

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR POR  
MONÓXIDO DE CARBONO EN EL ESTACIONAMIENTO RIVERA  
NAVARRETE DE SAN ISIDRO”**

Presentado por:

**NINO IVAN HUARCAYA GOMEZ**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Lima – Perú

**2023**

---

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

## Turnitin Informe de Originalidad

Procesado el: 30-oct-2023 2:02 p. m. -05  
Identificador: 2207295848  
Número de palabras: 29227  
Entregado: 2



TESIS HUARCAYA VERSION FINAL Por ivan huarcaya gomez

Índice de similitud  
**11%**

Similitud según fuente  
Internet Sources: 11%  
Publicaciones:  
Trabajos del estudiante: 3%  
N/A

3% match ()

[Muriel Gonzales, Federico Augusto, "Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM2.5 en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina", "Baishideng Publishing Group Inc.", 2017](#)

1% match ()

[Huertas Parrales, Joanna Kenit, "Evaluación de la remoción del sulfuro de hidrógeno en el biogás mediante el método de la aireación", Universidad Nacional Agraria La Molina, 2019](#)

< 1% match ()

[Lucano Castillo, Diego Alonso, "Evaluación de los estacionamientos subterráneos en Rivera Navarrete", "Baishideng Publishing Group Inc.", 2018](#)

< 1% match ()

[Coronado Camacho, Alex Víctor, "Presupuesto por resultados y la calidad del gasto público en la UGEL 07- Lima Metropolitana, 2017", "Universidad Cesar Vallejo", 2018](#)

< 1% match ()

[Medina-Ramírez, Diego, "La calidad del aire en espacios interiores para la vivienda de interés social en la ciudad de Bogotá, D.C.", Maestría en Diseño Sostenible, 2018](#)

< 1% match ()

[Bulnes Bonilla, Erwin Francisco, "Diseño de un edificio multinivel inteligente para el área central de la ciudad de Chiclayo, región Lambayeque, 2017", "Baishideng Publishing Group Inc.", 2019](#)

< 1% match ()

[Rosa González, Eduardo, "Farm scale approach for mitigation strategies of nitrogen gas emission in the laying hen manure management chain.", 2021](#)

< 1% match ()

[Iglesias Portal, Gino Armando, "Influencia de la calidad del agua superficial del río Huacane sobre el río Coscore y el río Tumilaca Moquegua - Perú", "Universidad Nacional Agraria La Molina", 2020](#)

< 1% match ()

[Naveda Bengifo, Ricardo Aaron, "Reducción del contenido de lignina en la cáscara de arroz mediante pretratamiento explosión de vapor para producción de Etanol-2G", "Universidad Nacional Agraria La Molina", 2019](#)

< 1% match ()

[Wu Loli, Diego Antonio, "Evaluación de la biodegradación de la gallinaza a través del compostaje con ayuda de complejo microbiano ACF - SR \(Aqua Clean\) con sistema automático y monitorizado", "Universidad Nacional Agraria La Molina", 2020](#)

< 1% match ()

[Rimachi Daza, Elvis, "Evaluación de cuatro sustratos para el enraizamiento de estacas de dos ecotipos de "pushguy" \(Vaccinium floribundum Kunth\) mediante el uso del ácido Indol-3-Butírico", "Universidad Nacional Agraria La Molina", 2020](#)

< 1% match (Internet desde 07-dic.-2020)

<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/establecen-limites-maximos-permisibles-de-emisiones-atmosfer-decreto-supremo-n-010-2017-minam-1592399-2/>

< 1% match (Internet desde 24-sept.-2022)

<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12920/11564/4G.0057.IA.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

< 1% match ()

[Rosas Castro, Ruth Eugenia, "Riesgo toxicológico del monóxido de carbono en el ambiente laboral de la Empresa Consorcio revisión vehicular Danton-Cuenca", 2014](#)

< 1% match (Internet desde 26-may.-2021)

<http://dspace.uccuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29933/1/Trabajo%20de%20titulaci%3f%3bn.pdf>

< 1% match (Internet desde 19-nov.-2020)

<https://moam.info/edificios-saludables-para-trabajadores-sanos-calidad-de-ambientes-5a3166181723ddfba05d5828.html>

< 1% match (Internet desde 11-dic.-2020)

[http://scielo.isciii.es/scielo.php?lng=es&pid=S1135-76062007000100007&script=sci\\_arttext&lng=pt](http://scielo.isciii.es/scielo.php?lng=es&pid=S1135-76062007000100007&script=sci_arttext&lng=pt)

< 1% match (Internet desde 15-abr.-2020)

<https://pt.scribd.com/document/375563046/Contaminacion-de-La-Atmosfera>

< 1% match (Internet desde 24-sept.-2022)

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15516/2019paolaepalza.pdf?isAllowed=y&sequence=5>

< 1% match (Internet desde 13-jul.-2017)

<http://docplayer.es/7457170-Calidad-del-aire-interior.html>

< 1% match (Internet desde 20-may.-2016)

<http://www.archbronconeumol.org/index.php?estadoItem=S300&idApp=UINPBA000037&idiomaItem=es&origen=bronco&p=watermark&piiItem=S03002896120011968&urlApp=http%3A%2F%2Fwww.archbronconeumol.org>

< 1% match ()

[Quispe Ayllón, Demetrio Julián, "Clima organizacional y desarrollo institucional en los institutos de educación superior tecnológicos públicos, Cañete 2017", Universidad César Vallejo, 2017](#)

< 1% match (Internet desde 27-abr.-2023)

[https://repository.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/112541/Hemani\\_RE-SD.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repository.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/112541/Hemani_RE-SD.pdf?isAllowed=y&sequence=1)

< 1% match (Internet desde 13-oct.-2021)

<https://www.hisour.com/es/biodiesel-40916/>

< 1% match (Internet desde 29-nov.-2020)

<https://gdoc.tips/estadistica-9na-ediccion-mario-f-triola-pdf-free.html>

< 1% match (Junli Hou, Yanpeng Li, Wenyan Bai, Tianfeng Ma, Ke Zhang, Haoyue Zhang, "Study on pollution characteristics and influencing factors of gaseous pollutants: Case study of a naturally ventilated commercial underground garage in Xi'an", Atmospheric Pollution Research, 2021)

[Junli Hou, Yanpeng Li, Wenyan Bai, Tianfeng Ma, Ke Zhang, Haoyue Zhang, "Study on pollution characteristics and influencing factors of gaseous pollutants: Case study of a naturally ventilated commercial underground garage in Xi'an", Atmospheric Pollution Research, 2021](#)

< 1% match ("Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales", Universidad Nacional Autónoma de México, 2011)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR POR  
MONÓXIDO DE CARBONO EN EL ESTACIONAMIENTO RIVERA  
NAVARRETE DE SAN ISIDRO”**

Presentado por:

**NINO IVAN HUARCAYA GOMEZ**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentada y aprobado por el siguiente jurado:

---

Mg. Sc. Wilfredo Celestino Baldeón Quispe  
Presidente

---

Mtra. Quím. Mary Flor Césare Coral  
Miembro

---

M. Sc. Armando Javier Aramayo Bazzetti  
Miembro

---

Ph. D. Sergio Artemio Pacci Valdivia  
Asesor

## **DEDICATORIA**

Mis padres Juan Huarcaya y Dina Rivera, por brindarme todo su apoyo incondicional. Kelly, formar parte de mi vida y acompañarme día a día, gracias.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi asesor, Ph. D. Sergio Pacci Valdivia por sus enseñanzas, orientación, y su tiempo durante la elaboración de esta investigación.

A los miembros del jurado calificador, por su tiempo, aporte, y sugerencias para la mejora en esta investigación.

Al Sr. Iván Mendoza Arteaga, quien hizo posible mi acceso a las instalaciones y brindarme información requerida del Estacionamiento Subterráneo Rivera Navarrete, y la oportunidad de desarrollar este estudio.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	4
2.1. Antecedentes del problema .....	4
2.2. Calidad del aire en Ambientes Interiores.....	8
2.2.1. Definición.....	8
2.2.2. Contaminación del aire interior.....	8
2.2.3. Clasificación de los contaminantes de aire interior.....	8
2.3. Monóxido de Carbono .....	9
2.3.1. Definición.....	9
2.3.2. Características .....	9
2.3.3. Propiedades físicas y químicas.....	9
2.3.4. Origen del monóxido de carbono .....	11
2.4. Fuentes exógenas .....	11
2.4.1. Combustión Completa.....	11
2.4.2. Combustión incompleta.....	12
2.5. Fuentes endógenas .....	13
2.6. Fuentes naturales.....	13
2.7. Comparación de fuentes de contaminación .....	14
2.8. Emisiones de gases de arranque en frío .....	16
2.9. Factores que afectan a la calidad del aire en ambientes cerrados .....	17
2.9.1. Deficiencias en la ventilación .....	17

2.9.2. Contaminación Exterior e Interior.....	18
2.10. Efectos del monóxido de carbono .....	19
2.10.1. Sobre el medio ambiente .....	19
2.10.2. En la salud de las personas y su importancia .....	20
2.11. Diagnóstico .....	23
2.11.1. Estimación de la carboxihemoglobina .....	23
2.11.2. Efectos y Tratamiento .....	26
2.12. Normas y guías internacionales .....	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
3.1. Materiales y equipos .....	29
3.2. Área de estudio.....	29
3.2.1. Actividad Vehicular .....	32
3.3. Metodología .....	32
3.3.1. Monitoreo de la concentración de monóxido de carbono .....	32
3.4. Programa de monitoreo .....	34
3.4.1. Duración del monitoreo.....	34
3.4.2. Periodo de muestreo .....	35
3.5. Método de muestreo.....	36
3.5.1. Sensor de Monóxido de Carbono .....	36
3.6. Medición horaria de la concentración del CO en los niveles del ERN.....	37
3.7. Comportamiento de la concentración del CO en función a los puntos de monitoreo .....	38
3.8. Determinación de la relación que existe entre el número de vehículos y los niveles de CO .....	39
3.9. Estimación del porcentaje de carboxihemoglobina en la sangre de las	

personas.....	39
3.10. Análisis de las variables, la cantidad vehicular sobre la concentración del CO ...	39
3.11. Concentración de CO en relación a la variable meteorológicas .....	40
3.11.1. Comportamiento de la concentración del CO en relación a los puntos de monitoreo.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	42
4.1. Concentración horaria en los tres niveles del estacionamiento.....	42
4.2. Comportamiento de la concentración en función a los puntos de monitoreo. ....	49
4.2.1. Concentración promedio del CO por puntos para el primer sótano. ....	49
4.3. Análisis estadístico.....	51
4.3.1. Influencia de variables meteorológicas y vehiculares sobre concentración del CO .....	51
4.3.2. Modelo de la concentración de CO con las variables .....	51
4.3.3. Ajuste del modelo de la concentración del CO con las variables .....	52
4.3.4. Prueba de normalidad Anderson Darling .....	53
4.3.5. Prueba estadística no paramétrica de Kruskal Wallis .....	55
4.3.6. Prueba estadística de correlación de Spearman.....	55
4.4. Comportamiento de la concentración del CO en relación al número vehicular ...	59
4.5. Comportamiento de la carboxihemoglobina .....	63
4.5.1. Comportamiento de la Carboxihemoglobina instantánea .....	63
4.5.2. Comportamiento de la carboxihemoglobina acumulada.....	66
V. CONCLUSIONES .....	70
VI. RECOMENDACIONES.....	72
VII. BIBLIOGRAFIA.....	73
VIII. ANEXOS .....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación de contaminantes interiores .....	8
<b>Tabla 2:</b> Propiedades físico-químicas del Monóxido de Carbono.....	10
<b>Tabla 3:</b> Emisiones que proceden de fuentes de combustión (kg por ton de combustible) .....	14
<b>Tabla 4:</b> Límites máximos permisibles para vehículos nuevos que se incorporen al parque automotor, Vehículos de pasajeros $\leq 2.5$ ton $6 \leq$ asientos .....	15
<b>Tabla 5:</b> Límites máximos permisibles para vehículos categoría M y N en circulación, con motor de encendido por chispa a gasolina, GLP o GNV u otros combustibles alternos.....	15
<b>Tabla 6:</b> Límites máximos permisibles para vehículos usados categoría M y N que se incorporen al parque automotor, con motor de encendido por chispa a gasolina, GLP o GNV u otros combustibles alternos.....	15
<b>Tabla 7:</b> Fuentes de contaminantes y sus fuentes de emisión.....	19
<b>Tabla 8:</b> Concentración de la Carboxihemoglobina (COHb) y los síntomas que produciría su exposición .....	22
<b>Tabla 9:</b> Estándares de monóxido de Carbono (CO) y Niveles de exposición para ambientes interiores.....	28
<b>Tabla 10:</b> Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo.....	28
<b>Tabla 11:</b> Lugares donde se establecieron los puntos de monitoreo .....	33
<b>Tabla 12:</b> Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del primer sótano de la primera etapa .....	56

<b>Tabla 13:</b> Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del segundo sótano de la primera etapa.....	56
<b>Tabla 14:</b> Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del tercer sótano de la primera etapa.....	57
<b>Tabla 15:</b> Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del primer sótano de la segunda etapa.....	57
<b>Tabla 16:</b> Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del segundo sótano de la segunda etapa.....	58
<b>Tabla 17:</b> Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del tercer sótano de la segunda etapa.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Diferentes tipos de emisión de los vehículos, producto del desgaste, neumáticos, evaporación, y la emisión de gases.....	12
<b>Figura 2:</b> Estructura cuaternaria de la Hemoglobina.....	21
<b>Figura 3:</b> Curvas de disociación de la hemoglobina (Hb) para el oxígeno y el monóxido de carbono.....	22
<b>Figura 4:</b> Niveles de COHb (%) en la sangre a diferentes concentraciones y tiempos de exposición de monóxido de carbono, determinada con la ecuación diferencial de CFK.....	24
<b>Figura 5:</b> Ingreso y efecto del monóxido de carbono al interior del organismo.....	27
<b>Figura 6:</b> (a) Livideces cadavéricas de color rojo cereza, coloración de piel, y manchas verdes de una mujer de 25 años de edad, y (b) Congestión cerebral.....	27
<b>Figura 7:</b> Entradas y salidas de los estacionamientos subterráneos Rivera Navarrete .....	30
<b>Figura 8:</b> Distribución de los niveles del ERN.....	31
<b>Figura 9:</b> Muestra del colector interno de los sensores del AQ-PRO.....	37
<b>Figura 10:</b> Caseta, analizador de gases, y altura de monitoreo .....	38
<b>Figura 11:</b> Variación horaria de la concentración de CO (ppm), primer sótano (primera etapa).....	43
<b>Figura 12:</b> Variación horaria de la concentración de CO (ppm), segundo sótano (primera etapa).....	44
<b>Figura 13:</b> Variación horaria de la concentración de CO (ppm), tercer sótano (primera etapa).....	45

<b>Figura 14:</b> Variación horaria de la concentración de CO (ppm), primer sótano (segunda etapa).....	46
<b>Figura 15:</b> Variación horaria de la concentración de CO (ppm), segundo sótano (segunda etapa).....	47
<b>Figura 16:</b> Variación horaria de la concentración de CO (ppm), tercer sótano (segunda etapa).....	48
<b>Figura 17:</b> Concentración promedio del CO en el primer sótano en función de los puntos.....	49
<b>Figura 18:</b> Concentración promedio del CO en el segundo sótano en función de los puntos.....	50
<b>Figura 19:</b> Concentración promedio del CO en el tercer sótano en función de los puntos.....	51
<b>Figura 20:</b> Desarrollo del modelo, concentración monóxido de carbono versus el resto de variables (promedios horarios).....	52
<b>Figura 21:</b> Desarrollo del modelo, concentración monóxido de carbono versus el resto de variables (promedios horarios) .....	52
<b>Figura 22:</b> Comportamiento de la concentración promedio de CO versus la cantidad de salida vehicular horaria del primer sótano (primera etapa) .....	60
<b>Figura 23:</b> Comportamiento de la concentración promedio de CO versus la cantidad de salida vehicular horaria del segundo sótano (primera etapa) .....	61
<b>Figura 24:</b> Comportamiento de la concentración promedio de CO versus la cantidad de salida vehicular horaria del primer sótano (segunda etapa).....	62
<b>Figura 25:</b> Comportamiento de la concentración promedio de CO versus la cantidad de salida vehicular horaria del segundo sótano (segunda etapa) .....	63

<b>Figura 26:</b> Variación del porcentaje promedio de COHb para todos los puntos del primer sótano.....	64
<b>Figura 27:</b> Variación del porcentaje promedio de COHb para todos los puntos del segundo sótano.....	65
<b>Figura 28:</b> Variación del porcentaje promedio de COHb para todos los puntos del tercer sótano.....	66
<b>Figura 29:</b> Porcentaje de Carboxihemoglobina acumulado para el promedio de puntos del primer sótano.....	67
<b>Figura 30:</b> Porcentaje de Carboxihemoglobina acumulado para el promedio de puntos del segundo sótano .....	68
<b>Figura 31:</b> Porcentaje de Carboxihemoglobina acumulado para el promedio de puntos del tercer sótano.....	69
<b>Figura 32:</b> Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de CO para los 5 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b), P-3 (c), P-4 (d) y P-5 (e) del primer sótano (primera etapa) .....	84
<b>Figura 33:</b> Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de CO para los 5 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b), P-3 (c), P-4 (d) y P-5 (e) del segundo sótano (primera etapa) .....	85
<b>Figura 34:</b> Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de Monóxido de Carbono para los 3 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b) y P-3 (c) del tercer sótano (primera etapa) .....	86
<b>Figura 35:</b> Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de CO para los 5 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b), P-3 (c), P-4 (d) y P-5 (e) del primer sótano (segunda etapa).....	87

<b>Figura 36:</b> Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de CO para los 5 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b), P-3 (c), P-4 (d) y P-5 (e) del segundo sótano (segunda etapa) .....	88
<b>Figura 37:</b> Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de Monóxido de Carbono para los 3 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b) y P-3 (c) del tercer sótano (segunda etapa) .....	89
<b>Figura 38:</b> Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del primer sótano (primera etapa) .....	90
<b>Figura 39:</b> Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del segundo sótano (primera etapa) .....	90
<b>Figura 40:</b> Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del tercer sótano (primera etapa) .....	90
<b>Figura 41:</b> Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del primer sótano (segunda etapa) .....	91
<b>Figura 42:</b> Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del segundo sótano (segunda etapa) .....	91
<b>Figura 43:</b> Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del tercer sótano (segunda etapa) .....	91

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Desarrollo del análisis estadístico de la prueba de normalidad de Anderson Darling .....	84
<b>Anexo 2:</b> Cálculo estadístico de la prueba de Kruskal Wallis entre las concentraciones de CO de todos los puntos de monitoreo.....	90
<b>Anexo 4:</b> Propiedades del monóxido de carbono a 1 atm de presión y diferentes temperaturas .....	93
<b>Anexo 5:</b> Álbum fotográfico.....	94
<b>Anexo 6:</b> Certificado de calibración del detector de gases modelo AQ-pro .....	96
<b>Anexo 7:</b> Ubicación de los puntos de monitoreo en los 3 sótanos del ERN.....	98

## RESUMEN

Las investigaciones concernientes a los niveles de la calidad del aire en estacionamientos de vehículos son muy escasas. Se desconocen el grado, los contaminantes, los efectos y las medidas que se podría adoptar. Por ello, en el presente estudio se evaluó los niveles de Monóxido de Carbono (CO) en los ambientes del estacionamiento subterráneo Rivera Navarrete (San Isidro, Lima) y se estimó su relación con el porcentaje de carboxihemoglobina (%COHb) en la sangre de las personas. El estudio fue realizado en los interiores del estacionamiento los cuales están distribuidos en 3 sótanos, seccionados en 5 puntos de registro para el primer y segundo sótano, y 3 puntos en tercero. Se obtuvo valor promedio cada 5 min durante los días y las horas (7:30 a 22:00 horas) de mayor afluencia vehicular. Para las mediciones de CO se utilizó un analizador de gases Modelo AQ-PRO. Serie 14105 y para la estimación de la carboxihemoglobina se empleó un método matemático (Coburn, et al, 1965).

Los resultados obtenidos indican la presencia de altos niveles de monóxido de carbono; sin embargo, estos niveles permanecen por debajo de normas y guías la mayoría de tiempo, excepto para el segundo sótano (sobrepasa los límites de 10 ppm de la guía de la OMS de 15 min y EPA de 1 hora). Se registraron concentraciones promedio de monóxido de carbono en el primer sótano de 8.93 ppm y valores de carboxihemoglobina de 0.52%COHb; en el segundo sótano, 13.76 ppm y 0.53%COHb; y el tercer sótano, 3.69 ppm y 0.51%COHb, respectivamente. Los horarios de mayor concentración para el primero y segundo sótano oscilan entre las 17:00 a 18:00 horas, intervalo de tiempo en el cual se debe optar medidas con el fin de proteger la salud de los usuarios.

**Palabras clave:** Monóxido de carbono, aire interior, carboxihemoglobina, estacionamientos subterráneos, calidad del aire.

## ABSTRACT

The investigations concerning the levels of air quality in vehicle parking lots are very scarce, the degree, the pollutants, the effects and the measures that could be adopted are unknown. For this reason, in the present study the levels of Carbon Monoxide (CO) in the environments of the underground parking lot Rivera Navarrete (San Isidro, Lima) were evaluated and their relationship with the percentage of carboxyhemoglobin (%COHb) in the blood of people. The study was conducted in the interiors of the parking lot, distributed in 3 basements, sectioned into 5 registration points for the first and second basement and 3 points in the third basement, average value was obtained every 5 min, during the days and hours (7:30 a.m. to 10:00 p.m.) higher vehicular influx. For CO measurements, a Model AQ-PRO gas analyzer was used. Series 14105 and for the estimation of carboxyhemoglobin a mathematical method was used (Coburn et al, 1965).

The results obtained indicate the presence of high levels of carbon monoxide, however, these levels remain below standards and guidelines most of the time, except for the second basement (it exceeds the limits of 10 ppm of the WHO guide for 15min and EPA of 1 hour). Average concentrations of carbon monoxide were recorded in the first basement of 8.93 ppm and carboxyhemoglobin values of 0.52%COHb, in the second basement 13.76 ppm and 0.53%COHb and the third basement 3.69 ppm. and 0.51%COHb respectively. The hours of greatest concentration for the first and second basements range from 5:00 p.m. to 6:00 p.m., a time interval in which measures must be taken in order to protect the health of users.

**Keywords:** Carbon monoxide, indoor air, carboxyhemoglobin, underground parking lots, air quality.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, a nivel mundial se evidencia la preocupación por tener un aire limpio en el exterior e interior de un ambiente. Sin embargo, el incremento de las actividades humanas, la minería, la industria, el incremento del parque automotor y la poca renovación de ello continúan deteriorando la calidad del aire en interiores y exteriores. Se han experimentado un fuerte incremento en el último siglo que está degradando la calidad de aire en las grandes ciudades donde la acumulación y la interacción de los gases tóxicos corresponden al tráfico urbano y a las grandes industrias (Álvarez, Menéndez y Bravo, 2018). Además de ello, el aumento de las personas con mayor poder adquisitivo, el incremento de la densidad poblacional en las grandes ciudades y la dependencia a las infraestructuras han dado lugar a una mayor intensidad de la exposición de la contaminación del aire interior (Wai, 2016).

Los espacios interiores (oficinas, colegios, hospitales, centros comerciales y estacionamientos) son los lugares donde un individuo hoy en día pasa más del 80% de su tiempo (Carazo, Fernández, González y Rodríguez, 2013). En dichos lugares, los gases provenientes de la combustión son del sector automotor que utilizan la gasolina o diésel, y los procesos industriales que utilizan compuestos derivados del carbono (Tellez, Rodríguez y Fajardo, 2006; Boldo, 2016). El Monóxido Carbono (CO) es un gas conocido por su toxicidad y podría generar efectos en la salud a largo plazo e, inclusive, la muerte (Huamán, 2015). Este contaminante proviene principalmente de la combustión de compuestos orgánicos (combustibles fósiles y biocombustibles) y con escasa cantidad de oxígeno. El problema de este gas (Álvarez et al., 2018) radica en los espacios interiores y espacios confinados donde la concentración de este contaminante es alta, dando parte a la formación de Carboxihemoglobina (COHb). Según el Centro de Control y Prevención de Enfermedades (2007), durante los años 1999 y 2004, este contaminante ocasionó un promedio de 400 muertes anuales por envenenamiento no intencional.

Esta situación es más crítica cuando hace referencia a las muertes generadas por la contaminación del aire (interior y exterior) porque en el 2016, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), hubo unos 3 millones de muertes por año, y en el 2012 se estimó una cifra de 6,5 millones de muertes a nivel mundial, y que todos estuvieron asociados a la contaminación del aire. Otros autores como Kempton, Daly, Kokogiannakis y Dewsbury (2022) mencionan a más de 5 millones de personas que mueren cada año de forma prematura por enfermedades atribuibles a la mala calidad del aire interior.

En la actualidad, uno de los problemas en el Perú es el incremento del parque automotor y su falta de renovación, que generan una gran cantidad de contaminantes. La Asociación de Automotriz del Perú (AAP) menciona que entre enero y diciembre del 2021 se vendieron 157 100 unidades de vehículos livianos, un número mayor en 40% con respecto al año 2020, y la ciudad de Lima con una participación del 58,83%.

Por otro lado, otro problema del transporte es la falta de estacionamientos, y en especial en la zona financiera del distrito de San Isidro, el cual es uno de los sectores con mayor déficit de estacionamientos y gran congestión vial (Lurie, 2016). Esta situación ha motivado que se construyan estacionamientos subterráneos, como el caso del distrito de San Isidro, que posee uno de los estacionamientos subterráneo con la mayor capacidad de números de vehículos del país y están distribuidos en tres niveles (Municipalidad de San Isidro [MSI], 2016). En tal sentido, a la fecha no se tienen estudios sobre las características de los estacionamientos subterráneos y los efectos que podrían causar en los usuarios de dicho servicio.

Por consiguiente, es fundamental conocer el grado de contaminación que existe en los interiores del estacionamiento subterráneo, porque los vehículos son los principales emisores de los diversos gases provenientes de la combustión interna de sus motores; en especial el monóxido de carbono, y, tomando en consideración que son ambientes cerrados y con poca ventilación natural, se pueden experimentar efectos en la salud de los usuarios de este servicio público.

Por ello, en este estudio se evaluó las características del Monóxido de Carbono en los diferentes niveles del estacionamiento Rivera Navarrete, y su probable impacto en la salud de las personas, a través de la estimación del porcentaje de la carboxihemoglobina (% COHb) en la sangre.

Por lo tanto, en el estudio se ha planteado los siguientes objetivos:

### **Objetivo Principal**

Evaluar los niveles de Monóxido de Carbono (CO) en los ambientes del estacionamiento Rivera Navarrete y su relación con el porcentaje de carboxihemoglobina (%COHb) en la sangre de las personas.

### **Objetivos Específicos**

- a) Medir la concentración de horaria del Monóxido de Carbono en los tres niveles del estacionamiento.
- b) Determinar el comportamiento de la concentración del monóxido de carbono en función a los puntos del monitoreo
- c) Determinar la relación que existe entre el número de vehículos del estacionamiento y los niveles de gases de monitoreados.
- d) Estimar el porcentaje de carboxihemoglobina en la sangre de las personas.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1. Antecedentes del problema

Demir (2015) realizó una investigación en 9 aparcamientos: 5 (G1 a G5) de ellos en pisos sobre el nivel del suelo, 4 (GA, GB, GC, y GD) de ellos fueron subterráneos situados en diferentes distritos de Estambul (Turquía). Fue realizada con el fin de crear mapas de emisiones de gases (50 registros) nocivos para CO, HC y NO<sub>x</sub> y los resultados obtenidos de las mediciones realizadas se compararon con los valores MAC (concentración máxima permitida); y TLV (Valor Límite Umbral - Tiempo ponderado Promedio). El monóxido de carbono para todos los pisos sobrepasó las 9 ppm (MAC), para el piso G1 tuvo un máximo de 45 ppm y un promedio de 13.2 ppm; el piso G2 tuvo el valor máximo fue 70 ppm, un promedio de 30.7 ppm; el piso G3 el valor máximo fue 75 ppm, un promedio de 29.4 ppm; el piso G4 tuvo un valor máximo fue 70 ppm, un promedio de 27.9 ppm; el piso G5 tuvo un valor máximo fue 70 ppm, un promedio de 30.9 ppm, en el caso de los aparcamientos subterráneos se han hecho 40 registros, todos sobrepasaron los 9 ppm, el subterráneo GA registro un valor máximo de 45 ppm, y un promedio 17.12 ppm; el subterráneo GB registró un valor máximo de 45 ppm, y un promedio 17 ppm, el subterráneo GC registró un valor máximo de 35 ppm, y un promedio 14.83 ppm; el subterráneo GD registró un valor máximo de 25 ppm, y un promedio 10.62 ppm, en algunos casos los aparcamientos subterráneos de varias plantas registró por debajo de los valores de los aparcamientos elevados de varias plantas. Para este caso, se puede afirmar que es efectivo el uso del sistema de ventilación automática que arranca automáticamente en función de la cantidad de CO en los aparcamientos subterráneos.

Fiedoruk y Nieciecki (2016) realizaron un estudio de calidad del aire interior y la eficiencia de un sistema de ventilación (ventilación mecánica y natural) en un garaje de múltiples vehículos en la ciudad de Latvia (Polonia) a finales del año 2015 en un garaje subterráneo situado debajo de una residencial multifamiliar de cinco pisos en la época de verano, donde se tiene cuatro niveles el aparcamiento subterráneo. Este espacio posee inyectores que son

regulados por un sensor de CO para el ingreso del aire para ventilar es interior. El equipo de medición se ubicó a una altura de 1.0 m en la parte central del garaje, porque es una altura media de exposición de los niños a contaminantes peligrosos y los niños son más sensibles a estos contaminantes que los adultos. Las mediciones se ejecutaron durante siete días consecutivos con resultados de un dato por minuto, donde las concentraciones más bajas se registraron en horas de la mañana (a las 5:00 am), el incremento de las concentraciones se inicia a partir de la 7:00 horas hasta las 16:00 horas (los valores oscilan entre 5 ppm y 10 ppm), los registros altos fueron entre las 10:00 a 12:00 horas, con un máximo valor del 92 ppm en ese rango horario.

Maximilien et al., (2016) este estudio fue realizado en estacionamiento subterráneo de un colegio Montreal, Quebec (Canadá). El muestreo se hizo en el sótano y el primer piso del colegio, durante las estaciones de primavera (del miércoles 23 de abril al martes 29 de abril de 2014) e invierno (del lunes 12 de enero al viernes 16 de enero de 2015), donde se evaluaron los contaminantes del CO y NO<sub>2</sub> utilizando sensores electroquímicos y tubos colorimétricos pasivos respectivamente, adicional a ellos se midieron otros contaminantes (no lo mencionaremos por no ser de interés para este estudio); las principales horas de tránsito vehicular son el ingreso por la mañana (7:40 a 9:00) y a su salida por la tarde (14:30 a 15:30), se hicieron mediciones un total de 8.5 horas diarias y se llevó a cabo entre las 6:00 horas y 17:30 horas, los resultados para el monóxido de carbono fueron más altas en todos los puntos de monitoreo para la estación del invierno en el primer piso, donde las máximas concentraciones ocurrió a la llegada y salida de los estudiantes y se obtuvo valores del estacionamiento (primavera: 0.44 ppm; invierno: 1.42 ppm), planta baja (primavera: 0.05 ppm; invierno 1.08 ppm), primera planta (primavera: 0.01 ppm; 0.98 ppm) y con un promedio general la primavera de 0.22 ppm y el invierno de 1.15 ppm.

Al-Rukaibi, Al-Mutairi y Al-Rashed (2018) realizaron un estudio de 5 estacionamientos en la ciudad de Kuwait situada en Asia Occidental, una metrópolis rodeada de gran cantidad de edificios, hoteles de lujos, oficinas del gobierno, bancos y principal centro de negocios, este lugar alberga aproximadamente al 95% de la población; se seleccionaron 5 estacionamientos. Tres en Kuwait City - Qibla (Al-Saleheyah, Al-Mothannah, Al-Mobarakeyah) y dos en Al-Salmiya (Al-Fanar, Marina-mall) con diferentes características entre frecuencia vehicular, área y ventilación; se hicieron monitoreos de CO, NO, NO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> durante 30 segundos, en las mañanas y noches con 8 repeticiones en 3 partes (entrada,

centro y rincón), y un periodo de 9 meses, con resultados siguientes: Al-Fanar, una mayor concentración media en la noche que en la mañana de 15.4 ppm a 5.8 ppm respectivamente, y con un máximo de 46.2 ppm, mínimo de 0.1 ppm y una media de 11.1 ppm; Al-Mothannah, una mayor concentración media en la noche que en la mañana de 14.7 ppm a 10.1 ppm respectivamente, y un máximo de 26.9 ppm, mínimo de 0.1 ppm y una media de 11.2; Al-Saleheyah, una mayor concentración media en la noche que en la mañana de 11.6 ppm a 11.8 ppm respectivamente, y un máximo de 50.5 ppm, mínimo de 0.1 ppm y una media de 11.1; Marina-mall, una mayor concentración media en la noche que en la mañana de 5.0 ppm a 7.7 ppm respectivamente, y un máximo de 20.5 ppm, mínimo de 0.1 ppm y una media de 6.0; Al-Mobarakeyah, una concentración media en la noche de 5 ppm, y un máximo de 8.6 ppm, un mínimo de 1.4 ppm y una media de 4.7 ppm.

Sachin, Ananth y Siby (2018) realizaron un estudio en la ciudad de Chandigarh (India). Se hizo monitoreo en días laborables con un periodo de 8 horas diarias, con el objetivo predecir el riesgo de los trabajadores de un aparcamiento subterráneo que está asociado los contaminantes como el monóxido de carbono y los compuestos orgánicos volátiles, además el cálculo del porcentaje de carboxihemoglobina en la sangre de los involucrados; el área abarcada para este estudio es 1000 m<sup>2</sup> para la primera planta, 2000 m<sup>2</sup> para la segunda planta, y con 1500 m<sup>2</sup> para la tercera planta, con una capacidad de 250, 800 y 400 respectivamente, donde se obtuvo concentraciones promedio del CO (ppm) y %COHb de 6.83 (1.25 % ); 5.12 (0.979 %); y 8.13 (1.45%) donde concluyen que requieren mayor tiempo de exposición a estos porcentajes para causar algunos daños a la salud.

Hou et al., (2021) realizaron una investigación en el estacionamiento subterráneo de “In the Yige International Holiday Hotel of Xi’an” ubicada en China. Es un estacionamiento rodeado de edificios, colegios, y residencia. Se resalta que no hay fuentes de contaminación industrial, cuenta con una superficie de 1375 m<sup>2</sup> con un funcionamiento de horario de las 7:00 a 23:30 horas, se realizaron en diferentes estaciones, y llevaron a cabo las mediciones de campo durante el período 21/09/2020 - 10/01/2021, incluyendo el otoño (septiembre de 2020 a octubre de 2020) y el invierno (noviembre de 2020 a enero de 2021); se registraron datos de temperatura, la humedad, volumen del tráfico, y la distribución temporal y espacial de las concentraciones del monóxido de carbono entre otros gases; se evaluaron la influencia de las emisiones de los vehículos y de la calidad del aire exterior sobre el aire interior, para el contaminante de nuestro interés con un rango de (0 – 2000 ppm); se realizó un registro

cada 10 min, se ubicaron 3 puntos de monitoreo (en entrada: punto A, en el centro: punto B y el lugar más rincón: punto C) ubicados en 1.5 m de altura donde cada muestreo duro 12 horas desde la 8:00 horas hasta las 20:00 horas, debido a que el ingreso y salida ocurra con mayor frecuencia en este intervalo de tiempo; adicional a ellos en el punto medio de monitoreo se ubicó a diferentes alturas (0.3 m; 1.5 m; y 2 m de altura) con un registro de 24 horas y un intervalo de 5 min. Se obtuvieron concentraciones medias en otoño de  $6.92 \pm 2.3 \text{ mg/m}^3$ , e invierno de  $2.5 \pm 1.21 \text{ mg/m}^3$ , donde se resalta que las concentraciones de otoño son superiores; las concentraciones medias cerca a la entrada fueron de  $3.52 \pm 2.54 \text{ mg/m}^3$  y en el interior del garaje fue más alto con  $4.64 \pm 3.02 \text{ mg/m}^3$ , y una correlación positiva con la humedad y negativamente con la temperatura. La variación espacial de la concentración medias de otoño para el CO fue de  $5.75 \pm 3.56 \text{ mg/m}^3$  (punto A),  $5.92 \pm 5.5 \text{ mg/m}^3$  (punto B),  $8.02 \pm 3.74 \text{ mg/m}^3$  (punto C); en el invierno de  $1.87 \pm 0.77 \text{ mg/m}^3$  ( punto A),  $2.87 \pm 0.88 \text{ mg/m}^3$  (punto B),  $2.77 \pm 0.79 \text{ mg/m}^3$  (punto C); las concentraciones media fueron de  $3.6 \text{ mg/m}^3$  (2.88 ppm) en el punto A,  $4.83 \text{ mg/m}^3$  (3.86 ppm) en el punto B,  $5.11 \text{ mg/m}^3$  (4.09 ppm) en el punto C; las concentraciones medias de CO cerca de la entrada  $3.52 \pm 2.45 \text{ mg/m}^3$  son menores que el rincón del estacionamiento  $4.64 \pm 3.02 \text{ mg/m}^3$ ; las concentraciones a 0.3 m son menores que a las alturas de 1.5 m y 2 m (en ambas alturas no hubo diferencias significativas en las concentraciones). La variación de la concentración del interior respecto exterior no es muy resaltante, sin embargo, tanto en otoño e invierno las concentraciones más bajas fueron antes de la 8:00 horas y las horas de máximos valores fueron entre las 13:00 y las 14:00 horas, todos los días.

Al-Asmari, Al-Zahrani y Halwani (2021) realizaron un estudio en la ciudad de Jeddah, la segunda ciudad más grande de la región de Arabia Saudí, donde se recopiló información de los casos de intoxicación por CO, en coordinación con Centro de Control de Intoxicaciones y Química Médica Forense de Jeddah (JPCC), la Base de Datos de Informes y Solicitudes de Toxicología Forense de Jeddah (FTRJ), el Ministerio de Salud saudí con el fin de investigar la relación de intoxicación del CO y las muertes entre los años 2009 al 2020. Se revisaron un total de 4617 informes de autopsia, de todos estos casos una fracción del 170 casos post mortem fueron positivos para COHb, más de la mitad de estos casos positivos fueron asociados a una intoxicación por monóxido de carbono, en particular 61 casos tenían un nivel de % COHb superior al 50% y 35 casos oscilaban entre el 26% y el 49%; con una proporción del hombre sobre mujer de 68 a 28, además de otros datos; sin embargo, el

estudio menciona que gran porcentaje están asociados por accidente de incendios o incidentes relacionado con el fuego.

## 2.2. Calidad del aire en Ambientes Interiores

### 2.2.1. Definición

La calidad ambiental del espacio de un ambiente interior se define como la armonía, de factores térmicos, acústicos, lumínicos y del aire que respiramos, donde no debe contener sustancias en concentración excesiva, no provoquen efectos nocivos y no perjudiquen la salud de los ocupantes: ha de resultar un lugar fresco y agradable (Carazo et al., 2013).

### 2.2.2. Contaminación del aire interior

La preocupación sobre la contaminación en espacios internos (edificios, aparcamientos, instituciones, etc.) en un área donde las personas pasan gran tiempo, se tuvo prioridad en los años 80, y sus efectos en la salud (Daza, Martínez y Caro, 2015); la contaminación del aire interior es un espacio donde podemos encontrar sustancias nocivas y, potencialmente, puede causar daños a los integrantes. Este tipo de contaminación se diferencia del contaminante exterior debido a que en espacios cerrados las oportunidades de liberarse son escasas como lo indica Boldo (2016). Y la calidad de estos ambientes varían en función con los materiales construidos, componentes, y su ventilación.

### 2.2.3. Clasificación de los contaminantes de aire interior

El Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (OSMAN, 2011) recopiló información y la clasificó de la siguiente manera para contaminantes en ambientes interiores. Como se indica en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Clasificación de contaminantes interiores

<b>Clasificación</b>	<b>Contaminantes</b>
<b>Inorgánicos</b>	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas, fibras minerales, ozono, óxidos de azufre
<b>Orgánicos</b>	Compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Continuación ...

---

<b>Origen Biológicos</b>	Virus, hongos, bacterias, ácaros, pelo y caspa de mascotas
<b>Mezclas</b>	Humo ambiental de tabaco, plaguicidas, ambientadores, desinfectantes y otros productos de uso doméstico
<b>Alérgenos</b>	Hongos, mohos, ácaros del polvo, caspa y pelos de mascota, plantas

---

**FUENTE:** Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (2011)

A continuación, se describirá características importantes del monóxido de carbono por ser de interés del presente estudio.

## **2.3. Monóxido de Carbono**

### 2.3.1. Definición

El Monóxido de Carbono (CO), un gas incoloro, inorgánico, inodoro, tóxico y muy inflamable (Boldo, 2016), es un gas venenoso generado por la combustión incompleta del carbón y/o materiales que contengan compuestos con carbono (Castañeda et al., 2008), y que puede pasar desapercibido y considerado el único gas (compuesto químico) que produce un cambio en la fisiología humana (Strauss y Mainwaring, 2012).

### 2.3.2. Características

El CO es un gas estable en la atmósfera, y las concentraciones máximas suelen producirse en las estaciones donde los meses son los más fríos del año. Aquí las emisiones de CO de los automóviles son mayores y las condiciones de inversión nocturna (donde los contaminantes del aire quedan atrapados cerca del suelo bajo una capa de aire caliente) son más frecuentes (EPA, 2002). Aproximadamente el 60% del monóxido de carbono está vigente en nuestro medio como procesos de la combustión orgánica, de tabaco, biomasa y combustibles fósiles en un 40% de forma natural (Buchelli et al., 2014), y según Manahan (2007) el 20% proviene de las actividades antropogénicas.

### 2.3.3. Propiedades físicas y químicas

Es una molécula diatómica, y por sus características físico - químicas es llamado “el asesino silencioso” (Tellez et al., 2006). No es corrosiva y es muy estable. Existe como gas en la

atmósfera de la tierra. La radiación ultravioleta (UV) del espectro electromagnético no es absorbida por el monóxido de carbono, aunque la molécula tiene bandas de absorción débiles entre 125 y 155 nm; pero sí absorbe la radiación en la región infrarroja que corresponde a la excitación vibratoria de su estado básico eléctrico. Posee un momento dipolar eléctrico bajo (0,10 debye - es una unidad de momento dipolar eléctrico), una distancia interatómica corta (0,123 nm) y un alto calor de formación de los átomos o fuerza de enlace (2072 kJ/mol). (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1999).

**Tabla 2:** Propiedades físico-químicas del Monóxido de Carbono.

PROPIEDADES	DESCRIPCIÓN
Estructura Química	:C $\equiv$ O:
Peso molecular	28.01
Punto crítico	- 140°C a 3495 kPa
Punto de fusión	- 199°C
Punto de ebullición	- 191.5°C
Transición vibratoria fundamental	2143.3 cm <sup>-1</sup> (4.67 ug)
Densidad a 25°C, 101.3 kPa	1.145g/L
Peso específico en el aire	0.967
solubilidad en agua a 0°C	35.4 mL/L
solubilidad en agua a 25°C	21.4 mL/L
Límite de explosividad en el aire	12.5% - 74.2%

**FUENTE:** Cope (2020)

a. Densidad del monóxido de carbono y la densidad del aire

El contaminante monóxido de carbono a tener una densidad de 1.145 g/l a 25°C menor a la densidad del aire de 1.184 g/l a 25°C; se considera al CO más ligero que el aire a estas temperaturas y una atmosfera de presión; además, a temperaturas más elevadas y por debajo de la temperatura ambiental (como lo indica en el anexo 4 y anexo 5), la densidad del contaminante es ligeramente menor a la densidad del aire; por lo tanto. los gases del monóxido de carbono siempre tienden a estar lo más cerca al techo en un ambiente cerrado; además, los monitoreos y/o los sensores deberían estar ubicados cercano o en secciones más elevadas de estos ambientes para obtener registros más verídicos.

#### 2.3.4. Origen del monóxido de carbono

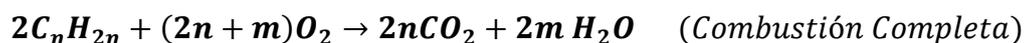
Este gas es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmosfera terrestre. Su origen está en las emisiones de los vehículos que utilizan la gasolina o el diésel, y los procesos industriales que utilizan compuestos del carbono, los cuales representan aproximadamente el 80% de todo el monóxido (Tellez et al., 2006). La presencia de este contaminante en medios no industriales es debida a la difusión por motores de combustión interna en espacios interiores (garajes, espacios cerrados, edificio), la toma incorrecta de aire fresco exterior, el aire de tabaco, además de la industria metalúrgica o la fabricación de papel también emiten cantidades importantes como lo afirma Boldo (2016).

Alcivar y Ponce (2017) manifiesta que otra de las fuentes que generalmente se olvida considerar es del Tabaco, cuyo humo incorpora aproximadamente 400 ppm de CO; también se debe considerar el periodo del año, como señala Gómez y Valcarcel (2003); Tekeli, Bolat, y Ünay (2022) en las estaciones de otoño e invierno debido al uso de calderas, calefacción, hogares, braseros, etc. Además, la poca ventilación, todo ello ocasiona decesos, similar a lo afirmado por Boldo (2016) respecto a los valores más bajos del CO son en verano y los mayores son registrados en días laborables; y Cebollada y Burillo (2016) ratifica en su estudio que en las estaciones de invierno se atienden un problema recurrente relacionado con la intoxicación por CO.

### 2.4. Fuentes exógenas

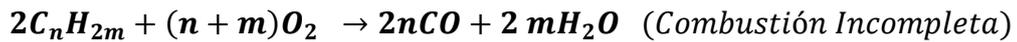
#### 2.4.1. Combustión Completa

La combustión completa es una reacción que ocurre con la asistencia de un combustible con un exceso de oxígeno (O<sub>2</sub>), generando productos gases, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O), debido a la oxidación completa del carbono e hidrogeno, y así evitando la producción de CO para fines prácticos se expresará con la siguiente ecuación:



## 2.4.2. Combustión incompleta

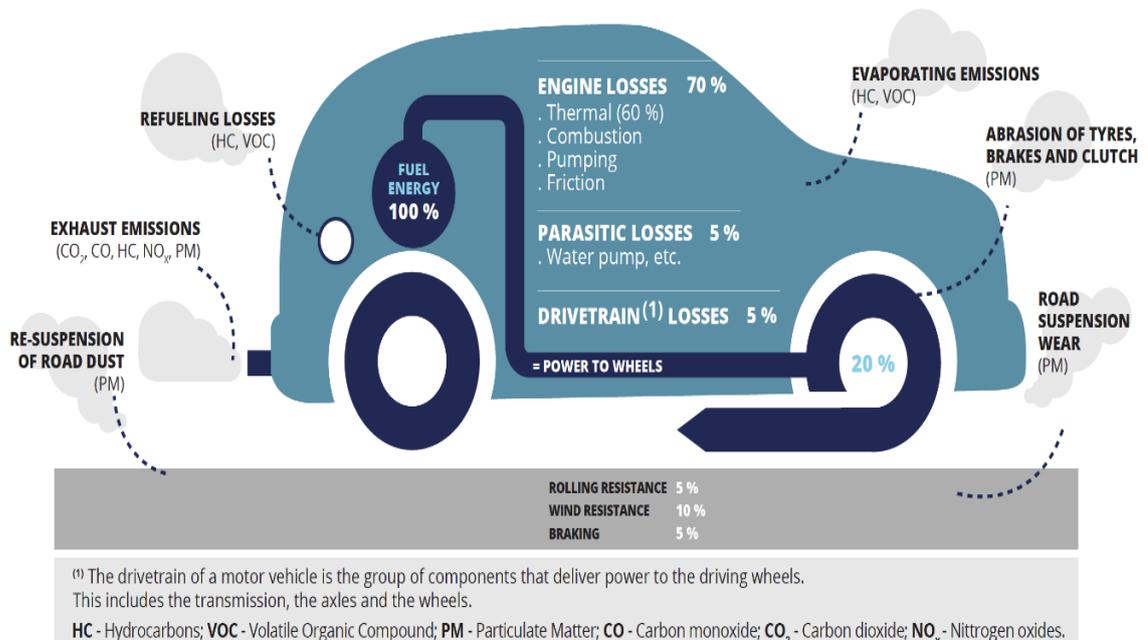
Proceso similar a la combustión completa, en el cual los elementos combustibles reaccionan con un oxígeno (O<sub>2</sub>) limitante; sin embargo, el carbono no logra oxidarse por completo, donde se genera predominantemente el monóxido de carbono (CO) y agua (H<sub>2</sub>O), como productos gaseosos. Donde con fines prácticos se puede expresar con la siguiente ecuación general:



\* Donde n y m son números positivos

Avella (2012) afirma: “En principio se debe admitir que en un motor de combustión interna ocurren combustión completa y combustión incompleta, según sean las condiciones ambientales donde se lleve a cabo el proceso y dependiendo de la composición de la mezcla de gases que se quema y de la sincronización en su funcionamiento” (p.38).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2002) menciona que el 95% monóxido de carbono son generados por la combustión en los vehículos, aunque, la agencia europea ambiental le da porcentajes diferentes como lo indica la Figura 1.



**Figura 1:** Diferentes tipos de emisión de los vehículos, producto del desgaste, neumáticos, evaporación, y la emisión de gases

**FUENTE:** Agencia europea ambiental (EEA, 2016)

## **2.5. Fuentes endógenas**

Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades ([ATSDR], 2012) afirma que el organismo del cuerpo por lo general tiende a producir CO endógeno, además menciona:

El CO endógeno proviene de la degradación del hemo, la autooxidación de los fenoles, la foto-oxidación de los compuestos orgánicos, y la peroxidación de los lípidos de la membrana celular y del metabolismo oxidativo de los precursores exógenos (por ejemplo, el tetracloruro de carbono, el diclorometano y otros dihalometanos). (p.11)

La ATSDR (2012) ha estimado que la tasa de producción endógena de CO es aproximadamente de 0.42 ml a temperatura y presión estándar/hora o 0.006 ml de monóxido de carbono/hora/kg de peso corporal. Sin embargo, numerosos factores fisiológicos y de enfermedad afectan a la tasa de producción endógena, incluidos el ciclo menstrual, el embarazo, las enfermedades y los estímulos que aumentan el catabolismo de la hemoglobina u otras proteínas hemáticas, incluida la hemólisis, hematomas, anemias hemolíticas, talasemia y síndrome de Gilbert.

Para Coburn, Blakemore y Forster (1963) “la fuente principal donde se genera el monóxido de carbono es debido al metabolismo oxidativo del hem o heme por la enzima hem oxigenasa, donde se estima una producción de este gas en personas adulta sanas aproximadamente 0.42 ml CO/hora” (p.2).

El CO endógeno es causado, en algunas circunstancias, por el metabolismo del cloruro de metileno, componente de algún tipo de pinturas y aerosoles, cuál puede llegar a saturar entre 0.4% a 0.7% de COHb según Rodríguez, Yesid, Estévez y Díaz (2018). En el caso de un no fumador tiene un nivel de referencia al menos de 1% al 3% de producción endógena, mientras que los fumadores pueden tener niveles mayores al 10% inmediatamente después de fumar (Kao y Nañagas, 2006; Oliu, Nogué y Miró, 2010).

## **2.6. Fuentes naturales**

El monóxido de carbono es un gas componente natural de la atmósfera, y la concentración atmosférica global de este gas esta alrededor de 0.1 ppm el cual equivale a un aproximado de 500 millones de toneladas métricas; las estaciones de otoño son donde se genera

monóxido de carbono debido a la degradación de la clorofila y materia vegetal el cual libera este gas, donde contribuye en un 20% al promedio mundial de la descarga global (Manahan, 2007); además de forma natural proviene de la descomposición de la materia (oxidación del metano) según Boldo (2016); y las imágenes satelitales muestran concentraciones altas de CO registradas en América del sur y África debido a la quema de biomasa (Wallace y Hobbs, 2006).

## 2.7. Comparación de fuentes de contaminación

Cuando se analiza la fuente de los contaminantes, en especial, los que provienen de la combustión, se debe tener en cuenta las cantidades relativas de contaminantes que se produce; en la próxima

Tabla 3 se muestran las cantidades promedio de los mayores contaminantes que se producen por tonelada de combustible.

**Tabla 3:** Emisiones que proceden de fuentes de combustión (kg por ton de combustible)

CONTAMINANTE	COMBUSTIÓN INTERNA		COMBUSTIÓN EXTERNA			
	Motores de Gasolina	Motores Diesel	Petróleo combustible		Carbón	
			Generación de energía	Comercial doméstica	Generación de energía	Comercial domestica
<b>Monóxido de Carbono</b>	395	9	0.005	0.025	0.25	25
<b>Óxidos de Nitrógeno</b>	20	33	14	10	10	4
<b>Óxidos de Azufre</b>	1.55	6	20.8S	29.8S	19S	19S
<b>Hidrocarburos</b>	34	20	0.42	0.26	0.1	5
<b>Aldehídos y Ácidos Orgánicos</b>	1.4	6.1	0.08	0.25	0.0025	0.0025

FUENTE: Strauss y Mainwaring (2012)

Sin embargo, en la actualidad y con el propósito de mejorar la calidad de aire en ambientes exteriores, y por consiguiente en ambientes cerrados, el Ministerio del Ambiente (MINAM) publicó los Límites Máximos Permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores (indicados en Tabla 4, 5, y 6) en los cuales especifican las normativas para los nuevos y antiguos vehículos que deberán cumplir con el fin de incorporarse al Sistema Nacional de Transporte Terrestre.

**Tabla 4:** Límites máximos permisibles para vehículos nuevos que se incorporen al parque automotor, Vehículos de pasajeros  $\leq 2.5$  ton  $6 \leq$  asientos

Año aplicación (**)	Norma	Directiva	Tipo de Motor / encendido	CO [g/Km]	HC + NOx [g/Km]	HC [g/Km]	NOx [g/Km]	PM [g/Km]
2017 a marzo 2018	EURO III o de mayor exigencia	98/69/EC(A) <sup>(2)</sup>	Chispa Compresión	2,30 0,64	- 0,56	0,20 -	0,15 0,50	- 0,05
Abril 2018 en adelante	EURO IV <sup>(1)</sup> o de mayor exigencia	98/69/EC (A) <sup>(2)</sup> y 2002/80/EC <sup>(2)</sup>	Chispa Compresión	1,00 0,50	- 0,30	0,10 -	0,08 0,25	- 0,025

(\*\*) El año de aplicación se refiere a la fecha correspondiente al conocimiento de embarque, no a la incorporación al país.

<sup>(1)</sup> A partir de EURO IV los vehículos de pasajeros solo se clasifican por peso.

<sup>(2)</sup> A efectos de la revisión del cumplimiento de la directiva se aplicará, la misma, sus actualizaciones o directiva que corresponda a norma de mayor exigencia a la indicada.

**FUENTE:** Resolución Ministerial N°306 - 2017 – MINAM

**Tabla 5:** Límites máximos permisibles para vehículos categoría M y N en circulación, con motor de encendido por chispa a gasolina, GLP o GNV u otros combustibles alternos

Año de fabricación (*)	Altitud (msnm)	CO [% - v/v]	HC [ppm]	CO + CO <sub>2</sub> [% - v/v] mínimo
Hasta 1995	0 a 1800	3,0	400	10 [8 <sup>(1)</sup> ]
	>1800	3,0	450	8
1996 a 2002	0 a 1800	2,5	300	10 [8 <sup>(1)</sup> ]
	>1800	2,5	350	8
2003 en adelante	A cualquier altitud	0,5	100	12 [8 <sup>(1)</sup> ]

(\*) el año de fabricación es el año calendario en el que el vehículo fue fabricado, que no corresponde necesariamente el año modelo, y se encuentra consignado en la tarjeta de propiedad o identificación vehicular.

<sup>(1)</sup> Solamente para GLP/GNV

**FUENTE:** Resolución Ministerial N°306 - 2017 – MINAM

**Tabla 6:** Límites máximos permisibles para vehículos usados categoría M y N que se incorporen al parque automotor, con motor de encendido por chispa a gasolina, GLP o GNV u otros combustibles alternos

Año de fabricación	CO [% - v/v]	HC [ppm]	CO + CO <sub>2</sub> [% - v/v] mínimo
2013 en adelante (1)	0,35	70	12[10 <sup>(2)</sup> ]

(\*) El año de fabricación es el año calendario en el que el vehículo fue fabricado, que no corresponde necesariamente al año modelo, y se encuentra consignado en la tarjeta de propiedad o identificación vehicular.

<sup>(1)</sup> Los requisitos de incorporación de vehículos usados al parque automotor corresponden a los establecidos mediante el Reglamento Nacional de Vehículos vigente y sus modificaciones.

<sup>(2)</sup> Solamente para GLP/GNV

**FUENTE:** Resolución Ministerial N°306 - 2017 - MINAM

## 2.8. Emisiones de gases de arranque en frío

Las concentraciones de contaminantes provenientes de la combustión del motor vehicular, y una estimación han demostrado que la mayor fuente de contaminante del CO proviene del escape de los vehículos, y de manera alarmante, lo menciona Dey, Dhal, Mohan y Prasad (2019); en tal sentido la tecnología de convertidores catalíticos contribuye con la disminución de este contaminante, transformando en otras sustancias menos nocivas para el ambiente y la salud.

Ashok y Nathagopal (2019), y Dey et al. (2019) coinciden en muchos factores, que el arranque en frío favorece la formación y el exceso de monóxido de carbono algunos de ellos: las bajas temperaturas y la alta presión en el cilindro (dificultan la vaporización del combustible); al inicio del encendido del vehículo (el tiempo de arranque y la emisión de productos de la combustión incompleta); fricción interna en el motor y el tren de transmisión (se requiere una mayor potencia durante el calentamiento); el catalizador está frío (no cumplen con su función en los primeros minutos de funcionamiento); Dey et al. (2019) además agrega que la inyección de aire al catalizador se demora mediante un temporizador mientras el vehículo se calienta, el tiempo de retraso suele ser entre 5 - 15 min.

Consejo Nacional de Investigación ([NRC], 2002) hace mención lo siguiente: En condiciones de arranque en frío, el ordenador del motor ordena a los inyectores de combustible que añadan un exceso de combustible al aire de admisión para garantizar que se evapore suficiente combustible para producir una mezcla inflamable en los cilindros del motor, (...). El exceso de combustible se sigue inyectando hasta que el motor y el sensor de O<sub>2</sub> se calientan y la temperatura de entrada del catalizador de escape alcanza unos 250-300°C (482-572°F), suficiente para que el catalizador oxide el CO en CO<sub>2</sub>. (p.41)

Cuando el convertidor catalítico actúa adecuadamente, reducirá de aproximadamente de 30.000 ppm a concentraciones bajas normalmente por debajo de 1000 ppm; sin embargo, sin catalizador podrían llegar a lo 100 000 ppm, y también depende del motor (Greiner, 1998).

## **2.9. Factores que afectan a la calidad del aire en ambientes cerrados**

Carrazo et al. (2013) menciona que los factores más importantes que afectan la calidad del aire interior son al desperfecto en la ventilación, la calidad del aire exterior y la estancia de fuentes contaminantes en el exterior.

### **2.9.1. Deficiencias en la ventilación**

El ingreso de flujo de aire al interior de un ambiente debería ser lo conveniente para diluir los contaminantes hasta niveles inferiores a la percepción humana y los considerados perjudiciales a la salud (Carazo et al., 2013). La norma de EM.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones de instalaciones de ventilación establece lineamientos técnicos que se deben considerar en toda edificación con ventilación mecánica, con el fin de conservar la salud de las personas, donde especifica las renovaciones de aire de 5-8 veces por hora en garajes grandes; además, la Norma EM.030 del Ministerio de Vivienda (2020) menciona lo siguiente:

“Los estacionamientos que excedan de cinco plazas o de 100 m<sup>2</sup> útiles debe disponer de un sistema de detección de monóxido de carbono (CO) en cada planta que se active automáticamente los aspiradores mecánicos cuando se alcance una concentración de 50 ppm en estacionamientos donde se prevea que existan empleados y una concentración de 100 ppm en caso contrario”. (p.11)

Un aporte insuficiente de aire fresco del exterior podría ser una de las consecuencias de la deficiencia en la ventilación, al haber una acumulación de contaminante (gases, material particulado, y sustancias sólidas) que resulte dañino para los ocupantes (Berenguer y Martí, 1989). Y esto quedó demostrado por Sauvian , Vu Duc y Guillemin (2003), si bien estos autores solo midieron Carbono Elemental (EC) y Compuestos Aromáticos Cancerígenos (PAC), se demostró que la exposición a los contaminantes ya mencionados aumenta de 3 a 6 veces durante la estación de invierno, y esta variación está atribuido principalmente a la disminución de la ventilación durante el frío; además Mousavi, Ashrafi, Motkagh, Niksokhan y Vosoughilar (2017) confirman que las áreas de poca ventilación y las zonas confinadas son aquellas donde se hallan máximas concentraciones de CO.

## 2.9.2. Contaminación Exterior e Interior

Existe una lista reconocida de contaminantes atmosféricos en interiores como: NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles (COV), PM, radón y microorganismos (hongos, bacterias, virus, entre otros) (Boldo, 2016; Leung, 2015). Algunos de estos mencionados son muy comunes en ambientes interiores, y se produce un intercambio del aire con el exterior. Carazo et al., 2013 adiciona en la lista a los hidrocarburos, además menciona, que muchos de estos son generados en plantas productoras de energía y otros procesos industriales, como lo pudo afirmar Wallace (2001).

Kempton et al. (2022) hacen referencia que en términos generales indica el riesgo potencial para la salud de en un espacio cerrado debido a la confluencia del contaminante, como por ejemplo: Berenguer y Marti (1989) mencionan a la mezcla de contaminantes, procedentes de diferentes fuentes, actividades que se realizan, originado por el propio personal, utilización inapropiada de productos químicos (pesticidas, desinfectantes, limpieza, abrillantado), y a la producción de gases de combustión (fumar, cafeterías, laboratorios). Y Buchelli et al. (2014) afirma que otros de las fuentes en relacionados con el monóxido de carbono son el uso de hornos domésticos, estufas de gas, chimeneas de leña y/o ventilación inadecuada.

Vargas y Gallego (2005) expresaron que la relación entre la concentración del medio ambiente exterior e interior de los contaminantes químicos se ha evaluado a través de diversos estudios, donde manifiesta grandes diferencias a favor de la mayor concentración en los ambientes interiores. Sin embargo, Kempton et al. (2022) hacen un énfasis en los espacios herméticos y la relación directa en la calidad del aire interior, donde concluye que para algunos contaminantes del exterior reduce la infiltración de este, e incrementándose los que se generan en el interior.

Debido a la contaminación del aire interno, algunas personas experimentan alteraciones en la salud como: irritación de la nariz, ojos y gargantas, alergias, etc. El efecto más común es denominado “Síndrome del edificio enfermo” y este efecto puede desaparecer cuando las personas abandonen el establecimiento (Leung, 2015). Además, todo esto podría estar reforzado, ya que las concentraciones son mayores durante los días laborables y en las horas

de desplazamiento de 7:00 a 9:00 de la mañana y de 4:00 a 6:00 de la tarde (EPA 2000, citado por el Consejo Nacional de Investigación, 2002).

**Tabla 7:** Fuentes de contaminantes y sus fuentes de emisión

<b>Situación</b>	<b>Fuentes de emisión</b>	<b>Contaminante</b>
<b>Exterior</b>	Producción industrial	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO, Ozono
	Vehículos de motor	Partículas, CO y COV
	Suelo	CO, NO <sub>2</sub> , NO, plomo, Radón
<b>Interior</b>	Materiales de construcción	Radón
	Piedra, hormigón	Formaldehído, COV
	Compuestos de madera	Formaldehído, fibra de vidrio
	Aislamiento	Asbesto
	Ignífugos	COV, Plomo
	Pintura	
	<i>Instalaciones y mobiliario</i>	CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO, COV
	Calefacción, cocinas	Partículas
	Fotocopiadoras	Ozono
	Sistemas de ventilación	Microorganismos
	<i>Ocupantes</i>	
	Actividad metabólica	CO <sub>2</sub> , Vapor de agua
	Actividad Biológica	Microorganismos
	<i>Actividad humana</i>	
	Tabaquismo	CO, Partículas
Ambientadores	Fluorocarburos, olores	
Limpieza	COV, olores	
Ocio, actividades artísticas	COV, olores	

CO: Monóxido de Carbono; CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono; COV: Compuestos Orgánicos volátiles; NO: Monóxido de Nitrógeno; NO<sub>2</sub>: Dióxido de Nitrógeno.

**FUENTE:** Carazo et al. (2013)

## **2.10. Efectos del monóxido de carbono**

### 2.10.1. Sobre el medio ambiente

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) realizó una extensa búsqueda bibliográfica como parte de la revisión del Estándar Nacional de Calidad del Aire Ambiente para el Monóxido de Carbono que se completó en 2011, hasta entonces no se identificó ningún efecto ecológico del CO. Sin embargo, Manahan (2007) expresa que el CO está presente como un intermediario en la oxidación del metano (10 veces la concentración

del CO global) por el hidroxilo; por consiguiente, en cualquier proceso de oxidación del metano siempre habrá contribuido con intermediario el monóxido de carbono.

Benavides y León (2007), y Agencia de Protección Ambiental ([EPA], 2010) concuerdan que este gas no tiene una contribución directa al efecto invernadero, debido a sus radicales libres OH; sin embargo, la importancia del CO radica en que la cantidad de este gas afecta indirectamente en la generación de otros gases de efecto invernadero (GEI), entre ellos, el metano y ozono troposférico, donde concuerda con Hungate y Koch (2015) y confirma que el monóxido de carbono afecta la química atmosférica al contribuir con la formación de ozono troposférico e interferir con la destrucción del metano en la estratosfera.

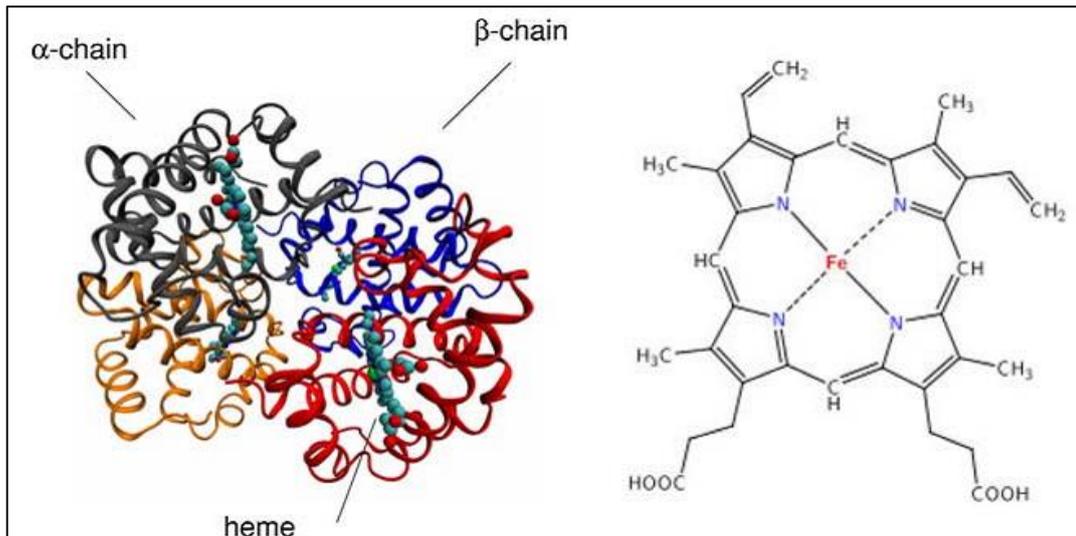
## 2.10.2. En la salud de las personas y su importancia

### a. La Hemoglobina

La hemoglobina (Hb) es una proteína globular con estructura cuaternaria y un compuesto llamado hemo; es el elemento más importante de los glóbulos rojos, y el encargado del transporte del Oxígeno hacia los pulmones y dióxido de carbono de los tejidos hacia los pulmones. Está constituida por cuatro cadenas polipeptídicas ( $2\alpha$  y  $2\beta$ ), el hemo en el centro está compuesto de hierro (+2) y un pigmento porfirina, el cual le da el color característico rojo (Franco, 2010).

### b. Importancia de la hemoglobina

La importancia de esta proteína radica en que es una molécula que tiene un hierro bivalente y cada uno de estos hierros se enlaza en los pulmones a una molécula de oxígeno, el cual es transportada hasta el tejido y liberado en él. Cuando el oxígeno se añade a la hemoglobina se denomina oxigenación y la disolución desoxigenación.



**Figura 2:** Estructura cuaternaria de la Hemoglobina

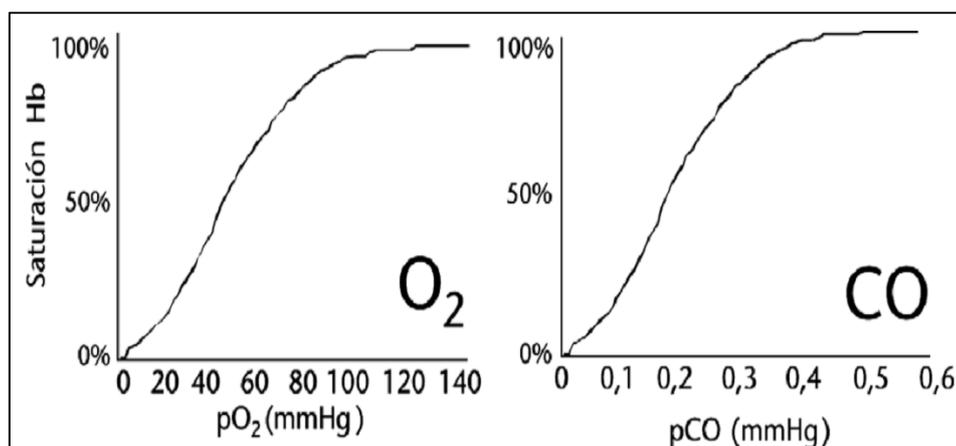
**FUENTE:** Wu, Yang, Wang, Cohen y Ge (2010)

### c. La Carboxihemoglobina

La carboxihemoglobina (COHb) se forma con el desplazamiento de la molécula del oxígeno ( $O_2$ ) de la hemoglobina, el cual está unido a la molécula hierro ( $Fe^{++}$ ), se intercambia por el monóxido de carbono (CO), este último tiene una afinidad 250 veces superior al oxígeno combinándose con ella de forma irreversible según Buchelli et al. (2014). Es decir, conforme Oliu et al. (2010) explica: “con una presión parcial en sangre 250 veces inferior a la del oxígeno (0.4 mmHg en vez de los 100 mmHg), el CO consigue los mismos porcentajes de saturación de la hemoglobina que el oxígeno, es decir el 100%” (p. 452).

Se debe considerar al humo de tabaco provocador de niveles peligrosos de carboxihemoglobina de 6% - 8%; además Brito, Brito, Martínez, y Zaila (2002) dan a conocer que existe una correlación lineal (0.82) de entre el número de cigarrillos consumidos y el nivel de COHb para las personas fumadoras, donde (Steward, Baretta y Platte, 1974; citado en Brito et al., 2002) se obtuvo valores similares de carboxihemoglobina de 1.5 % para no fumadores y 5.0% para fumadores; también un 5.9% para fumadores y 1.6% en no fumadores (Cole, Idle, Smith y Bailey, 1977; citado en Brito et al., 2002). Para Oliu et al. (2010) menciona que los fumadores pueden producir de 10% a más; además es difícil determinar la COHb, ya que en las personas puede desarrollar falsos negativos debido a que disminuye muy rápido al retirar a los individuos del lugar de intoxicación y suministrarle oxígeno.

La vida media de la carboxihemoglobina es de 320 minutos (5.3 horas) a temperatura de ambiente y del monóxido de carbono es de aproximadamente de 5 horas (Rodríguez et al., 2018).



**Figura 3:** Curvas de disociación de la hemoglobina (Hb) para el oxígeno y el monóxido de carbono  
**FUENTE:** Oliu et al. (2010)

Vermeulen et al. (2014) aseguran en la peligrosidad de los gases que emiten los motores diésel, donde según estos investigadores afirman, que debido a las exposiciones ambientales y ocupacionales causan el 6% de la muerte en Estados Unidos y el Reino Unido, lo que representa aproximadamente 9 000 muertes y 2 000 muertes anuales por cáncer de pulmón respectivamente. Además, Oliu et al. (2010) afirma que algunos trabajadores expuestos al CO en ambientes relacionados con el ámbito vehicular y a productos químicos como el cloruro de metileno que se metabolizan a CO, podrían tener concentraciones elevadas de COHb en la sangre.

A continuación, en la Tabla 8 se muestra un cuadro donde se menciona la peligrosidad en la que están expuestas las personas a diversas concentraciones de porcentaje de carboxihemoglobina en la sangre.

**Tabla 8:** Concentración de la Carboxihemoglobina (COHb) y los síntomas que produciría su exposición

Concentraciones de COHb	Sintomatología
< 2 %	Inocuas
2.50%	Produce un deterioro de la orientación temporal
5%	Produce un deterioro de las facultades psicomotrices.
> 5%	Podrían causar alteraciones cardiovasculares.
10 – 20 %	Podrían originar alteraciones visuales, vértigo, dolor abdominal y náuseas
20 – 30 %	Cefaleas, vómitos, dificultad respiratoria.

Continuación ...

---

20 – 40 %	Provocar disnea, arritmia, síncope, vómitos, debilidad en miembros inferiores, y confusión mental
40 – 50 %	aparece coma, acidosis metabólica de origen láctico, debida a la glucólisis anaeróbica.
>45 %	Coma, acidosis metabólica de origen láctico, debida a la glucólisis anaeróbica, hipocalcemia, hipotensión, convulsiones, depresión respiratoria, edema pulmonar, ondas T patológicas, taquicardia, fibrilación ventricular)
50 – 60 %	Convulsiones, coma, respiración irregular y muerte
>60	Paro cardio respiratorio, convulsiones y muerte.
70 – 80 %	Muerte.

---

**FUENTE:** Sibón , Martínez, Vizcaya y Romero (2007)

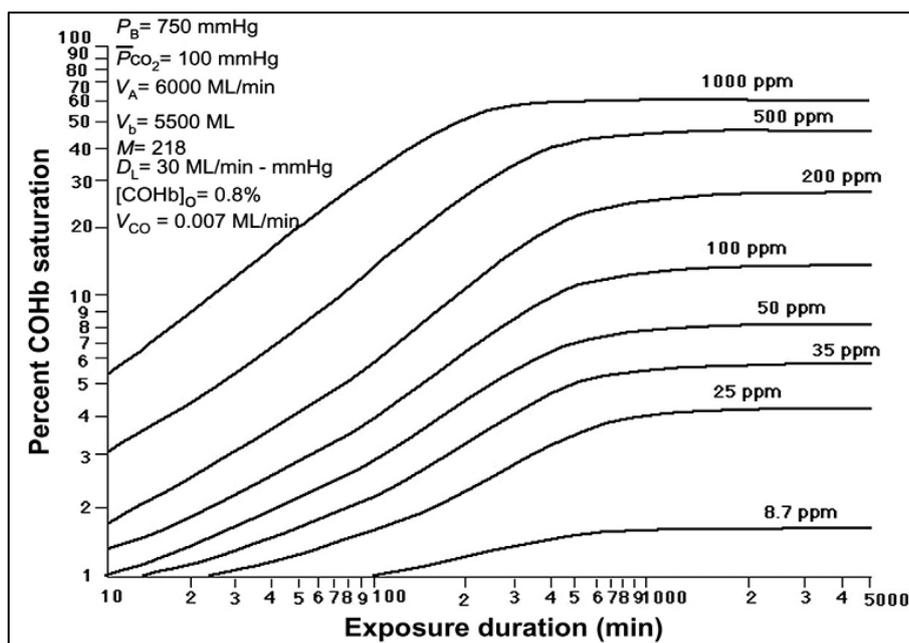
Las limitaciones de esta Tabla 8 propuesta por estos autores, y otros, no hacen referencia al tiempo promedio que un individuo, después de estar expuesto, podría tener esa sintomatología. Adicional la ATSDR (2012) simplificó unos resultados similares a la Tabla 8, a una concentración determinada; halló un porcentaje de COHb y se utilizó la ecuación de CFK.

## 2.11. Diagnóstico

### 2.11.1. Estimación de la carboxihemoglobina

La estimación más fiable de la Carboxihemoglobina (COHb) es mediante el análisis en la sangre arterial (métodos espectrofotométricos); no obstante, para este estudio se calculó a partir de modelos matemáticos (ecuaciones diferenciales) desarrollados y modificados por diversos autores se basó en la concentración de CO y otras variables fisiológicas. Y para este estudio se consideró a la fórmula no lineal de Coburn, por ser el que generó resultados más aproximados.

Coburn, Forster y Kane ([CFK], 1965) publicaron dos ecuaciones para determinar la carboxihemoglobina: una lineal y la otra no lineal, donde según Smith (1990) la ecuación lineal de CFK asume un nivel constante de oxihemoglobina; sin embargo, la ecuación no lineal permite que el nivel de oxihemoglobina varíe con el nivel de carboxihemoglobina; además menciona que el modelo lineal puede utilizarse con una aproximación en un rango más amplio.



**Figura 4:** Niveles de COHb (%) en la sangre a diferentes concentraciones y tiempos de exposición de monóxido de carbono, determinada con la ecuación diferencial de CFK

**FUENTE:** Peterson y Stewart (1975)

Existen muchos modelos matemáticos; entre ellos, el que posee una mejor aproximación es la de CFK (Figura 4), pero esta tiene sus limitaciones que están asociadas a las variables fisiológicas, y, por lo tanto, son difíciles de medir para cada individuo (producción endógena de CO, volumen sanguíneo, difusión pulmonar capacidad, entre otros); sin embargo, para casos prácticos se consideraran valores por defecto (Adjiski y Despodov, 2020). El Centro Europeo para el Medio Ambiente y la Salud de la OMS (2010) atribuye a la ecuación diferencial de CFK tener una buena aproximación a la concentración de COHb (%) en la sangre, a un nivel continuo de monóxido de carbono inhalado (OMS, 2010). Así mismo, esta ecuación fue utilizada por el ejército de los Estados Unidos, para estimar el % COHb en la sangre del personal militar en el interior de vehículos blindados; no obstante, en el 2008 se recomendó en la utilización de monitoreo en tiempo real, y ya no depender de la ecuación de CFK (Cope, 2020).

A continuación, se presenta (Ecuación 3) la ecuación no lineal despejada de Coburn, Forster y Kane y los parámetros para la estimación de la carboxihemoglobina en la sangre.

$$[COHb]_t = \frac{1}{A} [A * HbCO_0 * C + (1 - C)V_{co} * B + (1 - C)P_{i, CO}] \dots \dots \dots \text{Ecuación 3}$$

$$A = \frac{PO}{M[O_2Hb]}$$

$$B = \frac{1}{D} + \frac{P}{V_a}$$

$$C = e^{\left(-\frac{tA}{V_b B}\right)}$$

Donde:

- Constante de Haldane (M); relación de la afinidad del CO y O<sub>2</sub> en la Hb = 240
- Concentración de la oxihemoglobina (O<sub>2</sub>Hb) = 0.2 ml/ml
- Concentración de la carboxihemoglobina inicial (COHb)<sub>0</sub> = 0,001 ml CO /ml sangre  
(%COHb = 0,5% para no fumadores; %COHb > 2.0% para el 80% de los fumadores;  
%COHb = 10% para los fumadores empedernidos)
- Presión parcial del oxígeno en los capilares (PO<sub>2</sub>) = 13.3 kPa
- Tasa de producción CO endógeno (V<sub>co</sub>) = 0.007 ml/min
- Capacidad de difusión de los pulmones para el CO (D) = 225 ml/min\*kPa
- Presión Barométrico (P) = 951 kPa
- Volumen de Sangre (V<sub>b</sub>) = 5500 ml
- Tasa de ventilación alveolar (V<sub>a</sub>) = 6000 ml/min
- Presión parcial de CO en el aire inspirado (P<sub>i,CO</sub>) = 0.0101325 kPa
- Duración de la exposición (t) = 5 min, se pueden aplicar otros tiempos.

**FUENTE:** Coburn et al. (1965); citado en Adjiski y Despodov (2020)

No obstante, las nuevas investigaciones de diversos autores muestran que la carboxihemoglobina inicial (para no fumadores, fumadores y fumadores empedernidos) varía, a diferencia de lo propuesto por Coburn et al. (1965) citado en Adjiski y Despodov (2020); Cebollada y Burillo (2016) expresa que para individuos no fumadores oscila por debajo de 3.0%, y para fumadores varía entre 10 - 15%; Sibon et al. (2007) añade que la producción de COHb oscila entre 0.4 – 0.7 % en sujetos sanos, y para los no fumadores puede llegar hasta 3.0%, y en fumadores puede oscilar en 9 - 15%.

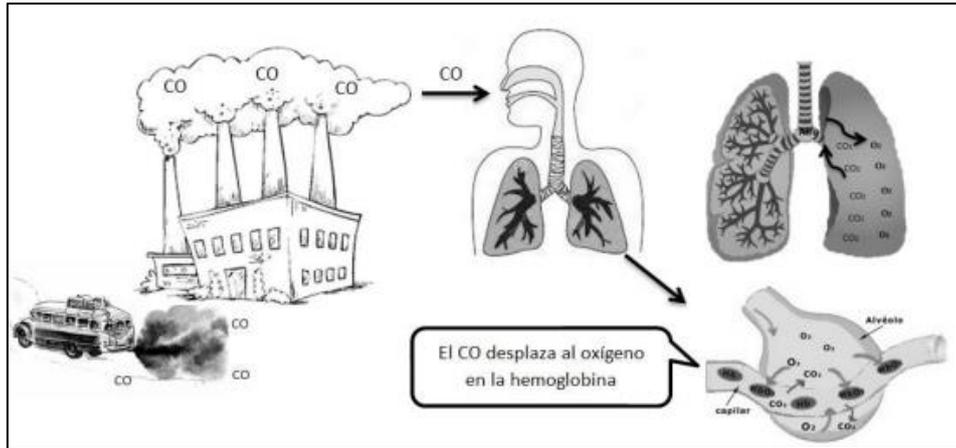
En la actualidad, la ecuación diferencial de CFK es utilizada en guía, como parte de una metodología para la evacuación en situación de incendio simulado en minas subterráneas, generar y localizar rutas, y predecir los niveles de carboxihemoglobina en la sangre del personal según Smith et al. (1996) y Adjiski y Despodov (2020); Adjiski et al. (2019) realizaron investigaciones preliminares usando aplicativos en móviles, basadas en la ecuación diferencial de CFK, desarrollados para predecir y alertar la cantidad de CO y la formación de %COHb en la sangre, donde un sensor de CO monitorea el ambiente en una minera basado en el sistema Arduino y conectado a móviles que al detectar valores igual o mayor al límite de seguridad generan una alerta en los trabajadores asimismo Adjiski y Despodov (2020) considera que investigaciones realizadas por anteriores autores validaron los modelos de CFK y se llegó a las predicciones de dichos modelo funcionan bastante bien.

#### 2.11.2. Efectos y Tratamiento

Los efectos en la salud generados por la carboxihemoglobina están descritos en la Tabla 8; sin embargo, las consecuencias solo están consideradas en función a los porcentajes, y no al tiempo de exposición. Cebollada y Burillo (2016) consideran a los síntomas un predictor poco fiable debido a la intoxicación por CO, donde menciona de cada 3 intoxicados, uno era fue asintomático; esta circunstancia se debía a la edad, variable muy importante que considera autor.

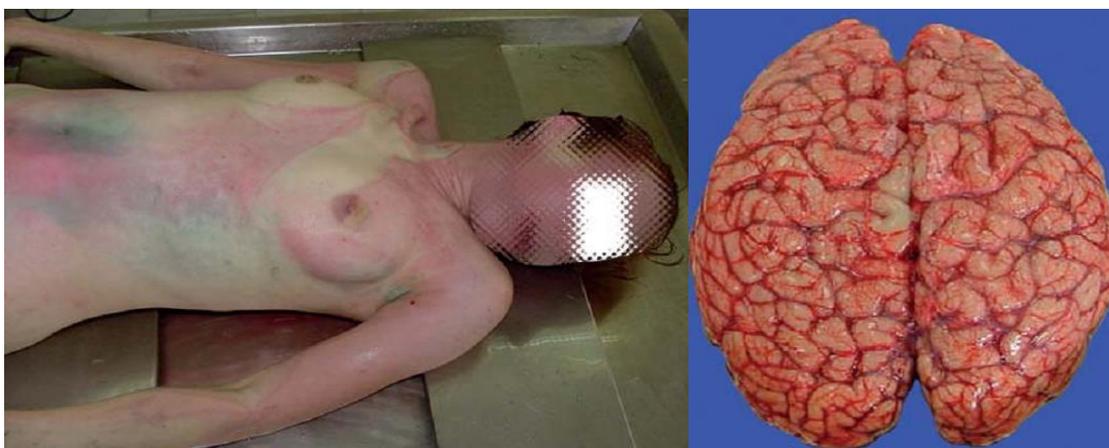
Tekeli et al (2022) mencionan que la intoxicación a causa del monóxido de carbono es muy frecuente, generando urgencia en hospitales en el área de urgencias pediátricas, y esto debido a los accidentes agudos en las infancias. Entre ellos, los autores mencionan por incendios, los gases de los vehículos, las estufas de carbón, y los calentadores de agua, que generaron síntomas frecuentes de náuseas (43.6%), vómitos (32.7%) y dolor de cabeza (32.7%), y cefalea (32.7%), con niveles de carboxihemoglobina de 20% a más.

Reumuth et al. (2019) el tratamiento a causa de la intoxicación por CO es por la oxigenación hiperbárica, aunque depende de muchos factores variables, pese a que este tipo de tratamiento sigue siendo objeto de debate. Del mismo modo, Kao y Nañagas (2006) coinciden en algunos puntos que el tratamiento del paciente envenenado por CO comienza con oxígeno hiperbárico y cuidados de apoyo agresivos, incluyendo el manejo de las vías respiratorias, el apoyo a la presión sanguínea y la estabilización del estado cardiovascular.



**Figura 5:** Ingreso y efecto del monóxido de carbono al interior del organismo  
**FUENTE:** Rudas (2018)

Oliu et al. (2010) hace referencia en que no existe ningún sistema de depuración del CO del organismo, excepto que el organismo actúe eliminando este contaminante a través de la espiración; donde, ante una sospecha de intoxicación, se debe realizar una atención *in situ* y suministrando oxígeno Normobárico ( $FIO_2$ ). Kao y Nañagas (2006) mencionan que en esta situación de intoxicación se debe suministrar un alto flujo de oxígeno en seguida para tratar la hipoxia, y así acelerar la eliminación del CO del cuerpo. Ejemplos de ellos se muestra en la Figura 6.



(a)

(b)

**Figura 6:** (a) Livideces cadavéricas de color rojo cereza, coloración de piel, y manchas verdes de una mujer de 25 años de edad, y (b) Congestión cerebral  
**FUENTE:** Sibón et al. (2007)

## 2.12. Normas y guías internacionales

En la actualidad, hay muchos países y organizaciones que establecen estándares y límites de exposición para una amplia gama de contaminantes, incluso tóxicos; productos químicos para la concentración de contaminantes tanto en el exterior como en el interior, según su efecto en la salud, en esta situación.

**Tabla 9:** Estándares de monóxido de Carbono (CO) y Niveles de exposición para ambientes interiores

Organización	Valor guía	Periodo de exposición límite
Agencia de protección ambiental (EPA, 2000)	9 ppm	8 horas
	35 ppm	1 hora
Asociación para el Desarrollo de la Salud Laboral y Medioambiental (ACGIH, 1994)	25 ppm	8 horas
Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (NIOSH, 1996)	35 ppm	8 horas
	200 ppm	15 min
Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo (OSHA, 2012)	50 ppm	8 horas
	25 ppm	1 hora
Ley canadiense de protección del medio ambiente (CEPA, 2010)	10 ppm	24 horas
	90 ppm	15 min
Organización mundial de la salud (WHO, 2000)	50 ppm	30 min
	25 ppm	1 hora
	10 ppm	8 horas

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 10:** Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo

AGENTES QUÍMICOS	LÍMITES ADOPTADOS			
	TWA		STEL	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
<b>Monóxido de Carbono</b>	25	29	...	...

TWA: Concentración media ponderada en el tiempo (para 8 horas diarias)

STEL: Límites de Exposición de Corta Duración (periodo de 15 minutos)

FUENTE: D.S. N° 015 – 2005 – SA del Ministerio de Salud (2005)

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Materiales y equipos**

Para la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales

- Detector de gases. Marca E. INSTRUMENTS. Modelo AQ-PRO. Serie 14105
- Laptop Core i5
- Software Rstudio
- Software Minitab 19
- Software Aire Quality Gas Analyzer – versión 9.2.9
- Plano del estacionamiento Rivera Navarrete
- Caseta (soporte para el analizador de gases)
- Libreta de apuntes y cinta de embalaje
- Cable de extensión.

#### **3.2. Área de estudio**

El estudio fue realizado en los interiores del estacionamiento subterráneo Rivera Navarrete, ubicado en el distrito de San Isidro, en el departamento de Lima Metropolitana, Perú. Carpio (2018) afirma: “Esta región de Lima se caracteriza por la prestación de servicios corporativos y comerciales, tales como licencias bancarias extraterritoriales (licencia bancaria internacional), contratos internacionales, ruedas de negocios o la incorporación de empresas extraterritoriales (empresas comerciales internacionales)”. Se concentra aproximadamente el 20% del producto bruto interno (PBI) del Perú, y es considerado como uno de los centros financieros más importantes del mundo (Vasquez, 2011).

Posee cuatro puntos de ingresos vehiculares: dos por la av. Rivera Navarrete, la otra por la av. Andrés Reyes, y última por la av. Juan de Arona; cuatro puntos de salidas: dos por la av. Rivera Navarrete, otra por la av. Andrés Reyes, y la última por la av. calle Dean Valdivia.

También cuenta con cinco accesos peatonales a lo largo de la avenida (distinguidos por colores). 2 lugares de acceso mediante ascensores para los peatones con habilidades diferentes, como se muestra en la Figura 6.



**Figura 7:** Entradas y salidas de los estacionamientos subterráneos Rivera Navarrete  
**FUENTE:** Estacionamiento Rivera Navarrete (2016)

Los 3 sótanos subterráneos están diferenciados en 5 secciones o núcleos, señalados con su respectiva coloración y numeración vehicular, con acceso y/o salida peatonal a una avenida distinta a la otra; están interconectadas por 5 núcleos, extractores e inyectores de aire, ventiladores, sistema de eliminación de los gases acumulados en el interior, que están conectadas hacia los exteriores.

**Núcleo Celeste.** – Es una sección extrema del ERN: tiene acceso (salida e ingreso) a la av. Juan de Arona (cuadra 8), también en esta parte está ubicado un inyector de aire, que suministra del exterior.

**Núcleo Verde.** – Es una sección contigua al núcleo azul: cuenta con un acceso de salida e ingreso a la av. Calle Chinchón (cuadra 7), esta zona interconecta un extractor de aire con el exterior.

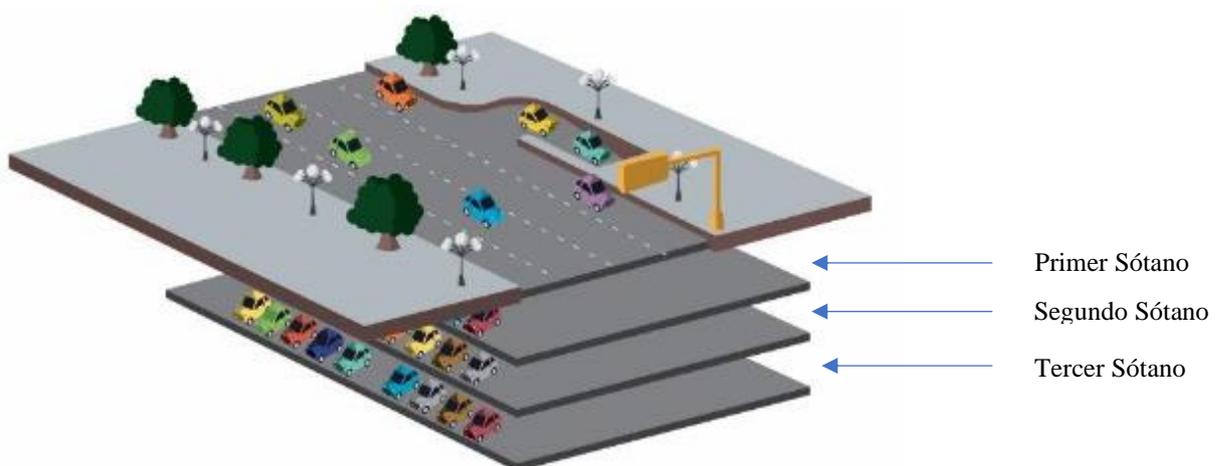
**Núcleo Naranja.** – Esta es la sección más grande, y en este espacio (primer sótano) está ubicado el centro de control: tiene un inyector de aire, cuenta con un acceso de salida e ingreso que da a la calle Andrés Reyes (cuadra 7).

**Núcleo Morado.** – Es la sección contigua a la del núcleo naranja: posee un extractor de aire, y el acceso peatonal da hacia la calle Dean Valdivia.

**Núcleo Azul.** – Esta sección es el otro extremo del ERN: posee un inyector de aire, tiene una rampa de bajada en dirección el piso inferior (primer sótano y segundo sótano), y la salida peatonal es hacia la calle Amador Merino.

El primer sótano (adyacente a la superficie) es el espacio donde existe el mayor ingreso y salida vehicular en periodos (minuto u horas) cortos: posee 4 puntos de acceso y 4 de salidas directas hacia la superficie (la Av. Rivera Navarrete), y 2 rampas directas hacia el segundo sótano por los extremos; en este piso está ubicado el centro de control en una cabina donde los trabajadores monitorean el ingreso y salida de vehículos, la cantidad de vehículos aparcados, el tiempo que permanece y la ubicación.

El Estacionamiento Rivera Navarrete cuenta con 57 detectores de monóxido de carbono y con su respectivo lector, 19 detectores por cada sótano, todos distribuidos de manera homogénea en cada planta, y al detectar registros superiores a 50 ppm de CO en alguno de los sensores (cambian de coloración de verde, naranja y rojo); con ello, se activan los extractores de aire.



**Figura 8:** Distribución de los niveles del ERN

**FUENTE:** <http://msi.gob.pe/portal/proyecto-rivera-navarrete/>

### 3.2.1. Actividad Vehicular

Se cuenta con información del ingreso y salida vehicular promedio horaria. Estos datos fueron proporcionados por la administración del Estacionamiento Rivera Navarrete, con el fin de cumplir con los objetivos de la investigación.

### 3.3. Metodología

El registro de la concentración de CO en el ERN se llevó a cabo en dos etapas. La primera es aquella que se realizó en unidades de concentraciones de partes por millones, para los 3 sótanos; se inició en el primer sótano, luego el segundo y se culminó en el tercero. La segunda etapa es la repetición de los mismos puntos de monitoreo en orden inverso a la primera etapa.

#### 3.3.1. Monitoreo de la concentración de monóxido de carbono

Se evaluó todos los sótanos antes del inicio del monitoreo. El primer sótano es la sección donde existe la mayor cantidad de acceso de ingresos, tanto vehiculares como peatonales; y para la instalación de la caseta de monitoreo en esta zona se consideró a los puntos donde existe menor perturbación por parte de las vías de ingreso, similar a lo señalado por Hou et al., (2021). Se instaló puntos en cada núcleo y al tener 5 núcleos en cada sótano coincidentemente se instaló en 5 lugares. Para el segundo y tercer sótano existe menores puntos de acceso de perturbación; por lo tanto, en estos dos sótanos los puntos que se instalaron serán aproximadamente equidistantes, además se consideraron otros aspectos como: no interrumpir el pase peatonal, evitar la cercanía de los puntos de inyección y extracción de aire.

Se inició en el núcleo azul como el punto 1, y cada día se trasladó a otro punto, y así sucesivamente hasta el punto 5; con ellos se culmina el monitoreo del primer sótano. Similar ruta siguió los monitoreos del segundo sótano (5 puntos) y tercer sótano (3 puntos), como se muestra en el anexo 8.

A continuación, se explicarán los procedimientos realizados los puntos de monitoreo.

a) Primer sótano

En este sótano, se consideró 5 puntos de monitoreo, que fue repartido coincidentemente en días de la semana (lunes - viernes) en orden ascendente. Los aspectos considerados son los ingresos (4) y salidas vehiculares (4), los ductos de ventilación y el centro de control, factores que intervienen en el registro de los valores. El sábado y domingo se realizaron monitoreos en puntos intermedios de toda la sección, durante todas las horas del funcionamiento del ERN.

b) Segundo sótano

En este sótano se consideró 5 puntos de monitoreo, los cuales fueron distribuidos un punto por cada día de la semana (lunes – viernes); coincidentemente, se tuvieron en cuenta aspectos externos al escoger los puntos: las rampas de bajada y subida vehicular, los ductos de extracción e inyección de aire. En esta planta existe menos perturbación externa que el primer sótano; por lo tanto, los puntos instalados fueron equidistantes.

c) Tercer sótano

Se escogió 3 puntos de monitoreo, distribuidos equidistantes, debido a que en toda esta planta el ambiente es muy estable, la perturbación es mínima; además la afluencia vehicular en escasa. Los factores a considerar en esta sección fueron las rampas de bajada, subida vehicular y los ductos de extracción e inyección de aire.

**Tabla 11.** Lugares donde se establecieron los puntos de monitoreo

<b>PRIMERA ETAPA</b>			
<b>SOTANO</b>	<b>DIAS</b>	<b>PUNTOS</b>	<b>LUGAR DE UBICACIÓN</b>
<b>SOTANO 1</b>	Lunes	Punto 1 (P-1)	El núcleo azul
	Martes	Punto 2 (P-2)	El núcleo morado
	Miércoles	Punto 3 (P-3)	El núcleo naranja
	Jueves	Punto 4 (P-4)	El núcleo verde
	Viernes	Punto 5 (P-5)	El núcleo celeste
	Sábado	Punto a	Núcleo Morado
	Domingo	Punto b	Núcleo verde

Continuación ...

	Lunes	Punto 1 (P-1)	El núcleo azul.
	Martes	Punto 2 (P-2)	El núcleo morado
<b>SOTANO 2</b>	Miércoles	Punto 3 (P-3)	El núcleo Naranja
	Jueves	Punto 4 (P-4)	El núcleo verde
	Viernes	Punto 5 (P-5)	El núcleo celeste
	Lunes	Punto 1 (P-1)	Núcleo azul
	Martes	Punto 2 (P-2)	Núcleo naranja
<b>SOTANO 3</b>	Jueves	Punto 3 (P-3)	Núcleo Celeste

(a)

#### SEGUNDA ETAPA

SOTANOS	DÍAS	PUNTOS	LUGAR DE UBICACIÓN
	Lunes	Punto 5 (P-5)	El núcleo celeste
	Martes	Punto 4 (P-4)	El núcleo verde
<b>SOTANO 1</b>	Miércoles	Punto 3 (P-3)	El núcleo naranja
	Jueves	Punto 2 (P-2)	El núcleo morado
	Viernes	Punto 1 (P-1)	El núcleo azul
	Lunes	Punto 5 (P-5)	El núcleo celeste
	Martes	Punto 4 (P-4)	El núcleo verde
<b>SOTANO 2</b>	Miércoles	Punto 3 (P-3)	El núcleo Naranja
	Jueves	Punto 2 (P-2)	El núcleo morado
	Viernes	Punto 1 (P-1)	El núcleo azul
	Lunes	Punto 3 (P-3)	Núcleo celeste
<b>SOTANO 3</b>	Miércoles	Punto 2 (P-2)	Núcleo naranja
	Viernes	Punto 1 (P-1)	Núcleo azul

(b)

FUENTE: Elaboración propia

### 3.4. Programa de monitoreo

#### 3.4.1. Duración del monitoreo

El monitoreo de la concentración de monóxido en el interior de estacionamiento se inició el 19 de agosto del 2019, y culminó el 26 de setiembre del 2019, con un total de 28 días.

### 3.4.2. Periodo de muestreo

El monitoreo en el primer sótano en la primera etapa fue del 19 de agosto al 23 de agosto, cada punto de monitoreo fue un día de la semana; adicional a los 5 puntos equidistantes, se realizaron dos puntos más (los días 24 y 25 de agosto) y coincidentemente son el sábado y domingo respectivamente. Los monitoreos iniciaron a las 10:00 horas y culminaron a las 15:00 horas (horario de atención), con 5 horas continuas de monitoreo para estos dos últimos días; sin embargo, las 2 secciones adicionales instaladas los días 24 y 25 de agosto, las concentraciones de monóxido fueron nulos, y, por consiguiente, no se consideró los datos para los análisis estadísticos, ni para las gráficas posteriores de correlaciones.

El monitoreo del segundo sótano en la primera etapa se realizó el 26, 27, 28 y 29 de agosto, para los puntos 1, 2, 3 y 4 respectivamente; y el 25 de setiembre para el punto 5 (uno de los puntos que faltó monitorear), se empezó el registro a las 7:30 horas y culminó a las 22:00 horas, con un total de 14.5 horas diarias continuas.

El monitoreo del tercer sótano de la primera etapa se realizó el 2, 3 y 4 de setiembre, para los puntos 1, 2 y 3 respectivamente; se inició el registro a las 7:30 horas y culminó a las 22:00 horas con un total de 14.5 horas diarias continuas.

La repetición del monitoreo en el primer sótano (segunda etapa) fue el 9, 10, 11, 12, y 13 de setiembre, para los puntos 5, 4, 3, 2 y 1 respectivamente, con hora de inicio a las 7:30 horas hasta las 22:00 horas, con un total de 14.5 horas diarias continuas.

La repetición del monitoreo en el segundo sótano (segunda etapa) fue el 16, 17, 18, 19 y 20 de setiembre para los puntos 5, 4, 3, 2 y 1 respectivamente, con hora de inicio a las 7:30 horas hasta las 22:00 horas, con un total de 14.5 horas diarias continuas.

La repetición del monitoreo en el tercer sótano (segunda etapa) fue el 23, 24 y 26 de setiembre para los puntos 3, 2 y 1 respectivamente, se inició la medición a las 7:30 horas y culminó a las 22:00 horas con un total de 14.5 horas diarias continuas.

### 3.5. Método de muestreo

Los datos recogidos de la concentración de monóxido de carbono (CO) del interior del ERN se realizó con un monitor portátil multifuncional, el cual posee una lista de sensores electroquímicos de: Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC), Formaldehído (CH<sub>2</sub>O), Óxido Nítrico (NO), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Dióxido de Sulfuro (SO<sub>2</sub>), Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S), Oxígeno (O<sub>2</sub>); sin embargo, los únicos sensores implementados y habilitados en este monitor, fueron para los gases de Monóxido de Carbono y el Dióxido de Azufre, y para este estudio se utilizó los datos registrados del monóxido de carbono.

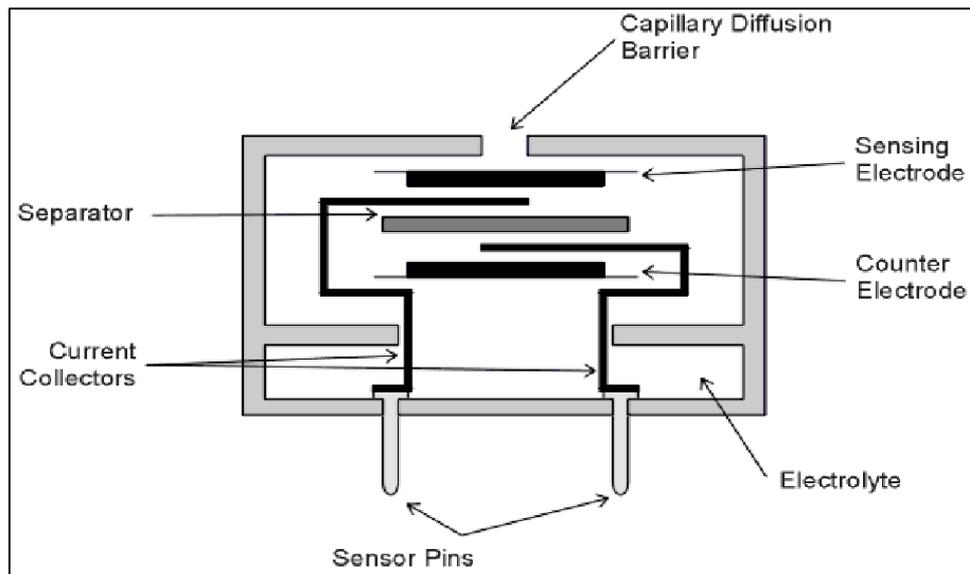
Este equipo portátil fue suministrado por el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, y la calibración lo realizó el laboratorio de calibración “Green Group” con acreditación por INACAL y con ISO/IEC 17025.

#### 3.5.1. Sensor de Monóxido de Carbono

El monitor portátil AQ-PRO posee un sensor de tres electrodos y está equipado con un filtro interno para eliminar cualquier interferencia de otros gases ácidos. El sensor opcional de CO de alto rango tiene cuatro electrodos. Uno mide la concentración de gas de monóxido de carbono y el otro la concentración de cualquier gas de hidrógeno que interfiera (es compensado con hidrógeno).

Los sensores de gas se agrupan en 4 categorías, según su principio de funcionamiento:

Dos (2) sensores electroquímicos de gas; Un (1) NDIR (sensores infrarrojos de gas) - CO<sub>2</sub>; Un (1) detector de fotoionización (sensor de gas PID) – VOC; Sensores no gaseosos (Temperatura, Humedad, Presión, Velocidad y Sensores de presión barométrica). La Figura 9. muestra el colector interno de los sensores:



**Figura 9:** Muestra del colector interno de los sensores del AQ-PRO  
**FUENTE:** AQ PRO Instruction y Operations Manual (2012)

### 3.6. Medición horaria de la concentración del CO en los niveles del ERN

La medición se realizó con el detector de gases Modelo AQ-PRO. Se hizo un registro directo, se inició a las 7:30 horas y culminó a las 22:00 horas con un total de 14.5 horas diarias continuas (son los instantes con la mayor afluencia vehicular por las labores de los usuarios). Se registró un dato cada 5 minutos durante todas las horas de monitoreo; se configuró antes de cada inicio de monitoreo; se registraron en unidades de concentración de partes por millón o miligramos por metro cúbico de monóxido de carbono; se almacenó en base de datos del equipo, descargado y guardado al final de la jornada de monitoreo.

Para la instalación de los puntos en el interior, se consideró la distancia total de cada planta de cada sótano, los días de la semana donde hay más influencia de vehículos (lunes – viernes). La segmentación (núcleos) del interior del ERN facilitó los puntos de instalación basándose en todo ello, se consideró 5 puntos de monitoreo para cada planta del sótano, además se tuvo en cuenta algunos aspectos en la ubicación como los siguiente mencionados:

- El analizador de gas se posicionó en el pasaje peatonal.
- La caseta que soporta al analizador de gas esté ubicado a una altura de 1.5 m respecto al piso (nivel promedio de altura de la zona de respiración), igual altura utilizada en el estudio de Maximilien et al, (2016).



**Figura 10:** Caseta, analizador de gases, y altura de monitoreo

En el proceso de conversión de la concentración de miligramos por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) a partes por millón (ppm) para la segunda etapa del monitoreo tanto del primer, segundo y tercer sótano se utilizó la siguiente ecuación:

$$C\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}\right) = \frac{C(\text{ppm}) * M * 10^3}{\frac{R * T}{P}}$$

- C= Concentración
- R = 0.082 atm.L.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup>
- T = Kelvin (K)
- P = Atmosférica (atm)
- M = gr/mol

### 3.7. Comportamiento de la concentración del CO en función a los puntos de monitoreo

En esta sección, el comportamiento de la concentración del CO estará basado en función del registro de esta variable, y cómo se comporta en cada punto o núcleo, tanto en la primera etapa como en la segunda etapa; se utilizarán los promedios de los registros de cada núcleo en una planta de ambas etapas; los datos recopilados de la segunda etapa se convertirán de unidades de miligramos por metro cúbico a partes por millón.

### **3.8. Determinación de la relación que existe entre el número de vehículos y los niveles de CO**

El registro de vehículos de ingreso y salida de los días del monitoreo fueron proporcionados por la oficina del ERN. Estos registros están en rangos horarios, y los cuales serán procesados, tanto para el ingreso y la salida de vehículos; y se adicionará la cantidad neta de vehículos que permanecen en el interior, la cual será resultado de la diferencia del entre los vehículos que ingresan y los que salen. Se hará un análisis estadístico con las tres variables respecto a la concentración promedio del monóxido de carbono en los mismos rangos horarios a las otras variables.

### **3.9. Estimación del porcentaje de carboxihemoglobina en la sangre de las personas**

El porcentaje de carboxihemoglobina está en función de muchas variables que son expresadas en la ecuación 3 de CFK (la fórmula no lineal de Coburn, Forster y Kane de 1965). La ecuación está compuesta de varias constantes, específicamente de variables fisiológicas que se mantienen constante para una persona promedio, excepto aquellas variables que cambian son: el tiempo de exposición de un individuo expuesto, y la concentración de monóxido de carbono.

Para la estimación de la carboxihemoglobina instantánea se empleó la ecuación 3 (descrita en la página 25) y sus respectivas variables. La diferencia para esta sección es el tiempo de exposición al que está sometido un individuo; para este caso se consideraron cada 5 minutos y la concentración de monóxido de carbono como resultado en ese intervalo de tiempo.

En la estimación de la carboxihemoglobina acumulada, de igual manera se utilizó la ecuación 3 y sus variables; sin embargo, el tiempo de exposición y la concentración se hallaron de distinta manera; los datos de concentración del monóxido de carbono son los promedios de todos los resultados anteriores y el intervalo de tiempo se consideró todo el tiempo transcurrido hasta donde se realizó el promedio de monóxido de carbono.

### **3.10. Análisis de las variables, la cantidad vehicular sobre la concentración del CO**

En esta sección de la metodología, se evaluó los valores del comportamiento, y la variación de la concentración del monóxido de carbono respecto a los puntos de cada sótano; para ello, se utilizaron los valores proporcionados por monitor portátil.

Se procedió a evaluar los datos de concentración de CO y la relación con las variables meteorológicas obtenidas en el interior del ERN, donde las variables a considerar son la humedad relativa, la temperatura ambiental y la temperatura de bulbo húmedo; datos obtenidos en aproximadamente 6 semanas de monitoreo (28 días), a cuyos datos se realizó una regresión lineal múltiple mediante la generación de modelos en el software Rstudio con ello se demostró y/o descartó cuál de las variables mencionadas tiene mayor influencia sobre la concentración del contaminante.

Se empleó el registro de las variables de las 8:00 a las 22:00 horas del día; uno de los modelos se ejecutó con la suma de la hora de la concentración del monóxido de carbono, y otro con el promedio de la misma.

### **3.11. Concentración de CO en relación a la variable meteorológicas**

En esta sección de la metodología se evaluó cuál de las variables influye (mayor importancia) en el grado de concentración del monóxido de carbono. Para ello, se realizó una regresión lineal múltiple, y posterior un modelo regresión lineal múltiple ajustado en el software Rstudio. Este nuevo modelo realizó un mayor ajuste a la ecuación, con el objetivo de verificar cuál de las variables tiene mayor influencia y/o importancia sobre la concentración del contaminante.

#### **3.11.1. Comportamiento de la concentración del CO en relación a los puntos de monitoreo**

En esta sección se procedió a ejecutar una prueba de normalidad de Anderson Darling con los datos obtenidos de la concentración de CO de cada punto de monitoreo para todos los sótanos y las etapas, y evaluar si tienen una distribución normal. Luego se ejecutará la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis con fin de determinar si las medianas son iguales o existen diferencia en alguno de los puntos por cada sótano monitoreado.

Posterior a ello, se aplicó otra prueba no paramétrica de Correlación de Spearman para calcular coeficientes de correlación ( $r$ ) de Spearman, y este es utilizado para determinar el grado de asociación de 2 o más grupos de datos ordinales. El valor de los coeficientes está en el rango de -1 y 1, mientras más cercano sea el coeficiente de correlación a algunos de los extremos valores, la relación es más fuerte, indirecto para el negativo y directo para el positivo, si el valor está entre el -0.5 y 0.5 existirá una relación media y si el valor fuese 0 la

relación será débil. Además, se obtendrá un p-valor (el valor oscila entre 0 y 1) en las pruebas que se ejecutará, con un respectivo porcentaje de confianza, y de ello dependerá la decisión de la prueba de hipótesis nula, ya que cuando el p\_valor es menor o igual al nivel de significación ( $\alpha$ ), la hipótesis nula se rechaza.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Concentración horaria en los tres niveles del estacionamiento.

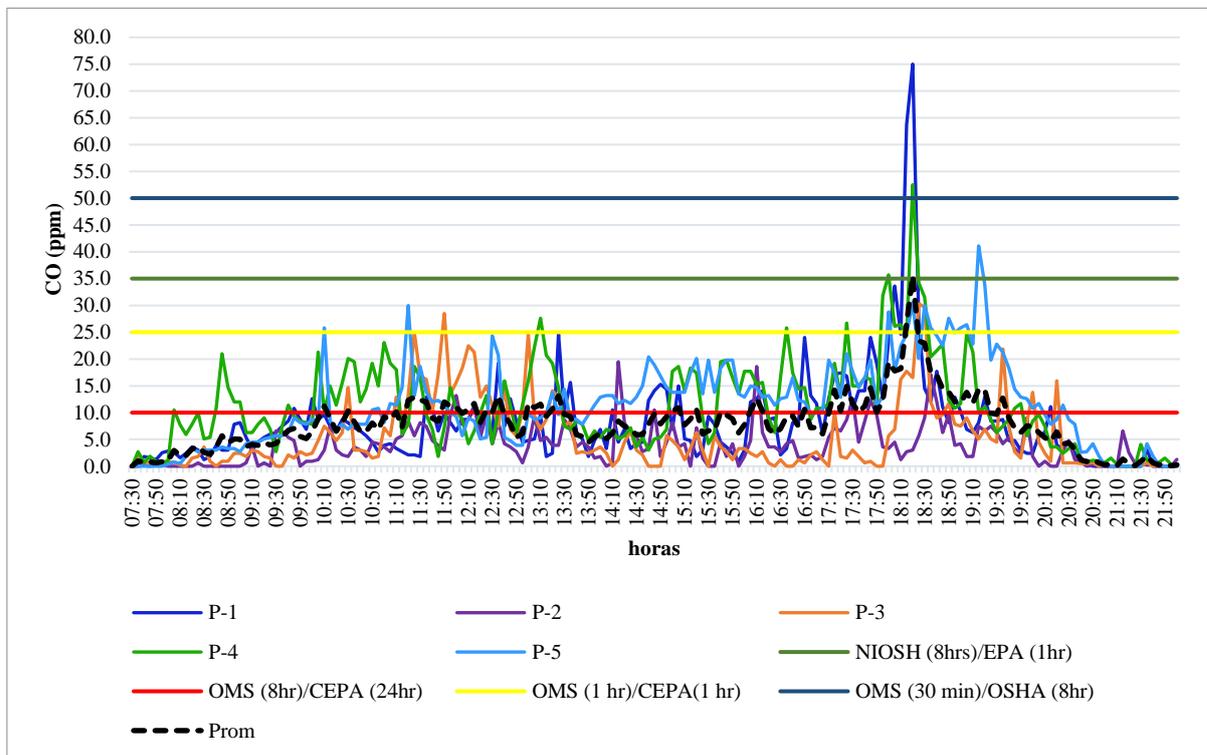
El monitor portátil AQ-PRO proporcionó un total de 175 datos diarios, y 4550 registros de los días normales, 187 del sábado y domingo; promedio de cada 5 minutos de monitoreo, obtenidos entre los meses de agosto y setiembre del 2019. Para casos prácticos, y una mejor diferenciación en las gráficas posteriores, los puntos donde se instalaron llevarán el color característico al núcleo donde estuvo ubicado en monitor portátil.

Todos los días hubo un encendido programado de extractores e inyectores de aire de las 12:00 horas a 13:00 horas, con lo cual se puede observar una ligera disminución de la concentración pasada esta hora para todos puntos. Sin embargo, existieron activación de estos sistemas de ventilación cuando en algún sector del primer, segundo o tercer sótano los sensores de monóxido de carbono registraron concentraciones superiores a 50 ppm.

La Figura 11 indica la variación de la concentración de CO de los 5 puntos monitoreados en el primer sótano (primera etapa), y muestra que en los minutos iniciales de monitoreo la concentración es casi nula y el incremento del monóxido de carbono se debe al ingreso continuo de los usuarios con sus respectivos vehículos; el crecimiento paulatino del contaminante fue hasta las 10:00 horas y a partir de este instante la concentración promedio oscila entre los 10 ppm hasta aproximadamente las 13:00 horas, en ese rango de hora supero los límites de la OMS (8 horas) y la CEPA (24 hora); posterior a las 13:00 horas hay una disminución la concentración, esta acción ocurre por los extractores de inyectores de aire. Sin embargo, a partir 17:00 horas hay un incremento acelerado de la concentración por el encendido de los vehículos; estos valores elevados en horas de la tarde concuerdan con lo descrito por Al-Rukaibi et al. (2018) de manera similar describe Maximilien et al. (2016), menciona que las horas de alta concentración son por las mañanas (horas de ingreso) y por la tarde (horas de salida), varios estudios (Ashok y Nathagopal, 2019; Dey et al., 2019; NRC, 2002) han explicado que el arranque en frío de los motores genera gran cantidad de CO; sin

embargo, estos resultados difieren ligeramente de los hallados por Fiedoruk y Niececki (2016) donde da a conocer que las máximas horas de concentración de CO ocurren entre las 10:00 – 12:00 horas con un valor máximo de 92 ppm. para Al-Rukaibi et al. (2018) resaltan en su investigación que las máximas concentraciones fueron en las noches; Sachin et al. (2018) obtuvo valores semejantes a las medias de nuestro estudio (7.95 ppm); sin embargo, los valores promedios de Demir (2015) son superiores a los hallados en este sótano.

El punto 1 posee una media de 7.97 ppm y un registro máximo de 75 ppm; el punto 2 posee una media de 3.86 ppm y un registro máximo de 19.5 ppm; el punto 3 posee una media de 5.41 ppm y un registro máximo de 30.3 ppm; el punto 4 posee una media de 11.16 ppm y un registro máximo de 52.5 ppm; el punto 5 posee una media de 11.36 y un registro máximo de 41.1 ppm.

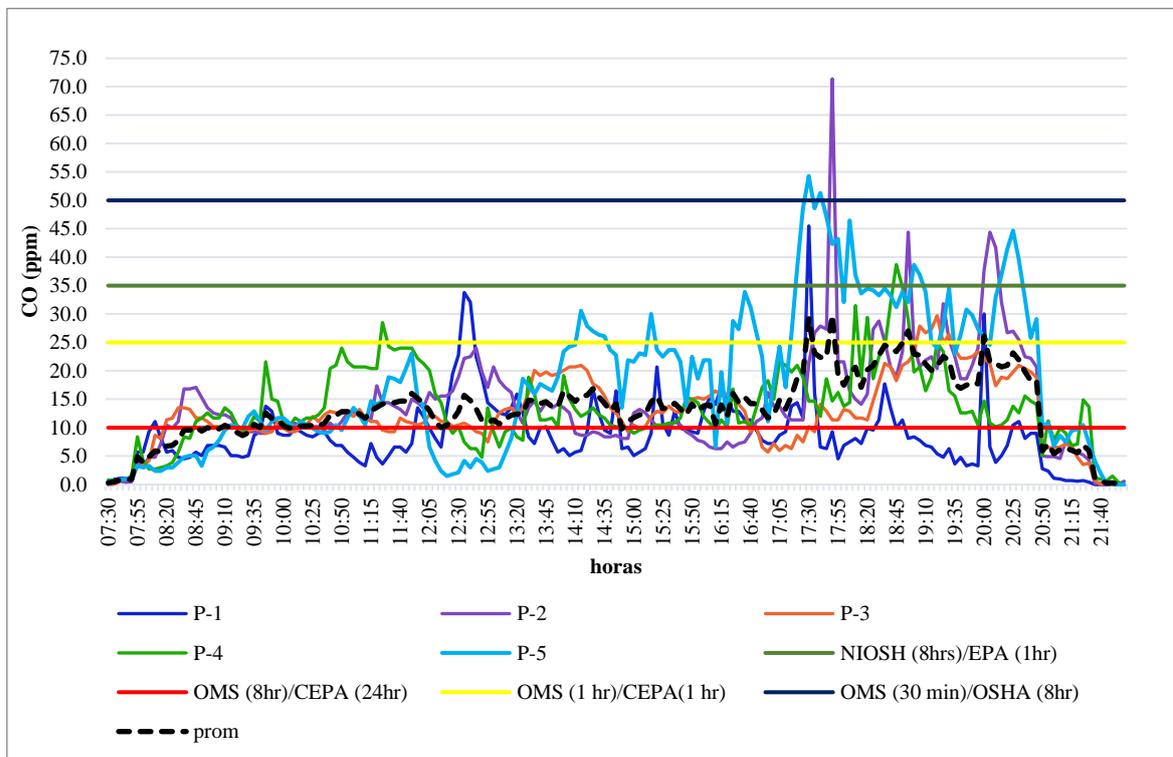


**Figura 11:** Variación horaria de la concentración de CO (ppm), primer sótano (primera etapa)

La Figura 12 muestra la variación de la concentración del monóxido de carbono del segundo sótano (primera etapa) En las horas iniciales de monitoreo hubo registros nulos, sin embargo, el incremento se dio con el ingreso de los usuarios y sus respectivos vehículos antes de las 8:00 horas. La concentración promedio de CO de las 9:00 hasta las 21:00 horas oscila sobre los 10 ppm, y superó los límites de la OMS (8 horas) y la CEPA (24 horas) para todo este

tiempo; las máximas concentraciones ocurren a partir de la 17:00 hasta las 21:00 horas y superó los límites de la OMS (1 hora). Estos valores elevados en horas de la tarde concuerdan con lo descrito por Al-Rukaibi et al. (2018) de manera similar describe Maximilien et al. (2016), menciona que las horas de alta concentración son por las mañanas (horas de ingreso) y por la tarde (horas de salida), varios estudios (Ashok y Nathagopal, 2019; Dey et al., 2019; NRC, 2002) han explicado la generación por el arranque en frío de los motores genera alta cantidad de CO; sin embargo, estos resultados difieren ligeramente de los hallados por Fiedoruk y Nieciecki (2016), da a conocer que las máximas horas de concentración de CO ocurren entre las 10:00 – 12:00 horas con un valor máximo de 92 ppm, para Al-Rukaibi et al. (2018) resalta en su investigación que las máximas concentraciones fueron en las noches; Sachin et al. (2018) y Demir (2015) obtuvo valores similares (13.36 ppm) a las concentraciones medias en este sótano.

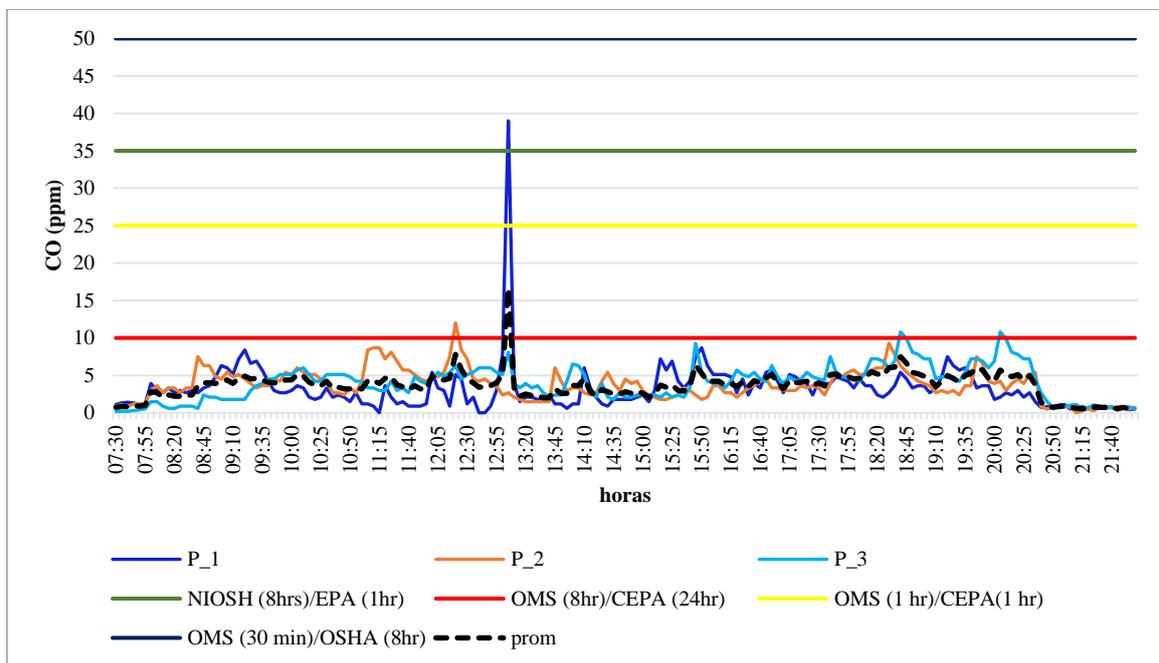
El punto 1 posee una media de 8.7 ppm y un registro máximo de 45.5 ppm; el punto 2 posee una media de 14 ppm y un registro máximo de 71.4 ppm; el punto 3 posee una media de 12.5 ppm y un registro máximo de 29.7 ppm; el punto 4 posee una media de 13.4 ppm y un registro máximo de 38.7 ppm; el punto 5 posee una media de 18.1 y un registro máximo de 54.3 ppm.



**Figura 12:** Variación horaria de la concentración de CO (ppm), segundo sótano (primera etapa)

Por otra parte, la Figura 13 muestra la variación de la concentración más resaltantes del monitoreo del tercer sótano (primera etapa), las horas iniciales se registró concentraciones promedio de 0.7 ppm, y luego se incrementó hasta 5 ppm, y oscila en ese rango de las 9:00 hasta las 20:30 horas, el promedio no supero los límites de la OMS, pero si se registró un valor anómalo de 39 ppm para el punto 1, cuyo valor corresponde ala la circulación varios vehículos antiguos y a una velocidad lenta; es el sótano con el menor ingreso de vehículos y eso hace que se mantenga la concentración casi homogénea en este espacio, con lo cual se obtiene una concentración promedio de 3.7 ppm de CO. Este sótano no concuerda ni difiere con resultado de otros estudios, debido a que en esta área la afluencia de vehículos es mínima, con registros máximos de 15 unidades por día.

El punto 1 posee una media de 3.24 ppm y un registro máximo de 39 ppm; el punto 2 posee una media de 3.74 ppm y un registro máximo de 12 ppm; el punto 3 posee una media de 3.98 ppm y un registro máximo de 10.8 ppm. Sin embargo, existe una anomalía de un registro, con un valor que supera los 39 ppm y eso se debió a que transito un vehículo antiguo.

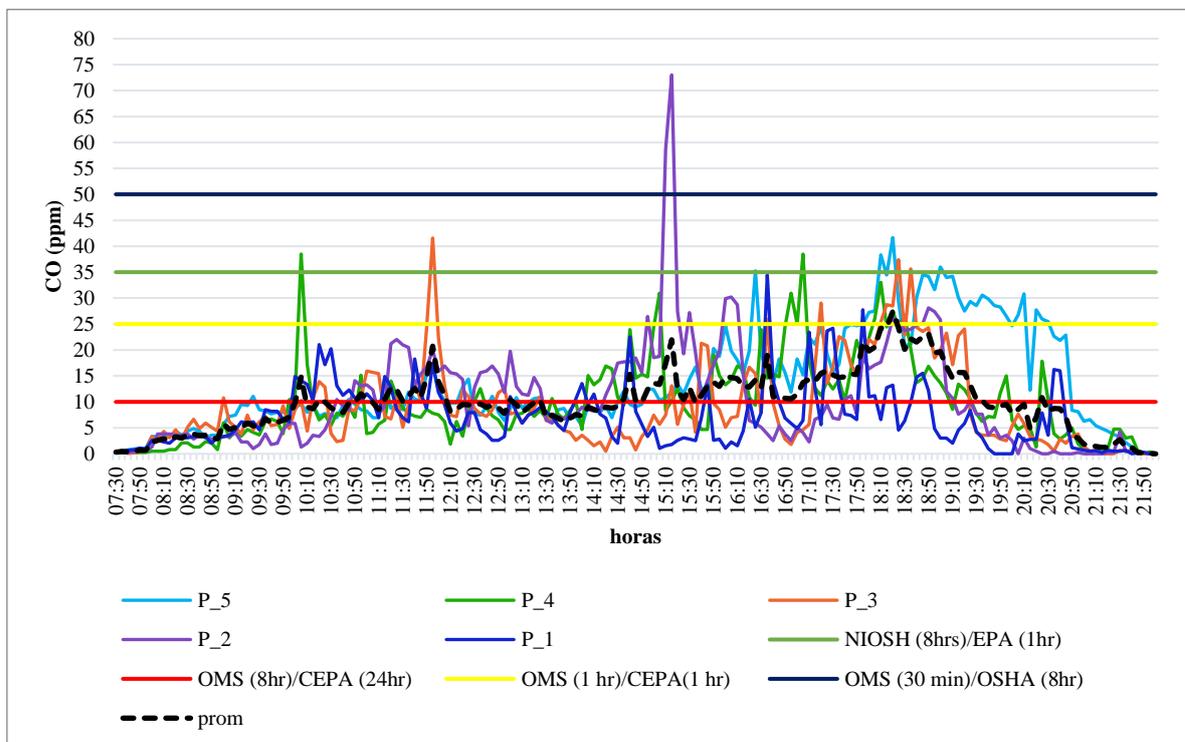


**Figura 13:** Variación horaria de la concentración de CO (ppm), tercer sótano (primera etapa).

La Figura 14 muestra los resultados del primer sótano de la segunda etapa. En las horas iniciales hubo registros nulos de concentración, el incremento se percibió con el ingreso de los usuarios y sus respectivos vehículos antes de las 8:00 horas. La concentración promedio de CO de las 9:30 hasta las 19:30 horas oscila sobre los 10 ppm, y supero los límites de la

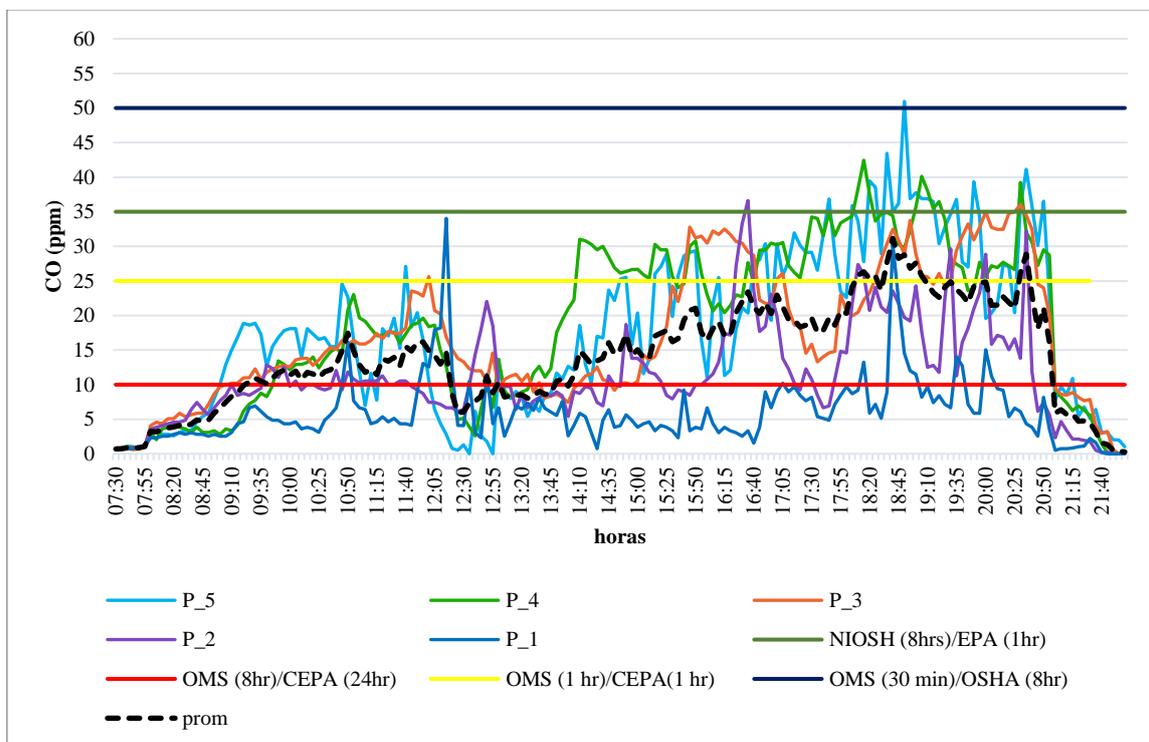
OMS (15 min) y la CEPA (1 hora) para todo este tiempo, las mayores concentraciones ocurren a partir de la 17:00 hasta las 20:00 horas y supero los límites de la OMS (8 horas) solo en un instante, estos valores elevados en horas de la tarde concuerda con lo descrito por Al-Rukaibi et al. (2018) de manera similar describe Maximilien et al. (2016) menciona que las horas de alta concentración son por las mañanas (horas de ingreso) y por la tarde (horas de salida). Varios estudios (Ashok y Nathagopal, 2019; Dey et al., 2019; NRC, 2002) han explicado la generación por el arranque en frío de los motores; sin embargo, estos resultados difieren ligeramente de los hallados por Fiedoruk y Niececki (2016) y muestra las máximas horas de concentración de CO ocurren entre las 10:00 – 12:00 horas; para Al-Rukaibi et al. (2018) resalta en su estudio que las máximas concentraciones fueron en las noches; y Sachin et al. (2018) obtuvo valores parecidos a las medias de este estudio (9,90 ppm), solo los valores promedios de Demir (2015) son similares a los hallados en nuestro estudio.

El punto 1 posee una media de 6.97 ppm y un registro máximo de 34.46 ppm; el punto 2 posee una media de 10.16 ppm y un registro máximo de 73.02 ppm; el punto 3 posee una media de 8.97 ppm y un registro máximo de 41.58 ppm; el punto 4 posee una media de 9.97 ppm y un registro máximo de 38.49 ppm; el punto 5 posee una media de 16.65 ppm y un registro máximo de 41.67 ppm, se registró un valor anómalo de para el punto 2 de 73 ppm.



**Figura 14:** Variación horaria de la concentración de CO (ppm), primer sótano (segunda etapa)

La Figura 15 muestra los resultados del segundo sótano de la segunda etapa (repetición), las horas iniciales hay un registro nulo de concentración, el incremento se dio con el ingreso de los usuarios y sus respectivos vehículos antes de las 8:00 horas. La concentración promedio de CO de las 9:30 hasta las 21:00 horas todo ese lapso de tiempo sobrepaso los 10 ppm, y supero los límites de la OMS (8 horas) y la CEPA (24 horas), además a partir los 18:00 horas hasta las 20:30 oscilo por el rango de los 25 ppm, y superó en algunos instantes los límites de la OMS (1 hora), los mayores valores se produjeron entre las 16:30 y 21:00 horas, estos valores elevados en instante de la tarde concuerda con lo descrito por Al-Rukaibi et al. (2018) de manera similar describe Maximilien et al. (2016) menciona que las horas de mayores concentración fueron por las mañanas (horas de ingreso) y por la tarde (horas de salida), varios estudios (Ashok y Nathagopal, 2019; Dey et al., 2019; NRC, 2002) explicaron la generación por el arranque en frío de los motores; sin embargo, estos resultados difieren ligeramente de los hallados por Fiedoruk y Nieciecki (2016) y da a conocer que las máximas horas de concentración de CO ocurren entre las 10:00 – 12:00 horas, para Al-Rukaibi et al. (2018) resalta en su estudio que las máximas concentración son en las noches; Sachin et al. (2018) obtuvo valores parecidos a las medias de nuestro estudio, además los valores promedios de Demir (2015) son semejantes a los registros promedios en los puntos del segundo sótano (14.17 ppm).

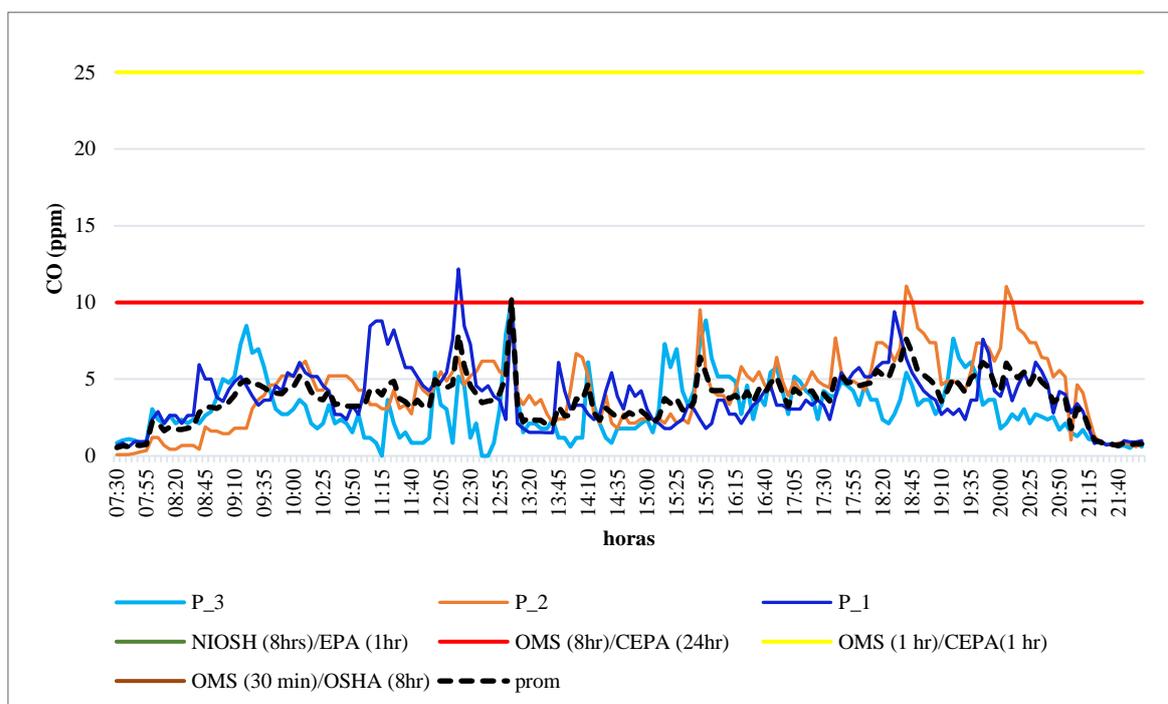


**Figura 15:** Variación horaria de la concentración de CO (ppm), segundo sótano (segunda etapa)

El punto 1 posee una media de 5.95 ppm y un registro máximo de 34.05 ppm; el punto 2 posee una media de 11.31 ppm y un registro máximo de 36.62 ppm; el punto 3 posee una media de 16.83 ppm y un registro máximo de 36.03 ppm; el punto 4 posee una media de 18.88 ppm y un registro máximo de 42.45 ppm; el punto 5 posee una media de 17.88 ppm y un registro máximo de 50.96 ppm.

Por otra parte, la Figura 16 muestra variación de la concentración del tercer sótano de la segunda etapa (repetición). Las concentraciones iniciales en esta sección son nulas, similares a las registradas en la primera etapa. Hay un incremento ligero en la concentración después de la 8.00 horas y oscila en 5 ppm hasta las 21:00 horas. El promedio no superó ningún límite: este es un sótano con el menor ingreso de vehículos y esto mantiene homogénea la concentración; solo es alterado con el transitar de los pocos vehículos o los extractores de aire; se obtiene una concentración promedio de 3.72 ppm de CO. En este sótano no concuerda ni difiere con resultado de otros estudios debido a que en esta área hay poca afluencia vehicular, con registros máximos de 15 unidades por día.

El punto 1 posee una media de 3.89 ppm y un registro máximo de 12.18 ppm; el punto 2 posee una media de 4.2 ppm y un registro máximo de 11.6 ppm; el punto 3 posee una media de 3.08 ppm y un registro máximo de 10.19 ppm.

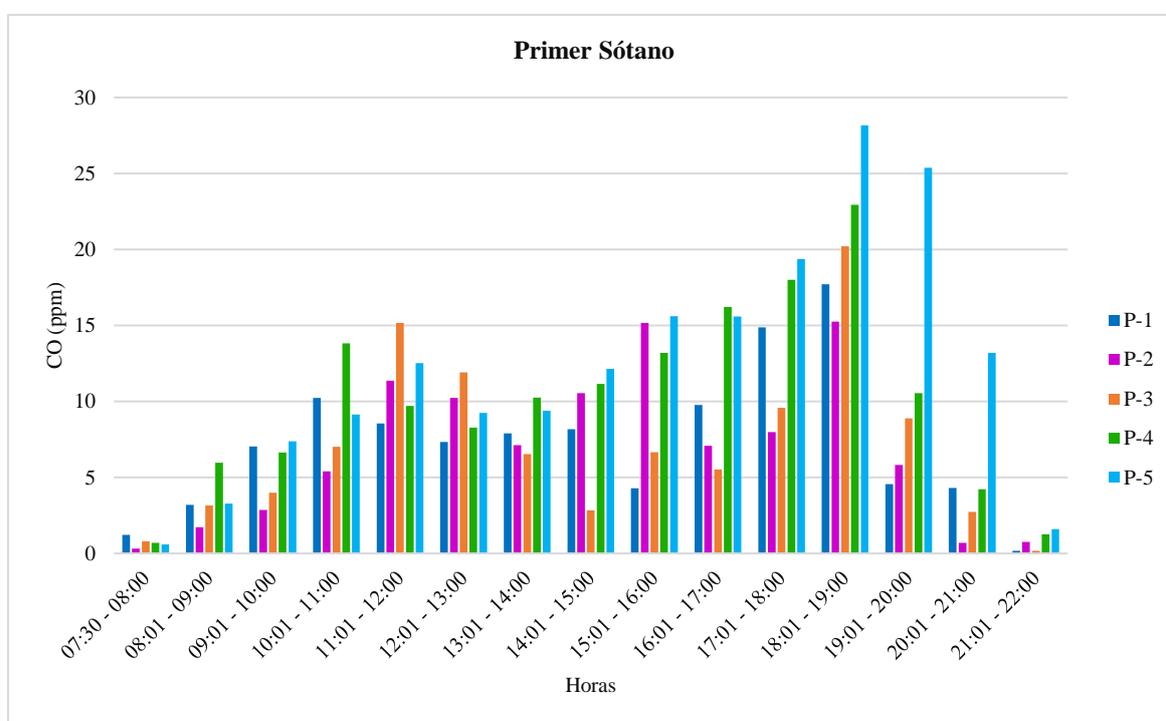


**Figura 16:** Variación horaria de la concentración de CO (ppm), tercer sótano (segunda etapa)

## 4.2. Comportamiento de la concentración en función a los puntos de monitoreo.

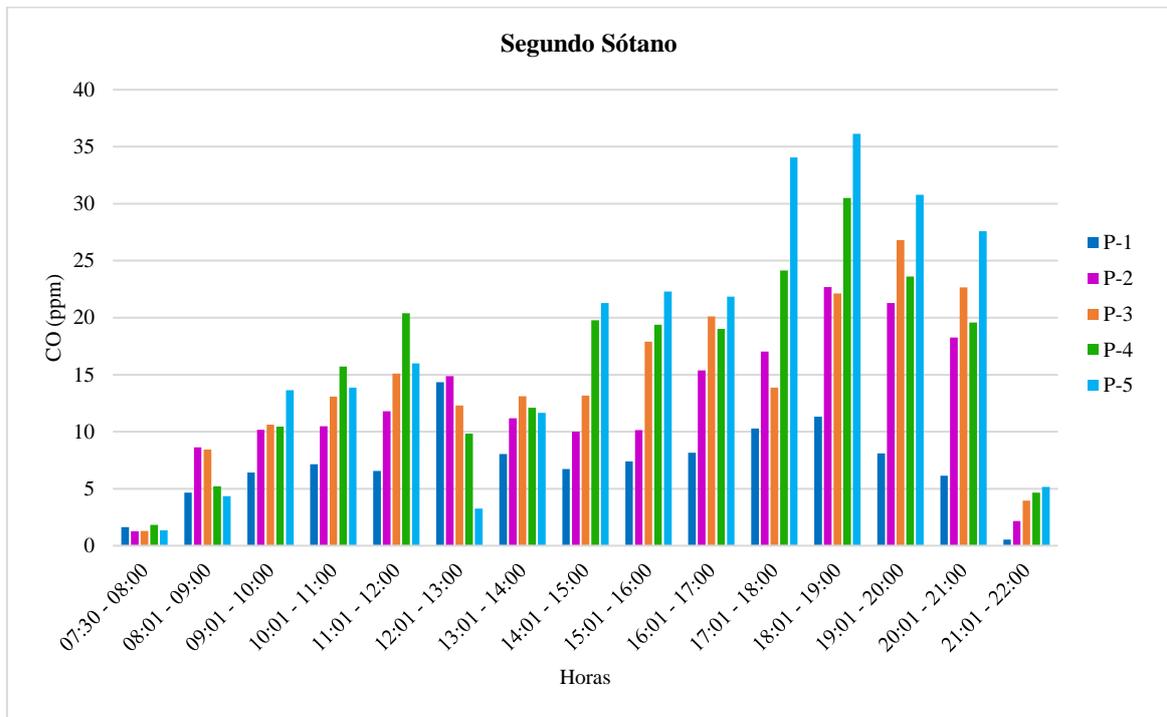
### 4.2.1. Concentración promedio del CO por puntos para el primer sótano.

Las concentraciones promedio del primer sótano registraron lo siguiente: los mayores valores se manifestaron en el siguiente orden; el punto 5 (núcleo celeste) con 12.50 ppm, seguido del punto 4 (núcleo verde) con 10.47 ppm. Estos resultados se generaron debido a que el área está en constante intercambio de vehículos estacionados; motivo que la gran parte los centros laborales de los usuarios está en esa dirección y cercanos a esta sección, lo cual facilita el ingreso y salidas de los usuarios; otra de las causas de la alta concentración de CO en esta sección es la rampa de subida en este extremo arrastra aire del sótano inferior (segundo sótano) con los vehículos al instante de subir. El punto 3 (núcleo naranja) con 7.20 ppm; El punto 2 (núcleo morado) con 7.01 ppm y el punto 1 (núcleo azul) con 7.47 ppm, tiene concentraciones similares, estas secciones obtuvieron los menores valores debido a que uno de los motivos, que horas iniciales del día, el personal del ERN reserva esta sección con el fin de que los usuarios desciendan al segundo o tercer sótano y no saturar de vehículos el primer sótano. Otra de las causas es que estas secciones se ubican en el extremo opuesto a los centros laborales. (ver Figura 17)



**Figura 17:** Concentración promedio del CO en el primer sótano en función de los puntos

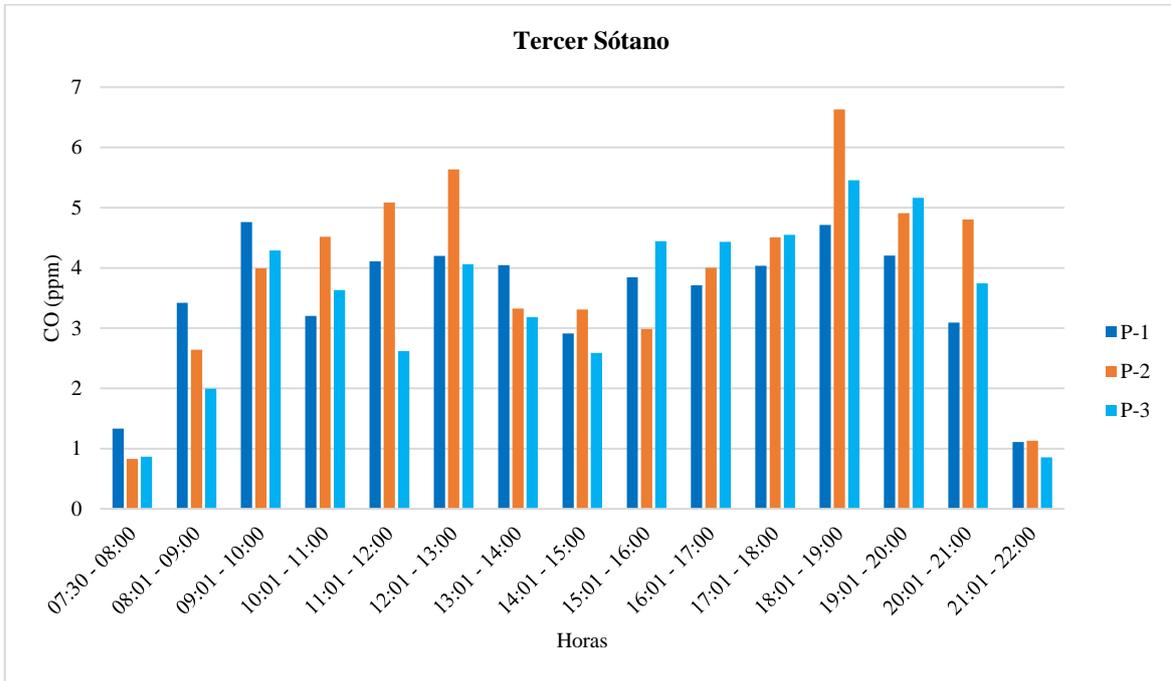
Las concentraciones promedio del segundo sótano registraron lo siguiente: los mayores valores se manifestaron en el siguiente orden, el punto 5 (núcleo celeste) con 12.01 ppm; seguido del punto 4 (núcleo verde) con 10.47 ppm y el punto 3 (núcleo naranja) con 12.68 ppm. Estos valores son similares a los registros del primer sótano; las concentraciones de CO en estas secciones es el reflejo de que estos espacios siempre están ocupados y en constante intercambio de vehículos, debido a que facilita el ingreso y/o salida de los usuarios por la cercanía a sus centros laborales, centros comerciales, centros bancarios, etc. Además, se suman los gases que vienen del tercer sótano por la rampa de subida, y arrastra contaminantes a este sótano. El punto 2 (núcleo morado) obtuvo un valor de 12.67 ppm; y, finalmente, el punto 1 (núcleo azul) con 7.32 ppm, registró el valor más bajo de todo este sótano a causa que está en el extremo opuesto a los centros laborales. (ver Figura 18)



**Figura 18:** Concentración promedio del CO en el segundo sótano en función de los puntos

Las concentraciones promedio del tercer sótano registraron valores semejantes para todos los puntos y son los siguiente: el punto 1 (núcleo azul) obtuvo un valor de 3.58 ppm; el punto 2 (núcleo naranja) un valor de 3.98 ppm; y el punto 3 (núcleo celeste) un valor de 3.53 ppm. Este piso cuenta con menor afluencia vehicular los días que se monitorearon. Se contabilizaron un total de 15 vehículos como máximo; además, algunos vehículos permanecen inmóviles durante varios días en el interior debido a que algunas de estas unidades pertenecen a los asociados del ERN y, por lo tanto, no generan ningún efecto

notorio a la concentración del aire. Además, los valores promedio de este sótano son menores a sus similares superiores. (ver Figura 19)



**Figura 19:** Concentración promedio del CO en el tercer sótano en función de los puntos

### 4.3. Análisis estadístico

#### 4.3.1. Influencia de variables meteorológicas y vehiculares sobre concentración del CO

Para la presente investigación, se adicionó una regresión lineal múltiple, y su respectivo modelo ajustado con la utilización del software Rstudio. Se evaluó la concentración de monóxido de carbono versus las variables de temperatura ambiental, humedad relativa, temperatura del bulbo húmedo, entrada de vehículos y salida de vehículos, para todas las variables en términos de promedio horario.

#### 4.3.2. Modelo de la concentración de CO con las variables

El modelo fue realizado con el promedio horario de concentración del CO versus el resto de las variables presentes (promedio horario). Se obtuvo las variables de temperatura del ambiente y salida de vehículos con mayor significancia entre el resto de variables; se obtiene un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 46.9%. Luego de este análisis se procede a realizar un ajuste a este modelo con aquellas variables que resultaron significativas.

```

> MODELO_PROM <- lm(Prom_CO~Prom_T+Prom_HR+Prom_WBT+Entrada+Salida+Acumulado,
data = DATO_FINAL_PROM)
> summary(MODELO_PROM)

Call:
lm(formula = Prom_CO ~ Prom_T + Prom_HR + Prom_WBT + Entrada +
  Salida + Acumulado, data = DATO_FINAL_PROM)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-17.181  -3.511  -0.712   3.098  22.255

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -83.336535   13.917005  -5.988 4.89e-09 ***
Prom_T       2.059068    0.279516   7.367 1.08e-12 ***
Prom_HR      0.306997    0.111498   2.753 0.00618 **
Prom_WBT     1.417460    0.527736   2.686 0.00755 **
Entrada      0.002393    0.009368   0.255 0.79849
Salida       0.106281    0.010960   9.697 < 2e-16 ***
Acumulado   -0.007350    0.002970  -2.475 0.01377 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5.865 on 383 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.469,    Adjusted R-squared:  0.4606
F-statistic: 56.37 on 6 and 383 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

**Figura 20:** Desarrollo del modelo, concentración monóxido de carbono versus el resto de variables (promedios horarios)

#### 4.3.3. Ajuste del modelo de la concentración del CO con las variables

Modelo ajustado representa el análisis sobre el comportamiento solo de aquellas variables significativas, entre ellas la temperatura del ambiente y salida de vehículos, donde resulta que ambas variables siguen muy significativas. Con ello, se puede afirmar que, según los resultados de estos modelos, ambas variables son influyentes en la variación de la concentración de CO. Se obtuvieron un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 69.19 % y un  $p_{\text{valor}} 2.2 \times 10^{-16}$ .

```

> MODELO_PROM_AJUST <- lm(Prom_CO~Prom_T+Salida - 1,data = DATO_FINAL_PROM)
> summary(MODELO_PROM_AJUST)

Call:
lm(formula = Prom_CO ~ Prom_T + Salida - 1, data = DATO_FINAL_PROM)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-11.791  -4.739  -1.829   2.587   24.134

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Prom_T     0.168343    0.030576   5.506 6.7e-08 ***
Salida     0.089896    0.008882  10.121 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 6.824 on 388 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6919,    Adjusted R-squared:  0.6903
F-statistic: 435.6 on 2 and 388 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

**Figura 21:** Desarrollo del modelo, concentración monóxido de carbono versus el resto de variables (promedios horarios)

Posterior a estos resultados, tanto del modelo de regresión lineal múltiple y su ajuste respectivo, se procedió a realizar otro análisis estadístico para corroborar cuál de estas variables tiene un mayor grado de relación entre la variable dependiente (monóxido de carbono) y las variables independientes, sin antes no realizar otros análisis estadísticos para determinar si tiene una distribución normal y posterior a ello realizar el respectivo análisis complementario.

#### 4.3.4. Prueba de normalidad Anderson Darling

A continuación, se describen los resultados de los análisis estadísticos de los datos de concentración de monóxido de carbono, respecto a las variables que intervienen en este estudio. Para analizar el comportamiento de este contaminante en función a los puntos ubicados, este análisis fue distribuido por sótanos y sus respectivos puntos.

En la Figura 32 (Anexo 1) se observan los resultados de su respectiva aplicación de la prueba de normalidad de Anderson Darling para los datos de cada punto de monitoreo en el primer sótano (primera etapa). Se muestra que las concentraciones de monóxido de carbono para todos los puntos P-1, P-2, P-3, P-4 y P-5 no presentan una distribución normal, ya que el valor  $p$  obtenidos para todos los puntos son menores a 0.005. Además, este valor es menor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0.05$ ), y esto se puede observar en las gráficas, donde los datos evaluados no se ajustan a la línea de distribución.

En la Figura 33 (Anexo 1) se observan los resultados de su respectiva aplicación de la prueba de normalidad de Anderson Darling para los datos de cada punto de monitoreo en el segundo sótano (primera etapa). Se muestra que las concentraciones de monóxido de carbono para todos los puntos P-1, P-2, P-3, P-4 y P-5 no presentan una distribución normal, ya que el valor  $p$  obtenidos para todos puntos son menores a 0.005. Además, este valor es menor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0.05$ ), y esto se puede observar en las gráficas, donde los datos evaluados no se ajustan a la línea de distribución.

En la Figura 34 (Anexo 1) se observan los resultados de su respectiva aplicación de la prueba de normalidad de Anderson Darling para los datos de cada punto de monitoreo en el tercer sótano (primera etapa). Se muestra que las concentraciones de monóxido de carbono para todos los puntos P-1, P-2 y P-3 no presentan una distribución normal, ya que el valor  $p$

obtenidos son menores a 0005. Además, este valor es menor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0.05$ ), y esto se puede observar en las gráficas, donde los datos evaluados no se ajustan a la línea de distribución.

En la Figura 35 (Anexo 1) se observan los resultados de su respectiva aplicación de la prueba de normalidad de Anderson Darling para los datos de cada punto de monitoreo de la repetición del primer sótano (segunda etapa). Se muestra que las concentraciones de monóxido de carbono para todos los puntos P-1, P-2, P-3, P-4 y P-5 no presentan una distribución normal, ya que el valor  $p$  son menores a 0.005. Además, este valor es menor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0.05$ ), y esto se puede observar en las gráficas, donde los datos evaluados no se ajustan a la línea de distribución.

En la Figura 36 (Anexo 1) se observan los resultados de su respectiva aplicación de la prueba de normalidad de Anderson Darling para cada punto de monitoreo de la repetición del segundo sótano (segunda etapa). Se muestra que las concentraciones de monóxido de carbono para todos los puntos P-1, P-2, P-3, P-4 y P-5 no presentan una distribución normal, ya que el valor  $p$  son menores a 0.005. Además, este valor es menor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0.05$ ), y esto se puede observar en las gráficas, donde los datos evaluados no se ajustan a la línea de distribución.

En la Figura 37 (Anexo 1) se observan los resultados de su respectiva aplicación de la prueba de normalidad de Anderson Darling para los datos de cada punto de monitoreo en el tercer sótano (segunda etapa) Se muestra que las concentraciones de monóxido de carbono para todos los puntos P-1, P-2 y P-3 no presentan una distribución normal, ya que el valor  $p$  obtenidos son menores a 0.005. Además, este valor es menor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0.05$ ), y esto se puede observar en las gráficas, donde los datos evaluados no se ajustan a la línea de distribución.

Para finalizar y resumir: ninguno de los puntos de las etapas cumple con una distribución normal. Y todos los resultados del software Minitab (gráficas) están representados en el anexo 1.

#### 4.3.5. Prueba estadística no paramétrica de Kruskal Wallis

En concordancia con los resultados del anexo 1, y debido a que no cumplen con una distribución normal los datos de los 3 sótanos, y en ninguna de las etapas, se procedió a realizar una prueba estadística no paramétrica de Kruskal Wallis con 90% grados de confianza para determinar si las medianas de algunos de los grupos son iguales o en algunas de ellas difieren. Se obtuvo resultados (Anexo 2) con un p\_valor menor a 0.10 para todos los puntos de monitoreo y de todas las etapas; por lo tanto, se concluye que la mediana de las concentraciones del CO fue al menos una diferente en un punto.

#### 4.3.6. Prueba estadística de correlación de Spearman

Debido a que los resultados de la concentración del monóxido de carbono no tienen una distribución normal ninguno de los grupos, se procedió a ejecutar una correlación de Spearman entre la concentración de CO y sus variables registradas de temperatura, humedad relativa, ingreso, salida y acumulados de vehículos, con el fin de determinar cuál es el grado de asociación que posee cada una de estas variables sobre la concentración; sin embargo, en la prueba se consideró los promedios horarios para todas las variables registradas, debido a que los datos de ingreso y salidas vehiculares solo fueron registrados en horas.

La Tabla 12 muestra los resultados de la concentración del CO y el grado de asociación con resto de variables ya mencionadas para el primer sótano de la primera etapa. Se obtuvo p\_valor de 0.640 para el ingreso vehicular, la salida vehicular de 0.000, el acumulado vehicular de 0.004, la temperatura de 0.000 y la humedad relativa de 0.000. El ingreso vehicular es la única variable que obtuvo un valor mayor al nivel de significancia de la prueba ( $\alpha = 0.01$ ). Con eso, se descarta la relación de esta variable, por lo tanto, esto indica hay una evidencia estadística suficiente para afirmar que la concentración del monóxido de carbono con el resto de las variables existe una relación. Respecto al grado de correlación, la variable que mantiene una relación positiva fuerte es la salida de vehicular con un valor de 0.708.

**Tabla 12** : Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del primer sótano de la primera etapa

Variable	Correlación (r)	p_valor
Ingreso Vehicular	-0.055	0.640
Salida Vehicular	0.708	0.000
Acumulado Vehicular	0.332	0.004
Temperatura	0.556	0.000
Humedad Relativa	-0.471	0.000

La Tabla 13 muestra los resultados de la concentración del CO y el grado de asociación con resto de variables ya mencionadas para el segundo sótano de la primera etapa. Se obtuvo p\_valor de 0.008 para el ingreso vehicular, la salida vehicular de 0.000, el acumulado vehicular de 0.461, la temperatura de 0.021 y humedad relativa de 0.110. El acumulado vehicular, la temperatura y la humedad relativa son las variables que obtuvieron valores mayores al nivel de significancia de la prueba ( $\alpha = 0.01$ ). Con eso, se descarta la relación de estas variables, por lo tanto, esto indica hay una evidencia estadística suficiente para afirmar que el ingreso y la salida vehicular relación con la concentración del monóxido de carbono la relación exista. Respecto al grado de correlación, la variable que tiene una relación directa media es la salida de vehicular con un valor de 0.562.

**Tabla 13** : Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del segundo sótano de la primera etapa

Variable	Correlación (r)	p_valor
Ingreso Vehicular	-0.304	0.008
Salida Vehicular	0.562	0.000
Acumulado Vehicular	0.086	0.461
Temperatura	0.265	0.021
Humedad Relativa	-0.186	0.110

La Tabla 14 muestra los resultados de la concentración del CO y el grado de asociación con resto de variables ya mencionadas para el tercer sótano de la primera etapa. Se obtuvo p\_valor de 0.635 para el ingreso vehicular, la salida vehicular de 0.000, el acumulado vehicular de 0.116, la temperatura de 0.158 y la humedad relativa 0.790. La salida vehicular es la única variable que obtuvo valor menor al nivel de significancia de la prueba ( $\alpha = 0.01$ ); por lo tanto, se considera que esta es la única variable que tienen relación, y esto indica que

hay una evidencia estadística suficiente para afirmar que el resto de las variables no existe una relación con la concentración del monóxido de carbono. Respecto al grado de correlación, la variable que tiene una relación directa media es la salida de vehicular con un valor de 0.580.

**Tabla 14** : Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del tercer sótano de la primera etapa

Variable	Correlación (r)	p_valor
Ingreso Vehicular	-0.073	0.635
Salida Vehicular	0.580	0.000
Acumulado Vehicular	0.238	0.116
Temperatura	0.214	0.158
Humedad Relativa	-0.041	0.790

La Tabla 15 muestra los resultados de la concentración del CO y el grado de asociación con resto de variables ya mencionadas del primer sótano de la segunda etapa. Se obtuvo p\_valor de 0.394 para el ingreso vehicular, la salida vehicular de 0.000, el acumulado vehicular de 0.001, la temperatura de 0.000 y la humedad relativa de 0.000. El ingreso vehicular es la única variable que obtuvo valor mayor al nivel de significancia de la prueba ( $\alpha = 0.01$ ); por lo tanto, se considera que esta es la única variable que no tienen relación, y esto indica que hay una evidencia estadística suficiente para afirmar que el resto de las variables con la concentración del monóxido de carbono exista una relación. Respecto al grado de correlación, la variable que tiene una relación directa alta es la salida de vehicular con un valor de 0.754.

**Tabla 15** : Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del primer sótano de la segunda etapa

Variable	Correlación (r)	p_valor
Ingreso Vehicular	-0.100	0.394
Salida Vehicular	0.754	0.000
Acumulado Vehicular	0.369	0.001
Temperatura	0.533	0.000
Humedad Relativa	-0.397	0.000

La Tabla 16 muestra los resultados de la concentración del CO y el grado de asociación con resto de variables ya mencionadas del segundo sótano (segunda etapa). Se obtuvo p\_valor de 0.007 para el ingreso vehicular, la salida vehicular de 0.000, el acumulado vehicular de

0.207, la temperatura de 0.000 para y la humedad relativa de 0.000. El acumulado vehicular es la única variable que obtuvo un valor mayor al nivel de significancia de la prueba ( $\alpha = 0.01$ ); con eso, se descarta la relación de esta variable. Por lo tanto, esto indica que hay una evidencia estadística suficiente para afirmar que el resto de las variables tiene una relación con la concentración del monóxido de carbono. Respecto al grado de correlación, la variable que tiene una relación directa media es la salida de vehicular con un valor de 0.546.

**Tabla 16** : Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del segundo sótano de la segunda etapa

Variable	Correlación (r)	p_valor
Ingreso Vehicular	-0.308	0.007
Salida Vehicular	0.546	0.000
Acumulado Vehicular	0.147	0.207
Temperatura	0.425	0.000
Humedad Relativa	-0.432	0.000

La Tabla 17 muestra los resultados de la concentración del CO y el grado de asociación con resto de variables ya mencionadas para el tercer sótano de la segunda etapa. Se obtuvo p\_valor de 0.779 para el ingreso vehicular, la salida vehicular de 0.000, el acumulado vehicular de 0.157, la temperatura de 0.023 y la humedad relativa de 0.346. La salida vehicular es la única variable que obtuvo valor menor al nivel de significancia de la prueba ( $\alpha = 0.01$ ); por lo tanto, se considera que esta es la única variable que tienen relación, y esto indica hay una evidencia estadística suficiente para afirmar que el resto de las variables no existe una relación con la concentración del monóxido de carbono. Respecto al grado de correlación, la variable que tiene una relación directa media es la salida de vehicular con un valor de 0.546.

**Tabla 17** : Coeficiente de correlación (r) de Spearman y valor p de los puntos del tercer sótano de la segunda etapa

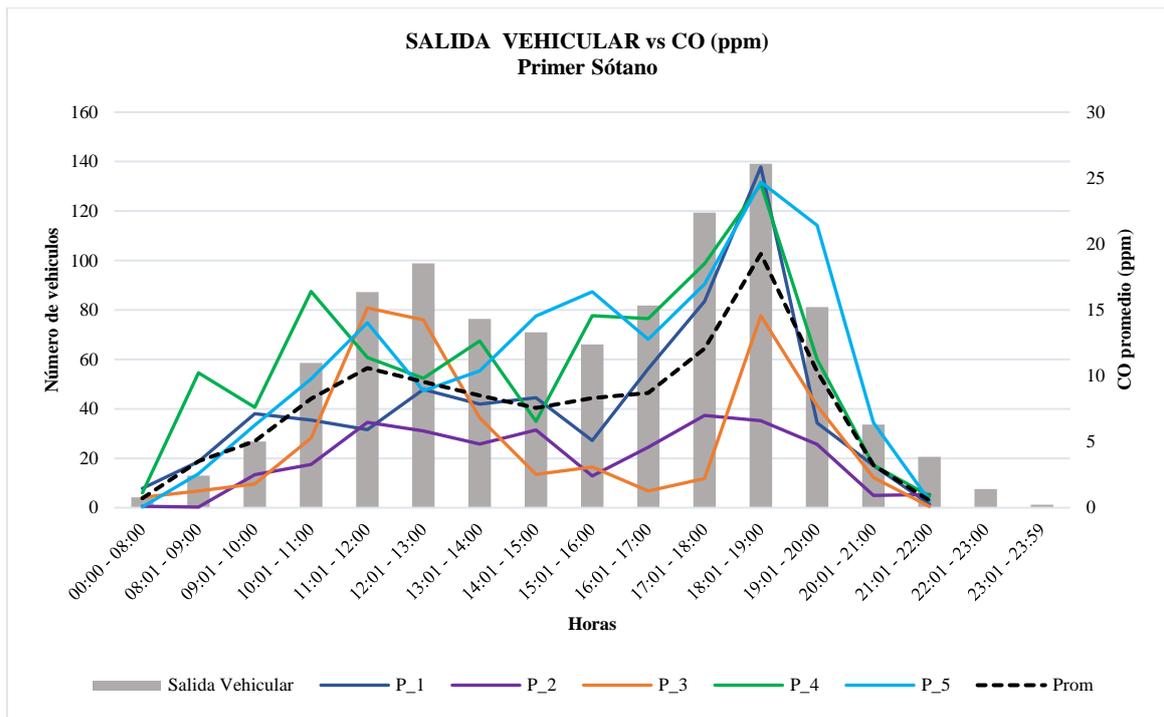
Variable	Correlación (r)	p_valor
Ingreso Vehicular	-0.043	0.779
Salida Vehicular	0.546	0.000
Acumulado Vehicular	0.215	0.157
Temperatura	0.339	0.023
Humedad Relativa	0.144	0.346

En resumen, la variable que tiene el grado de relación directa, más fuerte en todos puntos y en todas las etapas de la concentración de monóxido de carbono, es respecto a la salida vehicular; además el valor de significancia ( $\alpha = 0.01$ ) para esta variable hay evidencia que presenta una relación existente entre estas dos variables.

#### **4.4. Comportamiento de la concentración del CO en relación al número vehicular**

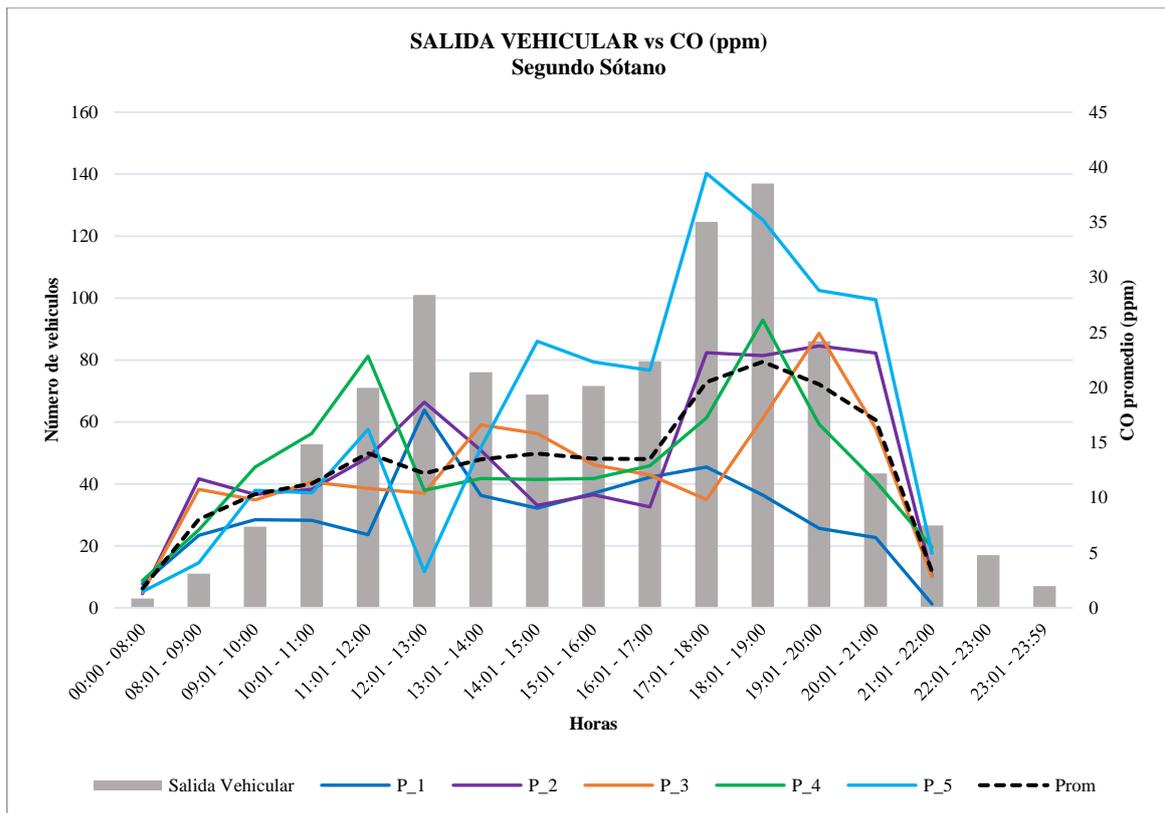
En esta sección se considerará la cantidad de salida vehicular horaria, ya que es la variable que mostró mayores resultados de correlación con la concentración promedio horaria de monóxido de carbono. En las horas de 00:00 horas hasta las 08:00 horas solo hubo único registro y proporcionados por la oficina del ERN En los días de monitoreo, se muestra que la afluencia de los vehículos se inicia antes de las 7:30 horas, y para algunos usuarios coincide con horas de ingreso a sus centros de labores.

La Figura 22 representa la variación de la concentración promedio horario del CO (ppm) y su relación con la cantidad de salida vehicular horaria del primer sótano (primera etapa). Se aprecia que la salida de vehículos es mínima en las primeras horas del día, e inicia en horas de la mañana de las 7:30 horas; hay un incremento hasta las 13:00 horas; sin embargo, no podríamos afirmar si este retiro fue de unidades estacionadas (con un motor frío) o unidades transitorias. Posterior a esa hora, hay disminución de la salida de vehículos. La concentración del monóxido de carbono mantuvo una relación directa con la cantidad de salida vehicular durante todas las horas de monitoreo como se aprecia en la figura inferior. Varios estudios (Ashok y Nathagopal, 2019; Dey et al., 2019; NRC, 2002; Greiner, 1998) y explicados en el capítulo 4.1 afirman que el arranque en frío de los motores de los vehículos favorece la formación y el exceso del monóxido de carbono en los primeros instantes, lo cual se ve reflejado en la relación estrecha que guardan ambas variables y que las máximas concentraciones de CO ocurren en las horas de mayor retiro vehicular del interior del estacionamiento.



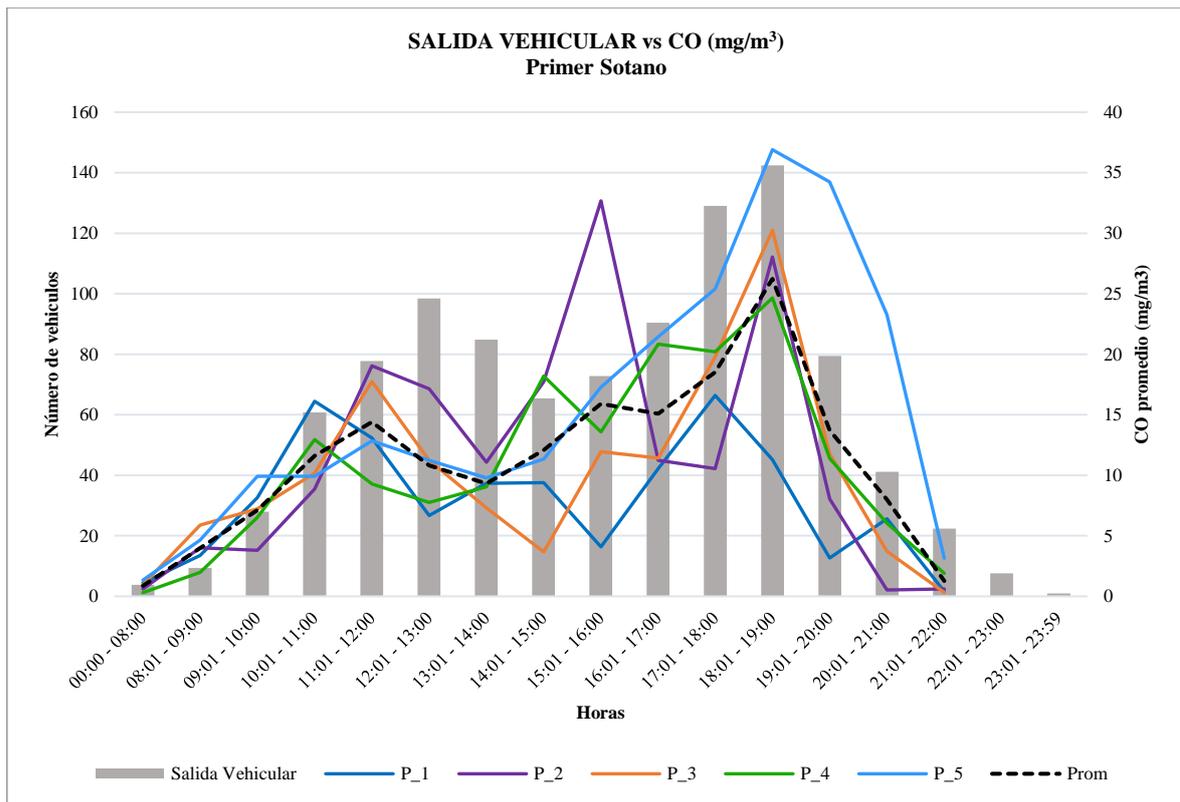
**Figura 22:** Comportamiento de la concentración promedio de CO versus la cantidad de salida vehicular horaria del primer sótano (primera etapa)

La Figura 23 representa la variación de la concentración promedio horario del CO (ppm) y su relación con la cantidad de salida vehicular horaria del segundo sótano (primera etapa) Se aprecia que la salida de vehículos es mínima en las primeras horas del día, e inicia en horas de la mañana de 7:30 horas. Hay un incremento hasta las 13:00 horas, además, en el rango de 12:00 a 13:00 horas son instantes que ocurren los mayores retiros vehiculares; sin embargo, las concentraciones de CO disminuyen, y esto se debe a la acción de los inyectores y extractores de aire. Posterior a esa hora, hay disminución de la salida de vehículos. La concentración del monóxido de carbono mantuvo una relación directa con la cantidad de salida vehicular durante todas las horas de monitoreo como se aprecia en la figura inferior. Varios estudios (Ashok y Nathagopal, 2019; Dey et al., 2019; NRC, 2002; Greiner, 1998) y explicados en el capítulo 4.1 afirman que el arranque en frío de los motores de los vehículos favorece la formación y el exceso del monóxido de carbono en los primeros instantes, lo cual se ve reflejado en la relación estrecha que guardan ambas variables y que las máximas concentraciones de CO ocurren en las horas de mayor retiro vehicular del interior del estacionamiento.



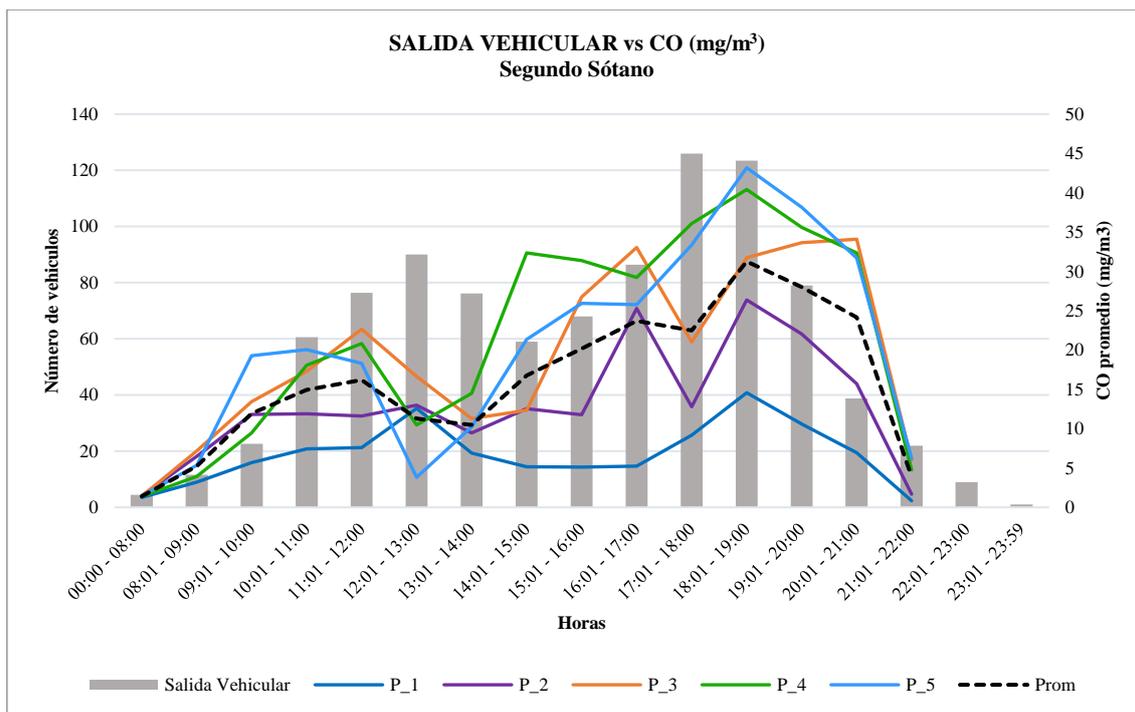
**Figura 23:** Comportamiento de la concentración promedio de CO versus la cantidad de salida vehicular horaria del segundo sótano (primera etapa)

La Figura 24 representa la variación de la concentración promedio horario del CO ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y su relación con la cantidad de salida vehicular horaria del primer sótano (segunda etapa). Se aprecia que la salida de vehículos es mínima en las primeras horas del día, e inicia en horas de la mañana a 7:30 horas. Hay un incremento hasta las 13:00 horas, además, en el rango de 12:00 a 13:00 horas son instantes que ocurren los mayores retiros vehiculares; sin embargo, las concentraciones de CO disminuyen, y esto se debe a la acción de los inyectores y extractores de aire. Posterior a esa hora, hay disminución de la salida de vehículos. La concentración del monóxido de carbono mantuvo una relación directa con la cantidad de salida vehicular durante todas las horas de monitoreo como se aprecia en la figura inferior. Varios estudios (Ashok y Nathagopal, 2019; Dey et al., 2019; NRC, 2002; Greiner, 1998) y explicados en el capítulo 4.1 afirman que el arranque en frío de los motores de los vehículos favorece la formación y el exceso del monóxido de carbono en los primeros instantes, lo cual se ve reflejado en la relación estrecha que guardan ambas variables y que las máximas concentraciones de CO ocurren en las horas de mayor retiro vehicular del interior del estacionamiento.



**Figura 24:** Comportamiento de la concentración promedio de CO versus la cantidad de salida vehicular horaria del primer sótano (segunda etapa)

La Figura 25 representa la variación de la concentración promedio horario del CO ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y su relación con la cantidad de salida vehicular horaria del primer sótano (segunda etapa). Se aprecia que la salida de vehículos es mínima en las primeras horas del día, e inicia en horas de la mañana a 7:30 horas. Hay un incremento hasta las 13:00 horas; además, en el rango de 12:00 a 14:00 horas son instantes que ocurren los mayores retiros vehiculares; sin embargo, las concentraciones de CO disminuyen y esto se debe a la acción de los inyectores y extractores de aire, posterior a esa hora hay disminución e incremento de la salida de vehículos. La concentración del monóxido de carbono mantuvo una relación directa con la cantidad de salida vehicular durante todas las horas de monitoreo como se aprecia en la figura inferior. Varios estudios (Ashok y Nathagopal, 2019; Dey et al., 2019; NRC, 2002; Greiner, 1998) y explicados en el capítulo 4.1 afirman que el arranque en frío de los motores de los vehículos favorece la formación y el exceso del monóxido de carbono en los primeros instantes, lo cual se ve reflejado en la relación estrecha que guardan ambas variables y que las máximas concentraciones de CO ocurren en las horas de mayor retiro vehicular del interior del estacionamiento.



**Figura 25:** Comportamiento de la concentración promedio de CO versus la cantidad de salida vehicular horaria del segundo sótano (segunda etapa)

La variación de la concentración promedio horario del CO y su relación con la cantidad de ingreso y salida vehicular horario en el tercer sótano, tanto en la primera y en la segunda etapa, no se realizaron análisis estadísticos para este sótano, debido a que los días en que se realizaron los monitoreos se pudo contabilizar un promedio de 15 a 20 vehículos diarios; por consiguiente, no se realizaron gráficas debido a que la gráfica no tendría coherencia ni concordancia entre estas variables.

#### 4.5. Comportamiento de la carboxihemoglobina

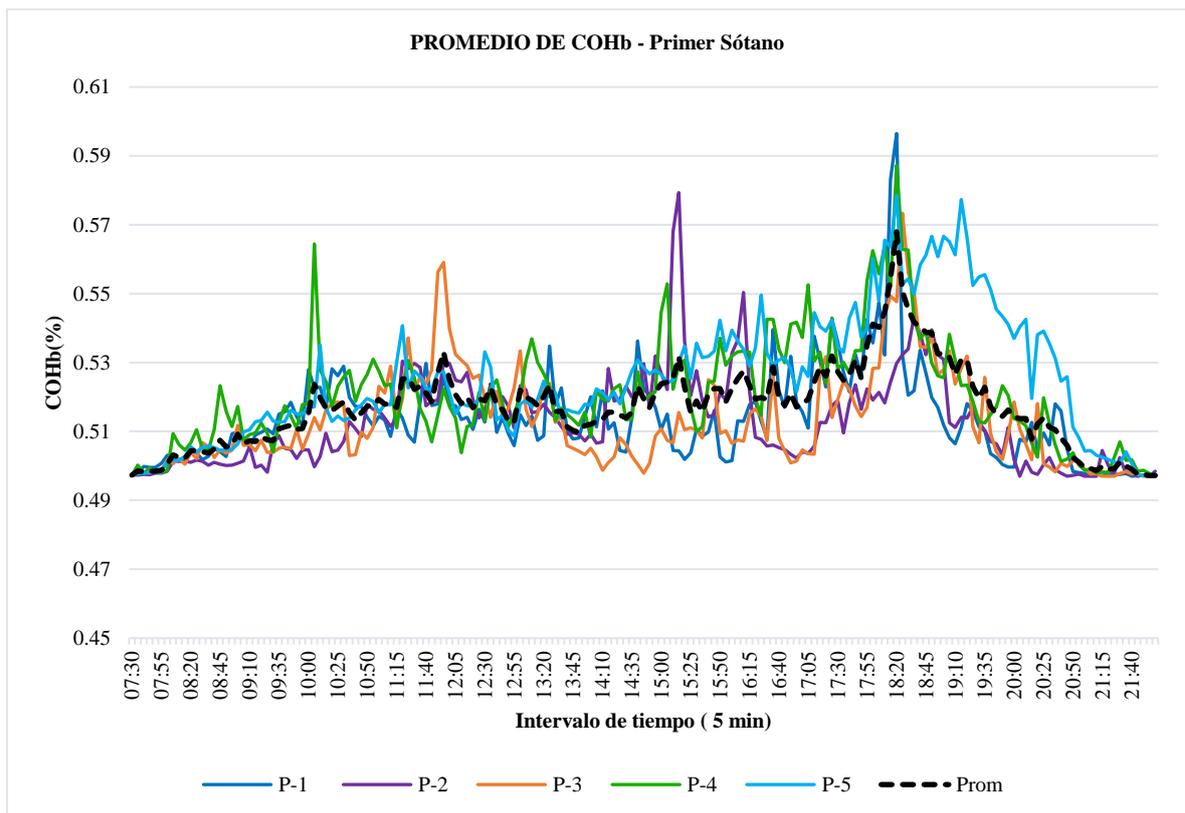
Los puntos en esta sección son calculados a partir del promedio de la concentración de CO en ppm de ambos valores de la primera y la segunda etapa.

##### 4.5.1. Comportamiento de la Carboxihemoglobina instantánea

La Figura 26 representa la variación del porcentaje de la carboxihemoglobina (%COHb) promedio para cada uno de los puntos de monitoreo en el primer sótano (primera y segunda etapa) y su promedio. Se observa una tendencia similar a las gráficas de las concentraciones de CO. Los valores promedio iniciales fueron de 0.497%, y una tendencia creciente hasta las 12:00 horas, un máximo valor de 0.53% en ese rango horario. Posterior a ello, hay una

disminución, y luego reinicia el incremento a partir de las 13:00 horas; sin embargo, los mayores valores ocurren pasado las 17:00 horas, con un máximo valor de 0.568 % a las 18:20 horas, pues estos valores tienen concordancia con los mayores valores de monóxido de carbono que se obtuvieron en estos lapsos de tiempo. Posteriormente disminuye a valores similares del inicio laboral. Ninguno de los valores obtenidos en este sótano sobrepasó algún valor de la tabla 8 de Sachin et al. (2018); por lo tanto, se puede afirmar que no causó efecto en la salud de los ocupantes. Y el promedio para este sótano fue de 0.52%, valor por debajo a los obtenidos en los tres sótanos del estudio realizado por Sachin, Ananth, y Siby (2018).

El punto 1 (núcleo azul) obtuvo un máximo de 0.6% y promedio de 0.51 %; el punto 2 (núcleo morado) un máximo de 0.58% y promedio de 0.51%; el punto 3 (núcleo naranja) un máximo de 0.57% y promedio de 0.51%; el punto 4 (núcleo verde) un máximo de 0.59% y promedio de 0.52%; y el punto 5 (núcleo celeste) un máximo de 0.58% y promedio de 0.53%.

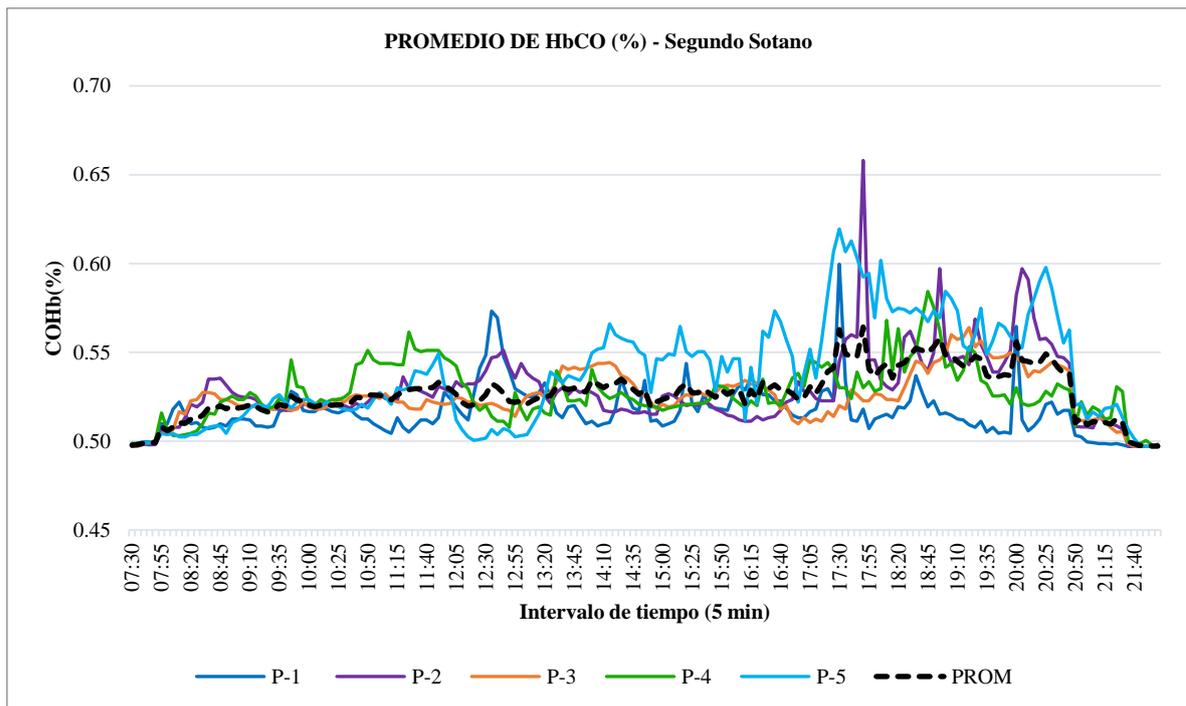


**Figura 26:** Variación del porcentaje promedio de COHb para todos los puntos del primer sótano

La Figura 27 representa la variación del porcentaje de la carboxihemoglobina (%COHb) promedio para todos los puntos de monitoreo en el segundo sótano (tanto de la primera y segunda etapa). Se observa una tendencia similar a las gráficas de concentraciones de CO, los valores iniciales promedio fueron de 0.497% y una tendencia creciente hasta las 12:00

horas, un máximo valor de 0.53% en ese rango horario. Posterior a esta hora los valores oscilan entre 0.52% y 0.54%; sin embargo, pasado las 17:00 horas obtiene un máximo valor de 0.56, pues estos valores tienen concordancia con los mayores valores de monóxido de carbono que se obtuvieron en estos lapsos de tiempo; y a partir de las 20:45 horas disminuye el porcentaje hasta valores similares al inicio laboral. Ninguno de los valores obtenidos en este sótano no sobrepasó ningún valor de la tabla 8 de Sachin et al. (2018); por lo tanto, se puede afirmar que no causó efecto en la salud de los ocupantes. Y el promedio para este sótano fue de 0.53%, valor por debajo a los obtenidos en los tres sótanos del estudio realizado por Sachin, Ananth, y Siby (2018).

El punto 1 (núcleo azul) obtuvo un máximo de 0.60% y promedio de 0.52%; el punto 2 (núcleo morado) un máximo de 0.66% y promedio de 0.53%; el punto 3 (núcleo naranja) un máximo de 0.56% y promedio de 0.53%; el punto 4 (núcleo verde) un máximo de 0.58% y promedio de 0.53%; y el punto 5 (núcleo celeste) un máximo de 0.62% y promedio de 0.54%.

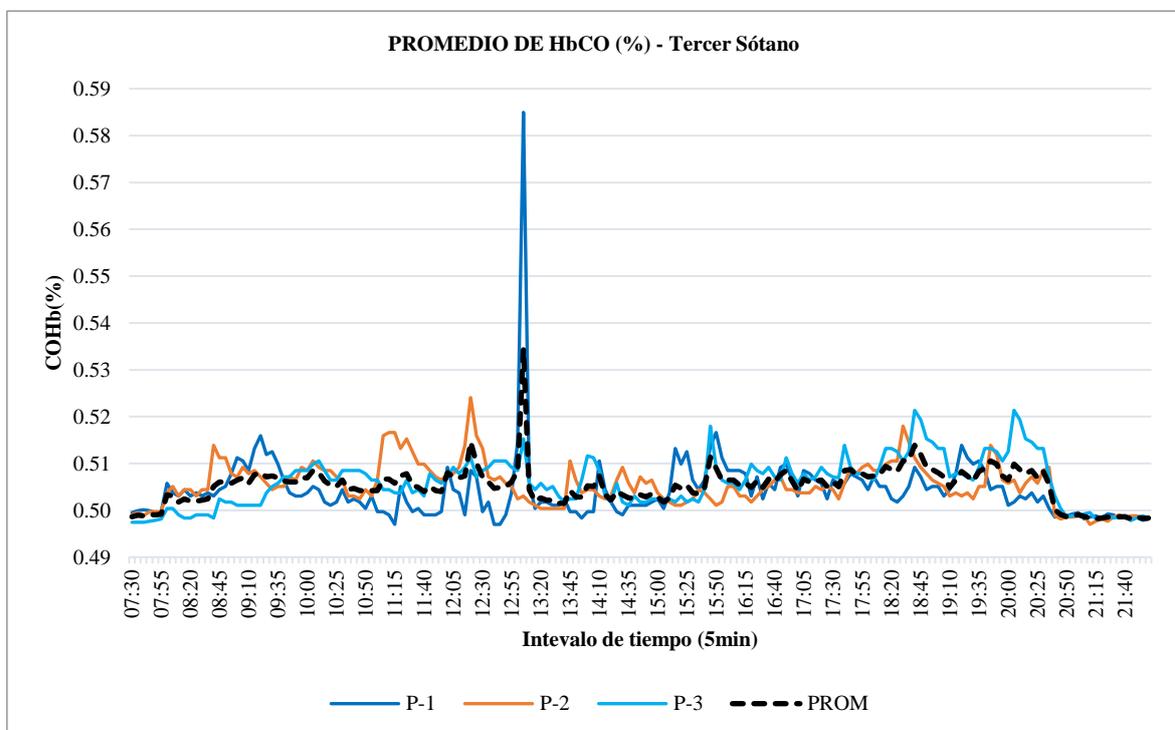


**Figura 27:** Variación del porcentaje promedio de COHb para todos los puntos del segundo sótano

La Figura 28 representa la variación del porcentaje de la carboxihemoglobina (%COHb) promedio para todos los puntos de monitoreo en el tercer sótano (tanto de la primera y segunda etapa). Se puede observar una tendencia similar a las gráficas de concentraciones de CO, los valores iniciales promedio son de 0.49%; posterior a las 8:00 horas los valores oscilan entre las 0.50% y 0.52%. Los valores hallados en este sótano son menores a los

valores en los sótanos superiores debido a los valores mínimos de concentración. Se registró un valor máximo anómalo de 0.534% a las 13:05 horas; posterior a las 20:30 horas disminuye el porcentaje similares al inicio laboral. Ninguno de los valores obtenidos en este sótano no sobrepasó los valores de la tabla 8 de Sachin et al. (2018); por lo tanto, se puede afirmar que no causó efecto en la salud de los ocupantes. Y el promedio para este sótano fue de 0.51%, valor por debajo a los obtenidos en los tres sótanos del estudio realizado por Sachin, Ananth, y Siby (2018).

El punto 1 (núcleo azul) obtuvo un máximo de 0.58 y promedio de 0.50; punto 2 (núcleo naranja) un máximo de 0.52 y promedio 0.51 y el punto 3 (núcleo celeste) un máximo de 0.52 y un promedio de 0.51.



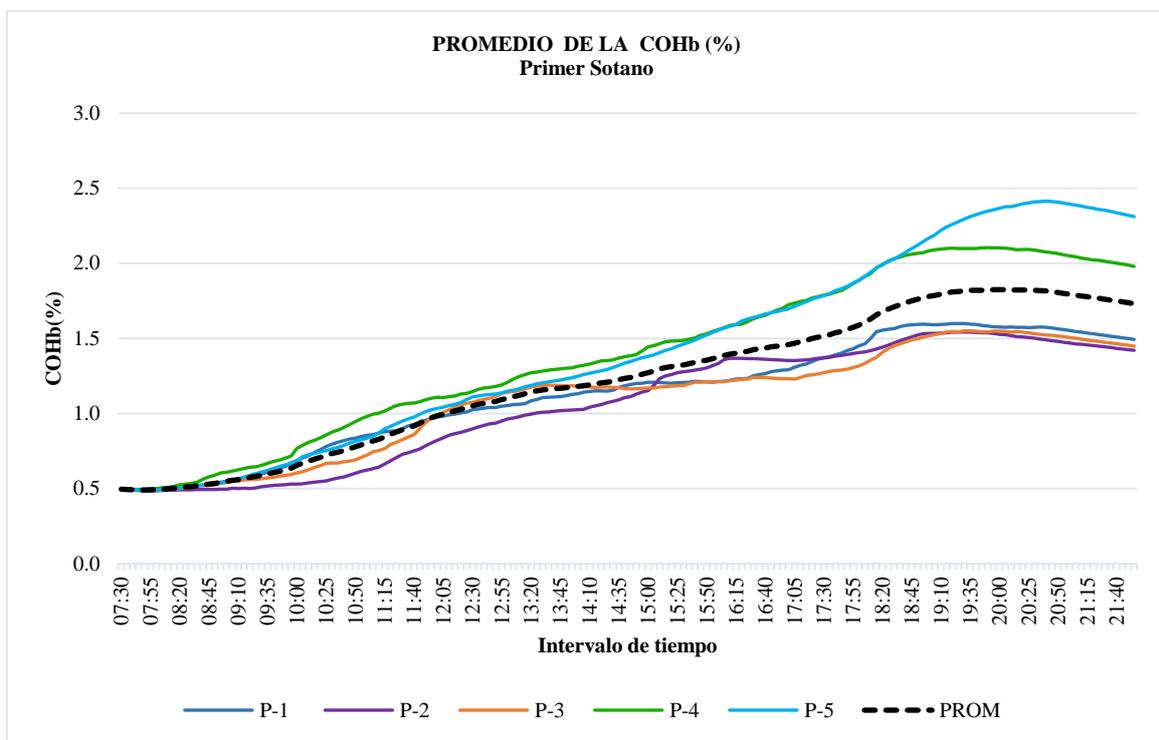
**Figura 28:** Variación del porcentaje promedio de COHb para todos los puntos del tercer sótano

#### 4.5.2. Comportamiento de la carboxihemoglobina acumulada

La Figura 29 muestra el porcentaje de la carboxihemoglobina (%COHb) acumulada para todos los puntos de monitoreo en el primer sótano (tanto de la primera y segunda etapa). El porcentaje inicial de 0.494, y una tendencia a crecer con el transcurrir del tiempo hasta las 19:00 horas, la evolución horaria es diferente a los resultados mostrados en la carboxihemoglobina instantánea. Los valores máximos se registraron entre las 19:30 y 21:30

horas; sin embargo, estos valores máximos no superan el 2.0% y según la tabla 8 de Sibón et al. (2007) no causa ninguna sintomatología en los ocupantes. El promedio de este sótano es 1.22%COHb; dicho valor es similar a lo obtenido en el primer sótano del estudio realizado por Sachin, Ananth, Siby (2018).

El punto 1 (núcleo azul) obtuvo un máximo de 1.60% y promedio de 1.13%; el punto 2 (núcleo morado) un máximo de 1.54% y promedio de 1.06%; el punto 3 (núcleo naranja) un máximo de 1.55% y promedio de 1.09%; el punto 4 (núcleo verde) un máximo de 2.1% y promedio de 1.39%; y el punto 5 (núcleo celeste) un máximo de 2.41% y promedio de 1.41%.

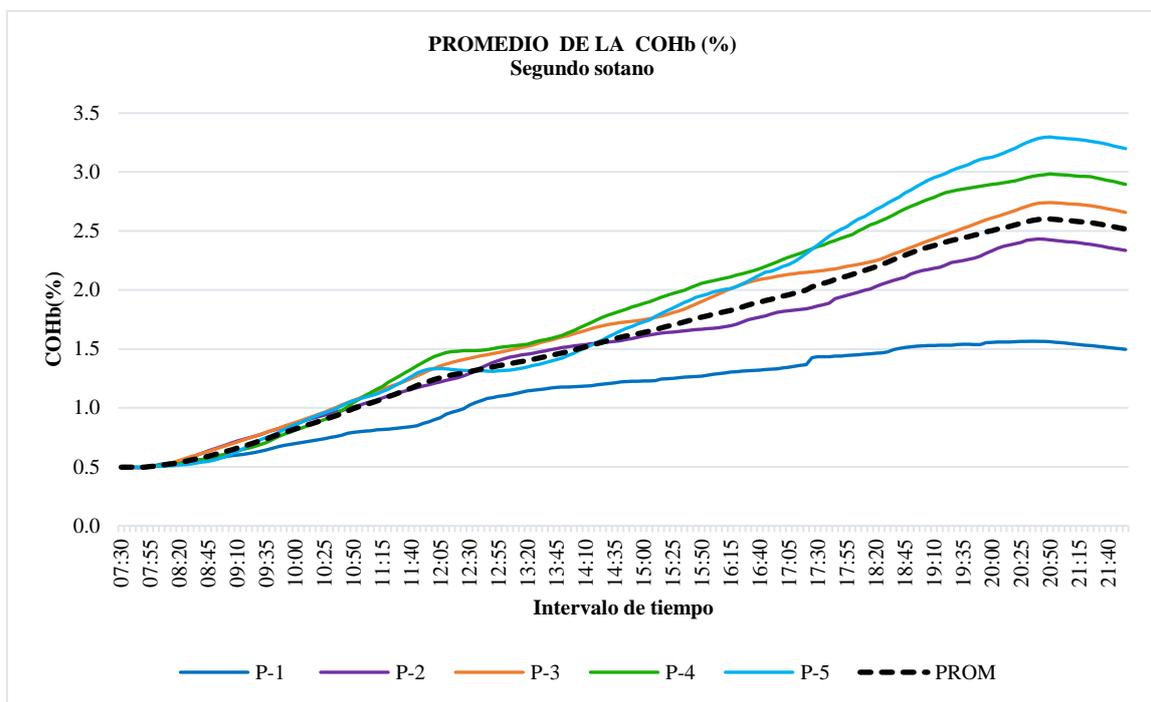


**Figura 29:** Porcentaje de Carboxihemoglobina acumulado para el promedio de puntos del primer sótano

La Figura 30 muestra el porcentaje de la carboxihemoglobina (%COHb) acumulada para todos los puntos de monitoreo en el segundo sótano (de la primera y segunda etapa). El porcentaje inicial promedio es de 0.5 con una tendencia a crecer con el transcurrir del tiempo hasta las 20:00 horas, con un porcentaje máximo de 2.60%, y a partir de las 17:20 horas se registró valores superiores al 2.0% según la tabla 8 de Sibón et al. (2007). La sintomatología a estas concentraciones generaría un deterioro de la orientación temporal. Sin embargo, el promedio para este sótano es de 1.6%; con ello, habría una contradicción respecto a algunos puntos donde el porcentaje sobrepasa el porcentaje mínimo que causaría alguna

sintomatología; pero este valor es superior a los resultados de todos los sótanos del estudio realizado por Sachin, Ananth, Siby (2018).

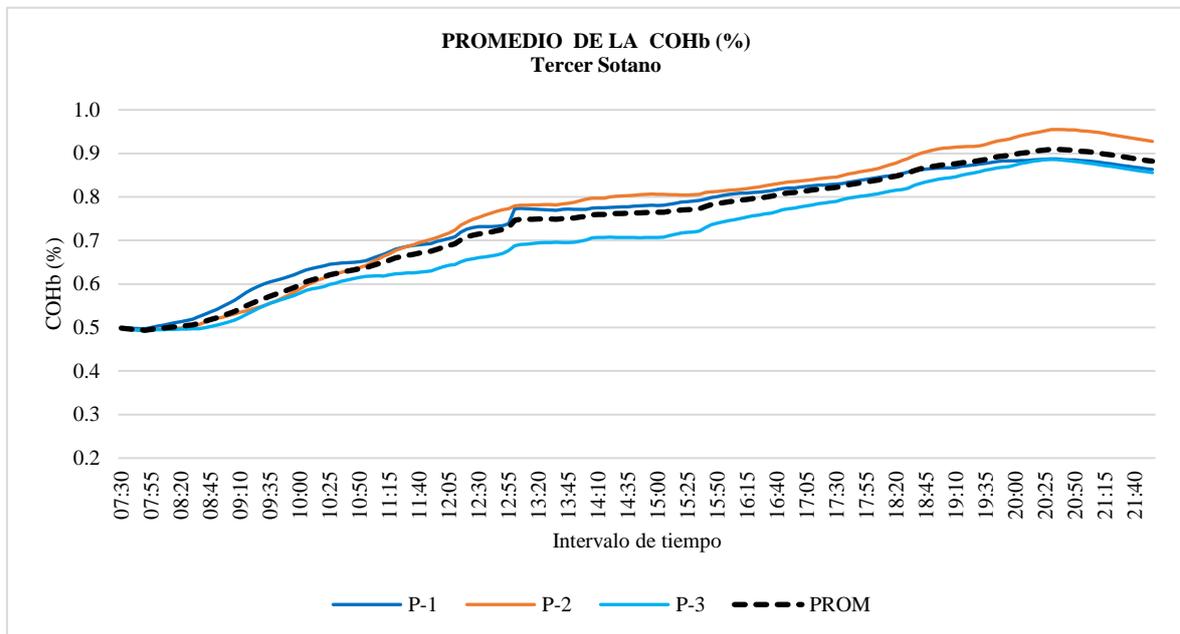
Los puntos que sobrepasan el 2.0% fueron: el punto 2 (núcleo morado) un máximo de 2.43% y promedio de 1.54%; el punto 3 (núcleo naranja) un máximo de 2.74% y promedio de 1.70%; el punto 4 (núcleo verde) un máximo de 2.98% y promedio de 1.81%; y el punto 5 (núcleo celeste) un máximo de 3.3% y promedio de 1.82%; sin embargo, el punto 1 (núcleo azul) es el único que no sobrepasa el 2.0% con un máximo de 1.56 y promedio de 1.13% es aquel punto donde no generaría ninguna sintomatología.



**Figura 30:** Porcentaje de Carboxihemoglobina acumulado para el promedio de puntos del segundo sótano

La Figura 31 muestra el porcentaje de la carboxihemoglobina (%COHb) acumulada para todos los puntos de monitoreo en el tercer sótano (de la primera y segunda etapa). El porcentaje inicial promedio es de 0.498, y una evolución diferente y creciente a la carboxihemoglobina instantánea hasta las 20:40 horas, con un valor máximo de 0.91%. Sin embargo, el valor máximo no supera el 2.0% y según la tabla 8 de Sibón et al. (2007) no causarían ninguna sintomatología en los ocupantes. El promedio de este sótano es 0.74%COHb; dicho valor está por debajo por lo obtenido de todos los sótanos del estudio realizado por Sachin, Ananth, Siby (2018).

El punto 1 (núcleo azul) obtuvo un máximo de 0.89 y promedio de 0.75; punto 2 (núcleo naranja) un máximo de 0.95 y promedio 0.77 y el punto 3 (núcleo celeste) un máximo de 0.89 y un promedio de 0.71 (todos los números están expresados en porcentaje).



**Figura 31:** Porcentaje de Carboxihemoglobina acumulado para el promedio de puntos del tercer sótano

## V. CONCLUSIONES

### a) Respecto al primer objetivo específico.

- Las concentraciones de CO a nivel horario están relacionadas directamente con las emisiones de los vehículos que ingresan en horas de la mañana, y al retiro vehicular en horas de la tarde. La mayor influencia sobre el ambiente ocurre al momento del retiro de las unidades vehiculares.
- La mayor concentración horaria para el primero y segundo sótano (los que poseen mayor concentración del promedio horario) ocurre en dos instantes: en el lapso de 10:30 a 12:00 horas y el otro con mayores valores de 17:00 a 19:30 horas. En el tercer sótano la concentración es generalmente homogéneo durante todas las horas de monitoreo.

### b) Respecto al segundo objetivo específico

- Las secciones más utilizadas por los usuarios son las más influenciadas con el aumento; y los menos utilizados, con las bajas concentraciones del contaminante.
- En el primero y segundo sótano, los mayores promedios registrados se obtuvieron en el punto 5 (núcleo celeste), seguido por el punto 4 (núcleo verde) y el punto 3 (núcleo naranja).

### c) Respecto al tercer objetivo específico

- El número de vehículos (salidas vehiculares) y la concentración del monóxido de carbono mantienen una relación directa durante todas las horas de monitoreo, el primer y segundo sótano con valores moderadamente significativos.

### d) Respecto al cuarto objetivo específico

- El porcentaje estimado de carboxihemoglobina instantáneo en la sangre de las personas, en el primer sótano es de 0.52%; en el segundo sótano, de 0.53%; y en el

tercer sótano 0.51%. Ninguno de los puntos de monitoreo (núcleos) sobrepasa el porcentaje mínimo dañino; por lo tanto, son inocuas para la salud de los usuarios del estacionamiento.

- El porcentaje de carboxihemoglobina acumulado en la sangre de las personas tiene una tendencia creciente con el transcurrir del tiempo para todos los sótanos; posee un acumulado en el primer sótano es de 1.82%, en el segundo sótano de 2.60%, y en el tercer sótano 0.91%, el segundo sótano es el único lugar que sobrepasa el 2.50% nivel básico dañino para la salud.

Y, finalmente, luego de desarrollados y cumplidos los objetivos específicos, se concluye que fue necesaria la evaluación de los niveles de Monóxido de Carbono en los ambientes del estacionamiento Rivera Navarrete, pues según la evaluación de estos ambientes se conoció los rangos y la presencia de este contaminante en los tres sótanos. Además, los niveles de CO en los interiores del ambiente se encuentran dentro de los límites Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, los cuales se asocian al buen funcionamiento de los sistemas de ventilación con lo cual no generan ningún efecto en la salud de los ocupantes.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Proceder con el encendido de los inyectores y extractores del aire en las horas de mayores concentraciones de monóxido de carbono; entre ellas, las 10:00 y las 17:00 horas; específicamente en las horas de mayor retiro de los vehículos del interior del estacionamiento.

Ejecutar la frecuencia del encendido de los extractores e inyectores de aire en el núcleo celeste o punto 5 y el núcleo verde o punto 4 en tiempos más cortos, debido a que esta área con más alto grado de concentración, además en esta sección se ubica la oficina del centro del control del ERN.

Incluir anemómetros en futuros estudios de la calidad de aire en interiores para conocer el flujo de los contaminantes. Además, realizar las mediciones a diferentes alturas, para ver el comportamiento de la relación con el flujo y los diferentes niveles.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Adjiski, V., & Despodov, Z. (2020). Methodology for optimal fire evacuations in underground mines based on simulated scenarios. 8-10. Recuperado de doi:10.5772/intechopen.91213
- Adjiski, V., Despodov, Z., Serafimovski, D., & Mijalkovski, S. (2019). Sistem of prediction of carboxyhemoglobin levels as an indicator for on time installation of self-contained self-rescuers in case of fire in underground mines. *GeoScience Engineering*, 65(4), 23-37. Recuperado de doi: 10.35180/gse-2019-0021
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry; Environmental Protection Agency, (2012). Toxicological Profile for Carbon Monoxide. 11. Atlanta, Georgia. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp201.pdf>
- Al-Asmari, A., Al-Zahrani, A., & Halwani, M. (2021). Carbon monoxide related deaths in Jeddah, Saudi Arabia: A forensic carboxyhemoglobin autopsy-based study. *Forensic Science International: Reports*, 4. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2021.100232>
- Alcivar, S. M., & Ponce, L. L. (2017). Carboxihemoglobina como indicador de la intoxicación por monóxido de carbono en los talleres mecánicos automotrices de Jipijapa. Universidad estatal del sur de Manabí, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/685>
- Adjiski, V., & Despodov, Z. (2020). Methodology for optimal fire evacuations in underground mines based on simulated scenarios. 8-10. Recuperado de doi:10.5772/intechopen.91213
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry; Environmental Protection Agency, (2012). Toxicological Profile for Carbon Monoxide. 11. Atlanta, Georgia. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp201.pdf>

- Al-Rukaibi, F., Al-Mutairi, N., & Al-Rashed, A. (2018). Concentration of air pollutants in an urban parking garage in Kuwait. *World Review of Science, Technology and Sust. Development*, 14(241), 241. Recuperado de doi:10.1504/WRSTSD.2018.093217
- Álvarez, E., Menéndez, J., & Bravo, M. (2018). Calidad del Aire, Situación en España y escenarios a futuro para la CAPV, Madrid y Barcelona. Instituto Vasco de Competitividad. Obtenido de <https://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orquestra/calidad-del-aire.pdf>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2003). Ventilation for acceptable indoor air quality. Recuperado de [https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Standards%20and%20Guidelines/Standards%20Addenda/62-2001/62-2001\\_Addendum-ad.pdf](https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Standards%20and%20Guidelines/Standards%20Addenda/62-2001/62-2001_Addendum-ad.pdf)
- Ashok, B., & Nathagopal, K. (2019). Eco friendly biofuels for CI engine applications. *Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment*, (407-436) Recuperado de <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102728-8.00015-2>
- Asociación Automotriz del Perú (AAP). (2019). Informe estadístico automotor. Recuperado de <https://aap.org.pe/informes-estadisticos/diciembre-2019/>
- Avella, E. (2012). Biocombustibles, Promisión o Falacia. *MOMENTO* (44) (35-47). Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/momento/rt/printerFriendly/38738/67830>
- Benavides, H. O., & León, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- Berenguer, J., & Martí, C. (1989). NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo. Recuperado de

[https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp\\_243.pdf/9f6cbba4-ac26-4d0b-aae7-068ca6e66914](https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_243.pdf/9f6cbba4-ac26-4d0b-aae7-068ca6e66914)

- Boldo, E. (2016). La Contaminación del aire. Madrid. Recuperado de <https://repisalud.isciii.es/handle/20.500.12105/7274>
- Brito, A. L., Brito, M. R., Martínez, C. Z., & Zaila, E. (2002). Niveles de carboxihemoglobina de fumadores activos y pasivos de un área de atención primaria de salud. *Gaceta Médica Espirituana*, (4). Recuperado de <http://revgmespirituana.sld.cu/index.php/gme/article/view/1369/1536>
- Buchelli, H., Fernández, R., Rubinos, G., Martínez, C., Rodríguez, F., & Casan, P. (2014). Niveles elevados de carboxihemoglobina: fuentes de exposición a monóxido de carbono. *Archivos de Bronconeumología*, 50(11). doi: 10.1016/j.arbres.2014.03.005
- Canadian Environmental Protection Act (CEPA). (2010). Residential indoor air quality guideline CARBON MONOXIDE. Recuperado de <https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/carbon-monoxide-carbone/alt/carbon-monoxide-carbone-eng.pdf>
- Carazo, L., Fernández, R., González, F. J., & Rodríguez, J. A. (2013). Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria. *Archivos de Bronconeumología*, 49(1), 22-27. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2012.04.005>
- Carpio, N. (13 de Julio de 2018). Los Nuevos retos del centro financiero. *EL MONTONERO*. Recuperado de <https://elmontonero.pe/columnas/los-nuevos-retos-del-centro-financiero>
- Castañeda, M., Escoda, R., Nogué, S., Alonso, J., Bragulat, E., & Carddellach, F. (2008). Síndrome coronario agudo por intoxicación con monóxido de carbono. *Revista de Toxicología*, 25, 69-72. Recuperado de <https://rev.aetox.es/wp/index.php/25-12/>
- Cebollada, J., & Burillo, M. (2016). Se acerca el invierno: el riesgo recurrente de la intoxicación por monóxido de carbono. *Revista Clínica Española*, 216(8), 419 - 420. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rce.2016.06.009>

- Coburn, R. F., Blakemore, W. S., & Forster, R. E. (1963). Endogenous carbon monoxide production in man. *The Journal of Clinical Investigation*, 42(7), 1172-1177. doi:10.1172/JCI104802
- Coburn, R. F., Forster, R. E., & Kane, P. B. (1965). Considerations of the physiological variables that determine the blood carboxyhemoglobin concentration in man. *Journal of Clinical Investigation*, 44(11), 1899-1910. doi:10.1172/JCI105296
- Cope, R. B. (2020). *Handbook of toxicology of chemical warfare agents* (3ra ed.). Hopkinsville, United States: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-04837-9>
- Daza, M., Martínez, D., & Caro, P. (2015). Contaminación microbiológica del aire interior y el síndrome del edificio enfermo. *Biociencia*, 10(2), 37-50. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5460365>
- Demir, A. (2015). Investigation of air quality in the underground and aboveground multi-storey car parks in terms of exhaust emissions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (195), 2601 - 2611. Recuperado de doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.461
- Dey, S., Dhal, G., Mohan, D., & Prasad, R. (2019). Application of hopcalite catalyst for controlling carbon monoxide emission at cold-start emission conditions. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 6(5), 419-440. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.06.002>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2002). Latest findings on national air quality 2001 status and trends. Carbon Monoxide. Waynesville, North Carolina. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=p\\_Xp0FHNvWAC&dq=U.S%20Environmental%20Protection%20Agency.%20National%20air%20quality%202001%20status%20and%20trends.%20Carbon%20Monoxide%3B%202001.&hl=es&source=gs\\_book\\_other\\_versions](https://books.google.com.pe/books?id=p_Xp0FHNvWAC&dq=U.S%20Environmental%20Protection%20Agency.%20National%20air%20quality%202001%20status%20and%20trends.%20Carbon%20Monoxide%3B%202001.&hl=es&source=gs_book_other_versions)
- Environmental Protection Agency (EPA). (2010). Integrated science assessment for carbon monoxide. Recuperado de

[https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=218686&CFID=65511517  
&CFTOKEN=39381062](https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=218686&CFID=65511517&CFTOKEN=39381062)

Environmental Protection Agency (EPA). (1977). Medical and biologic effects of environmental pollutants. carbon monoxide. Washington, D.C. Recuperado de <https://www.nap.edu/read/20333/chapter/1#ii>

European Environmental Agency (EEA). (2016). Explaining road transport emissions. Luxembourg. Recuperado de doi:10.2800/71804

Fiedoruk, K., & Nieciecki, M. (2016). Indoor air quality in a multi-car garage. *Energy Procedia*, 95, 132-139. Recuperado de doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.034

Forster, R. E., Fowler, W. S., & Bates, D. V. (1954). Considerations on the uptake of carbon monoxide by the lungs. 33(8), 1128-1133. Recuperado de doi:10.1172/JCI102986

Franco, L. (2010). La Hemoglobina: Una molécula prodigiosa. *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 104(1), 213-232. Recuperado de <https://uchile.academia.edu/KevinRetamalDumenes>

Gómez, J., & Valcarcel, F. (2003). Tóxicos detectados en muertes relacionadas con fuegos e intoxicaciones por monóxido de carbono. *Revista Toxicológica*, 20(1), 38-42. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91920108>

Greiner, T. H. (1998). Carbon Monoxide Poisoning: Vehicles (AEN-208). Iowa State University, Department of Agricultural and Bioystems Engineering. Recuperado de <https://www.abe.iastate.edu/extension-and-outreach/carbon-monoxide-poisoning-vehicles-aen-208/>

Hou, J., Li, Y., Bai, W., Ma, T., Zhang, K., & Zhang, H. (2021). Study on pollution characteristics and influencing factors of gaseous pollutants: Case study of a naturally ventilated commercial underground garage in Xian. *Atmospheric Pollution Research*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101219>

Hungate, B., & Koch, G. (2015). Biospheric impacts and feedbacks. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, 3. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00472-2>

- Kao, L. W., & Nañagas, K. A. (2006). Toxicity associated with carbon monoxide. *Clinics in Laboratory Medicine*, 86(6), 99-125. Recuperado de doi: 10.1016/j.cll.2006.01.005
- Kempton, L., Daly, D., Kokogiannakis, G., & Dewsbury, M. (2022). A rapid review of the impact of increasing airtightness on indoor air quality. *Journal of Building Engineering*, 57(1). Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104798>
- Leung, D. (2015). Outdoor-indoor air pollution in urban environment: challenges and opportunity. *Frontiers in Environmental Science*, 2(69). Recuperado de doi: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00069>
- Lurie, A. (24 de 07 de 2016). El centro financiero de Lima. *El Comercio*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/lima/centro-financiero-lima-angus-laurie-239903-noticia/?ref=ecr>
- Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental* (1ed.). Ciudad de México: Editorial REVERTÉ. Recuperado de [https://books.google.bi/books?id=5NR8DIk1n68C&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.bi/books?id=5NR8DIk1n68C&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
- Martin, A., Tejerina, E., De La Cal, M., & Ramírez, L. (2014). Hidrocefalia aguda secundaria a intoxicación por monóxido de carbono. 31(5). Recuperado de doi: 10.1016/j.nrl.2014.04.013
- Maximilien, D., Claude, M., Beaudry, C., Neesham, E., Perron, S., & Lapointe, C. (2016). Characterization of indoor diesel exhaust emissions from the parking garage of a school. *Environmental Science and Pollution Research* 24(5). Recuperado de doi:10.1007/s11356-016-8129-4
- Ministerio de Salud. (2005). Decreto Supremo N° 015 - 2005 - SA. Lima. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/252380-015-2005-sa>
- Ministerio de Vivienda. (2020). NORMA EM.030 Instalaciones de ventilación. Lima. Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/disponen-la-publicacion-del-proyecto-de-resolucion-ministeri-resolucion-ministerial-n-084-2020-vivienda-1865933-1>

- Ministerio del Ambiente. (2017). Resolución Ministerial N°306 - 2017 - MINAM. Lima. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-306-2017-minam/>
- Mousavi, M. S., Ashrafi, K., Motkagh, M. S., Niksokhan, M., & Vosoughilar, H. R. (2017). Experimental and numerical analysis of CO concentration dispersion of vehicular exhaust emissions in isolated environment. *Environmental Modeling Assessment* 22(5), 431-444. Recuperado de doi:10.1007/s10666-016-9546-y
- Murriel, F. A., (2017). Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM 2.5 en el campus de la universidad nacional agraria la molina [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional. Lima Perú. Recuperado de doi: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3124>
- Municipalidad de San Isidro (MSI). (2021). Estacionamientos Subterráneos en la Av. Rivera Navarrete. Recuperado de <http://msi.gob.pe/porta1/proyecto-rivera-navarrete/>
- National Research Council (NRC). (2002). *The Ongoing Challenge of Managing Carbon Monoxide Pollution in Fairbanks, Alaska*. Washintong: National Academy Press. Recuperado de <https://doi.org/10.17226/10378>
- Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (OSMAN). (2011). Calidad del aire interior. Recuperado de [https://www.diba.cat/c/document\\_library/get\\_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824](https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824)
- Occupational Safety and health Administration (OSHA). (2012). Recuperado de [https://www.osha.gov/OshDoc/data\\_General\\_Facts/carbonmonoxide-factsheet.pdf](https://www.osha.gov/OshDoc/data_General_Facts/carbonmonoxide-factsheet.pdf)
- Oliu, G., Nogué, S., & Miró, Ó. (2010). Intoxicación por monóxido de carbono: Claves fisiopatológicas para un buen tratamiento. *Revista de la Sociedad Española de Medicina de Urgencias Y Emergencias* (22), 451-459. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5447196>

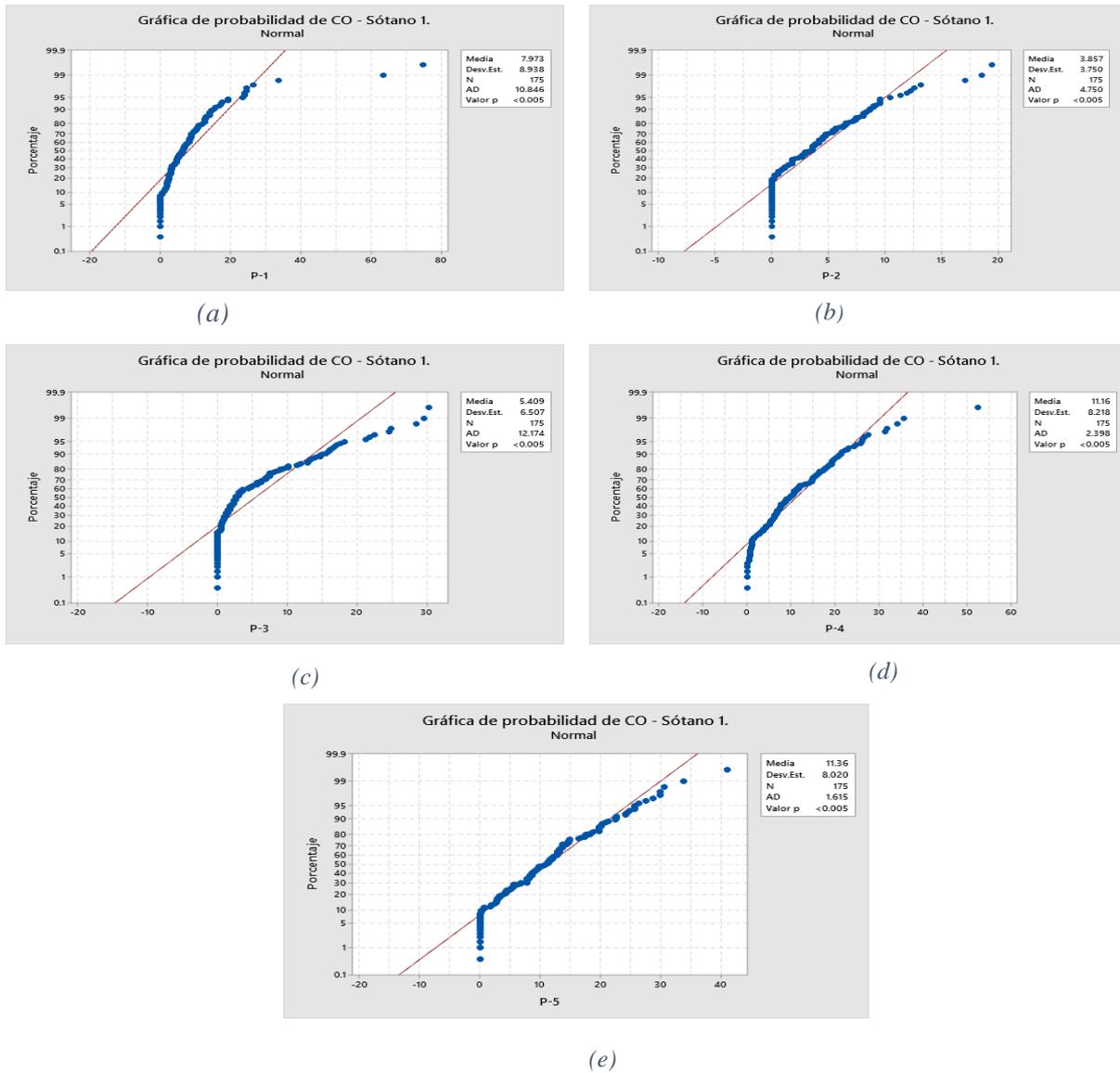
- World Health Organization. (WHO). (2016). Releases country estimates on air pollution exposure and health impact. Recuperado de [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)
- Peterson, J. E., & Stewart, R. D. (1975). Predicting the carboxyhemoglobin levels resulting from carbon monoxide exposures. *Journal of Applied Physiology*, 39(4), 633-638. Recuperado de <https://doi.org/10.1152/jappl.1975.39.4.633>
- Reumuth, G., Alharbi, Z., Houschyar, K., Kim, B.-S., Siemers, F., Fuchs, P., & Grieb, G. (2019). Carbon monoxide intoxication: What we know. *Burns* 45(3), 526-530. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.burns.2018.07.006>
- Rodriguez, A. I., Yesid, N., Estévez, J. A., & Díaz, C. C. (2018). Evaluación toxicológica ocupacionales contaminantes del aire (1ra ed.). Bogotá, Colombia: Centro Editorial Facultad de Medicina. Recuperado de <https://es.scribd.com/read/394955744/Evaluacion-toxicologica-ocupacional-de-la-exposicion-a-contaminantes-del-aire#>
- Rudas, M., (2018). Determinación de niveles de carboxihemoglobina y evaluación de la función respiratoria en mototaxistas expuestos a monóxido de carbono en Soledad-Atlántico de Junio de 2017 a Junio de 2018 [Trabajo de grado maestría, Universidad de Cartagena]. Repositorio institucional Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias Colombia. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.57799/11227/2096>
- Sachin, D., Ananth, J. S., & Siby, J. (2018). Health risk assessment of workers in underground parking due to exposure to CO and VOC. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 5(1). Recuperado de [http://www.ijetsr.com/images/short\\_pdf/1517199365\\_1388-1391-oucip846\\_ijetsr.pdf](http://www.ijetsr.com/images/short_pdf/1517199365_1388-1391-oucip846_ijetsr.pdf)
- Sauvian, Vu Duc, T., & Guillemin, M. (2003). Exposure to carcinogenic polycyclic aromatic compounds and health risk assessment for diesel-exhaust exposed workers. *International archives of occupational and environmental health* 76(6), 443-455. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s00420-003-0439-4>

- Sibón, A., Martínez, P., Vizcaya, M., & Romero, J. (2007). Intoxicación por monóxido de carbono. Cuadernos de Medicina Forense, (47). Recuperado de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-76062007000100007](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-76062007000100007)
- Smith, M. V. (1990). Comparing Solutions to the Linear and Nonlinear CFK Equations for Predicting COHb Formation. Mathematical Biosciences, 99(2), 251-263. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0025-5564\(90\)90007-L](https://doi.org/10.1016/0025-5564(90)90007-L)
- Smith, S. R., Steinberg, S., & Gaydos, J. C. (1996). Errors in derivations of the Coburn-Forster-Kane equation for predicting carboxyhemoglobin. American Industrial Hygiene Association Journal, 57(7), 621-625. Recuperado de [doi:10.1080/15428119691014675](https://doi.org/10.1080/15428119691014675)
- Strauss, W., & Mainwaring, J. (2012). Contaminación del aire. Causas, efectos y soluciones. Editorial Trillas. Recuperado de <https://www.libreriadelau.com/contaminacion-del-aire-causas-efectos-y-soluciones-editorial-trillas-9786071706348-ecologia-y-medio-ambiente/p#resena>
- Tekeli, A., Bolat, A. & Ünay, B. (2022). Evaluation of Patients Presenting to the Pediatric Emergency Department with Carbon Monoxide Poisoning . Duzce Medical Journal , 24 (3) , 276-281 . DOI: 10.18678/dtfd.1145278
- Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, Á. (2006). Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. Salud Pública, 108-117. Recuperado de <https://www.scielosp.org/article/rsap/2006.v8n1/108-117/es/>
- The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). (1995). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices for 1994-1995. Recuperado de <https://www.acgih.org/>
- The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2019). Monóxido de carbono. Recuperado de <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/npg-sp/npgd0105-sp.html>

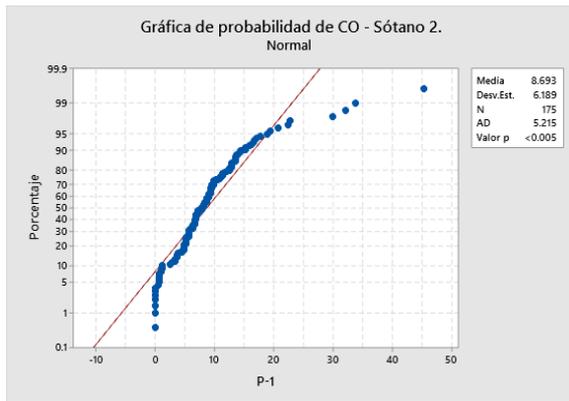
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2000). Quality Criteria for Carbon Monoxide. Recuperado de [https://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p\\_download\\_id=523412](https://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=523412)
- Vargas, F., & Gallego, I. (2005). Calidad Ambiental Interior: Bienestar, Confort y Salud. *Revista Especializada Salud Pública*, 79 (2), 243-251. Recuperado de <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/colaboracion9.pdf>
- Vasquez, E. E. (2011). Estudio para la determinación de habitantes por vivienda y afluencia de personas a los predios. Recuperado de [www.msi.gob.pe](http://www.msi.gob.pe)
- Vermeulen, R., Silverman, D. T., Garshick, E., Vlaanderen, J., Portengen, L., & Steenland, K. (2014). Exposure-response estimates for diesel engine exhaust and lung cancer mortality based on data from three occupational cohorts. *Environmental Health Perspectives*, 122(2), 172-177. Recuperado de doi:10.1289/ehp.1306880
- Wai, K. (2016). Indoor air quality and its effects on humans - A review of challenges and developments in the last 30 years. *Energy and Buildings*, 130, 637 - 650. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.071>
- Wallace, J., & Hobbs, P. (2006). *Atmospheric Science* (2da ed.). Estados Unidos: Academic Press. Recuperado de <https://toaz.info/doc-view>
- Wallace, L. A. (2001). Human exposure to volatile organic pollutants: Implications for Indoor Air Studies. *Annu. Rev. Energy Environ.*, 26, 269-301. Recuperado de <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.26.1.269>
- World Health Organization, (WHO). (1999). CARBON MONOXIDE. North Carolina, USA. Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc213.htm#2.2.4>
- World Health Organization (WHO). (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Recuperado de [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf)
- Wu, T., Yang, Y., Wang, S., Cohen, B., & Ge, H. (2010). A Molecular Dynamic Modeling of Hemoglobin-Hemoglobin Interactions. *American Institute of Physics* 1233(89), 89-94. doi: 10.1063/1.3452299

## VIII. ANEXOS

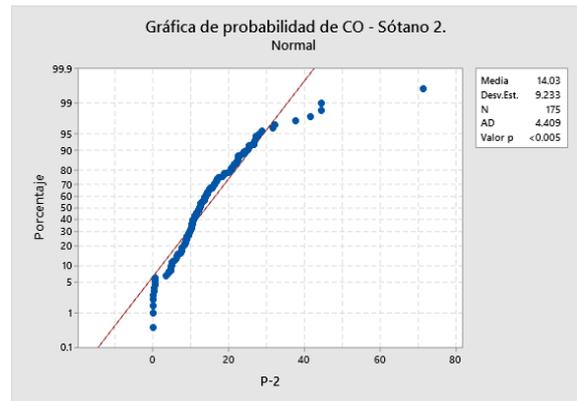
**Anexo 1:** Desarrollo del análisis estadístico de la prueba de normalidad de Anderson Darling



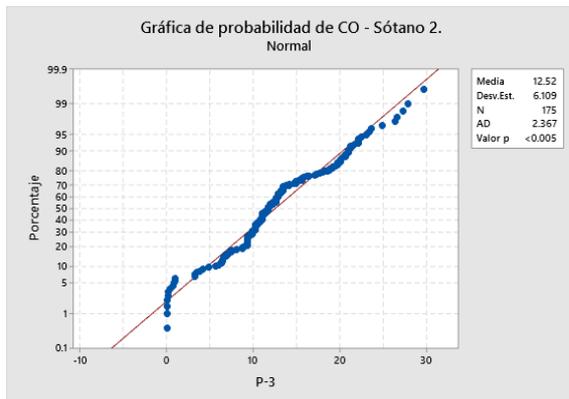
**Figura 32:** Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de CO para los 5 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b), P-3 (c), P-4 (d) y P-5 (e) del primer sótano (primera etapa)



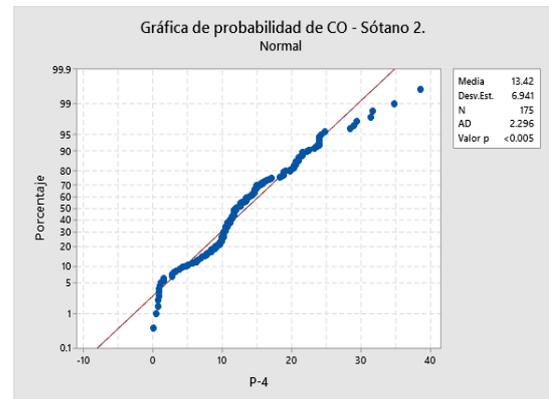
(a)



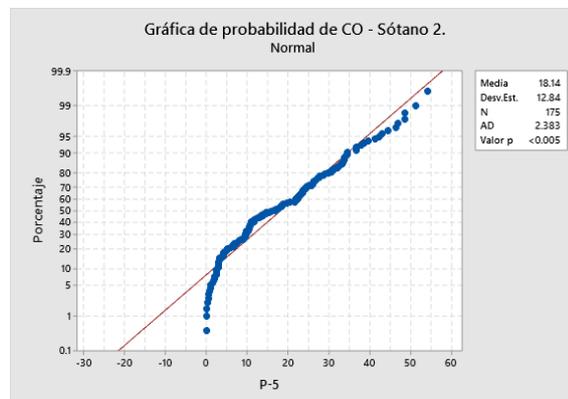
(b)



(c)

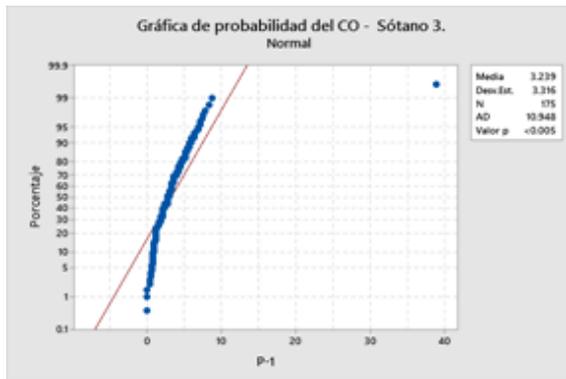


(d)

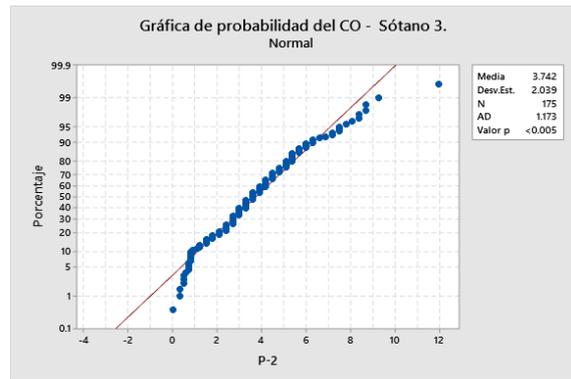


(e)

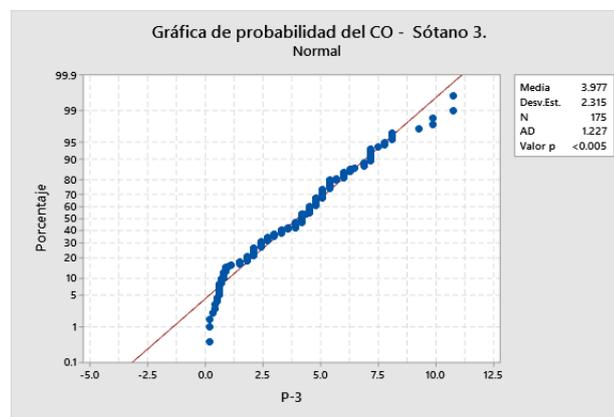
**Figura 33:** Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de CO para los 5 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b), P-3 (c), P-4 (d) y P-5 (e) del segundo sótano (primera etapa)



(a)

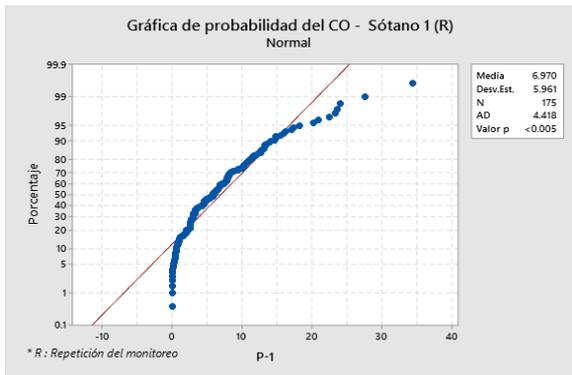


(b)

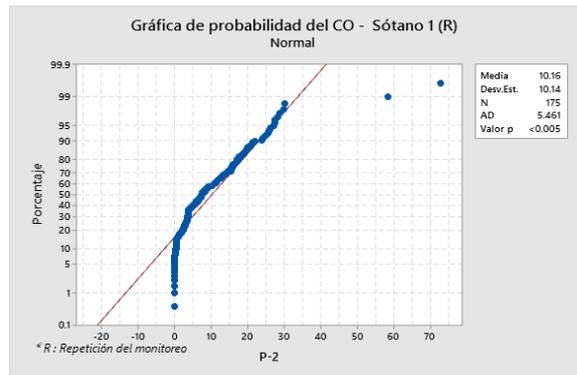


(c)

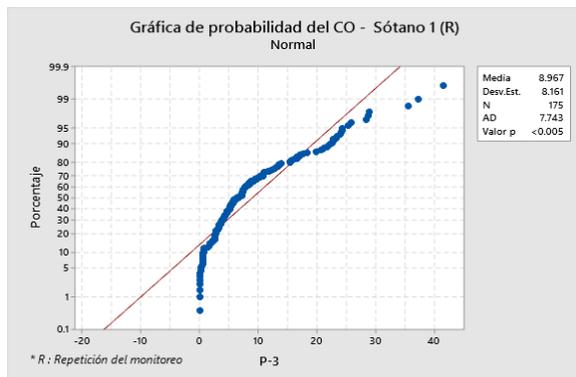
**Figura 34:** Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de Monóxido de Carbono para los 3 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b) y P-3 (c) del tercer sótano (primera etapa)



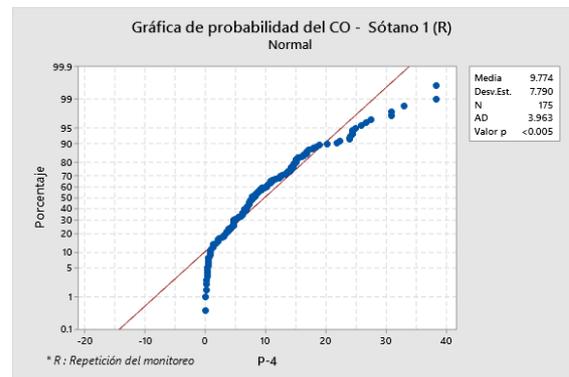
(a)



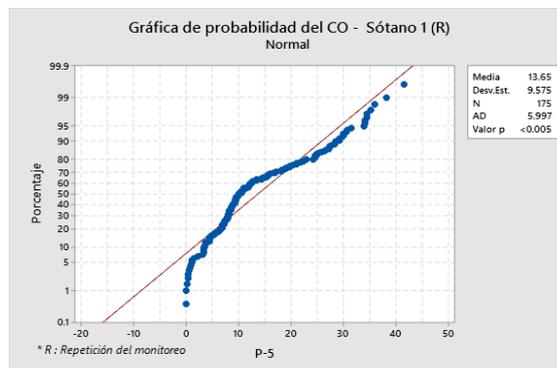
(b)



(c)

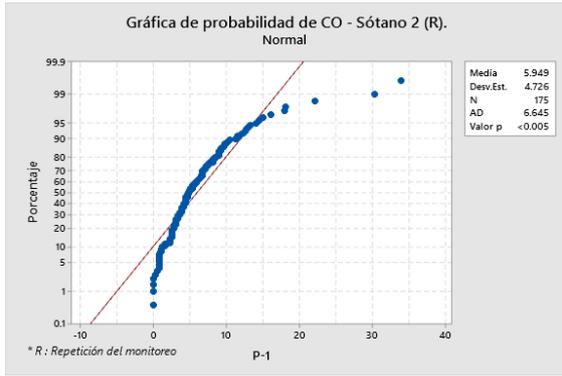


(d)

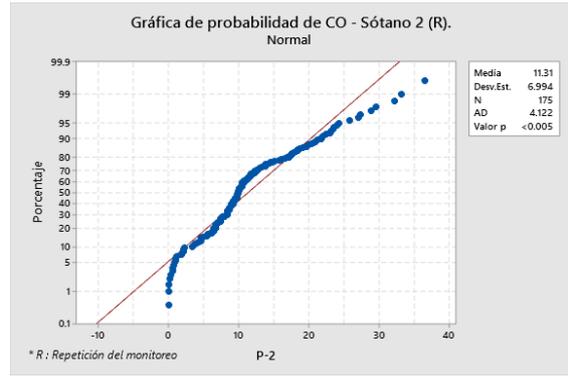


(e)

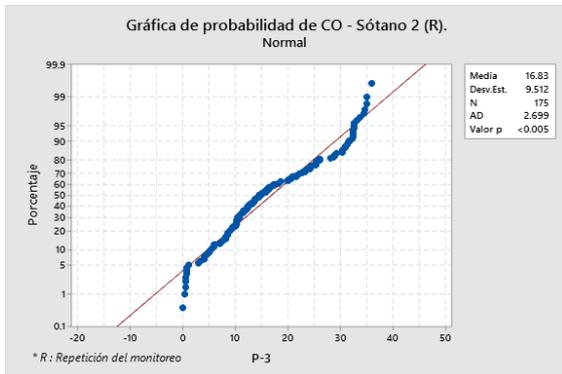
**Figura 35:** Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de CO para los 5 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b), P-3 (c), P-4 (d) y P-5 (e) del primer sótano (segunda etapa)



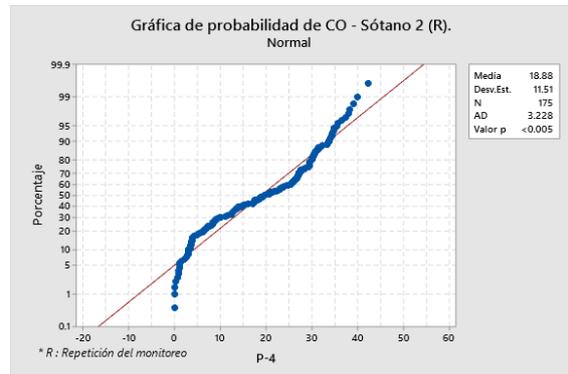
(a)



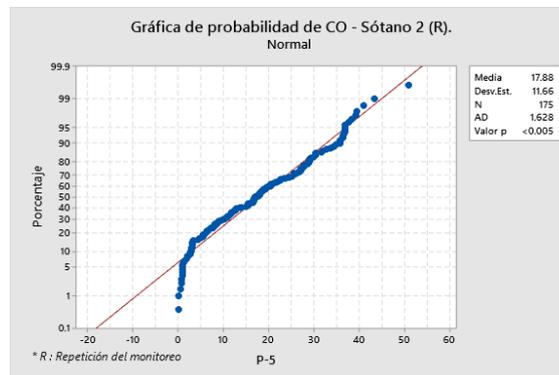
(b)



(c)

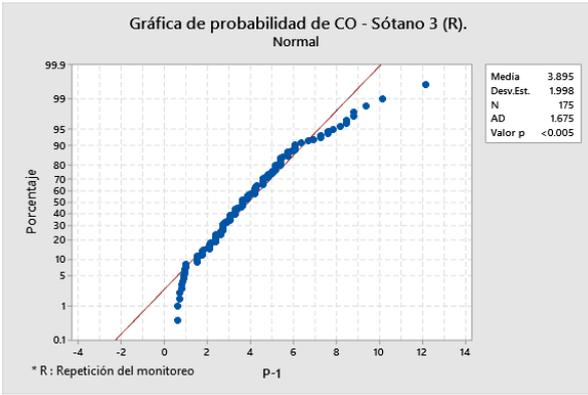


(d)

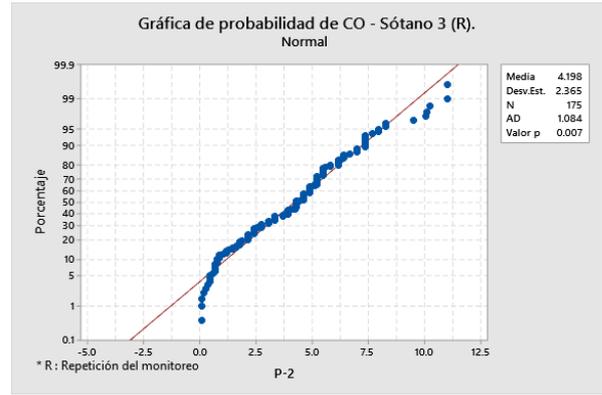


(e)

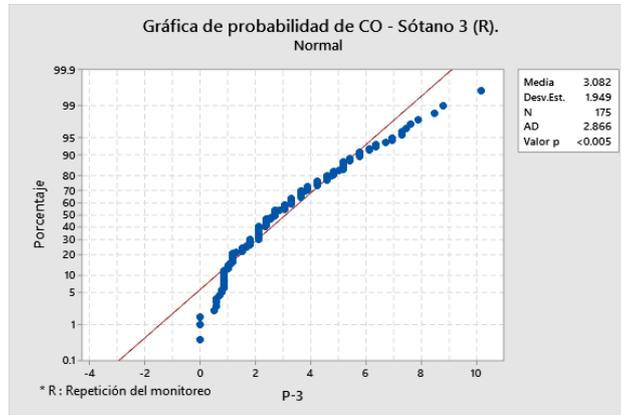
**Figura 36:** Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de CO para los 5 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b), P-3 (c), P-4 (d) y P-5 (e) del segundo sótano (segunda etapa)



(a)



(b)



(c)

**Figura 37:** Resultado de la prueba estadístico Anderson Darling, evaluada a los datos de concentración de Monóxido de Carbono para los 3 puntos de monitoreo P-1 (a), P-2 (b) y P-3 (c) del tercer sótano (segunda etapa)

**Anexo 2:** Cálculo estadístico de la prueba de Kruskal Wallis entre las concentraciones de CO de todos los puntos de monitoreo

### Estadísticas descriptivas

PUNTO	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
P-1	175	7.8	280.7	-9.21
P-2	175	12.3	466.2	1.65
P-3	175	11.7	446.4	0.49
P-4	175	12.0	472.7	2.03
P-5	175	16.5	524.1	5.04
General	875		438.0	

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	4	93.76	0.000
Ajustado para empates	4	93.78	0.000

**Figura 38:** Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del primer sótano (primera etapa)

### Estadísticas descriptivas

PUNTO	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
P-1	175	7.8	280.7	-9.21
P-2	175	12.3	466.2	1.65
P-3	175	11.7	446.4	0.49
P-4	175	12.0	472.7	2.03
P-5	175	16.5	524.1	5.04
General	875		438.0	

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	4	93.76	0.000
Ajustado para empates	4	93.78	0.000

**Figura 39:** Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del segundo sótano (primera etapa)

### Estadísticas descriptivas

PUNTOS	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
P-1	175	2.7	224.8	-4.08
P-2	175	3.6	275.1	1.29
P-3	175	4.2	289.1	2.79
General	525		263.0	

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	17.37	0.000
Ajustado para empates	2	17.40	0.000

**Figura 40:** Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del tercer sótano (primera etapa)

### Estadísticas descriptivas

PUNTOS	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
P-1	175	5.8876	355.0	-4.86
P-2	175	7.5780	427.9	-0.59
P-3	175	6.4039	405.6	-1.89
P-4	175	7.8017	448.7	0.63
P-5	175	10.0409	552.7	6.72
General	875		438.0	

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	4	58.42	0.000
Ajustado para empates	4	58.42	0.000

**Figura 41:** Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del primer sótano (segunda etapa)

### Estadísticas descriptivas

PUNTOS	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
P-1	175	4.8538	218.2	-12.86
P-2	175	9.9867	393.9	-2.58
P-3	175	14.5811	520.4	4.82
P-4	175	19.6459	539.1	5.92
P-5	175	17.0437	518.4	4.70
General	875		438.0	

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	4	201.97	0.000
Ajustado para empates	4	201.97	0.000

**Figura 42:** Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del segundo sótano (segunda etapa)

### Estadísticas descriptivas

PUNTOS	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
P-1	175	3.64049	273.6	1.13
P-2	175	4.28229	300.1	3.97
P-3	175	2.71476	215.3	-5.09
General	525		263.0	

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	28.63	0.000
Ajustado para empates	2	28.63	0.000

**Figura 43:** Desarrollo de la prueba de Kruskal Wallis entre los puntos de las concentraciones de CO del tercer sótano (segunda etapa)

### Anexo 3: Propiedades del aire a 1 atm de presión y diferentes temperaturas

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. T, °C	Densidad $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico $c_p$ J/kg · K	Conductividad térmica k, W/m · K	Difusividad térmica $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s	Viscosidad dinámica $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-6}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Nota: Para gases ideales,  $c_p$ , k,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión P distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de  $\rho$  a la temperatura dada por P (en atm) y cuando se dividen  $\nu$  y  $\alpha$  entre P (en atm).

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

**FUENTE:** Çengel y Cimbala (2006)

**Anexo 4:** Propiedades del monóxido de carbono a 1 atm de presión y diferentes temperaturas

Propiedades de gases a 1 atm de presión

Temp. T, °C	Densidad $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico $c_p$ J/kg · K	Conductividad térmica k, W/m · K	Difusividad térmica $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s	Viscosidad dinámica $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl Pr
Monóxido de carbono, CO							
-50	1.5297	1081	0.01901	$1.149 \times 10^{-5}$	$1.378 \times 10^{-5}$	$9.012 \times 10^{-6}$	0.7840
0	1.2497	1048	0.02278	$1.739 \times 10^{-5}$	$1.629 \times 10^{-5}$	$1.303 \times 10^{-5}$	0.7499
50	1.0563	1039	0.02641	$2.407 \times 10^{-5}$	$1.863 \times 10^{-5}$	$1.764 \times 10^{-5}$	0.7328
100	0.9148	1041	0.02992	$3.142 \times 10^{-5}$	$2.080 \times 10^{-5}$	$2.274 \times 10^{-5}$	0.7239
150	0.8067	1049	0.03330	$3.936 \times 10^{-5}$	$2.283 \times 10^{-5}$	$2.830 \times 10^{-5}$	0.7191
200	0.7214	1060	0.03656	$4.782 \times 10^{-5}$	$2.472 \times 10^{-5}$	$3.426 \times 10^{-5}$	0.7164
300	0.5956	1085	0.04277	$6.619 \times 10^{-5}$	$2.812 \times 10^{-5}$	$4.722 \times 10^{-5}$	0.7134
400	0.5071	1111	0.04860	$8.628 \times 10^{-5}$	$3.111 \times 10^{-5}$	$6.136 \times 10^{-5}$	0.7111
500	0.4415	1135	0.05412	$1.079 \times 10^{-4}$	$3.379 \times 10^{-5}$	$7.653 \times 10^{-5}$	0.7087
1000	0.2681	1226	0.07894	$2.401 \times 10^{-4}$	$4.557 \times 10^{-5}$	$1.700 \times 10^{-4}$	0.7080
1500	0.1925	1279	0.10458	$4.246 \times 10^{-4}$	$6.321 \times 10^{-5}$	$3.284 \times 10^{-4}$	0.7733
2000	0.1502	1309	0.13833	$7.034 \times 10^{-4}$	$9.826 \times 10^{-5}$	$6.543 \times 10^{-4}$	0.9302

Nota: Para gases ideales, las propiedades  $c_p$ , k,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$ , y  $\alpha$  a una presión P distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de  $\rho$  a la temperatura dada por P (en atm) y cuando se dividen  $\nu$  y  $\alpha$  entre P (en atm).

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente con base en diversas fuentes.

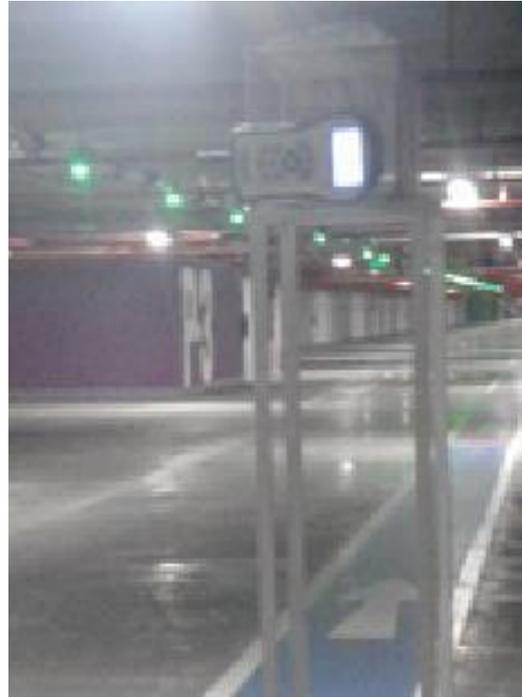
**FUENTE:** Çengel y Cimbala (2006)

**Anexo 5: Álbum fotográfico**

**Fotografía 1:** Monitoreo de CO en todos los puntos del interior del ERN, (a) Punto 1- Núcleo Azul; (b) Punto 2- Núcleo Morado; (c) Punto 4- Núcleo Naranja; (d) punto 4 -Núcleo Verde, (e) Punto 5 – Núcleo Celeste



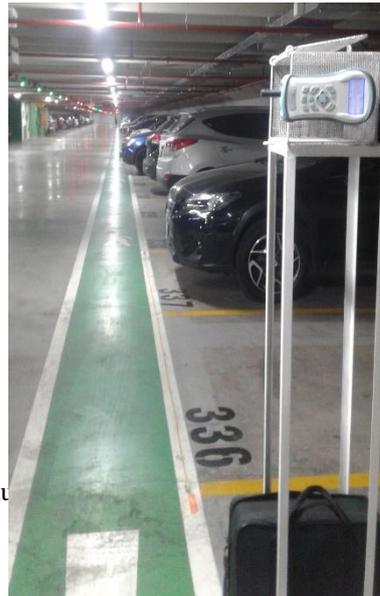
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

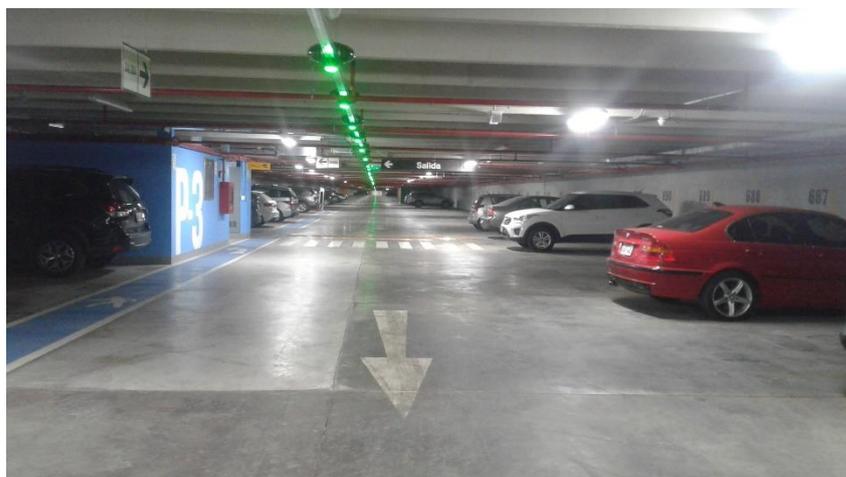
**Fotografía 3:** Comparación de la acumulación de vehículos en los 3 sótanos a las 13:00 horas, (a) primer sótano, (b) segundo sótano, (c) tercer sótano



(a)



(b)



(c)

Anexo 6: Certificado de calibración del detector de gases modelo AQ-pro



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

*Certificate of calibration*

Número: **LG -136-2019**

Página 1 de 3 páginas

**Green Group PE S.A.C**

Av. Aviación 4210, Surquillo, Lima - Perú  
www.greengroup.com.pe  
Central: 560-6134 / 273-3550



<b>INSTRUMENTO</b> <i>Equipment</i>	Detector de Gases
<b>MARCA</b> <i>Brand</i>	E Instruments
<b>MODELO</b> <i>Model</i>	AQPRO-2
<b>IDENTIFICACIÓN</b> <i>Identification</i>	14105
<b>SOLICITANTE</b> <i>Customer</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA Av. La Molina s/n Universidad Nacional Agraria La Molina
<b>FECHA/S DE CALIBRACIÓN</b> <i>Date/s of calibration</i>	2019-06-21

**Signatario/s autorizado/s**  
*Authorized signatory/ies*

**Fecha de emisión**  
*Date of issue*

  
**ISAÍAS CURI MELGAREJO**  
Jefe de Laboratorio de Calibración  
GREEN GROUP PE S.A.C

2019-06-21

- . Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC, que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales o internacionales.
- . ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)
- . Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
- . This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and it's traceability to national or international standards.
- . ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the international Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
- . This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.

# Certificado de Calibración

LG -136-2019

Página 2 de 3

## 1. DATOS TÉCNICOS DEL INSTRUMENTO.

	Rango de medición	Resolución
CO	0 ppm a 200 ppm	0,1 ppm
SO2	0 ppm a 20 ppm	0,1 ppm

## 2. MÉTODO DE CALIBRACIÓN.

La calibración se realizó por lecturas del instrumento con gases patrón según "Procedimiento PCG-01 para la calibración de analizadores de gases" Green Group PE S.A.C.

## 3. LUGAR DE CALIBRACIÓN.

Laboratorio de Gases - Green Group PE S.A.C

## 4. CONDICIONES AMBIENTALES.

	Temperatura °C	Humedad relativa % H.R.
Inicial	23,0	68,7
Final	23,7	67,5

## 5. TRAZABILIDAD.

Patrón usado	Código Interno	N° Lote / N° Certificado	F. Vencimiento
CO	GGP-CG-18	EB0073519	2023-11-19
SO2	GGP-CG-20.1	CC11625	2026-05-17

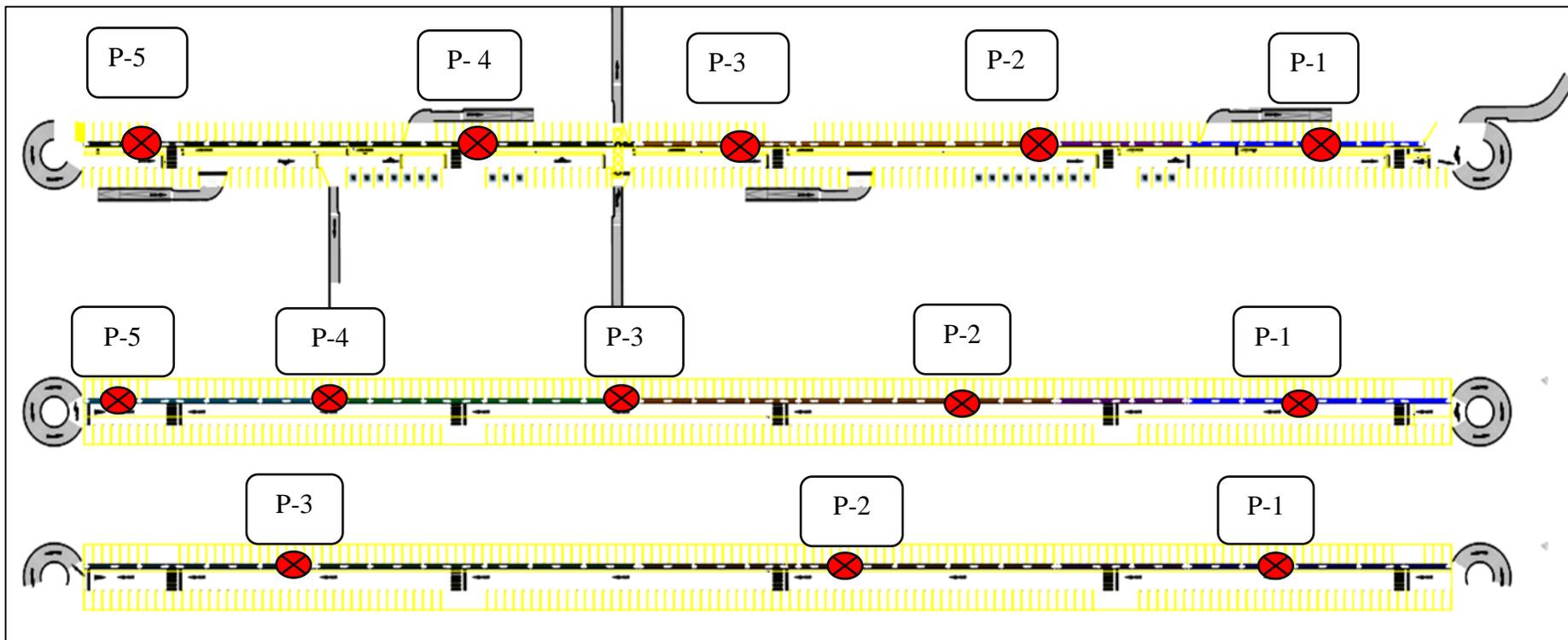
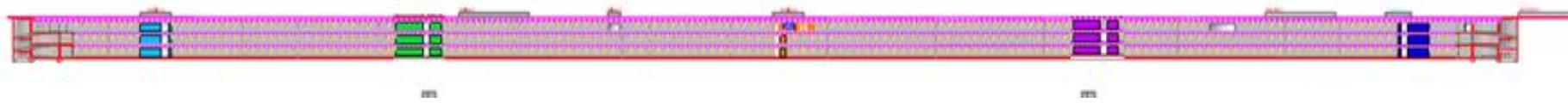
## 6. RESULTADOS DE MEDICIÓN.

Lecturas antes del ajuste

	Lectura del instrumento	Concentración del patrón	
CO	63,2	74,9	ppm
SO2	15,7	17,9	ppm

Perú  
Green Group

**Anexo 7:** Ubicación de los puntos de monitoreo en los 3 sótanos del ERN



FUENTE: <https://www.ern.com.pe/>