



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE  
EXTRACCIÓN DE GASES SOLVENTES, UTILIZANDO UN PLC S7 1200 Y  
MONITOREO EN LÍNEA MEDIANTE UN SERVIDOR WEB,  
PARA LA EMPRESA DE GIGANTOGRAFÍAS R2M PRINT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniería Electrónica

AUTOR: ROBERT WASHINGTON MUÑOZ MORÁN

AUTOR: DENISS FERNANDA OLMEDO SOTOMAYOR

TUTOR: ING. LUIS ANTONIO NEIRA CLEMENTE

Guayaquil-Ecuador

2022

## I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Robert Washington Muñoz Morán con documento de identificación N° 0926313446 y Deniss Fernanda Olmedo Sotomayor con documento de identificación N° 0920998465; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 30 de agosto del año 2022

Atentamente,



Robert Washington Muñoz Morán

0926313446



Deniss Fernanda Olmedo Sotomayor

0920998465

## II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Robert Washington Muñoz Morán con documento de identificación No. 0926313446 y Deniss Fernanda Olmedo Sotomayor con documento de identificación No. 0920998465, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: "Diseño e implementación de un sistema automatizado de extracción de gases solventes, utilizando un PLC S7 1200 y monitoreo en línea mediante un servidor web, para la empresa de gigantografías R2M PRINT", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 30 de agosto del año 2022

Atentamente,

Robert Washington Muñoz Morán

0926313446

Deniss Fernanda Olmedo Sotomayor

0920998465

### III. CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACION

Yo, Luis Antonio Neira Clemente con documento de identificación N° 0909136582, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE EXTRACCIÓN DE GASES SOLVENTES, UTILIZANDO UN PLC S7 1200 Y MONITOREO EN LÍNEA MEDIANTE UN SERVIDOR WEB, PARA LA EMPRESA DE GIANTOGRAFÍAS R2M PRINT, realizado por Robert Washington Muñoz Morán con documento de identificación N° 0926313446y por Deniss Fernanda Olmedo Sotomayor con documento de identificación N° 0920998465, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 30 de agosto del año 2022

Atentamente,



---

Ing. Luis Antonio Neira Clemente

C.I.: 0909136582

#### **IV. Dedicatoria y agradecimiento**

##### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de investigación a las personas apasionadas por la salud y la satisfacción. Este proyecto de ingeniería ha logrado contribuir al bienestar y salud de personas que se hallan en el medio publicitario, personas que desconocen muchas veces el efecto de los Compuestos Orgánicos Volátiles que emiten estas máquinas.

Dedico también el artículo a los ingenieros que tienen espíritu colaborador y desean aportar al campo de la salud; y demostrar que, por medio de la ingeniería como tal, teniendo como guía artículos de SALUD, se puedan plasmar soluciones para este tipo de inconvenientes trabajando en conjunto a beneficio de la humanidad.

Robert Washington Muñoz Morán

## **Agradecimiento**

A mis padres quienes incondicionalmente y en todo momento a lo largo de mis estudios me apoyaron con el avance y finalización de la carrera, y a estas alturas mi forma de retribuirles en agradecimiento es obteniendo el título.

A mi esposa, quien me ha servido de motivación ya que ella comenzó su carrera después de mí, y el año pasado obtuvo su título a pesar de todas las circunstancias vividas, siendo un ejemplo de perseverancia y demostrándome que todo es posible.

A mi hermana mayor quien a los 37 años decidió estudiar una carrera universitaria, y a sus 41 años embarazada logró obtener su tan anhelado título. Ahora cursa su doctorado y sigue siendo mi ejemplo de superación.

A un par de amigos salesianos que también a pesar de su poco tiempo por sus: trabajos, vida personal y demás responsabilidades, siguieron sus estudios con maestrías y alcanzando cada uno de ellos su meta, sin importar los obstáculos.

A todos los ingenieros de la UPS que de una u otra manera sirvieron de guía y motivación para no perderme en el camino hacia la meta, siendo un ejemplo de superación a seguir.

Sobre todo, agradezco a Dios por estar ahí siempre conmigo acompañándome y guiándome a lo largo de mi carrera, por mostrarme siempre el camino y ser mi fortaleza al brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias. Hoy cumplo con mis procesos, un poco demorados, pero siempre buscando avanzar gracias a él.

Robert Washington Muñoz Morán

## **V. Resumen**

La empresa R2M PRINT utiliza un equipo para impresión de la publicidad, en esta área se utiliza tinta solvente como parte del proceso de impresión, por lo que hay contaminación de compuestos orgánicos volátiles (COV o VOC - siglas en inglés). Para el secado de la tinta se utiliza calor, con lo que se eleva la temperatura en el lugar, lo que provoca evaporación en forma de gases. Estos COV pueden ingresar al cuerpo humano por contacto en la piel o por inhalación del operador de máquinas.

La ejecución de este proyecto ambiciona salvaguardar la salud de los trabajadores que se encuentran en este ambiente, utilizando un sistema de control el cual consta de un sensor de COV, el MQ 138, para medir las partes por millón existentes en el área. Con estos datos programar un control PID en un PLC S7 1200 para controlar la renovación de aire y así descontaminar el área de los -COV-.

Con la información obtenida en la “Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades”, se logra conocer el límite de exposición permitido, de las sustancias expuestas en el aire. Por lo que, para este proyecto, luego de tomar varias lecturas de PPM se ajuste el punto mínimo permitido, con ayuda del extractor y ventilador de aire; obteniendo mejores resultados en cuanto a la concentración de gases en el ambiente.

### **Palabras claves**

Solventes, compuestos orgánicos volátiles, sensor MQ 138, partes por millón, renovación de aire, control PID.

## **VI. Abstract**

The R2M PRINT company uses equipment for advertising printing, in this area solvent ink is used as part of the printing process, so there is contamination of volatile organic compounds (VOC or VOC - acronym in English). To dry the ink, heat is used, which raises the temperature in the place, which causes evaporation in the form of gases. These VOCs can enter the human body through skin contact or through inhalation by the machine operator.

The execution of this project aims to safeguard the health of the workers who are in this environment, using a control system which consists of a VOC sensor, the MQ 138, to measure the parts per million existing in the area. With these data, program a PID control in a PLC S7 1200 to control the air renewal and thus decontaminate the -VOC-area.

With the information obtained in the "Agency for Toxic Substances and Disease Registry", it is possible to know the allowed exposure limit of the substances exposed in the air. Therefore, for this project, after taking several PPM readings, the minimum point allowed is adjusted, with the help of the extractor and air fan; obtaining better results in terms of the concentration of gases in the environment.

### **Keywords**

Solvents, volatile organic compounds, MQ 138 sensor, parts per million, air renewal, PID control.



## Índice de contenido

I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	2
II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	3
III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	4
IV. Dedicatoria y agradecimiento .....	5
V. Resumen.....	7
<i>Palabras claves</i> .....	7
VI. Abstract .....	8
<i>Keywords</i> .....	8
VII. Introducción.....	10
1. <i>Revisión de la literatura</i> .....	10
2. <i>Marco teórico</i> .....	14
3. <i>Metodología</i> .....	20
4. <i>Interpretación de resultados</i> .....	25
4.1. PLC programado en condiciones ideales, variador vs. MQ 138: 0 HZ con 0 VDC, y 60 HZ con 5 VDC .....	25
4.2. PLC programado en: 0 HZ con 0 VDC, y 60 HZ con 1 VDC .....	27
4.3. PLC programado con parámetros de la nueva curva de sensibilidad.....	27
4.4. PLC programado considerando mantener máximo 10 PPM sensadas .....	28
5. <i>Discusión</i> .....	29
6. <i>Conclusiones</i> .....	32
7. <i>Referencias bibliográficas</i> .....	34

## VII. Introducción

### 1. Revisión de la literatura

A nivel mundial una de las principales complicaciones es la contaminación, que a su vez causa efectos negativos en la salud. Para la empresa R2M-PRINT, una de sus principales dificultades es la agrupación de contaminantes por compuestos orgánicos volátiles o COV dentro de ella.

Hernández, (2006): considera que los COV pertenecen a una categoría de sustancias contaminantes que han recibido énfasis en los últimos años. La expresión COV (VOCs, volatile organic compounds por sus siglas en inglés) incluye un gran número de especies químicas que son tóxicas para la salud o bien son la principal fuente de reacciones fotoquímicas en la atmósfera produciendo riesgos ambientales diversos. Este tipo de compuestos tienen un alto valor comercial debido a sus múltiples usos en la vida diaria. Se definen como “compuestos orgánicos volátiles (COV), distintos del metano, de naturaleza antropogénica capaces de producir oxidantes fotoquímicos en presencia de luz solar por reacción con óxidos de nitrógeno”. Pág.192. [6]

En el siglo XXI, la internet de las cosas o IOT (Internet of Things) son tecnologías de avanzada que han formado parte de proyectos muy importantes. Este proyecto ha permitido conectarse de forma inteligente a sensores, dispositivos, plataformas, etc. Para ORACLE, (2022), describe a la -IOT- como “una red de objetos físicos ("cosas") que llevan incorporados sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. Estos dispositivos van desde objetos domésticos comunes hasta herramientas industriales sofisticadas. Con más de 7 mil millones de dispositivos -IOT- conectados en la actualidad, los expertos previeron que este número aumentaría a 10 mil millones para el 2020 y será de 22 mil millones para el 2025. Oracle cuenta con una red de socios de dispositivos”. [12]

La ASTDR, (2022): Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry ) - en una serie de declaraciones de salud pública sobre sustancias peligrosas y sus efectos sobre la salud (EEUU, 2018), declara sobre “los efectos sobre la salud para la exposición a cualquier sustancia peligrosa van a depender de: la dosis, la duración y el tipo de exposición, la presencia de otras sustancias químicas, así como de las características y los hábitos de la persona”

Una forma de reducir la contaminación por compuestos orgánicos volátiles COV es haciendo renovación de aire, esto consiste en extraer aire contaminado e ingresar aire del exterior. Pero la renovación de aire como tal, no se apega a las PPM en sitio, sino a reglas que definen de manera estandarizada las renovaciones por hora que deberán hacerse según el lugar donde se encuentre; tales como: auditorios, bibliotecas, oficinas, laboratorios, talleres de soldadura, cabinas de pintura, etc. [3]

Francisco Martín menciona en una red social orientada al uso empresarial en su artículo “Ventilar correctamente según norma DIN 1946-G:

Una persona respira aproximadamente 12.000 litros de aire al día. Al hacerlo, nuestro organismo transforma el oxígeno en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El resultado de esto es que el aire que expulsamos contiene un 4% menos de oxígeno y un 4% más de CO<sub>2</sub>. Esto no supone ningún problema, siempre que nos encontremos al aire libre. Pero cuando estamos en una habitación cerrada, la proporción de oxígeno que necesitamos para vivir se consume con rapidez. El contenido de CO<sub>2</sub> en el aire puede aumentar de forma continua, en ese caso, sentimos un mayor cansancio y una notable pérdida de rendimiento. Por eso en habitaciones cerradas se recomienda vigilar continuamente los valores de CO<sub>2</sub> con dispositivos de medición del aire ambiente. [...] De este modo será posible ofrecer a tiempo un suministro de oxígeno suficiente, siempre y cuando ventilemos de forma correcta. Al mismo tiempo, estaremos reduciendo la carga de coronavirus en el aire. (Martín, Francisco, 2021) [9]

Rigiéndonos al estándar más similar de la norma DIN 1946, respecto al sector industrial, tendríamos que hacer de 10 a 20 renovaciones de aire, tal cual, como detalla para el caso de "Locales de aerógrafos".

Por este motivo es importante ventilar <<correctamente>>, de acuerdo con la norma del Instituto Alemán de Normalización (DIN): Martin, F. (2021) especifica que la norma DIN 1946-6 detalla la frecuencia y sobre todo, la duración con que se deben ventilar las habitaciones para garantizar un ambiente perfecto. [9]

Este proyecto utiliza el mismo principio de las renovaciones de aire, pero ahora de manera automatizada con PLC S7 1200 (SIEMENS, s.f.) [16] y con ayuda del sensor de compuestos orgánicos volátiles MQ 138 que mide las PPM en el lugar y regula mediante control PID el extractor y el ventilador. Este sensor MQ 138 es económico y se encuentra disponible en (Alibaba.com, s.f.) [2]

El IOT permite revisar en tiempo real y desde cualquier parte, por medio de conexión a internet, el nivel de PPM en el ambiente y la frecuencia con la que se encuentran trabajando el extractor y ventilador. Con la ayuda de la ingeniería se buscó solucionar el problema de ventilación de forma eficiente y precisa, sin estandarizar las renovaciones de aire y evaluando los escenarios en el que se encontraron los niveles de contaminación, así ajustar la descontaminación de aire en esta empresa de GIGANTOGRAFÍA R2M-PRINT.

Actualmente, es casi imposible no acceder a los beneficios que ofrece la tecnología mejorando la calidad de vida. En el mercado, existen un sin número de dispositivos inteligentes disponibles que pueden hacer de nuestra existencia un lujo. Para JM Technology Industrial S.A. de C.V., (2022), "un sensor se define como un sistema de detección, el cual es capaz de localizar magnitudes de naturaleza física o química y transformarlas en variables de tipo eléctrico. Existen una amplia multitud de estos, por ejemplo, los sensores de movimiento, de temperatura, de proximidad, etcétera. En esta ocasión, hablaremos sobre un tipo específico de sensor, cuyo uso es bastante popular en el sector industrial, a saber, el termopar tipo K". [7]

Así también se utilizó para este proyecto de investigación el sensor de gas MQ-138, producto fabricado y distribuido por (Lineacard - Winsen). Esta empresa se ha dedicado por décadas a la comercialización y su utilidad ha sido beneficiosa en la detección de varios gases entre ellos los tóxicos o contaminantes generados por el uso de las tintas de impresión. (2022) [8]

En la Journal of Physics: Conference Series, artículo sobre Application of MQ-138 Semiconductor Sensor for Breath Acetone Detection, indica:

Metal oxide semiconductor-based gas sensors are readily available commercially and has been widely applied for monitoring flammable as well as toxic gases in domestic and industrial environment, detection of hazardous volatile organic compounds (VOCs), lung cancer detection. There are many types of metal oxide semiconductor-based gas sensors that shows gas sensitivity under suitable condition. However, sensors with tin dioxide ( $\text{SnO}_2$ ) as sensitive material are widely used such as MQ-138. (Nasution, Ti, Asrosa, R. y Nainggolan, I., 2018)

Indica que “los sensores de gas basados en semiconductores de óxido de metal están fácilmente disponibles comercialmente y han sido ampliamente aplicados para el control de gases inflamables y tóxicos en entornos domésticos e industriales, detección de compuestos orgánicos volátiles (COV) peligrosos, detección de cáncer de pulmón”. Existen diversos tipos de sensores de gas basados en semiconductores de óxido de metal que muestran sensibilidad al gas bajo condición adecuada. Los sensores con dióxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ) como material sensible son ampliamente utilizados como el MQ-138. [10]

Se considera que el MQ-138 como manejo de circuito simple, posee algunas ventajas favorables para el proyecto como el alto alcance en la detección, respuesta rápida, buena estabilidad, larga vida útil entre otras. Este proyecto se cristaliza una ejemplar opción, en cuanto a eficiencia de descontaminación energética; trabajo en relación con las PPM (controlada) y no de manera estandarizada. Sería ideal implementar el proyecto en los lugares que presenten este tipo de inconvenientes en la contaminación, para colaborar con la ingeniería al campo de la salud y bienestar.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Tinta solvente marca GALAXY INK

Información acerca de la composición:

**SECTION 2 COMPOSITION INFORMATION**

COMPOSITION: Mixture  
PRODUCT NAME: Galaxy Eco solvent Ink

Chemical Name	%	CAS Number
2-Butoxyethyl acetate	65-80%	112-07-2
DE-Acetate	15-30%	112-15-2
N-Methyl Pyrrolidinone	1-5.0 %	872-50-4

**Figura 1.** Tomada de las especificaciones técnicas del proveedor de la tinta.

**Fuente:** Tuocai (Guangzhou) trade., ltd.

Se toma como referencia la composición química de la tinta, y mediante esta tabla es posible conocer los compuestos a sensor, para utilizar el sensor específico para el proyecto.

### 2.2. Sensor MQ 138

El sensor MQ138 es un sensor de gases, con material sensible al oxígeno, que en aire limpio tiene baja conductividad. Cuando existe gas en el COV, la conductividad del sensor aumenta. Los usuarios pueden aprovechar la variación de la conductividad utilizando la señal de salida, a través de un circuito simple.



**Figura 2.** Sensor MQ 138

**Fuente:** Linecard - Winsen

### 2.3. Tarjeta de circuito para sensor MQ138

En noticias 330 ohms, (2022) se menciona que un regulador PID es un dispositivo que

permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado. [11]

La tarjeta de circuito nos permite comunicar al sensor con el PLC, las concentraciones de COV en PPM por medio de variación de voltaje, y de esta manera lograr mayor eficiencia mediante control PID.



**Figura 3.** Sensor MQ 138 con tarjeta de circuito  
**Fuente:** Linecard – Winsen

#### 2.4. Parámetros técnicos del sensor (Solo sensor, sin tarjeta)

Model			MQ138
Sensor Type			Semiconductor
Standard Encapsulation			Bakelite, Metal cap
Target Gas			toluene, acetone, alcohol, hydrogen
Detection range			5~500ppm
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	$V_c$	5.0V ± 0.1V DC
	Heater Voltage	$V_H$	5.0V ± 0.1V AC or DC
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	$R_H$	30Ω ± 3Ω ( room temp. )
	Heater consumption	$P_H$	≤ 950mW
	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(\text{in 50ppm toluene}) \geq 2$
	Output Voltage	$\Delta V_s$	0.5V (in 50ppm toluene)
	Concentration Slope	$\alpha$	$\leq 0.6(R_{200ppm}/R_{50ppm} \text{ toluene})$
Standard test conditions	Tem. Humidity		20°C ± 2°C; 55% ± 5%RH
	Standard test circuit		$V_c: 5.0V \pm 0.1V;$ $V_H: 5.0V \pm 0.1V$
	Preheat time		Over 48 hours

NOTE:  $V_s$  means the voltage output in target gas

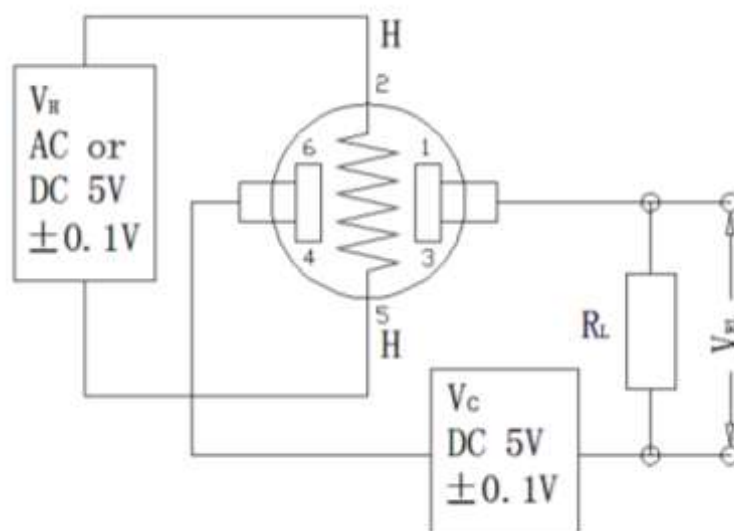
**Figura 4.** Parámetros técnicos del sensor  
**Fuente:** Transfer Multisort Elektronik -TEM- Electronic components

Estos parámetros fueron tomados de la página ( Transfer Multisort Elektronik -TEM- Electronic components, 2022) y ayudaron al momento de seleccionar el tipo de sensor, ya que tiene como objetivo los gases; y los solventes que se encuentran dentro de esta gama de gases.

Con esta tabla se logró tomar puntos de referencia del comportamiento del sensor, así poder utilizarlo con la TARJETA DE CIRCUITO.

## 2.5. Circuito de prueba (DATASHEET)

Este circuito presenta el datasheet del fabricante para conectar y energizar correctamente el sensor, para así obtener el voltaje de salida que ingresa al PLC como señal analógica.



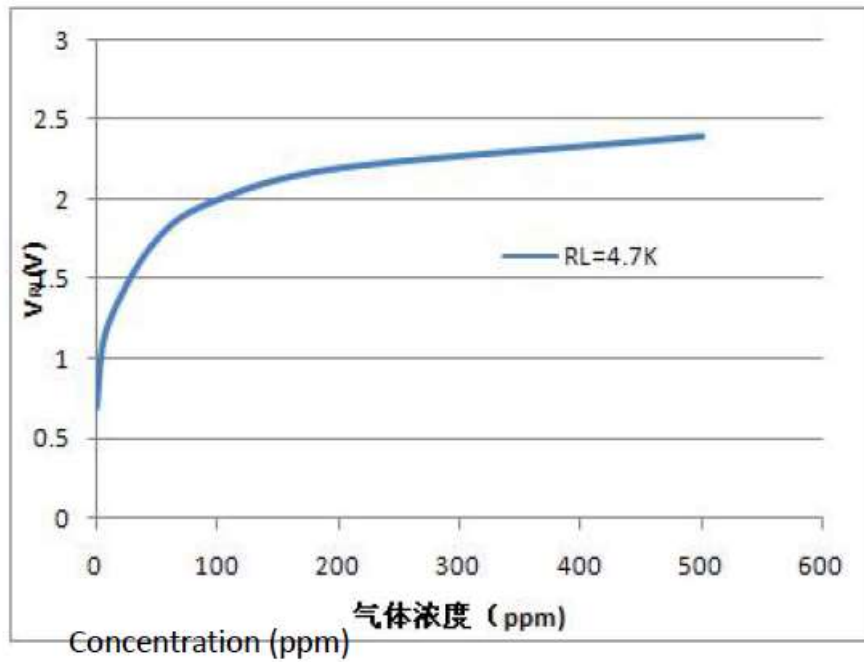
**Figura 5.** Circuito para prueba de sensor

**Fuente:** Transfer Multisort Elektronik -TEM- Electronic components

## 2.6. Curva de sensibilidad, referencia 4,7K $\Omega$

Esta curva detalla el comportamiento del sensor en relación del voltaje y las PPM en condiciones estándar, pero la referencia es con una resistencia  $R_L$  de 4,7K $\Omega$  en el circuito



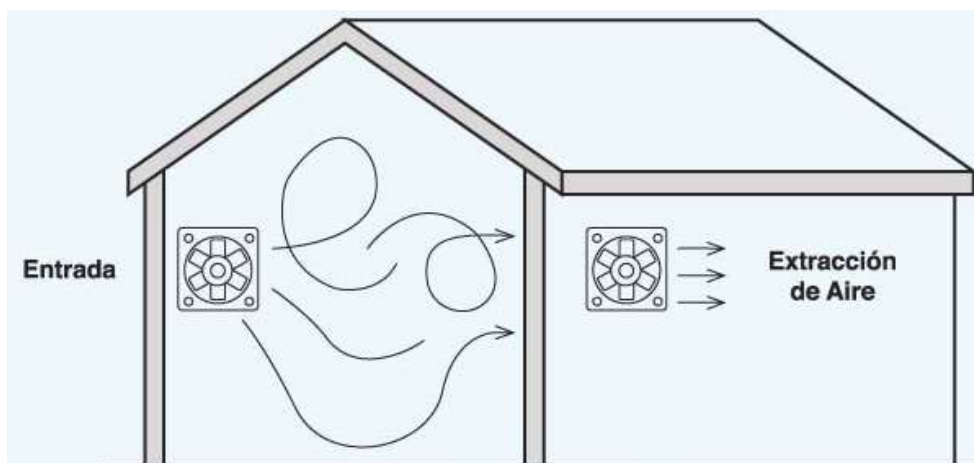


**Figura 6.** Curva de sensibilidad

**Fuente:** Transfer Multisort Elektronik -TEM- Electronic components

## 2.7. Renovaciones de aire

La renovación del aire tiene como objetivo eliminar los agentes que pueden contaminar el aire del lugar, extraer la humedad, los formaldehidos y el exceso de CO<sub>2</sub>, que puede ser perjudicial para la salud. (Revista Cero grados celsius, 2022) [13]



**Figura 7.** Esquema de renovación de aire

**Fuente:** Revista CERO grados celsius

## 2.8. Norma DIN 1946

(Casals fans of innovation) Establece la cantidad de renovaciones de aire por hora, dependiendo del sector en que se encuentre. (2019) Pág.3

Para el caso del artículo se ha tomado como homólogo el sector industrial, como el de "Locales de aerógrafos", que establece hacer de 10 a 20 renovaciones por hora.

TIPO DE LOCAL	RENOVACIONES DE AIRE POR HORA	SECTOR
Almacenes	5-10	INDUSTRIAL
Cabinas de pintura	25-50	
Cocinas industriales	15-30	
Fundiciones	8-15	
Inodoro industrial	8-15	
Laboratorios	8-15	
Laminadores	8-12	
Locales de aerógrafos	10-20	
Locales de decapado	5-15	
Remojos	≤ 80	
Salas de fotocopias	10-15	
Salas de máquinas	10-40	
Talleres de gran alteración del aire	10-20	
Talleres de montaje	4-8	
Talleres de poca alteración del aire	3-6	
Talleres de soldadura	20-30	
Tintorerías	5-15	

**Figura 8.** Número aconsejable de renovaciones. Norma DIN 1946

**Fuente:** Casals fans of innovation

## 2.9. Resumen para el proyecto, de Salud Pública

La ASTDR, (2022): Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) -en una serie de declaraciones en salud pública, sustancias peligrosas y sus efectos sobre la salud (EE. UU., 2018), escribe que "la mayoría de la gente puede empezar a detectar el olor del 2-butoxietanol en el aire cuando se encuentra en concentraciones entre 0.10 y 0.40 partes de 2-butoxietanol por millón de partes de aire (ppm)".

Continúa diciendo que “el 2-butoxietanol se usa extensamente como solvente en sustancias para proteger superficies tales como lacas en aerosol, lacas de secado rápido, esmaltes, barnices y pinturas de látex. También se usa como ingrediente en diluyentes de pinturas y en sustancias para remover pinturas y barnices, en sustancias químicas usadas en agricultura, herbicidas, materiales de silicona para tapar rendijas, aceite para herramientas cortantes y en fluidos hidráulicos. Otros usos en limpiadores de metales, colorantes y tinturas para telas, sustancias para limpieza industrial y doméstica (por ejemplo, desgrasadores) y sustancias para limpiado en seco. También se usa en jabones líquidos y en cosméticos” [1].

Los efectos a estas sustancias se obtuvieron de personas que fueron expuestas continuamente a 100ppm o más, durante 4 a 8 horas diarias.

“La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional -OSHA-, (2022) en su folleto informativo sobre la Ley de Seguridad y salud Ocupacional de 1970 ofrece una descripción general sobre los derechos y las responsabilidades de los patronos nos dicen que después de una inspección los trabajadores que están expuestos al 2-butoxietanol instituyan controles de ingeniería y prácticas de trabajo para reducir y mantener la exposición de los empleados a niveles que no excedan el límite permisible. Este límite es de 50 ppm para el 2-butoxietanol”.

La OSHA, (2022) sobre la protección de salud pública: “La Conferencia Americana de Higienistas Industriales de Gobierno (ACGIH) recomienda una concentración límite de 25 ppm para el 2-butoxietanol en el aire del trabajo (8 horas diarias, 40 horas semanales)”. El límite que recomienda el NIOSH tanto para 2-butoxietanol como para acetato de 2-butoxietanol es de 5 ppm (10 horas diarias, 40 horas semanales). [1].

### **3. Metodología**

Este trabajo de investigación analítica – experimental incluye investigación de bibliografía literaria, opinión pública, pruebas científicas y otras actividades en correspondencia al proyecto. Sampieri, H., (1976) nos dice que “la investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema” (pág. 4) [14]

Además, requirió de: “diseño e implementación de un sistema automatizado de extracción de gases solventes, utilizando un PLC S7 1200 y monitoreo en línea mediante un servidor web, para la empresa de gigantografías R2M PRINT”, para de esta manera sensar cuántas PPM de COV había en el lugar antes de poner en marcha el proyecto; y luego de cómo benefició poniendo en marcha el proyecto, disminuyendo a máximo 10 las PPM en el lugar.

Las PPM o partes por millón son unidades utilizadas en diferentes ámbitos de la física y la química y es común verla en ámbitos ligados a la calidad ambiental del aire dentro y fuera del edificio. Para Blog de ventilación, (2016): “esta importante unidad de medida aparece también en la normativa vigente, por lo que es importante, para profesionales de este ámbito, conocer y entender su significado, así como las diferencias con otras unidades de medida también usadas en calidad de aire y en ventilación en edificios”. [4]

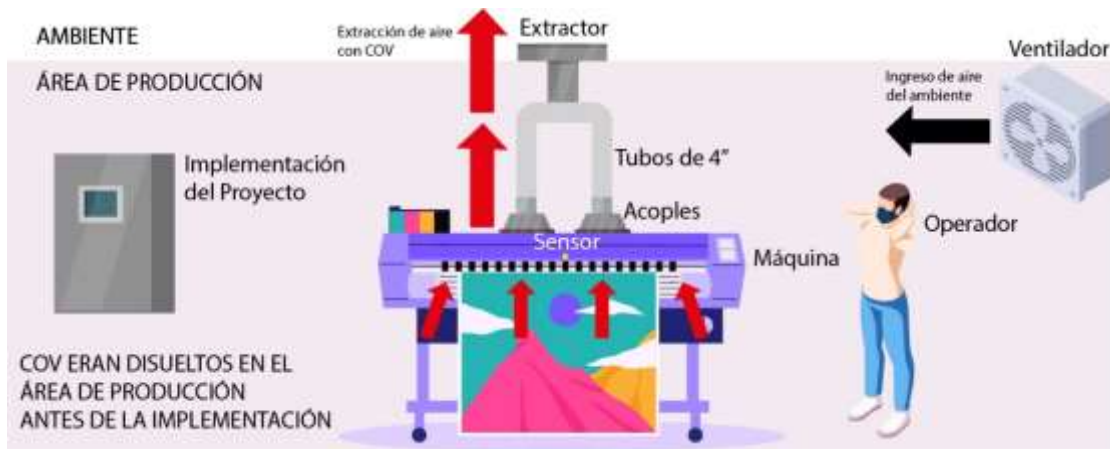
#### **3.1. Diagrama de bloques**

Este proyecto consta entre los actuadores principales: el ventilador y el extractor de aire. El ventilador ingresa aire del ambiente al área de producción, con la finalidad de oxigenar. El extractor retira aire contaminado directamente desde el interior de la máquina, donde se dispersan los COV luego de imprimir.

En este proyecto se elaboraron acoples, que se ubican entre la máquina y los tubos de 4” Fig. 16, así se mejora la eficiencia en la extracción de COV. Los COV son extraídos de la máquina y disipados en el ambiente como se muestra en la Fig. 9.

El sensor se encuentra ubicado dentro de la máquina (Fig. 18), en una zona donde se concentran los COV, para de esta manera obtener una lectura eficaz. Dependiendo

de las PPM sensadas, será la frecuencia con la que trabaje el ventilador y extractor, en base a la programación del PLC en la implementación.

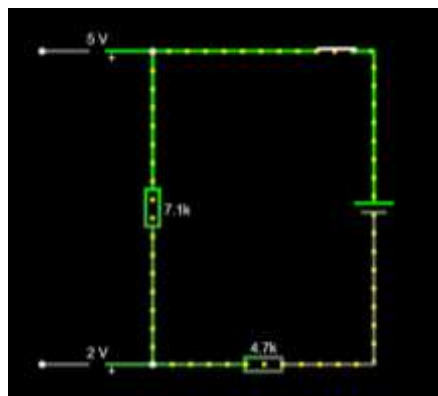


**Figura 9.** Diagrama de bloques del ciclo del aire en área de producción  
**Elaboración:** Autor

### 3.2. Simulación de circuito de sensor con programa, para obtener la curva con RL de 1K $\Omega$

Por medio de un simulador se obtuvo la curva de sensibilidad con una RL de 1K $\Omega$ , como llega con la tarjeta de circuito. Fig.11. Para esto se tuvieron que tomar como referencia los datos del fabricante de: tabla de parámetros técnicos Fig. 4, y la curva de sensibilidad con RL de 4,7K $\Omega$ . Fig. 6.

Se simuló varias condiciones con RL de 4,7K $\Omega$  Fig. 10, para de esta manera obtener información de la resistencia del sensor Fig. 12; luego esta misma simularla con la RL de 1K $\Omega$  y así obtener mi nueva curva de voltajes y PPM o de sensibilidad. Fig. 13.



**Figura 10.** Simulador MASTER PLC  
**Elaboración:** Autor

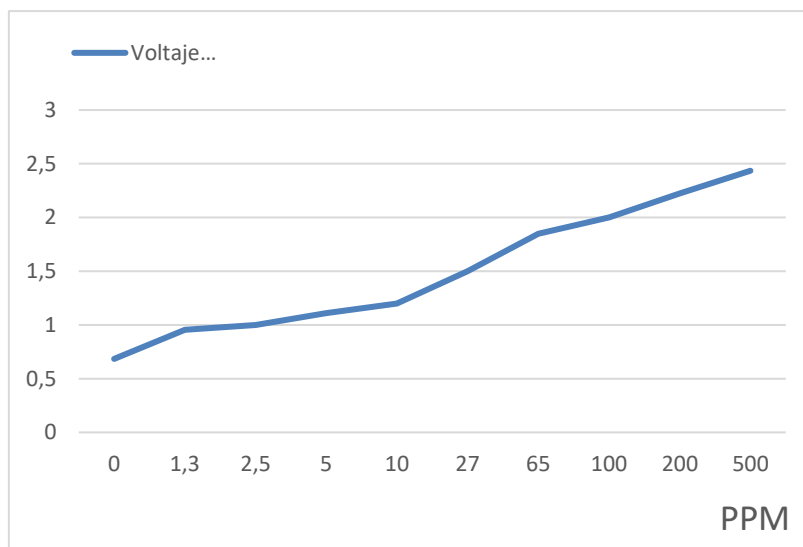


**Figura 11.** Tarjeta de circuito, con sus componentes, se detalla la RL de 1K $\Omega$

**Elaboración:** Autor

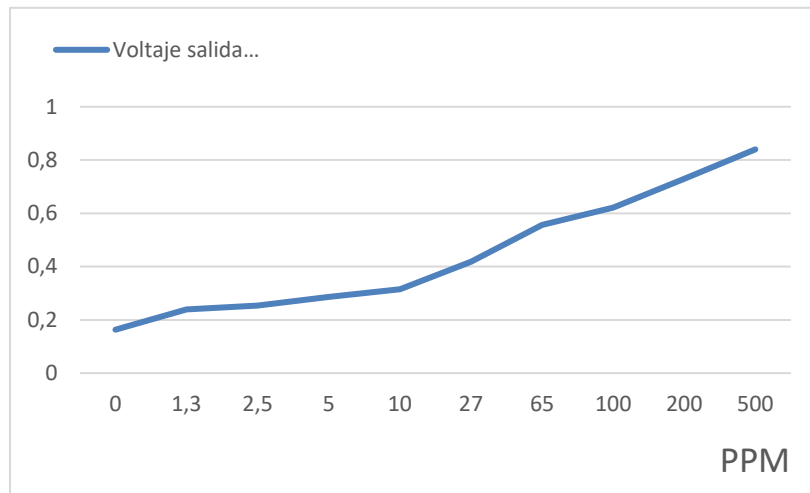
### 3.3. Curvas de sensibilidad

Estos datos se obtuvieron mediante simulación del circuito Fig. 10, probando con RL de 4,7K $\Omega$  Fig. 12. y luego de 1K $\Omega$ . Fig. 13. Estos datos se ingresaron y recopilaron en una tabla. Fig. 14.



**Figura 12.** Prueba con RL de 4,7K $\Omega$

**Fuente:** Autor



**Figura 13.** Prueba con RL de 1K $\Omega$ . Nueva curva de sensibilidad

**Fuente: Autor**

### 3.4. Tabla de voltajes y PPM obtenidas mediante simulador con RL de 1K $\Omega$

Mediante simulación Fig. 10. se obtuvo valores de voltaje, enlazándolo con las PPM del fabricante (con la curva de sensibilidad con RL de 4,7k $\Omega$ ) Fig. 6, y así se obtuvo la nueva tabla de referencia de voltajes VS PPM con RL de 1K $\Omega$ . Fig. 13.

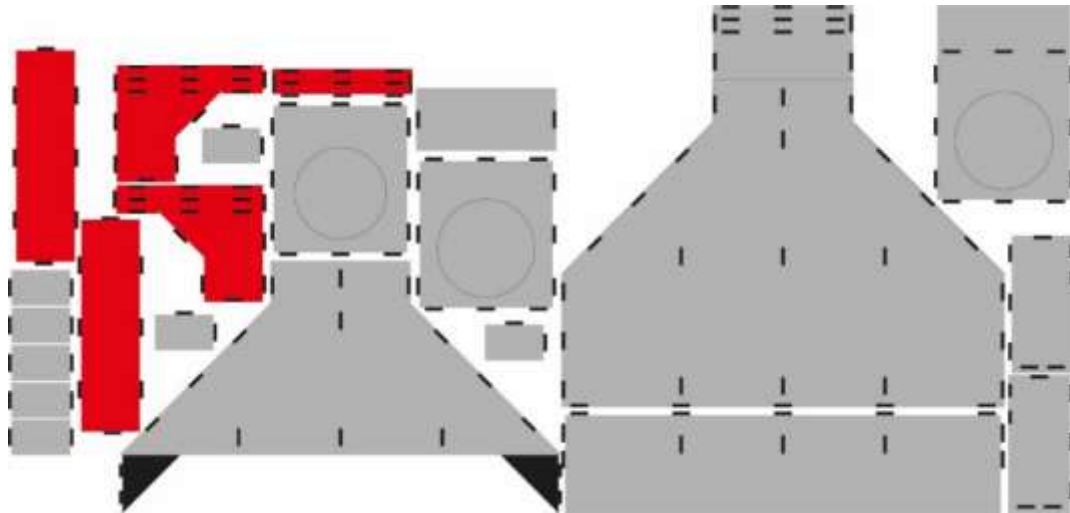
Voltaje salida (V)	Referencia (PPM)
0,163	0
0,239	1,3
0,253	2,5
0,286	5
0,315	10
0,418	27
0,556	65
0,621	100
0,729	200
0,84	500

**Figura 14.** Nueva tabla de voltajes y PPM con RL de 1K $\Omega$

**Elaboración: Autor**

### 3.5. Acople entre máquina de gigantografía y tubo PVC de 4"

Se elaboró un prototipo de MDF que sirvió de acople entre la máquina de gigantografía y los tubos PVC de 4". Esto tiene la finalidad de extraer los olores de manera eficiente, ubicando las tomas de aire de dónde va a concentrarse los VOC. En caso de no tenerlo, simplemente los tubos de 4" iban a tomar el aire del ambiente; dando lugar a que se dispersen los gases y se contamine más el área.



**Figura 15.** Diseño de prototipo para acople entre máquina de gigantografía y tubo PVC de 4"

**Elaboración:** Autor



**Figura 16.** Acople, prototipo en MDF

**Fuente:** Gigantografía R2M-Print

**Elaboración:** Autor



## 4. Interpretación de resultados

### 4.1. PLC programado en condiciones ideales, variador vs. MQ 138: 0 HZ con 0 VDC, y 60 HZ con 5 VDC

La lectura obtenida de PPM en primera instancia fue resultado de condiciones ideales, donde se programó el PLC de modo que el ventilador y extractor se colocaría al 100% (60 HZ), siempre y cuando el sensor MQ 138 llegue a su máximo voltaje de 5VDC.

En esta prueba se muestra 6,50 HZ en las pantallas de los variadores (Fig. 17), mientras que con el multímetro se medía entre 0,5 y 0,6VDC a la salida del sensor MQ 138, estando entre 65 y 100 las PPM en base a la tabla de la Fig. 14.

Por otra parte, realizando regla de 3 con base a la programación realizada en el PLC: si 6.5 HZ es a 60HZ, cuántos VDC son a 5VDC, da como resultado 0,5416VDC; que corresponde a 65PPM de COV en el ambiente. Esta información se puede verificar con la tabla de la Fig. 13.

Llegando el sensor a su máxima lectura de PPM en esta condición de impresión, la frecuencia no iba a incrementar significativamente, debido a que el VDC casi se mantiene pasado las 100PPM en la curva de sensibilidad (Fig. 6). El ventilador y extractor no va a realizar la renovación de aire adecuadamente, porque las PPM a pesar de no incrementar, se van a concentrar en el área de producción.



**Figura 17.** Implementación del proyecto, se visualiza 6,50HZ aproximadamente en los variadores

**Fuente:** Gigantografía R2M-Print

**Elaboración:** Autor



**Figura 18.** Sensor MQ 138 colocado en la máquina, foto durante impresión  
**Fuente:** Gigantografía R2M-Print  
**Elaboración:** Autor



**Figura 19.** Máquina de gigantografía durante impresión  
**Fuente:** Gigantografía R2M-Print  
**Elaboración:** Autor

#### 4.2. PLC programado en: 0 HZ con 0 VDC, y 60 HZ con 1 VDC

El problema en esta condición de programación es que, al dar marcha, iniciaba con el ventilador y extractor encendido; pero no se sabía el por qué. Por otra parte, al haber seteado 60 HZ en 1 VDC no era muy fuerte la extracción, máximo llegaba a 17 HZ dentro de las pruebas realizadas.

Luego de sacar la nueva curva de sensibilidad se conoció que habiendo 0 PPM el sensor MQ 138 marca 0,163 VDC (Figura 14) y por esto pasaron encendidos ventilador y extractor. En cambio, para llegar a 1 VDC debió pasar las 500 PPM, por lo que esta programación tampoco es eficiente.

#### 4.3. PLC programado con parámetros de la nueva curva de sensibilidad

En base a la nueva curva de sensibilidad se realizó una nueva programación tomando como 0 HZ el sensor MQ 138 en 0,2 VDC, donde habría aproximadamente 0,6 PPM. y los 60 HZ en 0,62 VDC con aproximadamente 100 PPM.

Pero hasta este punto del proyecto solo se había programado considerando el punto de arranque y parada del ventilador, ya que se analizaba hasta cuántas PPM se sensaban en el lugar, pero no se había dado importancia al extractor.



**Figura 20.** PPM en intervalo de 10 minutos

**Fuente:** Node red (IOT)

**Elaboración:** Autor

En la gráfica anterior se visualiza aproximadamente 13 PPM en el ambiente al momento de la impresión, en base a la tabla de la Figura 14. Muestra también el ventilador trabajando a 18 HZ y el extractor en 21 HZ.

#### 4.4. PLC programado considerando mantener máximo 10 PPM sensadas

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, se plantea dejar el proyecto programado de tal manera que sense máximo 10 PPM, por lo que se tuvo que reprogramar el PLC. Se ha seteado que arranque con frecuencia de 0 HZ en los variadores, con valor mínimo de 0,20 VDC a la salida del MQ138; y que alcance frecuencia máxima de 60 HZ al llegar a 0,32 VDC a la salida del MQ 138. Dicho en PPM, desde 0.6 hasta 10 sería el rango.

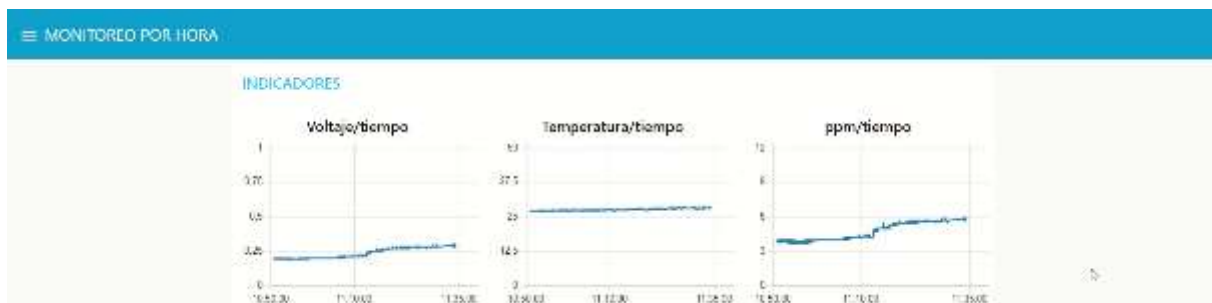


**Figura 21.** PPM en el rango fijado (máximo 10), en el transcurso de 10 minutos

**Fuente:** Node red (IOT)

**Elaboración:** Autor

En esta lectura por hora, se visualizó que los valores de PPM permanecieron estables y no llegaron a superar el límite de 10, de hecho se obtuvo una lectura de máximo 5.92 PPM; tanto extractor como ventilador arrancan de manera oportuna, permitiendo la pronta descontaminación y mejorando la eficiencia del proyecto.



**Figura 22.** Muestra por hora: voltaje del sensor, temperatura y PPM del lugar

**Fuente:** Node red (IOT)

**Elaboración:** Autor

## 5. Discusión

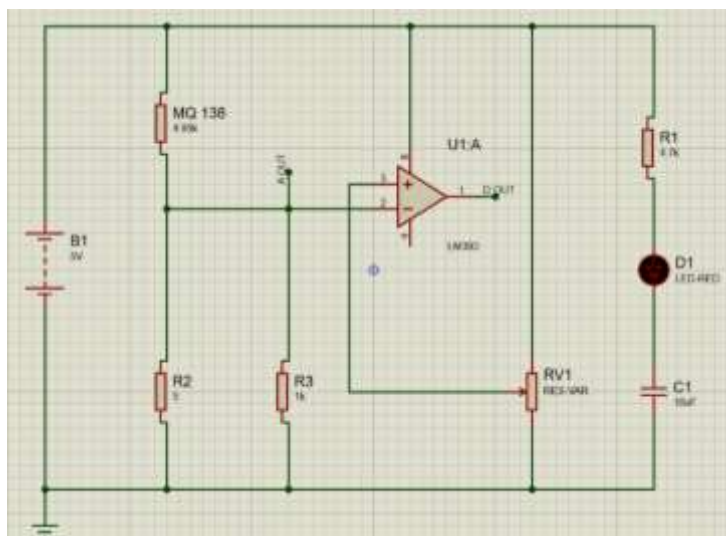
Luego de implementar el proyecto con todos sus componentes, ya que el sensor MQ138 no se lo encontró localmente, se programó el PLC en condiciones ideales para: sensor, ventilador y extractor. Se asumió alcanzar el 100% de la frecuencia de ventilador y extractor, cuando el sensor alcance su 100% de voltaje (5 VDC), y no se obtuvo un buen resultado, como se describe en el punto 4.1.

Para programar como se explica en el punto 4.2. se habían realizado ya las pruebas simultáneas, pero habiendo analizado el voltaje VRL y junto con los datos obtenidos en estas pruebas se había obtenido una lectura máxima de 0.7 VDC con voltímetro, por lo que se había seteado como se explica en este punto a 1VDC, pero esta programación tampoco fue eficiente.

Antes de esto no se había programado adecuadamente, ya que se tenía solo la curva de sensibilidad con RL de 4,7K $\Omega$  (Figura 6) del sensor como tal (Figura 2) dada por el fabricante, pero no se tenía la curva de sensibilidad propia del "sensor con la tarjeta de circuito" (Figura 3) con la que se iba a trabajar.

El motivo es que el fabricante del sensor dio una curva de sensibilidad con RL de 4,7K $\Omega$  (Figura 6) pero el "sensor con tarjeta de circuito" vino con una resistencia de 1K $\Omega$  (Figura 11).

Debido a esto, se tuvo que hacer reingeniería, dibujando todas las conexiones de los elementos del "sensor con tarjeta de circuito" (Figura 3 y 11) para comprobar que se cumplan las conexiones del circuito de la Figura 5, considerando las especificaciones del fabricante en la Figura 4.



**Figura 23.** Reingeniería de la Figura 11, para corroborar circuito de la Figura 5.

**Elaboración:** Autor

Una vez hecho esto, con la ayuda del simulador MASTER PLC se dibujó allí el circuito de la Figura 5 para obtener el voltaje VRL o AOUT (Figura 11), como se muestra en la Figura 10 con  $R_L$  de  $4,7K\Omega$ . Entonces variando la resistencia del sensor se ubicaron los voltajes VRL de la curva de sensibilidad de la Figura 6, estableciendo así la relación con las PPM de la curva y documentando estos valores de resistencia en una tabla.

Estos valores de resistencia documentados en la tabla se simularon, pero con  $R_L$  de  $1K\Omega$  como viene el "sensor con tarjeta de circuito" (Figura 11), para de esta manera encontrar los nuevos voltajes y relacionarlos con las PPM, encontrando así la nueva curva como la Figura 13.

Con los datos de esta nueva curva se reprogramó el PLC y el NODE RED como se explica en el punto 4.3. para así evaluar nuevamente la eficiencia del proyecto. Pero hasta aquí solo ha sido evaluado el funcionamiento del ventilador por lo que se programó una vez más.

Para el punto 4.4. se han evaluado nuevamente la mayoría de los escenarios, en relación con los diferentes niveles de COV sentidos a lo largo de las pruebas, y se setó la programación como se detalla en este punto, para que alcance como máximo 10 PPM.

Parte clave de este punto es la eficiencia en la extracción de aire contaminado con COV, por lo que se diseña el prototipo que acopla los tubos de PVC de 4" con la máquina de gigantografía, cosa que hasta el punto 4.3. no se había considerado. Este prototipo se enfoca en la parte donde se concentran las emanaciones de COV en la máquina mientras se imprime.

De esta manera no se permite que se disipen en el ambiente del área de producción, haciendo más eficiente el proyecto, y disminuyendo los COV sentidos con más rapidez.



**Figura 24.** Prototipo en MDF para mejorar la eficiencia de la extracción de COV  
**Fuente:** Gigantografía R2M-Print  
**Elaboración:** Autor



**Figura 25.** Foto de la máquina con los acoples traseros para extracción  
**Fuente:** Gigantografía R2M-Print  
**Elaboración:** Autor



## MARCHA

## PARADA



**Figura 26.** Comparación en el lapso de 10 minutos, con proyecto en MARCHA y PARADA.

**Fuente:** Gigantografía R2M-Print

**Elaboración:** Autor

## 6. Conclusiones

Enfocándonos en el principal objetivo del proyecto que era descontaminar el área de los COV, se ha logrado con eficacia luego de varias reprogramaciones, ya que en cada una de ellas nos acercábamos al nivel más bajo de COV y más eficaz.

Como muestra de ello está el punto que antecede, y donde se visualiza perfectamente la diferencia entre cuando el proyecto se encuentra en MARCHA y cuando está en PARADA. Pues los niveles de COV son muy diferentes, y esto nos da la certeza de que el proyecto implementado en la empresa cumple con sus objetivos y funciona perfectamente.

Para realizar la prueba de la Figura 26 y que la lectura sea real al momento de la comparación, se hizo una impresión de la misma imagen para ambos casos (mismos niveles de COV por tener exactamente los mismos colores).



Como había que realizar 2 pruebas, una con el proyecto en MARCHA y otra con el proyecto en PARADA (pero sensando niveles de COV), la primera prueba se hizo con el proyecto en marcha.

Se registran curvas al iniciar la impresión y dado MARCHA, con renovación de aire, y se visualiza perfectamente en la Figura 26 que los niveles de COV son inferiores a las 10 PPM que se programaron como nivel máximo, de hecho se observa un pico real de 5,92 y se mantiene estable sin incrementar de este valor de PPM.

Acto seguido se hace la segunda prueba, la impresión continua pero se da PARADA, sensando el MQ138 (Figura 26) y se visualiza que los COV se elevan, pero no muestra un resultado real dentro de los indicadores de PPM. De hecho muestra un pico de 9.38 PPM en un indicador, por la programación del node red que tiene como máximo alcanzar las 10 PPM. No se modificó ya que el programa debe funcionar en MARCHA, aquí solo se iba a establecer diferencias entre proyecto en MARCHA y PARADA.

Para conocer el verdadero valor de PPM observamos el indicador del voltaje del sensor, que muestra 0,47VDC. Observando la Figura 13 vemos que 0,47VDC se encuentra entre los rangos de PPM conocidos de 27 y 65, en rango de voltaje sería 0,418 y 0,556VDC respectivamente; lo podemos revisar también en la figura 14.

Entonces realizamos la operación para hallar la pendiente de la recta, donde  $M=(y_2-y_1)/(x_2-x_1)$ , y da como resultado 0,00363158VDC/PPM. Luego despejamos en función del valor de X2 y nos da 41,31 PPM. Esto quiere decir que el proyecto en PARADA obtuvo una lectura máxima de 41,31 PPM.

Para el caso del proyecto en PARADA, que se registró 41,31 PPM, va a tomar más tiempo descontaminar el área ya que se disiparon los COV, por lo que sería más perjudicial al ser respirado por el operador (lo que existía antes de la implementación). Mientras que con el proyecto en MARCHA es más fácil y menos perjudicial descontaminar 5,92 PPM. Recordando el valor establecido por la NIOSH (Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional), que es 5 PPM; este es el mejor estándar y se ha tratado de cumplir la condición, para brindar el mejor resultado regulado para el ser humano.

Se concluye que este trabajo investigativo contribuyó a través de la ingeniería utilizada en la implementación de este proyecto, al bienestar de las personas que trabajan en áreas contaminadas.

## 7. Referencias bibliográficas

- [1 ] Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades. (1998). RESUMEN DE SALUD PÚBLICA 2-BUTOXIETANOL Y ACETATO DE 2-BUTOXIETANOL CAS#: 111-76-2 y 112-07-2. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs118.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs118.pdf)
- [2 ] Alibaba.com. (s.f.). Obtenido de [https://www.alibaba.com/product-detail/Hot-sale-MQ-138-Detection-Module\\_62290183451.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_image.36fe4ac4fseUgs](https://www.alibaba.com/product-detail/Hot-sale-MQ-138-Detection-Module_62290183451.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.36fe4ac4fseUgs)
- [3 ] ASTDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2018). Declaración de Salud Pública para el guti3n. doi:[https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs188.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs188.html)
- [4 ] Blog de ventilaci3n. (2016). *Las partes por mill3n. ¿De qu3 estamos hablando?* doi:<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/partes-por-millon/>
- [5 ] Casals fans of innovation. (2019). Obtenido de [https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion\\_de\\_aire\\_en\\_locales\\_tipicos\\_casals.pdf](https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion_de_aire_en_locales_tipicos_casals.pdf)
- [6 ] Hern3ndez, M. (2006). *Adsorci3n de compuestos org3nicos val3tiles en arcillas del estado de Puebla*. M3xico D.F.: Revista Internacional de Contaminaci3n ambiental. doi:<https://elibro.net/es/ereader/uguayaquil/8185?page=4>
- [7 ] JM Technology Industrial S.A. de C.V. (2022). *Soluciones integrales de temperatura*. doi:<https://www.jmi.com.mx/termopar-tipo-k>
- [8 ] Lineacard - Winsen. (2022). *World leader in gas sensing innovation*. Obtenido de <https://search.arduino.cc/search?tab=&q=MQ138>
- [9 ] Martin, Francisco. (2021). LinkedIn -VENTILAR CORRECTAMENTE SEGUN NORMA DIN 1946-G. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/ventilar-correctamente-segun-din-1946-g-endika-primo-martin>
- [10 ] Nasution, Ti, Asrosa, R. y Nainggolan, I. (2018). Aplicaci3n del sensor semiconductor MQ-138 para la detecci3n de acetona en el aliento. En IOP (Ed.), *Journal of Physics: Conference Series*, 1116, p3g. 032023. doi:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1116/3/032023/pdf>
- [11 ] Noticias 330 ohms. (2022). *Noticias 330 ohms*. doi:<https://blog.330ohms.com/2021/06/02/que-es-un-control-pid/#>
- [12 ] Oracle. (s.f.). Obtenido de <https://www.oracle.com/ar/internet-of-things/what-is-iot/>
- [13 ] Revista Cero grados celsius. (Julio-Agosto de 2022). Obtenido de <https://0grados.com/extractores-de-aire-4/>
- [14 ] Sampieri, R. H. (s.f.). *Metodolog3a de la Investigaci3n*. Mc Graw Hill.

[15 ] Transfer Multisort Elektronik -TEM- Electronic components. (2022). Obtenido de <https://www.tme.eu/es/details/mq138/sensores-de-gas/winsen/>

[16 ] SIEMENS. (s.f.). Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/EC/Catalog/Product/?mlfb=6ES7214-1AG40-0XB0&SiepCountryCode=EC>