder a los servicios que ofrece el sistema operativo. Estas herramientas son conocidas como interfaz de usuario, actuando como el canal de comunicación e interacción entre el ser humano y la máquina, facilitando la interacción entre dos sistemas que son completamente distintos (Romero, 2023).

La interfaz de usuario en modo gráfico se ha establecido como el principal medio de comunicación entre el usuario y la máquina para configurar y controlar los sistemas operativos modernos. Esta interfaz se fundamenta en un conjunto de elementos visuales como ventanas, iconos, menús desplegables, gráficos e imágenes, que facilitan al usuario realizar acciones de forma intuitiva. Estas interfaces gráficas eliminan la necesidad de que el usuario final posea un amplio conocimiento informático para operar el sistema operativo (Romero, 2023).

2.2.18 Base de datos

Una base de datos se define como un conjunto de información relacionada entre sí, organizada de manera sistemática para facilitar su análisis posterior. Estas bases de datos surgen de la necesidad humana de almacenar información para preservarla a lo largo del tiempo, protegiéndola del deterioro y permitiendo su acceso en el futuro. Existen diversas formas de bases de datos que se encuentran presentes en diferentes ámbitos como empresas, contabilidad, archivos personales, nóminas, inventarios, ventas, datos en la web, almacenamiento en la nube, aplicaciones móviles como hoteles, entre otros ejemplos cotidianos (Pallerola, 2022).

Según Pallerola (2022) existen diferentes clasificaciones de las bases de datos atendiendo a distintas características y necesidades:

1. **Según su variabilidad**, conforme a los procesos de recuperación y preservación de los datos están:
 - Bases de datos estáticas: son típicas de las áreas de análisis histórico, sienta base de datos de solo lectura de la cual se puede extraer información pero no modificarla.
 - Bases de datos dinámicas: estas bases de datos manejan procesos de actualización, reorganización, añadidura y borrado de información.
2. **Según su contenido**, de acuerdo con la naturaleza la información obtenida pueden ser:
 - Bibliográficas: contiene material diverso de lectura como libros revistas y similares ordenada a partir de la información clave como autor, editor, título, año, temática, etc.
 - De texto completo: textos históricos o documentales cuya preservación debe ser primordial.

- Directorios: listados enormes de datos personalizados o de direcciones de correo electrónico, números telefónicos, entre otros.
- Especializadas: bases de datos de información muy especializado técnica pensadas a partir de las necesidades puntuales del público determinado que consume dicha información.

Como menciona Pallerola (2022), existen diferentes tipos de base de datos, podemos encontrar los siguientes ejemplos:

1. MySQL: es una base de datos con licencia general pública, aunque sólo en parte, basada en un servidor. Se caracteriza por su rapidez y no es recomendable para grandes volúmenes de datos.
2. PostgreSQL y Oracle: son sistemas de base de datos poderosos que administran muy bien grandes cantidades de datos y suelen ser utilizados en intranets y sistemas de gran calibre.
3. Access: es una base de datos desarrollada por Microsoft, bajo el programa Microsoft Access.
4. Microsoft SQL server: es una base de datos más potente que Access desarrollada por Microsoft y se utiliza para manejar grandes volúmenes de información.

En las bases de datos, hay similitudes entre ellas en cuanto a su estructura jerárquica, que sigue el orden de tablas, campos, registros y el uso del lenguaje SQL. El lenguaje SQL es ampliamente utilizado en sistemas de bases de datos y permite realizar consultas para mostrar, insertar, actualizar y eliminar información. Cada base de datos contiene una o más tablas que almacenan conjuntos de datos. Estas tablas están formadas por columnas, conocidas como campos, y filas, llamadas registros. Los campos contienen fragmentos de información, y un conjunto de campos forma un registro. Los registros no

tienen nombre, solo un número de orden, pero pueden ser ordenados según diferentes criterios (Pallerola, 2022).

2.3. Variables

2.3.1. Definición conceptual de las variables

La concentración de formaldehído se mide en partes por millón o partes por billón (ppm o ppb) y en otros países se mide en miligramos por metro cúbico (mg/m^3). Es un gas incoloro de olor sofocante, muy soluble en agua, en la cual polimeriza rápidamente (SESCAM, 2018).

2.3.2. Definición operacional de las variables

Para determinar las concentraciones de formaldehído se han desarrollado diferentes métodos, como el de lectura directa con monitores que están compuestos por un sensor que, al entrar en contacto con el gas a medir, genera una señal eléctrica que se registra y que se convierte en unidades de concentración del gas presente en el entorno. Además pueden contar con alarmas programadas que advierten de situaciones peligrosas cuando las concentraciones alcanzan un determinado nivel, realizar mediciones puntuales o de larga duración, etc (ASEPEYO, 2021).

2.4. Glosario de términos

Agente químico peligroso: agente químico que puede representar un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores debido a sus propiedades fisicoquímicas, químicas o toxicológicas y a la forma en que se utiliza o se halla presente en el lugar de trabajo (SESCAM, 2018).

Agente Químico: todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o es producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya elaborado o no de modo intencional y se haya comercializado o no (SESCAM, 2018).

Cancerígenos: sustancias y preparados que pueden producir cáncer o aumentar su frecuencia (SESCAM, 2018).

Equipo de protección personal (PPE): cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin. Son equipos de protección individual: guantes, batas, equipos de protección respiratoria, equipos de protección ocular, etc (SESCAM, 2018).

Exposición: cuando este término se emplea sin calificativos hace siempre referencia a la vía respiratoria, es decir, a la exposición por inhalación. Se define como la presencia de un agente químico en el aire de la zona de respiración del trabajador. Se cuantifica en términos de la concentración del agente obtenido de las mediciones de exposición, referida al mismo periodo de referencia que el utilizado para el valor límite aplicable (SESCAM, 2018).

Formaldehído: es un gas incoloro de olor sofocante, muy soluble en agua, en la cual polimeriza rápidamente. La facilidad de polimerización hace que se emplee como componente de muchas resinas: fenol-formaldehído, urea-formaldehído, poliacetales, melamina, y como desinfectante y conservante en centros sanitarios (SESCAM, 2018).

Formol o formalina: su disolución en agua, con adición de metanol (SESCAM, 2018).

Genotóxico: sustancia capaz de interaccionar con el material genético (ADN) pudiendo provocar su modificación y ocasionar mutaciones o cáncer (SESCAM, 2018).

Límites de exposición a corto plazo (STEL): es un nivel de exposición máximo en un periodo de tiempo (casi siempre de 15 minutos), que nunca debe excederse durante el día laboral (Zhang, 2018).

Media ponderada en el tiempo (TWA): concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada laboral normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas, a la que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin efectos adversos (Zhang, 2018).

Valor límite umbral (TLV): expresan concentraciones en aire de diversas sustancias por debajo de las cuales la mayoría de los trabajadores pueden exponerse sin sufrir efectos adversos (Zhang, 2018).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Según Paitán et al. (2018) la investigación aplicada se caracteriza por utilizar los hallazgos de la investigación básica para abordar los desafíos sociales de una comunidad, región o país. Este tipo de investigación se apoya en los resultados de la investigación básica de las ciencias naturales y sociales y, a partir de estos resultados, se plantean problemas y se formulan hipótesis de trabajo con el objetivo de abordar los problemas. No está limitada exclusivamente a la creación de un producto o servicio, y se considera aplicada cuando los hallazgos de un estudio práctico pueden ser utilizados para establecer pautas sobre tratamientos, métodos de diagnóstico y medidas de prevención secundaria.

Basada en la definición de investigación aplicada, el investigador se apoya en los descubrimientos acerca de los impactos del formaldehído en entornos laborales, tal como se ha explorado en investigaciones anteriores citadas en los documentos revisados. Mediante el diseño de un sistema para monitorear las concentraciones de estos compuestos químicos en un entorno concreto, el estudio tiene como objetivo abordar un desafío social significativo relacionado con la exposición laboral a sustancias carcinogénicas. Más allá de simplemente desarrollar un producto, esta investigación contribuye directamente a la prevención de riesgos laborales y a la mejora de las condiciones de trabajo en este ámbito específico.

El tipo de investigación a aplicarse también se relaciona con datos numéricos, utilizar métodos matemáticos, una serie de procedimientos organizados secuencialmente para validar ciertas suposiciones y análisis con métodos estadísticos. Según Sampieri et al. (2014) la metodología cuantitativa es adecuada cuando se busca estimar magnitudes o frecuencias de fenómenos y probar hipótesis. En la mayoría de los estudios de este tipo, el objetivo es extrapolar los resultados y descubrimientos obtenidos en muestras a una población más amplia. Además, en ocasiones se busca que las investigaciones realizadas sean replicables.

De acuerdo a lo antes expresado, el investigador considera que es de tipo cuantitativa ya que la magnitud de concentraciones de gas formaldehído se medirán en valores numéricos, con la unidad de ppm (partes por millón). El análisis final se llevará a cabo

utilizando métodos estadísticos para examinar los datos recopilados y extraer conclusiones significativas.

Dentro de los tipos de investigaciones cuantitativas se encuentra el diseño no-experimental, como menciona Sampieri et al. (2014), es donde las variables no se manipulan intencionalmente, ya que se observan fenómenos y variables en su entorno natural sin alterarlas. A diferencia de los diseños experimentales, donde se crea una situación controlada para evaluar efectos, en los estudios no-experimentales se analizan situaciones existentes sin influir en ellas.

El investigador considera que es de tipo no-experimental ya que el sistema de monitorización será colocado en un espacio dentro del laboratorio de patología durante un determinado tiempo, sin alterar el nivel de las concentraciones de formaldehído que se produzca a su alrededor.

Los diseños transversales recopilan datos en un único momento temporal. Sus objetivos principales son: describir variables en un grupo de casos (muestra o población) o identificar el nivel/modalidad de las variables en un instante específico, evaluar una situación, comunidad, evento, fenómeno o contexto en un punto temporal concreto; y analizar la presencia de ciertas variables y su interacción en un momento específico, período o lapso de tiempo (Sampieri et al., 2014).

El investigador considera que el diseño de esta investigación es transversal ya que se tomarán datos en un lapso de tiempo en específico, relacionado con el límite de exposición que recomiendan OSHA para el valor ppm promedio durante una jornada laboral de 8 horas o durante un breve lapso de tiempo (generalmente 15 minutos). Para la investigación la muestra se tomará en un solo día.

3.2. Población y muestra

Según Sampieri et al. (2014) en la ruta cuantitativa existen dos tipos generales de estrategias de muestreo: probabilístico y no-probabilístico. En muestras no-probabilísticas, la selección de las unidades no se rige por la probabilidad, sino por consideraciones vinculadas a las particularidades y contexto del estudio. En este

caso, la elección no sigue un proceso mecánico o electrónico basado en fórmulas de probabilidad, sino que se fundamenta en la toma de decisiones de un investigador o equipo, guiados por criterios específicos que no están relacionados con la probabilidad.

En estudios no-probabilísticos, no podemos calcular con certeza el margen de error, lo que dificulta estimar con confianza. Esto limita la capacidad de generalizar los resultados a toda la población, ya que las pruebas estadísticas se basan en la probabilidad. Por lo tanto, los datos en muestras no probabilísticas solo son representativos de esa muestra específica, sin poder extenderse de manera precisa a toda la población.

Algunos métodos comunes de muestreo no probabilístico incluyen:

- Muestreo por conveniencia: Se refiere a un tipo de muestreo en el que el investigador tiene la flexibilidad de seleccionar las muestras basándose en criterios como la proximidad, la disponibilidad y la facilidad de acceso. Este método no implica ningún mecanismo probabilístico en el proceso de selección, y los objetos de la muestra no se eligen al azar (Peña & Fernández, 2019).
- Muestreo intencional o de juicio: Se trata de un tipo de muestreo en el cual la muestra se selecciona en base al criterio profesional del investigador. Este enfoque es común cuando el número de individuos o elementos de interés es reducido. Aunque proporciona resultados más precisos sobre el tema en cuestión, no es posible generalizar dichos resultados a toda la población. Además, la fiabilidad y experiencia del investigador en este ámbito a veces no pueden ser verificadas (Peña & Fernández, 2019).

3.3. Procedimiento de investigación

3.3.1. Planteamiento del problema

El problema se centra en la monitorización de concentraciones de gas formaldehído en laboratorios de patología, ya que es conocido por ser tóxico y cancerígeno, puede causar irritación en los ojos, la nariz, la garganta, problemas respiratorios y cutáneos, entre otros efectos adversos. La importancia de esta investigación radica en la necesidad de garantizar un ambiente de trabajo seguro para el personal de salud, protegiéndonos de los riesgos asociados con la exposición a este compuesto peligroso.

Los objetivos incluyen la revisión de literatura sobre el formaldehído, el diseño de un sistema de monitoreo, y la validación de los resultados medidos con herramientas existentes bajo los límites de exposición permisible de OSHA. La justificación de este estudio se basa en la necesidad de proteger la salud humana frente a los peligros del formaldehído. Además, la investigación contribuye al desarrollo académico y científico, promoviendo la integración interdisciplinaria y el avance en el campo de las ciencias básicas y la investigación científica.

3.3.2. Revisión de la literatura

El formaldehído se emplea en la producción de resinas, plásticos, productos químicos intermedios, así como en la conservación de tejidos y embalsamamiento, siendo esencial en laboratorios médicos y de anatomía (Gupta, 2017). Los laboratorios de patología realizan diversas actividades que involucran el uso de tejidos enfermos, materiales contaminados e infecciosos, siendo cruciales en el análisis y diagnóstico de enfermedades (DiBerardinis et al., 2013).

Diversos estudios han evaluado la exposición al formaldehído en laboratorios de anatomía patológica, revelando concentraciones que superan los límites permisibles y exponen a los trabajadores a riesgos para la salud. Algunos de

los trabajos relevantes incluyen a Rivera Orcoapaza (2015), quien realizó una investigación sobre la concentración de formaldehído en laboratorios de anatomía patológica y su impacto en la salud de los trabajadores.

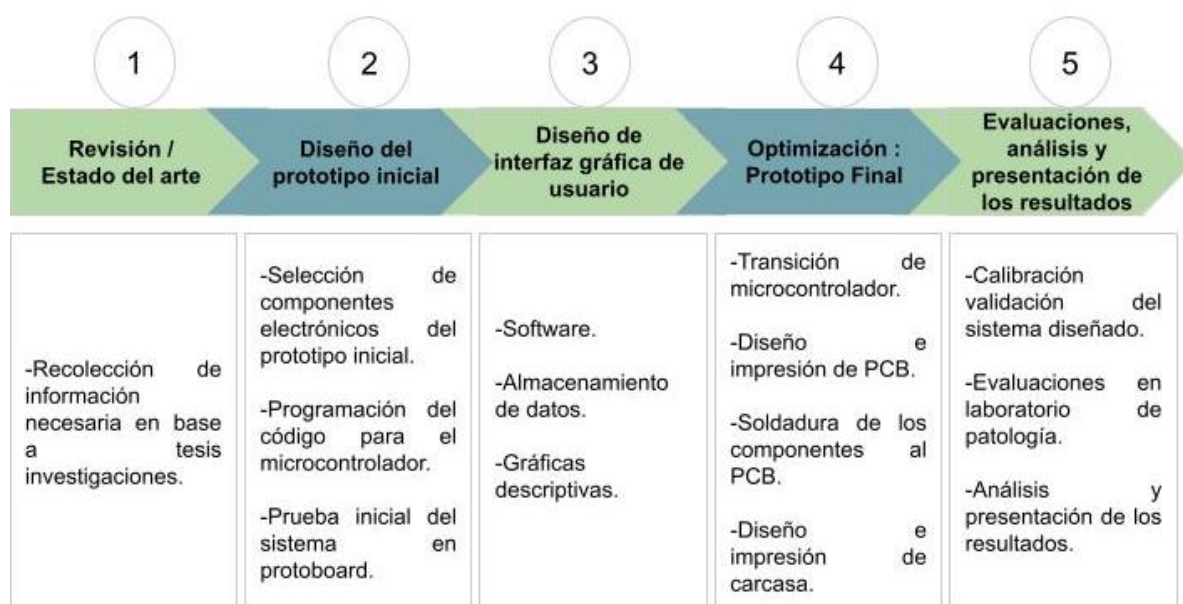
Mora Sánchez (2019) llevó a cabo un estudio sobre la exposición ocupacional al formaldehído en el servicio de anatomía patológica de un hospital, con el objetivo de establecer medidas preventivas y correctivas. Castiblanco Avendaño y Cañón Alfonso (2019) desarrollaron un prototipo de bajo costo para monitorear la calidad del aire en ambientes interiores, lo que podría ser relevante para la monitorización de gases en laboratorios.

3.3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación tendrá un enfoque cuantitativo, no-experimental y transversal; con un tipo de investigación aplicada y con muestreos no-probabilísticos. La investigación se ejecutará mediante cinco etapas, como muestra la Figura 6:

Figura 6

Etapas para el diseño del sistema de monitorización de concentraciones de gas formaldehído



3.3.4. Selección de la muestra

Se utilizará el muestreo no probabilístico, mediante las técnicas de muestreo por conveniencia y muestreo intencional o de juicio.

3.3.5. Recopilación de datos

A continuación, para facilitar una gestión más eficiente y un control más preciso, se describirán las etapas que contienen puntos detallados que conducirán a la identificación de los componentes requeridos para la ejecución de la investigación.

3.3.5.1. Diseño del prototipo inicial

El proceso para el diseño del prototipo inicial, previo a la selección de componentes electrónicos, se basará en el diseño de sistemas de adquisición y procesamiento de datos, como se muestra en la Figura 7 a continuación:

Figura 7

Proceso general del diseño de sistemas de adquisición y procesamiento de datos



El primer paso es la adquisición de datos, la concentración del gas formaldehído es un fenómeno natural y por lo tanto análogo, así que se utilizará un sensor especializado para captarlo. Luego la señal análoga será procesada por el microcontrolador y luego se analizarán los datos obtenidos. Mediante la aplicación de lógica de control se podrá implementar un sistema de alarma, con elementos visuales y sonoros, que alerte cuando el nivel de concentración está por encima de los valores ideales. Finalmente, la información pasará de forma digital a la

pantalla, tanto la que tendrá el monitor como la que estará en las computadoras; este último contará con gráficos para mejor comprensión y análisis posterior.

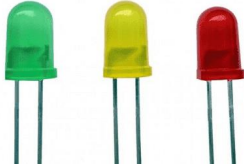
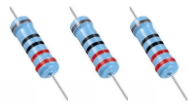
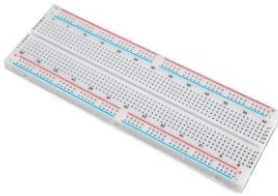
- **Componentes electrónicos del prototipo inicial**

Después de establecer el diseño del prototipo, se avanzará con la selección de los componentes electrónicos requeridos en la Tabla 5, teniendo en cuenta sus características técnicas y su adecuación al proyecto de investigación.

Tabla 5

Componentes electrónicos del prototipo inicial

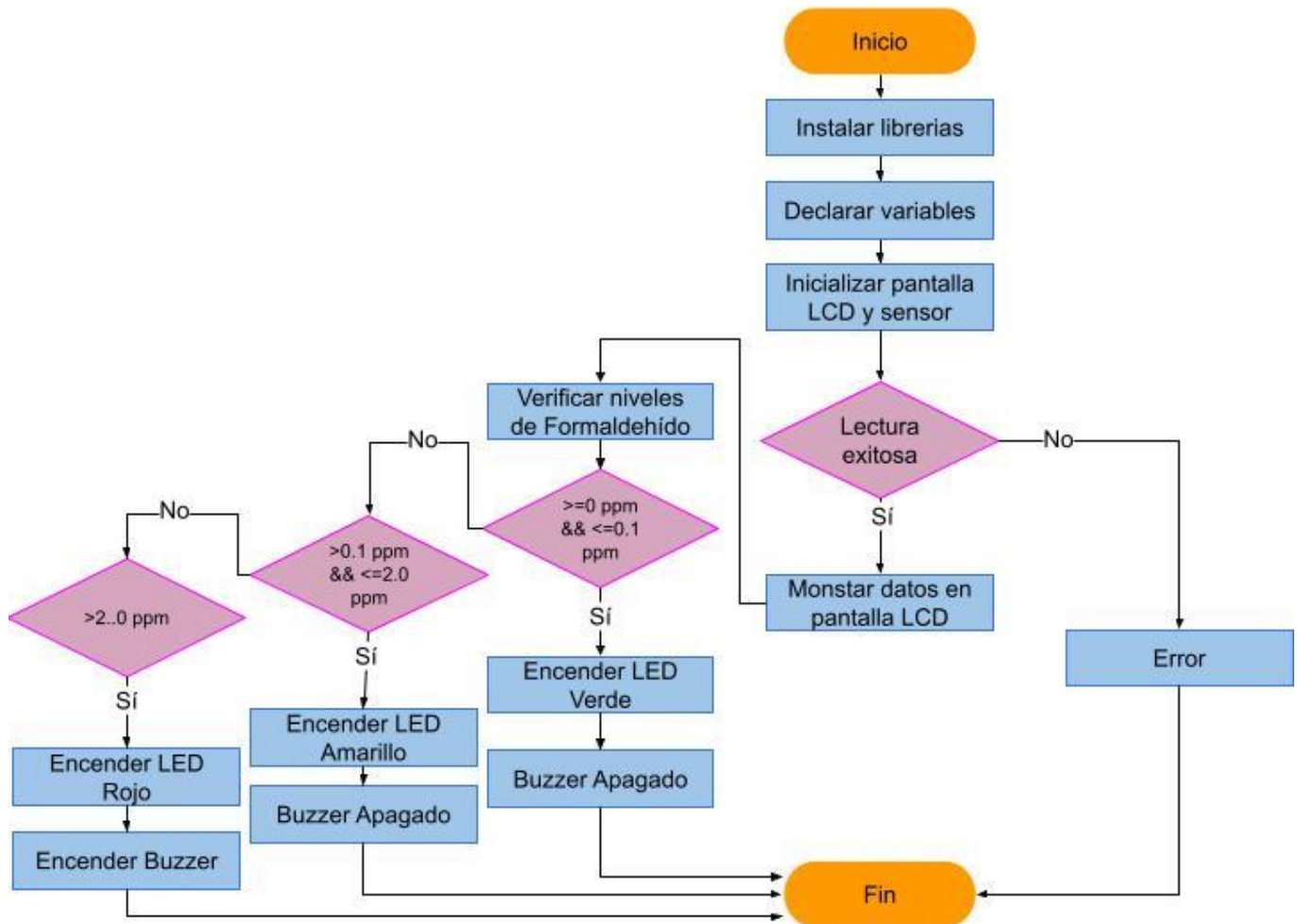
Componente	Imagen	Descripción
Microcontrolador Arduino Uno R3 CH340		Se utilizará el Arduino Uno R3 CH340 ya que posee un microcontrolador basado en el ATmega328P, con 14 pines digitales de entrada/salida, 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, un conector de alimentación y con voltaje de funcionamiento de 5V. Programable con el Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado) a través de un cable USB tipo B (ProtoSupplies, s. f.).
Pantalla LCD 16x2 con módulo I2C		Es la versión I2C del display más común disponible para Arduino y es la más fácil de integrar ya que se comunica solo con 2 pines, dejando el resto disponible para otras conexiones que necesitemos. Cuenta con 2 líneas de 16 caracteres de 8 x 5 píxeles cada uno, disponen de un backlight (luz trasera) que permite usarlos aun sin luz (Electrónica Caribe, s. f.).

Sensor ZE08-CH2O		Sensor de tipo electroquímico para la detección de gas formaldehído. Cuenta con un rango de 0- 5 ppm, una resolución de $\leq 0,01$ ppm, un tiempo de respuesta de ≤ 60 s, ≤ 3 minutos de calentamiento y trabaja a voltajes de 3.7V~9V (Winsen, 2022).
3 Diodos LEDs		Se emplearán como indicadores visuales de alarma, mostrando de manera visual los rangos de niveles de formaldehído permisibles, intermedios y peligrosos.
Resistencias [220 Ω (3), 2k Ω , 3k Ω]		Se emplean para controlar la corriente que atraviesa los LEDs y como divisores de voltaje para el sensor, asegurando un funcionamiento seguro y óptimo.
1 Piezo Buzzer		El buzzer actuará como una señal acústica de alerta cuando los niveles de formaldehído estén por encima de los valores permisibles.
Cables Jumper		Son flexibles y fáciles de conectar y desconectar, lo que nos proporciona una manera sencilla al construir nuestro circuito en el protoboard. Se utilizarán los de tipo macho-macho y macho-hembra.
Protoboard		Es donde se insertarán los componentes electrónicos, cables para el armado prototipado de circuitos electrónicos y sistemas similares.

- Programación del código para el microcontrolador

Figura 8

Diagrama de flujo del código de programación

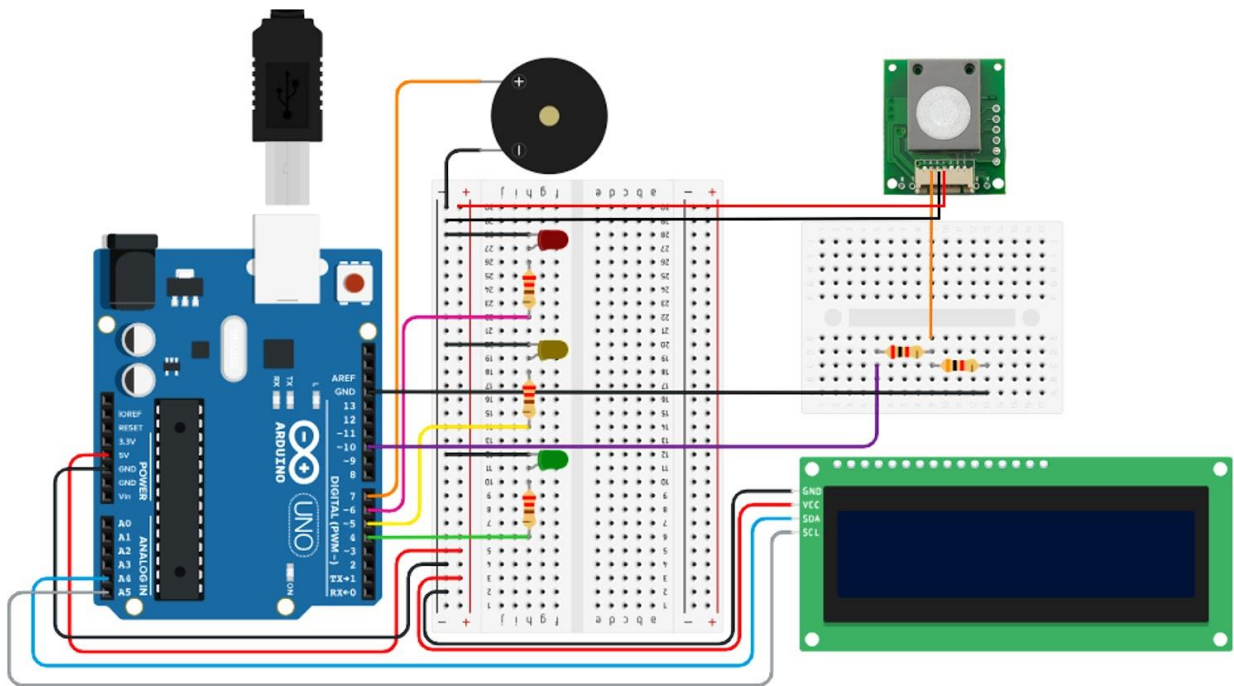


- Prueba inicial del sistema en protoboard

Una vez que los componentes hayan sido elegidos y el microcontrolador programado, se llevará a cabo la disposición física de todos los elementos en el protoboard. Esto posibilitará la realización de pruebas preliminares para confirmar la funcionalidad del sistema, identificar y corregir posibles errores antes de avanzar a la siguiente fase del proyecto. En la Figura 9 se utilizó la herramienta de Tinkercad para diseñar el circuito del prototipo inicial:

Figura 9

Diseño inicial del sistema de monitorización de concentración de formaldehído



Fuente: Esquema propio realizado en Tinkercad

La fase de captura de información empleará un sensor ZE08-CH2O para medir la concentración de formaldehído en el entorno. En la etapa de procesamiento de señales, entra en acción el microcontrolador Arduino Uno R3 CH340, el cual se encargará de capturar, analizar, almacenar y transmitir los datos del sensor. En su programación se establecerán los niveles de partes por millón (ppm) aceptables, intermedios y peligrosos para la salud. Cuando los niveles estén fuera de los rangos intermedios, se activará un sistema de alarmas visuales y sonoras.

La alarma visual consistirá en un semáforo con 3 LEDs: uno amarillo para el rango intermedio, uno rojo para el rango peligroso y uno verde para los niveles aceptables. La alarma sonora se realizará a través de un buzzer y podrá ser desactivada con un botón. Por último, en la fase de visualización de resultados se incorporará una pantalla LCD I2C para presentar de forma clara los resultados del monitoreo.

3.3.5.2. Diseño de interfaz gráfica de usuario

A continuación, se llevará a cabo la creación y desarrollo de una interfaz gráfica con el propósito de mejorar la presentación de la información al usuario. El proceso de diseño y desarrollo de la interfaz gráfica se dividirá en varias etapas, cada una de las cuales requerirá una atención particular.

En el diseño de la interfaz gráfica de usuario de este proyecto, se consideran dos tipos de interfaces para la visualización de datos.

- **Interfaz Física en Pantalla LCD:** Esta interfaz se mostrará en la pantalla LCD del monitor de formaldehído. Se exhibirán de manera clara los valores de concentración de formaldehído en partes por millón (ppm) y miligramos por metro cúbico (mg/m³). Además, se incorporará un indicador que reflejará el nivel de concentración de formaldehído, el cual estará clasificado en tres categorías: bajo, medio y alto. Este indicador notificará al usuario acerca de la seguridad del entorno con respecto a dicho compuesto químico.
- **Interfaz en Línea a través de Arduino IoT Cloud:** Mediante Arduino IoT Cloud, se desplegará un panel en línea accesible desde dispositivos con conexión a internet. Este presentará gráficos en tiempo real de las mediciones de HCHO en partes por millón y miligramos por metro cúbico, posibilitando la supervisión continua y a distancia de los niveles de formaldehído. El panel en línea es óptimo para mantener un registro visual y acceder de manera remota a la evolución de las mediciones, lo que facilita el análisis de tendencias y el monitoreo de la calidad del aire.
- **Software**
Para desarrollar interfaces gráficas destinadas a sistemas de monitorización que cuentan con sensores conectados a un

Arduino, es factible emplear el Arduino IoT Cloud, un recurso de gran capacidad especializado en la creación de paneles visuales y en el seguimiento en tiempo real de dispositivos, resultando idóneo para proyectos como el control de niveles de formaldehído. En este proyecto, se empleará el software para desarrollar un panel de control que permita la visualización en tiempo real de los datos y exhiba los niveles de HCHO. Asimismo, el código en C++ tiene la capacidad de ser adaptado para la programación de la adquisición de datos de sensores y la posterior sincronización de la información en la nube (Söderby, 2024).

- **Almacenamiento de datos**

Para almacenar y administrar los datos de medición de formaldehído con Arduino IoT Cloud, el software incluye herramientas integradas que posibilitan la constante inserción de variables en la nube. Según el sensor de formaldehído detecta las concentraciones en ppm y mg/m³, estos datos pueden asociarse a parámetros en Arduino IoT Cloud. Cada lectura reciente se guarda con su fecha y hora exactas de captura y esto se logra gracias a la capacidad de Arduino IoT Cloud para registrar automáticamente la marca de tiempo de cada dato, lo que simplifica el seguimiento ordenado de las mediciones.

Con el objetivo de facilitar la gestión y análisis de estos datos, el software ofrece la posibilidad de exportar el historial en formato CSV (Comma-Separated Values o Valores Separados por Comas). Este formato es muy compatible y resulta especialmente útil al transferir datos a aplicaciones de análisis de datos como Microsoft Excel. Una vez el archivo haya sido exportado en formato CSV, se podrá abrir en Excel. Cada entrada de datos se presentará en filas, con columnas para la fecha, hora, así como los valores medidos de HCHO en partes por millón y miligramos

por metro cúbico. Esto simplifica la creación de tablas ordenadas y posibilita la manipulación y visualización de los datos de manera estructurada.

Con los datos organizados en tablas dentro de Excel, es posible utilizar funciones avanzadas para analizar y representar la información, como por ejemplo crear gráficos que muestren tendencias y calcular promedios, máximos y mínimos. Estos análisis ofrecen un mayor entendimiento sobre los patrones de concentración de formaldehído, lo cual facilita a los usuarios la identificación de momentos específicos en los que se registraron niveles elevados o reducidos.

3.3.5.3. Optimización : Prototipo Final

Durante esta etapa del proyecto, se dará inicio a la optimización del prototipo inicial con el fin de elevar tanto la calidad como el rendimiento del sistema.

- **Transición de microcontrolador**

La transición de un Arduino Uno R3 CH340 a un ESP32 en un proyecto de monitorización de formaldehído puede justificarse por las ventajas de conectividad inalámbrica y almacenamiento de datos que ofrece el ESP32. El ESP32 es un microcontrolador más potente que el Arduino Uno, con capacidades WiFi y Bluetooth integradas, lo que lo convierte en una opción ideal para proyectos IoT (Kurniawan, 2019).

Esto significa que el ESP32 puede integrarse fácilmente con una red inalámbrica, permitiendo la transmisión de datos en tiempo real y la monitorización remota de las concentraciones de formaldehído. Además, el ESP32 tiene más memoria y capacidad de procesamiento que el Arduino Uno, lo que es

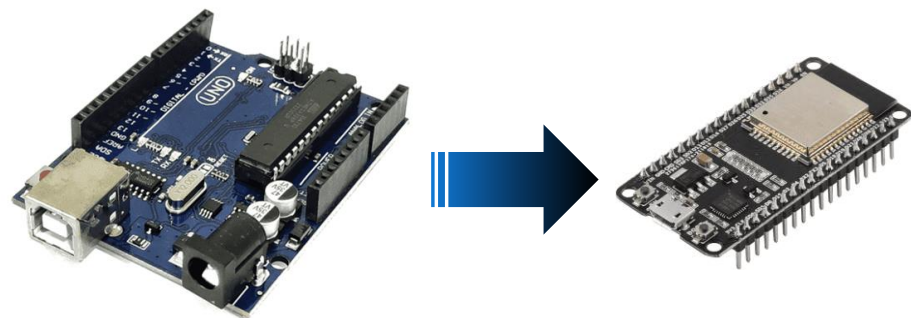
esencial para manejar algoritmos complejos y tareas de procesamiento de datos.

El ESP32 tiene memoria flash integrada, que puede utilizarse para almacenar registros de datos, ajustes de configuración y otra información relevante. Esto resulta especialmente útil en situaciones en las que no se dispone de una conexión constante a Internet, o cuando es necesario almacenar datos para su posterior análisis (Kurniawan, 2019).

Sin embargo, hay algunos retos a tener en cuenta en la transición de un Arduino Uno a un ESP32. Por ejemplo, el ESP32 funciona a un nivel de tensión más bajo (3,3 V) que el Arduino Uno (5 V), lo que significa que puede ser necesario un convertidor de nivel de tensión para evitar dañar el ESP32.

Figura 10

Transición del Microcontrolador



- **Transición de pantalla LCD**

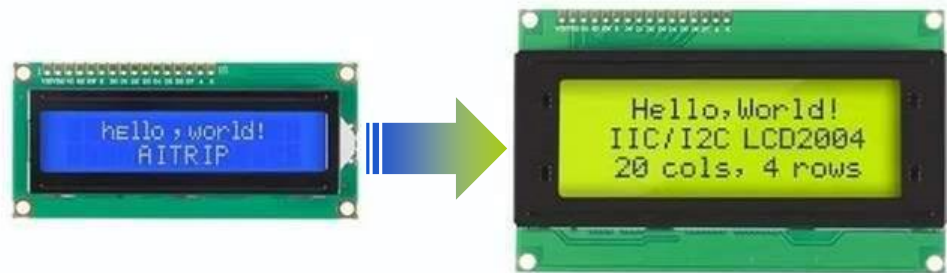
La transición de una pantalla LCD 16x2 con interfaz I2C a una pantalla LCD 20x4 con la misma interfaz es muy ventajosa, especialmente para proyectos como este que requieren la visualización de varios datos. La pantalla LCD de 16 columnas y 2 filas permite la visualización de hasta 32 caracteres en total.

La LCD de 20 columnas y 4 filas permite hasta 80 caracteres en total (Scherz & Monk, 2016).

La LCD 20x4 ofrece más espacio para mostrar información con 48 caracteres adicionales, esto es ventajoso cuando se necesita visualizar múltiples datos del sensor simultáneamente, así como el estado de concentración medida.

Figura 11

Transición de la pantalla LCD 16x2 a 20x4



- **Módulo de Potencia Ajustable DC Step Up Boost**

El convertor de corriente DC-DC SX1308 es un dispositivo ajustable que transforma una tensión de entrada en una tensión de salida superior. Este tipo de convertidor resulta beneficioso en situaciones en las que la fuente de energía suministra un voltaje inferior al necesario para el funcionamiento del dispositivo o circuito que precisa ser alimentado. En este proyecto usaremos el DC-DC SX1308 Step-UP Módulo de Potencia Ajustable DC Step Up Boost Convertidor Ajuste Fuente de Alimentación 2-24V a 2-28V 2a para el funcionamiento de la pantalla LCD y el buzzer ya que estos requieren un voltaje mayor (5V) al suministrado.

Figura 12

Módulo de Potencia Ajustable DC Step Up Boost DC-DC SX1308

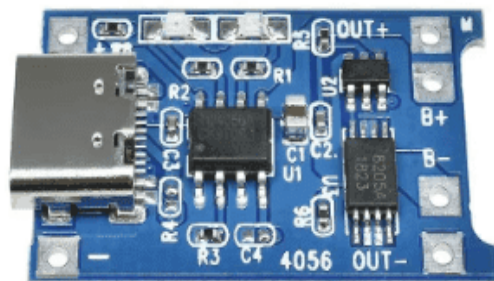


- **Módulo de carga tipo-C de batería de litio**

El módulo de carga TC4056A se ha consolidado como una alternativa ampliamente reconocida para el proceso seguro y eficaz de carga de baterías de litio, en particular las de formato 18650. Este módulo incluye tanto el chip TP4056, el cual es un circuito integrado especializado en la gestión de carga de baterías de litio, como un sistema de protección complementario.

Figura 13

Módulo cargador de placa de carga de batería de litio TC4056A



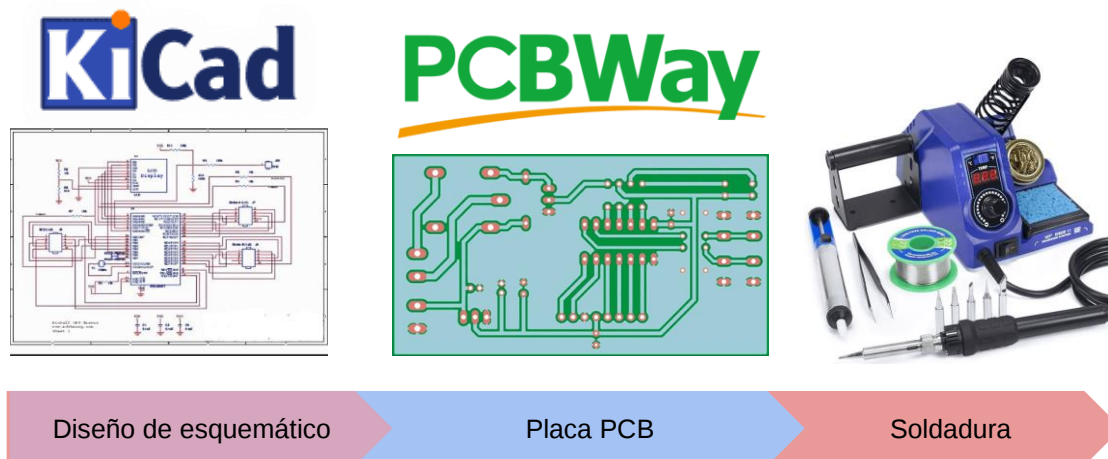
- **Diseño e impresión de PCB y soldadura de los componentes.**

Como muestra la Figura 14, primero se diseñará el esquemático del circuito utilizando el software KiCad para el diseño de la PCB. Luego, se creará el diseño de 2 PCB, teniendo en cuenta la disposición de los componentes y las pistas de conexión. La primera PCB tendrá el sistema de alarma con las luces led y el buzzer, la segunda PCB tendrá el microcontrolador ESP32, los pines de conexión para el sensor, la pantalla LCD y alarma, el módulo de Potencia Ajustable DC Step Up Boost y el módulo de carga tipo-C de batería de litio. Luego se utilizará PCBWay para fabricar la PCB diseñada en KiCad, enviando los archivos generados desde el software y especificando los detalles técnicos como dimensiones, capas y acabados para su producción.

Una vez impresas las placas, los componentes se sueldan en ella. Para soldar los componentes, se utilizan técnicas como soldadura manual con un soldador de precisión. Todos estos procesos se muestran en la Figura 14:

Figura 14

Proceso de diseño de placas de circuito impreso (PCB) y la conexión de componentes electrónicos a través de soldadura.



- **Diseño e impresión de carcasa.**

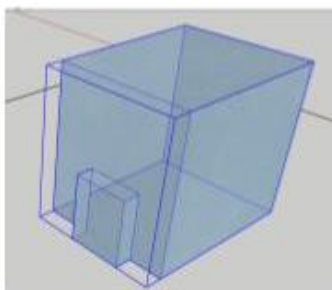
Se diseñará e imprimirá en 3D una carcasa para el sistema de una monitorización de concentración de formaldehído, ya que ofrece la posibilidad de personalización, rapidez en la producción, eficiencia en costes y adaptación precisa al diseño requerido.

El modelado 3D de la carcasa del dispositivo fue realizado utilizando el software Autodesk Fusion 360. Este programa se seleccionó por su capacidad para integrar herramientas de diseño paramétrico, modelado de superficies y simulación, permitiendo un desarrollo eficiente y preciso del diseño. Gracias a estas funcionalidades, se logró un modelo optimizado y ajustado a los requerimientos del proyecto (Autodesk, Inc., 2025).

Una vez diseñado el modelo se imprime utilizando filamento PLA como material de impresión debido a sus propiedades mecánicas adecuadas y facilidad de procesamiento, las piezas son limpiadas y ensambladas manualmente para formar la estructura final del dispositivo. Todos estos procesos se muestran en la Figura 15:

Figura 15

Diseño e impresión 3D de carcasa.



Diseño de carcasa en Software

Impresión 3D

Carcasa impresa

3.3.5.4. Evaluaciones, análisis y presentación de los resultados

- **Calibración y validación del sistema diseñado**

La calibración de un dispositivo en la etapa de diseño es un paso crucial para asegurar su exactitud y fiabilidad. Para lograrlo, es necesario crear una curva de calibración a partir de los valores extremos obtenidos durante las pruebas experimentales. Estos valores deben ser confrontados con los que ofrece una herramienta de validación que ha sido calibrada previamente en la fábrica, lo que facilita el ajuste del sistema y la reducción de errores. La aplicación de este proceso garantiza que el dispositivo funcione dentro de los parámetros previstos y cumpla con los estándares de calidad exigidos (Manuel et al. , 2019).

La expresión de una curva de calibración suele representarse mediante una ecuación lineal de la siguiente manera:

Ecuación 2. *Curva de calibración*

$$y = mx + b \quad (2)$$

Donde y es el resultado del dispositivo o instrumento que se está calibrando, x es el valor conocido o la entrada que está asociada al dispositivo, m representa la pendiente de la curva, la cual indica cómo se relacionan las variaciones en y con las variaciones en x ; y finalmente b es el punto de intersección en el eje y , que señala el valor de y cuando $x = 0$.

Esta ecuación se despeja la x , en el Anexo 13, para correlacionar la salida del dispositivo con los valores de referencia conocidos, mediante la comparación entre la respuesta medida y la respuesta esperada de un instrumento de validación que ya ha sido calibrado.

Con el fin de garantizar la exactitud y fiabilidad del sistema de monitorización, se realizará también una validación comparativa empleando un monitor digital de formaldehído como punto de referencia. La importancia de la validación de un sistema diseñado radica en garantizar su funcionalidad, confiabilidad y adecuación a los requerimientos establecidos.

La validación asegura que el sistema cumpla con su propósito de manera efectiva y que los resultados obtenidos sean precisos y confiables. Según los recursos consultados, la validación de un sistema es esencial para evitar consecuencias negativas, como la falsificación o el fracaso en la implementación de un sistema ineficaz. Es un proceso que va más allá de la confiabilidad, abarcando la validez del sistema, es decir, que mida lo que debe medir de manera precisa. La validación se apoya en metodologías específicas que garantizan la calidad y la utilidad del sistema diseñado, asegurando que cumpla con los estándares y requisitos establecidos (Fernández et al., 2019).

- **Evaluaciones en laboratorio de patología**

Las evaluaciones se llevarán a cabo durante dos días, en un laboratorio de patología, en varias ubicaciones: la principal será en la mesa de tallado de muestras, la secundaria será cerca del procesador de tejidos y la tercera en los alrededores del laboratorio. Es importante evaluar las concentraciones de formaldehído en estas áreas para garantizar la seguridad de los trabajadores y el cumplimiento de los límites de exposición recomendados.

En la mesa de tallado, se recomienda realizar evaluaciones de concentración de formaldehído debido a la manipulación directa de muestras y la posibilidad de derrames y salpicaduras. La concentración del formaldehído en la disolución fijadora, la

distancia entre el punto de operación y la zona respiratoria del trabajador, el tamaño y número de piezas a procesar, y los factores organizativos como el tiempo de exposición y la ubicación del almacén de muestras son factores que pueden influir en las concentraciones de formaldehído en el aire (SESCAM, 2018).

Además, se recomienda realizar evaluaciones de concentración de formaldehído cerca del procesador de tejidos, ya que la alta temperatura y la agitación pueden aumentar la evaporación de formaldehído en la disolución fijadora. (SESCAM, 2018).

3.3.6. Análisis de datos

- **Estadística descriptiva**

Estadística descriptiva es una rama de la estadística que se encarga de recoger, organizar y analizar datos de una población. Los métodos y técnicas utilizados en estadística descriptiva incluyen la recopilación y organización de datos a partir de observaciones de ciertas características asociadas al objeto de la población. Estos datos se esquematizan mediante tablas, gráficas o dibujos para mostrar el comportamiento de la población en relación con determinadas características de sus objetos (Peña & Fernández, 2019).

Además, se resumen los datos obtenidos a través de observaciones mediante algunos datos representativos, como promedios, medidas de dispersión y frecuencias. Por último, según Peña y Fernández (2019), la estadística descriptiva analiza la relación de dependencia entre los objetos de la misma población, lo que permite identificar patrones y tendencias en los datos.

Los gráficos sintetizan la información dejando entrever varias propiedades de las muestras entre estas la aglomeración de los datos y la tendencia de agruparse en ciertos valores de la variable de estudio.

- **Gráfica lineal (comparativa)**

Como describen MacFarland y Yates (2021) un gráfico de líneas se utiliza para mostrar la distribución de datos numéricos continuos. Los datos continuos son aquellos que pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo. Los gráficos de líneas se utilizan para mostrar tendencias y relaciones, especialmente cuando se agrupan con otras líneas.

La línea visible de un gráfico de líneas se prepara como una serie de puntos de datos llamados marcadores. Estos marcadores representan los valores de los datos en el eje Y, y están conectados por segmentos de línea recta. La línea visible del gráfico de líneas ayuda a mostrar las tendencias y patrones en el conjunto de datos. La línea conecta los puntos de datos y muestra cómo los valores cambian a lo largo del eje X. Los gráficos de líneas son útiles para mostrar cambios en el tiempo de una variable continua (MacFarland & Yates, 2021).

Dos o más gráficos de líneas pueden superponerse para crear gráficos comparativos, lo que permite mostrar múltiples series de datos en un solo gráfico. Esta visualización ayuda a identificar las diferencias y similitudes entre conjuntos de datos, facilitando la comparación y el análisis.

Los gráficos a menudo pueden resultar engañosos en la interpretación de los datos, lo que puede generar confusión. Por otro lado, las medidas de resumen proporcionan una manera objetiva de comparar las propiedades de los conjuntos de datos y hacerlos comparables. Estos indicadores cuantitativos permiten contrastar las características de los datos de forma más precisa. Las fórmulas utilizadas para calcular estas medidas se conocen como estadígrafos, y facilitan la comprensión de la información contenida en una muestra sin la necesidad de revisar individualmente cada dato (Alexis & Javier, 2021).

- **Media aritmética o promedio**

Según Alexis y Javier (2021) una adecuada comparación de la media aritmética puede ser vista como una balanza. De esta manera, la media aritmética proporciona un valor representativo que equilibra la distribución de los datos en torno a un punto central. Al igual que una balanza, la media aritmética se ve afectada por la cantidad y la distancia de los datos, lo que la convierte en una medida estadística útil para describir y comparar conjuntos de datos.

La media aritmética se calcula sumando todos los valores de los datos y dividiendo este resultado por el número total de datos en la muestra. Como muestra la siguiente fórmula, en donde el conjunto de n datos está formado por valores $x_1, x_2, \dots, x_n$:

Ecuación 3. Promedio de valores

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3)$$

- **Precisión y Repetibilidad**

El análisis estadístico de precisión y repetibilidad es fundamental al comparar dos métodos, ya que permite evaluar la consistencia y la variabilidad de los resultados obtenidos por cada método. Esto es crucial para determinar si existen diferencias significativas entre los dos métodos y si uno es más preciso y repetible que el otro. Además, al realizar este análisis, se pueden identificar posibles fuentes de error y establecer la confiabilidad de los resultados, lo que es esencial para la toma de decisiones basadas en datos precisos y confiables. Por lo tanto, el análisis estadístico de precisión y repetibilidad proporciona una base sólida para la comparación de métodos y garantiza la validez y la robustez de los resultados obtenidos en cualquier estudio o experimento (Hurtado et al., 2017).

- **Error experimental**

El error experimental resulta ser un elemento fundamental en las mediciones de concentración de formaldehído, ya que nos permite evaluar tanto la precisión como la exactitud de los datos obtenidos, ya sea a través de un instrumento de referencia o del sistema que hemos diseñado. Este tipo de error puede surgir por diversas razones, como variaciones en las condiciones de medición, la calibración de los instrumentos o la incidencia de factores ambientales. Para calcular el error experimental, se utiliza el error relativo porcentual, que se determina mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Error relativo porcentual

$$E\% = \left(\frac{|V_{medido} - V_{real}|}{V_{real}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde *Vmedido* representa el valor obtenido a través del sistema diseñado y *Vreal* se refiere al valor de referencia. Según Bevington y Robinson (2003) subrayan la relevancia de la estadística en la minimización y comprensión de los errores experimentales, lo que garantiza una interpretación fiable de los datos recogidos.

- **Métodos de Concordancia**

La concordancia permite determinar la fiabilidad y la consistencia de los resultados obtenidos, lo cual es fundamental para garantizar la validez de los estudios y la toma de decisiones clínicas basadas en mediciones precisas. Por ejemplo se puede utilizar el Método de Bland-Altman, que compara dos métodos de medición cuantitativa mediante un gráfico de diferencia versus promedio. Permite identificar la presencia de sesgo sistemático y evaluar la concordancia entre los métodos. Se analiza la media de las diferencias y los límites de concordancia, que indican el rango dentro del cual se espera que se encuentren la mayoría de las diferencias entre los métodos. Si las diferencias se distribuyen aleatoriamente alrededor de cero y caen dentro de los límites de

concordancia, se considera que hay una buena concordancia entre los métodos. Si hay una tendencia o si las diferencias superan los límites, esto puede indicar un error sistemático o una falta de concordancia (Carrasco & Jover, 2004).

3.3.7. Interpretación de resultados

Luego de obtener los resultados analizarán con las preguntas posteriormente establecidas:

- ¿Cuáles son los niveles que se manejan, en el laboratorio de patología del HN, en el uso del formaldehído?

Esta se responderá con los valores promedios que se obtendrán en cada ubicación, durante los diferentes tiempos de toma de muestras.

- ¿Podría diseñarse un sistema de monitoreo de formaldehído con una efectividad similar a la de los equipos comerciales?

Esta se responderá con el valor de concordancia que se tenga entre el sistema diseñado y el sistema de referencia comercial.

- ¿Los resultados que se obtendrán estarán por debajo o sobre algún límite de exposición permisible establecido por organizaciones internacionales como OSHA?

Esta se responderá con los valores promedios que se obtendrán en cada ubicación, durante los diferentes tiempos de toma de muestras y así determinar si está por encima o por debajo de lo que establece OSHA.

- ¿Qué normativa o estándar de exposición ocupacional límite podría utilizarse en Panamá?

Esta se responderá luego de saber si los niveles de concentración de formaldehído son cercanos al límite OSHA, que según la revisión de literatura que se realizó, es la que se estableció en el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2001.

Además, se responderán si se cumplieron con los objetivos específicos:

- I. Si se realizó una revisión exhaustiva de la literatura sobre el formaldehído, sus efectos en la salud, las regulaciones existentes para su control en laboratorios de patología y los métodos de monitorización existentes.
- II. Si se diseñó un sistema de monitoreo para las concentraciones de gas formaldehído en el ambiente del laboratorio de patología.
- III. Si se validó los resultados medidos del sistema diseñado con una herramienta existente (monitor de Formaldehído) bajo los límites de exposición permisible de OSHA.

3.3.8. Informe de resultados

Al final se debe presentar de manera clara y objetiva los resultados obtenidos en el estudio. Incluyendo las tablas, gráficos o cualquier otro recurso visual que ayude a interpretar los datos recopilados. Mostrar cómo funcionará el sistema de monitorización y qué conclusiones se pueden extraer de los datos obtenidos, incluyendo responder si se lograron los objetivos planteados, qué implicaciones tienen los resultados en el contexto del monitoreo de gas formaldehído en el laboratorio de patología del HN.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Métodos de análisis

Previo a las mediciones en sitios se llevó a cabo la calibración del dispositivo diseñado, utilizando como referencia una herramienta de validación. Para ello, se identificaron los valores mínimo y máximo de medición bajo condiciones específicas: los valores mínimos se registraron en un entorno externo al laboratorio, mientras que los máximos se obtuvieron cerca de un contenedor de formalina destapado. Con base en estos datos, en el Anexo 13, se calcularon los parámetros de calibración mediante la aplicación de la ecuación de ajuste lineal, obteniendo así la pendiente (m) y la intersección (b). Estos valores fueron incorporados en la programación del dispositivo con el fin de verificar si, luego de la calibración, las mediciones de ambos equipos reflejaban una alta concordancia. Una vez confirmada la precisión del ajuste, se avanzó en la realización de las pruebas en el laboratorio.

En el marco de esta investigación, se realizaron mediciones comparativas entre el sistema de monitoreo de concentración de formaldehído desarrollado y un monitor comercial. Estas mediciones tuvieron lugar en el Hospital del Niño (HN), específicamente en el laboratorio de patología, durante el día 20 de febrero del 2025. El estudio se llevó a cabo en horario matutino (9:30 a.m. - 12:30 a.m.), siguiendo las directrices de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) para el límite de exposición permisible a corto plazo al formaldehído.

En cada área, se realizaron lecturas simultáneas de 15 minutos con ambos dispositivos: el monitor diseñado específicamente para este estudio y un monitor comercial utilizado como referencia. Los datos del dispositivo diseñado se almacenan automáticamente, mientras que para el monitor comercial, que carecía de capacidad de almacenamiento automático, se grabaron videos de las lecturas realizadas durante el mismo periodo.

Las mediciones se efectuaron en cuatro áreas distintas del laboratorio de patología, denominadas Área A, Área B, Área C y Área D. Estas áreas fueron seleccionadas estratégicamente para evaluar los niveles de exposición al formaldehído y su posible impacto en la salud del personal hospitalario.

Para el Hospital del Niño (HN) las áreas de medición fueron las siguientes:

- **Área A: Mesa de tallado.** Se seleccionó debido a la manipulación directa de muestras y a la posibilidad de derrames y salpicaduras durante el procesamiento de tejidos.
- **Área B: Recepción de muestras.** Ubicada en un espacio cerrado próximo a la mesa de tallado, donde se almacenan galones de formalina utilizados para la fijación de tejidos.
- **Área C: Procesador de tejidos.** Incluye equipos como el procesador ASP300s de Leica, recientemente adquirido, que opera al vacío. Las altas temperaturas y la agitación durante el procesamiento pueden incrementar la evaporación del formaldehído contenido en las soluciones fijadoras.
- **Área D: Depósito de reactivos.** Situada al final del laboratorio, en un espacio utilizado para almacenar galones de formalina sellados. Esta área fue incluida debido a la percepción de un fuerte olor en los alrededores.

Como parte del análisis, se elaborarán gráficos lineales comparativos para visualizar los resultados obtenidos con ambos métodos de monitorización, junto con los promedios calculados para cada uno. Además, la evaluación de la concordancia entre los dispositivos que se realizó mediante el análisis de Bland-Altman, utilizando los datos recopilados durante las pruebas. Este enfoque permitió identificar posibles discrepancias y evaluar la precisión relativa de ambos sistemas de monitoreo.

4.2. Análisis de datos

En la siguiente sección se abordará el análisis de resultados, destacando los datos obtenidos de manera objetiva y sistemática. Para una mejor comprensión, se emplearán tablas, gráficos, figuras y otros recursos visuales que representen con precisión la información procesada. Además, se detalla la descripción de los escenarios observados en cada área del hospital durante el día que se realizaron las

mediciones, ofreciendo un contexto claro de las condiciones en las que se desarrolló la investigación.

4.2.1. Monitorización del Día 20 de Febrero - HN

- **Área A:** Las mediciones se realizaron en ausencia de personal manipulando tejidos. Sin embargo, se registraron residuos de formaldehído en el ambiente debido a la presencia de algunos contenedores con muestras en formalina.
- **Área B:** Se midió la concentración cerca de los galones de formol utilizados a diario.
- **Área C:** Las lecturas se efectuaron en proximidad al procesador ASP300s de Leica, recientemente adquirido, el cual trabaja al vacío, al igual que el modelo Histocore Pegasus.
- **Área D:** Las mediciones se efectuaron cerca de los depósitos de formol en el área de almacenamiento de reactivos.

A continuación, se mostrarán los gráficos y análisis de Bland Altman de cada área:

Figura 16

Gráfica de HN - 20/02/2025, Área A: Mesa de tallado - HCHO (mg/m³)

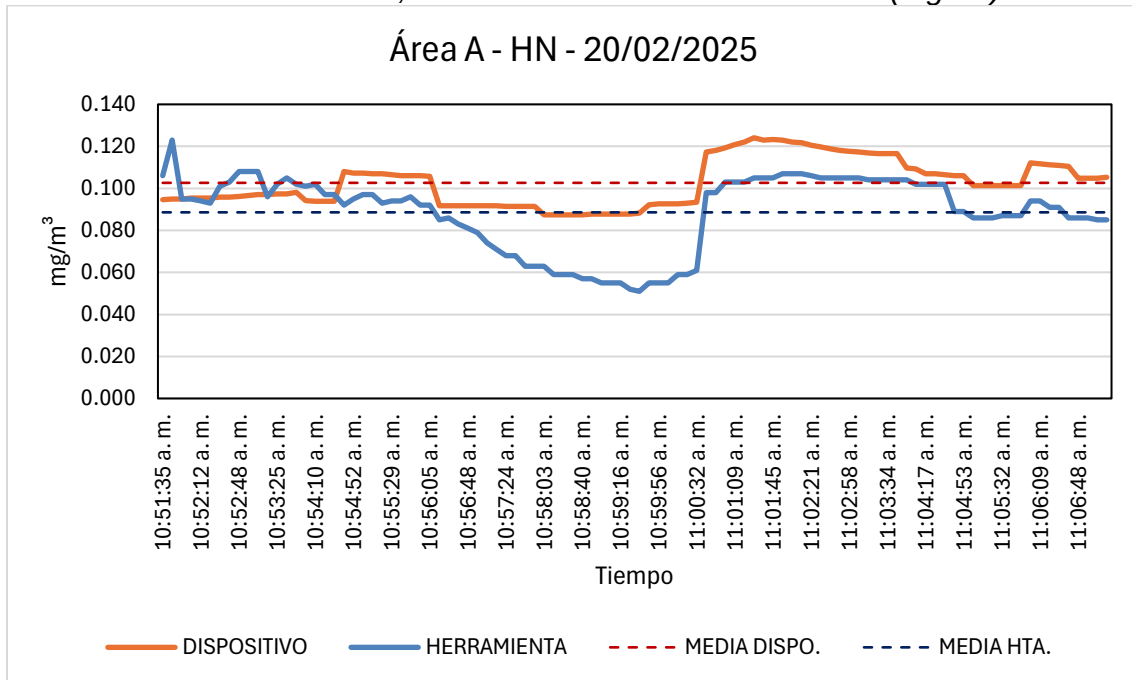
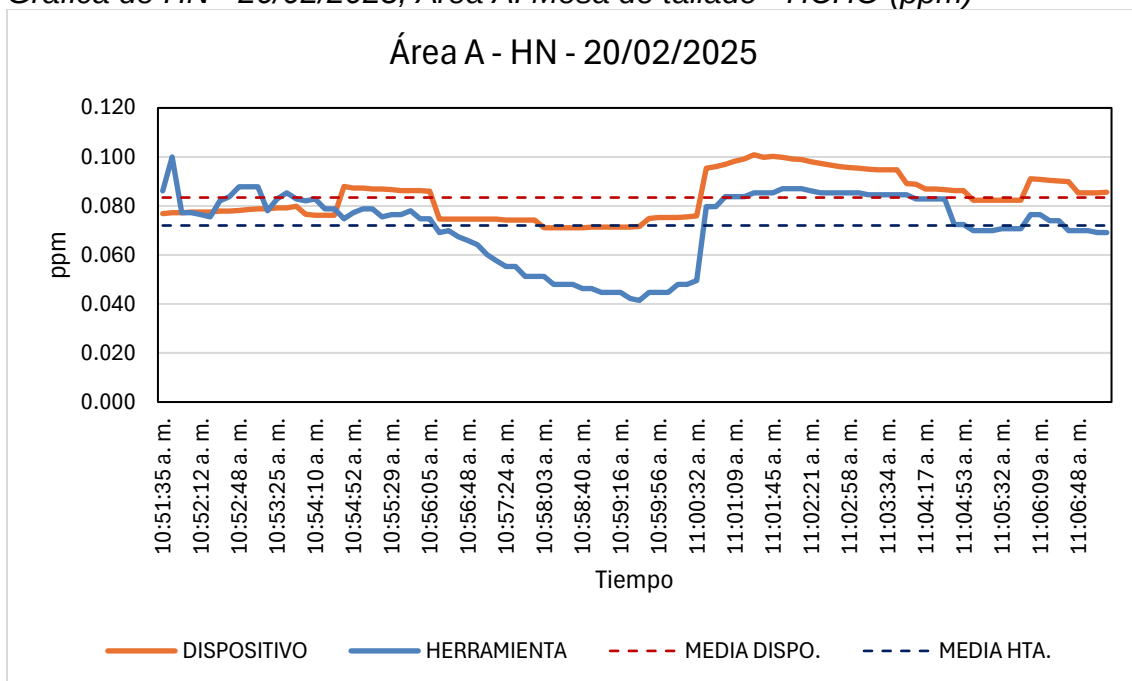


Figura 17

Gráfica de HN - 20/02/2025, Área A: Mesa de tallado - HCHO (ppm)



El valor promedio de las mediciones en el área de las Figura 16 y Figura 17 fueron de 0.083 ppm (0.103 mg/m³) en el dispositivo diseñado y 0.072 ppm (0.089 mg/m³) en la herramienta.

Tabla 6

Resultado del análisis Bland-Altman en Área A (HN - 20/02/2025)

Parámetros	Valor	S.E.	Inferior	Superior
Diferencia media	0.014033	0.00129395	0.01146552	0.01660048
Límite inferior	-0.01132799	0.00221871	-0.0157304	-0.00692558
Límite superior	0.03939399	0.00221871	0.03499158	0.0437964
Desviación estándar	0.012939518			

Se registra una diferencia media de 0.014 mg/m³, con un error estándar de la media (S.E) de 0.001 mg/m³. A la vez, se muestran los límites en un rango de -0.01 a 0.039 mg/m³. Posee una desviación estándar de las diferencias es 0.013 mg/m³.

Figura 18

Análisis de Bland-Altman, HN - 20/02/2025, Área A: Mesa de tallado - HCHO (mg/m³)

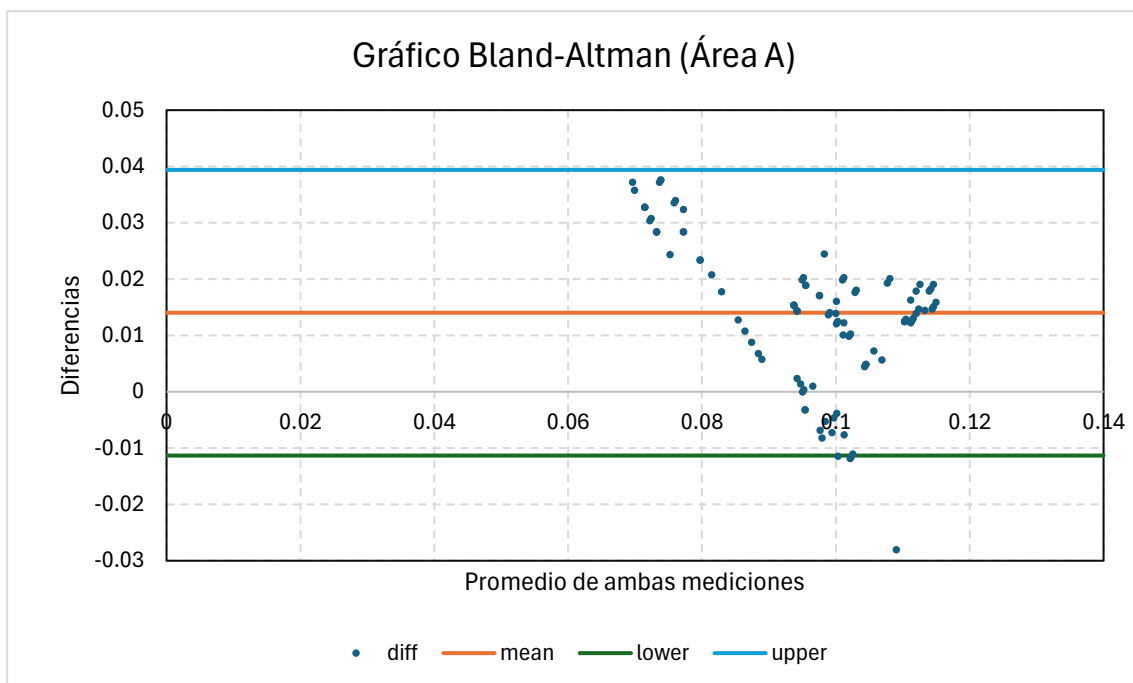


Figura 19

Gráfica de HN - 20/02/2025, Área B: Recepción de muestras - HCHO (mg/m³)

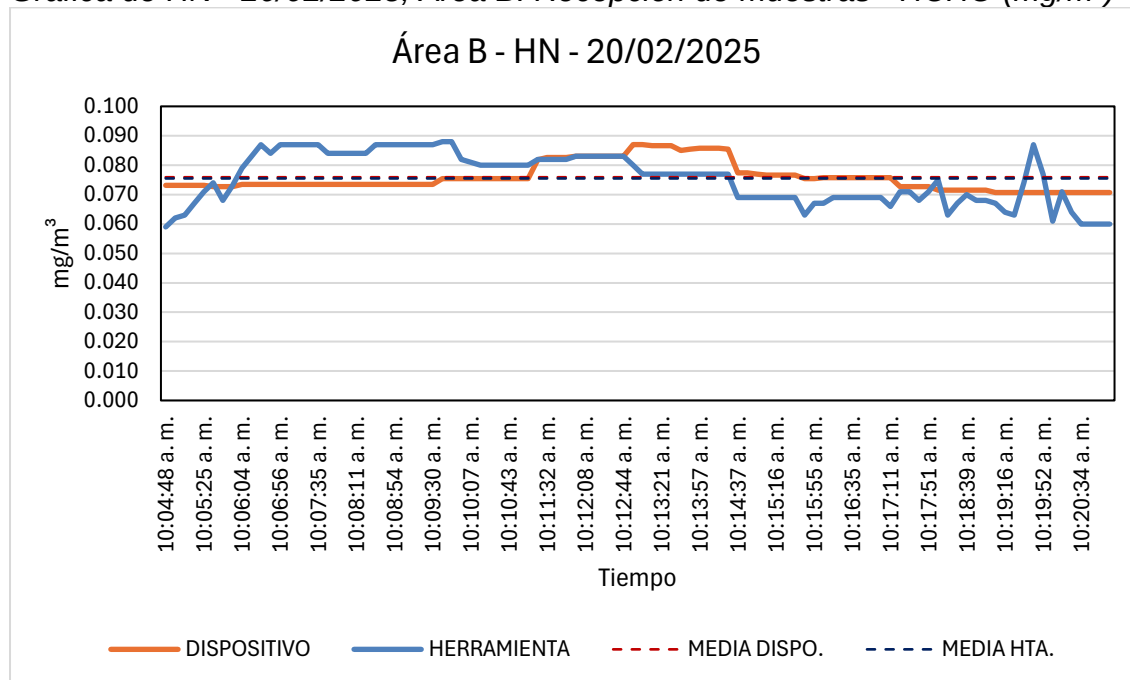
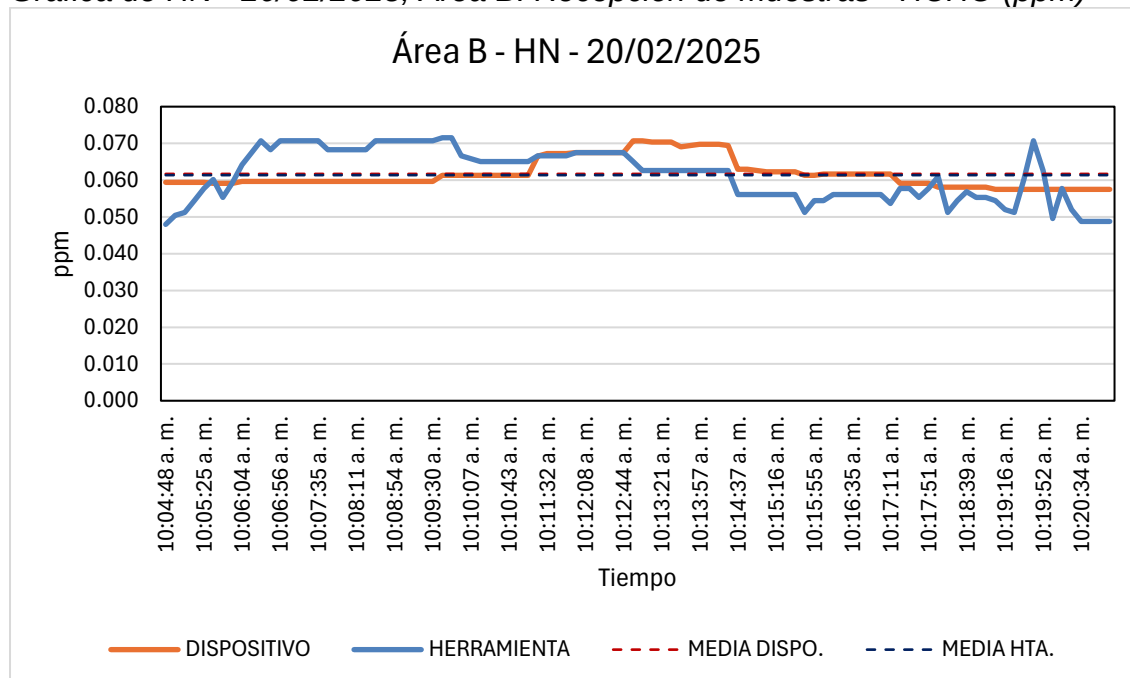


Figura 20

Gráfica de HN - 20/02/2025, Área B: Recepción de muestras - HCHO (ppm)



El promedio de las mediciones, en las Figura 19 y Figura 20, del dispositivo es de 0.062 ppm (0.076 mg/m³) y de la herramienta 0.061 ppm (0.075 mg/m³).

Tabla 7

Resultado del análisis Bland-Altman en Área B (HN - 20/02/2025)

Parámetros	Valor	S.E.	Inferior	Superior
Diferencia media	0.00041	0.00085942	-0.00129528	0.00211528
Límite inferior	-0.01643439	0.00147364	-0.01935841	-0.01351038
Límite superior	0.01725439	0.00147364	0.01433038	0.02017841
Desviación estándar	0.008594237			

La diferencia media entre los métodos es 0.00041 mg/m^3 , con un error estándar (S.E) de 0.00085 mg/m^3 . Su límite va desde el rango de -0.016 a 0.017 mg/m^3 y posee una desviación estándar de 0.0085 mg/m^3 .

Figura 21

Análisis de Bland-Altman, HN - 20/02/2025, Área B: Recepción de muestras - HCHO (mg/m^3)

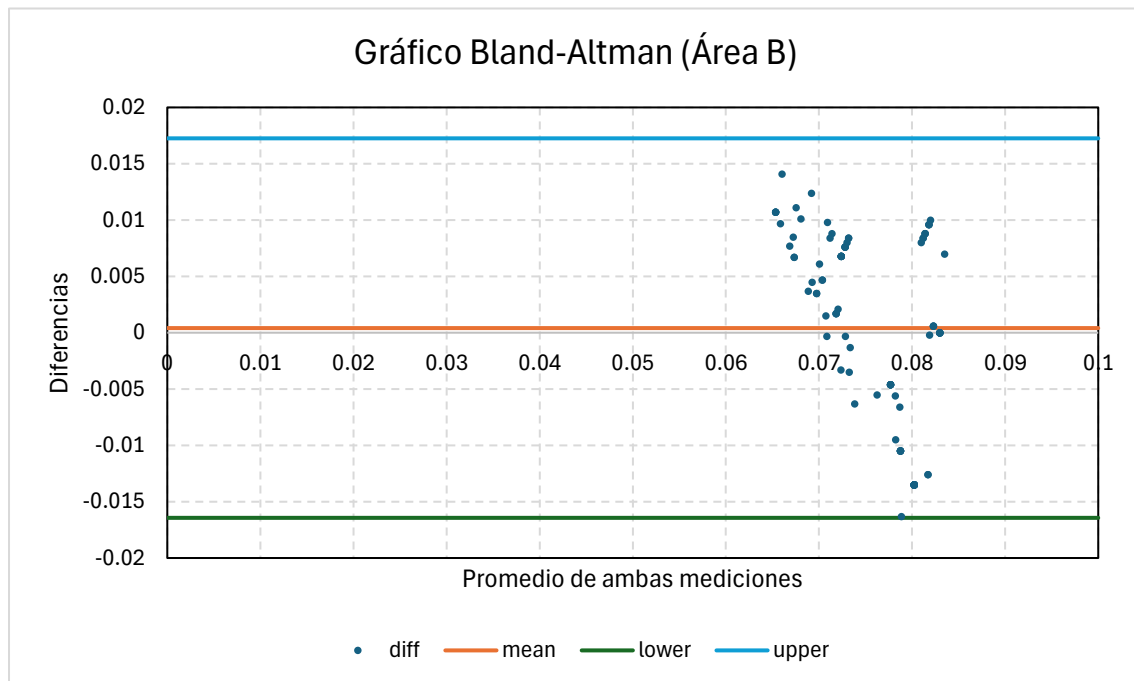


Figura 22

Gráfica de HN - 20/02/2025, Área C: Procesador de tejidos - HCHO (mg/m^3)

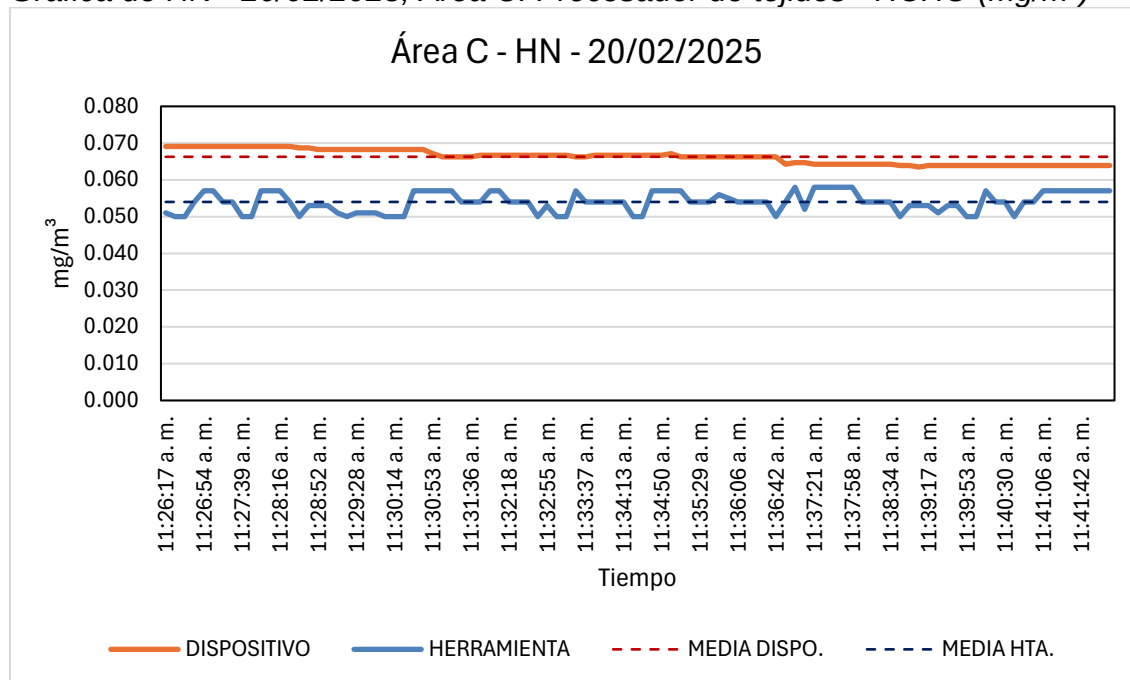
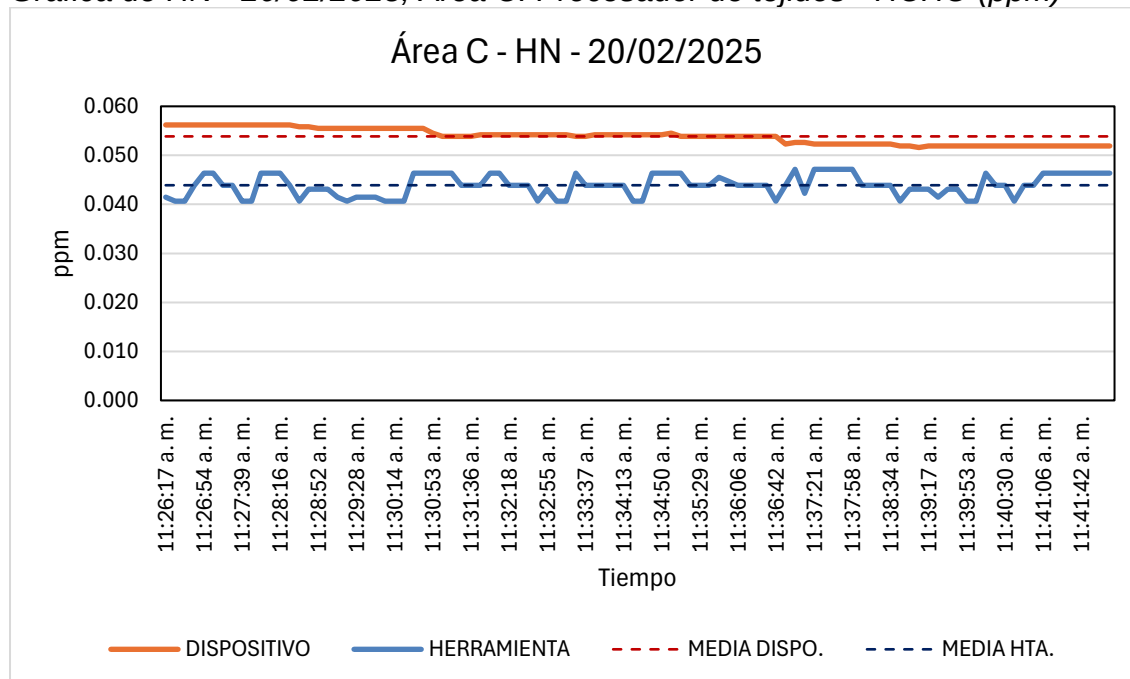


Figura 23

Gráfica de HN - 20/02/2025, Área C: Procesador de tejidos - HCHO (ppm)



El promedio de las mediciones, en las Figura 22 y Figura 23, del dispositivo es de 0.054 ppm ($0.066 \text{ mg}/\text{m}^3$) y de la herramienta 0.044 ppm ($0.054 \text{ mg}/\text{m}^3$).

Tabla 8

Resultado del análisis Bland-Altman en Área C (HN - 20/02/2025)

Parámetros	Valor	S.E.	Inferior	Superior
Diferencia media	0.01228	0.00036224	0.01156123	0.01299877
Límite inferior	0.00518016	0.00062113	0.0039477	0.00641262
Límite superior	0.01937984	0.00062113	0.01814738	0.0206123
Desviación estándar	0.003622433			

La diferencia media es de 0.012 mg/m^3 , con un error estándar de 0.00036 mg/m^3 . Los límites se encuentran entre 0.005 y 0.019 mg/m^3 y una desviación estándar de las diferencias de 0.0036 mg/m^3 .

Figura 24

Análisis de Bland-Altman, HN - 20/02/2025, Área C: Procesador de tejidos - HCHO (mg/m^3)

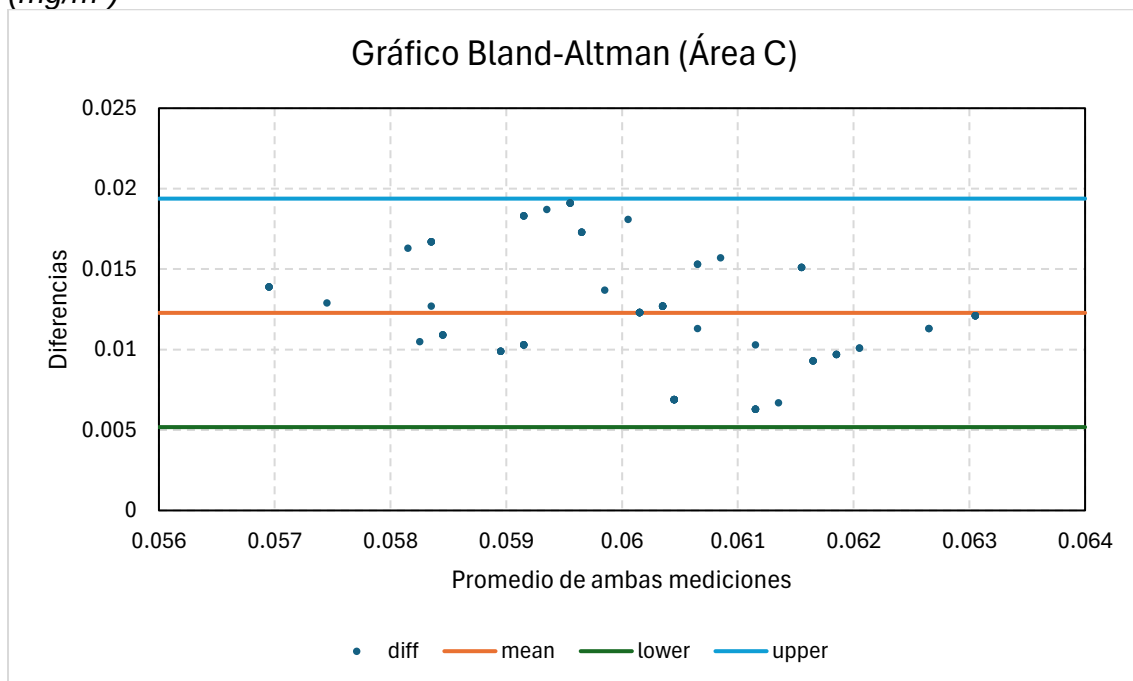


Figura 25

Gráfica de HN - 20/02/2025, Área D: Depósito de reactivos - HCHO (mg/m^3)

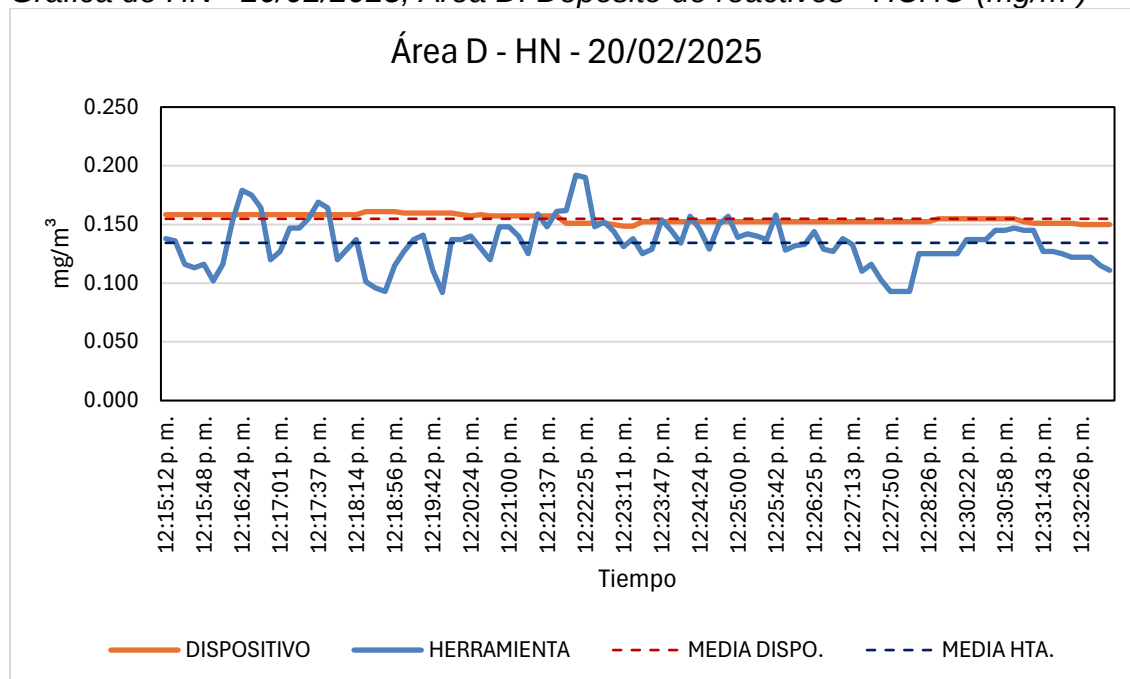
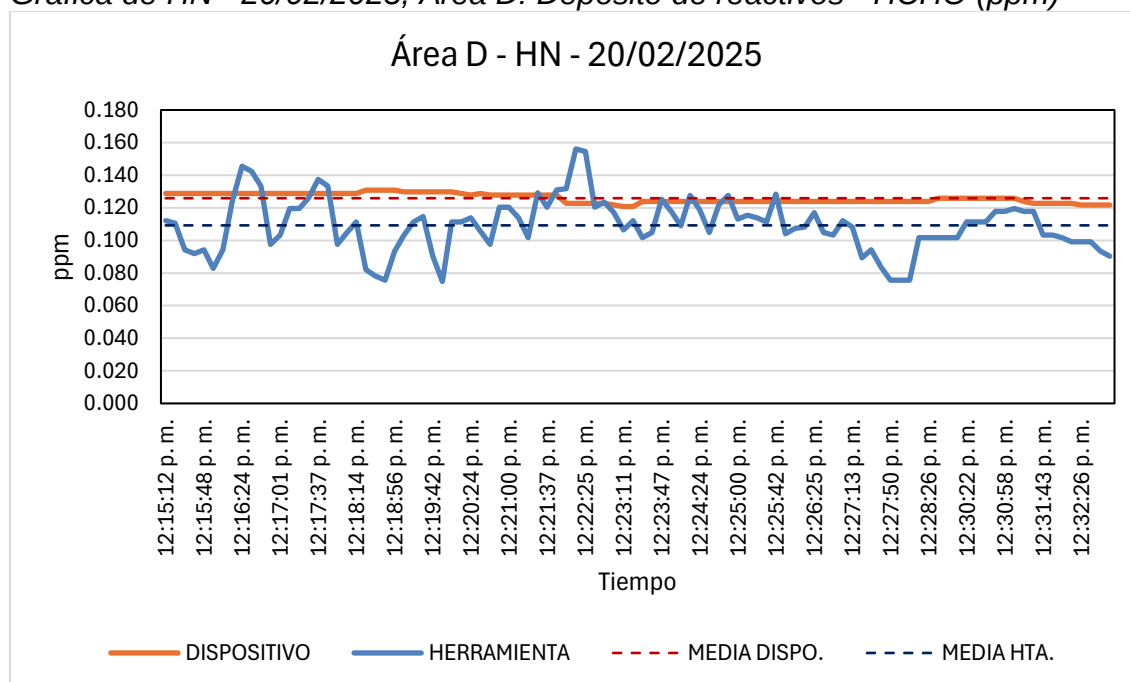


Figura 26

Gráfica de HN - 20/02/2025, Área D: Depósito de reactivos - HCHO (ppm)



El promedio de las mediciones, en las Figura 25 y Figura 26, del dispositivo es de 0.126 ppm ($0.155 \text{ mg}/\text{m}^3$) y de la herramienta 0.109 ppm ($0.134 \text{ mg}/\text{m}^3$).

Tabla 9

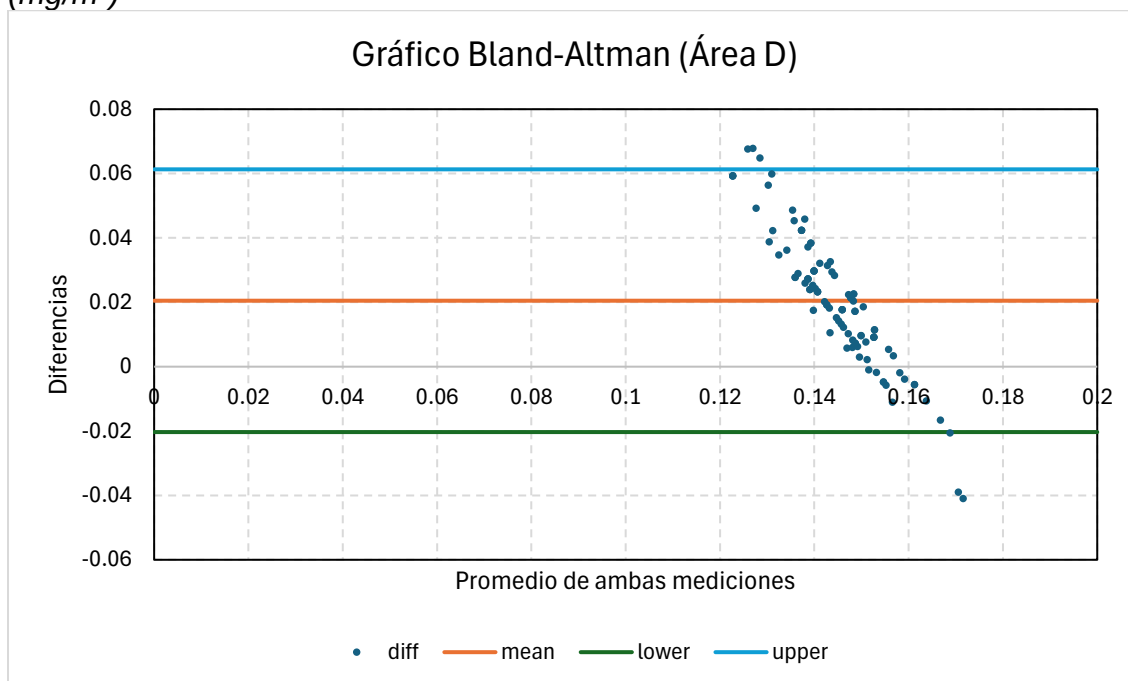
Resultado del análisis Bland-Altman en Área D (HN - 20/02/2025)

Parámetros	Valor	S.E.	Inferior	Superior
Diferencia media	0.02049533	0.00208249	0.01636322	0.02462745
Límite inferior	-0.02032077	0.00357081	-0.02740603	-0.01323551
Límite superior	0.06131144	0.00357081	0.05422617	0.0683967
Desviación estándar	0.020824925			

La diferencia media es de 0.0204 mg/m^3 , con un error estándar de 0.00208 mg/m^3 . Los límites se encuentran entre -0.020 a 0.061 mg/m^3 y una desviación estándar de las diferencias de 0.0208 mg/m^3 .

Figura 27

Análisis de Bland-Altman, HN - 20/02/2025, Área D: Depósito de reactivos - HCHO (mg/m^3)



4.2.2. Cálculo de Error Experimental

A continuación, se muestra la tabla que detalla el cálculo del error porcentual en todas las áreas analizadas, comparando las mediciones obtenidas por el dispositivo con las de la herramienta de referencia. Los valores están expresados en sus respectivas unidades ppm y mg/m³:

Tabla 10

Error Relativo Porcentual entre ambas mediciones

Área	Unidad	Error Promedio (%)
A	PPM	21.870
A	MG/M3	21.867
B	PPM	9.920
B	MG/M3	9.887
C	PPM	23.044
C	MG/M3	23.084
D	PPM	19.975
D	MG/M3	19.975

Adicionalmente, se presenta la tabla con la desviación estándar del dispositivo y la herramienta de referencia en todas las áreas analizadas, expresada en sus respectivas unidades de medición ppm y mg/m³:

Tabla 11

Desviación estándar de las mediciones en cada área

Área	Unidad	Dispositivo	Herramienta
ÁREA A	MG/M3	0.011	0.018
	PPM	0.009	0.014
ÁREA B	MG/M3	0.005	0.009
	PPM	0.004	0.007
ÁREA C	MG/M3	0.002	0.003
	PPM	0.002	0.002
ÁREA D	MG/M3	0.003	0.020
	PPM	0.003	0.016

4.3. Discusión de hallazgos

El estudio de las mediciones efectuadas en las diferentes secciones del Hospital del Niño (HN), que abarca desde la tabla 6 hasta la 9, proporciona datos significativos acerca de las concentraciones registradas, el rendimiento del dispositivo creado en comparación con la herramienta de referencia, así como la correspondencia entre los métodos, lo cual se evalúa a través del análisis de Bland-Altman.

Como se indicó anteriormente en el capítulo, se realizaron mediciones en diversas zonas del laboratorio de patología del hospital. Los resultados presentados en los gráficos 16 al 27 subrayan los siguientes aspectos en cuanto las concentraciones de formaldehído:

- En ninguna ocasión se superó el umbral de seguridad de 2 ppm fijado para la exposición al formaldehído, lo que sugiere que las concentraciones registradas en todas las áreas se mantienen dentro de los límites aceptables.
- El valor promedio total entre las áreas del HN fueron de 0.081 ppm (0.100 mg/m³) para el dispositivo diseñado y 0.072 ppm (0.089 mg/m³) para la herramienta.

Para verificar la concordancia entre los dos métodos, se decidió llevar a cabo el análisis de Bland-Altman en cada área monitoreada, arrojando los siguientes resultados:

- Los resultados del análisis de Bland-Altman brindan valores de promedios de las diferencias, límites y desviación estándar muy bajos que sugieren alta concordancia.
- En las gráficas de Bland-Altman, la mayoría de los puntos se encuentran dentro de los límites de concordancia, distribuyéndose de manera equilibrada por encima y por debajo de la media.

- En las gráficas de Bland-Altman, la linealidad vertical observada en A, B y D se atribuye a la proximidad y la influencia directa de fuentes de formaldehído, lo que se traduce en un gradiente más estable y predecible. Por otro lado, en el área C, la falta de una fuente activa directa y una mayor dependencia de condiciones residuales o ambientales conllevan a una dispersión más amplia de los datos en la gráfica.

En cuanto a el error relativo porcentual y la desviación estándar calculada, se dio a conocer que:

- El dispositivo diseñado proporciona mediciones con menor variabilidad (menor desviación estándar) en todas las áreas y unidades en comparación con la herramienta de referencia utilizada.
- El error relativo del dispositivo diseñado es consistentemente menor que el de la herramienta de referencia, aproximadamente en un factor de 2.
- En promedio el error relativo entre las mediciones fue de 0.1869 en ppm y 0.1870 en mg/m³.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de formaldehído en el laboratorio de patología del Hospital del Niño mostraron variaciones según la zona analizada, aunque en general se mantuvieron dentro de un rango relativamente bajo. La media total registrada fue de 0.081 ppm (0.100 mg/m³) utilizando un dispositivo específico, y de 0.072 ppm (0.089 mg/m³) conforme a la herramienta de validación.

Los resultados obtenidos en este estudio se encuentran por debajo del límite de exposición a corto plazo (STEL) de 2 ppm, establecido por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA). De igual manera, cumplen con el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2001, que fija un límite de concentración para exposición de corto tiempo (CCT) en 2 ppm.

El sistema de monitoreo desarrollado ha demostrado un desempeño prometedor, mostrando una buena concordancia con la herramienta de referencia, demostrado en los límites de acuerdo en los gráficos de Bland-Altman; lo que sugiere su fiabilidad para medir las concentraciones de formaldehído en el ambiente. Además de su precisión, el dispositivo es fácil de comprender y utilizar, permitiendo a los trabajadores monitorizar de manera efectiva las concentraciones de formaldehído en su entorno laboral.

A partir de los objetivos propuestos, se puede afirmar que se han alcanzado satisfactoriamente las metas de la investigación. Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura acerca del formaldehído, abarcando sus efectos en la salud con irritaciones en oculares, nasales, eczemas y en los casos más graves alteración en el funcionamiento pulmonar y cáncer; las regulaciones vigentes para su control en laboratorios de patología, como lo establecen organizaciones como NIOSH, ACGIH y OSHA; y los métodos actuales de monitoreo, como el utilizado en esta tesis que fue el monitoreo de lectura directa, lo cual proporcionó un sólido marco teórico para el desarrollo del estudio.

Además, se diseñó un sistema de monitoreo capaz de medir las concentraciones de formaldehído en el ambiente del laboratorio de patología. Este sistema no solo permite la medición en tiempo real, sino que también integra alarmas visuales y sonoras que alertan cuando las concentraciones superan los límites establecidos.

Con respecto a la validación del sistema, los resultados obtenidos con el dispositivo desarrollado fueron comparados con los de una herramienta de referencia, donde se observó una adecuada concordancia entre ambos, lo que respalda la fiabilidad del sistema diseñado. Adicionalmente, los valores registrados se mantuvieron por debajo de los límites de exposición permisibles establecidos por la OSHA, cumpliendo así con los estándares de seguridad y salud ocupacional.

Los resultados de esta investigación tienen una gran importancia en el campo de la ingeniería biomédica, ya que ofrecen soluciones tecnológicas para el monitoreo de sustancias potencialmente nocivas en los entornos hospitalarios. La implementación de un sistema eficaz y accesible para el monitoreo del formaldehído no solo mejora la seguridad laboral en los laboratorios de patología, sino que también contribuye a reducir la exposición del personal a este compuesto tóxico.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

- **Monitoreo multipunto:** Se propone implementar un sistema que permita realizar mediciones simultáneas en diversas áreas del laboratorio o en distintas secciones de un hospital. Esta estrategia proporcionaría una visión más completa de la distribución del formaldehído, facilitaría la identificación de zonas con mayor exposición y permitiría optimizar las estrategias de mitigación.
- **Validación con otras herramientas de monitoreo de formaldehído:** Al comparar los resultados del dispositivo desarrollado con monitores comerciales, se podría evaluar su precisión y fiabilidad en diferentes condiciones ambientales, garantizando así su efectividad en variados entornos hospitalarios.
- **Desarrollo de un sistema de almacenamiento y análisis de datos en la nube:** La integración de una plataforma en la nube posibilitaría el almacenamiento continuo de datos, la elaboración de informes detallados y la emisión de alertas en tiempo real cuando las concentraciones superen los límites de seguridad. Esto mejoraría el acceso remoto y facilitaría la toma de decisiones.
- **Expansión del estudio a múltiples hospitales y entornos clínicos:** Al aplicar el sistema en diferentes centros de salud con diversas condiciones de ventilación e infraestructura, se podría evaluar su adaptabilidad y realizar un análisis más exhaustivo referente a la exposición al formaldehído en contextos variados.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

A lo largo del desarrollo de la investigación, se identificaron diversas limitaciones que podrían haber influido en la recopilación y precisión de los datos obtenidos:

- La cantidad de mediciones constituyó una limitante debido a la ausencia de un método de almacenamiento en la herramienta comercial utilizada. Para el registro de los datos, se optó por la grabación en video en lugar de la recolección automatizada. Como resultado, se decidió registrar manualmente las mediciones cada 10 segundos durante un período de 15 minutos de monitoreo, lo que redujo significativamente la densidad de datos disponibles.
- La recolección de datos se llevó a cabo en un periodo limitado de un día, durante 3 horas. Esta restricción limitó la posibilidad de evaluar variaciones en las concentraciones de formaldehído en otros momentos del día o bajo diferentes condiciones operativas.
- El dispositivo diseñado enviaba los datos a una computadora a través de conexión WiFi. Sin embargo, el Hospital del Niño presenta dificultades de acceso a la red de internet, lo que impidió la visualización en tiempo real de las gráficas en Arduino IoT Cloud; por lo que fue necesario conectar el dispositivo mediante un puerto serial y recolectar los datos utilizando la opción de transmisión de datos en Excel. Una conexión directa a la red de los hospitales habría facilitado una recolección más eficiente y en tiempo real de las concentraciones de formaldehído.

REFERENCIAS

- Alexis, V. C. D., & Javier, B. C. O. (2021). Elementos de estadística descriptiva y probabilidad. Universidad Piloto de Colombia. https://www.google.com.pa/books/edition/Elementos_de_estad%C3%ADstica_descriptiva_y/mfxTEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=estad%C3%ADstica+descriptiva&printsec=frontcover
- Argüello Miranda, H. (2023). Control de la exposición a formaldehído y xileno en el Servicio de Anatomía Patológica del Hospital San Vicente de Paúl [Tesis de Maestría en Salud Ocupacional con énfasis en Higiene Ambiental, Universidad Nacional de Costa Rica]. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/14581/TF9662_BIB3112_12_Hazel_Arguello_Miranda.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ASEPEYO. (2021). Instrumentos de Medición y Muestreo. Medición de gases y vapores. En Dirección de Seguridad e Higiene de Asepeyo. <https://docplayer.es/3865756-Instrumentos-de-medicion-y-muestreo-medicion-de-gases-y-vapores.html>
- Autodesk, Inc. (2025). Autodesk Fusion | 3D CAD, CAM, CAE, & PCB Cloud-Based Software | Autodesk. Autodesk. <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>
- Bevington, P. R., & Robinson, D. K. (2003). Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences. (3.a ed.). McGraw-Hill. <https://experimentationlab.berkeley.edu/sites/default/files/pdfs/Bevington.pdf>
- Bonilla, A., & Oswaldo, L. (2015). Evaluación de las medidas de control para reducir la exposición a formaldehído en la Sala de Anatomía Patológica y Autopsias de un hospital universitario. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/87130>
- California Department of Public Health & California Department of Industrial Relations. (2011). Formaldehyde. En Hazard Evaluation System & Information Service. Recuperado 29 de enero de 2024, de <https://www.cdph.ca.gov/Programs/CCDPHP/DEODC/OHB/HESIS/CDPH%20Document%20Library/formaldehyde.pdf>

Campos Fabregat, J. C. (2021). Formaldehído. En Química Internacional para el Curtido S.L. Biblioteca Medio Ambiente. Recuperado 29 de enero de 2024, de

https://www.quimicainternacional.com/pdf/biblioteca/medio_ambiente/Formaldehido.pdf

Carrasco, J. L., & Jover, L. (2004). Métodos estadísticos para evaluar la concordancia. Medicina Clínica, 122(Supl.1), 28-34.

<https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-pdf-13057543>

Castiblanco Avendaño, C., & Cañón Alfonso, N. (2019). Prototipo de bajo costo para monitoreo de calidad del aire en ambientes interiores [Universidad Piloto de Colombia].

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4880/00005094.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CPWR. (2018). Monitoreo y Muestreo. En HAZWOPER 40-Horas Entrenamiento para trabajadores de residuos peligrosos (p. 7).

https://www.cpwr.com/wp-content/uploads/publications/04-CPWR-hazwoper_SP_4.0_chap04.pdf

Crespo, E. V., & Alonso, I. M. (2022). Ciberseguridad IoT y su aplicación en Ciudades Inteligentes. Ra-Ma Editorial.

<https://elibro.net/es/ereader/ulatina/230294>

Dawoud, S., & Peplow, R. (2022). Digital System Design - Use of Microcontroller. CRC Press.

https://www.google.com.pa/books/edition/Digital_System_Design_Use_of_Microcontro/LfyGEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=alarm+systems+microcontrollers&pg=PA134&printsec=frontcover

Di Francia, G., & Di Natale, C. (2022). Sensors and Microsystems: Proceedings of AISEM 2021 – In Memory of Arnaldo D'Amico. Springer Nature.

https://www.google.com.pa/books/edition/Sensors_and_Microsystems/H-p3EAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Sensors+and+Microsystems:+Proceedings+of+AISEM+2021+%E2%80%93+In+Memory+of+Arnaldo+D%E2%80%99Amico&printsec=frontcover

DiBerardinis, L. J., Baum, J. S., First, M. W., Gatwood, G. T., & Seth, A. K. (2013). Pathology laboratory. En Guidelines for Laboratory Design. Health, Safety, and Environmental Considerations (p. 246). John Wiley & Sons. [https://www.google.com.pa/books/edition/Guidelines_for_Laboratory_Design/RhVFDwAAQBAJ?hl=es-](https://www.google.com.pa/books/edition/Guidelines_for_Laboratory_Design/RhVFDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=pathology+laboratory&pg=PA246&printsec=frontcover)

[419&gbpv=1&dq=pathology+laboratory&pg=PA246&printsec=frontcover](https://www.google.com.pa/books/edition/Guidelines_for_Laboratory_Design/RhVFDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=pathology+laboratory&pg=PA246&printsec=frontcover)

Electrónica Caribe. (s. f.). LCD 16X2 con I2C para Arduino. Recuperado 2 de abril de 2024, de <https://electronicacaribe.com/product/lcd-16x2-con-i2c-para-arduino/>

Fernández, R. L., Martínez, R. A., Urquiza, D. E. P., Gálvez, S. S., & Álvarez, M. Q. (2019, June 29). Validación de instrumentos como garantía de la credibilidad en las investigaciones científicas. López Fernández | Revista Cubana De Medicina Militar.

<https://revmedmilitar.sld.cu/index.php/mil/article/view/390/331>

Ghasemkhani, M., Jahanpeyma, F., & Azam, K. (2005). Formaldehyde exposure in some educational hospitals of Tehran. Industrial Health, 43(4), 703-707. <https://doi.org/10.2486/indhealth.43.703>

Godse, A. P., & Godse, D. A. (2020). Microcontrollers. Technical Publications. <https://www.google.com.pa/books/edition/Microcontrollers/RJ0eEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=microcontroller&printsec=frontcover>

Gupta, R. C. (2017). Reproductive and Developmental Toxicology. (pp. 389). Academic

Press. [https://books.google.com/books?id=tHfUDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Gupta,+R.+C.+\(2017\).+Reproductive+and+Developmental+Toxicology.+Academic+Press.&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKEwjnzIfchtuEAXUjoLAFHQF6DAUQ6AF6BAgGEAI](https://books.google.com/books?id=tHfUDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Gupta,+R.+C.+(2017).+Reproductive+and+Developmental+Toxicology.+Academic+Press.&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKEwjnzIfchtuEAXUjoLAFHQF6DAUQ6AF6BAgGEAI)

Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas - Derecho a Saber: FORMALDEHÍDO (FORMALDEHYDE). (2016). En New Jersey Department of Health. Recuperado 6 de febrero de 2024, de <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0946sp.pdf>

Hurtado, A., Caldera, A., Milano, B., Ibarra, C. F., Díaz, A., De Jesús Peinado Camacho, J., Villamizar, J., & Verde, O. (2017). Notas técnicas: análisis de

datos bajo condiciones de repetibilidad. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, 36(2), 40-43.

<https://biblat.unam.mx/hevila/Archivosvenezolanosdefarmacologiayterapeutica/2017/vol36/no2/2.pdf>

Hurtado, E. M., Vallecampo, A., De Liévano, K., De Artiga, B., & Vásquez, G. (2016). Medición de concentraciones de formaldehído en un laboratorio de anatomía humana, comparándolas con estándares internacionales. ANUARIO 2016 de la Universidad Evangélica de El Salvador, 249-317.

<https://dsuees.uees.edu.sv/bitstreams/557ebcf5-a911-4734-bfb4-c6ba513c13d8/download>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST]. (2018). DOCUMENTACIÓN TOXICOLÓGICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL LÍMITE DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL DEL FORMALDEHÍDO. En Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social de España (DLEP 123). Recuperado 26 de enero de 2024, de

<https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP%20123%20%20Formaldeh%C3%ADdo%20%20A%C3%B1o%202018.pdf/322d8406-0dfd-4c21-9ee1-40c5c63a23f1?version=1.0&t=1551310413093>

Kaden, D. A., Mandin, C., Nielsen, G. D., & Wolkoff, P. (2010). Formaldehyde. En WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. (pp. 103-142). Geneva: World Health Organization.

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138705/pdf/Bookshelf_NBK138705.pdf

Kurniawan, A. (2019). Internet of Things Projects with ESP32: Build exciting and powerful IoT projects using the all-new Espressif ESP32. Packt Publishing Ltd.

https://www.google.com.pa/books/edition/Internet_of_Things_Projects_with_ESP32/v86PDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=esp32+arduino&printsec=frontcover

MacFarland, T. W., & Yates, J. M. (2021). Using R for Biostatistics. Springer Nature.

https://www.google.com.pa/books/edition/Using_R_for_Biostatistics/dPggEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=line+chart&pg=PA772&printsec=frontcover

Manuel, E. G. J., Antonio, N. G., & Javier, G. C. (2019). Integración de sistemas de automatización industrial. Ediciones Paraninfo, S.A.
https://books.google.com.pa/books?id=gj2dDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ViewAPI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Ministerio de Comercio e Industrias Panamá (MICI). (2001). Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2001 Higiene y Seguridad Industrial: CONDICIONES DE HIGIENE Y SEGURIDAD PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN AMBIENTES DE TRABAJO PRODUCIDA POR SUSTANCIAS QUÍMICAS. En Ministerio de Comercio e Industrias Panamá (MICI) (N.o 43-2001). Recuperado 29 de febrero de 2024, de <https://mici.gob.pa/wp-content/uploads/2021/12/43rt-dgnti-copanit-43-2001-1.pdf>

Mora-Sánchez, C. (2019). Análisis de la exposición ocupacional a formaldehído en el Servicio de Anatomía Patológica del Hospital México.
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10689>

Nielsen, G. D., Larsen, S. T., & Wolkoff, P. (2016). Re-evaluation of the WHO (2010) Formaldehyde Indoor Air Quality Guideline for Cancer Risk Assessment. Archives of Toxicology, 91(1), 35-61. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1733-8>

NIH. (2011). Formaldehído y el riesgo de cáncer. (NIH) Instituto Nacional del Cáncer. Recuperado 24 de febrero de 2025, de <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/formaldehido/hoja-informativa-formaldehido>

Noll, G. G., & Hildebrand, M. S. (2022). Hazardous Materials: Managing the Incident with Navigate Advantage Access. Jones & Bartlett Learning.
https://www.google.com.pa/books/edition/Hazardous_Materials_Managing_the_Incident/sN2aEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=types+direct+reading+gas+monitor&pg=PA645&printsec=frontcover

Oña Leyme, L. P. (2020). Desarrollo de un Sistema para el Monitoreo y Control de la Calidad del Aire en Entornos Cerrados Usando IoT con Redes de Sensores Electroquímicos [Tesis de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)].

<https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/21962/T-ESPE-043582.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OSHA Technical Manual (OTM) - Section III: Chapter 2 | Occupational Safety and Health Administration. (s. f.). (2025) <https://www.osha.gov/otm/section-3-health-hazards/chapter-2>

Paitán, H. Ñ., Dueñas, M. R. V., Vilela, J. J. P., & Delgado, H. E. R. (2018). Metodología de la Investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis (5a. Edición). Bogotá: Ediciones de la U. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf

Pallerola, J. (2022). Excel y SQL de la mano. Alpha Editorial. https://google.com.pa/books/edition/Excel_y_SQL_de_la_mano/3NavEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=SQL&printsec=frontcover

Peña, C. G., & Fernández, C. A. M. (2019). Estadística descriptiva y probabilidad. Editorial Bonaventuriano. https://www.google.com.pa/books/edition/Estad%C3%ADstica_descriptiva_y_probabilidad/YubhDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=estad%C3%ADstica+descriptiva&printsec=frontcover

Picó, A. G. (2018). Compuestos orgánicos. Oxigenados y nitrogenados. En Química básica (p. 796). Editorial UNED. <https://elibro.net/es/ereader/ulatina/48942?page=796>

ProtoSupplies. (s. f.). Uno R3 SMD with CH340 USB - ProtoSupplies. <https://protosupplies.com/product/uno-r3-smd/>

Quirónprevención. (2019, 7 noviembre). Vigilancia de la Salud en la exposición al Formaldehído - Quirónprevención. <https://www.quironprevencion.com/blogs/es/prevenidos/vigilancia-salud-exposicion-formaldehido>

Rea, P. M. (2022). Biomedical visualisation: Volume 11. Springer Nature. [https://books.google.com.pa/books?id=XZJeEAAQBAJ&pg=PA141&dq=Rea,+P.+M.+\(2022\).+Biomedical+visualisation:+Volume+11.+Springer+Nature.&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKEwit1P3qhtuEAXUHTTA BHfyQA-kQ6AF6BAgHEAI](https://books.google.com.pa/books?id=XZJeEAAQBAJ&pg=PA141&dq=Rea,+P.+M.+(2022).+Biomedical+visualisation:+Volume+11.+Springer+Nature.&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKEwit1P3qhtuEAXUHTTA BHfyQA-kQ6AF6BAgHEAI)

Rivera Orcoapaza, C. (2015). Determinación del daño genotóxico en trabajadores expuestos a formaldehído de tres laboratorios de Anatomía Patológica de Lima Metropolitana [Tesis de Licenciatura en Tecnología Médica en el área de Laboratorio Clínico y Anatomía Patológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4260/Rivera_oc.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Romero, J. L. V. (2023). Desarrollo y optimización de componentes software para tareas administrativas de sistemas. IFCT0609. IC Editorial. https://www.google.com.pa/books/edition/Desarrollo_y_optimizaci%C3%B3n_de_componente/66LiEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=programas+graphic+user+interface&pg=PT46&printsec=frontcover

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). Metodología de la investigación (6a. Edición). McGraw Hill Mexico. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Scherz, P., & Monk, S. (2016). Practical Electronics for Inventors, Fourth Edition. McGraw Hill Professional. <http://instrumentacion.qi.fcen.uba.ar/libro/Scherz.pdf>

Ser, C. (2025, 20 febrero). Cadena SER. Cadena SER. <https://cadenaser.com/castillalamancha/2025/02/20/detectan-niveles-puntuales-de-formol-por-encima-de-lo-permitido-en-los-laboratorios-del-hospital-de-toledo-ser-toledo/>

SESCAM. (2018). GUÍA DE ACTUACIÓN FRENTE AL RIESGO DE EXPOSICIÓN AL FORMALDEHÍDO DE LOS TRABAJADORES DEL SERVICIO DE SALUD DE CASTILLA-LA MANCHA. En el Servicio de Salud de Castilla-La Mancha (SESCAM) (RV 01). Recuperado 22 de febrero de 2024, de https://sanidad.castillalamancha.es/sites/sescam.castillalamancha.es/files/documentos/pdf/20190205/guia_actuacion_frente_al_riesgo_de_exposicion_al_formaldehido.pdf

Söderby, K. (2024, 7 noviembre). Getting Started with Arduino Cloud. Arduino DOCS. Recuperado 13 de noviembre de 2024, de <https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/guides/overview/>

Superintendencia de Riesgos del Trabajo [SRT]. (2021). FORMALDEHÍDO. En Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de Argentina. Recuperado 26 de enero de 2024, de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_formaldehido_julio_2021.pdf

Tinkercad: From mind to design in minutes. (s. f.). (2025). Autodesk Tinkercad. <https://www.tinkercad.com/>

VAISALA. (2020). Hospital Environmental Monitoring: Compliant & Continuous. En VAISALA. Recuperado 14 de febrero de 2024, de <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/VIM-GLO-CMS-EN-Compliant-Hospital-Environmental-Monitoring-B212153EN.pdf>

Winsen. (2022). ZE08-CH₂O formaldehyde gas sensor module. <https://www.winsen-sensor.com/sensors/ch2o-gas-sensor/ze08-ch2o.html>

Yuan, Z., Yang, C., & Meng, F. (2021). Strategies for Improving the sensing Performance of Semiconductor Gas Sensors for High-Performance Formaldehyde Detection: A review. Chemosensors, 9(7), 179. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9070179>

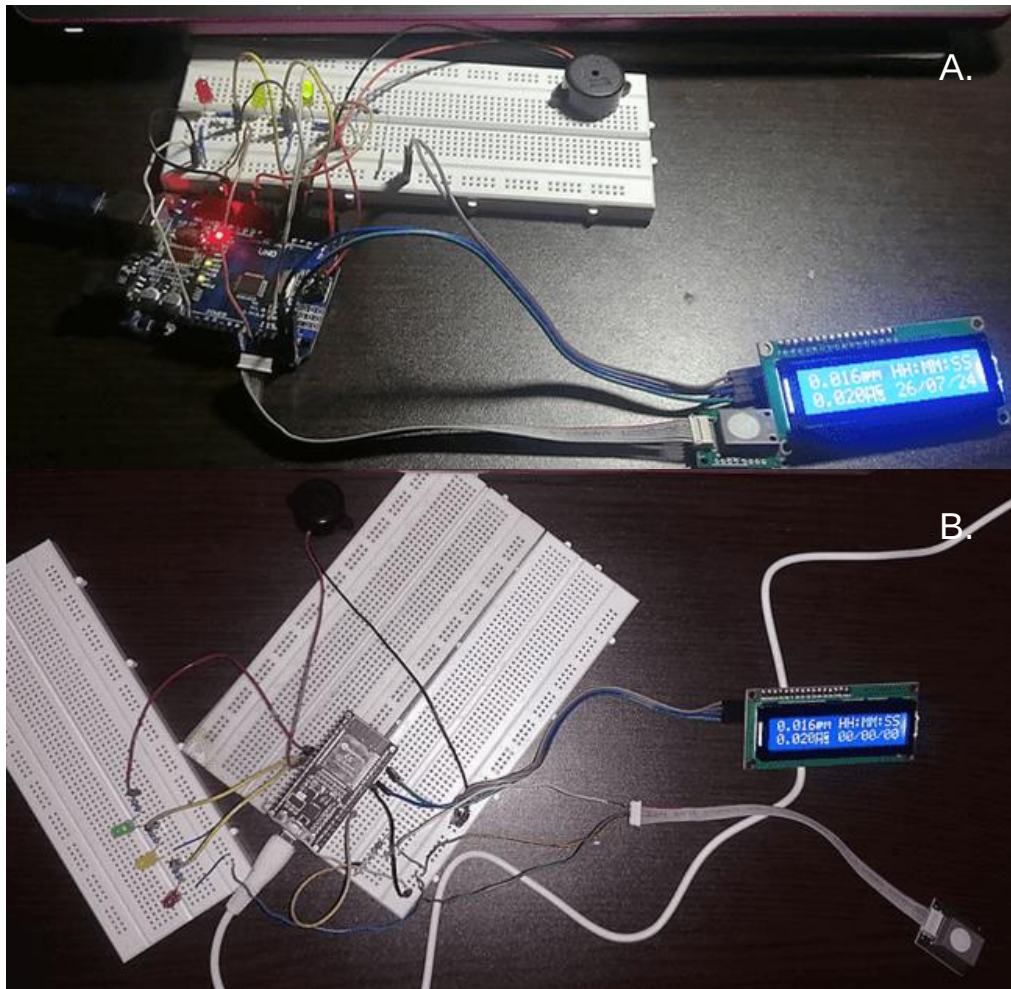
Zhang, L. (2018). Formaldehyde: Exposure, Toxicity and Health Effects. Royal Society of Chemistry. [https://books.google.com/books?id=cSFdDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Zhang,+L.+\(2018\).+Formaldehyde:+Exposure,+Toxicity+and+Health+Effects.+Royal+Society+of+Chemistry.&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKEwiOm63zhtuEAXVktYQIHTYwCWgQ6AF6BAgEEAI](https://books.google.com/books?id=cSFdDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Zhang,+L.+(2018).+Formaldehyde:+Exposure,+Toxicity+and+Health+Effects.+Royal+Society+of+Chemistry.&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=1&sa=X&ved=2ahUKEwiOm63zhtuEAXVktYQIHTYwCWgQ6AF6BAgEEAI)

ANEXOS

ANEXO 1

Figura A. 1

Prototipo funcional



Nota: En la figura (A.) se observa el primer prototipo diseñado y en la figura (B.) se puede observar como en la optimización del primer prototipo se realizó la transición del microcontrolador Arduino Uno R3 CH340 al microcontrolador ESP32 WROOM-32 de 38 pines y de la pantalla LCD I2C 16x2 a la LCD 12C 20X4.

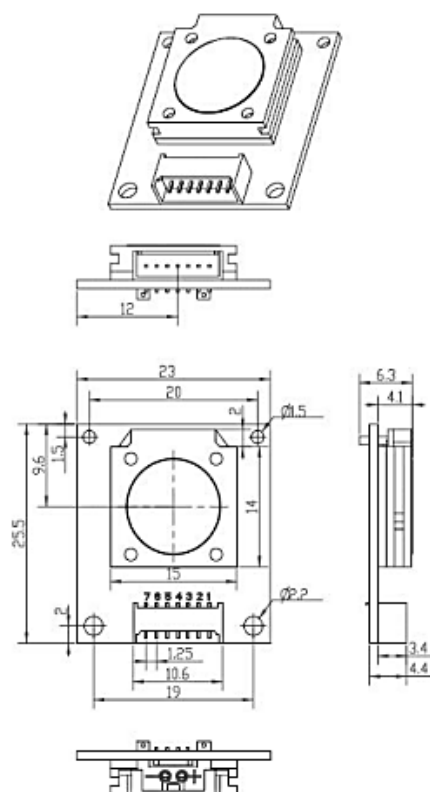
ANEXO 2

Figura A. 2

Datasheet de sensor ZE08-CH2O

Technical Parameters Stable 1.

Model No.	ZE08-CH2O
Target Gas	CH2O
Interference Gas	Alcohol, CO &ect.
Output Data	DAC(0.4~2V standard voltage output) UART output(3V Electrical Level)
Working Voltage	3.7V~9V(With voltage reverse connect protection)
Warm up time	≤3 minutes
Response time	≤60s
Resume time	≤60s
Detection Range	0~5ppm
Resolution	≤0.01ppm
Operating Temp.	0~50℃
Operating Hum.	15%RH-90%RH(No condensation)
Storage temp.	0~50℃
Working life	2 years (in air)



Pin Description:

Table 2

PIN	Instruction
Pin4	Vin (Voltage input 3.7V~9V)
Pin3	GND
Pin2	DAC (0.4~2V,for 0-5ppm)
Pin7	PWM
Pin1	HD (Zero calibration, only for factory use)
Pin5	UART (RXD) 0~3.3V data input
Pin6	UART (TXD) 0~3.3V data output

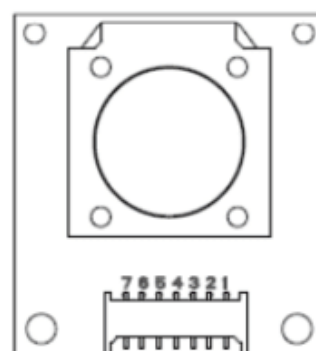


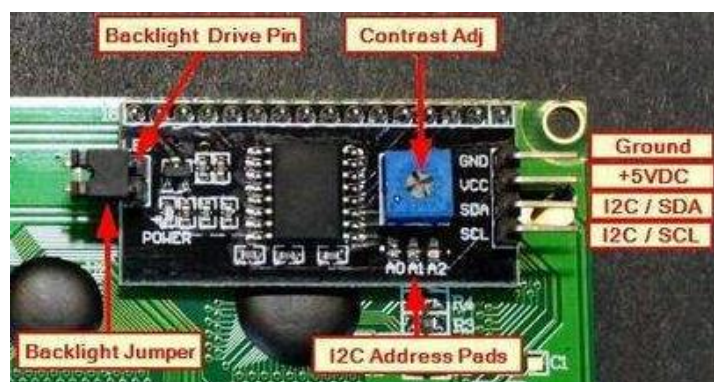
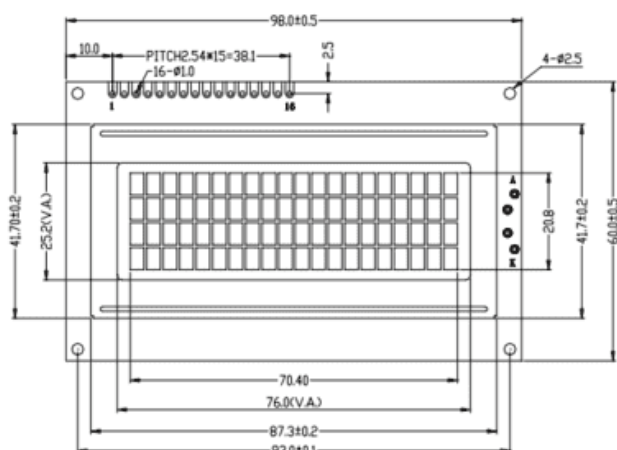
Fig. Pin figure of the Module

Nota: Datasheet utilizado para la conexión del sensor, utilizando los pines 4, 3 y 6.

ANEXO 3

Figura A. 3

Datasheet de Pantalla LCD 20x4 con módulo I2C



5. Interface pin description

Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	V _{SS}	Power supply	Signal ground for LCM (GND)
2	V _{DD}		Power supply for logic (+5V) for LCM
3	V ₀		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	A(LED+)	LED BKL power Supply	Power supply for BKL (Anode)
16	K(LED-)		Power supply for BKL (GND)

Nota: Datasheet utilizado para la conexión de la pantalla LCD 20x4 con módulo I2C.

ANEXO 4

Figura A. 4

Datasheet del Microcontrolador ESP32 WROOM-32 de 38 pines

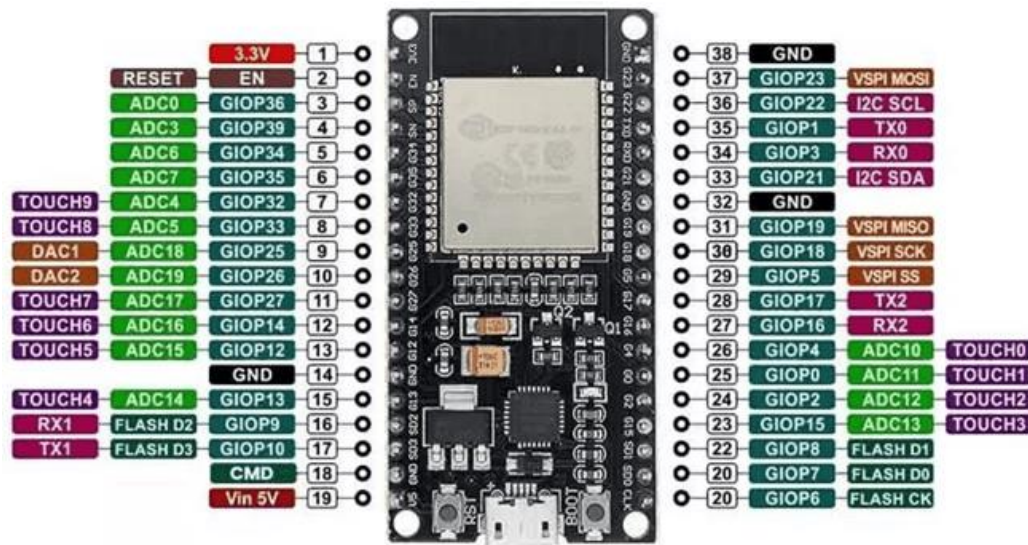


Table 1: ESP32-WROOM-32 Specifications

Categories	Items	Specifications
Certification	RF certification	See certificates for ESP32-WROOM-32
	Wi-Fi certification	Wi-Fi Alliance
	Bluetooth certification	BQB
	Green certification	RoHS/REACH
Test	Reliability	HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD
Wi-Fi	Protocols	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps) A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 μ s guard interval support
	Center frequency range of operating channel	2412 ~ 2484 MHz
Bluetooth	Protocols	Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification
	Radio	NZIF receiver with -97 dBm sensitivity Class-1, class-2 and class-3 transmitter AFH
	Audio	CVSD and SBC
Hardware	Module interfaces	SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC, Two-Wire Automotive Interface (TWAI®), compatible with ISO11898-1 (CAN Specification 2.0)
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Integrated SPI flash	4 MB
	Operating voltage/Power supply	3.0 V ~ 3.6 V
	Operating current	Average: 80 mA
	Minimum current delivered by power supply	500 mA
	Recommended operating ambient temperature range	-40 °C ~ +85 °C
	Package size	18 mm × 25.5 mm × 3.10 mm
	Moisture sensitivity level (MSL)	Level 3

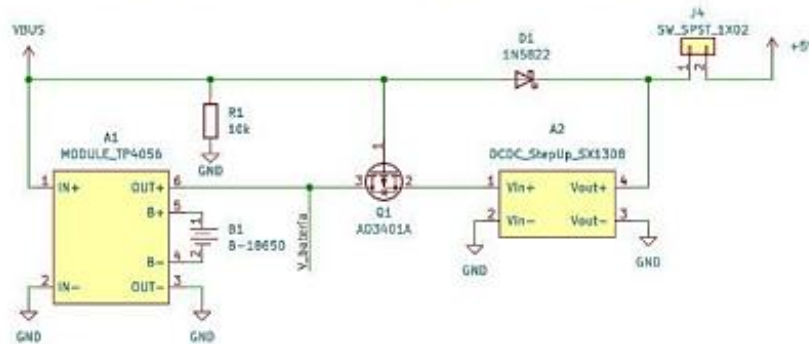
Nota: Datasheet del Microcontrolador ESP32 WROOM-32 de 38 pines utilizado en el proyecto.

ANEXO 5

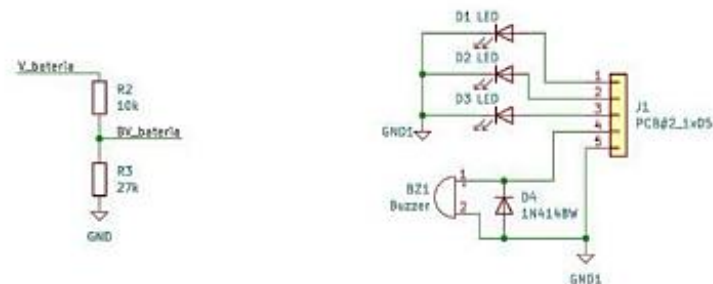
Figura A. 5

Diagrama esquemático del sistema de monitorización de concentraciones de formaldehído

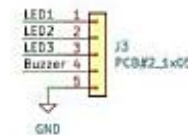
Carga de batería+ switch + elevador de voltaje



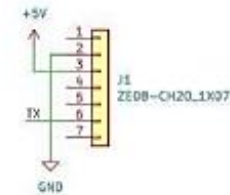
Monitoreo de la batería PCB#2



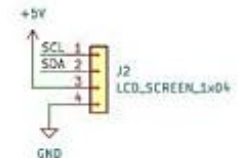
Conector PCB#2



Sensor ZE08-CH20



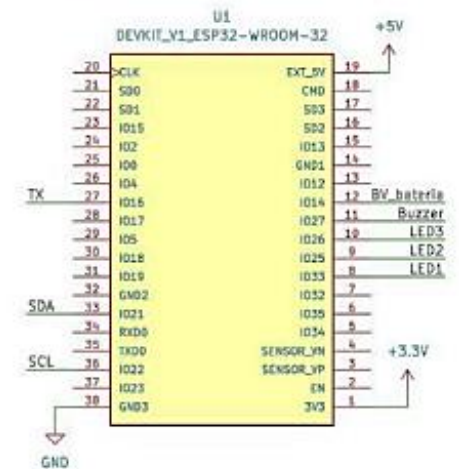
Pantalla LCD



Agujeros de montaje



ESP32_WROOM_32

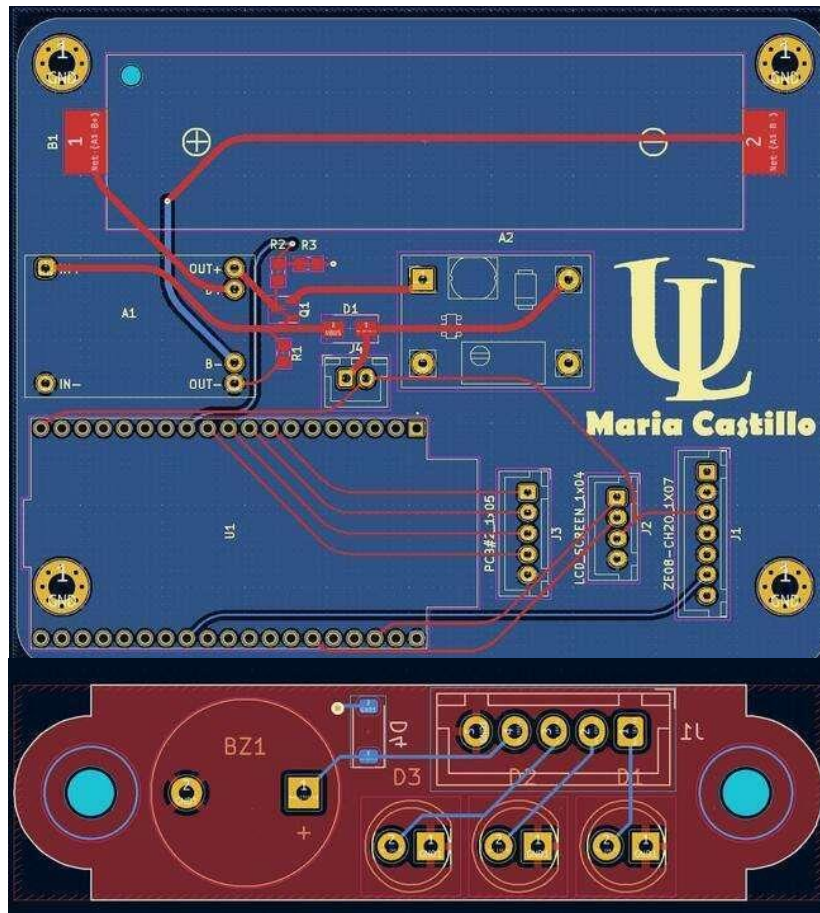


Nota: Diagrama esquemático realizado para la conexión de todos los componentes del dispositivo.

ANEXO 6

Figura A. 6

Diseño PCB del sistema de monitorización de concentraciones de formaldehído

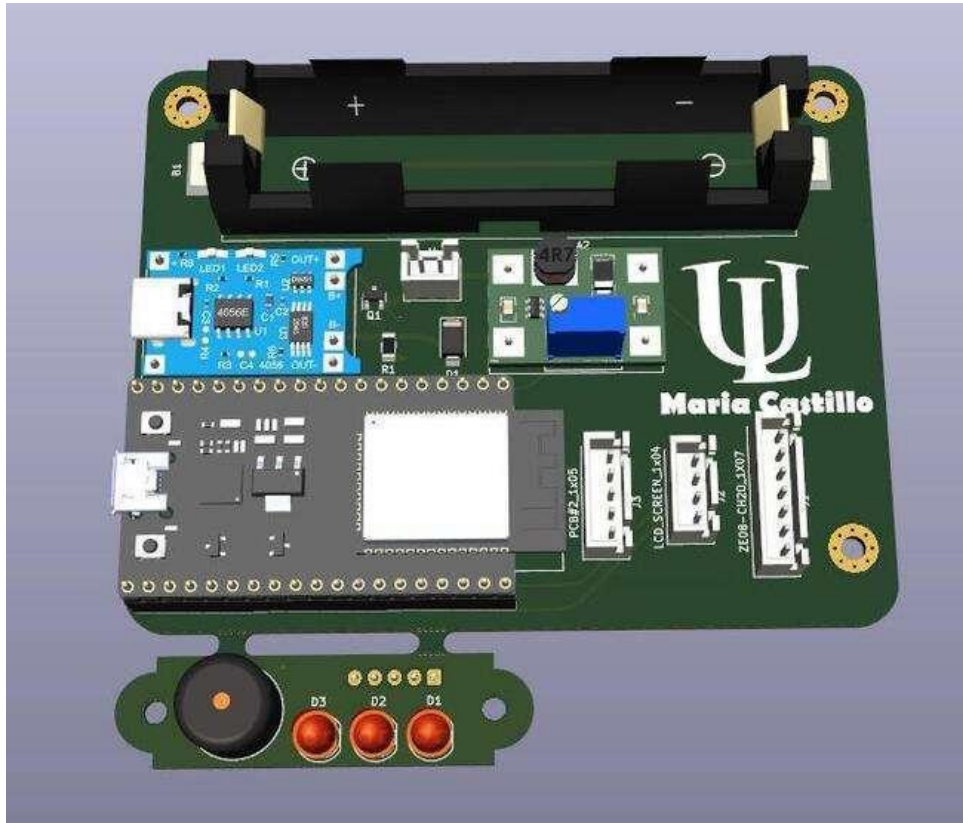


Nota: La PCB de color azul es donde se tiene el ESP32, el módulo para la batería de litio, conexión a la pantalla LCD y sensor. La PCB de color rojo es donde está el sistema de alarma.

ANEXO 7

Figura A. 7

Diseño 3D de PCBs del sistema de monitorización de concentración de formaldehído

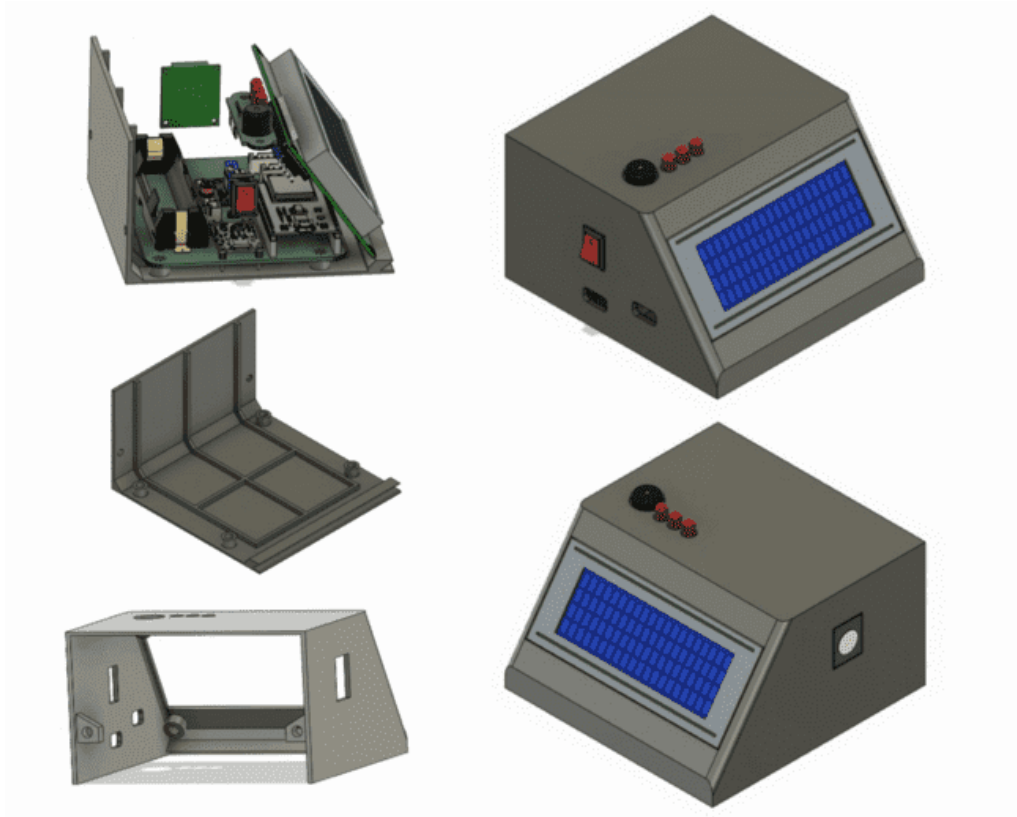


Nota: Diseño 3D final de las PCBs del sistema de monitorización de concentración de formaldehído, previo a soldar los componentes.

ANEXO 8

Figura A. 8

Diseño 3D de la carcasa



Nota: Diseño 3D de la carcasa utilizada para compactar todo el sistema de monitorización de concentración de formaldehído.

ANEXO 9

Figura A. 9

Dispositivo Final



Nota: Dispositivo final, mostrando las concentraciones de formaldehído en 2 unidades y el estado (status) de nivel de concentración bajo, medio y alto, junto con el LED indicador encendido.

ANEXO 10

Figura A. 10

Datasheet del Monitor de calidad de aire Yvelines HTO-131



Application Technology: Air Natural Flow Detection	
Technology Display Mode: LCD Color Screen Digital Display	
Product Specification: 148*70*30mm	
Product Model: HTO-131	Detection float: 3%-30%
Start-up preheating: 120 seconds (only for formaldehyde TVOC CO2 sensor)	
Battery Capacity: 2000mAh	Working Voltage: 5V
Full Charging time: About 4-6 hours	Standby time: About 8-12 hours

Air Quality Monitor Pollution Grade Reference Table

Environment	(1)Good	(2)Good	(3)POIUTE	(4)POIUTE	(5)POIUTE	(6)POIUTE
HCHO	0-0.08	0.081-0.1	0.101-0.2	0.201-0.5	0.501-1.0	1.001-1.999
TVOC	0-0.5	0.501-0.5	0.601-1.5	1.501-3	3.001-6.0	6.001-12
CO2	0-450	451-1000	1001-1500	1501-2000	2001-3000	3001-5000
PM2.5	0-35	36-50	51-75	76-150	151-250	251-1000
PM10	0-50	51-75	76-100	101-200	201-300	301-2000

Nota: Datasheet del Monitor de calidad de aire Yvelines HTO-131 utilizado para validar los resultados obtenidos

ANEXO 11

Tabla A. 1

Valores obtenidos para la calibración del dispositivo diseñado

PARÁMETRO	DISPOSITIVO (X)	HERRAMIENTA (Y)
VALOR MÍNIMO	0.020 mg/m ³	0.011 mg/m ³
VALOR MÁXIMO	6.150 mg/m ³	1.999 mg/m ³

Ecuación A. 1

Cálculo de la pendiente (m)

$$m = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4)$$

Ecuación A. 2

Cálculo de la pendiente reemplazando los valores

$$m = \frac{1.999 - 0.011}{6.150 - 0.020} = 0.3243 \quad (5)$$

Ecuación A. 3

Cálculo de la intersección (b)

$$b = Y_{min} - (m \times X_{min}) \quad (6)$$

Ecuación A. 4

Cálculo de la intersección reemplazando los valores

$$b = 0.011 - (0.3243 \times 0.020) = 0.0045 \quad (7)$$

Ecuación A. 5

Fórmula utilizada para despejar X

$$X = \frac{Y - b}{m} \quad (8)$$

ANEXO 12

Figura A. 11

Laboratorio de Patología del Hospital del Niño



Nota: El laboratorio de patología del Hospital del Niño contaba con un área principal donde estaba el procesador de tejidos y otra secundaria, para la recepción de muestras y donde estaba la mesa de tallado.

ANEXO 13

Figura A. 12

Áreas en el Laboratorio de Patología del HN donde se realizaron las monitorizaciones de concentración de formaldehído

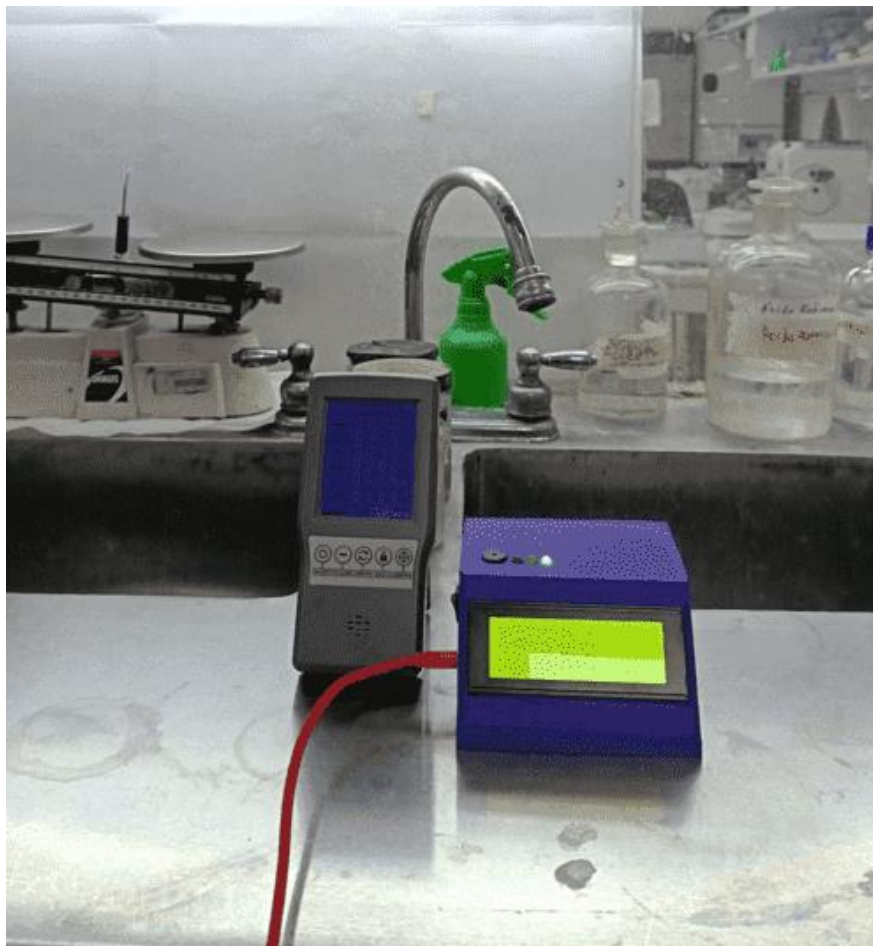


Nota: La imagen (A.) es la mesa de tallado, (B.) la recepción de muestras, (C.) el procesador de tejidos y (D.) el depósito de reactivos.

ANEXO 14

Figura A. 13

Proceso de validación del sistema de monitorización de concentración de formaldehído construido - Área A: Mesa de tallado, HN



Nota: Se colocó el dispositivo diseñado y la herramienta para validar los valores obtenidos en el Área A.

ANEXO 15

Figura A. 14

Proceso de validación del sistema de monitorización de concentración de formaldehído construido - Área B: Recepción de muestras, HN



Nota: Se colocó el dispositivo diseñado y la herramienta para validar los valores obtenidos en el Área B.

ANEXO 16

Figura A. 15

Proceso de validación del sistema de monitorización de concentración de formaldehído construido - Área C: Procesador de tejidos, HN



Nota: Se colocó el dispositivo diseñado y la herramienta para validar los valores obtenidos en el Área C.

ANEXO 17

Figura A. 16

Proceso de validación del sistema de monitorización de concentración de formaldehído construido - Área D: Depósito de reactivos, HN



Nota: Se colocó el dispositivo diseñado y la herramienta para validar los valores obtenidos en el Área D.

ANEXO 18

Figura A. 17

Carta que solicita el permiso para realizar pruebas del sistema de monitoreo en el laboratorio de patología del HN

 **Universidad LATINA de Panamá**
SUMMUM DESIDERIUM SAPIENTIA

LEP-ULATINA24092024-LEP03
Panamá, 24 de septiembre de 2024

Doctor
Paul Gallardo
Director Médico
Hospital del Niño
E. S. D.

REFERENCIA: SOLICITUD DE PERMISO PARA REALIZAR PRUEBAS DE SISTEMA DE MONITOREO EN LABORATORIO DE PATOLOGÍA

Estimado Dr. Gallardo:

Reciba un cordial saludo. Por medio de la presente, me dirijo a usted en mi calidad de Coordinador de la Carrera de Ingeniería Biomédica e Instrumentación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Latina de Panamá, con el propósito de solicitar su autorización para que la estudiante **María Milagros Castillo Ríos**, con cédula de identidad personal **8-973-2350**, pueda realizar pruebas de un **Sistema de Monitoreo de Concentración de Gas Formaldehído** en el Laboratorio de Patología de su distinguida institución de salud.

Estas pruebas forman parte del Trabajo Final de Grado que la estudiante se encuentra desarrollando actualmente. Se tiene previsto que las pruebas se realicen durante el mes de noviembre de 2024, siguiendo los más altos estándares de seguridad y confidencialidad. Los datos recolectados serán utilizados estrictamente con fines académicos, cumpliendo con las normativas vigentes sobre el manejo de información sensible.

Adicionalmente, los resultados obtenidos de dichas pruebas serán compartidos con su institución para su conocimiento y análisis, en un espíritu de colaboración mutua.

Agradeciendo de antemano su atención a esta solicitud, quedo a su entera disposición para cualquier aclaración o información adicional que pueda requerir.

Atentamente,



LUIS C. ESTRADA PETROCELLI, PhD.
lestrada@ulatina.edu.pa
Coordinador de la Carrera de Ingeniería Biomédica e Instrumentación
Universidad Latina de Panamá – Facultad de Ingeniería
Vicepresidente del Capítulo IEEE EMBS de Panamá
Miembro SNI – Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT)

CC. Dr. Moisés Espino, Jefe del Servicio de Patología

Sede Central 230-8648 • Facultad de Ciencias de la Salud, Dr. William C. Gorgas 207-6706
David 774-3737 • Santiago 998-5412 • Azuero 998-1155 • Penonomé 909-1450

Apdo. 0823-00933 Panamá, República de Panamá
www.ulatina.edu.pa



ANEXO 19

Figura A. 18

Carta que remite la aprobación de la realización de pruebas del sistema de monitoreo en el laboratorio de patología del HN



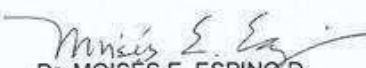
HOSPITAL DEL NIÑO
Dr. José Renán Esquivel
Teléfono: 512 9813 | Fax: 512 9836
www.hn.sld.pa | Asesoría patológica: 5016-00583
PANAMA, AVE. BALBOA, CALLE 24



Patología – 24-0029

Panamá, 10 de octubre de 2024.

PARA: DR. PAUL GALLARDO
Director Médico

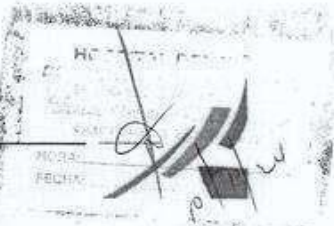
DE: 
Dr. MOISÉS E. ESPINO D.
Jefe del Servicio de Patología.

En respuesta a la nota LEP-ELATINA24092024-LEP03, les notifico que acepto que la estudiante María Milagros Castillo Ríos con cédula de identidad personal 8-973-2350 realice las pruebas de sistema de monitoreo de concentración de Gas Formaldehído en el laboratorio de Patología del Hospital del Niño.

Sin otro particular



"Líder en la atención pediátrica de alta complejidad"



ANEXO 20

Figura A. 19

Carta remitida por la profesora de español

Panamá, 01 de marzo de 2025

Señores

UNIVERSIDAD LATINA DE PANAMÁ

E. S. D.

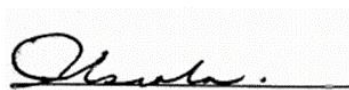
Estimados Señores:

La (el) suscrita (o) notifica haber revisado por solicitud de la (el) estudiante

María Milagros Castillo Ríos con cédula de identidad personal número **8-973-2350**, el proyecto de Investigación Final de Graduación titulado:

“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA MONITORIZACIÓN DE CONCENTRACIONES DE GAS FORMALDEHÍDO EN EL LABORATORIO DE PATOLOGÍA DEL HOSPITAL DEL NIÑO”, y a su vez doy fe de que el documento cumple satisfactoriamente con todos los requisitos formales de ortografía y de redacción exigidos por el idioma español.

Atentamente



Firma del Profesor (a) de Español

ANEXO 21

Figura A. 20

Formulario de entrega de proyecto



SEDE CENTRAL

FORMULARIO DE ENTREGA DE PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

Nota: Llenar este formulario a máquina de escribir. Entregar este formulario junto con el Proyecto Final de Graduación y los Paz y Salvo

Por este medio, notifico que el Proyecto

Titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA MONITORIZACIÓN DE CONCENTRACIONES DE GAS FORMALDEHÍDO EN EL LABORATORIO DE PATOLOGÍA DEL HOSPITAL DEL NIÑO”**

Correspondiente al estudiante **María Milagros Castillo Ríos**

De la carrera **Licenciatura en Ingeniería Biomédica e Instrumentación**

Doy fe que he revisado y autorizado la entrega del Proyecto Final de Graduación (Documento Final), a Secretaría Académica, por reunir los requisitos y acatamientos exigidos por la Universidad Latina de Panamá y sugiere se le asigne la fecha para su defensa oral (sustentación).

Autorización del Director del Proyecto Final de Graduación:

Nombre del Profesor Director Alfredo Enrique Lescher Soto

Firma de Autorización

Teléfono 6126-3467

Autorización del Profesor responsable del Curso Proyecto Final de Graduación:

Nombre del Profesor Alfredo Enrique Lescher Soto

Firma de Autorización

Teléfono 6126-3467

En caso de revisión de un Profesor de Español

Notifico que doy fe que el documento cumple satisfactoriamente con todos los requisitos formales de ortografía y de redacción exigidos por el idioma español.

Nombre del Profesor de Español Raquel E. Escala D.

Autorización

Firma del Estudiante Fecha de Entrega 03/04/2025

Recibido por _____ Fecha _____