



**Universidad Técnica
Latinoamericana**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE LA
CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL SENSOR CCS811 Y SANITIZACIÓN
DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA, UTILIZANDO UNA
INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI) Y UN PROCESO CONTROLADO DE
LUZ ULTRAVIOLETA (UV-C).”**

PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PRESENTADO POR:

Br. José Wilfredo Mejía Castro.

Br. Jorge Armando Molina Garmendia.

SANTA TECLA, SEPTIEMBRE 2024



**Universidad Técnica
Latinoamericana**

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

ING. ROSENDO MAURICIO SERMEÑO PALACIOS
RECTOR

ING. FRANCISCO ALFREDO CARRILLO LARREYNAGA
VICE-RECTOR

ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL

LIC. CARLOS ALBERTO COCA MUÑOZ
FISCAL

ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. RENÉ EDUARDO CUÉLLAR FIGUEROA
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SANTA TECLA, 23 SEPTIEMBRE 2024



Universidad Técnica Latinoamericana

ASESOR

ING. GUSTAVO RAÚL ALFARO

JURADO EVALUADOR

ING. FRANCISCO ERNESTO COLORADO GUTIERREZ

ING. JOSE ALEXANDER RAMIREZ HERNANDEZ

INGA. ANA GLADIS REVELO VERDI

SANTA TECLA, 23 SEPTIEMBRE 2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL TRESCIENTOS SESENTA Y OCHO

A las ocho horas y treinta minutos, del sábado seis de julio de dos mil veinticuatro. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por JOSE WILFREDO MEJIA CASTRO, en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

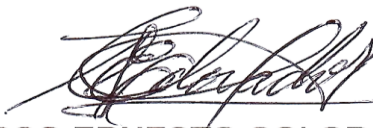
“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE, MEDIANTE EL SENSOR CCS811; Y SANITIZACION DEL AIRE, UTILIZANDO UNA INTERFAZ Y LUZ UV, EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA UTLA.”

Se dio por aprobada, la parte escrita.

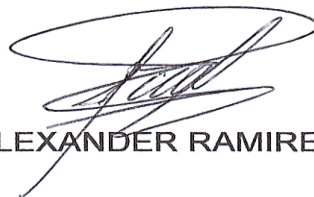
SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADO, con una calificación de *SIETE PUNTO OCHO (7.8)*, el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado, obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO EN ELECTRONICA

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



ING. FRANCISCO ERNESTO COLORADO GUTIERREZ



ING. JOSE ALEXANDER RAMIREZ HERNANDEZ



ING. ANA GLADIS REVELO VERDI



ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL TRESCIENTOS SESENTA Y SIETE

A las ocho horas y treinta minutos, del sábado seis de julio de dos mil veinticuatro. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por JORGE ARMANDO MOLINA GARMENDIA, en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE, MEDIANTE EL SENSOR CCS811; Y SANITIZACION DEL AIRE, UTILIZANDO UNA INTERFAZ Y LUZ UV, EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA UTLA.”

Se dio por aprobada, la parte escrita.

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADO, con una calificación de *OCHO PUNTO DOS (8.2)*, el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado, obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO EN ELECTRONICA

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



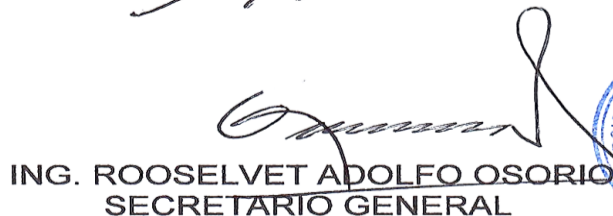
ING. FRANCISCO ERNESTO COLORADO GUTIERREZ



ING. JOSE ALEXANDER RAMIREZ HERNANDEZ



ING. ANA GLADIS REVELO VERDI



ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



TESIS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE
MEDIANTE EL SENSOR CCS811 Y SANITIZACIÓN DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA, UTILIZANDO UN INTERFAZ
HUMANO MAQUINA (HMI) Y UN PROCESO CONTROLADO DE LUZ ULTRAVIOLETA (UV-C).

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	9
AGRADECIMIENTOS	10
INDICE DE TABLAS.....	11
INDICE DE FIGURAS.....	12
INDICE DE ANEXOS.....	14
GLOSARIO.....	15
ABSTRAC.....	17
RESUMEN	18
PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	19
INTRODUCCIÓN.....	20
DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD	21
1 CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
1.1 Descripción general.....	26
1.2 Justificación.....	27
1.3 Objetivos	29
1.3.1 Objetivo general.....	29
1.3.2 Objetivos específicos.....	29
1.4 Delimitaciones del problema	30
1.5 Limitantes.....	31
2 CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA	34
2.1 Antecedentes en la región	34
3 CAPITULO III: MARCO TEÓRICO	45

3.1	Calidad del aire en interiores.....	45
3.2	Compuestos orgánicos volátiles.....	46
3.3	Fuentes de compuestos orgánicos volátiles	47
3.4	Efectos en la salud de los compuestos volátiles	48
3.4.1	Los principales síntomas asociados	48
3.4.2	Pasos para reducir la exposición de contaminantes.....	51
3.5	El aire.....	54
3.6	Contaminación atmosférica.....	55
3.7	Calidad del aire.....	55
3.8	Contaminación del aire	56
3.9	Dióxido de carbono CO ₂	56
3.10	Efectos sobre la salud	58
3.11	Efectos en la salud humana	59
3.12	Radiación ultravioleta	60
3.13	Luz Ultravioleta (UV-C).....	63
3.14	Ventajas de usar lámparas de presión baja o de presión media	65
3.15	Agentes patógenos que deben inactivarse.....	68
3.16	Efectos de la radiación ultravioleta.....	69
3.17	Riesgos a la exposición.....	71
3.18	Beneficios de la radiación ultravioleta.....	72
3.19	Efectos contaminantes.....	73
3.20	Métodos de desinfección y esterilización en espacios laborales	74
3.20.1	Limpieza manual	75

3.20.2	Prelavado	75
3.20.3	Lavado y fregado	75
3.20.4	Desinfección	76
3.20.5	Métodos de desinfección con procedimientos físicos	76
3.20.6	Esterilización	77
3.21	Métodos físicos de esterilización	78
3.21.1	Asepsia	78
3.21.2	Antisépticos	79
3.22	Tecnologías innovadoras para la inactivación de patógenos	79
3.22.1	Clean air	79
3.22.2	Plasma frío	80
3.23	Desinfección aeróbica (ozono)	80
3.24	Contaminantes	81
3.24.1	Monóxido de carbono	81
3.24.2	Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂ , NO _x)	81
3.24.3	Material Particulado (PM)	82
3.25	Dióxido de nitrógeno	83
3.26	Dióxido de carbono (CO ₂)	83
3.27	Nitrógeno	84
3.28	Contaminantes atmosféricos	85
3.29	Fuente antropogénica	86
3.30	Fuentes de la contaminación natural	87
3.31	Fuentes de contaminación móvil	88

3.32	Enfermedades respiratorias.....	88
3.32.1	Enfermedades cardiovascular.....	89
3.33	Riesgo a la salud.....	89
3.34	Estudios enfocados	90
3.35	Densidad aparente.....	91
3.36	Temperatura del aire	91
3.37	Humedad.....	91
3.37.1	Tipos de humedad.....	92
4	CAPITULO IV: DESARROLLO DEL MODELO.....	94
4.1	Descripción de características de los equipos utilizados	94
4.1.1	Arduino.....	94
4.1.2	Características.....	94
4.2	Resumen funcional.....	95
4.3	Modulo de entradas y salidas digitales.....	96
4.4	Lámparas de sanitización.....	98
4.4.1	Características.....	98
4.5	Módulos de relé.....	99
4.5.1	Características.....	99
4.6	Pantalla de monitoreo	100
4.6.1	Tipos de interfaces.....	100
4.6.2	Características y esquema.....	101
4.7	Dispositivos de campo	102
4.7.1	Sensor CCS811.....	102

4.7.2	Características	102
4.8	Final de carrera	103
4.8.1	Características	103
4.9	Resistor.....	104
4.10	Capacitor	104
4.11	Transistor	104
4.12	Sensor de movimiento	105
4.12.1	Características	106
4.13	Protecciones de control	107
4.13.1	Interruptor termomagnético de curva B.....	107
4.13.2	Interruptor termomagnético de curva C.....	107
4.13.3	Interruptor termomagnético de curva D	108
4.13.4	Características	108
4.14	Software Arduino	108
4.15	XP Builder	109
4.16	Convertidor de comunicación TTL	109
4.16.1	Características	110
4.17	Programador semanal.....	110
4.17.1	Características	111
4.18	Fuente de alimentación	111
4.18.1	Características	112
4.19	Bornes de control.....	112
4.20	Cables de control	113

4.20.1	Características	113
5	CAPITULO V: DISEÑOS EXPERIMENTALES	115
5.1	Adaptación de dispositivos	115
5.1.1	Primer desarrollo	116
5.1.2	Segundo desarrollo	117
5.1.3	Tercer desarrollo.....	118
5.2	Desarrollo lógico	119
5.3	Diagrama de bloques	120
5.4	Registro de memorias	123
5.5	Integración de equipos	124
5.5.1	Pruebas de software y hardware.....	124
6	CAPITULO VI: MARCO LEGAL	135
6.1	Normativa nacional	135
6.1.1	Ley del Medio Ambiente de El Salvador	135
7	CAPITULO VII: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	144
7.1	Ubicación geográfica del área de estudio.....	144
7.2	Tipo de investigación.	144
7.3	Identificación de la zona de estudio	145
7.4	Presupuesto general del proyecto	145
7.5	Recursos	146
	CONCLUSIONES.....	147
	RECOMENDACIONES.....	148
	ANEXOS	150
	BIBLIOGRAFÍA.....	166

DEDICATORIA

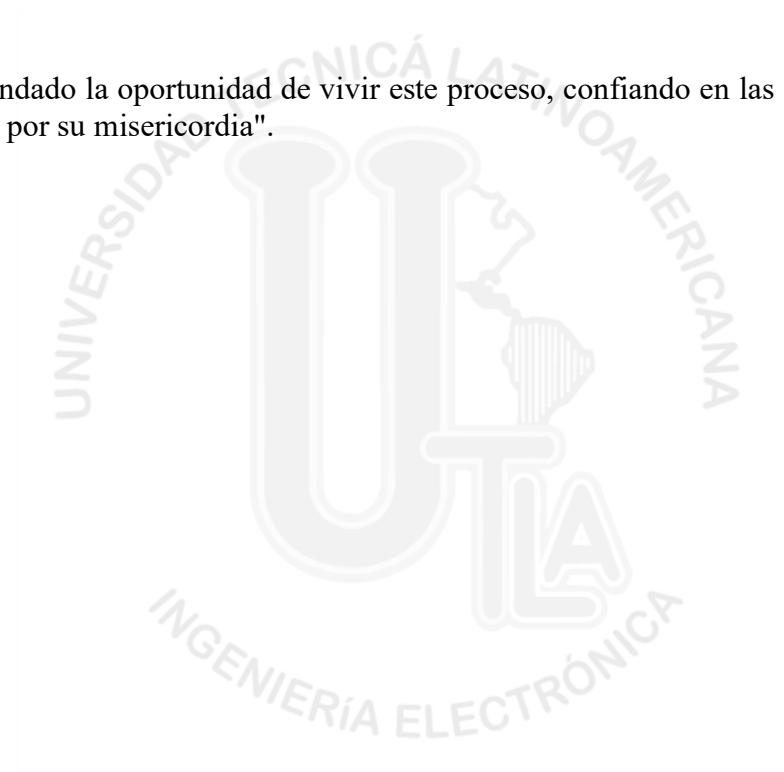
"Dedico esta tesis a Dios, por ser mi guía espiritual en este largo camino, gracias a él superé los momentos difíciles y me levanté para culminar con éxito. A Jesús de la misericordia, por escuchar mis peticiones y reconfortarme cada momento. ¡En ti confié! Y confiaré siempre".

"Dedico este proyecto de tesis a mi papá por ser ese pilar fundamental, mi apoyo incondicional, mi motivador y el mejor consejero que Dios pudo haberme dado".

Wilfredo.

"Por haberme brindado la oportunidad de vivir este proceso, confiando en las capacidades que él me dio, por eso y por su misericordia".

Jorge.



AGRADECIMIENTOS

"Más que una alegría, es una acumulación de emociones, ya que es una satisfacción finalizar esta etapa en la universidad". Finaliza algo que inicié con mucho interés y dedicación".

"Agradezco a Dios y luego a mi familia que siempre me dieron su comprensión y cariño, especialmente a Gladis Garmendia, por tanto, sacrificio y apoyo, a mis padres quienes a través de su esfuerzo me brindaron todo el necesario para avanzar y terminar mis estudios".

Jorge.

"Gracias a Dios en primer lugar y a mi familia, mi papá José Belarmino Mejía que ya no lo tengo conmigo que fue un pilar fundamental para que yo siguiera adelante con mis estudios, sus consejos fueron esa semilla que el dejó en este mundo para que pudiera cosechar este fruto y así poder concluir con mi carrera, a mi mamá Marisol de Mejía que siempre me motivo a seguir adelante y nunca rendirme ante los problemas y situaciones de la vida, a mi abuela Ana victoria Amaya por siempre estar para mí en cualquier situación sus consejos fueron los que me motivaron siempre y hoy que no está conmigo sé que estaría orgullosa, a mi hermano Alejandro Mejía que siempre viajó conmigo hasta la Universidad para estudiar y vivir esa experiencia única entre hermanos".

"No fue sencillo llegar hasta aquí, pasamos por necesidades, problemas económicos, accidentes, y por último pérdidas familiares por causa de la pandemia, pero logré llegar hasta aquí y me siento muy agradecido".

"Quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Técnica Latinoamericana por todos y cada uno de los conocimientos que me impartieron, voy a luchar cada día por ser un buen profesional y representar dignamente a esta gran institución".

Wilfredo.

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 Niveles de contaminantes de compuestos orgánicos volátiles.	38
TABLA 2 Cantidad máxima de sustancias contaminantes en ppm.	42
TABLA 3 Punto de ebullición los contaminantes.	46
TABLA 4 Características de las lámparas de presión media y baja.	66
TABLA 5 Cálculos logaritmícosde inactividad de patógenos.....	68
TABLA 6 Características técnicas Arduino.	94
TABLA 7 Características técnicas de lampara ultravioleta utilizada.	98
TABLA 8 Características técnicas del relé de control.....	99
TABLA 9 Características técnicas de pantalla HMI.....	101
TABLA 10 Características técnicas de sensor CCS811.....	102
TABLA 11 Características técnicas de final de carrera.....	103
TABLA 12 Características técnicas del sensor PIR.	106
TABLA 13 Características técnicas de protección de control.....	108
TABLA 14 Características técnicas del módulo de comunicación.	110
TABLA 15 Características técnicas de timer digital.	111
TABLA 16 Características técnicas de fuente de alimentación.....	112
TABLA 17 Características técnicas del cable de control.	113
TABLA 18 Mapeo de variables utilizadas y espacio de memoria de las pantallas HMI.	123
TABLA 19 Mapeo de variables utilizadas y registro de entradas/salidas de Arduino.	123
TABLA 20 Valores máximos de concentración de contaminantes.	138
TABLA 21 Tabla A1 Muestreo, frecuencia y métodos analíticos de medición.....	141
TABLA 21 Costo de materiales utilizados para el desarrollo del proyecto.	145
TABLA 22 Honorarios equivalentes a consumibles y hora hombres consideradas para el desarrollo técnico del proyecto	146

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Evolución geométrica de las emisiones de CO ₂ .	58
FIGURA 2	Efecto de la luz ultravioleta en el ADN.	61
FIGURA 3	Longitud de onda en el espectro ultravioleta.	63
FIGURA 4	Diagrama espectral de las lámparas amalgama.	64
FIGURA 5	Diagrama espectral de las lámparas de presión.	64
FIGURA 6	Lampara de presión baja.	66
FIGURA 7	Lampara de presión media.	67
FIGURA 8	Esquema proporcional de material particulado.	82
FIGURA 9	Evolución de los niveles de Co ₂ en una sala de spinning para diferentes actividades metabólicas.	84
FIGURA 10	Esquema Arduino Mega.	94
FIGURA 11	Distribución de nombres de in-out Arduino Mega.	95
FIGURA 12	Esquema pin in-out Arduino Mega.	96
FIGURA 13	Distribución pin in-out Arduino Mega.	97
FIGURA 14	Lampara ultravioleta con base.	98
FIGURA 15	Esquemático relé de control.	99
FIGURA 16	Esquema de pantalla HMI.	100
FIGURA 17	Características de la HMI.	101
FIGURA 18	Esquema de sensor CCS811.	102
FIGURA 19	Esquema de final de carrera.	103
FIGURA 20	Esquema de resistencia eléctrica.	104

FIGURA 21	Esquema de capacitor.	104
FIGURA 22	Esquema de transistor.	104
FIGURA 23	Esquema de sensor PIR.....	105
FIGURA 24	Rangos de registro de distancia de sensor.....	106
FIGURA 25	Esquema de protección eléctrica.....	107
FIGURA 26	Logo de la plataforma Arduino.....	108
FIGURA 27	Modulo convertidor TTL.....	110
FIGURA 28	Timer digital.....	111
FIGURA 29	Fuente de alimentación.	111
FIGURA 30	Borne de control.....	112
FIGURA 31	Pagina principal de prototipo.	116
FIGURA 32	Pagina de visualización principal del prototipo.	117
FIGURA 33	Pagina de visualización de concentración de CO2 de sensor 1 y 2.	118
FIGURA 34	Pagina de visualización de concentración de COV de sensor 1 y 2.	119
FIGURA 35	Flowchart de los procesamientos principales. (Fuente: Diseño propio).....	121
FIGURA 36	Flowchart de los dispositivos de entradas y salidas. (Fuente: Diseño propio)	122
FIGURA 37	Visualización del monitor serial del Arduino.	128
FIGURA 38	Implementación del prototipo en el laboratorio de electrónica.	130
FIGURA 39	Ubicación geográfica del laboratorio de la UTLA.	144

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	Distribución general de los equipos.	150
ANEXO 2	Vista de tablero de control.	151
ANEXO 3	Ubicación de sensores de movimiento y sensor de compuestos orgánicos volátiles.	152
ANEXO 4	Ubicación de la lampara ultravioleta (UV-C).	153
ANEXO 5	Diseño de panel de control.	154
ANEXO 6	Lógica de control esquematizada.	155
ANEXO 7	Diseños de pantallas (HMI).	156
ANEXO 8	Registro de datos de sensores por medio de bus i2C	160
ANEXO 9	Guia de interpretación de datos.	160
ANEXO 10	Guia de uso rápido de prototipo electrónico	162

GLOSARIO

El **REL**, Recommended Exposure Limit, es el límite recomendado de exposición ocupacional recomendado por el Instituto Nacional de Salud y Seguridad y, por lo general, se basa en un promedio ponderado durante un periodo de exposición de 10 horas.

La **ACGIH**, American Conference Of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales), hace recomendaciones sobre los límites de exposición laboral a sustancias químicas.

La **EPA**, Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental), es el organismo federal responsable de controlar los riesgos ambientales.

mg/m3, Significa miligramos de sustancia química por metro cúbico de aire. Es una medida de concentración (peso/volumen).

La **NFPA**, National Fire Protection Association (Asociación Nacional para la Protección contra Incendios), clasifica las sustancias según el riesgo de incendio y explosión.

La **OSHA**, Occupational Safety and Health Administration (Administración de Salud y Seguridad en el Trabajo), es un organismo federal que establece normas de salud, seguridad y asegura el cumplimiento de estas. Las mismas siglas también se refieren a la Safety and Health Act (Ley de Salud y Seguridad en el Trabajo).

PPM, significa partes de sustancia por millón de partes de aire. Es una medida de concentración por volumen en el aire.

EL **debugging**, es la depuración de programas, es el proceso de identificar y corregir errores de programación. Es conocido también por el término inglés debugging, cuyo significado es eliminación de bugs, manera en que se conocen informalmente los errores de programación.

HMI, es el interfaz entre el proceso y los operarios; se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación.

COV, Los compuestos orgánicos volátiles son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura.

UV, Se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 100 nm (100×10^{-9} m) y los 400 nm (400×10^{-9} m).

NH₃, El amoníaco es un compuesto químico cuya molécula está formada por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H) de acuerdo con la fórmula NH₃.

Desoxidante, Un desoxidante es un compuesto químico utilizado en una reacción para eliminar oxígeno. En comparación con los antioxidantes, los desoxidantes no se utilizan para la estabilización durante el almacenamiento, sino para la eliminación del oxígeno durante la fabricación.

Fenol, El fenol es un sólido incoloro, cuando ocurre en forma pura. La preparación comercial es un líquido que se evapora más lentamente que el agua. El fenol tiene un olor repugnantemente dulce y alquitranado característico.

El TRAP, la contaminación del aire relacionada con el tráfico.

La NTP, el Programa Nacional de Toxicología, proporciona la base científica para los programas, actividades y políticas que promueven la salud o conducen a la prevención de enfermedades.

El NIEHS, Instituto Nacional de Ciencias de la Salud Ambiental.

El CO, el monóxido de carbono, es un gas inodoro, incoloro, insípido, tóxico y muy inflamable.

El CO₂, Es un compuesto de carbono y oxígeno que existe como gas incoloro en condiciones de temperatura y presión estándar.

La EPOC, la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica o EPOC, hace referencia al grupo de enfermedades que causan obstrucción de la circulación del aire y generan problemas relacionados con la respiración. Entre estas enfermedades se encuentran el enfisema, la bronquitis crónica y, en algunos casos, el asma.

El Si, es un elemento químico metaloide, número atómico 14 y situado en el grupo 14 de la tabla periódica de los elementos de símbolo Si.

Ge, Es un metaloide blanco grisáceo, brillante, duro y quebradizo en el grupo del carbono, químicamente similar a su grupo vecino, el silicio y el estaño.

El PIR, un sensor infrarrojo pasivo, es un sensor electrónico que mide la luz infrarroja radiada de los objetos situados en su campo de visión.

IDE, Un entorno de desarrollo integrado o simplemente entorno de desarrollo interactivo, en inglés Integrated Development Environment.

PC, circuito inter-integrado es un bus serie de datos desarrollado en 1982 por Philips Semiconductors. Se utiliza principalmente internamente para la comunicación entre diferentes partes de un circuito.

INSS, Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, es un organismo público español que actúa como el órgano científico técnico especializado de la Administración General del Estado.

ABSTRAC

The main sources of air pollution in schools and universities in El Salvador are construction materials, finishes, furniture, and all substances related to the activities that take place in these environments, such as cleaning products, paints, adhesives, production of humidity and carbon dioxide, this research project has the general purpose of contributing to the monitoring and improvement of air quality inside the laboratory of the Latin American Technical University. Common indoor pollutants in schools and colleges include mainly nitrogen dioxide particles, carbon volatile organic compounds (VOCs), formaldehyde, biological agents such as allergens (from dust mites, cats, dogs, cockroaches, and fungi), mold, viruses, and bacteria.

The lack of national and international regulations prevent there being laws that protect people in general and specifically students and teachers, with the purpose of providing technological tools that serve to monitor polluting variables, the electronic monitoring prototype was developed, it also incorporates an automated sterilization system to ensure disinfection of pathogens harmful to human health. A person is a combination of genetics, environment and lifestyle, although it is true that genetic information inherited from parents interferes, among other things, with the ability to tolerate certain toxins better or worse and to cause pathologies or not (Elisabet Silvestre in Bioterra 2014). But globally, in an environment where it is understood that the spaces where we spend most of our time are contaminated, they are linked to the lifestyles we have recently adopted.

Each time it becomes an indispensable necessity in following a healthy lifestyle, betting on a selection of ecological products free of chemicals and friendly manufacturing for the environment. However, it is common to incorporate potentially toxic substances in the manufacture of cleaning and personal hygiene materials and products, which increase the generation of toxic waste that harms the environment and causes dangers to people's health. The National Institute of Safety and Hygiene at Work (INSST) affirms an increase in the deterioration of the environmental conditions of closed spaces, likewise, the National Association of Health Informants (ANIS) indicates that the air inside the spaces could be up to 5 times more polluted than outside.

RESUMEN

Las principales fuentes de contaminación del aire en las escuelas y universidades de El Salvador son los materiales de construcción, los acabados, el mobiliario y todas las sustancias relacionadas con las actividades que se desarrollan en estos entornos, sean estos productos de limpieza, pinturas, adhesivos, producción de humedad y dióxido de nitrógeno, carbono, compuestos orgánicos volátiles, formaldehído, agentes biológicos como alérgenos (de ácaros del polvo, gatos, perros, cucarachas y hongos), moho, virus y bacterias. Este proyecto investigativo tiene como propósito general contribuir con el monitoreo y el mejoramiento de la calidad del aire al interior del laboratorio de la Universidad Técnica Latinoamericana. Los contaminantes interiores comunes en las escuelas y universidades incluyen principalmente partículas de dióxido de nitrógeno, carbono, compuestos orgánicos volátiles, formaldehído, agentes biológicos como alérgenos (de ácaros del polvo, gatos, perros, cucarachas y hongos), moho, virus y bacterias.

La falta de regulaciones nacionales e internacionales evitan que haya leyes que protejan a las personas en general y específicamente a estudiantes y maestros. Con el propósito de proveer de herramientas tecnológicas que sirvan para monitorear variables contaminantes, se desarrolló el prototipo de monitoreo electrónico, además se incorpora un sistema de esterilización automatizado para garantizar la desinfección de patógenos perjudiciales para la salud humana. Una persona es una combinación de genética, ambiente y estilo de vida, aunque es cierto que la información genética heredada de los padres interfiere, entre otras cosas, la capacidad de tolerar mejor o peor algunos contaminantes tóxicos y causar patologías o no (Elisabet Silvestre en Bioterra 2014). A nivel global, en un entorno en el que se entiende que los espacios donde pasamos la mayor parte de nuestro tiempo están contaminados, van ligados a los estilos de vida que hemos adoptado recientemente.

Cada vez se convierte en una necesidad indispensable el seguir un estilo de vida saludable, apostando por una selección de productos ecológicos libre de químicos y de fabricación amigable para el ambiente. Sin embargo, es habitual la incorporación de sustancias potencialmente tóxicas en la fabricación de materiales y productos de limpieza y aseo personal, que incrementan la generación de residuos tóxicos que perjudican el medio ambiente, y causan peligros en la salud de las personas. El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSST) afirma un

aumento en el deterioro de las condiciones ambientales de los espacios cerrados; así mismo, la Asociación Nacional de Informadores de la Salud (ANIS) señala que el aire del interior de los espacios podría estar hasta 5 veces más contaminado que el del exterior.

PUNTOS DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo de fin de grado se divide en cinco partes principales:

El **primer capítulo** muestra el contexto general acerca de la calidad del aire en espacios interiores y el uso de la luz ultravioleta para esterilización y eliminación de patógenos contaminantes en ambientes cerrados, ya que son los lugares donde la población pasa gran parte de su tiempo. Se muestran los objetivos, las limitantes y la justificación de la investigación.

El **segundo capítulo** contempla el marco de referencia, de forma general, y se muestran los estudios de investigaciones relacionadas a los compuestos orgánicos volátiles y uso de luz ultravioleta a nivel nacional e internacional.

El **tercer capítulo** muestra el marco teórico en donde se recopilan y sistematizan los conceptos fundamentales para el desarrollo de la investigación. Se estudian a detalle las principales fuentes de contaminación en interiores, se dan a conocer algunos patógenos contaminantes que por sus parámetros son los más perjudiciales y por tanto los más significativos a evitar por su afección en la salud de las personas; además, se muestran las ventajas de la utilización de la luz ultravioleta para la mitigación de patógenos perjudiciales para la salud de las personas.

El **cuarto capítulo** muestra toda la información técnica de todos los dispositivos que componen el diseño experimental de monitoreo de variables contaminantes y proceso controlado de esterilización.

En el **quinto capítulo** se desarrolla todo el proceso de diseño y funcionalidad del prototipo electrónico, se muestran pruebas, calibración y ajuste de los sensores instalados al interior del laboratorio, además de mostrar la estructura lógica de funcionamiento de todo el sistema.

El **sexto capítulo** presenta el conjunto de leyes, normas y reglamentos nacionales considerados para el desarrollo de la investigación y creación del prototipo.

En el **séptimo capítulo** se muestran los sujetos y variables en las que se enfoca el estudio; define el tipo de investigación e identificación de la zona de estudio.

Por último, se incluye un conjunto de anexos que contienen imágenes que ilustran el desarrollo general y la integración del proyecto realizado. Además, se adjunta la guía de usuario del prototipo y un manual para interpretar los datos medidos por el prototipo electrónico.

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire que respiramos, la limpieza de las superficies y áreas frecuentadas tienen gran influencia en nuestra salud y bienestar. Todos corremos el riesgo de contraer y propagar microorganismos (virus, bacterias, hongos etc.) especialmente en lugares públicos y concurridos. La radiación ultravioleta es un desinfectante conocido que puede contribuir a mitigar el riesgo de contraer una infección y que se ha utilizado ampliamente durante más de 30 años. En algunas pruebas de laboratorio realizadas, se demostró que las fuentes de luz ultravioleta inactivaron un porcentaje significativo del virus SARS-CoV, en una superficie con un tiempo de exposición de 6 segundos. Es un indicativo de que la radiación puede desempeñar un papel importante en la estrategia de protección del laboratorio. Por lo tanto, se considera necesaria, la implementación de un sistema de sanitización por medio de luz ultravioleta (UV-C). Con monitoreo de variables del equivalente de dióxido de carbono (eCO_2) y partículas volátiles (COV), lo cual permite mostrar mediciones reales y actualizadas para garantizar un mejor ambiente en el recinto.

La calidad de un aire interior (CAI) viene determinada por el nivel de contaminación existente en ese ambiente concreto, principalmente debido a la presencia de gases y vapores orgánicos e inorgánicos; por tal razón, los espacios cerrados con poca o inadecuada ventilación con un alto nivel de circulación de personas favorecen las concentraciones de estos compuestos y esto resulta en un aumento descontrolado. Lamentablemente la contaminación del aire no es visible, pero se puede medir, es por eso que desarrollamos una solución que permite monitorear la concentración de compuestos volátiles en el laboratorio de la Universidad Técnica Latinoamericana, integrando un conjunto de sensores instalados en puntos estratégicos, los cuales brindan información en tiempo real de las variables contaminantes y posteriormente las muestra en una interfaz visual (HMI), los principales son: compuestos volátiles en rangos de 0 ppb a 1187 ppb y el equivalente de dióxido de carbono eCO_2 en rangos de 400 ppm a 8192 ppm, además se integra un sistema de desinfección mediante la utilización de luz ultravioleta, esto se conoce como un proceso físico que usa la radiación con efecto germicida con una longitud de onda de 254nm, el cual destruye la composición del ADN de los microorganismos impidiendo su reproducción y una mejor calidad del aire al interior de un recinto.

Por lo general, los niveles a los que la sociedad se expone a determinadas sustancias químicas son bajos, sin embargo, el problema existe cuando la exposición es prolongada en el tiempo, comprometiendo el equilibrio del organismo. Para evitar que los factores de autorregulación del organismo dejen de funcionar adecuadamente y aparezcan enfermedades, existen medidas de regulación que se pueden llevar a cabo para evitar que el cuerpo alcance el estado de intolerancia ambiental. Una de ellas es sobre la que se articula este trabajo. Se trata de controlar la existencia de algunos compuestos químicos perjudiciales para la salud y el medio ambiente, que a largo plazo sensibilizan los organismos. Transmitiendo la importancia de vivir en un ambiente interior biótico y favorable, para que los sistemas biológicos no tengan que estar continuamente buscando el equilibrio, por estar en ambientes insalubres, y gozar de un óptimo estado de salud prolongado en el tiempo.

Es necesario precisar que nunca se deben alcanzar valores superiores a los admisibles legislados acerca de los diferentes contaminantes. A través del Parlamento Europeo, la Unión Europea ha presentado una resolución en la que establece la necesidad de una propuesta directiva específica, en la que se incluyen: las sustancias a prohibir o a regular su uso, las normas de calidad aplicables a los distintos tipos de ambientes interiores, las normas sobre el mantenimiento de los edificios públicos y las prescripciones sobre el planteamiento, la construcción, la gestión y el mantenimiento de las instalaciones de aire acondicionado y de ventilación.

La salud ambiental de los espacios interiores, como el hogar, el lugar de trabajo o de estudio, repercute en la calidad de vida de las personas, afectando en la salud y confort de los usuarios, pudiendo ser en ocasiones la causante de muchas enfermedades. Es por ello por lo que la calidad del aire interior se define en función de una serie de parámetros, que incluyen la compartimentación, la calidad del aire exterior y la existencia de fuentes contaminantes y su magnitud.

DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD

Se estima que una gran parte de la población mundial está expuesta a niveles de contaminación que superan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud; esto produce un impacto negativo en el desarrollo de la población, tanto en la parte social como en lo económico,

afectando directamente la competitividad económica de los países, viéndose afectados principalmente en el desarrollo local.

De acuerdo con la información presentada por la OMS, la contaminación del aire cuesta miles de millones de dólares anualmente en costos médicos y pérdida de productividad. Al evaluar los impactos en la salud de algunos países de América Latina y el Caribe (ALC), como Guatemala, Colombia, Perú, El Salvador y República Dominicana. El Banco Mundial considera que la parte de la economía afectada por tales emisiones representa hasta el 2% del Producto Interno Bruto (PIB); de acuerdo con este análisis, se podrían lograr ahorros entre \$2.2 a \$6.2 miles de millones por año en costo social, con la implementación de escenarios de control de la contaminación en ambientes abiertos y cerrados.

La evolución de la pandemia ha obligado la implementación de sistemas que permiten controlar algunos contaminantes en recintos cerrados con una mayor circulación de personas; por lo tanto, en la actualidad es requerido contar con diferentes protocolos de desinfección y procesos de sanitización controlados, para prevenir, proteger y cuidar la salud de los grupos familiares.

Existen contaminantes que se mueven en el aire y pueden provocar enfermedades. Dependiendo del grado de peligrosidad, con el pasar de los años pueden llegar a ser mortales para la salud de las personas. En ambientes cerrados, el aire se convierte en una herramienta eficiente de propagación de partículas contaminantes, especialmente las PM_{2,5} son capaces de entrar profundamente en los pulmones y en el torrente sanguíneo, causando impactos cardiovasculares, cerebrovasculares (ictus) y respiratorios. Cada vez hay más pruebas de que las partículas afectan a otros órganos y causan también otras enfermedades¹.

El brote de coronavirus ha sido ampliamente reportado en los noticieros del mundo y la Organización Mundial de la Salud, lo ha declarado oficialmente como una pandemia, desde el 11 de marzo del 2020. Esto significa que la enfermedad se está extendiendo en varios países de todo

¹ UNICEF. (s.f.). La contaminación atmosférica mundial. Misión UNICEF. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de <https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592#:~:text=Casi%20toda%20la%20poblaci3n%20mundial,sobre%20la%20calidad%20del%20aire.>

el mundo, al mismo tiempo afectando a cientos de miles de personas en todos los continentes, causando un número de muertes que, a la fecha, sigue en ascenso, mientras las autoridades sanitarias trabajan para frenar su expansión y efectos en la población. Por la complejidad, periódicamente aparecen nuevos brotes, los cuales causan una gran preocupación a las autoridades sanitarias. Según estudios realizados, el primero está relacionado con la aparición de casos de hepatitis de origen desconocido, que afecta principalmente a niños, y el segundo, marcado por la llegada de la viruela del mono que está afectando a diferentes países. Ahora los científicos intentan desvelar los orígenes y causas de estos brotes surgidos tras la enfermedad COVID-19. En la última se registran diversos brotes vinculados a virus como el ébola, zika, dengue, sarampión, y la evolución descontrolada del SARS, los cuales han causado problemas de salud y han hecho que tengamos que encontrar métodos de protección en cuanto a las medidas de prevención y control de las enfermedades. El aire se considera como un medio rápido de propagación. Muchos países están tomando medidas para mejorar la calidad del aire. La Organización de las Naciones Unidas, pide que se intensifiquen, ya que esto traerá mejores beneficios para la población en general.

La mayoría de la población se expone a la luz ultravioleta, sin ningún tipo de protección, por desconocimiento de las medidas preventivas adecuadas y de las horas del día de mayor incidencia, así como por la creencia que la ropa normal y la sombra de algún objeto o los nublados evitan la exposición. Actualmente, el uso de diferentes tipos de lámparas ultravioletas en la vida diaria es algo común, se cree que por el simple hecho de ser luz resulta inocua cuando nos exponemos a ella. Asimismo, se sabe que la luz que emite el sol produce daño al ácido desoxirribonucleico (ADN), originado principalmente por la luz ultravioleta, se conoce que la radiación solar es vital para el desarrollo de la vida en la tierra; además, proporciona muchos beneficios a la salud ya que interviene en la producción de la vitamina D y en el proceso de la fotosíntesis e incluso sirve como antidepresivo, sus efectos no solo son buenos, pues también es capaz de producir perjuicios a la salud y de dañar principalmente la piel por efecto de la luz ultravioleta. Los efectos provocan serios problemas de salud y se acumulan a lo largo de la vida. Así que aprender a disfrutar de los rayos del sol hace de vital importancia conocer los conceptos básicos de la fotoprotección. La capacidad defensiva de la piel es menor que el daño que causa la radiación que llega a ella, de modo que se deben aplicar protectores contra la luz ultravioleta de tipo A y B. Los bloqueadores solares son benéficos, pues reducen el daño a la piel y al ADN, bajan la frecuencia de mutaciones, inhiben lo

que se considera fotoenvejecimiento y reducen las queratosis y las lesiones precancerosas. El uso de la luz ultravioleta de tipo C, como método de desinfección, es conocido desde hace décadas y usado comúnmente para el tratamiento de aguas o para realizar algunas terapias médicas que tienen como base la luz o fototerapia. Se utilizan en gran diversidad para práctica clínica. Se le reconoce su utilidad en la dermatología para tratar diversas afecciones, pero también se aplica para manejar los problemas depresivos. La más conocida es la fototerapia que se utiliza para los niños que al nacer tienen la piel amarilla debido a la ictericia. A diferencia de los métodos químicos de desinfección, la radiación ultravioleta proporciona una inactivación rápida y eficiente de los microorganismos patógenos mediante un proceso físico². Por ello, este método de desinfección es muy adecuado para completar los protocolos de limpieza y así reducir el riesgo de contagio de enfermedades al mínimo.

² Arellano M., I. (2010). Declaración de posición conjunta sobre fotoprotección. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1 CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción general

A medida avanza el tiempo, se puede notar el cambio drástico que se está generando en la calidad del aire alrededor del mundo, mostrando alteraciones nunca antes vistas a causa del manejo inadecuado y excesivo de los recursos naturales que la tierra nos brinda. Este cambio muestra cómo afecta la calidad de vida de las personas. Con la generación exponencial de problemas a la salud, como lo indica la Organización Mundial de la Salud (OMS), durante las últimas décadas a nivel mundial, han surgido brotes de enfermedades infecciosas, epidemias y pandemias que han traído consigo una elevada tasa de mortandad en la sociedad. El ambiente juega un papel importante, ya que es un medio rápido de propagación de enfermedades; con relación a los daños directos sobre la salud de las personas, estos se producen principalmente por vía respiratoria, aunque también pueden entrar a través de la piel.

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) juegan un papel importante en la contaminación del aire en ambientes cerrados no controlados y se considera que son hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal. Se puede considerar como COV aquel compuesto orgánico que a 20°C tenga una presión de vapor de 0.01 kPa o más, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso.

Asimismo, medidas necesarias como la ventilación forzada ya sea por inyectores o extractores de aire, lavarse las manos, mantener la distancia social, uso continuo de mascarillas en sitios muy concurridos, ha sido fundamental para evitar contagios de enfermedades bioinfecciosas que se manejan en el aire, aunque todo esto parecen no ser suficientes, por lo tanto, es importante eliminar la presencia de virus en espacios cerrados con procesos controlados de desinfección y esterilización del ambiente, existen filtros de aire que ayudan a mitigar algunas impurezas y partículas contaminantes, sin embargo, como su nombre indica estos dispositivos filtran, pero no eliminan, dependiendo del tamaño pueden ser difíciles de controlar, por lo tanto, resulta una solución insuficiente con altos costos de adquisición. Todo esto ha sido provocado en muchas ocasiones por la falta de educación ambiental de la sociedad y esto provoca que en lugares como universidades, escuelas e instituciones de gobierno y algunas empresas privadas tengan espacios insalubres y esto desencadena muchos contagios a nuestro alrededor, como en el caso de las

pandemias que lo hacen de forma masiva. Consideramos que este ha sido uno de los problemas más relevantes, por lo que en los últimos años los virus han evolucionado.

Se pueden contraer algunas enfermedades simplemente con respirar; además pueden propagarse rápidamente, cuando las personas con ciertas infecciones tosen, estornudan o hablan, arrojando al aire secreciones nasales. Algunos virus o bacterias vuelan y quedan suspendidos en el aire o aterrizan sobre otras personas o superficies. Cuando se inhala, esos organismos patógenos o virus se alojan dentro de las personas, pero también se pueden contraer gérmenes cuando se tiene contacto con una superficie contaminada; posteriormente, con el contacto de manos, llega a los ojos, nariz o boca. Dado que estas enfermedades viajan por el aire, son difíciles de controlar, pero sí se pueden mitigar con procesos controlados de desinfección.

1.2 Justificación

La mala calidad del aire nos lleva a padecer enfermedades cardiovasculares, ictus y problemas pulmonares. En total, siete millones de muertes anuales que podían evitarse. La agencia, de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), desempeña un papel crucial en la coordinación de esfuerzos internacionales para abordar y mitigar los impactos de la contaminación del aire a nivel mundial, buscando proteger la salud pública y el medio ambiente.³

En relación a los recintos cerrados de las universidades y escuelas, se identifica que son lugares con pocas posibilidades de acceder a ventilación natural y es muy difícil evacuar los contaminantes generados en gran parte por los combustibles fósiles, por lo tanto el aire puede contener alérgenos, en tal sentido, pueden perjudicar la salud de los estudiantes y docentes, por lo que se considera esencial, la implementación de sistemas controlados de monitoreo de variables entre ellos, el dióxido de carbono y concentración compuestos orgánicos volátiles en recintos cerrados, ya que la acumulación en gran cantidades de estos contaminantes pueden llegar a causar daños renales,

³ UNICEF. (s.f.). La contaminación atmosférica mundial. Misión UNICEF. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de <https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592#:~:text=Casi%20toda%20la%20poblaci3n%20mundial,sobre%20la%20calidad%20del%20aire.>

hígado y sistema nervioso según una investigación realizada por ministerio de medio ambiente de España⁴.

En El Salvador no existen normativas que busquen regular la cantidad de concentraciones en espacios cerrados, específicamente en las escuelas y universidades, pero es de vital importancia destacar que la Ley de Medio Ambiente, por medio de la Constitución de la República, asegura que el Estado debe de garantizar la protección de los recursos, así como la diversidad e integridad del medio ambiente para el desarrollo sostenible de las personas (Art. 117, Título V, Orden económico, Constitución de la República de El Salvador).

El prototipo busca desarrollar un sistema con la capacidad de monitorear los niveles de concentración de partículas volátiles en un recinto cerrado, específicamente en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica Latinoamericana; además, cuenta con mecanismo de esterilización por medio de luz ultravioleta que garantiza mantener el laboratorio libre de microorganismos, virus y bacterias, tales como la familia de coronavirus.

Actualmente, existe una alta demanda global de tecnologías ultravioleta, impulsada por la pandemia mundial en curso. Países como China, Alemania y Estados Unidos están utilizando esta tecnología para desinfectar hospitales, autobuses, hoteles, restaurantes, escuelas y otros espacios con alto tránsito de personas, que requieren una desinfección eficiente y esterilización. La luz ultravioleta destruye la capacidad reproductiva de los microorganismos mediante cambios fotoquímicos en los ácidos nucleicos y, en menor medida, en las proteínas.

Es necesario incorporar un sistema de monitoreo de variables contaminantes y utilizar luz ultravioleta para esterilización. Esto beneficiará principalmente a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electrónica que utilizan el laboratorio para realizar diversas actividades prácticas. Esta tecnología moderna y eficiente busca proporcionar información para la

⁴ Ministerio para la Transición Ecológica. (s.f.). De compuestos orgánicos volátiles. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/compuestos_organicos_volatiles.aspx.

implementación de medidas correctivas que mejoren la calidad del aire circulante en los laboratorios, contribuyendo así a la modernización tecnológica de la universidad.

Además, es importante considerar que con la ejecución del presente trabajo de investigación se desarrollará una herramienta tecnológica para determinar la cantidad de contaminación equivalente de dióxido de carbono (eCO_2) y la concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV) presentes en el laboratorio. Esto permitirá visualizar y monitorizar estas variables de manera efectiva.

Finalmente, con el desarrollo del proyecto se espera identificar valores reales y evaluarlos tomando en cuenta referencias de valores promedios recomendados según regulaciones internacionales; esta información será utilizada para garantizar el bienestar durante la estadía de los estudiantes y docentes mientras utilicen el laboratorio de la Universidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un sistema de monitoreo y esterilización, utilizando un proceso controlado de lámparas ultravioleta (UV-C), incorporando un dispositivo que permita monitorear los niveles de dióxido de carbono (eCO_2) y compuestos orgánicos volátiles (TCOV), en el laboratorio de Ingeniería Electrónica de la Universidad Técnica Latinoamericana.

1.3.2 Objetivos específicos

- a Diseñar un prototipo integrado con sensores para medir concentraciones del equivalente de dióxido de carbono (eCO_2) y compuestos orgánicos volátiles (TCOV).
- b Instalar una red de monitoreo de variables que permita mostrar valores de concentración de partículas volátiles (TCOV) y equivalente de dióxido de carbono (eCO_2), existentes en el aire y visualizarlas en tiempo real por medio de una interfaz humano-máquina (HMI).
- c Desarrollar e instalar un sistema de circuitos de control y potencia para gestionar el encendido y apagado automático de las lámparas ultravioletas (UV-C), garantizando una operación eficiente y segura.

1.4 Delimitaciones del problema

El presente proyecto de investigación aborda la necesidad crítica de mantener un entorno limpio y seguro en el laboratorio de Ingeniería Electrónica de la Universidad Técnica Latinoamericana. En particular, se enfoca en la prevención de la exposición a patógenos comunes y compuestos perjudiciales para la salud de los usuarios del laboratorio.

Actualmente, el uso de luz ultravioleta (UV-C) para la esterilización de interiores, aunque reconocido por su eficacia, no ha sido ampliamente adoptado debido a la falta de desarrollo y popularización en entornos académicos. Además, el monitoreo de variables perjudiciales para la salud, como los compuestos orgánicos volátiles (TCOV) y el dióxido de carbono (eCO_2), es esencial en espacios con ventilación limitada para evitar acumulaciones peligrosas.

Este proyecto tiene como objetivo equipar el laboratorio con un sistema de monitoreo inteligente que incluye:

Sensores de gas digitales modelo CCS811 ubicados en dos zonas estratégicas del laboratorio para medir en tiempo real las concentraciones de eCO_2 y TCOV.

Una interfaz de usuario que procesa y visualiza estos datos en pantallas diseñadas para un análisis claro y efectivo.

Un sistema de sanitización UV-C controlado por un temporizador semanal, integrado con sensores de movimiento y de apertura de puerta para garantizar la seguridad y evitar la exposición humana directa a la luz ultravioleta.

El sistema de esterilización UV-C está compuesto por una lámpara germicida fija capaz de cubrir áreas de hasta 30 m². Todo el proceso de monitoreo y control es gestionado por una placa Arduino, que actúa como el controlador maestro del sistema, supervisando tanto la comunicación como el manejo de datos.

Delimitaciones del Proyecto:

Aplicación: El sistema está diseñado específicamente para el laboratorio de ingeniería electrónica de la Universidad Técnica Latinoamericana. No se contempla la implementación en otros entornos.

Cobertura: El sistema de esterilización UV-C se limita a áreas de hasta 30 m² y no aborda la esterilización de superficies fuera de este rango.

Seguridad: La activación del sistema de esterilización se condiciona a la ausencia de personas en el laboratorio para evitar riesgos asociados con la exposición directa a la luz UV-C.

Este enfoque garantiza una solución eficaz y segura para la gestión de la calidad del aire y la esterilización en el laboratorio, adaptada a las necesidades específicas y limitaciones del entorno académico.

1.5 Limitantes

Entre las principales limitaciones tenemos:

- a El sistema propuesto está específicamente diseñado para el laboratorio de Ingeniería Electrónica de la Universidad Técnica Latinoamericana.
- b El sistema de esterilización UV-C está limitado a áreas con una superficie máxima de 30 m². Cualquier extensión o modificación de esta área requiere ajustes en el diseño del sistema, y la solución propuesta no aborda la esterilización de áreas mayores.
- c El sistema de esterilización UV-C se activa únicamente cuando no hay personas presentes en el laboratorio, debido a los riesgos asociados con la exposición directa a la luz ultravioleta. Esta medida de seguridad impide el funcionamiento del sistema en presencia de usuarios y limita la posibilidad de una operación continua durante horas de uso activo del laboratorio.
- d El diseño del sistema está basado en el uso específico de sensores de gas modelo CCS811 y una placa Arduino para el control y monitoreo. La integración de otros tipos de sensores o plataformas de control no está contemplada en el proyecto y cualquier cambio en los componentes requerirá una re-evaluación y posible rediseño del sistema.

- e La disponibilidad de stock local de los sensores CCS811, por ser equipos especiales, la compra se realizó con un tiempo de entrega de 20 semanas.
- f La interfaz de usuario y las pantallas están diseñadas específicamente para el laboratorio de ingeniería electrónica. La personalización o adaptación de la interfaz para otros entornos o aplicaciones fuera de este laboratorio no está contemplada en este proyecto.
- g La falta de información sobre la integración de dispositivos diseñados específicamente para entornos industriales, como lo es la pantalla HMI, y entornos basados en Single-Board Computer, como el Arduino, que es utilizado mayormente para procesos y desarrollos estudiantiles.
- h La bibliografía sobre normativas y regulaciones internacionales que muestren el uso regulado de luz ultravioleta para entornos cerrados.
- i No existe un desarrollo de ingeniería igual, por lo tanto, existe poca información sobre el prototipo implementado.



CAPÍTULO II

MARCO DE REFERENCIA

2 CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes en la región

a Investigaciones sobre calidad del aire y compuestos orgánicos volátiles

En América Latina y el Caribe, se estima que 100 millones de personas están expuestas a niveles de contaminación del aire por encima de los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los grupos más vulnerables a los efectos dañinos de una mala calidad del aire incluyen a niños, adultos mayores, personas con previos problemas de salud y población de bajos estratos socioeconómicos. Tanto la OMS como el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) han resaltado la contaminación del aire ambiental como una de las áreas focales estratégicas para combatir causas fundamentales de mortalidad y morbilidad a nivel mundial. La OMS afirma, en un comunicado de prensa de 2011, que para 2008, la mortalidad estimada, atribuible a la contaminación del aire ambiental en ciudades, era de 1.34 millones de muertes prematuras. De igual modo, un reporte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (OCDE, 2012), que se adelanta al año 2050 para estimar el impacto en el medio ambiente si el mundo no adopta políticas verdes más ambiciosas⁵.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, alrededor de 249 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire exterior y alrededor de 83 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire debido al uso de combustibles sólidos en la vivienda en las Américas en 2016. Además, los contaminantes climáticos de vida corta, como el carbono negro, son poderosos forzadores del clima con posibles consecuencias negativas sobre el calentamiento global y su impacto en la salud. Todas las personas pueden estar expuestas a la contaminación del aire. Sin embargo, se perciben grandes diferencias entre grupos de población y localidades geográficas. Por ejemplo, quienes residen cerca de carreteras o recintos industriales a menudo están expuestos a elevados niveles de contaminación ambiental exterior; las personas que usan combustibles sólidos como fuente de energía doméstica pueden ser las más afectadas por la contaminación del aire ambiental en espacios interiores. En algunos casos, las diferencias de

⁵ Green, J. (2013). La calidad del aire en América Latina (Informe No. 7). Clean Air Institute.

exposición entre los grupos de población pueden estar vinculadas con las inequidades en el desarrollo, la implementación y el cumplimiento de las leyes, reglamentos y políticas ambientales.

Únicamente 77 ciudades de 17 países de Latinoamérica y el Caribe cuentan con información oficial sobre los contaminantes de la capa más baja de la atmósfera, destaca un estudio realizado por investigadores de la Dirección de Salud Ambiental del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) en colaboración con la Organización Panamericana de la Salud (OPS). La mayoría de las ciudades de la región tienen niveles de partículas inhalables (PM₁₀) superiores a los valores considerados aceptables en las directrices internacionales y una falta de información oficial sobre las concentraciones de partículas (PM_{2.5}) y carbono en la atmósfera. El estudio, titulado "Gestión y control de la contaminación atmosférica en América Latina y el Caribe: implicaciones para el cambio climático", tuvo como objetivos:

Evaluar el marco jurídico sobre el control de la calidad del aire en todos los países de la región.

Determinar la distribución de las estaciones de monitoreo de la contaminación ambiental y la concentración media de los contaminantes atmosféricos de todas las capitales y ciudades de más de 100,000 habitantes en la región⁶.

Para lograr los objetivos, los investigadores encabezados por el Dr. Horacio Riojas, director de Salud Ambiental en el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), realizaron búsquedas, entre enero de 2018 y febrero de 2019 de la información nacional e internacional más reciente sobre políticas, leyes y programas para la calidad del aire y las regulaciones para las partículas (PM₁₀) y (PM_{2.5}) en los 33 países de América Latina y el Caribe, a través de fuentes legales en línea de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA), el Banco Mundial, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), repositorios nacionales, entre otras fuentes⁷.

⁶ Horacio, R. (2020). Evaluación de la calidad del aire en América Latina. Webmaster INSP.

⁷ Ibid.

Luego del análisis de la información, los científicos reportaron que solo 17 de los 33 países de América Latina y el Caribe cuentan con redes de monitoreo sobre calidad del aire (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Ecuador, Guatemala, Jamaica, México, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay, Honduras y Venezuela), y que la mayoría de las redes se encuentran en las capitales de los países y en algunas ciudades importantes. Respecto a las normas para los contaminantes, se encontró que únicamente 19 países regulan las partículas (PM_{10}); 18 países, el dióxido de nitrógeno (NO_2); 17 países, el ozono (O_3) y 13 países, las partículas ($PM_{2.5}$). En cuanto a los niveles de partículas (PM_{10}) de 104 ciudades, sólo una de ellas (Salvador de Bahía en Brasil) se mantuvo dentro de los niveles promedio anuales establecidos por las guías de la calidad del aire de la OMS; mientras que de las 57 ciudades que monitorean $PM_{2.5}$, los datos promedio anuales mostraron que 4 ciudades cumplieron con las recomendaciones de la OMS. De acuerdo con el Dr. Horacio Riojas, primer autor del estudio, esta investigación permite tener una visión global del panorama de cómo los países latinoamericanos están haciendo, o no, frente a la contaminación atmosférica, y sus resultados serán de gran utilidad para el diseño de políticas públicas y la toma de decisiones que mejoren la salud ambiental y protejan a la población. Anteriormente se realizó una investigación en Rumania por (Năstase, Șerban, Năstase, Dragomir, & Brezeanu, 2018) quienes destacaron el actual comportamiento y variación de los contaminantes atmosféricos, todo a partir de una base de datos encontrada en WebDAB - EMAP y las tendencias de la concentración de contaminantes dentro de la atmósfera, utilizando la calidad del aire de Rumanía y la red de monitoreo de contaminación de aire. Rumanía actualmente cuenta con 142 redes automáticas de vigilancia para las concentraciones de contaminantes atmosféricos, los resultados indican que: "el promedio anual de emisiones de (CO) de Rumania disminuyó de 3186 ug/m³ en 1990 a 774 en 2014 (disminución en <41%)". La reducción con que se obtuvo fue gracias al cambio en el uso del combustible fósil por otro mucho más amigable con el ambiente, como es el gas natural o la biomasa (fuentes renovables), que reducen de gran manera la emisión de gases y partículas que alteran la calidad de vida de las personas y el medio ambiente.⁸

⁸ Naciones Unidas. (2011). Datos de población de Prospectos de Urbanización de las Naciones Unidas (UN World Urbanization Prospects), Revisión 2011. Recuperado de <http://esa.un.org/unpd/wup/CD-ROM/Urban-Ru-ral-Population.htm>

En Sudamérica, la ciudad andina de Manizales-Colombia realizó una investigación por (Cuesta Mosquera, González Duque, Velasco García & Aristizábal, 2018), donde trabajaron en la determinación de perfiles espaciales con concentraciones en aire de dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO) y ozono troposférico (O_3), mediante el uso de muestreadores pasivos. Esto se realizó con el propósito de establecer una línea base de las concentraciones de estos contaminantes y analizar la posible influencia de fuentes locales de emisión (naturales y antrópicas). Las mediciones se realizaron en 12 puntos de monitoreo distribuidos entre las áreas urbana y rural de la ciudad, considerando la dirección del viento sobre la que se dispersa la pluma del volcán activo nevado del Ruiz. Se realizaron tres campañas de monitoreo con una duración de cuatro semanas cada una. Las concentraciones promedio de (SO_2) variaron de 4.1 a 9.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los diferentes puntos de mayor concentración, que sugieren influencia de la actividad industrial y del Nevado del Ruiz.

En Colombia, realizaron la conceptualización, análisis y desarrollo, de un prototipo tecnológico de bajo costo, que permite medir parámetros referenciales de calidad de aire en la ciudad de Quito, sector Jipijapa. Con el objetivo de abordar todas las tareas de requerimientos necesarios de una manera eficiente y eficaz. El prototipo electrónico está equipado con tres sensores; estos son: sensor MG-811 para medir la concentración de dióxido de carbono (CO_2), sensor óptico Sharp GP2Y1010AU0F para medir la densidad de polvo, y sensor MQ-7 para medir la concentración de monóxido de carbono (CO). Los resultados obtenidos indicaron que la calidad de aire se encuentra bajo los límites permisibles comparados con las normas internacionales publicadas por US-EPA.⁹

En Ecuador, se realizó un estudio donde se desarrolló un diagnóstico de emisiones por fuentes fijas, elaborando el diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire dentro de la ciudad. Para esto, se tomaron 42 puntos fijos dentro de la ciudad, que fueron tomados bajo un muestreo probabilístico regulado, distribuidos en un eje longitudinal de 14,06 km. por un eje transversal de 5,41 km. con una extensión aproximada de 76,06 km^2 . Dentro de los puntos evaluados, consideraron parámetros de: material particulado (PM_{10}); dióxido de carbono (CO_2); monóxido de carbono (CO); oxígeno (O_2); dióxido de azufre (SO_2); óxidos de nitrógeno (NO_x);

⁹ Carrera, A., Fuertes, J., Villacís, S., & Toulkeridis, T. (2015).

eficiencia global; número de humo (Bacharach); Índice de Calidad del Aire (Icaire). Este estudio se realizó durante el periodo de 15 meses, donde se pudo ver que la calidad de aire en la ciudad de Ambato es entre óptima a buena¹⁰.

En el Perú, se realizó una investigación donde se usaron sensores electroquímicos de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en el distrito de San Isidro. La investigación se realizó con el fin de presentar un diseño de una estación de monitoreo de contaminación atmosférica portátil, que sea de bajo costo y de fácil manejo para las personas. Para esto, se trabajó con sensores OUTDOR de la marca α Sense (Essex-Reino Unido), que son inalámbricos de alimentación energética solar. Estos sensores fueron diseñados para medir el gas en nmol/mol, siendo los parámetros evaluados: CO₂, VOC (alcoholes, aldehídos, hidrocarburos alifáticos, aminas, hidrocarburos aromáticos, CH₄, LPG, ketones y ácidos orgánicos), CO, SO₂, ozono y dióxido de nitrógeno (O₃ + NO₂). Los resultados obtenidos muestran que el dióxido de carbono excede en casi un 32% a los 400 ppm que se tomaron como valor promedio en esta investigación¹¹.

Según la Oficina Federal para el Medio Ambiente en las habitaciones destinadas a una permanencia prolongada en ellas el valor de (TVOC) no puede superar a largo plazo la gama de 1 a 3 mg/m³.

Id	TVOC	Efectos de Concentracion
1	0,2 mg/m ³	Sin irritación ni sintomas de malestar
2	0,2 - 3,0 mg/m ³	Sintomas de irritacion, malestar si hay otros parametros de exposición
3	3,0 - 25 mg/m ³	Posibles sintomas de dolor de cabeza si el efecto se da por la exposición
4	25 mg/m ³	Dolor de cabeza y otros efectos neurótoxicos

TABLA 1 Niveles de contaminantes de compuesto orgánicos volátiles.

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CAA) prohíbe la importación o venta en los EE. UU. de cualquier vehículo o motor que no tenga una certificación de la (EPA) que acredite que cumple los estándares de emisión aplicables. La Ley de Aire Limpio (CAA, por sus siglas en

¹⁰ Lastegui, V. (2011). Sistema de información geográfica (SIG), Ecuador.

¹¹ Luna Talavera, A. (2017). Sensores electroquímicos de bajo costo. Cano.

inglés) exige que las obras en construcción y otras instalaciones tomen medidas para controlar el polvo proveniente de actividades industriales y de construcción.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) inspecciona las fuentes estacionarias de contaminación del aire, tales como centrales eléctricas y fábricas, para evaluar el cumplimiento de los requisitos aplicables bajo la Ley de Aire Limpio. La EPA trabaja junto a la aduana de los EE. UU. en la inspección de importaciones de vehículos recreativos, tales como scooter y motocicletas, de China y otros países.

b Investigación sobre sanitización de interiores y uso de luz ultravioleta

El COVID-19 es una afección respiratoria de carácter agudo y alcance global. Tuvo origen en la provincia de Wuhan (China) a finales de diciembre de 2019 (Wilches Visbal, J. & Castillo Pedraza, M., 2020). A un año de haber iniciado, más de 100 millones de individuos se han contagiado y 2,0 millones han fallecido (Worldometers, 2020). Puede transmitirse de persona a persona, por contacto con superficies contaminadas o por aerosoles, donde puede permanecer por varias horas (van Doremalen et al., 2020).

Se han publicado perspectivas históricas de la desinfección ultravioleta en varios artículos (Groocock, 1984; Schenck, 1981; USEPA, 1996). En 1878, Downs y Blunt reportaron por primera vez los efectos germicidas de la energía radiante del Sol. Sin embargo, las aplicaciones prácticas requirieron el desarrollo de la lámpara de vapor de mercurio como fuente de luz ultravioleta artificial en 1901, y el reconocimiento del cuarzo como la envoltura ideal de lámpara en 1905. Los primeros intentos experimentales para utilizarla como desinfectante del agua se llevaron a cabo en Marsella, Francia, en 1910. Entre 1916 y 1926, se usó en los Estados Unidos para la desinfección del agua y para proveer agua potable en los barcos. Sin embargo, el bajo costo de la desinfección del agua con cloro, además de los problemas operativos y de confiabilidad observados en los primeros equipos de desinfección retardaron el crecimiento de las aplicaciones hasta la década de los 50.

La principal fuente de luz ultravioleta de tipo A y B que alcanza la superficie terrestre es la luz solar. A pesar de que el 95% de los rayos solares incidentes en tierra corresponde a UVA, la UVB

es responsable del 80% de los efectos dañinos en la piel y ojos humanos (Wharton & Cockerell, 1998; Cabrera Morales & López-Nevot, 2006). Sin embargo, tienen una limitada capacidad germicida debido a que virus y bacterias se han adaptado a ellas a lo largo de millones de años (Mackenzie, 2020). Por otro lado, la luz de tipo C es producida artificialmente debido a que buena parte de la solar es absorbida por el oxígeno atmosférico (Mackenzie, 2020; Mishra, 2020). En este contexto, la luz ultravioleta se ha propuesto como una interesante alternativa contra el COVID-19, dada su conocida efectividad germicida, el fácil acceso a equipos y la simple implementación de los dispositivos.

2.2 Antecedentes Europeos

A pesar de los avances realizados en los últimos años sobre las emisiones antropogénicas a la atmósfera y la calidad del aire, la Comunicación de la Comisión Europea el 18 de diciembre de 2013 (Aire Puro para Europa¹²) denominada (ETCA) señalaba que siguen existiendo importantes efectos negativos y riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Dada su importancia como contaminantes, el Consejo de la Unión Europea aprobó el 11 de marzo de 1999 la Directiva 1999/13/CE, relativa a la limitación de las emisiones de COV debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones. La Directiva 1999/13/CE fue transpuesta a la legislación nacional mediante el Real Decreto 117/2003, el 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades; su objeto es evitar o reducir los efectos de las emisiones de COV sobre el medio ambiente y las personas. Se aplica a las instalaciones donde se desarrollen algunas de las 15 actividades listadas en el Anexo I, siempre que se superen los umbrales de consumo de disolventes del Anexo II.

¹² Consejo Europeo. (s.f.). Aire puro. Recuperado el 11 de diciembre de 2022, de <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/clean-air/>.

Esta directiva (1999/13/CE¹³) fue derogada el 7 de enero de 2014 por la directiva (2010/75/UE¹⁴) de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación), que expone disposiciones para instalaciones y actividades que utilicen disolventes orgánicos en su capítulo V, impone valores límite de emisión para estas instalaciones en su Anexo VII. Para complementar la normativa anterior, el 21 de abril de 2004 se aprobó la (directiva 2004/42/CE¹⁵) del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la limitación de las emisiones de COV debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas, barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos, por la que se modifica la directiva 1999/13/CE.

La directiva 2001/81/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos. Los estados miembros firmaron el protocolo de Gotemburgo, de 1 de diciembre de 1999, relativo a la reducción de la acidificación, de la eutrofización y del ozono en la troposfera. Además, dentro del planeamiento y las estrategias generales del quinto programa de acción en materia de medio ambiente de la Unión Europea, se estableció como objetivo la no superación de las cargas y los niveles críticos de acidificación en la comunidad. En este sentido y en parte para dar cumplimiento a las obligaciones derivadas de las iniciativas anteriormente mencionadas, se adoptó la directiva 2001/81/CE sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos. El objeto de esta directiva es limitar las emisiones de contaminantes acidificantes, eutrofizables y de precursores de ozono para reforzar la protección en la comunidad del medio ambiente y de la salud humana frente a los riesgos de los efectos nocivos de la acidificación, la eutrofización del suelo y el ozono en la baja atmósfera, y avanzar hacia el objetivo a largo plazo de no superar las cargas, niveles críticos y de proteger a toda la población frente a los riesgos conocidos para la salud que se derivan de la contaminación atmosférica mediante la fijación de techos nacionales de emisión.

¹³ Constitución Política de España. (s.f.). Documento 31999L0013. Recuperado el 11 de diciembre de 2022, de www.eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A31999L0013.

¹⁴ Constitución Política de España. (s.f.). Documento 32010L0075. Recuperado el 11 de diciembre de 2022, de www.eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A31999L0013.

¹⁵ Constitución Política de España. (s.f.). Documento 32004L0042. Recuperado el 11 de diciembre de 2022, de www.eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A31999L0013.

La directiva se aplica a todas las fuentes resultantes de actividades humanas de los siguientes contaminantes: amoníaco (NH_3); óxidos de nitrógeno (NO_x); compuestos orgánicos volátiles (COV); dióxido de azufre (SO_2).

Para alcanzar su cometido, la directiva establece unos techos nacionales de emisión para el año 2010 para los contaminantes anteriormente mencionados, entendiendo por techos la cantidad máxima de una sustancia expresada en kilotoneladas que puede emitir un Estado miembro en un año civil. En particular, para el caso de España estos techos son los siguientes (en Gg):

Id Contaminante		Cantidad
1	Nox	847
2	COV	662
3	Sox	746
4	NH3	353

TABLA 2 Cantidad máxima de sustancias contaminantes en ppm.

Como medida para instar al cumplimiento de los techos, la directiva obliga a los Estados miembros a elaborar unos programas nacionales de reducción progresiva de las emisiones, que deben incluir información sobre las políticas y medidas adoptadas o previstas, así como estimaciones cuantificadas del efecto de esas políticas y medidas sobre las emisiones de contaminantes en 2010¹⁶.

Por todo ello, la directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre, fue objeto de revisión para adaptarla a los compromisos internacionales de la Unión y los Estados miembros, a través de la directiva (UE) 2016/2284 de Techos Nacionales de Emisión (NECD por sus siglas en inglés). Esta directiva establece los compromisos de reducción de emisiones de los Estados miembros para las emisiones atmosféricas antropogénicas de dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), amoníaco (NH_3) y partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$), e impone la elaboración, adopción y aplicación, a cada Estado miembro, de programas nacionales de control de la contaminación atmosférica y el seguimiento de las emisiones y sus efectos de esos y otros contaminantes mencionados en el anexo I, así como

¹⁶ Constitución Política de España, document 32001L0081 (Página consultada el día 11 de diciembre de 2022)
Dirección URL: www.eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A31999L0013.

la presentación de información al respecto. Asimismo, con objeto de evaluar la efectividad de los compromisos nacionales de reducción de emisiones establecidos en la directiva, los Estados miembros deben, además, realizar un seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica en los ecosistemas terrestres y acuáticos, y comunicar tales efectos.

La directiva (1999/13/CE¹⁷) fue derogada el 7 de enero de 2014 por la directiva (2010/75/UE¹⁸) de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación), que expone disposiciones para instalaciones y actividades que utilicen disolventes orgánicos en su capítulo V, impone valores límite de emisión para estas instalaciones en su Anexo VII. Para complementar la normativa anterior, el 21 de abril de 2004 se aprobó la (directiva 2004/42/CE¹⁹) del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la limitación de las emisiones de COV debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas, barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos por la que se modifica la directiva 1999/13/CE.

¹⁷ Constitución Política de España. (s.f.). Documento 31999L0013. Recuperado el 11 de diciembre de 2022, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A31999L0013>.

¹⁸ Constitución Política de España. (s.f.). Documento 32010L0075. Recuperado el 11 de diciembre de 2022, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A31999L0013>.

¹⁹ Constitución Política de España. (s.f.). Documento 32004L0042. Recuperado el 11 de diciembre de 2022, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A31999L0013>.



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

3 CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Calidad del aire en interiores

La calidad del aire en interiores es un aspecto esencial de la salud y el bienestar de las personas. En los espacios cerrados, como hogares, oficinas, escuelas y otros entornos de construcción, pueden acumularse una variedad de contaminantes que incluyen compuestos químicos, partículas en suspensión, microorganismos y gases perjudiciales. Estos contaminantes pueden tener un impacto directo en la salud respiratoria, causando síntomas como alergias, asma y problemas respiratorios más graves; por lo tanto, es esencial abordar la evaluación y mejora de la calidad del aire en interiores para crear entornos seguros y saludables para las personas que pasan la mayor parte de su tiempo en estos espacios. El impacto potencial de la calidad del aire interior en la salud humana puede ser digno de mención por varias razones:

- a Las personas, en promedio, pasan aproximadamente el 90 por ciento de su tiempo en interiores, donde las concentraciones de algunos contaminantes son a menudo de 2 a 5 veces más altas que las concentraciones típicas al aire libre.
- b Las personas que a menudo son más susceptibles a los efectos adversos de la contaminación tienden a pasar aún más tiempo en interiores, lo que incluye a los muy jóvenes, los adultos mayores, las personas con enfermedades cardíacas y asma.

Los contaminantes típicos de preocupación incluyen:

- a Subproductos de combustión como monóxido de carbono, material particulado y humo del cigarro en el ambiente.
- b Sustancias de origen natural como radón, caspa de mascotas y moho.
- c Agentes biológicos como mohos.
- d Plaguicidas, plomo y asbesto.
- e Varios compuestos orgánicos volátiles de una variedad de productos y materiales (Trifluorotolueno, Benzotrifluoruro, Hexeno, Penteno, Buteno).

La mayoría de los contaminantes que afectan la calidad del aire interior provienen de fuentes dentro de los edificios, aunque algunos se originan en el exterior. Si bien se han atribuido efectos

adversos a la salud a algunos contaminantes específicos, la comprensión científica de algunos problemas de calidad del aire interior continúa evolucionando.

3.2 Compuestos orgánicos volátiles

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son de especial interés por su efecto cancerígeno, que según (Rojano, Mendoza, Arregoces & Restrepo, 2016) son emitidos por automóviles, industrias, plantas generadoras de energía, refinerías, plantas químicas, entre otras fuentes. Del mismo modo, la Agencia de Protección Ambiental (por sus siglas en inglés EPA) menciona su peligrosidad, resaltando que esta puede llegar a ser más peligrosa si en la troposfera llega a reaccionar químicamente con el ozono en presencia de luz solar, ya que su efecto llega a ser mucho más nocivo para la salud humana.

Descripción	Punto de ebullición aprox.	Punto de ebullición	Presencia
VVOC – COM\	Compuestos orgánicos muy volátiles	< 0 – 100°C	Aire
VOC – COV	Compuestos orgánicos volátiles	50 – 260°C	Aire
SVOC – COSV	Compuestos orgánicos semivolátiles	240 – 400°C	Polvo
TVOC – COVT	Compuestos orgánicos volátiles totales	Suma de todos los compuestos orgánicos volátiles	

TABLA 3 Punto de ebullición de los contaminantes.

Son sustancias que se evaporan ligeramente desde temperaturas bajas, es decir se volatilizan en estado gaseoso, con lo cual contaminan el aire. Por esta razón se denominan compuestos orgánicos volátiles y son medidos como suma TVOC (Total Volatile Organic Compounds). La vía principal de transmisión del coronavirus son las partículas que expelemos al hablar o toser; según estudios se demuestra que el SARS-CoV también se contagia a través de los aerosoles, diminutas partículas que expulsamos al respirar, hablar, reír, cantar o microgotas que se quedan en suspensión en el aire durante cierto tiempo. La concentración natural del planeta de dióxido de carbono (CO₂) es de 400 ppm y en interiores los valores recomendables son 700 ppm; a partir de ese número hay que empezar a tomar medidas alternativas. Si se tiene una concentración mayor a estos valores, es un indicativo de que el aire está contaminado, y para el caso de las instituciones educativas, en los últimos años, se ha visto un cambio drástico en la calidad del aire. Esto tiene un efecto directo en la salud de las personas sin importar la edad. Niños y adultos mayores son los más afectados. Según estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se muestra un índice de 1,4% de

muertes causadas por la presencia de gases y polvos, ya que estos se penetran el organismo por inhalación, acumulándose en los tejidos o afectando directamente otros órganos.

Según el RD 117/2003 sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades, es todo compuesto orgánico que tenga a 293,15 K una presión de vapor de al menos 0.01 kPa, o que tenga una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso. Refiriéndose siempre a la sustancia y compuestos, tanto como a los productos que los contengan.

La concentración de compuestos orgánicos totales en el aire se determina en ppb (partes por billón). La relación entre ppb y $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no es directa, ya que la relación de TVOC es la suma de una serie de compuestos con diferentes comportamientos y pesos moleculares. El valor de los TVOC se calcula como la suma de todos los compuestos detectados a partir del valor equivalente de tolueno para cada uno de ellos, conforme a la UNE 16516.

3.3 Fuentes de compuestos orgánicos volátiles

El término COV agrupa una gran cantidad de tipos de compuestos químicos, entre los que se incluyen los hidrocarburos alifáticos, los aromáticos y los hidrocarburos clorados, aldehídos, cetonas, éteres, ácidos y alcoholes. Alrededor del 70% de las fuentes de los compuestos orgánicos volátiles es natural; el resto es producido por el hombre, correspondiendo las mayores proporciones a productos aromáticos y alcanos antropogénicos. Aproximadamente el 24% de los compuestos emitidos a la atmósfera en Europa provienen del uso de disolventes.

Entre las principales fuentes de generación de estos contaminantes tenemos:

- Pinturas, decapantes y otros disolventes.
- Conservantes de la madera.
- Aerosoles.
- Limpiadores y desinfectantes.
- Repelentes de polillas y refrescantes del aire.
- Combustibles almacenados y productos de automóviles.
- Materiales usados en pasatiempos.
- Ropa lavada en seco.

- Pesticidas.

Algunos estudios han revelado que los niveles de varios productos orgánicos son en promedio de 2 a 5 veces más altos en el interior que en el exterior. Durante ciertas actividades como el decapado de pintura, y por varias horas inmediatamente después, los niveles pueden ser 1,000 veces superiores a los del exterior.

3.4 Efectos en la salud de los compuestos volátiles

Los efectos de los compuestos orgánicos volátiles para la salud pueden variar mucho según el compuesto y comprenden desde un alto grado de toxicidad hasta ausencia de efectos conocidos. Esos efectos dependerán de la naturaleza de cada compuesto y del grado y del período de exposición al mismo, la exposición a largo plazo a los compuestos orgánicos volátiles puede causar lesiones del hígado, los riñones y el sistema nervioso central, la exposición a corto plazo puede causar irritación de los ojos y las vías respiratorias, dolor de cabeza, mareo, trastornos visuales, fatiga, pérdida de coordinación, reacciones alérgicas de la piel, náusea y trastornos de la memoria, dolores de cabeza, pérdida de coordinación, irritación de ojos, nariz y garganta, daños en el hígado, riñones y el sistema nervioso central; algunos compuestos orgánicos pueden causar cáncer en los animales, y se sospecha o se sabe que algunos causan cáncer en los seres humanos.

3.4.1 Los principales síntomas asociados

a Irritación conjuntival

Es una inflamación de la membrana transparente entre el párpado y el globo ocular. Esta membrana se llama conjuntiva. Cuando los pequeños vasos sanguíneos de la conjuntiva se hinchan e irritan, se hacen más visibles, esto es lo que hace que la parte blanca del ojo se vuelva rojiza o de color rosa.

b Molestias en la nariz y la garganta

El dolor de nariz y garganta es el dolor, carraspera o irritación de la garganta que a menudo empeora al tragar, la causa más frecuente del dolor de garganta (faringitis).

c Dolor de cabeza

Un dolor de cabeza es un dolor o molestia en la cabeza, el cuero cabelludo o el cuello. Los tipos de dolores de cabeza comunes incluyen cefaleas tensionales, migraña o cefalea en brotes, dolores de cabeza sinusales y dolores de cabeza que empiezan en el cuello.

d Reacción alérgica cutánea

Las alergias cutáneas son uno de los motivos de consulta más frecuentes para el dermatólogo. Las reacciones alérgicas se desarrollan cuando el cuerpo produce una respuesta inmunitaria exagerada ante sustancias que están presentes en el ambiente y que identifica como extrañas; estas sustancias se conocen como alérgenos.

e Disnea

La disnea es la dificultad respiratoria o falta de aire. Es una sensación subjetiva y por lo tanto de difícil definición. La dificultad respiratoria es una afección que involucra una sensación de dificultad o incomodidad al respirar o la sensación de no estar recibiendo suficiente aire.

f Disminución de los niveles séricos de colinesterasa

Usualmente, los valores normales de la pseudocolinesterasa fluctúan entre 8 a 18 unidades por mililitro (U/mL) o 8 a 18 kilo unidades por litro (KU/L). Los rangos de los valores normales pueden variar ligeramente entre diferentes laboratorios.

g Náuseas

Es la sensación de tener ganas de vomitar; con frecuencia se le denomina "estar enfermo del estómago". Vomitar o traspasar es forzar los contenidos del estómago a subir a través del esófago y salir por la boca.

h Emesis

Expulsión fuerte de algunos o todos los contenidos del estómago por la boca. Hay muchas causas de la emesis, como ciertos olores, irritación en el estómago, infecciones, estrés, dolor,

mareo, migrañas, determinados medicamentos, enfermedades o afecciones, lesiones cerebrales o contusiones.

i Epistaxis

La epistaxis, comúnmente conocida como hemorragia nasal, son los episodios caracterizados por derrames de sangre proveniente de vasos sanguíneos ubicados en la parte anterior del tabique nasal o niveles posteriores de la fosa nasal.

j Fatiga

La fatiga es una falta de energía y de motivación. La somnolencia y la apatía (un sentimiento de no importarle qué suceda) pueden ser síntomas que acompañan a la fatiga, y puede ser una respuesta normal e importante al esfuerzo físico, al estrés emocional, al aburrimiento o a la falta de sueño.

k Mareos

Se presentan cuando al cerebro no está llegando suficiente sangre, lo cual puede suceder si: se presenta una disminución repentina en la presión arterial; el cuerpo no tiene suficiente agua (deshidratado) a causa del vómito, la diarrea, la fiebre u otras afecciones.

La capacidad de los productos químicos orgánicos para causar efectos en la salud varía mucho, desde los que son muy tóxicos hasta los que no tienen ningún efecto conocido sobre la salud. Al igual que ocurre con otros contaminantes, el alcance y la naturaleza del efecto en la salud dependerá de muchos factores, como el nivel de exposición y el tiempo de exposición.

En la actualidad, no se sabe mucho sobre los efectos en la salud debido a los niveles de sustancias orgánicas que suelen encontrarse en los hogares. Algunos son muy tóxicos, como el benceno, el óxido de estireno, el percloroetileno o el tricloroetileno, que son cancerígenos, o el formaldehído y el estireno, que además son disruptores endocrinos. Según la Organización Mundial de la Salud, 1 de cada 9 personas que mueren cada día alrededor del mundo lo hacen como consecuencia directa o indirecta de la contaminación del aire. Además, si tenemos en cuenta

que el 90% de los habitantes de ciudades viven continuamente con unos niveles de contaminación superiores a los que se recomiendan, la magnitud del problema se dispara.

3.4.2 Pasos para reducir la exposición de contaminantes

a Recomendación general.

- Aumentar la ventilación cuando utilice productos que emitan VOCs.
- Respetar las instrucciones de las precauciones de la etiqueta de algún aerosol.
- Evitar almacenar en lugares donde haya concentración de personas envases abiertos sin utilizar de pinturas y materiales de todo tipo.
- Evitar el uso de formaldehído, ya que es uno de los VOCs más conocidos, y cuenta con la característica de ser de los pocos contaminantes del aire interior que pueden medirse fácilmente.
- Evitar el uso de pesticidas y fertilizantes químicos.
- Utilizar productos domésticos según las indicaciones del fabricante.
- Asegurar de proporcionar abundante aire fresco cuando utilice cualquier tipo de coloide.
- Eliminar de forma segura los envases que no está utilizando o de poco uso; cómprelos en cantidades que vaya a utilizar pronto y manténgalos fuera del alcance de los niños y las mascotas.

Los productos potencialmente peligrosos suelen tener advertencias destinadas a reducir la exposición del usuario. Por ejemplo, si una etiqueta dice que hay que utilizar el producto en una zona bien ventilada, buscar estrategias que ayuden a evacuar el aire de forma forzada como ventiladores e inyectores, en caso contrario; abrir las ventanas para que entre la máxima cantidad de aire exterior posible.

- #### **b Desechar de forma segura los envases parcialmente llenos de productos químicos viejos o innecesarios.**

Debido a que los gases pueden escapar incluso de contenedores cerrados, esta simple acción podría contribuir a reducir las concentraciones de productos químicos orgánicos. Es esencial asegurarse de que los materiales que necesitan ser conservados estén almacenados en una zona bien ventilada y fuera del alcance de los niños. No, simplemente deseches estos productos no deseados en la basura. Investigue si su gobierno local o alguna organización comunitaria organiza días especiales para la recolección de residuos domésticos tóxicos. Si existen esos días, utilícelos para deshacerse de manera segura de los envases no deseados. Si no hay días de recolección, considere organizar uno.

c Comprar cantidades limitadas

Para el uso ocasional o estacional de productos como pinturas, decapantes, queroseno para calentadores o gasolina para cortadoras de césped, se recomienda adquirir solo la cantidad necesaria para su uso inmediato. Es importante minimizar la exposición a las emisiones de productos que contienen cloruro de metileno.

Los productos de consumo que contienen cloruro de metileno incluyen decapantes de pintura, eliminadores de adhesivos y pinturas en aerosol. Se ha demostrado que el cloruro de metileno causa cáncer en animales. Además, dentro del cuerpo se convierte en monóxido de carbono, lo que puede provocar síntomas asociados a la exposición a este gas. Es crucial leer detenidamente las etiquetas, que proporcionan información sobre los riesgos para la salud y las precauciones necesarias para el uso adecuado de estos productos. Siempre que sea posible, utilice productos que contengan cloruro de metileno en exteriores; si es necesario utilizarlos en interiores, asegúrese de que la zona esté bien ventilada.

d Exposición al benceno al mínimo.

El benceno es un conocido carcinógeno humano. Las principales fuentes de esta sustancia química en interiores son:

- Humo ambiental de tabaco
- Combustibles almacenados
- Suministros de pintura

- Emisiones de los automóviles en los garajes anexos.

Las acciones que reducirán la exposición al benceno incluyen:

- Eliminar el consumo de tabaco en el hogar
 - Proporcionar la máxima ventilación cuando se esté pintando
 - Desechar inmediatamente los suministros de pintura y los combustibles especiales que no se van a utilizar.
- e Mantenga al mínimo la exposición a las emisiones de percloroetileno.

El percloroetileno es un compuesto químico utilizado en el proceso de limpieza en seco. Estudios de laboratorio han confirmado su capacidad para inducir cáncer en animales. Investigaciones recientes señalan que las personas inhalan niveles bajos de este químico tanto en sus hogares, donde se almacenan artículos limpiados en seco, como al llevar puesta ropa que ha sido sometida a este proceso. Durante la limpieza en seco, las tintorerías recapturan el percloroetileno para reutilizarlo y reducir costos, aunque algunas no eliminan la cantidad máxima posible de este químico durante los procesos de planchado y acabado.

Es recomendable tomar precauciones para reducir la exposición a este compuesto químico. Si al recoger los artículos limpiados en seco percibe un fuerte olor químico, es aconsejable no aceptarlos hasta que hayan sido adecuadamente secados.

Las emisiones que podemos encontrar en un centro de trabajo pueden ser de dos tipos:

- a Emisiones puntuales: son aquellas que tienen una salida a la atmósfera localizada. Es decir, suelen tener un punto concreto por donde salen a la atmósfera, como puede ser una chimenea, una torre de humos, etc. Al estar localizadas, estas emisiones son fácilmente controlables y medibles. Se habla entonces de focos fijos cuando nos referimos a aquellos puntos por donde salen las emisiones de una industria a la atmósfera.
- b Emisiones difusas: son emisiones no localizadas (no salen por una chimenea), y por ello son difíciles de controlar, como por ejemplo los vapores o emanaciones de gases

ocasionados por fugas, derrames, manipulación de sustancias, etc., que antes de salir a la atmósfera se propagan por el interior de las instalaciones.

3.5 El aire

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al aire puro como la mezcla de gases, vapor de agua, partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0,5 milímetros, los cuales en su conjunto envuelven la atmósfera terrestre. Los gases que conforman el aire son el Nitrógeno un 78.08 % y el Oxígeno un 20.95%, destacando el Argón entre los menos comunes, con 0.93%. Algunos de los componentes al resto de gases (equivalen a un 0.04%) se encuentran en concentraciones mayores; son sustancias nocivas para el medio ambiente y la salud humana. Estos incluyen ozono troposférico (O_3), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), material particulado (PM), y otras sustancias potencialmente tóxicas conocidas como contaminantes del aire.

Contiene asimismo pequeñas cantidades de otros gases, llamados gases traza, como dióxido de carbono y metano. Las concentraciones de estos gases en la atmósfera suelen medirse en partes por millón. Por ejemplo, en 2011 se estimó que las concentraciones de dióxido de carbono, uno de los gases traza más importantes y abundantes en la atmósfera, eran de unas 391 ppm, o del 0,0391 % del indicador de las concentraciones atmosféricas de la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente). Además, las fuentes tanto naturales como antropogénicas (es decir, asociadas a la actividad humana) liberan a la atmósfera miles de otros gases y partículas (entre ellos hollín y metales).

La composición del aire en la troposfera cambia continuamente. Algunas de las sustancias que contiene son altamente reactivas; dicho de otro modo, son más propensas a interactuar con otras para formar nuevas sustancias. Cuando algunas de estas sustancias reaccionan con otras, pueden formar contaminantes secundarios perjudiciales para nuestra salud y el medio ambiente. El calor incluido del sol suele ser un catalizador que facilita o desencadena reacciones químicas.

3.6 Contaminación atmosférica

No todas las sustancias que hay en el aire se consideran contaminantes. En general, por contaminación atmosférica se entiende la existencia de ciertos contaminantes en la atmósfera en proporciones que repercuten negativamente en la salud humana, el medio ambiente y el patrimonio cultural (edificios, monumentos y materiales). En el contexto de la legislación, solo se tiene en cuenta la contaminación de fuentes antropogénicas, aunque en otros contextos la contaminación pueda definirse de forma más amplia.

No todos los contaminantes atmosféricos son antropogénicos. Muchos fenómenos naturales, incluidas las erupciones volcánicas, los incendios forestales y las tormentas de arena, liberan contaminantes a la atmósfera. Las partículas de polvo pueden recorrer largas distancias en función de los vientos y las nubes. Independientemente de si son naturales o antropogénicas, una vez que estas sustancias están en la atmósfera, pueden intervenir en reacciones químicas y contribuir a la contaminación atmosférica. Un cielo radiante y una buena visibilidad no son necesariamente signos de un aire limpio.

A pesar de las importantes mejoras logradas en las últimas décadas, la contaminación atmosférica en Europa sigue perjudicando la salud y el medio ambiente. En particular, la contaminación derivada de las partículas en suspensión y la contaminación por ozono plantean graves riesgos para la salud de los ciudadanos europeos que afectan a su calidad de vida y reducen su esperanza de vida. Los diferentes contaminantes tienen fuentes y efectos distintos. Vale la pena examinar más de cerca los principales contaminantes.

3.7 Calidad del aire

La constitución política de El Salvador menciona que debemos contar con un ambiente sano y equilibrado, ya que se mejora la calidad de vida de las personas. Además, este es un derecho primordial establecido en el país; por lo mismo, es importante mantener la calidad de aire, para que las personas gocen de una mejor calidad de vida. Se logrará solo con el compromiso y la participación de todos los actores, como es el estado, la población, empresas públicas y empresas privadas. La evaluación de la calidad de aire es de suma importancia, debido a que, con estos datos obtenidos, se logrará dar a conocer el tipo de medida a tomarse, ya sea correctiva o preventiva

dentro del ámbito nacional. Esto ayudará a proteger principalmente la salud y el bienestar de la población humana con un margen adecuado de seguridad. Por su parte, (en un artículo académico de María Gómez, 2017) indica que la calidad del aire es medida por medio de los niveles de emisión, que viene a ser la concentración media de un contaminante presente en el aire durante un período de tiempo determinado. Esta concentración varía según el nivel del suelo, la dispersión del contaminante, la temperatura del lugar, la deposición, la precipitación y la absorción por la vegetación del lugar.

3.8 Contaminación del aire

La contaminación es considerada como el principal actor en la degradación del aire, ocasionando así riesgos en contra de la salud de las personas, en la seguridad alimentaria, en la generación de la economía y en el desarrollo normal del medio ambiente. Uno de los principales contaminantes emitidos por actividades antropogénicas, es la producción y uso de energía basada en combustibles fósiles, ya que, en su mayoría, producen dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. La principal fuente de contaminantes de dióxido de azufre proviene del carbón, y las emisiones de óxido de nitrógeno son la generación principalmente por uso de vehículos. Otros contaminantes importantes son las partículas gruesas inhalables, como son las partículas suspendidas totales, que surgen del sector de la construcción.

La presencia de (CO_2) en la población es la causa de la combustión de todo combustible que se forma por la oxidación de los átomos de carbono. Entonces, la emisión de origen antropogénico se debe fundamentalmente a los procesos de generación de energía, a la actividad automotriz y al trabajo de las industrias, entre otros.

3.9 Dióxido de carbono CO_2

Este componente químico es uno de los gases que más perjudican a la salud humana. Además, es considerado como uno de los contaminantes que más registró aumento en las últimas décadas, siendo agente anómalo notable dentro del cambio climático. Por su parte, (Keung Cheung, 2012) nos indica que el dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro y es muy importante para que exista vida en el planeta Tierra. Este compuesto proviene de dos fuentes principales como son las naturales y las antrópicas. La forma de producción natural es, por lo general, por la presencia de

la evaporación de las aguas subterráneas (debido a su solubilidad en el agua), la actividad volcánica, el proceso de las aguas termales orgánicas, la presencia de incendios forestales naturales por los rayos y la forma de producción antrópica como es la deforestación, quema de combustibles fósiles como carbón, gas natural, productos derivados del petróleo, entre otros. (Sordo Medina, 2010).

Aparte de las consecuencias en el planeta que afectan directamente al calentamiento global y cambios en los sistemas biológicos que indirectamente afectan al ser humano, los valores actuales de CO₂ convierten a la Tierra en una especie de espacio confinado; es un gas presente en la atmósfera de forma natural en una concentración de 250 a 350 ppm. 350 a 1000 ppm es una concentración de buena calidad en una habitación cerrada. A partir de 5000 ppm se altera la presencia de otros gases en el aire, originándose una atmósfera tóxica o pobre en oxígeno con efectos fatales a medida que aumenta la concentración.

Por lo tanto, 400 ppm no son directamente peligrosos para nuestra salud, aunque es decepcionante darse cuenta de que el aire natural es, en el mejor de los casos, similar al aire de una habitación cerrada. Ir a una montaña a respirar aire puro pierde de algún modo su sentido. Lo dramático es cuán vertical es la curva de Keeling, así como su trayectoria prevista. Antes de la Revolución Industrial (1780), la concentración de CO₂ era de 280 ppm; en 1958, 317 ppm; para 2040 será de 450 ppm. El último tramo de la curva del gráfico da una imagen alarmante de la evolución geométrica de las emisiones de CO₂ de efecto invernadero que parece no tener fin²⁰.

²⁰ David, M., & Mairal, F. (s.f.). Effects of CO₂ in humans. Foro educativo. Recuperado el 1 de enero de 2022, de <https://medium.com/aragon-valley/effects-of-co2-in-humans-8a28b2e8da59>.

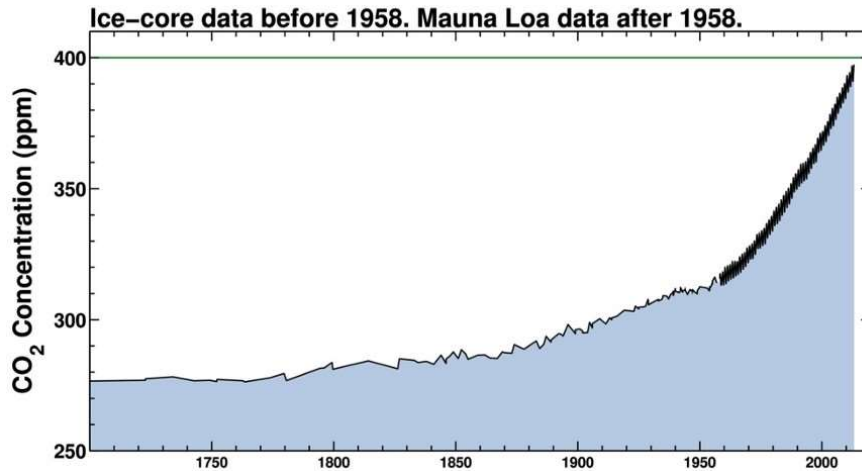


FIGURA 1 Evolución geométrica de las emisiones de CO_2 .

3.10 Efectos sobre la salud

La exposición a contaminantes atmosféricos, específicamente en la troposfera; incluyen partículas y contaminantes gaseosos que han cobrado una mayor importancia con el pasar de los años. Debido a un aumento exponencial en la salud pública mundial, el informe más reciente de la Global Burden of Disease Study (GBD, 2016) enumera la contaminación del aire como la principal causa de muerte y la pérdida de años de vida ajustados por discapacidad, que representan un estimado de más de 3 millones de muertes prematuras por año en todo el mundo (Lim, Vos, Flaxman, & Goodarz, 2014); (GBD, 2016). La producción de humo de combustión de biomasa y carbón, entre otro tipo de generación, son los principales actores en la contaminación del aire.

Sin embargo, cabe recalcar que las exposiciones y tendencias de la contaminación atmosférica son bastante dispares en diferentes partes del mundo, siendo así que se considera como principales contaminantes atmosféricos al monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas suspendidas y ozono; estos son evaluados con los mismos fines regulatorios, pero con pequeñas diferencias en los límites de concentración, esto de acuerdo con la comunidad en la cual se hace el monitoreo. (Van Donkelaar, Martin, Brauer, & Boys, 2014)²¹.

²¹ Martin, R. (2017). Use of Satellite Observations for Long-Term Exposure Assessment of Global Concentrations of Fine Particulate Matter (Tesis de maestría). Universidad de British Columbia, Vancouver.

La quema de combustibles cambia la forma de muchas sustancias, incluido el nitrógeno, el gas más abundante de nuestra atmósfera. Cuando el nitrógeno reacciona con el oxígeno, se forman óxidos de nitrógeno en el aire (entre otros, dióxido de nitrógeno, NO_2). Cuando el nitrógeno reacciona con átomos de hidrógeno, forma amoníaco (NH_3), que es otro contaminante atmosférico con efectos perjudiciales graves sobre la salud humana y la naturaleza.

De hecho, los procesos de combustión liberan otros contaminantes atmosféricos, que van desde el dióxido de azufre y el benceno hasta el monóxido de carbono y los metales pesados. Algunos de estos contaminantes tienen efectos más o menos inmediatos sobre la salud humana. Otros, incluidos algunos metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes, se acumulan en el medio ambiente. De este modo pueden entrar en nuestra cadena alimenticia y llegar finalmente a nuestros platos. Contaminantes, como el benceno, pueden dañar el material genético de las células y provocar cáncer en caso de exposición prolongada, dado que el benceno se utiliza como aditivo de la gasolina. Cerca del 80 % del benceno emitido a la atmósfera en Europa proviene de la combustión de carburantes utilizados por los vehículos.

Otro contaminante que provoca daños irreparables en el ser humano es el benzopireno, y se libera principalmente durante la quema de leña o carbón en estufas de uso doméstico. Pertenece a una clase de hidrocarburos aromáticos y que comparten una estructura química básica, el anillo de benceno. Son compuestos poco solubles en agua por tener propiedades hidrofóbicas consistentes en dos o más anillos bencénicos, ya sea en forma simple o múltiple, formando cadenas o racimos.

3.11 Efectos en la salud humana

Aunque la contaminación atmosférica afecta a todo el mundo, no daña a todos en la misma medida y de la misma forma. En las zonas urbanas hay más personas expuestas a la contaminación atmosférica debido a que allí las densidades de población son más elevadas. Algunos grupos son más vulnerables, entre ellos los que padecen enfermedades cardiovasculares y respiratorias, personas con vías respiratorias reactivas y alergias que afectan a las vías respiratorias, los ancianos y los bebés.

La contaminación afecta a todo el mundo, tanto en los países desarrollados como en desarrollo, afirma Marie Eve Héroux, de la Oficina Regional para Europa de la Organización Mundial de la Salud. En Europa sigue habiendo una elevada proporción de la población que está expuesta a unos niveles que superan las recomendaciones para las directrices sobre la calidad del aire. No es fácil estimar el alcance total de los daños que causa la contaminación atmosférica en nuestra salud y el medio ambiente. No obstante, se han realizado muchos estudios que se concentran en determinados sectores o fuentes de contaminación. Según el proyecto Aphekom, cofinanciado por la Comisión Europea, la contaminación atmosférica en Europa causa una reducción de la esperanza de vida de alrededor de 8,6 meses por persona²².

3.12 Radiación ultravioleta

Es un componente natural de la radiación solar; se encuentra en la región entre la luz visible y los rayos X, y se puede encontrar entre el espectro electromagnético de las longitudes de onda 100nm - 400nm. La luz ultravioleta se puede clasificar en (UV-A, UV-B y UV-C o simplemente UV de vacío). Su nombre proviene del hecho de que su rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que el ojo humano identifica como luz violeta, pero dicha luz o longitud de onda es invisible al ojo humano al estar por encima del espectro visible. Esta radiación es parte integrante de los rayos solares y produce varios efectos en la salud al ser una radiación entre no-ionizante e ionizante.

²² Closing gaps in understanding the impact of air pollution on health, Aphekom. (Página consultada el día 2 de diciembre de 2022) Dirección URL:
<http://aphekom.org/web/aphekom.org/home;jsessionid=17487DFE665114F46D2C11833C508A1C>.

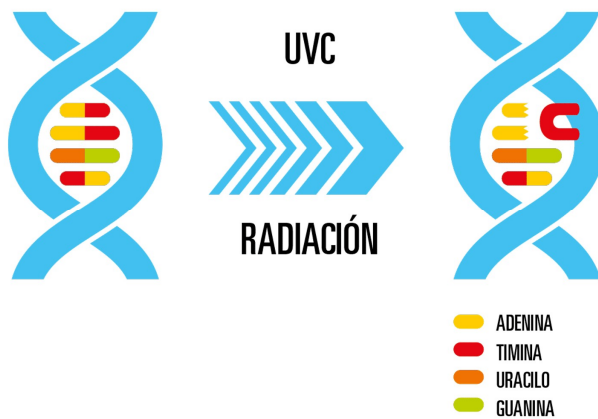


FIGURA 2 Efecto de la luz ultravioleta en el ADN

efectivos oscureciendo el papel impregnado con cloruro de plata, nombró a estos rayos como desoxidantes, con el propósito de resaltar su reactividad química, diferenciándolos de los rayos calóricos, que habían sido descubiertos por William Herschel y se ubicaban en el otro extremo del espectro visible. Posteriormente, se empezó a emplear el término "rayos químicos". Durante el transcurso del siglo XIX, estos dos términos gozaron de una considerable popularidad. Finalmente, a medida que avanzaba el tiempo, estos términos fueron reemplazados por los más modernos "radiación infrarroja" y "radiación ultravioleta", respectivamente.

Una fuente de radiación suele caracterizarse por su dosis (o fluencia), su potencia o su densidad de potencia (también conocida como irradiancia o intensidad). La dosis (D) se refiere a la cantidad de energía entregada (E_{en}) por unidad de área del material irradiado o tejido (S), es decir (Bachmann, 2020a).

$$D = \frac{E_{en}}{S}, \quad (1)$$

cuya unidad en el sistema internacional.

El descubrimiento de la radiación ultravioleta está asociado a la experimentación del oscurecimiento de las sales de plata al ser expuestas a la luz solar. En 1801, el físico alemán Johann Wilhelm Ritter, descubrió que los rayos invisibles situados justo detrás del extremo violeta del espectro visible eran especialmente

$$P = \frac{E_{en}}{t}, \quad (2)$$

cuya unidad en el SI es el [J/s] o [W] (vatio). La intensidad hace referencia a dosis entregada en la unidad de tiempo, es decir,

$$I = \frac{D}{t} \text{ o } I = \frac{P}{S}, \quad (3)$$

cuya unidad en el SI es el [W/m²]. A partir de esta ecuación es posible determinar el tiempo de irradiación si I y D son previamente conocidas. Las ecuaciones (1), (2) y (3) aplican para una fuente de radiación ultravioleta cuya energía entregada es constante en el tiempo y monocromática. En contraste, cuando la fuente de radiación no es monocromática y el tejido absorbe la radiación en un rango específico del espectro de emisión de la fuente, la intensidad efectiva (cantidad de intensidad de la fuente efectivamente absorbida) viene expresada mediante,

$$I_{ef} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{esp}(\lambda) A(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

donde $I_{esp}(\lambda)$ es la intensidad espectral y $A(\lambda)$ es el espectro de absorción de la muestra entre las longitudes de onda λ_1 y λ_2 . Otra forma más específica de calcular la intensidad efectiva es mediante el coeficiente de atenuación molar, $e(\lambda)$, de modo que,

$$I_{ef} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{esp}(\lambda) e(\lambda) d\lambda, \quad (5)$$

donde I_{ef} tendrá unidades de [W/mol] dado que $e(\lambda)$ viene dado en [m²/mol]. Por otra parte, si la intensidad espectral varía con el tiempo, esto es, una fuente de radiación cuya intensidad varía con el tiempo y con la longitud de onda de emisión, la intensidad efectiva viene dada por,

$$I_{ef} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{esp}(\lambda, t) A(\lambda) d\lambda \text{ o } I_{ef} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{esp}(\lambda, t) e(\lambda) d\lambda, \quad (6)$$

de manera que la dosis efectiva podría calcularse mediante,

$$D_{ef} = \int_t^{t_2} I_{ef} dt, \quad (7)$$

donde dt es el intervalo de tiempo de aplicación de la radiación en el material contaminado con algún agente infeccioso.

3.13 Luz Ultravioleta (UV-C)

Se reconoce que la luz UVC está entre longitudes de onda de 220nm y 290nm, tiene propiedades germicidas significativas y es casi totalmente filtrada por la atmósfera de la Tierra, por lo que para utilizar sus propiedades germicidas tenemos que generarla artificialmente aquí en la tierra. Cuando la luz UV se encuentra con un microorganismo, penetra en su ADN, destruyendo los enlaces adenina y timina. Inactivando eficazmente bacterias, virus, esporas y mohos, evitando que se multipliquen y causen infecciones.

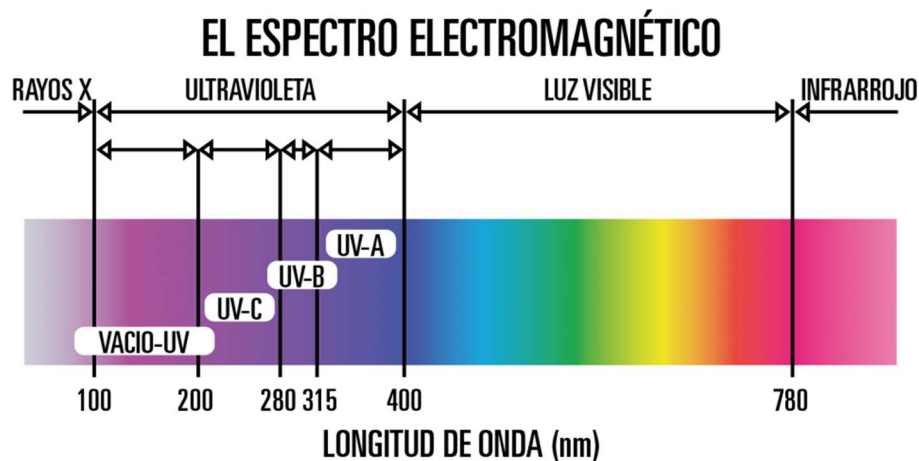


FIGURA 3 Longitud de onda en el espectro ultravioleta.

Hay dos tecnologías principales de lámparas ultravioleta de tipo C utilizadas en aplicaciones industriales y municipales:

- a Las lámparas de amalgama ofrecen una salida monocromática (longitud de onda única) a 254 nm con un 30% + de conversión de electricidad a UVC. Estas lámparas son eficientes, pero su densidad de energía es baja, lo que significa que son relativamente de baja y larga potencia (100 a 800 W). Se utilizan cuando la eficiencia es clave, pero los sistemas multilámpara más grandes pueden ser voluminosos y difíciles de mantener.

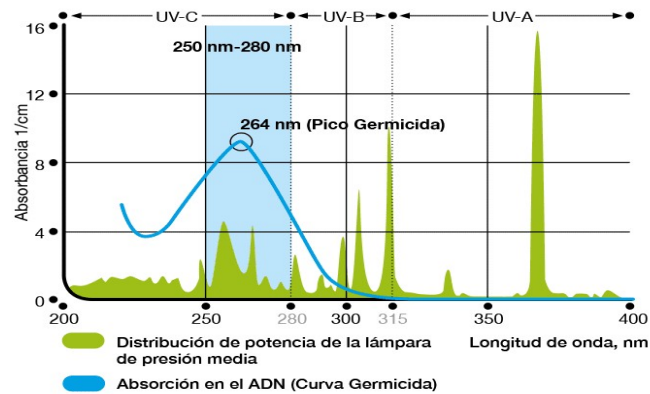


FIGURA 4 Diagrama espectral de las lámparas amalgama.

- b Las lámparas de presión media ofrecen una salida policromada en un amplio espectro. Esto puede ser útil para igualar la sensibilidad de un organismo objetivo, pero tienen una menor eficiencia energética (~15%). Por el contrario, son de alta y corta potencia (1KW a 24KW), lo que significa que necesita menos lámparas en un reactor más pequeño.

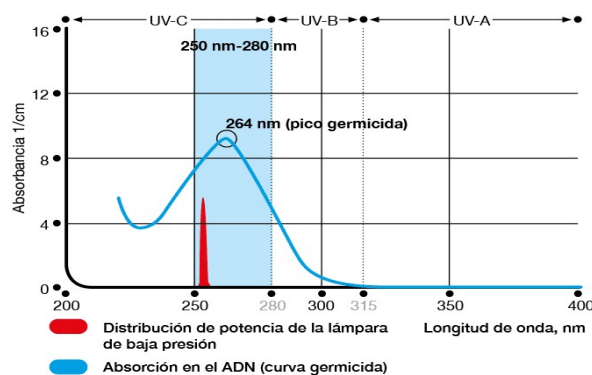


FIGURA 5 Diagrama espectral de las lámparas de presión.

3.14 Ventajas de usar lámparas de presión baja o de presión media

Ventajas	Presión baja	Presión media	Descripción
Bajo consumo de energía	x		Las lámparas de presión baja son más eficientes, pero son de menor potencia.
Eficiente a mayores caudales		x	Las lámparas de presión media funcionan a una densidad de potencia mucho mayor en comparación con las lámparas de presión baja, de modo que una lámpara de presión media puede tratar un flujo mucho mayor que una sola lámpara de baja presión.
Restricción de espacio		x	Las lámparas de presión media para la misma salida UV tienen alrededor de un tercio de la longitud de una lámpara de presión baja y por lo tanto los sistemas son mucho más pequeños
Vida de la lámpara	x		Las lámparas de presión baja suelen durar de 9000 a 15000 horas, mientras que las lámparas de presión media de última generación duran unas 9000 horas
Ahorro en mantenimiento y repuestos		x	Para las mismas condiciones, los sistemas UV de presión media generalmente tienen un tamaño menor y utilizan menos lámparas que un sistema de presión baja

Eficacia de la desinfección		x	La presión media tiene una mayor salida de luz UV y no sólo rompe el enlace de ADN de un microbio, sino que también rompe la pared celular. Algunos microorganismos son mucho más sensibles a estas múltiples longitudes de onda producidas por lámparas de presión media.
Temperatura baja durante el funcionamiento	x		Las lámparas de presión baja funcionan a unos 120°C, mientras que la presión media funciona a 600°C a 800°C
Agua a alta temperatura		x	Los sistemas UV de presión media apenas se ven afectados por la temperatura del agua, mientras que la presión baja sólo puede funcionar entre 5-40°C
Estado ON sin flujo de agua	x		En muchos casos, los sistemas LP pueden funcionar durante más tiempo sin ningún flujo de agua que los sistemas MP.

TABLA 4 Características de las lámparas de presión media y baja

Lámpara de presión baja



FIGURA 6 Lámparas de presión baja

Las lámparas de baja presión están diseñadas para operar a su óptima eficiencia con una temperatura de 40°C en la pared de lámpara y una potencia de arco eléctrico cercana a 0.3 W/cm (Phillips, 1983). Bajo estas condiciones, la presión del vapor de mercurio dentro de la lámpara es de 0.9 Pascales y la mayor parte del mercurio dentro de la lámpara se encuentra en estado líquido. La construcción, llenado y operación de una lámpara de baja presión se eligen de manera tal que se maximice la conversión de energía eléctrica a radiación ultravioleta resonante a 254nm y 185nm. Aproximadamente 85% de la luz emitida por una lámpara de baja presión es radiación resonante. Incluidas las pérdidas del balasto, la conversión de energía eléctrica a luz tiene una eficiencia aproximada de 35 a 40% (O'Brian et al, 1995). Una lámpara de baja presión estándar de 147 cm de longitud debe producir 26.7 watts de UV a 254nm cuando se le conecta a una fuente de energía de 75 watts.

Lampara de presión media



FIGURA 7 *Lamparas de presión media*

Las lámparas de arco de mercurio de mediana presión usadas en la desinfección de agua varían en longitud de 25 a 70 cm y tienen un diámetro de cerca de 2.2 cm. Durante la fabricación de la lámpara, se le introduce una masa medida de mercurio (1,4 a 15 mg Hg/cm de longitud del arco). Las lámparas están diseñadas para operar a una potencia de arco eléctrico relativamente alta, de 48 a 126 watts/cm (Phillips, 1983). De igual manera, la temperatura de pared de la lámpara se encuentra entre 650 y 850 °C y todo el mercurio dentro de la lámpara se vaporiza a una presión de vapor cercana a 13 kPa. Debido a la alta temperatura del plasma dentro de la lámpara de mediana presión, el mercurio vaporizado se encuentra en varios estados de excitación. El paso de estos niveles de excitación a un nivel de energía menor da como resultado la liberación de luz con

diferentes longitudes de onda. En consecuencia, la salida espectral de una lámpara de mediana presión consiste en numerosos picos con un continuo de UV por debajo de 245 nm.

3.15 Agentes patógenos que deben inactivarse

Diferentes patógenos tienen diferente resistencia a la luz ultravioleta. Algunos son más susceptibles que otros y por lo tanto requieren diferentes cantidades de exposición para la inactivación. Incluso puede haber una respuesta espectral diferente; por ejemplo, la dosis requerida puede depender de la longitud de onda aplicada. Con el fin de dimensionar correctamente y seleccionar un sistema, se debe establecer qué patógenos se van a inactivar y cuál es su característica de respuesta a la exposición de luz ultravioleta.

En realidad, cuando hablamos de inactivación de los patógenos, es imposible. La esterilidad no es económicamente alcanzable. De hecho, esto es cierto independientemente de qué método de desinfección se utiliza, ya sea ultravioleta, cloro o cualquier otro método. Si es posible, reducir el recuento de patógenos en una cantidad predecible. Esta cantidad predecible se conoce como una reducción logarítmica. Una reducción de 1 log reducirá el patógeno de interés en un 90% del nivel de influencia. Una reducción de 2 log verá una reducción del 99%, 3 log por 99,9%, y así sucesivamente. Los científicos han calculado la cantidad de exposición a la luz ultravioleta necesaria para inactivar toda una gama de patógenos diferentes mediante diversas reducciones de log. Los ejemplos aparecen en la siguiente tabla.

Patógenos Diana	Inactivación Logarítmica							
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
CRYPTOSPORIDIUM	1.6	2.5	3.9	5.8	8.5	12	15	22
GIARDIA	1.5	2.1	3	5.2	7.7	11	15	22
VIRUS	39	58	79	100	121	143	163	186

TABLA 5 Cálculos logarítmicos de inactivación de patógenos.

Es importante notar en la tabla anterior que la dosis de luz ultravioleta requerida para inactivar un patógeno dado a una reducción de log dada es raramente lineal. Un error común es tomar la intensidad necesaria para lograr una inactivación de 1 log y simplemente multiplicarla para calcular una reducción de log más alta. Aunque es un patógeno muy común, tiene una curva de respuesta de dosis que es casi lineal; la mayoría no lo son.

3.16 Efectos de la radiación ultravioleta

La reducción de la capa de ozono disminuye la protección natural que ofrece la atmósfera terrestre contra la radiación ultravioleta perjudicial del sol. Se realiza una descripción general de los principales problemas de salud relacionados con la sobreexposición a la radiación ultravioleta. Es importante comprender estos riesgos para tomar algunas precauciones que ayudarán a reducir sus posibilidades de tener problemas de salud relacionados con el sol.

Melanoma: es la forma de cáncer de piel más grave; es ahora uno de los cánceres más comunes entre los adolescentes y los adultos jóvenes de entre 15 y 29 años. Si bien el melanoma solo constituye alrededor de un tres por ciento de los casos de cáncer de piel, causa más del 75 % de las muertes por cáncer de piel. La exposición a la radiación UV y las quemaduras solares, especialmente durante la niñez, son factores de riesgo para la enfermedad. No todos los melanomas están exclusivamente relacionados con el sol; otras influencias posibles incluyen factores genéticos y deficiencias del sistema inmunológico.

Cáncer de piel no melanoma: los cánceres de piel no melanoma son menos letales que los melanomas. Sin embargo, si no se tratan, pueden extenderse, causando desfiguración y problemas de salud más graves. Existen dos tipos principales de cánceres de piel no melanoma: carcinomas de célula basal y de célula escamosa. Si se detectan y tratan a tiempo, estos dos cánceres raramente son fatales.

Carcinomas de célula basal: Son el tipo más común de tumores de piel cancerosos. Generalmente aparecen como pequeños bultos o nódulos carnosos en la cabeza y en el cuello, pero pueden darse también en otras áreas de la piel. El carcinoma de célula basal crece lentamente, y rara vez se extiende a otras partes del cuerpo. Sin embargo, puede penetrar al hueso y causar un daño considerable.

Carcinomas de célula escamosa: son tumores que pueden aparecer como nódulos o como manchas rojas y escamosas. Este cáncer puede crecer a grandes masas y, a diferencia del carcinoma de célula basal, puede extenderse a otras partes del cuerpo.

Envejecimiento prematuro y otros daños a la piel: Algunos trastornos de la piel relacionados con la radiación ultravioleta incluyen la queratosis actínica y el envejecimiento prematuro de la piel. La queratosis actínica son crecimientos de piel que ocurren en las áreas del cuerpo expuestas al sol. El rostro, las manos, los antebrazos y el escote son especialmente susceptibles a este tipo de lesión. Si bien la queratosis actínica es premaligna, es un factor de riesgo para el carcinoma de célula escamosa. Si descubre en su piel crecimientos elevados, rojizos y ásperos, consulte con un médico sin demora.

La exposición crónica al sol también causa envejecimiento prematuro, que con el tiempo puede hacer que la piel se vuelva gruesa, arrugada y curtida. Dado que esto ocurre gradualmente, a menudo manifestándose muchos años después de ocurrida la mayoría de la exposición de una persona al sol, el envejecimiento prematuro suele considerarse como inevitable o como una parte normal del envejecimiento. Sin embargo, hasta un 90% de los cambios en la piel comúnmente atribuidos al envejecimiento son causados por el sol. Con una protección adecuada contra la radiación, la mayor parte del envejecimiento prematuro de la piel puede evitarse.

Efectos en los ojos: la radiación ultravioleta puede causar efectos oculares agudos, como fotoqueratitis y fotoconjuntivitis (es decir, la inflamación de la córnea y de la conjuntiva, respectivamente). Se trata de efectos reversibles que se pueden prevenir con gafas protectoras y no suelen causar daños a largo plazo, pero son dolorosos y pueden requerir una intervención terapéutica.

Los efectos crónicos de la radiación ultravioleta pueden ser:

- Catarata (enfermedad ocular en la que el cristalino se vuelve cada vez más opaco, lo que provoca una alteración de la visión y, finalmente, ceguera).
- Pterigión (crecimiento de una carnosidad que puede cubrir parte de la córnea).
- Cáncer dentro y alrededor del ojo (carcinoma basocelular, carcinoma epidermoide o melanoma).

La exposición a los rayos ultravioleta también podría influir en la aparición de degeneración macular relacionada con la edad.

Se calcula que en el mundo hay 15 millones de personas que se han quedado ciegas debido a las cataratas y que el 10% de estos casos puede deberse a la exposición a la radiación ultravioleta.

3.17 Riesgos a la exposición

Los efectos agudos de la radiación ultravioleta pueden ser daños en el ácido desoxirribonucleico (ADN), quemaduras solares, reacciones fototóxicas y fotoalérgicas e inmunodepresión, que puede considerarse un factor de riesgo de cáncer y dar lugar a la reactivación de virus (por ejemplo, el del herpes labial).

- a Las quemaduras solares son un signo de sobreexposición por un corto periodo a la radiación, mientras que el envejecimiento prematuro y el cáncer de piel son los efectos secundarios de la exposición prolongada.
- b Pueden que algunos medicamentos orales y tópicos, como los antibióticos, las píldoras anticonceptivas y los productos que contienen peróxido de benzoílo, así como algunos cosméticos, aumenten la sensibilidad de la piel y los ojos a la radiación UV en todos los tipos de piel.
- c La exposición a la radiación aumenta el riesgo de presentar enfermedades que podrían causar ceguera si no se usa protección para los ojos.
- d La sobreexposición a la radiación puede causar graves problemas de salud. El cáncer de piel es el tipo más común en los Estados Unidos. Los dos tipos de cáncer de piel más

comunes son el carcinoma de células basales y el carcinoma de células escamosas. Por lo general, se forman en la cabeza, la cara, el cuello, las manos y los brazos, porque estas son las partes del cuerpo que más se exponen a la radiación UV. La mayoría de los casos de melanoma, el tipo de cáncer de piel más mortal es causado por exposición a la radiación ultravioleta. Así como algunos cosméticos, aumentan la sensibilidad de la piel y los ojos a la radiación UV en todos los tipos de piel.

3.18 Beneficios de la radiación ultravioleta

- a Los efectos beneficiosos de la radiación ultravioleta incluyen la producción de vitamina D, que es esencial para la salud humana. La vitamina D ayuda al cuerpo a absorber el calcio y el fósforo de los alimentos y contribuye a la formación de los huesos.
- b La radiación ultravioleta (UV) es una forma de radiación electromagnética que proviene del sol y tiene una serie de beneficios y aplicaciones en diferentes campos. Algunos beneficios son los siguientes:

Producción de vitamina D: la radiación UV– B es fundamental para la síntesis de vitamina D; en la piel, esta vitamina es esencial para la absorción de calcio y fósforo, contribuyendo así a la salud ósea y al sistema inmunológico.

Esterilización y desinfección: las lámparas UV se utilizan para esterilizar el agua, el aire y superficies. La radiación UV destruye microorganismos como bacterias, virus y hongos, lo que la convierte en una herramienta eficaz para la desinfección.

Tratamientos médicos: La radiación UV se emplea en la terapia de luz ultravioleta para tratar afecciones de la piel como la psoriasis, el vitíligo y la dermatitis atópica. También se utiliza en la fototerapia para tratar la ictericia neonatal.

Fotodegradación: Se utiliza en aplicaciones de fotodegradación para descomponer sustancias químicas nocivas en el agua y en el aire, contribuyendo a la purificación ambiental.

Ciencia y tecnología: es esencial en la espectroscopia y en la investigación científica para analizar y estudiar la composición de materiales y reacciones químicas.

Bronceado: Aunque el exceso de exposición a la radiación UV puede ser perjudicial, la exposición controlada al sol o a camas de bronceado puede estimular la producción de melanina en la piel, dando lugar a un bronceado saludable.

Es importante destacar que, si bien la radiación ultravioleta ofrece numerosos beneficios, la exposición excesiva o sin protección a los rayos UV puede provocar daños en la piel, como quemaduras solares, envejecimiento prematuro y aumentar el riesgo de cáncer de piel. Por lo tanto, es fundamental utilizar protector solar y tomar medidas de precaución adecuadas al exponerse a la radiación.

3.19 Efectos contaminantes

Según la Organización Mundial de la Salud, una de cada nueve personas que mueren cada día alrededor del mundo lo hacen en consecuencia directa o indirecta de la contaminación del aire. Además, si tenemos en cuenta que el 90% de los habitantes de ciudades viven continuamente con niveles de contaminación superiores a los que se recomiendan, la magnitud del problema se dispara.

Otros contaminantes biológicos pueden estar presentes en el polvo depositado. Puede contener cantidades variables de polen, esporas y fragmentos fúngicos, bacterias, micotoxinas, endotoxinas, ácaros y alérgenos de animales domésticos o de insectos. Si este reservorio (sustrato colonizado o polvo depositado) es alterado, por ejemplo, por diversas actividades humanas como caminar, correr, aspirar, mover muebles, efectuar reformas en paredes o techos, etc., o por corrientes de aire, puede producirse la aerosolización de dichos contaminantes.

- a La toma de aire exterior puede acumular barro, agua estancada, tierra, materia vegetal, excrementos de aves, etc., que pueden propiciar el crecimiento microbiano y su ingreso al edificio a través del sistema.
- b El sistema de filtración y otros materiales porosos (aislamientos de los conductos de ventilación) en los que puede acumularse la suciedad.

- c Los elementos del sistema en los que puede acumularse agua y suciedad, por ejemplo: las bandejas de drenaje de los serpentines de enfriamiento, los humidificadores o la torre de refrigeración, constituyendo un medio adecuado para el crecimiento de microorganismos como hongos, protozoos y bacterias y, a la vez, una fuente potencial de bioaerosoles. Entre los agentes biológicos más importantes relacionados con estos elementos, se pueden destacar la bacteria *legionella pneumophila* o las endotoxinas bacterianas.

3.20 Métodos de desinfección y esterilización en espacios laborales

En la actualidad, se han establecido diversas normativas y directrices para la limpieza y desinfección de entornos laborales, especialmente aquellos con actividades que conllevan riesgos sanitarios significativos. Estas directrices son influenciadas por recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y regulaciones gubernamentales relacionadas con seguridad e higiene en el trabajo, riesgos sanitarios y seguridad alimentaria, entre otros aspectos. Estas normativas especifican métodos de desinfección adaptados a cada situación y tipo de material.

En este sentido, existe un plan de limpieza y desinfección específico para cada tipo de actividad que debe ser seguido eficazmente para cumplir con esta responsabilidad, así como también es imprescindible revisar y validar constantemente los métodos de limpieza para verificar su grado de efectividad y cumplimiento. Para la comprobación y análisis de la efectividad, además de contar con la inspección visual, existen diferentes pruebas que arrojan los resultados obtenidos con los diferentes métodos de desinfección, ya que actualmente los avances tecnológicos permiten utilizar desinfectantes específicos para cada tipo de materia.

En todos los casos, una eficiente limpieza pasa por una correcta desinfección y una posterior esterilización en los casos requeridos, para un correcto funcionamiento de determinados espacios de trabajo en los que necesariamente hay que mantener controlada la carga microbiana, como es el caso de la industria alimentaria, actividad sanitaria, laboratorios o industria farmacéutica y bioquímica.

Para conseguir los mejores objetivos en la utilización de los métodos de desinfección, es fundamental la formación del personal responsable de estos cometidos, que deben saber cómo

utilizar cada procedimiento, el uso y manipulación de los distintos agentes de limpieza y desinfección, y las diferencias entre conceptos básicos que hay que distinguir muy claramente.

3.20.1 Limpieza manual

La limpieza manual elimina una gran cantidad de patógenos sobre la superficie de los materiales mediante los procesos de prelavado, fregado, enjuague y secado. No se necesita ningún tipo de maquinaria, pero sí protección para el personal y un control sobre los químicos utilizados y los tiempos de exposición a estos. Por este motivo, este tipo de limpieza es cada vez menos común en la limpieza industrial.

3.20.2 Prelavado

Utilizando el principio básico de poner a remojar la ropa, que consiste en sumergir cosas muy sucias en un recipiente con agua para suavizar el polvo o mancha y desprenderlo con mayor facilidad, las lavadoras han incorporado el ciclo de prelavado que se encarga de hacer este proceso de manera automática. Normalmente este proceso funciona de la siguiente manera: la lavadora utiliza una cantidad mayor de agua y un poco de producto (aproximadamente una cuarta parte de la cantidad habitual de detergente) mientras activa el tambor y gira muy lentamente para desprender mejor el polvo y/o las manchas. Después de un tiempo, drena el agua para eliminar la suciedad y vuelve a llenar para continuar con el ciclo de lavado que se haya elegido.

3.20.3 Lavado y fregado

Proceso físico para eliminar restos de grasas, aceites, glucosa y restos orgánicos o residuos minerales de las superficies y objetos. Se trata de un paso previo al uso de procedimientos de esterilización y desinfección. Los agentes de limpieza y desinfección utilizados en el lavado deben contener propiedades emulsionantes y tensioactivas.

Entre los agentes de limpieza utilizados para el lavado están:

- a Sosa cáustica, surfactantes, estabilizantes ablandadores, abrasivos y detergentes enzimáticos para la eliminación de materia orgánica o proteínas, que no deterioran los materiales y resultan fáciles a la hora de enjuagar. Para que el proceso del lavado sea eficaz,

hay que utilizar los detergentes en las dosis adecuadas a la cantidad de agua recomendada por los fabricantes, y además de frotar o cepillar, insistir especialmente en recovecos, ranuras, aristas, y oquedades. Dependiendo de las dimensiones, tipo de material, grado de eficacia del proceso y coste, se utilizarán los procedimientos de desinfección o esterilización más adecuados.

- b Enjuague y aclarado: Es un proceso realizado con abundante agua para conseguir eliminar cualquier resto de suciedad y jabón.
- c Secado: acción que sirve para eliminar totalmente las condiciones de humedad en las que las bacterias pueden reproducirse con más facilidad, utilizando medios higiénicos como aire, papel o paños desinfectados.
- d Limpieza mecánica: mediante empleo de distintos equipos mecánicos, como maquinaria de limpieza a presión con productos químicos, limpieza con vapor, limpieza criogénica con proyección de partículas de hielo seco a altas presiones, cadenas automáticas de lavado industrial que incluyen procesos de lavado, aclarado y secado.
- e Limpieza por ultrasonidos: con este tipo de métodos de desinfección no se consigue eliminar la suciedad incrustada, pero sirve para complementar la limpieza manual. La limpieza es el paso más básico en higiene y siempre es preparatorio para otros procesos de desinfección superior, ya que la presencia de la suciedad actúa como una barrera frente a los agentes utilizados en la desinfección, frenándolos o incluso neutralizándolos.

3.20.4 Desinfección

Se trata de métodos de limpieza que reducen más intensamente la contaminación microbiana, destruyendo agentes patógenos tanto en ambientes como en superficies y objetos. Mediante la desinfección se pueden destruir formas vegetativas, pero no eliminan las esporas bacterianas. Los procedimientos de desinfección pueden ser físicos o químicos.

3.20.5 Métodos de desinfección con procedimientos físicos

Desinfección mediante el calor o pasteurización, proceso al que se someten sustancias líquidas sin llegar al punto de ebullición. Normalmente se mantiene el líquido a una temperatura de unos 65° durante un cuarto de hora para destruir patógenos y radiaciones ultravioletas, que reducen,

pero no eliminan totalmente la carga microbiana; por su escaso poder penetrante no se considera un proceso de esterilización.

- a Métodos de desinfección con procedimientos químicos: suelen presentarse en estado líquido y se caracterizan por bloquear alguna función vital de las células de los microorganismos que provoca su muerte. Los agentes desinfectantes se pueden clasificar en distintos grados por su eficacia, existiendo diversos tipos de desinfectantes.
- b Productos desinfectantes de bajo nivel: reducen o eliminan sólo algunos patógenos, pero no esporas ni virus, y además tienen escaso poder fungicida.
- c Productos desinfectantes de medio nivel: en este grupo se encuentran los fenoles y el hipoclorito de sodio que acaban con algunas esporas bacterianas, hongos y virus.
- d Desinfectantes de alto nivel: acaban con todo tipo de microorganismos; entre estos compuestos está el ácido peracético y aldehídos como el formaldehído desinfectante, pero que pueden ser considerados también agentes esterilizantes. Algunos de estos productos de limpieza y desinfección pueden ser muy irritantes y tóxicos en su manejo, por lo que hay que utilizarlos con abundante ventilación, además de enjuagar objetos y superficies para eliminar restos residuales. También existen agentes desinfectantes en estado gaseoso, como el formaldehído, que también se comercializa en estado cristalizado, y en solución con agua producen la llamada formalina, que dependiendo de la temperatura de aplicación se utiliza para desinfección de superficies a temperatura ambiente, pero a mayores temperaturas se usa para procesos de esterilización de ambientes.

3.20.6 Esterilización

La esterilización es el proceso capaz de eliminar toda forma de vida microbiana, incluyendo esporas mediante métodos físicos (calor seco, calor húmedo), químicos (líquidos o gaseosos), fisicoquímicos (como los que combinan gases químicos y vapores a baja temperatura) o plasma (peróxido de hidrógeno). Considerando que la medición directa de la esterilidad no es técnicamente factible, su definición se ha fundamentado en criterios probabilísticos indirectos. Para clasificar un producto como estéril, se cumplirá y supervisará cada una de las etapas del proceso (limpieza/descontaminación; inspección; preparación/empaque; selección y exposición al método de esterilización; certificación a través de controles físicos, químicos y biológicos;

validación del equipamiento, empaque, cargas, almacenamiento del material estéril y la distribución o entrega de materiales). Durante la etapa de exposición al agente esterilizante no existe un único tipo de control o indicador con capacidad de proporcionar información sobre la totalidad del proceso.

3.21 Métodos físicos de esterilización

- a Esterilización por calor húmedo: se realiza en autoclaves que generan presión y vapor saturado. Se trata de un método totalmente fiable por su potencial de penetración en las materias, en función del tiempo de exposición, además de ser un procedimiento económico, presentando únicamente el inconveniente de no ser válido para los tratamientos de algunas materias que no admiten mucho calor o humedad.
- b Esterilización por calor seco: se realiza por medio de hornos que generan aire a altas temperaturas, y en el proceso se maneja tiempo de exposición y temperatura.
- c Esterilización por rayos gama: Se realiza mediante radiación ionizante que penetra profundamente; este tipo de procesos se obtienen desde fuentes de cobalto que no dejan residuos radiactivos en los materiales tratados. Se trata de métodos de desinfección y esterilización bastante técnicos, que sólo se realizan en plantas especializadas.
- d Esterilización química: entre los químicos más utilizados están glutaraldehidos, ácido peracético, peróxido de hidrógeno y alcoholes en distintas concentraciones. La esterilización con productos químicos se puede realizar con elementos y compuestos en estado líquido desinfectante o gaseoso; en este último caso, entre los más utilizados está el vapor de peróxido de hidrógeno. También existe otro método dentro de la esterilización con productos químicos mediante procesos mecánicos en los que se realiza una esterilización por filtración para atrapar mediante distintas etapas determinados tipos de microorganismos.

Otros términos relacionados con el concepto de desinfección.

3.21.1 Asepsia

Es un término médico que define al conjunto de métodos aplicados para la conservación de la esterilidad. La presentación y uso correcto de ropa, instrumental, materiales y equipos estériles,

sin contaminarlos, en todo procedimiento cirujano se conoce como asepsia.²³ También se le denomina asepsia a la acción que se realiza al limpiar un área determinada. Ejemplo: al administrar una inyección se debe limpiar adecuadamente con un algodón y alcohol; se denomina asepsia porque "a" es igual a "sin" y "sepsia" es igual a "microbios o microorganismos".

3.21.2 Antisépticos

Los antisépticos son sustancias que, aplicadas de forma tópica, sobre los tejidos vivos, tienen la capacidad de destruir los microorganismos o de inhibir su reproducción. La aplicación más frecuente es sobre la piel, las mucosas y las heridas. Las sustancias que se emplean sobre objetos inanimados con el mismo objetivo se denominan desinfectantes. La diferencia entre antiséptico y desinfectante depende esencialmente de la concentración empleada. En dosis bajas, una sustancia puede comportarse como antiséptico, mientras que, en dosis más altas, que resultarían lesivas para los tejidos, se emplea como desinfectante.

3.22 Tecnologías innovadoras para la inactivación de patógenos

Tecnología y coyuntura global siempre han ido de la mano, en una simbiosis que la irrupción de la pandemia de Covid-19 no ha hecho más que reforzar. Así, el foco de la innovación tecnológica en el último año y medio se ha depositado en la entrega de soluciones avanzadas para contrarrestar el avance del virus y la limpieza de interiores.

3.22.1 Clean air

Es una tecnología innovadora que utiliza los rayos ultravioleta UV-C para tratar el aire contaminado biológicamente. Gracias a su efecto germicida, puede destruir el material genético de microorganismos como hongos, virus y bacterias, impidiendo que se repliquen. Además, funciona a través de un proceso físico, sin liberación de residuos.

En nuestro país no existe una empresa que se dedique de lleno a este tipo de rubro, pero sería de mucho beneficio que se aplicara, ya que hoy en día es una necesidad poseer espacios limpios y

²³ Markel, H. (s.f.). An Anatomy of Addiction. Recuperado el 7 de diciembre de 2022, de [//es.wikipedia.org/wiki/Asepsia](https://es.wikipedia.org/wiki/Asepsia).

sanitizados, para que las personas puedan desarrollarse dentro de cualquier lugar donde exista o pueda existir un riesgo para la salud.

Es por esta necesidad que en otros países y empresas de varios sectores ya han comenzado a aplicar la tecnología de luz ultravioleta de tipo C en oficinas, ascensores, líneas de producción, insumos médicos, buses, agua, aire y otras superficies. Además, es una tecnología que reduce el peligro que supone el uso de químicos al momento de realizar la desinfección, no genera subproductos cancerígenos, inactiva patógenos resistentes al cloro y no perjudica la salud humana porque su aplicación jamás se realiza sobre personas, sino que sobre superficies.

3.22.2 Plasma frío

La tecnología de plasma frío a través del equipo Mate tiene la capacidad de filtrar polvo, desactivar virus, bacterias, neutralizar compuestos orgánicos volátiles y olores. Su eficacia en la reducción del 99,9% de los contaminantes químicos y biológicos se debe a la tecnología de plasma frío que, a través de interacciones ionizantes, elimina los agentes patógenos presentes en el aire.

Sin embargo, esta innovación no tiene estudios de ser eficaz contra el coronavirus, como sí lo hace la tecnología UV-C, ya que se presenta como un método efectivo para reducir la transición de esta enfermedad y evitar la propagación.

3.23 Desinfección aeróbica

El ozono es un agente probado que contiene efectos fungicidas, bactericidas y viricidas, siendo uno de los desinfectantes más eficientes para todo tipo de microorganismos. De hecho, existen estudios que sugieren que una correcta desinfección mediante el empleo de ozono eliminaría más del 90% de las bacterias presentes en el aire.

Sin embargo, a pesar de los beneficios anteriores, su elevada toxicidad por vía inhalatoria obliga a evitar la exposición a personas. Entre sus consecuencias negativas, se encuentran la irritación de ojos, nariz y garganta, así como también complicaciones en el sistema respiratorio, por lo que es necesario extremar las precauciones en el uso de los generadores de ozono.

3.24 Contaminantes

Según un reciente informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), son tres los mayores agentes contaminantes del aire que respiramos; el material particulado: son las partículas con tamaños inferiores a un milímetro, que ingresan a nuestros pulmones y a la sangre; el ozono, un gas bastante agresivo capaz de corroer material y tejido vivo; y el dióxido de nitrógeno, cuyos principales generadores son los autos, barcos y las centrales eléctricas. Además, la Organización Mundial de la Salud señala otros agentes a tener en consideración como el amoníaco y los que produce la industria metalúrgica.

3.24.1 Monóxido de carbono

El CO es un gas que se produce a partir de la combustión a bajas concentraciones de oxígeno, lo que se denomina combustión incompleta. Se indica que 86% de las emisiones proviene del transporte, seguida con 6% por quema de combustible en la industria y 3% por procesos industriales; el 5% restante se origina en quemas y otros procesos no identificados. En forma natural, se genera a partir de la oxidación de metano, comúnmente producida por la descomposición de materia orgánica.

El CO puede causar efectos adversos en la salud, ya que compite con el dióxígeno (O_2), en el torrente sanguíneo, lo que reduce la capacidad de la sangre de transportar el oxígeno a los diferentes órganos. Las personas sensibles, particularmente las que tienen problemas cardíacos, pueden ver disminuida su capacidad de oxigenación.

3.24.2 Óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 , NO_x)

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) describen una mezcla de dos gases: óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). Son gases inorgánicos formados por la combinación de oxígeno con el nitrógeno del aire. El NO es producido en cantidades mucho mayores, pero se oxida rápidamente a NO_2 en la atmósfera. La emisión de este gas se debe fundamentalmente a transporte (62%), combustión para generación de energía, mecánica y eléctrica (30%) y procesos industriales (8%). Son originados naturalmente por descomposición bacteriana, incendios forestales y actividad volcánica.

Actualmente, la evidencia científica relaciona la exposición de corto plazo con efectos respiratorios. Se ha encontrado que la concentración de NO_2 en las cercanías de vías de tránsito importantes puede ser considerable, por lo que es importante considerar el efecto en individuos sensibles.

El NO_2 causa efectos perjudiciales en los bronquios, puede irritar los pulmones y bajar la resistencia a infecciones respiratorias. Contribuye a la formación de la lluvia ácida, aumenta la concentración de nitratos en suelos y aguas superficiales.

3.24.3 Material Particulado (PM)



El material particulado es también llamado contaminación por partículas. Es el término para representar una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín, o el humo, son lo suficientemente grandes y oscuras como para verlas a simple vista; otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse mediante el uso de un microscopio electrónico.

FIGURA 8 Esquema proporcional del material particulado.

PM₁₀: partículas inhalables que tienen diámetros de, por lo general, 10 micrómetros y menores.

PM_{2,5}: partículas inhalables finas que tienen diámetros de, por lo general, 2,5 micrómetros y menores.

En promedio el cabello humano mide, aproximadamente, 70 micrómetros (μm), lo que lo hace 30 veces más grande que la partícula fina más grande. 2,5 micrómetros equivalen a 0,0025 milímetros y se puede expresar en forma de notación científica como $2,5 \mu\text{m} = 2,5 \cdot 10^{-6}$ o $2,5 \mu\text{m}$.

3.25 Dióxido de nitrógeno

El dióxido de nitrógeno u óxido de nitrógeno (NO_2), es un compuesto químico formado por los elementos nitrógeno y oxígeno, uno de los principales contaminantes entre los varios óxidos de nitrógeno.

El dióxido de nitrógeno es de color marrón amarillento. Se forma como subproducto en los procesos de combustión a altas temperaturas, como en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas, por ello es un contaminante frecuente en zonas urbanas. El NO_2 actúa principalmente como un irritante que afecta a la mucosa de los ojos, la nariz, la garganta y las vías respiratorias.

Algunos síntomas relacionados a la exposición de este contaminante son:

- a La exposición a dosis de NO_2 extremadamente altas (como en un incendio de un edificio) puede provocar edema y una lesión pulmonar difusa.
- b La exposición continua y prolongada a niveles de NO_2 altos puede contribuir al desarrollo de bronquitis aguda o crónica.

La exposición a niveles bajos de NO_2 puede causar:

- a Aumento de la reactividad bronquial en algunos asmáticos.
- b Disminución de la función pulmonar en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
- c Aumento del riesgo a infecciones respiratorias, especialmente en niños pequeños.

3.26 Dióxido de carbono

El CO_2 es un producto del metabolismo, siendo emitido constantemente por los seres humanos y animales que permanecen en los espacios cerrados. Otras fuentes del CO_2 intradomiciliario son los calefactores a gas o a kerosene y el humo del tabaco.

Una habitación bien ventilada tiene una concentración de CO_2 de 1.000 ppm con un aporte de aire fresco de 15 pies cúbicos por persona. El mecanismo de daño del CO_2 consiste en generar hipoxemia por disminución de la presión parcial de oxígeno (PaO_2), al aumentar primariamente la

presión parcial de dióxido de carbono (PCO_2) en el aire aspirado, lo que además produce hipercapnia. Las manifestaciones clínicas son hiperventilación, sudoración, cefalea, aumento de la temperatura cutánea y compromiso gradual de conciencia.

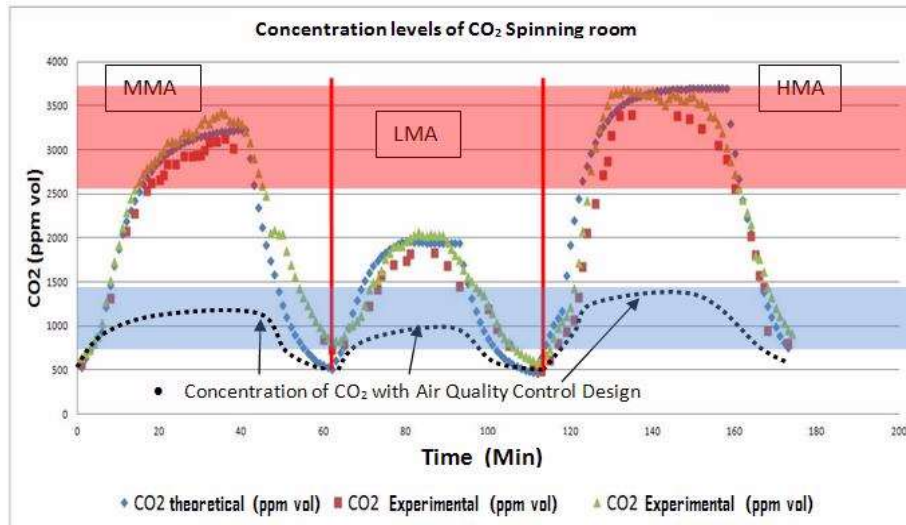


FIGURA 9 Evolución de los niveles de CO_2 en una sala de spinning para diferentes actividades metabólicas. Nivel de concentración de CO_2 mediante la utilización de un diseño de control de la calidad del aire.

3.27 Nitrógeno

El nitrógeno (Az) es un elemento químico de número atómico 7, símbolo N; su masa atómica es de 14,0067 y que en condiciones normales forma un gas diatómico (nitrógeno diatómico o molecular) que constituye del orden del 78 % del aire atmosférico.

El nitrógeno es el miembro más ligero del grupo 15 de la tabla periódica, a menudo llamado pnícógeno. Es un elemento común en el universo, que se estima en aproximadamente séptimo en abundancia total en la Vía Láctea y el Sistema Solar. A temperatura y presión estándar, dos átomos del elemento se unen para formar dinitrógeno, un gas incoloro e inodoro de fórmula N_2 . El dinitrógeno forma alrededor del 78% de la atmósfera terrestre, lo que lo convierte en el elemento no combinado más abundante.

3.28 Contaminantes atmosféricos

La contaminación atmosférica se define como la introducción en la atmósfera de energía o sustancias que produzcan una acción nociva, como por ejemplo los contaminantes atmosféricos. Puede ser sobre la propia atmósfera o sobre los recursos biológicos y los ecosistemas, que supongan un deterioro de los bienes materiales o que puedan atentar o molestar los acuerdos establecidos u otras utilidades legítimas del medioambiente.

Según la Ley 34/2007²⁴, de la calidad del aire y protección de la atmósfera, se consideran contaminantes atmosféricos las siguientes sustancias:

- Óxidos de azufre (SOX) y otros compuestos de azufre.
- Óxidos de nitrógeno (NOX) y otros compuestos de nitrógeno.
- Óxidos de carbono (COX).
- Ozono troposférico (O3).
- Compuestos orgánicos volátiles (COVs).
- Hidrocarburos aromáticos y compuestos orgánicos persistentes (COP).
- Metales y sus compuestos (Pb, Ni, etc.)
- Material particulado (incluidos PM10 y PM2,5)
- Amianto (partículas en suspensión, fibras, etc.)
- Halógenos y sus compuestos.
- Cianuros.
- Policlorodibenzodioxinas y policlorodibenzofuranos.
- Sustancias y preparados respecto de los cuales se haya demostrado o existan indicios razonables de que poseen propiedades cancerígenas, mutágenas, xenoestrógenas o pueden afectar a la reproducción a través del aire.
- Sustancias que agotan la capa de ozono.

Según su naturaleza, las sustancias contaminantes se pueden clasificar como:

²⁴ Constitución Política de España, Ley 34/200 (2007). Recuperado el 16 de noviembre de 2022, de <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/11/15/34>.

- a Químicas: sustancias orgánicas (estructura molecular basada en átomos de carbono) e inorgánicas (no contienen o contienen pocos átomos de carbono, como los halógenos, ácidos, metales, etc.).
- b Biológicas: formas de vida (bacterias, virus, protozoos, etc.) que pueden ocasionar daños en el medioambiente y la salud.
- c Radiológicas: radiaciones, ruido y vibraciones o calor.

Según su procedencia y reactividad química, los contaminantes se pueden clasificar en:

- a Primarios.

Son aquellos que se emiten a la atmósfera directamente, desde las diferentes fuentes de emisión, y pueden tener un origen natural o antrópico.

- b Secundarios.

Son los que se forman como consecuencia de las reacciones y transformaciones que experimentan los contaminantes primarios en la atmósfera. En la mayoría de los casos, los productos secundarios de estos procesos son los que peores efectos tienen sobre la salud humana y la calidad del medioambiente.

3.29 Fuente antropogénica

La contaminación antropogénica es la introducción del ser humano en el ambiente de elementos contaminantes que alteran su calidad, causando un efecto negativo. Dicha introducción de contaminantes es consecuencia de las actividades o procesos desencadenados por el ser humano. En la mayoría de los casos, la contaminación antropogénica alcanza un gran impacto debido a su frecuencia y magnitud. Esto hace que los mecanismos naturales de remediación para retomar el equilibrio sean insuficientes.

Las fuentes de contaminación antropogénica son variadas, siendo relacionadas con las actividades industriales, el transporte y la actividad urbana. El consumo de mercancías es quizás una de las fuentes de contaminación más importante que existe. La contaminación antropogénica puede ser química, física y biológica con consecuencias graves para los ecosistemas naturales y

para el propio ser humano. Entre otras cosas, produce una extinción masiva de biodiversidad y el deterioro de ecosistemas vitales para la supervivencia humana.

Ejemplos de fuentes de contaminación antropogénica

- Industria
- Minería
- Transporte
- Agricultura
- Ciudades
- Plásticos
- Químicos

Podemos dividir la contaminación antropogénica en dos grandes categorías en función de su origen, Se pueden considerar en:

- a Emisión antropogénica controlada: es la que se produce en un entorno controlado y planificado y está supervisada por personal cualificado, dentro de las leyes y regulaciones del país donde se produzca.
- b Emisión antropogénica accidental: es la relativa a situaciones no planificadas y fuera de control. Puede ser desde un pequeño vertido al producirse una avería en un almacén, hasta grandes catástrofes naturales como son los barcos petroleros hundidos o las fugas en centrales nucleares.

3.30 Fuentes de la contaminación natural

La contaminación natural, debida al polvo que llega de los desiertos, a las cenizas que se esparcen después de una erupción volcánica o a la quema en grandes extensiones del campo, ocasiona afectaciones a la calidad del aire, las cuales se suman a las que producen el transporte, la

agricultura y las industrias (señaló José Agustín García Reynoso), investigador del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAYCC) de la UNAM.

Muchas formas de contaminación del aire las origina el hombre, las plantas industriales y los vehículos con motores de combustión interna. Estos generan óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono y dióxido de sulfuro. En la mayoría de las megaciudades, como la Ciudad de México y Los Ángeles, los carros son la principal fuente de estos contaminantes. Las estufas e incineradores, especialmente las que son de carbón o madera, los granjeros que queman los desechos de sus cosechas; todo esto produce monóxido de carbono, dióxido de carbono y partículas volátiles. Otras fuentes humanas incluyen atomizadores, aerosoles y gases que se filtran de los sistemas de refrigeración, así como gases de pintura, barniz, y otros solventes.

Algo importante sobre la contaminación del aire es que no se queda en un mismo lugar. Los vientos y los estados del tiempo juegan un papel importante en el transporte de la contaminación a nivel local, regional, e inclusive alrededor de todo el mundo, donde afecta todo lo que entra en contacto con ella.

3.31 Fuentes de contaminación móvil

Son las fuentes que, por razón de su uso o propósito, son susceptibles a desplazarse, como los automotores diseñados para circular en la vía pública o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza sean: automóviles, camiones, trenes, barcos, aviones. En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos automotores son los principales generadores de las emisiones de contaminantes tóxicos del aire y contaminantes que reducen la visibilidad.

3.32 Enfermedades respiratorias

Tipo de enfermedad que afecta los pulmones y otras partes del aparato respiratorio. Las enfermedades respiratorias se producen por infecciones, consumo de tabaco o inhalación de humo de tabaco en el ambiente, y exposición al radón, amianto u otras formas de contaminación del aire. Las enfermedades respiratorias incluyen el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), la fibrosis pulmonar, la neumonía y el cáncer de pulmón, también se llama enfermedad

y trastorno pulmonares. La contaminación del aire puede afectar el desarrollo de los pulmones y está implicada en el desarrollo de enfisema, asma y otras enfermedades respiratorias.

3.32.1 Enfermedades cardiovascular

La enfermedad cardiovascular es un término amplio para problemas con el corazón y los vasos sanguíneos. Estos problemas a menudo se deben a la aterosclerosis; la afección ocurre cuando la grasa y el colesterol se acumulan en las paredes del vaso sanguíneo (arteria). Esta acumulación se llama placa; con el tiempo, puede estrechar los vasos sanguíneos y causar problemas en todo el cuerpo. Si una arteria resulta obstruida, esto puede llevar a que se presente un ataque cardíaco o un accidente cerebrovascular.

- a El material particulado fino puede afectar la función de los vasos sanguíneos y acelerar la calcificación en las arterias.
- b El personal de investigación del National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) estableció vínculos entre la exposición diaria a corto plazo de mujeres posmenopáusicas a los óxidos de nitrógeno y un mayor riesgo de derrame cerebral hemorrágico.
- c Según un informe del Programa Nacional de Toxicología (NTP, por sus siglas en inglés), la exposición a la contaminación TRAP también aumenta el riesgo de que una mujer embarazada sufra cambios peligrosos en la presión arterial, conocidos como trastornos hipertensivos, los cuales son una de las principales causas de parto prematuro, bajo peso al nacer, y enfermedad y muerte de madres y bebés.

3.33 Riesgos a la salud

Todos estamos compuestos de billones de células que a través del transcurso de nuestras vidas crecen y se reproducen de la manera en que corresponda. Cuando una célula presenta alguna anomalía o ha envejecido, por lo general la célula perece. El cáncer surge cuando algo sale mal en este proceso, ocasionando que las células anormales se reproduzcan y las células viejas no perezcan como debería suceder. A medida que las células cancerosas se reproducen de forma descontrolada, eventualmente pueden superar en número a las células sanas, Esto hace que al cuerpo le resulte difícil funcionar de la manera que debería de hacerlo.

Estudios realizados:

- Un estudio realizado en donde se incluyen más de 57,000 mujeres encontró que vivir cerca de carreteras principales puede aumentar el riesgo de desarrollar cáncer de mama de una mujer.
- El Estudio de Hermanas del Instituto (NIEHS), encontró que otras sustancias tóxicas transportadas por el aire, en especial el cloruro de metileno, que se utiliza en productos de aerosol y removedores de pintura, también están asociadas con un mayor riesgo de desarrollar cáncer de mama.
- La exposición ocupacional al benceno, un químico industrial y componente de la gasolina, puede causar leucemia y está asociado con el linfoma no Hodgkin.
- Un estudio a largo plazo, del año 2000 al 2016, encontró una asociación entre la incidencia de cáncer de pulmón y una mayor dependencia del carbón para la generación de energía.

3.34 Estudios enfocados

Los niveles más altos de contaminación del aire aumentan las infecciones respiratorias a corto plazo, lo que conduce a ausentarse más de la escuela.

- a Los/as niños/as que practican varios deportes al aire libre y viven en comunidades con alto nivel de ozono tienen más probabilidades de desarrollar asma.
- b Los/as niños/as que viven cerca de carreteras muy transitadas tienen un mayor riesgo de desarrollar asma.
- c Los/as niños/as con asma que estuvieron expuestos a altos niveles de sustancias contaminantes del aire tenían más probabilidades de desarrollar síntomas de bronquitis.
- d Vivir en comunidades con niveles más altos de contaminación puede causar daño pulmonar.

3.35 Densidad aparente

La densidad aparente, también llamada densidad volumétrica, es una propiedad de los polvos, gránulos y otros sólidos divididos, especialmente utilizados en referencia a componentes minerales como la tierra, grava, sustancias químicas, ingredientes (farmacéuticos), alimentos o cualquier otra masa de material corpuscular o particulado.

Densidad aparente de un compacto o agregado de polvos: Es el equivalente al cociente entre la masa del compacto agregado y su volumen.

Densidad relativa: cociente entre la densidad aparente de un objeto poroso y la densidad absoluta del material que lo compone. La densidad aparente del material se calcula utilizando la siguiente fórmula: $d = m/v$, donde: d: densidad aparente (g/l) M: peso del contenedor entero (g) V: Volumen del contenedor.

3.36 Temperatura del aire

La temperatura es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra. La temperatura indica en valores numéricos el nivel de energía interna que se encuentra en un lugar en ese momento. Esta energía interna se encuentra en equilibrio entre el sistema (plantas, animales, etc.) y el ambiente (aire). Está condicionada principalmente por el balance de radiación solar (radiación neta), si bien también está muy influenciada por la naturaleza de la superficie terrestre y, muy particularmente, por las diferencias entre tierra y agua, altitud y vientos dominantes.

3.37 Humedad

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Siempre hay vapor de agua en el aire y la cantidad varía según diversos factores, por ejemplo, si recién llovió, si se está cerca del mar, si hay o no vegetación en el terreno, la temperatura del aire, entre otros. Esto quiere decir que todo lugar que tenga presencia de agua con posibilidad de calentarse y evaporarse es fuente de humedad, como la que proviene de la superficie de ríos, de lagos, de la tierra húmeda y de las plantas, donde el agua se puede presentar en estado sólido líquido y gaseoso.

3.37.1 Tipos de humedad

Los tipos de humedad pueden ser:

- a **Humedad relativa:** es la capacidad del aire para almacenar agua, que depende del punto de saturación y de una determinada temperatura. Su cálculo se define por el cociente entre la cantidad de vapor presente en la atmósfera dividida en la máxima cantidad que podría contener, multiplicado por cien (y el resultado se expresa como porcentaje). Una humedad relativa del 100% indica que ha llegado a su punto límite de saturación y, a partir de ahí, todo excedente de vapor de agua se condensa y se convierte en líquido.
- b **Humedad absoluta:** es la masa de vapor de agua que está presente en determinado volumen de aire, antes de que sea condensada (humedad relativa). Es importante destacar que la temperatura condiciona la humedad absoluta: las masas de aire caliente poseen mayor capacidad de almacenar vapor de agua que las masas de aire frío. La humedad absoluta se expresa en gramos por metro cúbico.



CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL MODELO

4 CAPITULO IV: DESARROLLO DEL MODELO

4.1 Descripción de características de los equipos utilizados

4.1.1 Arduino



Arduino Mega es una tarjeta con un desarrollo open-source, construida con un microcontrolador modelo ATmega2560 que posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Arduino puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a un PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc.

FIGURA 10 Esquema esquemático del Arduino Mega.

4.1.2 Características

Descripción	Arduino
Microcontrolador	ATMega2560
Voltaje de operación	5V
Tensión entrada	7-12V
Voltaje de entradas	6-20V
Salidas digitales	54, 14 a PWM
Corriente de entrada	40 mA
Corriente a la salida	50 mA
Memoria	256 KB
Reloj	16 MHz

TABLA 6 Características técnicas Arduino.

4.2 Resumen funcional

Estructura general de Arduino.

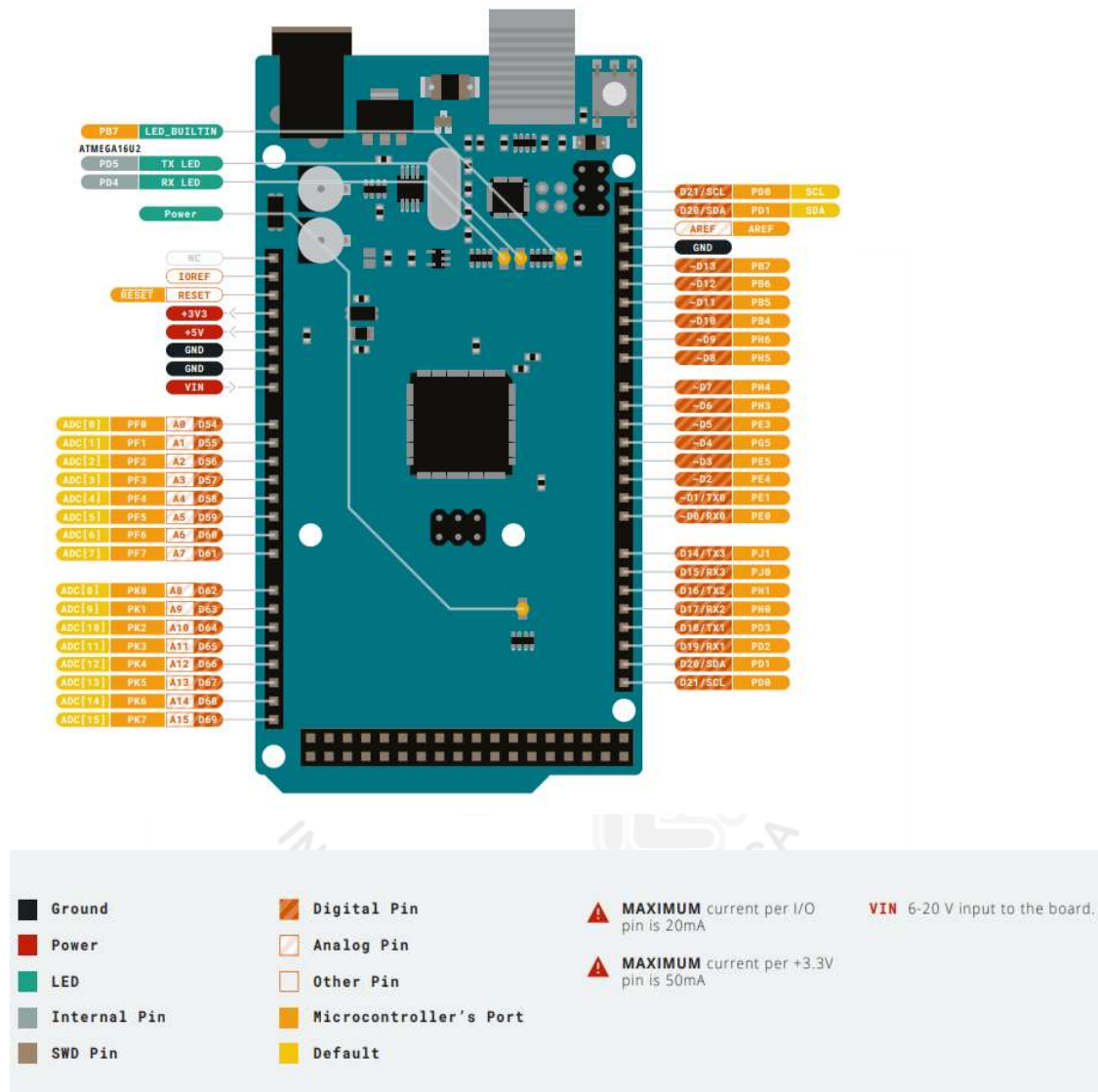


FIGURA 11 Distribución de nombres de in-out del Arduino Mega.

4.3 Modulo de entradas y salidas digitales

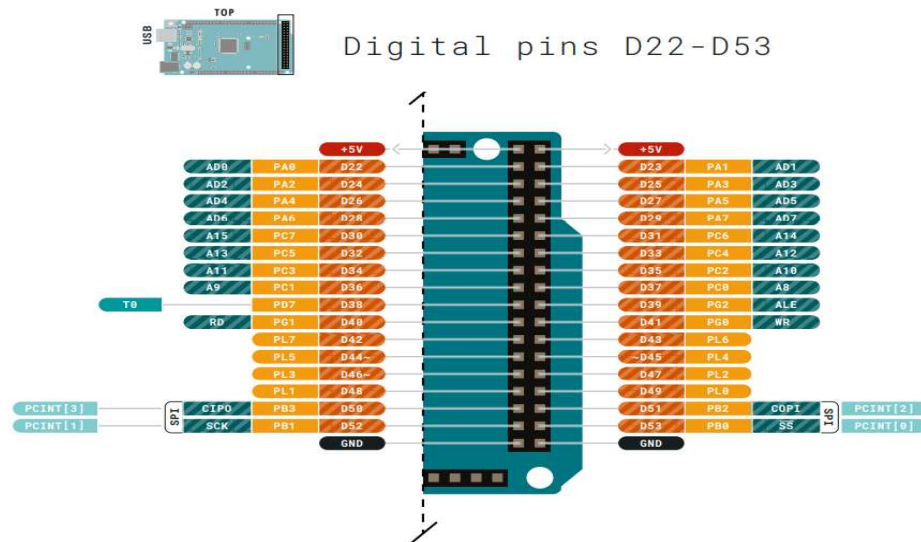


FIGURA 12 Esquema pin in-out Arduino Mega.

Cada uno de los 54 pines digitales se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando pinMode (), digitalWrite (), y () digitalRead funciones. Operan a 5 voltios, cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia de pull-up (desconectado por defecto) de 20-50 kOhms. Además, algunos puertos han especializado funciones:

De serie: 0 (RX) y 1 (TX); serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); serie 2: 17 (RX) y 16 (TX); serie 3: 15 (RX) y 14 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir (TX) TTL datos en serie. Pines 0 y 1 están también conectados a los pines correspondientes de la USB-to-TTL de chips de serie ATmega16U2.

Interrupciones externas: 2 (interrupción 0), 3 (alarma 1), 18 (interrumpir 5), 19 (4) interrumpir, 20 (interrumpir 3), y 21 (interrumpir 2). Estos pines pueden ser configurados para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor.

PWM: 2 a 13 y 44 a 46 para salidas PWM de 8 bits con el () analogWrite, función.

SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Estos pines soportan comunicación SPI utilizando la biblioteca de SPI; también se desglosan en la cabecera ICSP, que es físicamente compatible con el Arduino Uno.

LED: 13 Hay un built-in LED conectado al pin digital 13. Cuando el pin es de alto valor, el LED está encendido; cuando el pasador es bajo, es apagado.

TWI: 20 (SDA) y 21 (SCL) están conectados a la comunicación TWI utilizando la librería Wire. Estos pasadores no están en la misma ubicación que los de inmersión recíproca en el Duemilanove o Decimilla.

El Mega 2560 tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1.024 valores diferentes). Por defecto, se miden desde el suelo a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango utilizando el pin AREF y la función `analogReference()`.

AREF: Voltaje de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con `analogReference()`.

Restablecer: cuenta con un botón de reinicio bajo para reiniciar el microcontrolador de forma general. Normalmente se utiliza para agregar un botón de reinicio para escudos que bloquean el uno en el tablero.

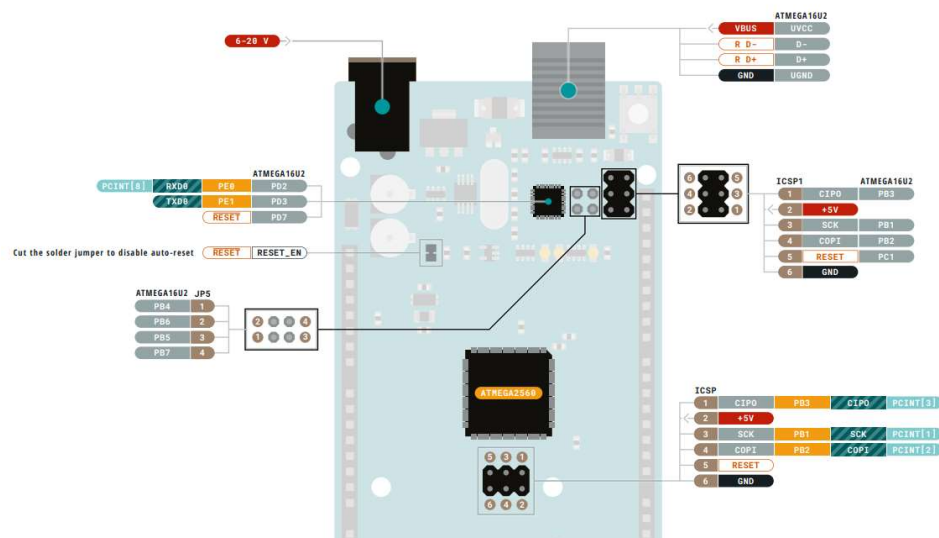


FIGURA 13 Distribución de pin in-out Arduino Mega.

4.4 Lámparas de sanitización



FIGURA 14 Lámpara ultravioleta con base.

La lámpara germicida esterilizadora está diseñada para generar luz ultravioleta dentro del rango de longitudes de onda (UV-C). Esta parte del espectro es capaz de destruir microorganismos tales como virus, bacterias, hongos, entre otros. Cuando se enciende la lámpara germicida, los rayos UV-C penetran el ambiente, desactivando el ácido desoxirribonucleico (ADN) de los microorganismos, inhibiendo su capacidad de multiplicarse y causar enfermedades.

4.4.1 Características

Función esterilizadora

Emite luz ultravioleta de tipo C, en las cuales se manejan las longitudes de onda más efectivas para esterilizar en ambientes cerrados.

Aplicaciones

Viviendas: Salas, cuartos, baños, cocinas, etc. Restaurantes y aulas de clase Comercio en general.

Datos Generales		Datos físicos		Datos eléctricos	
	Parametro		Parametro		Parametro
Modelo	UVC55	Acabado	Negro	Capacidad	38W
Intensidad UV a 1 metro	147 μ W/cm ²	Protección IP	IP20	Voltaje	100-120V 60Hz
Vida útil	8000h	Dimensiones (LxWxH)	900*200*160mm	Corriente	0.32A @120V
Mantenimiento salida UV-C	80%	Dimensiones bombilla (ØxH)	17*386mm	Rango	≥ 0.5
Longitud de onda	254nm	Base bombilla	2G11	Tipo	Clase I
Tiempo esterilización	15, 30, 60min	Material Base	Plástico AB	Certificaciones	CE, FC, RoHs,
Tiempo retraso inicio	10s	Temperatura de operación	-10°C ~ +45°C		ISO9001
Sensor de proximidad	Si	Área de desinfección	50 mt ²	Libre de ozono	Si

TABLA 7 Características técnicas de lámpara ultravioleta utilizada.

4.5 Módulo de relé



Es un aparato electromagnético que opera como un interruptor controlado por un circuito eléctrico. Utiliza una bobina y un electroimán para activar un conjunto de uno o varios contactos, posibilitando así la apertura o cierre de otros circuitos eléctricos.



El diagrama esquemático del módulo relé para Arduino es bastante similar en los diversos módulos relevadores que existen en el mercado, y permite tener una idea clara de cuáles son los puntos de conexión de las salidas y la bobina de alimentación.

FIGURA 15 Esquemático relé de control.

La forma de cómo conectar un relevador de 5 pines en protoboard consiste en colocar una punta de la bobina a positivo (+5v) y la otra punta al colector de un transistor, el cual es activado por el Arduino. La carga debe ser conectada desde el pin común al pin normalmente abierto o cerrado.

4.5.1 Características

Datos Generales	Parámetro
Modelo	SRD 5VDC
Resistencia de contacto	100mΩ (1A 6VDC)
Voltaje de alimentación	250VAC
Rangos de contactos	7A/250VAC 10A/250V
Temperatura ambiente	-40°C~+85°C/-40°C~+105°C
Material de contacto	AgCdO、AgSnO2、AgNi

TABLA 8 Características técnicas del relé de control.

4.6 Pantalla de monitoreo



La Human Machine Interface (HMI, por sus siglas en inglés) es la interfaz entre la máquina procesadora y el operario. En esencia, es el panel de control del operario. Es la herramienta principal que los operarios y los supervisores de línea utilizan para coordinar y controlar procesos y máquinas industriales y de fabricación. Los HMI traducen complejas variables de proceso en información utilizable y procesable.

FIGURA 16 Esquema de pantalla HMI.

4.6.1 Tipos de interfaces

La Interfaz puede presentarse en diferentes formatos, desde pantallas incorporadas en las máquinas, monitores de ordenador, hasta pantallas táctiles y dispositivos móviles, pero independientemente de su formato o del término que se utilice para referirse a ellas, su finalidad es la de proporcionar información sobre el rendimiento mecánico y el desarrollo de los procesos productivos.

Algunos ejemplos son los siguientes:

- Push Button Panels
- Mobile Panels
- Micro Panels
- Panels
- Multi Panels

4.6.2 Características y esquema



FIGURA 17 características de la HMI

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1- Pantalla análoga | 6- Ranura para SD |
| 2- Estatus de encendido | 7- USB Host |
| 3- Ranura para montaje | 8- Cobertor de batería +24VDC |
| 4- Conector USB | 9- Conector Ethernet 10Base-T/100Base-TX |
| 5- Terminal de alimentación | 10- COM1 RS232/485: PLC dispositivo de comunicación |
| | 11- Conector RS 232/485 |

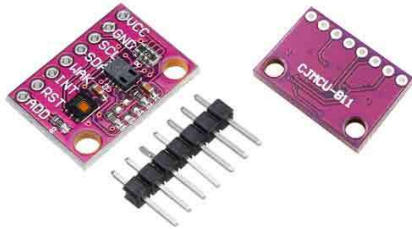
Descripción	Exp2-400D
Tipo de pantalla	TFT LCD
Marca	LS ELECTRIC
Resolución	480x272 píxel 10.9cm
Salida de audio	Buzzer Magnético (85dB)
Procesador	800MHz
Memoria	64MB
Duración de batería	Aproximadamente 3 años
Comunicación	RS-485, RS-232C
Ethernet	1 Channel, IEEE802.1
Lenguaje	más de 12 simultáneos
Rango de voltaje	24VDC +3, -3V
Certificación	CE, cUL, UL Type 4X
Almacenamiento de datos	Disponible
Protección estándar	IP 65

TABLA 9

Características técnicas de pantalla HMI.

4.7 Dispositivos de campo

4.7.1 Sensor CCS811



Es un sensor del fabricante AMS para la medición de la calidad del aire interior. Se puede utilizar fácilmente junto con un procesador Arduino para determinar la calidad del aire interior. El CCS811 es un sensor multi-gas MOX(Metal-Oxide) que incluye medición de monóxido de carbono (CO) y compuestos volátiles (COV) como etanol, aminas o hidrocarburos aromáticos. Con ellos el CCS811 puede determinar la cantidad de dióxido de carbono equivalente (eCO₂). El rango de medición es de 400 a 8192 ppm en eCO₂ y de 0 a 1187 ppb en TVOC.

FIGURA 18 Esquema de sensor CCS811.

4.7.2 Características

Tipo	Parámetro
Montaje superficial	Si
Nivel de sensibilidad a la humedad (MSL)	1
Numero de terminales	10
Código HTS	8542.39.00.01
Posición de la terminal	Botón
Temperatura máxima de reflujo (Cel)	BUTT
Interfaz de comunicación	I2c
Espesor	0.6 mm
Time@Peak Temperatura de reflujo-Max (s)	No especificado
Código JESD-30	R-XBGA-B10
Temperatura de funcionamiento (máx.)	50°C
Temperatura de funcionamiento (mín.)	(-50°C)
Tensión de alimentación-máx. (Vsup)	3.3V
Grado de temperatura	Comercial
Tensión de alimentación-Min (Vsup)	1.8V
IC analógico - Otro tipo	Circuito análogo
Altura base (máx.)	1.1mm
Largo	4mm
Ancho	2.7mm
Estado de RoHS	Non-RoHS Compliant

TABLA 10 Características técnicas de sensor CCS811.

Es un módulo de sensor digital de consumo ultra bajo, altamente compacto y económico que es compatible con Arduino y CircuitPython. Se puede usar para monitorear la calidad del aire interior de un recinto cerrado. La integración entre sensor y computadora es accesible. Los niveles de tensión rondan entre 3 y 5VDC. Debido a su protocolo de comunicación, es compatible con dispositivos portátiles como relojes inteligentes, etc.

Compuesto principalmente por un microcontrolador de 8 bits que está integrado para ejecutar el algoritmo de conversión analógico-digital de 12 bits, para lecturas de sensores y conversiones digitalizadas con una interfaz esclava I2c que permite la conexión al sistema de control maestro. El CCS811 se basa en tecnología de microplacas que es eficaz para sensores de gas con tiempos de ciclo rápidos y una reducción significativa en el consumo de energía.

4.8 Final de carrera



Dentro de los componentes electrónicos, se encuentra el final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite"). Son dispositivos electrónicos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido o de un elemento móvil. Internamente, pueden contener contactos normalmente abiertos (NA), y cerrados (NC) dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.

FIGURA 19 Esquema de final de carrera.

4.8.1 Características

Descripción	PC600/1
Alimentación	250 AC
Impulso	Palanca de rodillo
Forma de contacto	1 NC, 1NO
Capacidad de contacto	10A
Estilo de terminal	Tornillo

TABLA 11 Características técnicas de final de carrera.

4.9 Resistor



FIGURA 20 Esquema de resistencia eléctrica.

Es un componente de uso electrónico diseñado para introducir una resistencia eléctrica determinada entre dos puntos de un circuito eléctrico. En otros casos, como en las planchas, calentadores, etc., se emplean resistencias para producir calor aprovechando el efecto Joule, ya que es un material formado por carbón y otros elementos resistivos para disminuir la corriente que pasa por un circuito.

4.10 Capacitor



FIGURA 21 Esquema de capacitor.

Un condensador, también conocido como capacitor, es un componente eléctrico, utilizado en los circuitos eléctricos y electrónicos, que tiene la capacidad de almacenar energía eléctrica mediante un campo eléctrico. Está compuesto por superficies conductoras separadas por un material dieléctrico (aislante). Cuando se someten las superficies a una diferencia de potencial, una adquiere carga eléctrica positiva, mientras que la otra adquiere carga eléctrica negativa.

4.11 Transistor

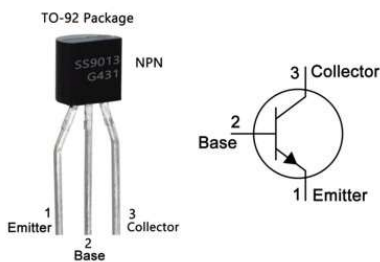


FIGURA 22 Esquema de transistor.

El transistor, del inglés: transfer resistor, resistor de transferencia, es un tipo de dispositivo electrónico semiconductor, capaz de modificar una señal eléctrica de salida como respuesta a una de entrada, sirviendo como amplificador, conmutador, oscilador o rectificador de la misma.

Los primeros transistores bipolares de unión se fabricaron con germanio (Ge). Los transistores de silicio (Si) actualmente predominan, pero ciertas versiones avanzadas de microondas y de alto

rendimiento ahora emplean el compuesto semiconductor de arseniuro de galio (GaAs) y la aleación semiconductor de silicio-germanio (SiGe). El material semiconductor a base de un elemento (Ge y Si) se describe como elemental.

Los transistores tienen su origen en la necesidad de controlar el flujo de la corriente eléctrica en diversas aplicaciones, como parte de la evolución del campo de la electrónica. Su antecesor directo fue un aparato inventado por Julius Edgar Lilienfeld en Canadá en 1925, pero no sería hasta mediados de siglo cuando podría implementarse usando materiales semiconductores (en lugar de tubos al vacío).

4.12 Sensor de movimiento



Los sensores PIR, también llamados pirólicos, funcionan principalmente bajo un sistema óptico muy empleado para detectar el movimiento de personas, en especial en alumbrados automatizados. El uso de este dispositivo en el circuito electrónico es proveer información al Arduino que indique el momento exacto cuando haya personas al interior del laboratorio. Por los rangos de amplitud que tienen estos dispositivos, no es necesario instalar más de dos unidades para poder tener cubierta toda el área.

FIGURA 23 Esquema de sensor PIR.

Los módulos más comunes de este sensor se denominan HC-SR501. Consisten en 2 elementos fundamentales, un lente que hace que los rayos incidentes recaigan sobre un punto y el sensor PIR, como tal, tiene dos elementos sensibles a la luz, que, al medirse el retardo de detección entre cada sensor, es posible calcular la distancia a la que se encuentra el objeto.

Los sensores PIR son de tipo óptico. Es decir, se basan en cambios en la radiación electromagnética para censar el entorno. En lo particular, trabajan en el rango de la luz infrarroja. Se les conoce como piroeléctricos debido a que los objetos que emiten mayor radiación infrarroja son aquellos cuya temperatura es mayor.

Los PIR están hechos básicamente de un sensor piroeléctrico, que puede detectar niveles de radiación infrarroja. Todo emite algo de radiación de bajo nivel y cuanto más caliente algo es, más radiación se emite. Se divide en dos mitades. La razón de esto es que buscamos detectar movimiento (cambiar) de niveles IR no promedio. Las dos mitades están conectadas de modo que cancelen cada otra fuera. Si una mitad ve más o menos radiación IR que la otra, la salida oscilará alto o bajo.

Cuando el sensor está inactivo, ambas ranuras detectan la misma cantidad de luz infrarroja (IR), la cantidad ambiental radiada desde la habitación o las paredes o al aire libre. Cuando un cuerpo caliente como un ser humano pasa, primero intercepta la mitad del sensor, lo que provoca un positivo cambio diferencial entre las dos mitades. Cuando el cuerpo tibio deja el sentir área, ocurre lo

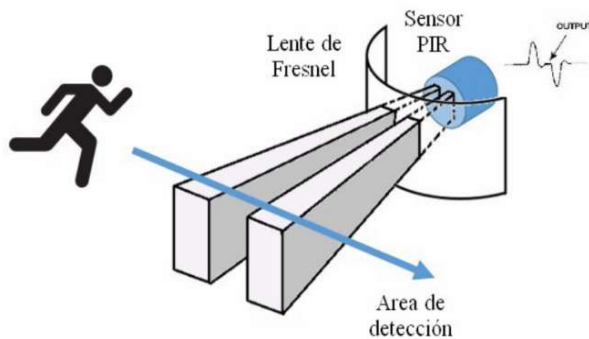


FIGURA 24 Rangos de registro de distancia de sensor.

contrario, por lo que el sensor genera un diferencial negativo.

4.12.1 Características

Descripción	PIR
Modelo	HC-SR501
Alimentación	3.3 a 5VDC
Comunicación	1 bit de alta y baja
Rango temp	32 a 121°F
Tipo	Piroeléctrico
Consumo corriente	menor 50 uA
Alcance	3 a 6 metros
Dimensión	32x24x23 mm
Delay	5-300 ms ajustable

TABLA 12 Características técnicas del sensor PIR.

4.13 Protecciones de control



Cumple la función de fusible, ya que está integrado a la red eléctrica; es decir, ante el hecho de superar los máximos de corriente eléctrica recibidos, cumple la función de evitar que continúe pasando corriente y así protege los componentes conectados al circuito electrónico.

FIGURA 25 Esquema de protección eléctrica.

El interruptor termomagnético, denominado también térmico, se utiliza para proteger un circuito eléctrico frente a cortocircuitos de una intensidad determinada. Las características constructivas lo hacen específicamente para funcionar como protección térmica y magnética en las instalaciones donde las corrientes normales no superan los 100A. El diseño de la caja cinemática del interruptor termomagnético logra independizar la velocidad de apertura y cierre de los contactos respecto a la velocidad de maniobra.

Los interruptores termomagnéticos son el resultado de un desarrollo tecnológico que se lleva a cabo en la empresa desde 1985. Están contruidos en material termoplástico autoextinguible resistente al ensayo de punta incandescente de 960 °C. La palanca se encuentra protegida contra posibles maniobras involuntarias y puede bloquearse en la posición de encendido y apagado. Estos interruptores termomagnéticos pueden utilizarse tanto en una instalación industrial como en una vivienda donde varía la red de distribución para su utilización. Pueden instalarse y montarse sobre un perfil DIN o en cualquier otra caja que ofrezca el perfil DIN como método de montaje.

4.13.1 Interruptor termomagnético de curva B

- Entre 1,1 y 1,4 veces la intensidad nominal, actúa por efecto térmico.
- Entre 3 y 5 veces, la intensidad nominal actúa por efecto magnético.
- Se utiliza principalmente en zonas de edificios de vivienda con limitaciones.

4.13.2 Interruptor termomagnético de curva C

- Actúan por efecto térmico con intensidades entre 1,13 y 1,44 veces la nominal.
- Entre 5 y 10 veces la corriente nominal actúa por efecto magnético.
- Para uso domiciliario sin limitaciones.

4.13.3 Interruptor termomagnético de curva D

- Entre 1,1 y 1,4 veces, la corriente nominal actúa por efecto térmico.
- Entre 10 y 14 veces, la corriente nominal actúa por efecto magnético.
- Uso industrial.

4.13.4 Características

General	Parámetro
Código de producto	06110076R0
Descripción de producto	BKN 1P C16 NEW ROGY 16A at 30°C conforming to EN/IEC
[In] Rango de corriente	60898-2A
[Ue] Rango de voltaje	230/400V
Polos descripción	1P
Tipo de distribución	AC (50/60 Hz)
Tipo de disparo y curva	Thermal-magnetic. Curva C
Grado de protección	IP20, IEC 60529
Temp ambiente para operación	-40...70 °C
Temperatura ambiental	Relative humidity 95% at 55°C

TABLA 13 Características técnicas de protección de control.

4.14 Software Arduino

El entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino es una aplicación multiplataforma (para Windows, macOS, Linux) que está escrita en el lenguaje de programación Java. Se utiliza para escribir y cargar programas en placas compatibles con Arduino, pero también, con la ayuda de núcleos de terceros, se puede usar con placas de desarrollo de otros proveedores.



FIGURA 26 Logo de la plataforma Arduino.

El código fuente para el IDE se publica bajo la licencia pública general de GNU, versión 2.2. El IDE de Arduino admite los lenguajes C y C++ utilizando reglas especiales de estructuración de códigos. El IDE de Arduino suministra una biblioteca de software del proyecto Wiring, que proporciona muchos procedimientos comunes de E/S. El código escrito por el usuario solo requiere dos funciones básicas, para iniciar el boceto y el ciclo principal del programa, que se compilan y

vinculan con un apéndice de programa main, en un ciclo con el GNU toolchain, que también se incluye. El IDE de Arduino emplea el programa para convertir el código ejecutable en un archivo de texto en codificación hexadecimal que se carga en la placa Arduino mediante un programa de carga en el firmware de la placa.

4.15 XP Builder

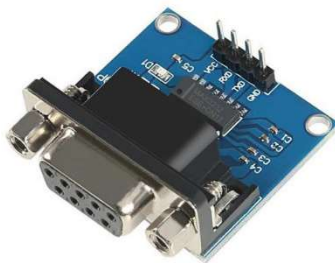
Es un software que cuenta con la característica de crear y administrar proyectos para dispositivos de control de máquinas. Permiten diseñar y editar proyectos convenientemente, tales como:

- Barras de herramientas y teclas de acceso rápido personalizables.
- Paneles de herramientas, proyectos y edición personalizables.
- Funciones para importar y exportar datos comunes.
- Pestañas para ver múltiples pantallas fácilmente.
- Vistas previas de pantallas de proyectos
- Bibliotecas de imágenes y objetos personalizables con scripts y funciones avanzadas, como alarmas, registros, horarios y recetas.



El programa admite funciones programables adicionales, como scripts, registros, recetas y alarmas, que le permiten personalizar completamente el entorno de control. La interfaz que se ejecuta en un panel XGT proporciona controles de entrada en la pantalla en forma de objetos GUI que están vinculados a rutinas del controlador, como un programa de escalera u otros parámetros.

4.16 Convertidor de comunicación TTL



El módulo MAX3232 permite que el microcontrolador se comunique con una computadora usando un puerto serie (COM) RS232 y así realizar adquisición de datos, control de procesos y depuración. Este módulo resuelve el problema de la diferencia de voltaje entre el puerto serie RS232 (+-12V)

y el microcontrolador TTL (3.3V/5V), encargándose de la conversión bidireccional y transparente de niveles de voltaje para programadores. Diseñado para operar en modo de comunicación full-duplex. Este módulo dispone de un conector tipo DB9 hembra para PC (DCE o subtipo) que permite la conexión directa al puerto COM (D9 macho) de una PC o mediante un cable serie directo. La conexión al microcontrolador (Arduino/PIC/ESP8266) se realiza mediante cabezales macho.

FIGURA 27 Módulo convertidor TTL.

4.16.1 Características

Descripción	TTL
Chip	MAX3232
Voltaje de alimentación	3V-5.5VDC
Voltaje lógico serial	3.3V/5V
Comunicación	Serial
Conector	PC-RS232
Velocidad de transmisión	120Kbps
Pines TTL	TX, RX

TABLA 14 Características técnicas de módulo de comunicación.

4.17 Programador semanal



Un temporizador digital o análogo es un sistema de control de tiempo que se utiliza para abrir o cerrar un circuito eléctrico en momentos predeterminados. De esta manera, el dispositivo programable pone en acción luces u otros aparatos eléctricos a partir de un simple mecanismo de apertura y cierre. Aunque el uso más común de un reloj temporizador está asociado a procesos de automatización industrial, un aparato como este puede utilizarse para diversas aplicaciones: poner en funcionamiento la estufa del baño a una hora determinada cada mañana o encender las luces del patio todas las

semanas a ciertas horas del día. En este caso se utilizó el timer semanal para activar y desactivar una lámpara de luz ultravioleta.

FIGURA 28 Timer digital.

4.17.1 Características

Descripción	TM-848-2
Tipo	Digital
Min. Reserva	36h
Voltaje operación	100-220V
Potencia	4000W
Configuraciones	Timer-ON/OFF

TABLA 15 Características técnicas de timer digital.

Con una configuración de 8 temporizadores con tiempo de encendido/apagado/interruptor manual: Apagado, encendido y funcionamiento por temporizador, en los siguientes bloques de temporizador: lunes - domingo, lunes - sábado, lunes - viernes, lunes - miércoles, jueves - sábado, sábado + domingo, lunes + miércoles + viernes, martes + jueves + sábado o cada día de la semana individual.

Consumo de energía de la batería recargable de respaldo: 2 μ A (en caso de corte de energía).

4.18 Fuente de alimentación



Una fuente de alimentación es el dispositivo que se encarga de transformar la corriente alterna (AC), que es la corriente proveniente de las líneas eléctricas, en corriente continua (CC). Pueden clasificarse como fuentes de alimentación lineales y conmutadas. Las lineales tienen un diseño relativamente simple, que pueden llegar a ser más complejas cuanto mayor es la corriente que deben suministrar; sin embargo, su regulación de tensión es poco eficiente.

FIGURA 29 Fuente de alimentación.

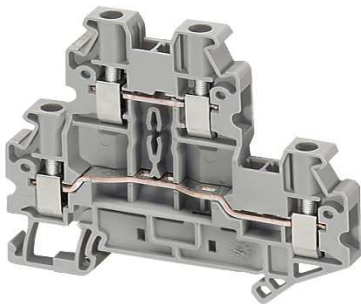
4.18.1 Características

Descripción	MD 120-24A-1C
Potencia salida	30 W
Voltaje de salida	24V
Voltaje alimentación	100-220V
Factor de potencia	0.98
Carcasa	Metal
Temperatura de operación	-25 +70°C
Amperaje de salida	1.3A
Peso	250 g
Ruido	40mV
Rango de sobrecarga	2.2A
Estándares	EN 55022:2010
Enfriamiento	Aire

TABLA 16 Características técnicas de fuente de alimentación.

Una fuente conmutada, de la misma potencia que una lineal, será más pequeña y normalmente más eficiente, pero será más compleja y por tanto más susceptible a daños provocados por la acometida de alimentación.

4.19 Bornes de control



Los bornes de conexión son componentes cuya función principal es garantizar la seguridad en las conexiones del conductor eléctrico y mecánico. Su característica principal es que son de montaje de tipo riel din. Además de su sección nominal que está designada por cada fabricante para una fácil selección del conductor eléctrico, un aspecto importante al momento de seleccionar un borne es la corriente nominal que soporta. Los bornes de conexión permiten dar claridad y orden al tablero de control, algo que garantiza una mayor seguridad y fiabilidad al momento de realizar conexiones. Existen muchas ventajas de utilizar estos dispositivos.

FIGURA 30 Borne de control.

4.20 Cables de control

Comúnmente es utilizado para circuitos eléctricos y electrónicos de control, ya sean de Arduino, Raspberry Pi, Microbit o EPS32, entre otros. Son diseñados para cargas que no requieren grandes consumos de potencia, se trabajan a tensiones de 3.3-24V habitualmente, y las corrientes máximas no son grandes. Por ello, los cables pueden tener secciones muy pequeñas y seguir siendo perfectamente útiles, sobre todo si son de comunicación de datos y no alimentan componentes.

4.20.1 Características

Descripción	GCGABRA018AL01
Sección transversal	0.82mm ²
Numero de hilos	10--28
Diámetro externo	2,82 mm (0,11 in)
Normas	UL-66
Temp max	60°C
Material de forro	Nylon
Resistencia Eléctrica	22,40Ω/km.
Marca	Phelps Dobge
Aislamiento	Cloruro polivinilo

TABLA 17 Características técnicas del cable de control.



CAPÍTULO V: DISEÑOS EXPERIMENTALES

5 CAPITULO V: DISEÑOS EXPERIMENTALES

5.1 Adaptación de dispositivos

Desde una perspectiva más amplia, se presenta el diseño e instalación de un prototipo electrónico capaz de mostrar en tiempo real las concentraciones de ciertas variables contaminantes, específicamente compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y dióxido de carbono (CO₂). Para el registro y procesamiento de datos, es necesario instalar dispositivos procesadores de datos. En la integración del proyecto, se utiliza un microcontrolador Arduino como controlador principal, junto con sensores de campo CCS811 para la captación de señales, que emplean el protocolo de transmisión de datos I2C. Además, se incorporan sensores PIR indicadores de estado, los cuales utilizan señales digitales para enviar la información recopilada a la unidad de control principal.

La red de sensores, compuesta por dos unidades modelo CCS811, monitorea la calidad del aire en el interior del laboratorio, recibiendo señales en tiempo real. Estos sensores envían señales analógicas al microcontrolador en intervalos de 5 segundos. Toda la información recopilada es procesada y transmitida a la interfaz hombre-máquina (HMI), que presenta los valores en gráficos representativos para facilitar su interpretación. La disponibilidad de los sensores se indica mediante luces de estado. El sistema de esterilización automatizado se valida mediante un sensor de posición de puerta, sensores PIR y un temporizador semanal. Si alguna de estas condiciones está activa, indicando la presencia de personas en el laboratorio y horario no hábil, el sistema no procederá con la activación de la esterilización.

El prototipo electrónico está compuesto por una protección termomagnética principal, que es la que alimenta todo el circuito de control y potencia, incluyendo la lámpara de esterilización.

El principio de funcionalidad está basado en la representación de información en tiempo real mostrada por las pantallas creadas en la interfaz, las cuales contienen recetas de trabajo que son detalladas a continuación:

5.1.1 Primer desarrollo

Los diseños de HMI están enfocados en optimizar la operación del sistema, proporcionando una experiencia de usuario intuitiva y garantizando que los parámetros ambientales se mantengan dentro de los estándares de seguridad y calidad necesarios en el laboratorio de ingeniería electrónica. La implementación exitosa de esta interfaz ayuda a mantener un entorno de trabajo seguro y saludable, mejorando la eficiencia y el bienestar de los usuarios.

La pantalla presentada es la primera de cuatro y se centra en la visualización de la información general del proyecto, en el cual se muestra la fecha, hora actual y nombre general del tema desarrollado.



FIGURA 31 *Página principal del prototipo.*

5.1.2 Segundo desarrollo

El sistema incluye una pantalla gráfica que muestra las concentraciones de dióxido de carbono equivalente (eCO₂) y compuestos orgánicos volátiles totales (TCOV) presentes en el ambiente. Además, presenta los valores registrados de estos contaminantes en el interior del laboratorio, comparándolos visualmente con los valores recomendados por las normativas internacionales. Una notificación visual alerta si los niveles representan un riesgo para los usuarios frecuentes del laboratorio. También incorpora indicadores visuales del estado de la puerta y la presencia de personas en el recinto, lo que permite un control preciso del estado de todos los equipos de campo instalados, determinando su disponibilidad operativa o si presentan fallas. Este sistema proporciona información suficiente a las distintas unidades de la Universidad Técnica Latinoamericana para que puedan tomar medidas que aseguren una buena calidad del aire dentro del laboratorio.

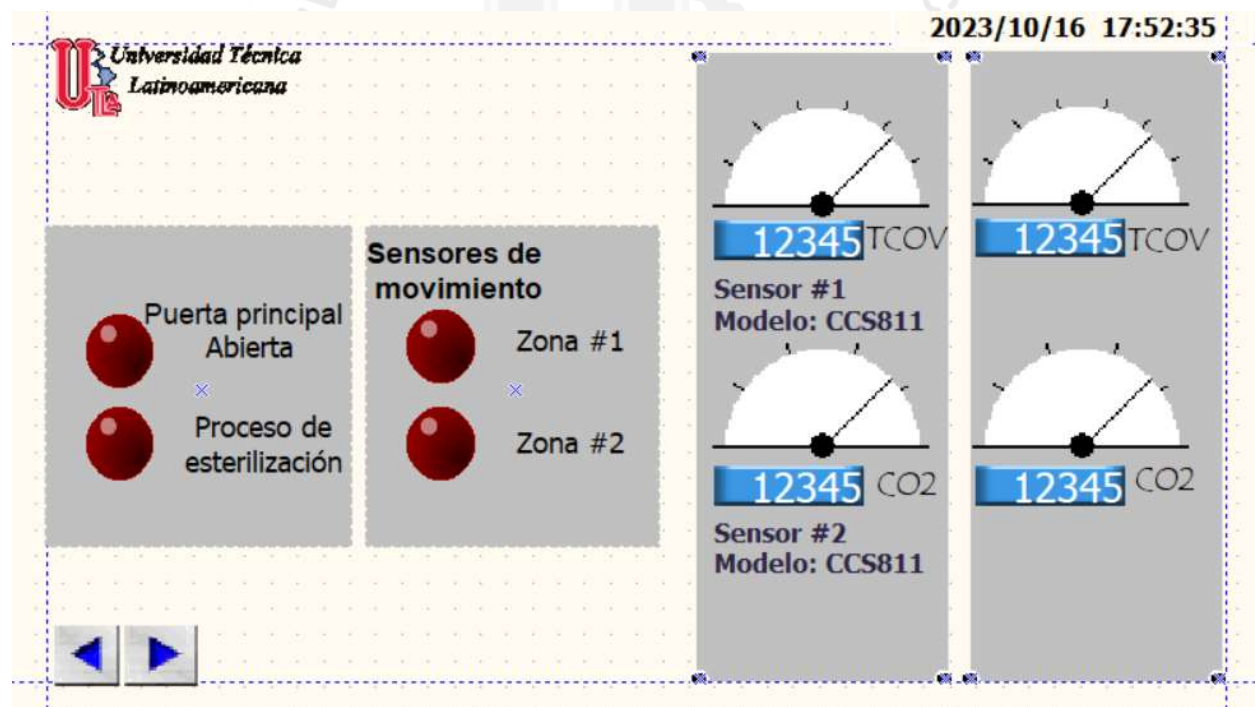


FIGURA 32 Página de visualización principal del prototipo.

5.1.3 Tercer desarrollo

Se inicia una fase que habilita la supervisión del procedimiento automatizado de desinfección, cuyo propósito principal es llevar a cabo la sanitización del laboratorio mediante la emisión de radiación ultravioleta durante un período de tiempo preestablecido. Con el fin de cumplir con las directrices de los fabricantes en lo que respecta a la exposición a la luz ultravioleta, se implementa un sistema de confirmación para activar el proceso de desinfección. Esto implica la instalación de interruptores de final de carrera en la puerta de acceso y sensores de movimiento en dos ubicaciones estratégicas dentro del falso techo del laboratorio. Estos dispositivos determinan la presencia de personas en el interior del laboratorio o si la puerta se encuentra abierta. Si cualquiera de estas condiciones se cumple, el sistema de sanitización no podrá ser utilizado hasta que se confirme la ausencia de personas en el laboratorio, como medida necesaria para garantizar que nadie se encuentre dentro del laboratorio mientras el proceso de desinfección está en marcha. Dado que el prototipo está diseñado para ser instalado en una estación fija, no se tiene una limitante con respecto al tamaño. Gracias a la ingeniería aplicada, el diseño se caracteriza por su fácil integración con el operador. Además, debido al alcance de los sensores de movimiento y su rendimiento en la detección de objetos, solo se requiere la instalación de dos unidades previamente calibradas.

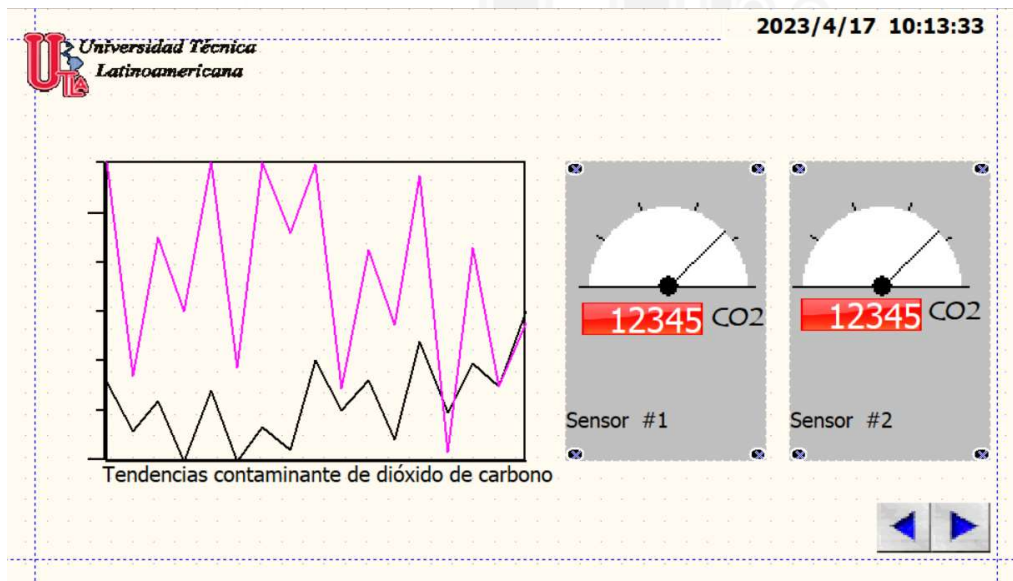


FIGURA 33 Página de visualización de concentración de CO2 de sensor 1 y 2.

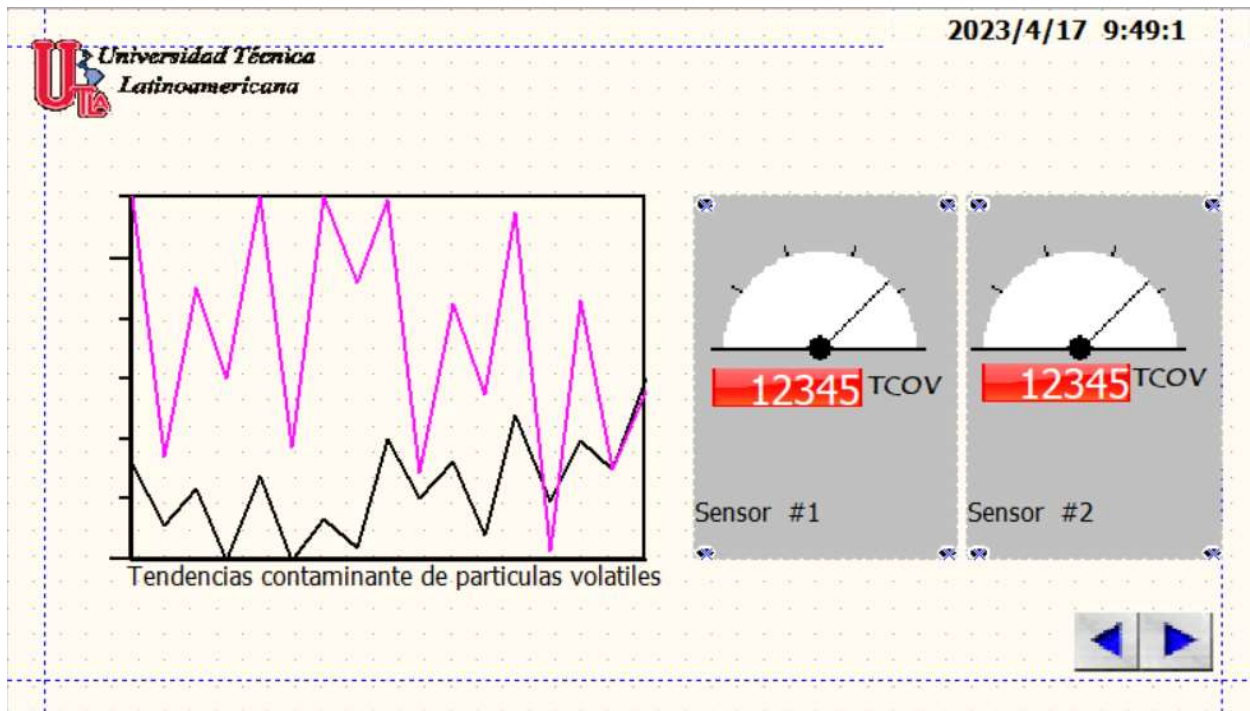


FIGURA 34 Página de visualización de concentración de COV de sensor 1 y 2.

5.2 Desarrollo lógico

En este contexto, es posible resumir las variables adecuadas para ser medidas por el sistema de monitoreo y control. A través de pruebas in situ, se determinó la posición y ubicación óptima de los sensores instalados en el laboratorio, así como la sensibilidad necesaria para una calibración precisa, permitiendo posteriormente una evaluación detallada de los datos obtenidos. El proyecto desarrollado integra dispositivos de monitoreo y control de variables contaminantes, presentándolos en una interfaz hombre-máquina (HMI), comúnmente utilizada para mostrar procesos industriales automatizados.

Se integran señales digitales provenientes de un sensor de fin de carrera instalado en la puerta de acceso principal y dos sensores de movimiento ubicados estratégicamente en el laboratorio. Estos sensores evalúan la presencia de personas dentro del laboratorio. Las señales de todos los sensores de campo se muestran en las pantallas del HMI mediante luces indicadoras de estado. Si estas luces están activas, no será posible activar el proceso de sanitización controlado.

El método de esterilización utilizado es la luz ultravioleta, y debido al peligro de exposición, se implementan validaciones de activación conectando en serie las señales de los sensores y el temporizador. Así, aunque el temporizador esté activo, el sistema de esterilización no se activará hasta que se cumplan todas las condiciones de seguridad, incluyendo la de los sensores de movimiento, cuya tarea principal es determinar si existen o no personas al interior del laboratorio. El temporizador está configurado para activar la lámpara de esterilización los lunes y viernes a las 9:00 p.m. durante un periodo de 10 minutos, garantizando así la eliminación de patógenos existentes. Se inicia el proceso de toma de datos de las variables contaminantes por medio de dos sensores conectados al mismo bus de datos (I2C); son los encargados de enviar señales al procesador de datos Arduino con un retardo de 5 segundos. Se procesan las señales análogas convirtiéndolas en bit de datos traducibles por el interfaz humano-máquina y posteriormente las muestra en variables para luego representarlas en gráficas. Considerando esto, se tiene una pantalla para cada sensor en donde en tiempo real se muestra la concentración de contaminantes volátiles y niveles de dióxido de carbono existentes en el recinto.

5.3 Diagrama de bloques

Representa por medio de diagramas de bloques la composición del sistema, el cual muestra gráficamente los pasos o procesos a seguir para alcanzar la solución del problema. Se identifica la secuencia operacional por medio de símbolos y flechas que se conectan entre sí, para representar la lógica de conexión y así mostrar una distribución general de las variables de entrada y salida que componen el prototipo.

Todo el procesamiento de información se puede resumir de la siguiente manera:

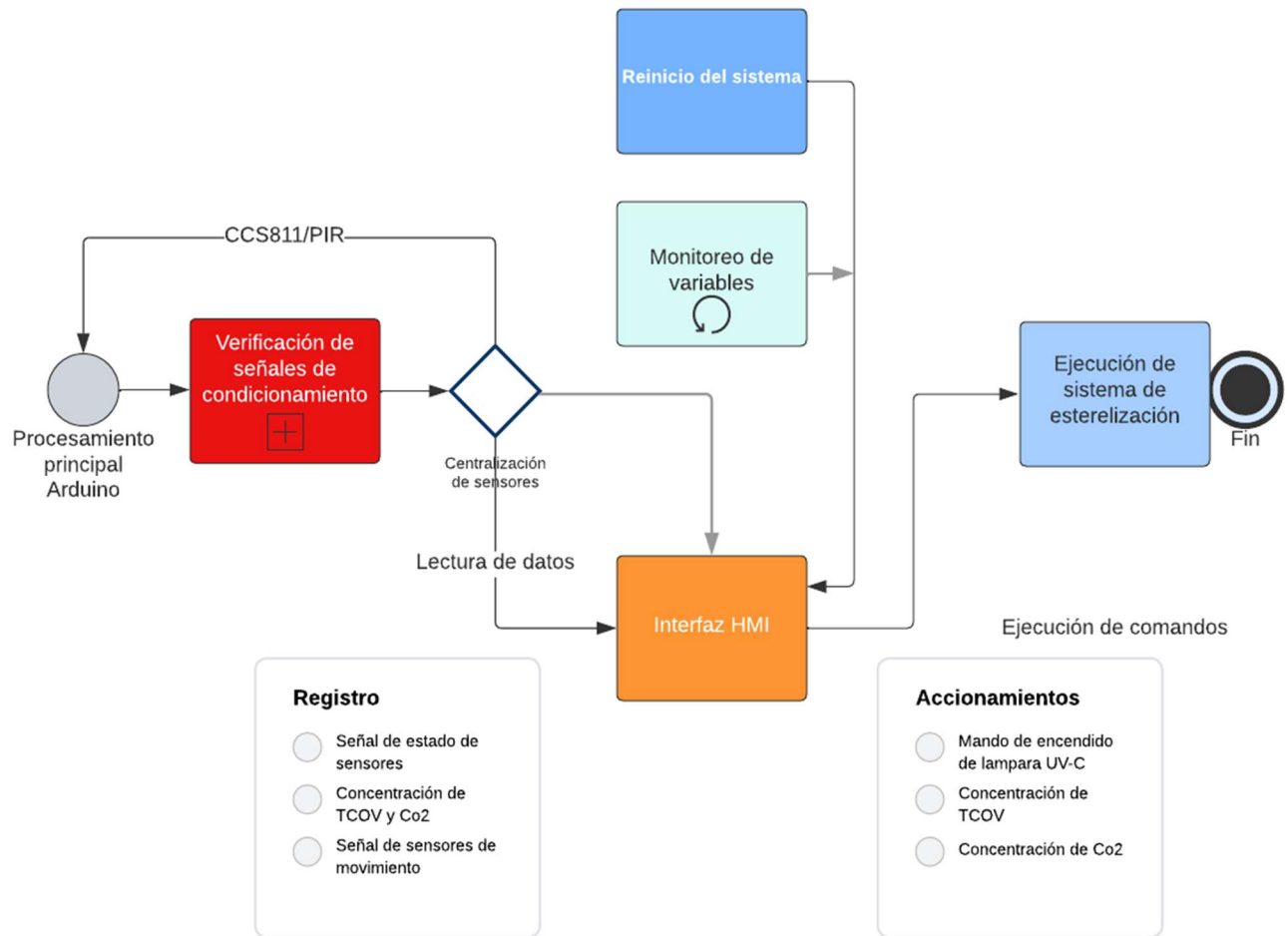


FIGURA 35 Flow chart de los procesamientos principales. (Fuente: diseño propio).

Se describen las funciones de entrada que tiene el dispositivo y además se puede observar cómo se van transformando las variables a medida que van pasando por cada una de las funciones hasta llegar a la salida.

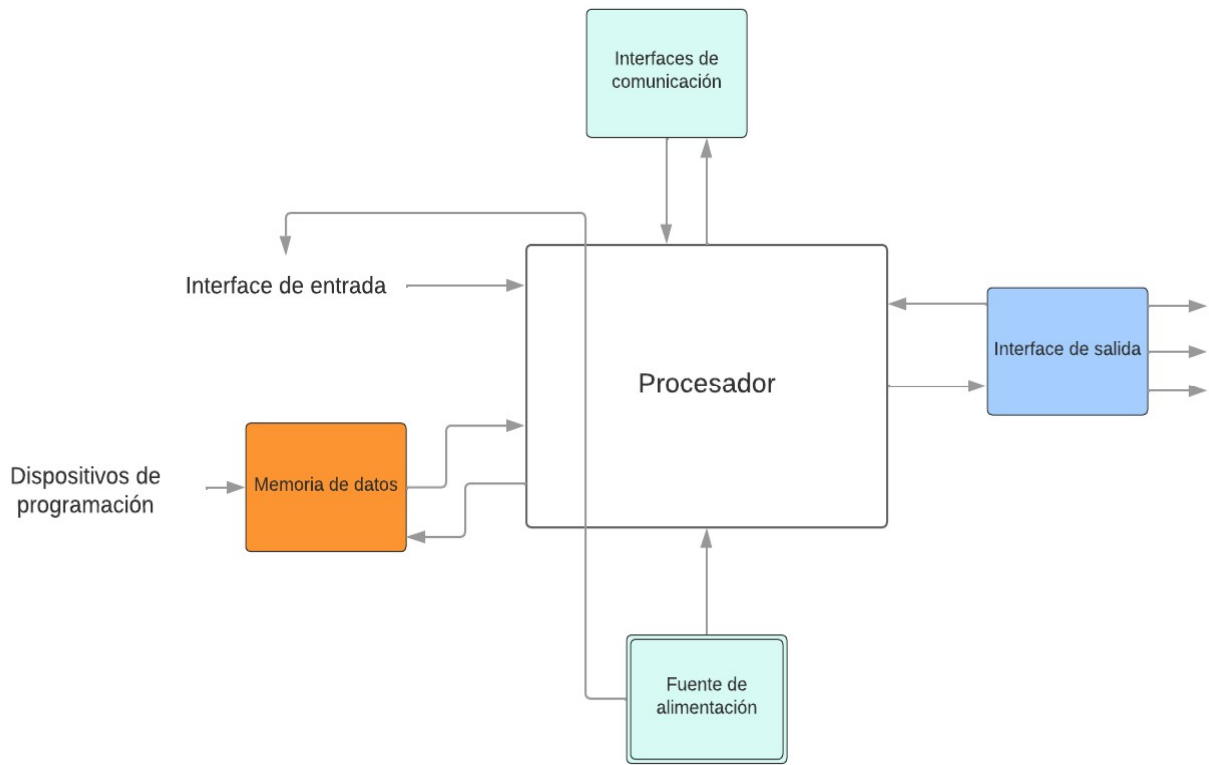


FIGURA 36 Flow chart de los dispositivos de entradas y salidas. (Fuente: diseño propio).

5.4 Registro de memorias

Id	Tipo	Descripción	Dirección	Sección	Terminal	Grupo	NºPantalla
1	Int	Estado ON	D00005	Puerta ppal	XP-BUILDER	LED	2
2	Int	Proceso estrellización	D00006	Lampara estrellización	XP-BUILDER	LED	2
3	Int	Zona 1	D00003	Sensor #1	XP-BUILDER	LED	2
4	Int	Zona 2	D00009	Sensor #2	XP-BUILDER	LED	2
5	Dec	Sensor 1	D40003	Sensor #1	XP-BUILDER	Label C02	2
5	Dec	Sensor 2	D40005	Sensor #2	XP-BUILDER	Label C02	2
6	Dec	Sensor 1	D40004	Sensor #1	XP-BUILDER	Label TCOV	2
7	Dec	Sensor 2	D40006	Sensor #2	XP-BUILDER	Label TCOV	2

TABLA 18 Mapeo de variables utilizadas y espacio de memoria de las pantallas HMI.

Id	Tipo	Descripción	Nº Pin	Terminal	Variable
1	IN digital	PIR 1	5	Arduino	PIRPin1
2	IN digital	PIR 2	3	Arduino	PIRPin2
3	Out digital	Lampara UV	12	Arduino	LEDPIN
4	IN digital	Sensor puerta	4	Arduino	sensorpuerta

TABLA 19 Mapeo de variables utilizadas y registro de entradas y salidas de Arduino.

En la arquitectura de ordenadores, cuando se tiene un registro, se traduce a una memoria de alta velocidad y poca capacidad, integrada en el dispositivo controlador o a controlar, que permite guardar transitoriamente y acceder a valores muy usados y previamente registrados. Son la manera más rápida que tiene el sistema de almacenar datos. Los registros se miden generalmente por el número de bits que almacenan; por ejemplo, el utilizado para este proyecto es de 8 bit, pero también existen de 32 bits. Generalmente se implementan en un banco de registros, pero antiguamente se usaban biestables individuales, memoria SRAM o formas aún más primitivas.

En la tabla 18 se muestra una perspectiva general de la distribución de los registros de memoria utilizados para enviar y transmitir información a través del bus serial modbus de los dispositivos maestros a los esclavos y de esta forma tener una representación de todas las señales compartidas.

5.5 Integración de equipos

5.5.1 Pruebas de software y hardware

El siguiente código está desarrollado para controlar y procesar señales digitales y análogas provenientes de los diferentes protocolos de transmisión de datos considerados para el desarrollo del proyecto; los sensores de calidad del aire CCS811 se comunican por medio del protocolo de datos bajo la estructura maestro-esclavo. La transferencia de datos es siempre inicializada por un maestro; el esclavo reacciona y de esta forma se da la transferencia de datos. Es posible tener varios maestros mediante un modo multimaestro. En este caso realizamos la conexión de dos sensores que son los encargados de enviar datos en tiempo real. Para este caso particular, los sensores son los esclavos, ya que admiten múltiples nodos de conexión y el Arduino es el maestro que simplemente está recibiendo la información de los sensores. Para que la medición sea precisa, se deben encender por un periodo de 20 minutos ambos dispositivos.

La interfaz de monitoreo y el Arduino se comunican bajo el protocolo modbus RS 232, y se considera protocolo de comunicación abierto, utilizado para transmitir información a través de redes en serie entre dispositivos electrónicos. El dispositivo que solicita la información se llama maestro modbus tal es el caso de la pantalla, y los dispositivos que suministran la información son los esclavos modbus, en este caso será el Arduino y los sensores conectados. Para que la conexión sea efectiva se considera la utilización del módulo TTL que es un convertidor que permite comunicar un microcontrolador con una computadora por el puerto Serial (COM) y así realizar adquisición de datos, control de procesos y debugging. El módulo soluciona el problema de la diferencia de voltajes entre el puerto Serial RS232 (+-12V) y el microcontrolador TTL (3.3V/5V), encargándose de convertir los niveles de voltaje bidireccionalmente para el programador, siendo el proceso más efectivo para conectar al Arduino con la pantalla.

a Librerías utilizadas

Son programas realizados por terceros, que nos ayudan a añadir nuevas funcionalidades a nuestros programas de Arduino, generalmente, con nuevas instrucciones para poder utilizar nuevos componentes.

```
#include <ModbusRtu.h>
#define ID 1
#include <Wire.h>
#include "SparkFunCCS811.h"
#define CCS811_ADDR1 0x5A
#define CCS811_ADDR2 0x5B
```

b Calibración de sensor PIR y sensor Limit Switch (sensor de puerta).

La integración de los sensores de límite es indispensable, ya que se vuelve una condición de seguridad; son los encargados, de enviar las referencias de la puerta de acceso principal; más bien, identificar si se encuentra abierta o cerrada. Los sensores PIR logran identificar si existe movimiento de personas al interior del laboratorio. Si alguna de estas variantes se considera activa, el sistema de esterilización no se inicializará, aunque esté validado por medio del timer semanal. Está activación será dos días por semana o los días definidos por el encargado del laboratorio, ya que son totalmente modificables. Si el timer, sensor de límite y sensores de movimientos se encuentran en estado validado, se inicializará con el encendido de la lámpara de esterilización comenzando con el proceso de sanitización al interior del laboratorio.

Código de calibración de los sensores de movimiento y límite:

```
const int LEDPin = 12;
const int PIRPin1 = 48;
const int PIRPin2 = 50;
const int sensorpuerta = 4;
int pirState1 = LOW;
int pirState2 = LOW;
int val1 = 0;
int val2 = 0;
int buttonState = 0;
void setup() {
  pinMode(LEDPin, OUTPUT);
  pinMode(PIRPin1, INPUT);
  pinMode(PIRPin2, INPUT);
  pinMode(sensorpuerta, INPUT);
}
void loop()
```

```
{
  delay(500);
  buttonState = digitalRead(sensorpuerta);
  if (buttonState == HIGH) {
    digitalWrite(LEDPin, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
  }
  val1 = digitalRead(PIRPin1);
  if (val1 == HIGH)
  {
    digitalWrite(LEDPin, HIGH);
    if (pirState1 == LOW)
    {
      Serial.println("Sensor #1 activado");
      pirState1 = HIGH;
    }
  }
  else
  {
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
    if (pirState1 == HIGH)
    {5+
      Serial.println("Sensor #1 parado");
      pirState1 = LOW;
    }
  }
  val2 = digitalRead(PIRPin2);
  if (val2 == HIGH)
  {
    digitalWrite(LEDPin, HIGH);
    if (pirState2 == LOW)
    {
      Serial.println("Sensor #2 activado");
      pirState2 = HIGH;
    }
  }
  else
  {
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
    if (pirState2 == HIGH)
    {
      Serial.println("Sensor #2 parado");
    }
  }
}
```

```
        pirState2 = LOW;
    }
}
}
```

c Calibración de sensor CCS811

```
#include <Wire.h>
#include "SparkFunCCS811.h"
#define CCS811_ADDR1 0x5A
#define CCS811_ADDR2 0x5B
CCS811 mySensor1(CCS811_ADDR1);
CCS811 mySensor2(CCS811_ADDR2);
void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    Serial.println("CCS811 Basic Example");
    Wire.begin();
    if (mySensor1.begin() == false)
    {
        Serial.print("CCS811 error. Please check wiring. Freezing1...");
        while (1);
    }
    if (mySensor2.begin() == false)
    {
        Serial.print("CCS811 error. Please check wiring. Freezing2...");
        while (1);
    }
}
void loop()
{
    if (mySensor1.dataAvailable())
    {
        mySensor1.readAlgorithmResults();
        Serial.print("CO2[");
        Serial.print(mySensor1.getCO2());
        Serial.print("] tVOC[");
        Serial.print(mySensor1.getTVOC());
        Serial.print("]");
        Serial.println();
    }
    if (mySensor2.dataAvailable())
    {
```

```

mySensor2.readAlgorithmResults();
Serial.print("1CO2[");
Serial.print(mySensor2.getCO2());
Serial.print("] 1tVOC[");
Serial.print(mySensor2.getTVOC());
  Serial.print("]");
Serial.println();
}
delay(1520);

```

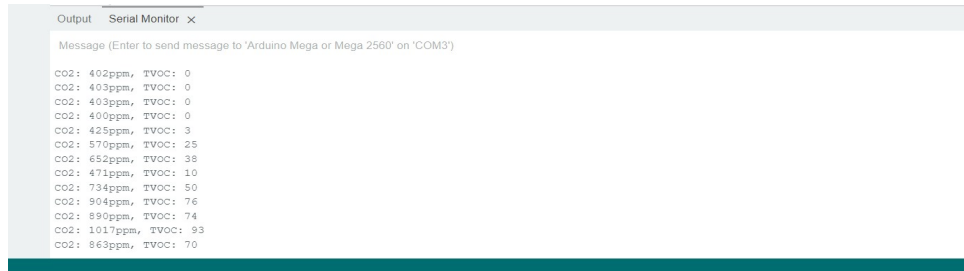


FIGURA 37 Visualización del monitor serial del Arduino.

d Comunicación entre el Arduino y pantalla HMI

```

#include <ModbusRtu.h>
#define ID 1
Modbus slave(0, 0, 0);
int8_t state = 0;
unsigned long tempus;
uint16_t au16data[5];
void setup() {
  configuracionIO();
  slave.begin(115200);
  tempus = millis() + 100;
  digitalWrite(13, HIGH );
}
void loop() {
  state = slave.poll( au16data, 5 );
  if (state > 4) {
    tempus = millis() + 50;
    digitalWrite(13, HIGH);
  }
  if (millis() > tempus) digitalWrite(13, LOW );

  MapeoIOmodbus();
}
void configuracionIO() {

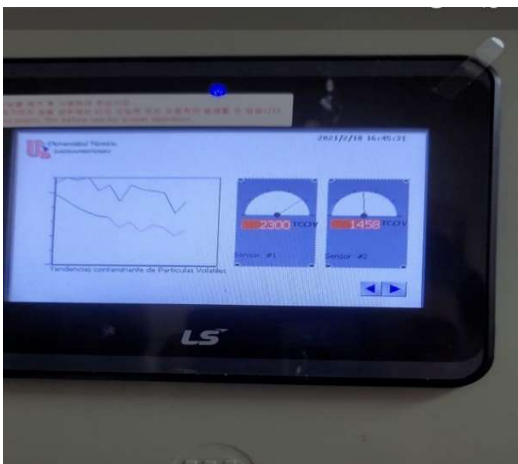
```

```

pinMode(2, OUTPUT);
pinMode(3, OUTPUT);
pinMode(4, OUTPUT);
pinMode(5, OUTPUT);
pinMode(6, INPUT);
pinMode(7, INPUT);
pinMode(8, INPUT);
pinMode(9, INPUT);
digitalWrite(2, LOW );
digitalWrite(3, LOW );
digitalWrite(4, LOW );
digitalWrite(5, LOW );
}
void MapeoIOModbus() {
  digitalWrite( 2, bitRead( au16data[0], 0 ));
  digitalWrite( 3, bitRead( au16data[0], 1 ));
  digitalWrite( 4, bitRead( au16data[0], 2 ));
  digitalWrite( 5, bitRead( au16data[0], 3 ));
  delay (300);
  bitWrite( au16data[1], 0, digitalRead( 6 ));
  bitWrite( au16data[1], 1, digitalRead( 7 ));
  bitWrite( au16data[1], 2, digitalRead( 8 ));
  bitWrite( au16data[1], 3, digitalRead( 9 ));
  delay (300);
  analogWrite( 10, au16data[2] );
  analogWrite( 11, au16data[3] );
  au16data[4] = analogRead( 0 );
}

```

e Mediciones realizadas en el laboratorio de la Universidad



f Integración de todos los dispositivos



FIGURA 38 Implementación del prototipo en el laboratorio de electrónica .

g Código principal

```
CCS811 mySensor1(CCS811_ADDR1);
CCS811 mySensor2(CCS811_ADDR2);

const int ledPin = LED_BUILTIN;
Modbus slave(ID, Serial, 0);
boolean led;
int8_t state = 0;
unsigned long tempus;
uint16_t au16data[9];
int coilValue = 0;
int coilValue1 = 0;
int coilValue2 = 0;
const int buttonPin = 3;
const int buttonPin1 = 5;
const int buttonPin2 = 22;
const int ledPin1 = 6;

void setup() {
  pinMode(ledPin1, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode(buttonPin1, INPUT);
  pinMode(buttonPin2, INPUT);
  coilValue = digitalRead( buttonPin );
  coilValue1 = digitalRead( buttonPin1 );
  coilValue2 = digitalRead( buttonPin2 );
  io_setup();
  Serial.begin(115200);
  slave.start();
  tempus = millis() + 100;
  Wire.begin();
  if (mySensor1.begin() == false)
  {
    Serial.print("CCS811 error. Please check wiring. Freezing1...");
    while (1);
  }
  if (mySensor2.begin() == false)
  {
    Serial.print("CCS811 error. Please check wiring. Freezing2...");
    while (1);
  }
}
```

```
void loop() {
  state = slave.poll( au16data, 9 );
  if (state > 4) {
    tempus = millis() + 50;

  }
  if (millis() > tempus) digitalWrite(13, LOW );
  io_poll();
  if (mySensor1.dataAvailable())
  {
    mySensor1.readAlgorithmResults();
    ( au16data[2]) = (mySensor1.getCO2());
    ( au16data[3]) = (mySensor1.getTVOC());
  }
  delay(10);

  if (mySensor2.dataAvailable())
  {
    mySensor2.readAlgorithmResults();

    ( au16data[4])=(mySensor2.getCO2());

    ( au16data[5])=(mySensor2.getTVOC());
  }
  delay(15);
}

void io_setup() {
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(53, INPUT);
  pinMode(5, INPUT);
  pinMode(30, INPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  digitalWrite(6, LOW );
  delay(100);
}

void io_poll() {
  bitWrite( au16data[0], 2, digitalRead( 3 ));
  bitWrite( au16data[0], 3, digitalRead( 54 ));
  bitWrite( au16data[0], 4, digitalRead( 7 ));
  bitWrite( au16data[0], 6, digitalRead( 4 ));
  bitWrite( au16data[0], 7, digitalRead( 22 ));
}
```

```
    digitalWrite( au16data[0], 8, digitalRead( 23));  
    delay(100);  
    digitalWrite( 7, bitRead( au16data[1], 1 ));  
    if ((coilValue==HIGH) || (coilValue1==HIGH) || (coilValue2==HIGH)) {  
        digitalWrite(ledPin1, HIGH);  
    }  
    else {  
        digitalWrite(ledPin1, LOW);  
    }  
    au16data[6] = slave.getInCnt();  
    au16data[7] = slave.getOutCnt();  
    au16data[8] = slave.getErrCnt();
```





CAPÍTULO VI: MARCO LEGAL

6 CAPITULO VI: MARCO LEGAL

6.1 Normativa nacional

Art. 1.- El Salvador reconoce a la persona humana como el origen y el fin de la actividad del Estado, que está organizado para la consecución de la justicia, de la seguridad jurídica y del bien común.

Asimismo, reconoce como persona humana a todo ser humano desde el instante de la concepción.

En consecuencia, es obligación del Estado asegurar a los habitantes de la República el goce de la libertad, la salud, la cultura, el bienestar económico y la justicia social.

Art. 65.- La salud de los habitantes de la República constituye un bien público. El Estado y las personas están obligados a velar por su conservación y restablecimiento.

Art. 117.- Es deber del Estado proteger los recursos naturales, así como la diversidad e integridad del medio ambiente, para garantizar el desarrollo sostenible.

6.1.1 Ley de medio ambiente de El Salvador

Decreto N° 40

Art. 44 de la Ley del Medio Ambiente establece que el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en coordinación con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, velará por el cumplimiento de las normas técnicas de calidad ambiental y que un Reglamento especial contendrá las correspondientes Normas Técnicas de Calidad Ambiental.

Que el Art. 28 letra B, de la Ley del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, dispone que es atribución del Departamento de Normalización, Metrología y Certificación de la Calidad la de proponer a la Junta Directiva del Consejo, a través del director ejecutivo, las normas técnicas nacionales para su aprobación por el órgano Ejecutivo, por medio del ministro de economía.

Que el Art. 120 de la Ley a que alude el considerando anterior establece que el presidente de la República emitirá los reglamentos que sean necesarios para el desarrollo y aplicación de esta.

Que el Art. 42 de la Ley del Medio Ambiente manda, entre otros aspectos, prevenir, controlar y vigilar actividades contaminantes de la atmósfera, el agua y el suelo.

Que la misma Ley, en su Art. 27 establece la realización de auditorías de evaluación ambiental para asegurar el cumplimiento de las condiciones fijadas en el permiso ambiental, dentro de las cuales queda comprendido el cumplimiento de las normas técnicas de calidad ambiental.

Que, por lo tanto, es necesario emitir las normas que sean necesarias para dar cumplimiento a estas disposiciones, armonizándolas con la adecuada coordinación de las instituciones competentes.

Por tanto,

en uso de sus facultades constitucionales,

Decreta el siguiente:

REGLAMENTO ESPECIAL DE NORMAS TÉCNICAS DE CALIDAD AMBIENTAL.

Capítulo I

Objeto y Competencia

Objeto

Art. 1.- El presente Reglamento tiene por objeto determinar los lineamientos o directrices para el establecimiento de las normas técnicas de calidad ambiental en los medios receptores y los mecanismos de aplicación de dichas normas, relativos a la protección de la atmósfera, el agua, el suelo y la biodiversidad.

Cumplimiento de las Normas Técnicas de Calidad Ambiental:

Art. 2.- En cumplimiento de lo dispuesto en el Art. 44 de la Ley del Medio Ambiente, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en lo sucesivo el Ministerio, en coordinación con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, de ahora en adelante el Consejo, será la autoridad competente para velar por el cumplimiento de las normas técnicas de calidad ambiental

por medio de las auditorías a que se refiere el Art. 27 de la misma Ley, de acuerdo con lo que establezca este Reglamento.

Establecimiento de las Normas Técnicas de Calidad Ambiental

Art. 3.- En cumplimiento de lo establecido en el Art. 28, letra b) de la Ley del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la autoridad competente para el establecimiento de las normas técnicas de calidad ambiental será el consejo de conformidad al procedimiento establecido en los Arts. 29 al 39 de la misma Ley y lo que se disponga en el presente Reglamento.

Revisión de las Normas

Art. 4.- En cumplimiento del Art. 45 de la Ley del Medio Ambiente, el Ministerio efectuará una revisión de las normas técnicas de calidad ambiental como mínimo cada cinco años, o cuando se considere conveniente, para efectos de proponer al Consejo, la readecuación necesaria de las mismas si el Consejo no lo hubiere hecho, de acuerdo con los cambios físicos, químicos, biológicos, económicos y tecnológicos.²⁵

Capítulo III

Calidad del aire

Emisiones por fuentes fijas o estacionarias.

Parámetros mínimos.

Art. 9.- La norma de calidad de aire ambiente establecerá los límites máximos permisibles que deberán aplicarse para los contaminantes del aire, para garantizar la salud humana y el medio ambiente, los cuales nunca podrán superar los límites de valores permisibles de la calidad del aire ambiente siguientes:

²⁵ Diario Oficial de la República de El Salvador, América Central TOMO No. 339, NUMERO 79, San Salvador.

Id	Parametros	Unidades	valores maximos permisibles	Periodo
1	Dioxido de Azufre SO ₂	Ug/M ³	80	Anual
2	Dioxido de Azufre SO ₂	Ug/M ³	365	24H
3	Monoxido de Carbono CO	Ug/M ³	10000	8H
4	Monoxido de Carbono CO	Ug/M ³	40000	1H
5	Oxidos de nitrogeno NO ₂	Ug/M ³	100	Anual
6	Oxidos de nitrogeno NO ₂	Ug/M ³	150	24H
7	Ozono	Ug/M ³	120	8H
8	Ozono	Ug/M ³	60	Anual
9	Particulas Inhalables PM ₁₀	Ug/M ³	50	Anual
10	Particulas Inhalables PM ₁₀	Ug/M ³	150	24H
11	Particulas Inhalables PM2.5	Ug/M ³	15	Anual
12	Particulas Inhalables PM2.5	Ug/M ³	65	24H
13	Particulas Totales suspendidas	Ug/M ³	75	Anual
14	Particulas suspendidas	Ug/M ³	260	24H
15	Plomo	Ug/M ³	0.5	Anual

TABLA 20 Valores máximos de concentración de contaminantes.

Fuentes Fijas

Art. 10.- En base al Art. 47 letra a) de la Ley del Medio Ambiente, los titulares de las fuentes fijas o estacionarias de emisiones deberán instalar sistemas de control y reducción de emisiones, sin perjuicio del empleo de medidas de minimización de la generación de emisiones. Queda prohibido el empleo de técnicas de dilución o dispersión como método primario o único de control para reducir la concentración de los contaminantes.

Chimeneas y Ductos.

Art. 11.- En base al Art. 47 letra a) de la Ley del Medio Ambiente, las chimeneas y ductos de fuentes fijas deberán diseñarse de forma que garanticen la dispersión de los contaminantes emitidos, para evitar que sobrepasen los límites de calidad del aire ambiente. Lo anterior es aplicable a actividades, obras o proyectos de las establecidas en el Art. 21 de la Ley del Medio Ambiente que queden comprendidas en el artículo arriba mencionado. La medición de la concentración de contaminantes del aire en emisiones provenientes de chimeneas o ductos se efectuará utilizando métodos normalizados de validez científica de reconocida exactitud y precisión analíticas establecidas en la norma de emisiones respectiva.

Incineradores.

Art. 12.- En base al Art. 47, letra a) de la Ley del Medio Ambiente, a los titulares de actividades, obras o proyectos de las establecidas en el Art. 21 de la Ley, no se les permitirá la instalación o funcionamiento de incineradores de tipo doméstico o industrial en zonas urbanas y centros poblados.

Medidas Correctivas

Art. 13.- En base al Art. 47, letra.

De la Ley del Medio Ambiente, los titulares de actividades, obras o proyectos de las establecidas en el Art. 21 de la Ley, que realicen construcciones, movimientos de tierra, trabajos viales, acarreo y almacenamiento de sólidos granulares o finamente divididos, susceptibles de producir emisiones de polvo, aplicarán las medidas correctivas para controlar las que se estipule en el Permiso Ambiental, o en su defecto por el Ministerio, a fin de mantener en estas zonas las concentraciones de partículas totales suspendidas dentro de los límites establecidos en la norma de calidad del aire ambiente²⁶.

Límites permisibles

Art. 14.- El Consejo, oyendo la opinión del Ministerio, así como la del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y el Viceministerio de Transporte, establecerá, revisará y actualizará los límites permisibles de contaminantes emitidos al aire, según el procedimiento establecido en el Art. 3 de este reglamento.

Art.15.- En cumplimiento al Art. 42 de la Ley del Medio Ambiente, el Ministerio, en coordinación con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y el Viceministerio de Transporte, controlarán el cumplimiento de las normas técnicas de calidad del aire por medio de mediciones de las emisiones vehiculares, las cuales serán estacionarias o dinámicas; éstas se tomarán dentro o fuera de un Centro de Control autorizado por el Ministerio, según procedimientos

²⁶ Constitución Política de El Salvador, Decreto 40. (s.f.). Recuperado el 19 de diciembre de 2022, de www.transparencia.gob.sv/institutions/marn/documents/277005/download.

técnicos normados y aceptados por el Consejo, según lo establecido en la Ley respectiva y en este Reglamento.

Norma salvadoreña NSO 13.11.01:01

Corresponde la vigilancia del cumplimiento de esta norma obligatoria al MARN en su calidad de autoridad competente. En situaciones de emergencia ambiental relacionadas con la calidad del aire, el MARN podrá tomar medidas temporales para superar dichas emergencias.

Propuesta de Norma de Emisiones al Aire. Dirección Salud Ambiental, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, diciembre de 1997.

Decreto 833/1975, de febrero, que desarrolla la Ley 38/1972 de Protección del Ambiente Atmosférico. Boletín Oficial de Estado, número 96, de 22 de abril de 1975, Estado Español.

La evaluación de la calidad del aire en un área determinada se llevará a cabo durante lapsos de muestreo que comprendan variaciones climatológicas y estacionales, si las hubiere, y considerando los tipos y características de las fuentes de emisión más importantes del sector, ciclos de operación representativos de la producción promedio anual de las fuentes, así como cualquier otra condición del área que pueda incidir en la calidad del aire.

Este lapso de muestreo comprenderá un tiempo mínimo de muestreo de cuatro (4) semanas, una cantidad mínima de veinte (20) muestras efectivas, distribuidas durante todo el lapso del muestreo, con una frecuencia mínima de captación de una (1) muestra cada tres (3) días, para estudios que se realicen en un lapso menor de seis (6) meses, y con una frecuencia mínima de una (1) muestra cada seis (6) días, para estudios efectuados en lapsos mayores a seis (6) meses.

Muestreo, frecuencia y métodos analíticos de medición

CONTAMINANTE	MÉTODO DE MUESTREO	PERIODOS DE MEDICIÓN	MÉTODO ANALÍTICO
Dióxido de Azufre	Absorción (Manual)	1 hora a 24 horas continuas	Colorimetría (Método de la pararosanilina)
	Absorción (Manual)	1 hora a 24 horas continuas	Conductimetría (Método manual)
	Absorción (Manual)	1 hora a 24 horas continuas	Fotometría de llama (Método automático)
	Instrumental (Automático)	1 hora a 24 horas continuas	Fluorescencia (Método automático)
	Instrumental (Automático)	24 horas continuas	Cromatografía Iónica
Partículas Totales Suspendidas	Gran Volumen	24 horas continuas	Gravimetría
PM ₁₀	Gran Volumen	24 horas continuas	Gravimetría
	Pequeño Volumen	24 horas continuas	Gravimetría
	Automático	24 horas continuas	Radiación Beta
	Automático	24 horas continuas	Microbalanza oscilatoria
Dióxido de Nitrógeno	Pasivo	30 días continuos	Espectrofotometría
	Activo	24 horas continuas	Colorimetría
	Automático	8 horas continuas	Quimiluminiscencia
Monóxido de Carbono	Instrumental (Automático)	1 hora a 8 horas continuas	Espectrometría de infrarrojo no dispersivo (Automático)
	Instrumental (Automático)	1 hora a 8 horas continuas	Electroquímico (Método automático)
Dióxido de Carbono	Absorción (Manual)	24 horas continuas	Colorimetría (Método de arsenito de sodio)
	Instrumental (Automático)	24 horas continuas	Quimiluminiscencia (Método automático)
Ozono	Instrumental (Automático)	1 hora continua	Quimiluminiscencia detector fotomultiplicador (Método automático)
Plomo	Gran Volumen	24 horas continuas	Espectrofotometría de absorción atómica

TABLA 21 Muestreo, frecuencia y métodos analíticos de medición

Monitoreo de la calidad del aire de OSHA

La calidad del aire en el lugar de trabajo está regulada y respaldada por una serie de normas y directrices. La regulación de los polvos nocivos, los humos de soldadura y otras partículas suspendidas en el aire en el lugar de trabajo es tarea de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA). Esta agencia comenzó su trabajo en 1971 con la misión de garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables para los trabajadores mediante el establecimiento y la aplicación de normas y la prestación de formación, divulgación, educación y asistencia. En la actualidad, la OSHA es la principal agencia que regula la calidad del aire en las instalaciones de fabricación.

La autoridad de OSHA surge de su Cláusula de Deber General, que dice: Todo empleador deberá proporcionar a cada uno de sus empleados empleo y un lugar de trabajo que estén libres de peligros reconocidos que causen o puedan causar la muerte o daños físicos graves a sus empleados. El código legal es extenso (y en constante crecimiento) e incluye muchas normas específicas para la calidad del aire, la mayoría de las cuales están contenidas en la norma 29 CFR Parte 1910 Subparte Z.

La Conferencia estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, por sus siglas en inglés) no debe confundirse con la OSHA, pero es una organización muy importante por derecho propio. Esta organización es un grupo de profesionales de la industria que mantiene su propia lista de pautas de calidad del aire. Estas pautas se basan en una ciencia rigurosa y en la experiencia de la industria. En general, las pautas de la ACGIH son más estrictas que las normas de la OSHA. En muchos sentidos, la ACGIH desempeña un papel de liderazgo en el campo de la calidad del aire; la OSHA a menudo cambia sus normas para que coincidan con las de la ACGIH, aunque a menudo después de un largo período de deliberación.



CAPÍTULO VII: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

7 CAPITULO VII: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

7.1 Ubicación geográfica del área de estudio

Desde un punto de vista geográfico, la creación del prototipo electrónico se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de electrónica de la Universidad Técnica Latinoamericana, situado en la intersección de la 7a calle Poniente y la 5a calle Oriente, en el departamento de La Libertad, municipio de Santa Tecla, El Salvador.

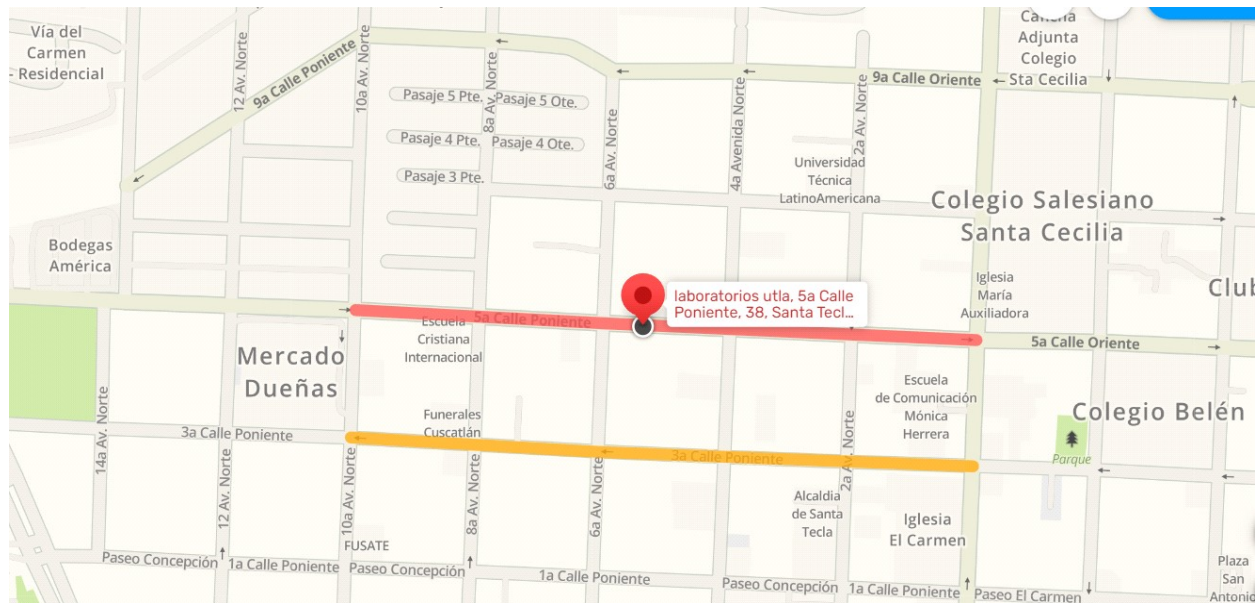


FIGURA 39 Ubicación geográfica del laboratorio de la UTLA.

7.2 Tipo de investigación.

Este estudio fue abordado por medio de una metodología descriptiva y está basado principalmente en desarrollar una investigación de campo para la implementación de un prototipo electrónico de monitoreo y estilización de patógenos, que busca dar a conocer la estructura, diseño e ingeniería utilizada. Esta integración permite monitorear concentraciones de contaminantes y eliminar patógenos contaminantes al interior del laboratorio de la universidad, utilizando un sistema de sanitización controlado por medio de dispositivos programables.

7.3 Identificación de la zona de estudio

El presente estudio de investigación se centra en el desarrollo de un prototipo de monitoreo de la calidad del aire, específicamente en el monitoreo de los compuestos orgánicos volátiles y en la aplicación del método de luz ultravioleta para esterilización en recintos cerrados implementado en el laboratorio de la Facultad de ingeniería electrónica de la Universidad Técnica Latinoamericana. Esta identificación de la zona de estudio es crucial para contextualizar la investigación y entender las características específicas del área donde se llevará a cabo. La elección del laboratorio de ingeniería electrónica se debe a su relevancia como centro de formación para futuros ingenieros y su potencial para mejorar las condiciones de calidad del aire en un entorno educativo. Se estima que la población beneficiada será de aproximadamente 150 estudiantes entre las carreras de ingeniería eléctrica y electrónica.

7.4 Presupuesto general del proyecto

a Materiales y misceláneos.

Item	Código	Descripción	Pieza.	Precio	Sub-total
1	CCL-BNMO	Suministro de equipos.			
2	7102004003	BKN-1P/C3A MCB 1P 400VAC 3A 6KA	2	\$ 4.98	\$ 9.96
3	7075005025	[AVK 2.5] BORNERA GRIS, 2.5MM2, AWG 26~12, 1C2T/1P	30	\$ 0.90	\$ 27.00
4	7075005092	[NPP/AVK 2.5 CC] TAPA FINAL BORNERA GRIS, PARA AVK 2.5	2	\$ 0.95	\$ 1.90
5	7075005096	[APP/AVK 2.5-10] SEPARADOR DE BORNERA GRIS, PARA AVK 2.5 A 10	4	\$ 1.60	\$ 6.40
6	7610022120	MC-22B CONTACTOR METASOL 3P 22A 1A1B 120VAC/60HZ	2	\$ 34.40	\$ 68.80
7	5700045705	SENSOR FINAL/CARRERA (PC705M) ACCION RAPIDA AJUST	1	\$ 27.13	\$ 27.13
8	7102030195	[eXP2-0400D-EX] Pantalla HMI 4.3 IN TFT LCD 24VDC color 24 bit Ethernet UL SO Windows CE	1	\$ 450.00	\$ 450.00
9	7602040040	[KKC 4040] Canaleta Gris 40x40mm, 2m	2	\$ 98.90	\$ 197.80
10	7501902308	Tablero plastico 400x400x200 (QCS 4040-20)	1	\$ 200.00	\$ 200.00
11	1300530710	Cable 2 lineas (H05W5-F) 16A/2X1.5MM ² / 7.1MM	80	\$ 1.25	\$ 100.00
12	7608006250	Protoboard con bornes de alimentación, 2 bloques y 4 tiras	2	\$ 15.00	\$ 30.00
13	7608007070	Capacitor electrolítico radial, de 100 uF (micro Faradios) a 25 Volts	4	\$ 0.15	\$ 0.60
14	7608007080	Placa de desarrollo DUE ARDUINO MEGA	2	\$ 29.00	\$ 58.00
15	7608009133	Sensor de movimiento (PIR)	2	\$ 8.00	\$ 16.00
16	7608009143	Módulo de red (Ethernet)	1	\$ 25.00	\$ 25.00
17	7608009150	Placa relés 4 ckt compatible con arduino	2	\$ 6.00	\$ 12.00
18	UV-C166202223	Lamparas desinfección UV-C 25W IEC 62471 WL34	1	\$ 400.00	\$ 400.00
19		Placa CJMCU-8128 CCS811 + HDC1080 + BMP28	2	\$ 95.00	\$ 190.00

Resumen

Item	Código	Descripción	Cnt.	Precio	Sub-total
1	CCL-BNMO	Suministro de equipos.	141	\$ 1,398.26	\$ 1,630.59
Gran Total (El Salvador)				\$	1,630.59
IVA				13.0%	\$ 211.98
Flete				Terrestre	
País				El Salvador	
TOTAL FINAL				\$	1,842.57

TABLA 22 Costo de materiales utilizados para el desarrollo del proyecto.

b Honorarios

Item	Código	Descripción	Pieza.	Precio	Sub-total
1		Combustible y depreciación de vehículo para transporte de materiales	80 galon	\$ 3.25	\$ 260.00
2		Mano de obra equivalente horas trabajadas para la ejecución del proyecto	260 horas	\$ 3.00	\$ 780.00

TABLA 23 Honorarios equivalentes a consumibles y hora hombres consideradas para el desarrollo técnico del proyecto.

7.5 Recursos

a Humano:

- Asesores y profesionales del aérea consultados.
- Investigadores y ejecutores del proyecto.

b Institución educativa:

Las instalaciones de la Universidad Técnica Latinoamericana, específicamente el laboratorio de Ingeniería Electrónica, lugar donde se instaló el prototipo desarrollado.

c Materia prima y variables:

Recopilación de variables medidas y materiales eléctricos de control y potencia considerados para el desarrollo del prototipo electrónico.

CONCLUSIONES

Este proyecto de investigación ha demostrado que se puede crear una red eficiente de monitoreo de algunos contaminantes producidos en nuestro planeta; tal es el caso de los compuestos orgánicos volátiles (COV), y la cantidad acumulada de dióxido de carbono en ambientes cerrados, durante las pruebas y calibraciones realizadas en tiempo real; se observó de cerca la acumulación existente, manteniéndose en niveles óptimos. Contar con una visualización de diferentes pantallas visuales ayuda al monitoreo y toma de decisiones, ya que nos permiten interactuar y ver la cantidad de contaminantes en el aire y tener un control más eficaz del sistema.

Para lograr una esterilización efectiva del laboratorio se tuvo que hacer uso de tecnología ultravioleta; por lo tanto, se instaló una lámpara ultravioleta de tipo C, con un rango de amplitud de radio de 30 metros cuadrados. Se instalaron circuitos de control de potencia tales como los relés que permiten controlar a través de sus contactos cargas de mayor capacidad simplemente energizando la bobina con una pequeña corriente eléctrica y así controlar el encendido y apagado del sistema principal de la lámpara. La señal de activación y desactivación se produce por medio del timer semanal según la necesidad de los usuarios, pero está validada por un sistema de seguridad que evalúa si existen o no personas al interior.

Además, este trabajo de investigación y desarrollo del proyecto ha demostrado un prototipo eficiente y práctico para el monitoreo de variables contaminantes, ya que las tecnologías existentes tienen un gran costo de adquisición. La tarjeta CCS811 es una solución de gas digital que detecta una amplia gama de compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC), incluyendo niveles equivalentes de dióxido de carbono (eCO_2), y contiene un bus de conexión estándar, por lo que fue posible realizar la conexión de dos sensores que están instalados en zonas estratégicas al interior del laboratorio.

RECOMENDACIONES

Luego de desarrollar e implementar el sistema de monitoreo de la calidad del aire mediante el sensor CCS811 y sanitización del laboratorio de Ingeniería Electrónica de la Universidad Técnica Latinoamericana, utilizando un interfaz humano-máquina (HMI) y un proceso controlado de luz ultravioleta (UV-C).

Se recomienda asegurar una adecuada circulación del aire en el salón, considerando abrir las ventanas durante 15 minutos por cada hora de uso. Esta práctica permitirá renovar el aire interior y contribuirá a mantener un ambiente saludable para todos los ocupantes.

Implementar un programa de siembra de plantas en la institución, así como explorar otras estrategias efectivas para reducir la concentración de contaminantes en el ambiente. Estas acciones contribuirán a mejorar la calidad del aire y a fomentar un espacio más saludable.

Instalar un sistema de ventilación forzada que facilite la expulsión de acumulaciones de aire viciado, garantizando así un flujo constante de aire fresco y contribuyendo a la mejora de la calidad del ambiente interior.

Disminuir el número de estudiantes por clase con el fin de prevenir una acumulación excesiva de contaminantes en el ambiente. Esta medida no solo favorecerá la calidad del aire, sino que también permitirá un mejor manejo del espacio y un ambiente de aprendizaje más saludable.

Integrar técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático para el análisis de datos obtenidos de los sensores. Esto permitiría la detección temprana de patrones anómalos o situaciones críticas de contaminación, mejorando la precisión en la toma de decisiones y acciones automatizadas.

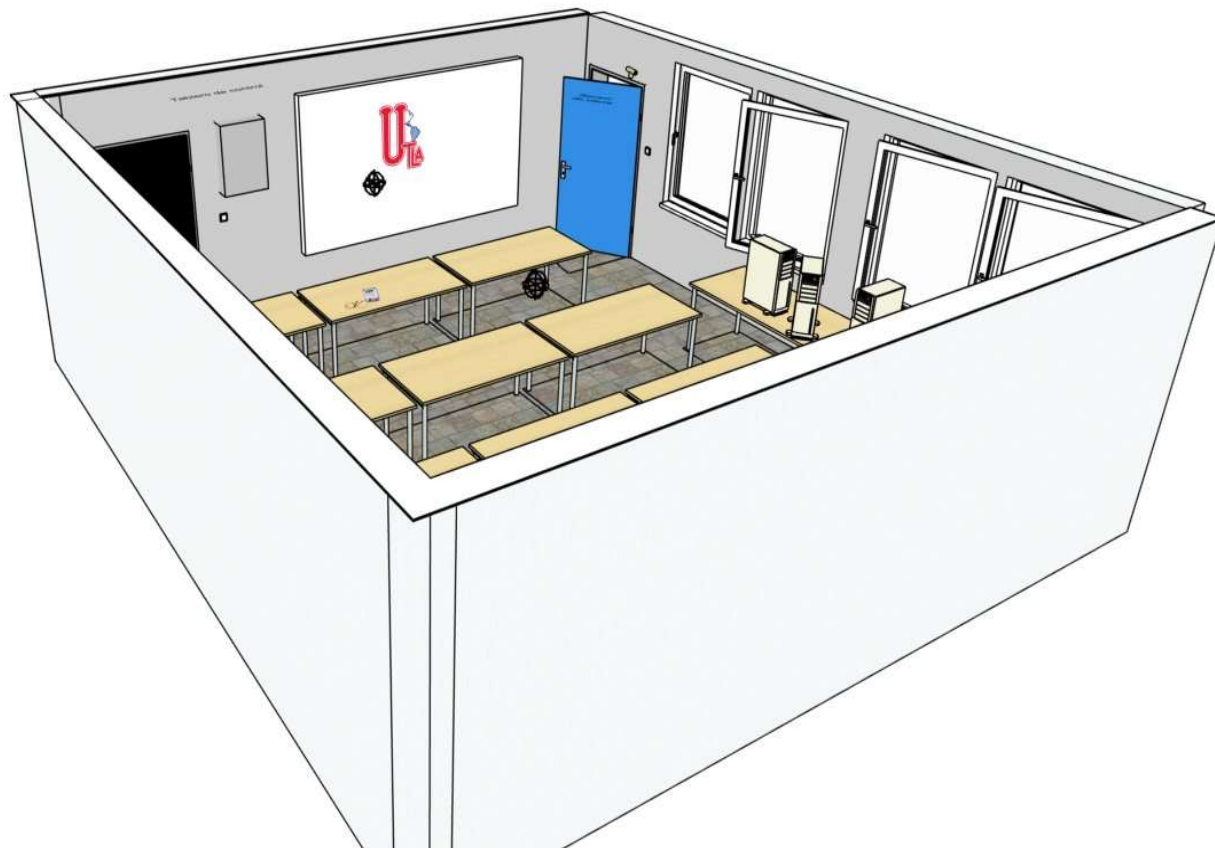
Crear una infraestructura de almacenamiento y procesamiento de datos en la nube que permita la visualización remota de los datos en tiempo real. La integración con aplicaciones móviles podría ofrecer notificaciones de alerta a los usuarios cuando se detecten niveles peligrosos de contaminantes en el aire.

Se recomienda la implementación del prototipo electrónico de monitoreo de calidad del aire en todos los salones de la Universidad Técnica Latinoamericana. Esta medida permitirá asegurar un entorno más saludable y seguro para estudiantes y personal al garantizar la reducción de patógenos contaminantes a través de un sistema automatizado de esterilización, así como el monitoreo continuo de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y dióxido de carbono (CO_2).

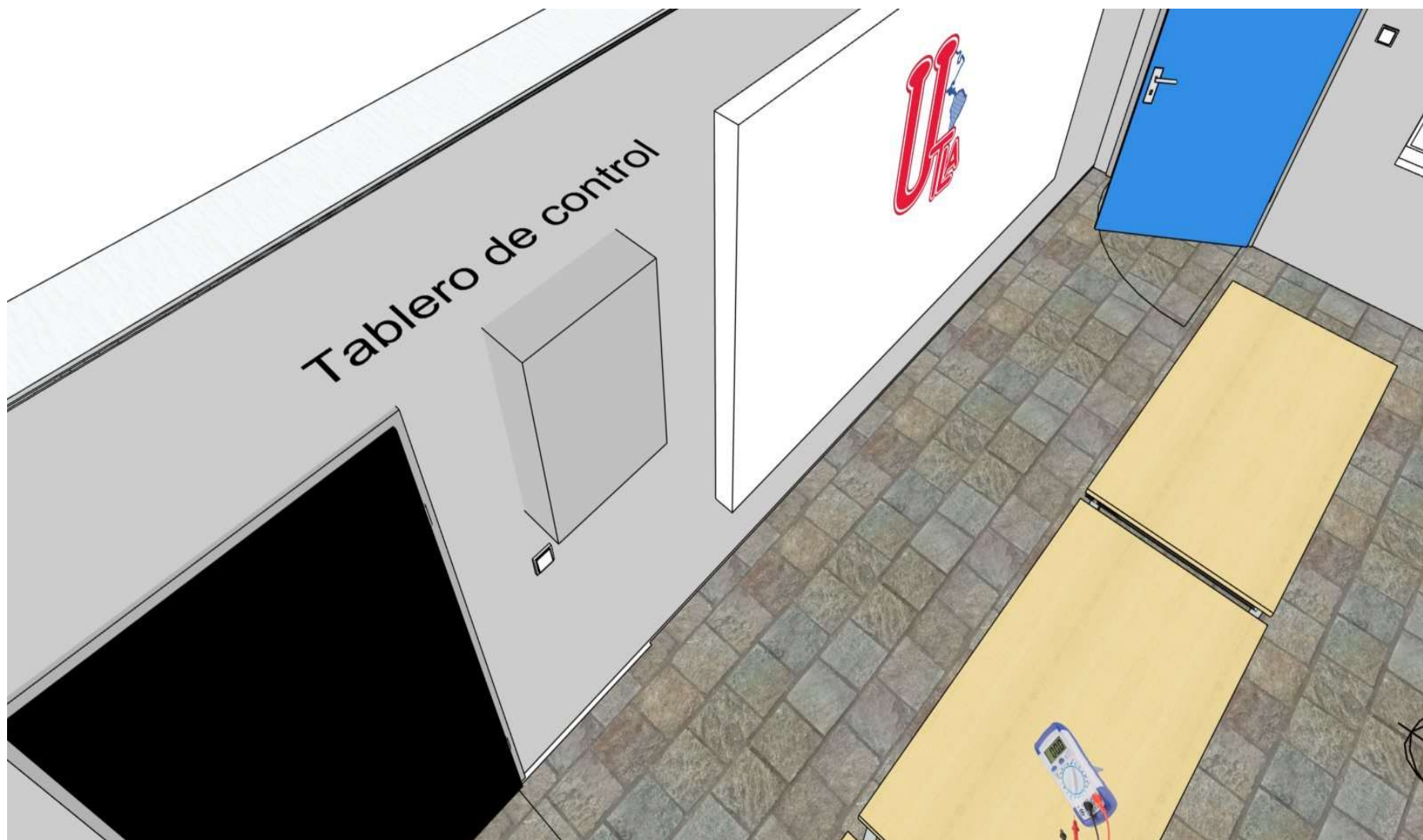


ANEXOS

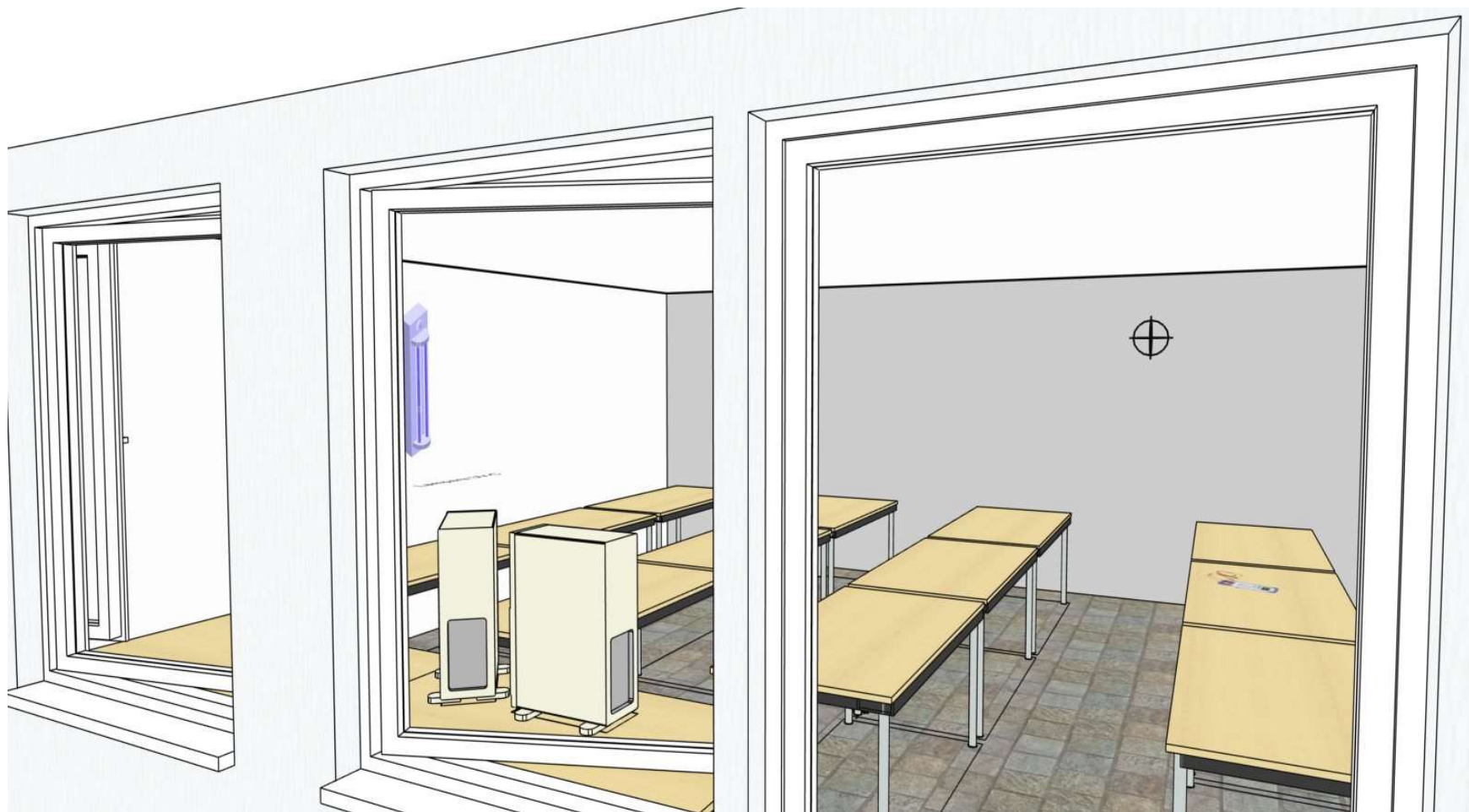
ANEXO 1 Distribución general de los equipos



ANEXO 2 Vista de tablero de control



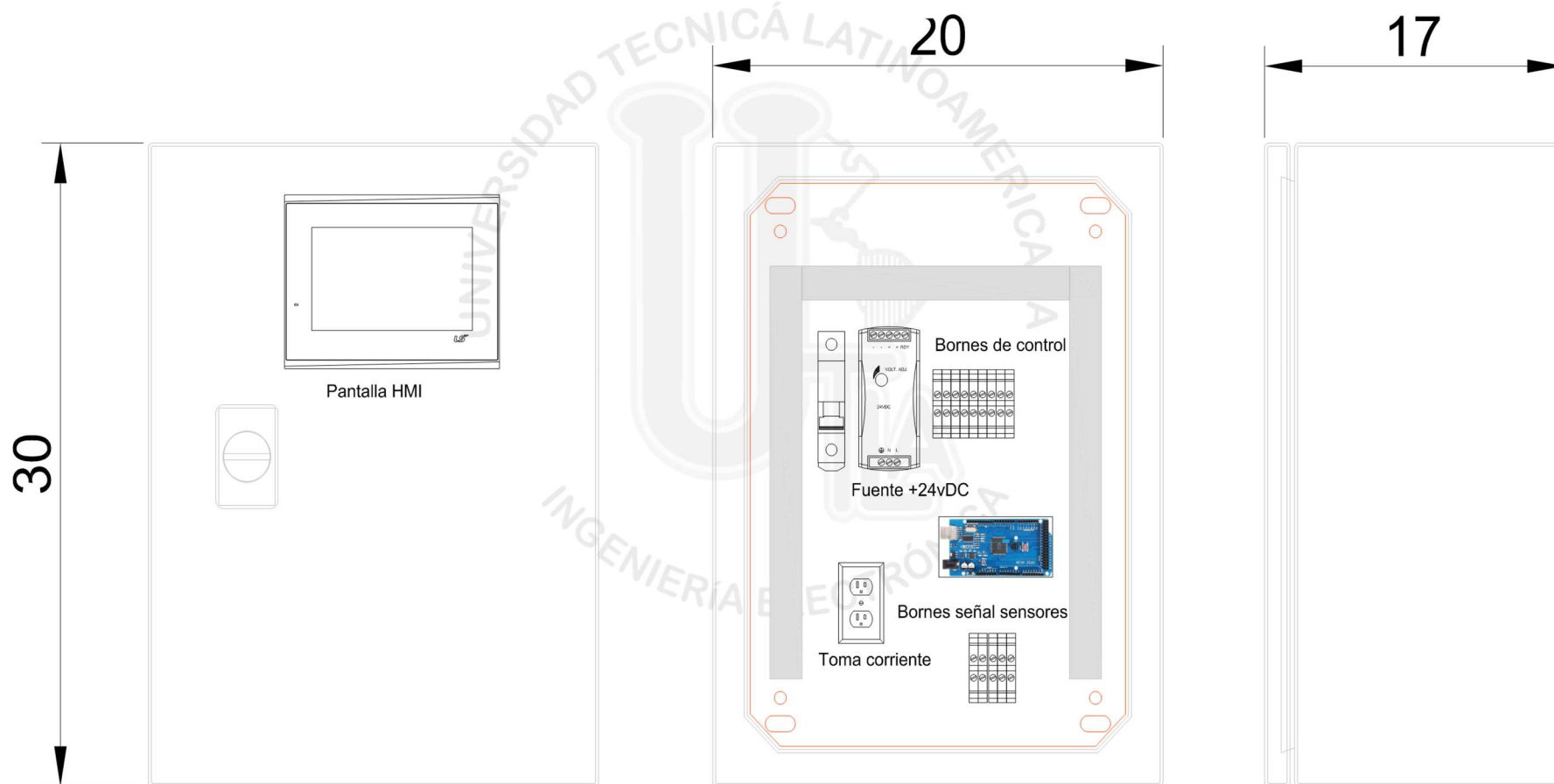
ANEXO 3 Ubicación de sensores de movimiento y sensor de compuestos orgánicos volátiles

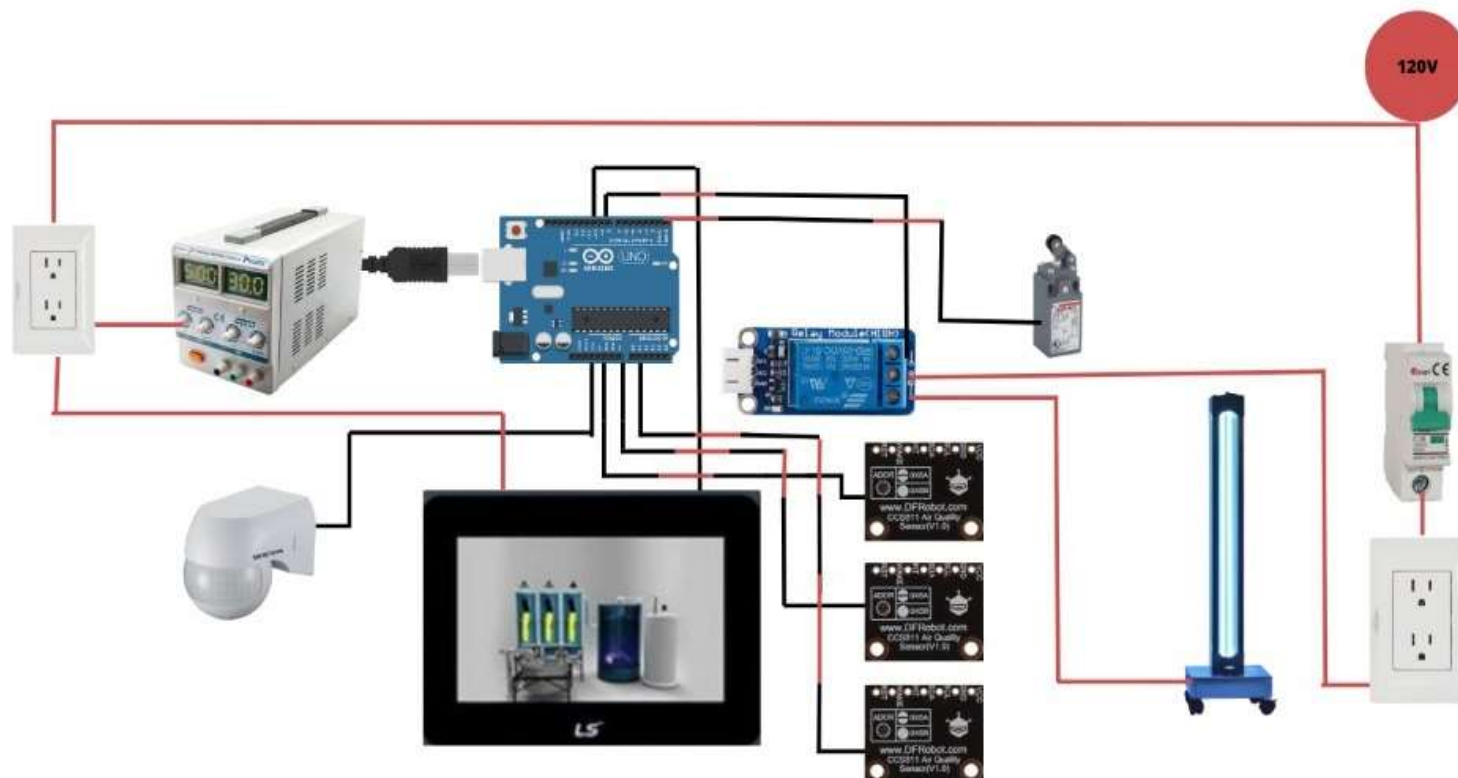


ANEXO 4 Ubicación de la lampara ultravioleta (UV-C)

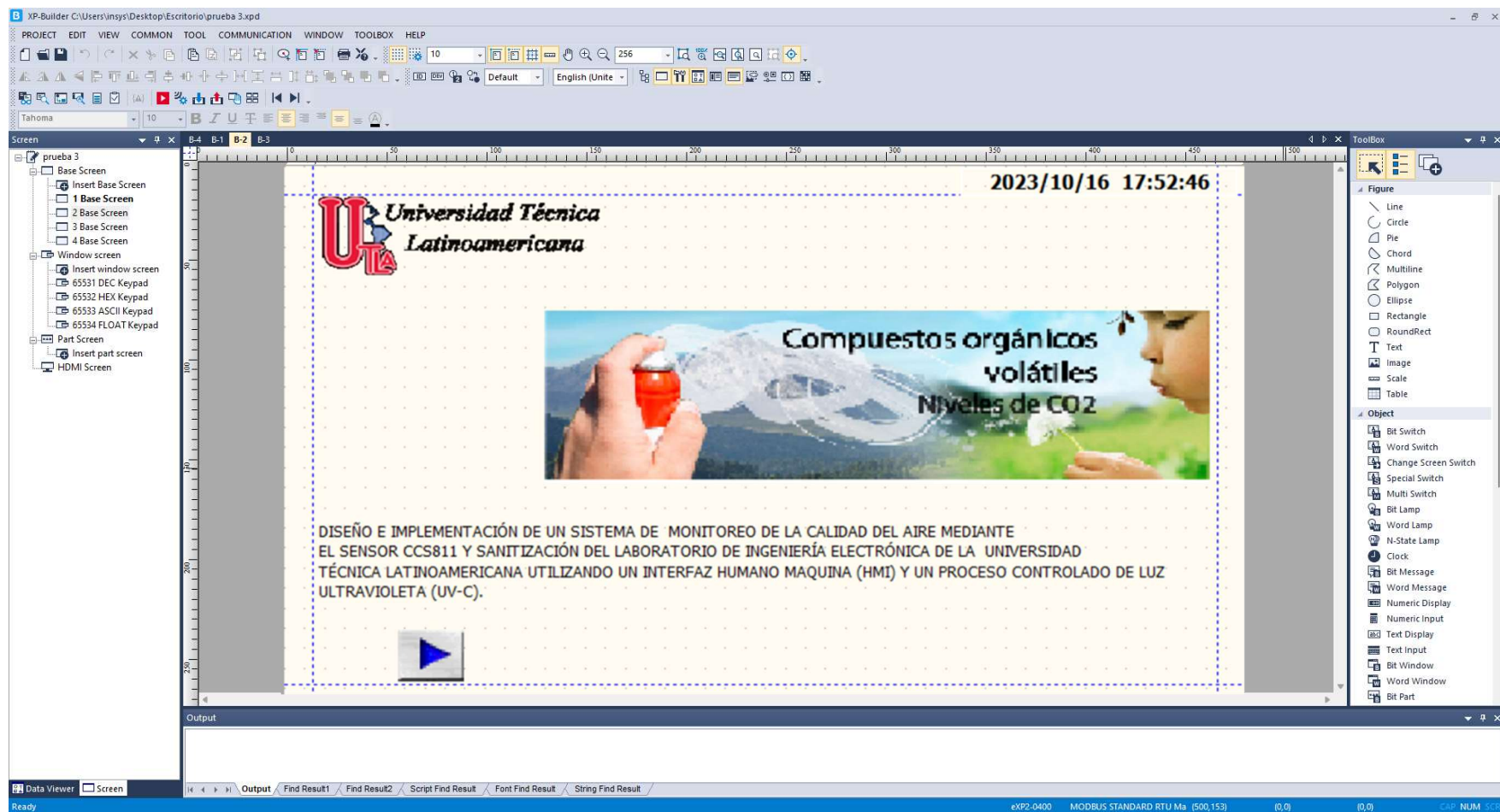


ANEXO 5 Diseño de panel de control



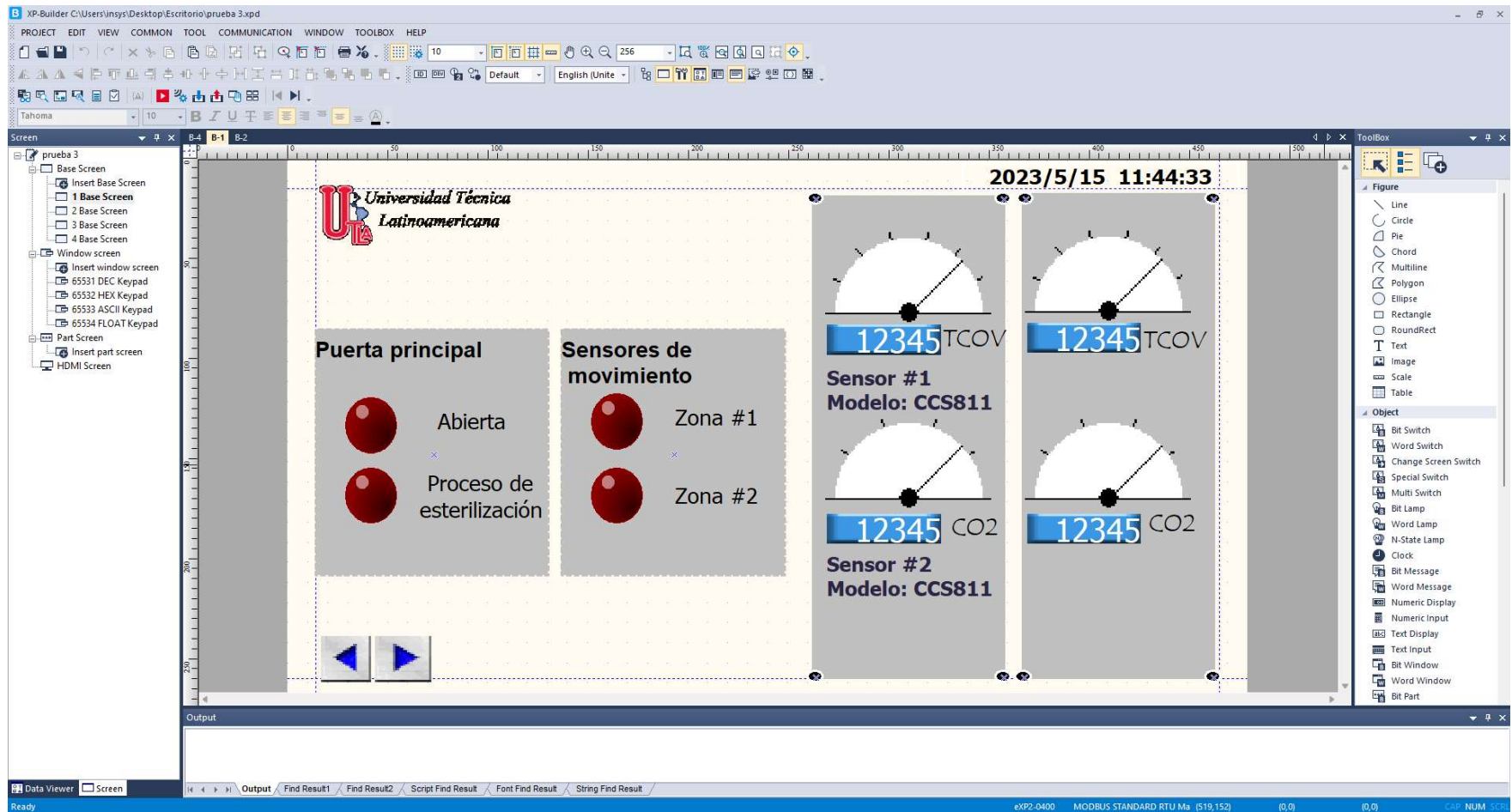


ANEXO 7 Diseños de pantallas (HMI)



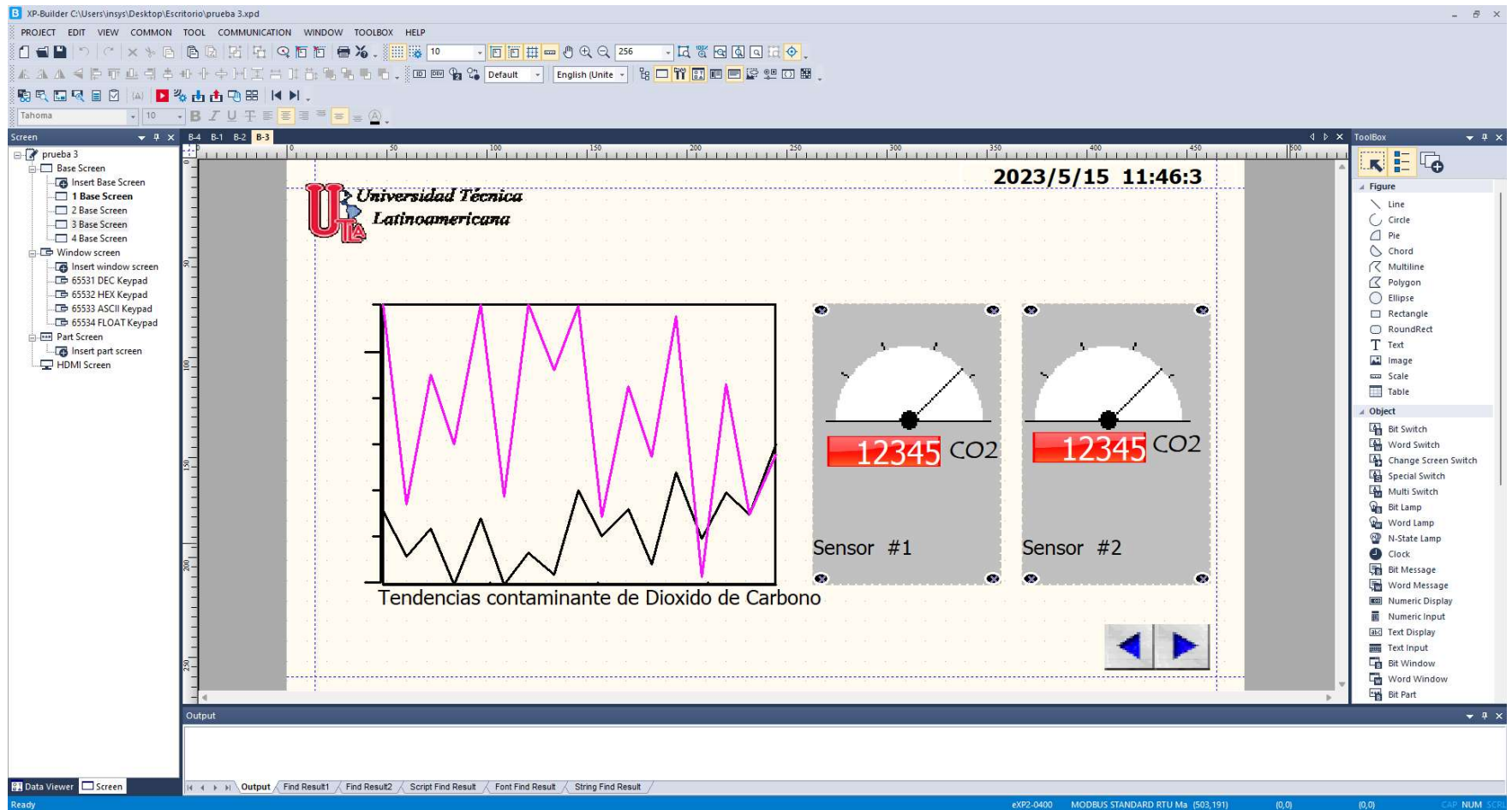


Pantalla de visualización general

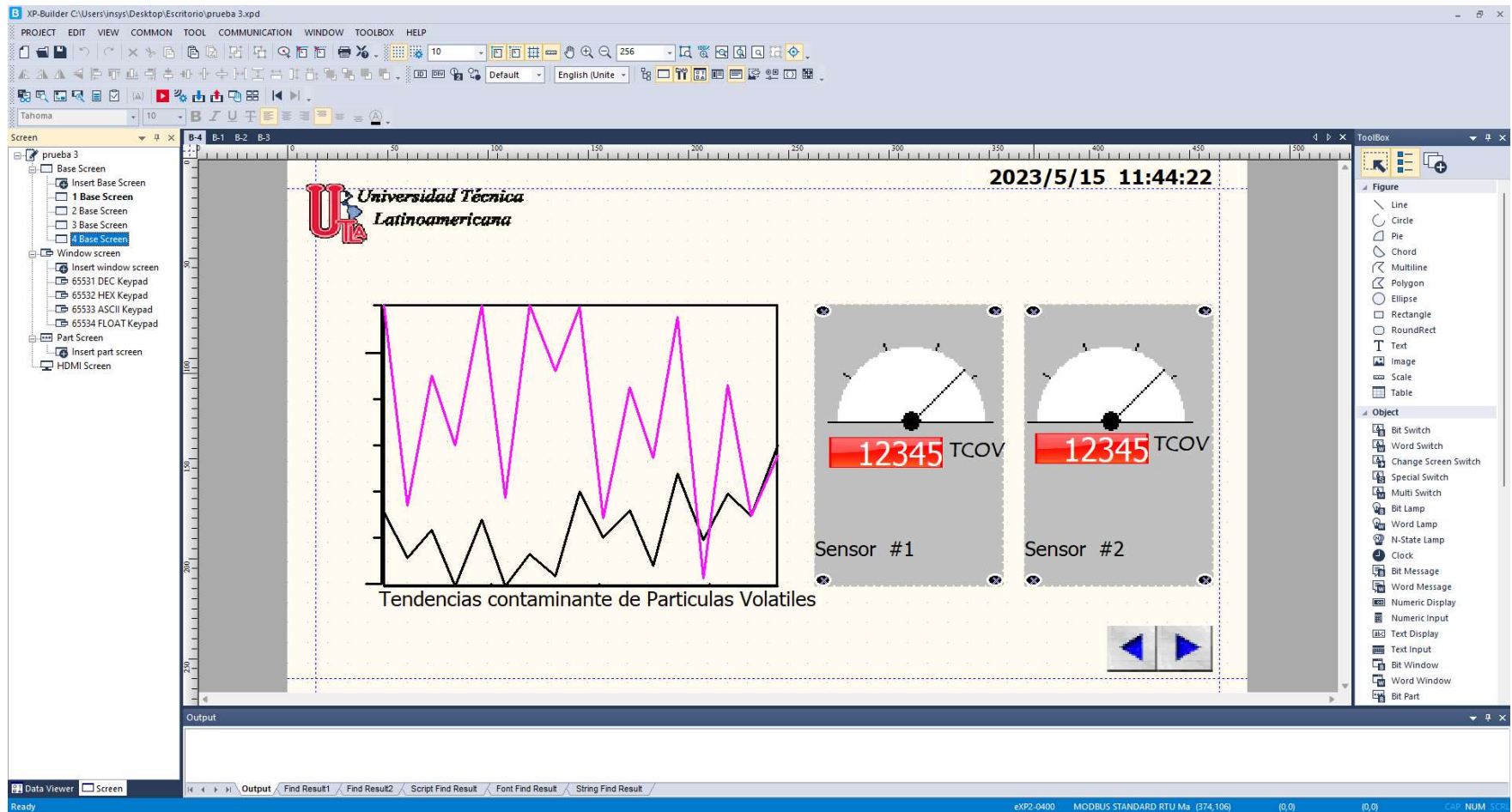




Pantalla de control sensor 1

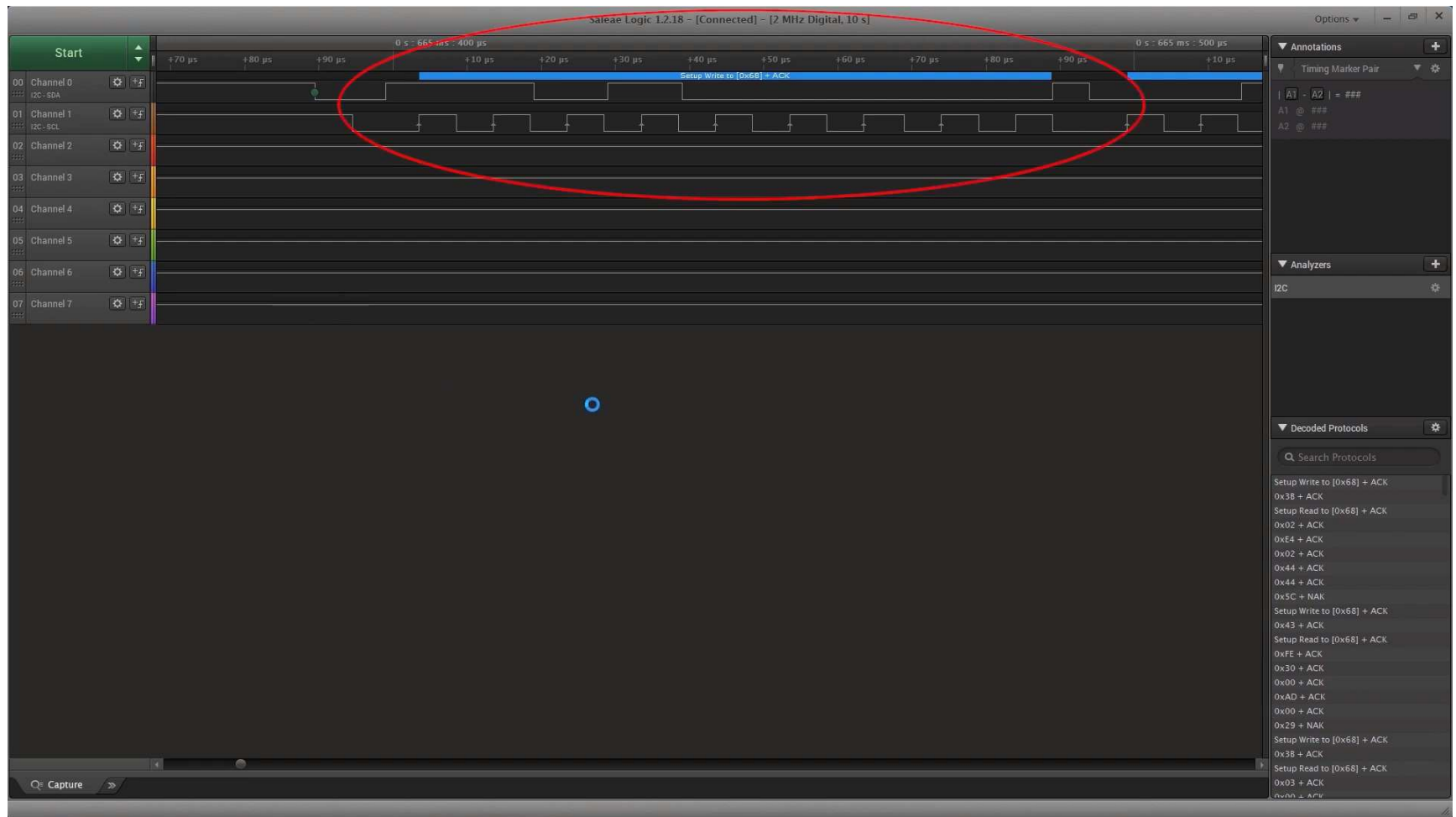


Pantalla de control sensor 2



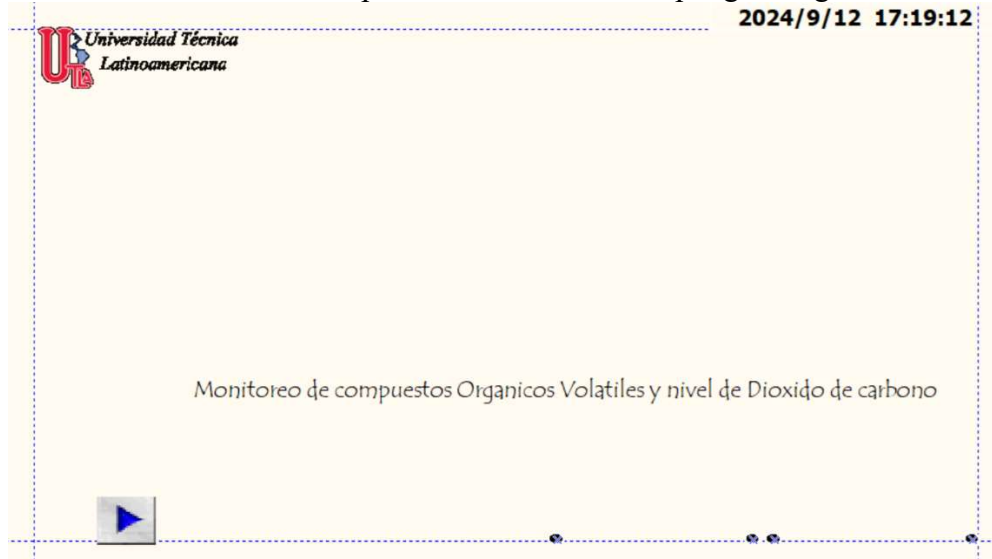


ANEXO 8 Registro de datos de sensores por medio de bus i2C

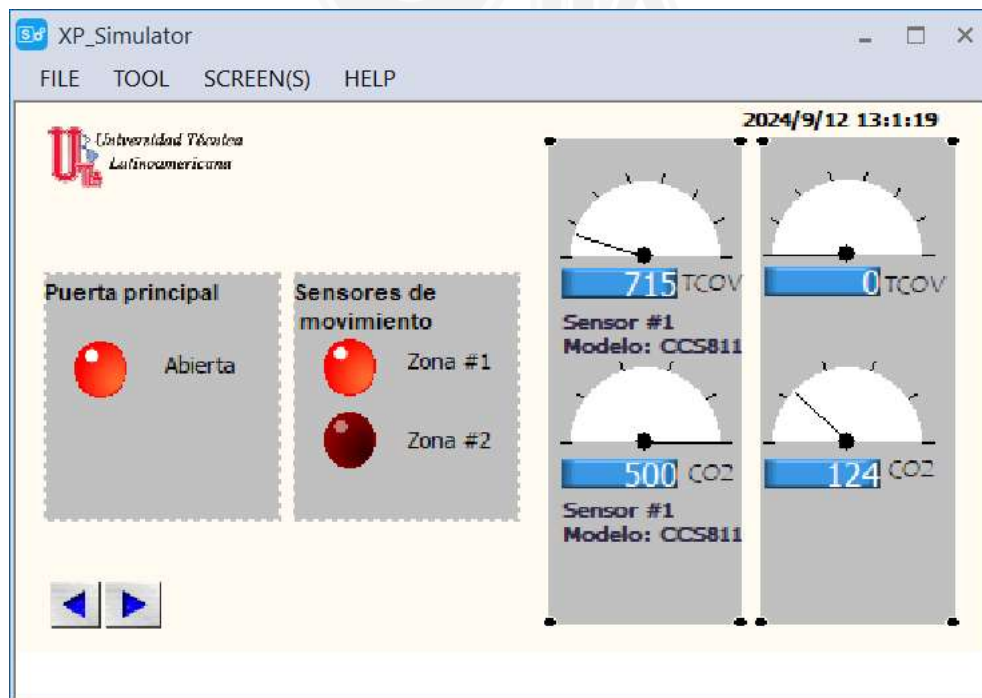


Guía de interpretación de datos

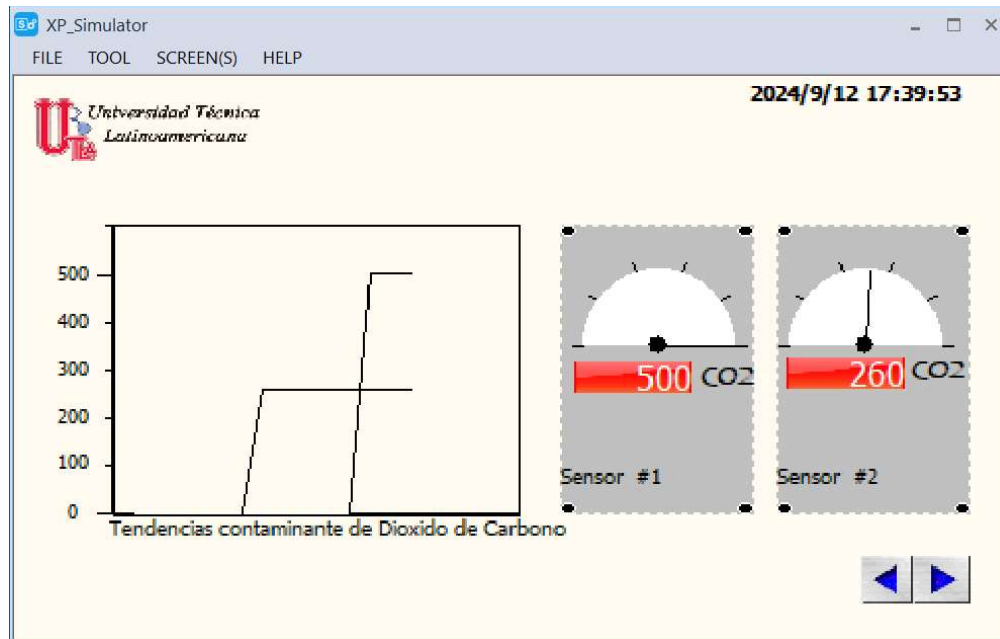
- I. Se accede inicialmente a la pantalla HMI la cual despliega la siguiente ventana.



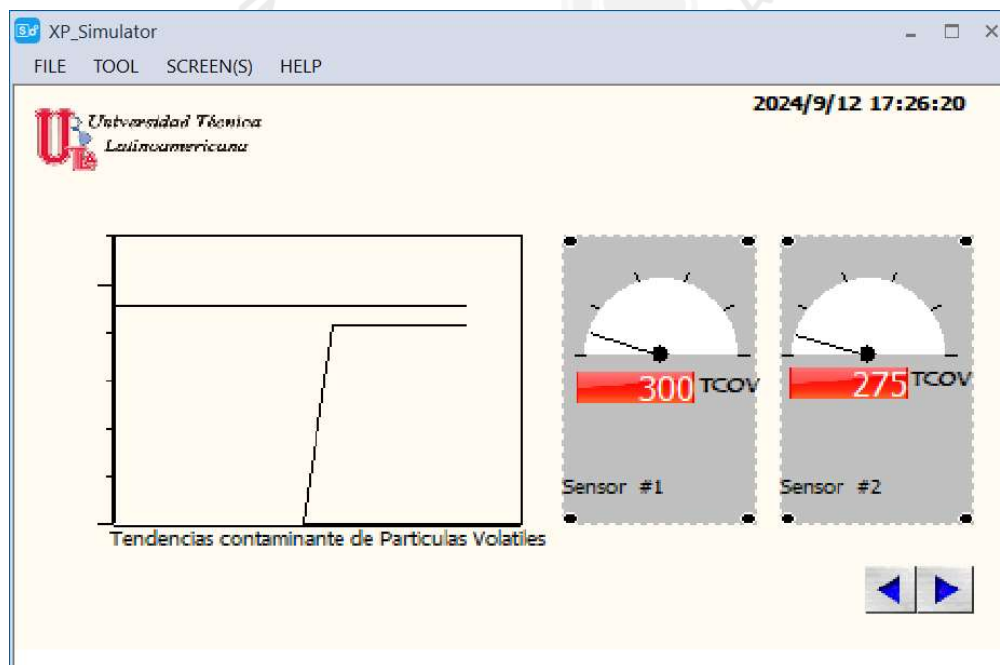
- II. Se despliega la segunda ventana donde se muestra el estado de los sensores de movimiento y las cantidades de partículas de CO₂ y TCOV que están recolectando los sensores de aire ambiente.



- III. Se despliega otra ventana donde podremos visualizar la concentración de dióxido de carbono en valores numéricos y gráficos captados por los sensores instalados dentro del laboratorio.



- IV. Podemos observar de la misma manera la cantidad de Compuestos Orgánicos Volátiles representados numéricamente y de manera gráfica en nuestra pantalla HMI.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL SENSOR CCS811 Y SANITIZACIÓN DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA, UTILIZANDO UN INTERFAZ HUMANO MAQUINA (HMI) Y UN PROCESO CONTROLADO DE LUZ ULTRAVIOLETA (UV-C).

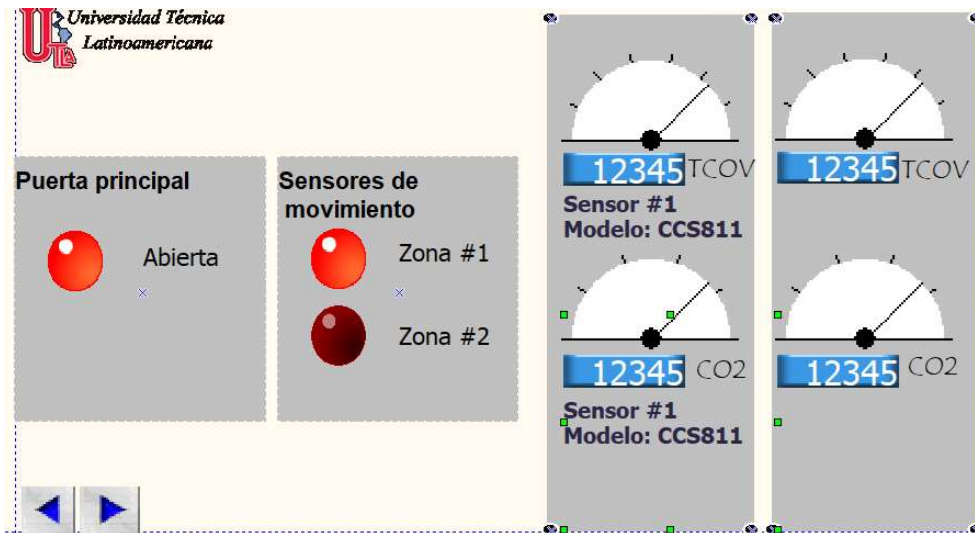
I. Pantalla de inicio

Se muestra la pantalla con la información y nombre general del proyecto.



Para avanzar a la siguiente pantalla, es necesario presionar el botón ubicado en la parte inferior izquierda de la pantalla indicada en la parte de arriba; posteriormente se desplegará la pantalla de visualización principal.

II. Se muestra la pantalla principal dividida en dos partes.



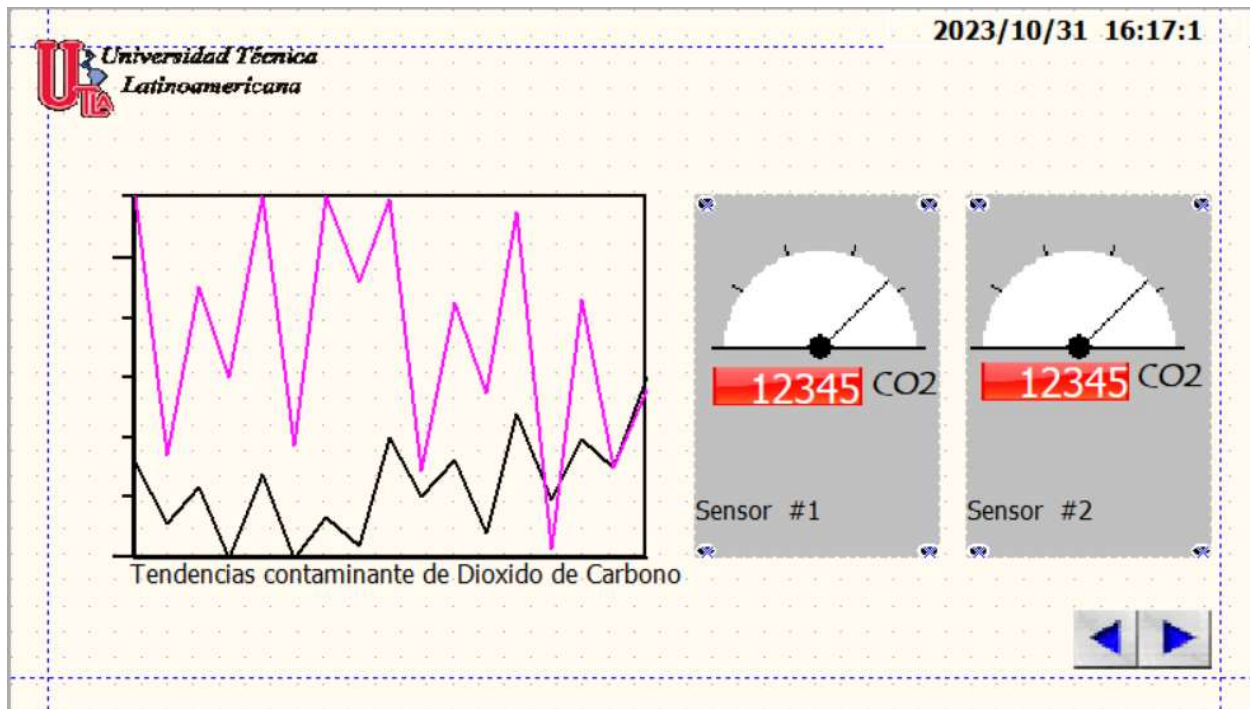
En la sección izquierda se muestra una representación visual de las variables que requieren supervisión; incluyendo el estado de la puerta principal y el proceso de esterilización. Los LED encendidos señalan la apertura de la puerta. Además, se muestra el estado de dos sensores de movimiento ubicados en el techo falso del laboratorio; si los LED están activos, estos indican que los sensores han detectado presencia de personas al interior del laboratorio y si el led que indica el estado de la puerta se encuentra activo, el sistema de esterilización no se activará, ya que la apertura de la puerta, al igual que el estado de los sensores de movimiento, es una condicionante que imposibilita la activación del proceso de esterilización.

En la sección derecha se muestran los niveles de contaminantes en tiempo real, se monitorean las variables de TCOV y CO₂ de los dos sensores ubicados en el techo falso del laboratorio, cada sensor cubre un rango de 3 metros cuadrados; el sensor CCS811 monitorea la calidad del aire con un microcontrolador de 8 bits que está integrado para ejecutar el algoritmo de conversión analógico-digital de 12 bits para lecturas de sensores y conversiones digitalizadas con una interfaz esclava I2C que permite la conexión al sistema de control maestro Arduino.

III. Para avanzar a la siguiente página o regresar a la de inicio, presiona cualquiera de las flechas.



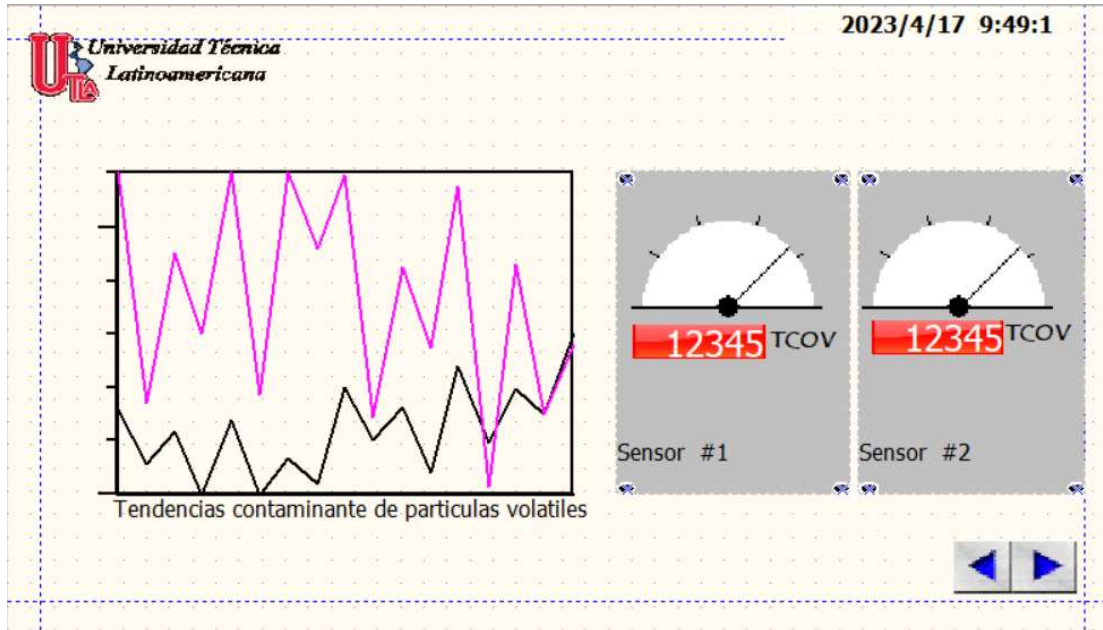
IV. Se muestra la visualización de CO₂ de los dos sensores ubicados en el techo falso del laboratorio.



Para mantener la concentración de CO₂ en el nivel recomendado para interiores, se debe de recomendar mantener valores de menos de 1000 ppm, por lo tanto, es importante el monitoreo constante de estos valores.

Concentración	Efecto
350-450 ppm	Concentración atmosférica común
600-800 PPM	Calidad fiable del aire interior
1000 ppm	Calidad aún fiable del aire interior
5000 ppm	Concentración máxima en el lugar de trabajo > 8h
6000-30000	Cuestionable

V. Se muestra la visualización de TCOV de los dos sensores ubicados en el techo falso del laboratorio.



No hay un método estandarizado para determinar la concentración total de COV (TCOV) en un ambiente interior. Sin embargo, la Comisión Europea y el estándar internacional ISO 16000-6 definen valores recomendables.

Rango TCOV	Rango de exposición	Efectos separados
<0,2 mg/m ³	Confort	No disminuye el confort
<0,2-3 mg/m ³	Multifactorial	Irritación; posible disconformidad
3-25 mg/m ³	Disconformidad	Alta disconformidad
25 mg/m ³	Tóxico	Peligrosidad para la salud

BIBLIOGRAFÍA

Impactos ambientales de los cambios en la estructura exportadora en nueve países de América Latina 1980-1995, Marianne Schaper, octubre de 1999.

Contaminación industrial en los países latinoamericanos Claudia Schatan, diciembre de 2000.

Comisión Nacional de Medio Ambiente-CONAMA, “Santiago Limpia el Aire de Santiago”. Comisión Nacional de Medio Ambiente-CONAMA, con colaboración de la Intendencia de la Región Metropolitana. DOLMEN Ediciones. Santiago de Chile, mayo de 1997.

Dean Miller, (22 de mayo de 2018). Adafruit CCS811 Air Quality Sensor Breakout, <https://learn.adafruit.com/>.

High Tech, (20 de agosto de 2012). Ultra-low power digital gas sensor solution for monitoring indoor air quality, <https://www.sciosense.com/>.

Organización Panamericana de la Salud. Calidad del aire. Calidad del aire - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud (paho.org).

American Lighting Association. Dispositivos Germinicida ultravioleta C. <https://latam.ul.com/>.

Ingeniarg. La función de las lámparas germinicida UV-C como germinicidas en instalaciones de HVAC. <https://www.ingeniarg.com/blog/24->.

Ubicación en tiempo ULTA. <https://www.waze.com/es/live-map/directions/laboratorios-utla-5a-calle-poniente-38-santa-tecla?to=place.w.177406089.1774126424.12083947>.

Instituto Nacional de Salud Pública, Evalúan la calidad del aire en América Latina y el Caribe. <https://www.insp.mx/avisos/4476-evaluan-calidad-aire.html>.

Normalización Española UNE-EN 60335-2-65:2005 Aparatos electrodomésticos y análogos.

Miguel, (22 de mayo de 2018), Calidad del aire con prototipo integrado, https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2713/Miguel_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y.

Gallego, E., Roca, F.J., Perales, J.F., Guardino, X., Berenguer, M.J., “Determining indoor air quality and identifying the origin of odour episodes in indoor environments, Journal Environmental Sciences, 21, pp.333-339 (2009).

Gallego, E., Roca, F.J., Perales, Guardino, X., "Assessment of chemical hazards in sick building syndrome situations. Determination of concentrations and origin of VOCs in indoor air environments by dynamic sampling and TD-GC/MS analysis", Springer, ISBN 978-3-642-17918-1p. 289-334, (2011).

Gallego, E., Perales, J.F., Roca, F.J., Guardino, X., "Experimental evaluation of VOC removal efficiency of a coconut shell activated carbon filter for indoor air quality enhancement". Building and Environment (2013).

Seinfeld, J.H. y Pandis, S.N., 1998. Atmospheric Chemistry and Physics: from airpollution to climate change. John Wiley & Sons, Inc., pp 1323.

Sharp, T., 1945. Town planning. Penguin book.

Samet, J.M. and Utell, M.J., 1990. The risk of NO₂. What have we learned from epidemiologic and clinical studies. Toxicology and Industrial Health, 6(2), 247-262.

Rosenlund, M. et al., 2008. Comparison of regression models with land use and emissions data to predict the spatial distribution of traffic-related air pollution in Rome. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology 18, 192-199.

Romieu, I. et al, 2002. Antioxidant supplementation and lung functions among children with asthma exposed to high levels of air pollutants. American Journal of Respiratory and Critical Care medicine, 166: 703-709.

Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

Querol, X. et al., 1998. Seasonal evolution of atmospheric suspended particles around a large coal-fired power station. Atmospheric Environment, 32.

Pratsinis, S.E. et al., 1988. Source contribution of the fine carbonaceous aerosol by principal component-stepwise regression analysis. Environmental Science and Technology 22, 212-216.

Palacios, M. y Martin, F., 2002. Metodología a macro escala aplicada a la elaboración de inventarios de emisiones de contaminantes a la atmósfera para la comunidad autónoma de Madrid y su área de influencia. Centro de Información Tecnológica, CIT, Vol. 13, Nº 3, Chile.

NAPCA, 1970. Air Quality Criteria for Sulfur Oxides, AP-50. Washington D.C. Murena, F., 2004. Measuring air quality over large urban areas: development and application of an air pollution index at the urban area of Naples. Atmospheric Environment 38, 6195-6202.

Millán, M., 2009. Estudio y evaluación de la contaminación atmosférica por ozono troposférico en España. Informe Final. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM).

Matensson, E. M. et al., 2002. Laboratory simulations and parametrization of the primary marine aerosol production. *Journal of Geophysical Research* accepted for publication.

Martín, F. et al., 2011. Informe 1º semestre 2010. Acuerdo de Encomienda de Gestión entre el Ministerio de Medio Ambiente y Ciemat para la Aplicación de la Modelización en la Evaluación de la Calidad del Aire en España. Informe para la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. CIEMAT. Ref: 23/2011.

Martín F., Palomino, I., Vivanco, M. G., 2009. Application of a method for combining measured data and modeling results in air quality assessment in Spain. *Física de la Tierra. Recent Advances in Meteorology and Climatology*, Vol.21, 65-78.

Marshall, J.D. et al., 2008. Within-urban variability in ambient air pollution: comparison of estimation methods. *Atmospheric Environment* 42, 1359-1369.

Lewis, P.H., 1964. Quality corridors for Wisconsin. *Landscape Architecture Quart* 1, 100-107.

Kassomenos, P. et al., 1999. Air quality indicators for uniform indexing of atmospheric pollution over large metropolitan areas. *Atmospheric Environment* 33, 1861-1879.

Jensen, S.S., 1998. Mapping human exposure to traffic pollution using GIS. *Journal of Hazardous Materials* 61, 385-392.

Jacobson, M.Z., 2002. *Atmospheric pollution: history, science and regulation*. Cambridge University Press, Cambridge.

HEI (Health Effects Institute), 2000. Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality. A Special Report of the Institute's Particle Epidemiology Reanalysis Project. Health Effects Institute.

Health-Canada and Environmental Canada, 1999. National Ambient air quality objectives for ground-level ozone. Federal-Provincial Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines.

Fusco D. et al., 2001. Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy. *European Respiratory Journal* 17, 1143-1150.

Fort, R., 2007. La contaminación atmosférica en el deterioro del patrimonio monumental: Medidas de prevención. En *Ciencia, Tecnología y Sociedad para una conservación sostenible del patrimonio pétreo*. Pérez-Monserrat, E.M., Gómez-Heras, M. Álvarez de

Buergo, M., Fort, R. (eds). Dpto. Publicaciones Universidad Popular José Hierro, San Sebastián de los Reyes. 57-70.

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

Brunekreef, B. y Fosberg, B., 2005. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. *European Respiratory Journal* 26(2), 309-318.

Artaxo, P. et al., 1994. Fine model aerosol composition at three long-term atmospheric monitoring sites in the Amazon basin. *Journal of Geophysical Research* 99, 22857-22868.

Andreae, M.O. y Crutzen, P.J., 1997. Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science* 276, 1052-1058.

Yu, J. et al., 1999. Observation of gaseous and particulate products of monoterpene oxidation in forest atmosphere. *Geophysical Research Letters* 26, 1145-1148.

WHO Regional Office for Europe, 2006. Air Quality Guidelines for Europe. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Copenhagen.

WHO Regional Office for Europe, 1999. Environmental Health Criteria for Carbon Monoxide. Copenhagen.

WHO Regional Office for Europe, 1994. Update and revision of the air quality guidelines for Europe. Report of a WHO planning meeting. Copenhagen, document EUR/ICP/CEH 230.

Watanabe, N. et al., 2005. Decreased number of sperms and Sertoli cells in mature rats exposed to diesel exhaust as fetuses. *Toxicology Letters*, 155: 51-55.

Asamblea Legislativa. (4 de mayo de 1998). Ley de Medio Ambiente. Diario Oficial, pág. 79 Tomo 339.

Burrows et al. (1998). Atmospheric remote-sensing reference data from GOME: part 1. Temperature-dependent absorption cross-sections of NO₂ in the 231 - 794 nm range. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 60(6), 1025 -1031.

Diario Oficial. (26 de agosto de 2003). NSO 13.11.01:01 Calidad del Aire Ambiental Inmisiones Atmosféricas. Diario Oficial (Tomo 360), págs. 16-20.

Echarri, L. (1998). Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. España: Teide.

EcuRed. (12 de abril de 2011). EcuRed. Recuperado el 28 de enero de 2016, de http://www.ecured.cu/Di%C3%B3xido_de_Nitr%C3%B3geno.

Fuentes, R. A. (2012). Implementación de Instrumentación Óptica para el Monitoreo Remoto de la Calidad del Aire. Tesis Doctoral, Universidad de Concepción, Chile.

National Geographic. (s.f.). Recuperado el 8 de enero de 2016, de <http://nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/acid-rain-overview>.

OMS. (2003). Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Facts of Health and the Environment, 1.

OPS. (2005). Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe. Washington, D.C: OPS, Biblioteca Sede OPS.

Orphal, J. C. (8 de marzo de 2003). Ultraviolet and visible absorption cross-sections for HITRAN. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 82, 491–504.

UCM. (2006). Universidad Complutense de Madrid. (U. C. Madrid, Editor, & D. D. Experimentales, Productor) Recuperado el 28 de enero de 2016. http://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/contaminacion_aerea.html.

Valeour, B. (2003). Molecular Fluorescencia: Principles and Applications. Toronto: WileyVCH.

OMS, O. M. (26 de 11 de 2011). Obtenido de Afrontar el reto mundial de garantizar un aire limpio: http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2011/air_pollution_20110926/es/.

A

B

C

D

E

F

G

A

B

C

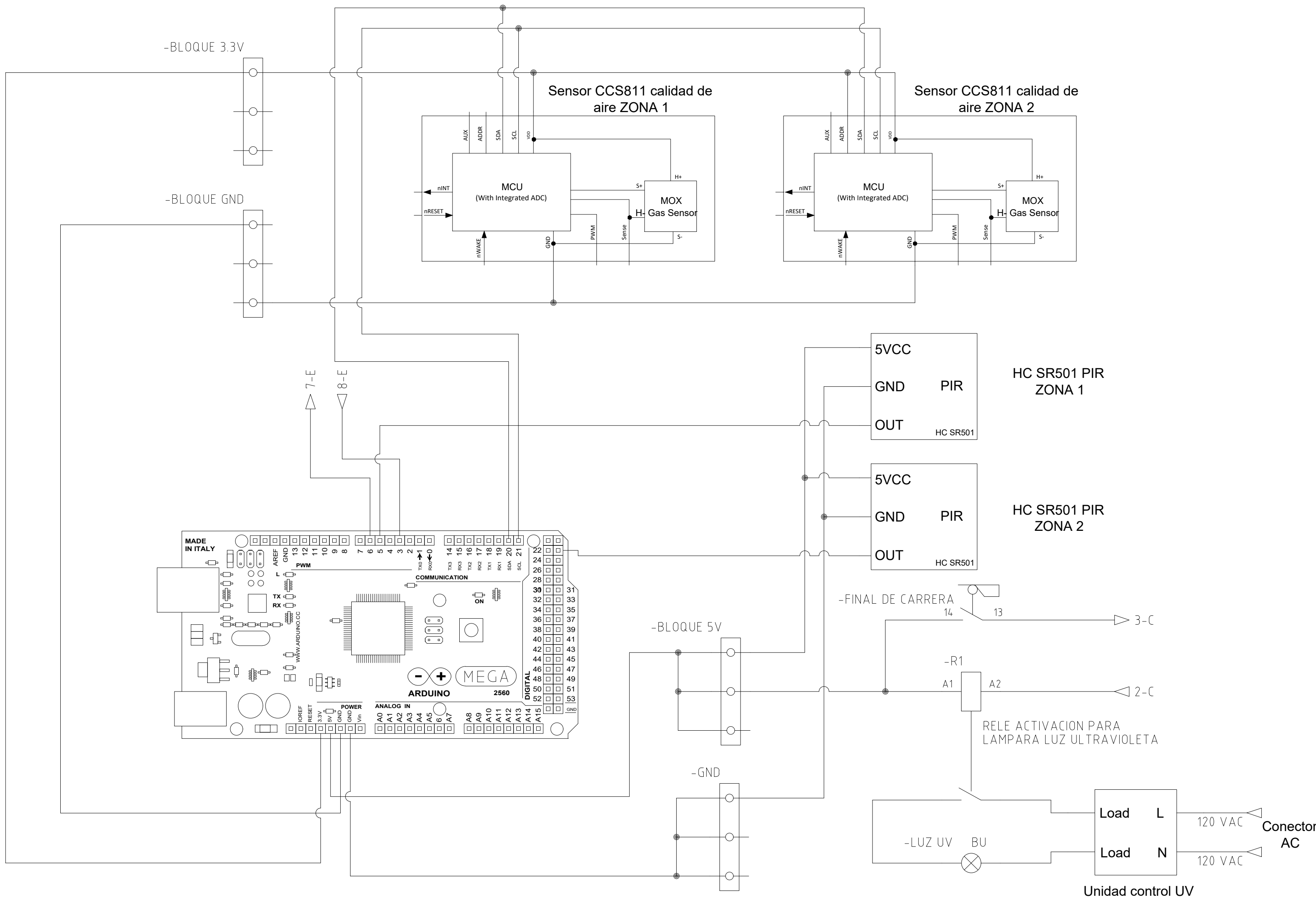
D

E

F

G

Protegido por derechos de autor. Queda prohibida la difusión o reproducción de este documento, así como la utilización y divulgación de su contenido, a no ser que se autorice expresamente



Tamaño carta

Todas las medidas en mm, a menos que se especifique lo contrario

Proyecto:		3			Fecha:		Cliente:		
		2			Dibujado por:				
Referencias:		1			Revisado por:		Archivo:	Escala	Pagina:
		No.	Fecha	Nota de revisión	Aprobado por:		Etapas:	1:1	Siguiente:



Todas las
medidas en mm, a
menos que se
especifique
lo contrario