

ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA (SEGÚN CICLO OTTO)

STUDY OF THE EMISSIONS OF CARBON MONOXIDE IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES (ACCORDING TO OTTO CYCLE)

ALFREDO RAMÓN LEGUIZAMÓN ORTIZ*

*Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNA. Email: alfredorlo@yahoo.com.ar.

Resumen: Se ha evaluado la efectividad de la reacción del monóxido de carbono con el radical hidroxilo, en condiciones experimentales de funcionamiento de un motor de combustión interna, acoplando a la salida del caño de escape del motor, un filtro de aire, un sistema de inyección de peróxido de hidrógeno, una fuente de iluminación de la mezcla de gases y una cámara de reacción. A la salida del reactor, se han realizado las mediciones del monóxido de carbono mediante un analizador con sensor electroquímico estabilizado de respuesta rápida específico para CO. Estos valores se compararon con los obtenidos en determinaciones previas en donde las mediciones se han realizado a la salida del caño de escape del motor. Las mediciones se han realizado cambiando las condiciones de cada una de las partes señaladas y calculando para cada caso la efectividad de la reacción. Las variables que se han tenido en cuenta para la realización de las mediciones son: El tipo de fuente de luz, el material y el volumen de la cámara de reacción, el efecto de la temperatura del reactivo y la concentración del peróxido de hidrógeno. En todos los casos de las fuentes de luz utilizadas se ha obtenido una disminución en la concentración del monóxido de carbono, en mayor proporción con la lámpara de deuterio (λ : 185 ~ 400 nm). Con la concentración del peróxido de hidrógeno se ha encontrado que aumenta la eficiencia hasta la de 10 volúmenes, disminuyendo nuevamente a mayores concentraciones. La mayor eficiencia de la reacción del peróxido de hidrógeno con el monóxido de carbono fue de 58%, obtenida con una solución de H_2O_2 10 volúmenes, lámpara de deuterio, la iluminación dentro de la cámara de reacción de 5 litros y con dióxido de titanio (TiO_2) como catalizador.

Palabras clave: Motores de combustión interna, eficiencia, , CO, H_2O_2 , luz UV.

Abstract: The effectiveness of the reaction of the carbon monoxide with the hydroxyl radical under experimental operating conditions of an internal combustion engine has been evaluated by coupling to the output of the engine exhaust pipe, an air filter, an injection system of hydrogen peroxide, a source of illumination of the gas mixture and a reaction chamber. Measurements of carbon monoxide have been made at the exit of the reactor using an analyzer with stabilized electrochemical sensor of CO-specific rapid response. These values were compared with those obtained in previous determinations where the measurements were made at the exit of the engine exhaust. The measurements were made by changing the conditions of each of the listed parts, and calculating for each case the effectiveness of the reaction. Variables that were taken into account for performing the measurements are: The type of light source, the material and the volume of the reaction chamber, the effect of temperature and concentration of reactive hydrogen peroxide. In all cases of the light sources used, a decrease in the concentration of carbon monoxide were obtained, in greater proportion with the deuterium lamp (λ : 185 ~ 400 nm). With the concentration of hydrogen peroxide, efficiency increases to 10 volumes, decreasing again at higher concentrations. The highest efficiency of the reaction of hydrogen peroxide with carbon monoxide was 58%, obtained with a solution of H_2O_2 10 volumes, deuterium lamp, the lighting within the reaction chamber of 5 liters and titanium dioxide (TiO_2) as catalyst.

Key words: Internal combustion engines, efficiency, CO, H_2O_2 , UV light.

INTRODUCCIÓN

La historia del monóxido de carbono (CO), necesariamente tiene que ver con su reconocimiento como un compuesto tóxico presente en la polución

ambiental, considerado relativamente insignificante hasta el auge de la industrialización y el urbanismo. Es bien conocido por su toxicidad para el ser humano. Sus efectos tóxicos agudos incluida

la muerte, han sido estudiados ampliamente, sin embargo, sus potenciales efectos adversos a largo plazo, son poco conocidos. En los últimos años, los estudios e investigaciones experimentales en animales y epidemiológicos en humanos, han evidenciado relación entre la población expuesta en forma crónica a niveles medios y bajos de monóxido de carbono en aire respirable, y la aparición de efectos adversos en la salud humana, especialmente en órganos de alto consumo de oxígeno, como el cerebro y el corazón. Es considerado como uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre.

En el caso de Paraguay, no existen datos de monitoreo realizados in situ de la concentración de monóxido de carbono, que permitan establecer el grado de contaminación de las calles y las zonas cercanas a los cruces, donde generalmente se producen la mayor concentración de contaminantes, por el hecho de que gran cantidad de vehículos permanecen en la zona por más tiempo. A esto, se le suma el crecimiento del parque automotor en los últimos años, conformado por vehículos con más de diez años de antigüedad y con usos superiores a los 200.000 km (doscientos mil kilómetros).

En este trabajo, se estudia la posibilidad de implementar un mecanismo de mezcla de gases de combustión con aire puro y un catalizador adicional como el radical hidroxilo ($\text{OH}\cdot$), de modo a reducir las emisiones de monóxido de carbono, mitigar su efecto en el ambiente, evaluando su efectividad y rendimiento. La ventaja principal de este sistema de reducción del monóxido de carbono, radica en la sencillez de su fabricación, fácil mantenimiento e instalación.

El monóxido de carbono (CO) químicamente es un agente reductor, es un gas no irritante, incoloro, inodoro, insípido y tóxico. Tiene una densidad de 1,25 g/L a la temperatura y presión normal y la gravedad específica relativa al aire es de 0,967. Posee una molécula químicamente estable por su triple enlace covalente. Posee una solubilidad baja en agua (3,54 g/L). Necesita superar una elevada energía de activación para

poder reaccionar con agua u oxígeno (García Morán y García Cardona, 2008). La entalpía molar de formación del CO (g) es de $-110,5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ y su Energía Libre de Gibbs es de $-137,3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ (Chang, 2008) a 298 K. Es un contaminante primario, su tiempo de vida en la atmósfera es de aproximadamente 2 meses en latitudes medias, debido a esto, se lo utiliza como trazador de la masa de aire, en la que el Monóxido de carbono (CO) mismo y los hidrocarburos, en presencia de los óxidos de nitrógeno y radiación solar, generan ozono (Mielnicki et al., 2004).

El monóxido de carbono es removido de la atmósfera al reaccionar con radicales hidroxilos. Se ha establecido un estándar primario y secundario para el monóxido de carbono de $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (9 ppm como valor máximo aceptable para 8 horas), concentración que no debe exceder más de una vez al año (Alfaro, 2001).

Se estima que la concentración atmosférica del monóxido de carbono en las áreas residenciales es de 23 ppm, pudiendo alcanzar 115 ppm en lugares con mucho tráfico de vehículos (García Morán y García Cardona, 2008).

Los datos del relevamiento obtenido por una de las empresas verificadoras habilitadas (TAIVO SA), del parque automotor durante el periodo de un año (Febrero - 2012 a Marzo - 2013), arrojaron que de un total de 6.308 (seis mil trescientos ocho) vehículos verificados el 64,9% corresponden a vehículos que utilizan gasoil, 35,0% Nafta, solo 0,07% alcohol y 0,03% son movidos a gas.

Los vehículos movidos a nafta, en los que son analizados la concentración de monóxido de carbono, en cuanto a sus valores en función a los parámetros permitidos por la legislación mencionada, se han encontrado que, el 20% de los vehículos verificados (310 unidades) no cumplen con el valor máximo permitido de 1,5% en Volumen de concentración de monóxido de carbono durante la verificación, mientras que el 80% de los vehículos verificados (1.219 vehículos) cumplen con el valor máximo requerido para la habilitación y circulación por el territorio nacional (TAIVO S.A., 2013).

Motor según el ciclo OTTO

En general, la eficiencia de un motor de este tipo depende del grado de compresión, la proporción entre los volúmenes máximo y mínimo de la cámara de combustión. Esta proporción suele ser de 8 a 1 ó 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. La eficiencia media de un buen motor Otto es de un 20 a un 25% (o sea, que sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica) (Cengel, 2011).

Oxidación química

Como los gases contaminantes a tratar son CO e hidrocarburos (HC), los tratamientos para la detoxificación por transformación química de sus componentes se realizarán mediante la adición de un agente oxidante ($\text{OH}\cdot$), para así tener compuestos menos tóxicos.

Fotólisis

En presencia de radiación UV se produce la fotólisis de un gran número de compuestos orgánicos. El proceso, que tiene lugar en el dominio del UV-C (210-230 nm), se basa en la formación de radicales C-centrados según la siguiente reacción:



El peróxido de hidrógeno es un potente agente oxidante no selectivo y una buena fuente de radicales libres. Es además un aditivo deseable ecológicamente, ya que genera en su descomposición únicamente agua y/o oxígeno, tiene una presión de vapor, a 20°C de 0,2 kPa de una solución al 90% y 0,1 kPa el de 70%.

El éxito del proceso de la foto oxidación con peróxido de hidrógeno radica en la formación estequiométrica de radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$) a partir de la descomposición foto catalítica del H_2O_2 (La energía de enlace del O – O es de 142 kJ.mol⁻¹ (Chang, 2008)).



El rendimiento cuántico de este proceso es muy elevado, formándose como máximo dos radicales hidroxilo por cuanto absorbido, e invariable con la

longitud de onda aplicada (Garcés, 2004).

Dióxido de titanio

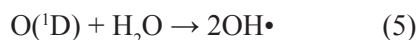
En el caso de la fotocatalisis heterogénea, existen referencias de aplicaciones con múltiples semiconductores como Al_2O_3 , ZnO , Fe_2O_3 y TiO_2 . Sin embargo, el más ampliamente utilizado es el dióxido de titanio, ya que presenta una mayor actividad foto catalítica y no es tóxico (Fujishima Akira, 2000).

Oxidación del Monóxido de Carbono

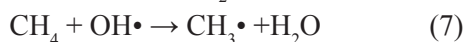
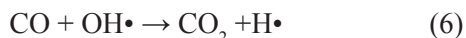
La atmósfera es un medio oxidante y muchos gases traza de importancia ambiental se eliminan en ella principalmente por oxidación, como los gases tóxicos de combustión como el CO y otros.

Los oxidantes más abundantes en la atmósfera de la Tierra son el O_2 y O_3 , que tienen energías de enlace elevadas y por lo tanto son relativamente no reactivos excepto hacia los radicales (Jacob, 1999).

Con algunas pocas excepciones, la oxidación de especies no radicales por O_2 atmosférico u O_3 es despreciable y lenta. En la década de 1950 fue identificado por primera vez el radical $\text{OH}\cdot$ como un oxidante fuerte en la estratosfera, que reacciona rápidamente con especies no-radicales, y es particularmente reactivo frente a moléculas-H debido a las reacciones de abstracción en la que realiza la conversión de $\text{OH}\cdot$ a H_2O . La producción de $\text{OH}\cdot$ es mediante la reacción de vapor de agua con $\text{O}(^1\text{D})$. Este último se genera en la atmósfera por fotólisis de O_3 a longitudes de onda menores que 315 nm.



Hasta 1970 se suponía que la producción de $\text{O}(^1\text{D})$ sería insignificante en la troposfera debido a la casi total absorción de la radiación UV por el O_3 en la estratosfera. Se pensó que la oxidación de las especies emitidas desde la superficie terrestre, tales como CO y CH_4 , requería el transporte de los mismos a la estratosfera para la reacción con $\text{OH}\cdot$:



Este mecanismo implica larga vida atmosférica de CO y CH₄ porque el aire tarda una media de 5-10 años en viajar desde la troposfera a la estratosfera. En la década de 1960, surgió la preocupación de que la acumulación de CO emitido por la combustión de combustibles fósiles pronto representaría un problema de contaminación global.

En la década de los años 1970, se ha descubierto que la cantidad de OH• producido en la troposfera por reacciones (3) - (5) es suficiente, para permitir la oxidación de las especies, tales como CO y CH₄ dentro de la tropósfera.

La producción troposférica de O(¹D) se lleva a cabo en una banda de longitud de onda estrecha menor al rango comprendido entre 300 y 320 nm; la radiación de menor longitud de onda (menor a 240 nm) no penetra en la troposfera, mientras que la radiación de mayor longitud de onda que 300-320 nm no es absorbida por el O₃. Aunque la producción de O(¹D) en la troposfera es considerablemente menor que en la estratosfera, esto se compensa en términos de la producción de OH• por las grandes proporciones de H₂O en la troposfera (10² a 10³ veces mayor que en la estratosfera). Los cálculos del modelo de la contabilidad de 1970 para la penetración de la radiación UV a 300-320 nm encontraron concentraciones troposféricas OH• del orden de 10⁶ moléculas.cm⁻³, lo que resulta en una vida media troposférica de CO de sólo unos pocos meses y con lo que se han disipado las preocupaciones de que el CO puede acumularse en el ambiente a niveles peligrosos (Jacob, 1999).

Sistema de medición

El sistema de medición consiste del equipamiento entre el punto de entrada del aire de muestreo hasta el punto de entrada al instrumento de medición.

Los componentes del sistema de toma de muestra son: Cabeza de toma de muestra, Tubo de entrada, Tubo de distribución de muestra (múltiple) desde el tubo de entrada a los instrumentos de medición individuales, Bomba o ventilador.

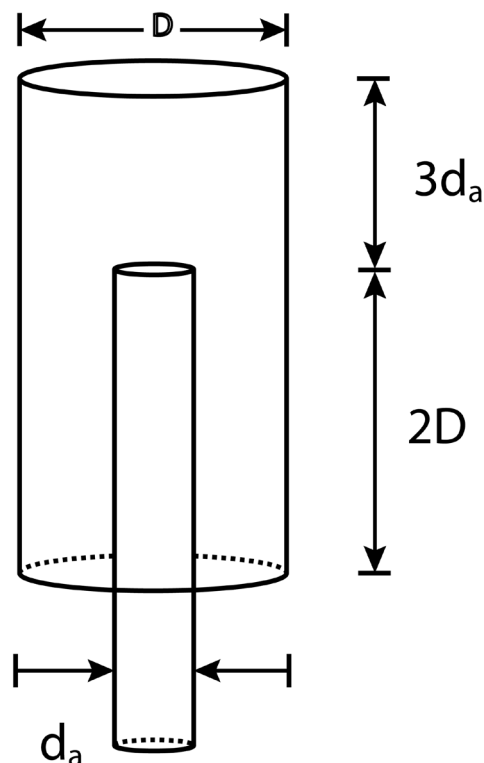


Figura 1. Cabeza muestreador para toma de muestra de contaminantes gaseosos. **D:** Diámetro interno del capuchón de la entrada del separador en cm. **d_a:** diámetro exterior del tubo de muestreo en cm. **Valores Típicos:** D= 14 cm; d_a= 4 cm.

La cabeza del sistema de toma de muestra debe ser diseñada como un pre-separador de partículas grandes, por ejemplo mayores de 50 μm, basado en un sistema inercial de cambio brusco de dirección (las partículas más pesadas tienden a seguir en la dirección original), como se indica en la Figura 1 (Moragues, 2011).

Selección del sitio de muestreo para motores alternativos

Se elige un sitio de muestreo ubicado por lo menos cinco veces el diámetro de la pila corriente abajo de cualquier escape del turbocompresor, empalme cruzado, o la recirculación despegues y corriente arriba de cualquier entrada de aire de dilución. Localizar el sitio de muestreo a no menos de un metro o tres diámetros de la pila (la que sea menor) corriente arriba de la descarga de gas a la atmósfera. Usar

un mínimo de tres puntos de muestreo situados en las posiciones de 16,7; 50 y 83,3% del diámetro de la chimenea. Alternativamente, el analizador puede elegir un lugar de muestreo alternativo y/o una muestra desde un solo punto en el centro del conducto si los datos anteriores de las pruebas demuestran que la concentración de gas de la pila no varían significativamente en el diámetro del conducto (EPA, 1997).

Fuente de Luz:

Tubo fluorescente de emisión UV

Son tubos fluorescentes de luz negra cuyo principio de funcionamiento es similar a los tubos fluorescentes normales excepto en que se utiliza fósforo que emite luz UV en lugar de luz blanca visible. Tiene una capa de filtro de color azul oscuro en el tubo, que filtra la luz más visible, por lo que los efectos de fluorescencia pueden ser observados. Estos tubos tienen un resplandor violeta tenue cuando se opera. El fósforo es usado típicamente para una longitud de onda de 368 a 371 nanómetros pico de emisión es borato de estroncio dopado con europio ($\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Eu}^{+2}$), mientras que el fósforo usado para producir un pico alrededor de 350 a 353 nanómetros es plomo dopado con silicato de bario ($\text{BaSi}_2\text{O}_5:\text{Pb}^{+}$). "Blacklight Blue" lámparas con pico a 365 nm (Spring, 2013).

Lámpara de Deuterio

Es una lámpara de deuterio de un espectrofotómetro de la Marca Hitachi, cuyo modelo es H4141SV. Fabricado en Japón. Patente de HAMAMATSU. La distribución espectral es de 185 a 400 nm. La estabilidad de la intensidad de la luz, tiene una fluctuación de $0,05\% \pm 0,3\%/h$.

Reactor Químico

Un reactor químico es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida.

El reactor continuo es aquella que mientras tiene lugar la reacción química en el interior del reac-

tor, éste se alimenta constantemente del material reactante, y también se retira ininterrumpidamente los productos de la reacción (Denbigh y Turner, 1990).

Análisis estadístico

Métodos no paramétricos

Las pruebas no paramétricas son aquellas en las que no existen supuestos sobre la distribución de los parámetros de la población. Se aplican con mayor frecuencia a los datos nominales y ordinales, si bien pueden emplearse también para analizar datos continuos transformados a una escala ordinal (Badii, M.H., 2012).

Prueba de Levene: homogeneidad de la varianza

El test de Levene (1960) se usa para contrastar si k muestras tienen la misma varianza, es decir, la homogeneidad de varianzas. Otros contrastes, como por ejemplo el análisis de la varianza, suponen que las varianzas son iguales para todos los grupos. De ahí la importancia de verificar con el test de Levene esa hipótesis.

Prueba de Wilcoxon

Este modelo estadístico corresponde a un equivalente de la prueba t de Student, pero se aplica en mediciones en escala ordinal para muestras dependientes.

Cuando el tipo de medición no cumpla con los requisitos que la prueba t de Student exige, la de Wilcoxon es una alternativa de aceptable eficacia para contrastar hipótesis. El método es aplicable a muestras pequeñas, siempre y cuando sean mayores que 6 y menores que 25. Las muestras grandes deben ser mayores a 25 y éste se debe transformar en valor de Z , para conocer la probabilidad de que aquella sea o no significativa.

Prueba de Friedman

En estadística la prueba de Friedman es una prueba no paramétrica que consiste en ordenar los datos por filas o bloques, reemplazándolos por su respectivo orden. Al ordenarlos, se debe considerar la existencia de datos idénticos (Corzo, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

- Medidor portátil de Monóxido de carbono Extech CO10, de respuesta rápida con rango de medición de 0 a 1.000 ppm, resolución de 1 ppm y precisión: $\pm 5\%$ ó ± 10 ppm. Sensor electroquímico específico para el CO.
- Analizador de gases Clase O (Fotometría infrarroja no dispersiva) de la marca CAPA-LEC. Medición por fotometría infrarroja no dispersiva, que tiene un rango de detección de 0 a 5% en volumen de monóxido de carbono (CO).
- Peróxido de Hidrógeno comercial y para análisis de 100 Volúmenes (Solución al 30%), de la marca Cicarelli. Cas N°: 7722 – 84 – 1. Industria Argentina.
- Dióxido de Titanio - TiO_2 : Marca JT Baker. Calidad para análisis.
- Fuentes de luz:
 1. Lámpara con filamento de tungsteno, halogenado de 12 V - 55 W (Marca Narva. Alemania).
 2. Tubo fluorescente de mercurio con emisión de luz ultravioleta 15 W (Marca Philips - TUV T8).
 3. Lámpara de deuterio tipo L2D2, para uso en espectroscopia (Marca Hitachi – Modelo: H4141SV, Japón).
- Tubos de goma resistentes al calor, ajustados con abrazadera para las conexiones entre las partes principales.
- Motor de combustión interna – Ciclo Otto. Se ha utilizado un motor de automóvil de uso particular, de la marca Chevrolet 1600 cc, 16V, año 1999, sin catalizador.

Consideraciones previas a la realización del experimento

- Las mediciones se han realizado en un lugar semi cerrado, para evitar el efecto de vientos en el flujo de los gases de escape que pueda afectar las mediciones, con airea-

ciones suficientes de modo a evitar posibles intoxicaciones con el monóxido de carbono.

- Utilización de una máscara con filtros a base de carbón activado, para minimizar la inhalación de los gases productos de la combustión.
- La detección del equipo portátil es de un valor máximo de 1.000 ppm (mil partes por millón) de monóxido de carbono (CO) y para realizar las mediciones, se ha introducido aire puro del ambiente por medio de una sopladora, para la dilución del monóxido de carbono.

Partes variables del experimento (Dispositivo)

Se denomina así a cada una de las partes añadidas o utilizadas desde el caño de escape hasta el equipo de medición utilizado.

Filtro del gas a analizar

A base de espuma, con lo que se retienen todas las partículas sólidas, de modo a resguardar el sensor electroquímico del equipo de medición.

Cámara de mezclado, reacción y medición

Para obtener una mejor reacción de la mezcla de gases de escape y de radicales $\text{OH}\cdot$ formados, se ha dirigido la mezcla a una cámara de mezclado para la medición.

Inyección de peróxido de Hidrógeno

La vaporización del peróxido de hidrógeno y posterior mezcla con los gases de combustión se han realizado de tres formas alternativas:

- 1- Por arrastre del vapor del peróxido de hidrógeno con aire por medio de la bomba de un equipo nebulizador conectado a un humidificador de 250 ml.
- 2- Por arrastre del vapor del peróxido de hidrógeno con aire por medio de la bomba de un equipo nebulizador conectado a un frasco tipo lavador de gases de 500 ml.
- 3- Por arrastre de vapor por el burbujeo de una porción del gas de escape en el peróxido de hidrógeno.

Inyección de aire puro

Para la inyección del aire puro se ha utilizado el aire expulsado por una aspiradora conectado al sistema de flujo del gas de escape, según las características definidas en cada experimento. El flujo de inyección de aire es regulado mediante una abertura lateral del caño de inyección, de modo a ajustar a valores en donde puedan observarse cambios en la concentración dentro de los valores del rango de detección.

Registro de datos

El equipo de medición portátil utilizado no posee una memoria de almacenamiento de datos o una forma de transmisión de los datos, por lo que se ha tenido la necesidad de filmar la pantalla del equipo de medición. Los datos fueron extraídos mediante un editor de video (Sony Sound Forge 7.0), separando las imágenes que componen el video, estableciéndose el copiado del dato cada 34 imágenes, lo que corresponde a aproximadamente un valor por segundo.

Métodos

La medición de la cantidad de monóxido de carbono emitida al ambiente en el presente trabajo, se realizó mediante un sensor portátil Extech C10, en las condiciones de funcionamiento de un motor de combustión interna, desde la salida del caño de escape del motor y a la salida del dispositivo de reacción. Las condiciones en las que se fueron desarrollando las mediciones se describen a continuación:

- En periodos de tiempo desde el inicio del funcionamiento del motor hasta llegar a valores constantes, sin reactivos y sin iluminación y con reactivos e iluminación.
- Con una determinada concentración establecida del peróxido de hidrógeno:
 - a- Con vaporización del H_2O_2
 - b- A diferentes valores de temperatura de vaporización del peróxido de hidrógeno.
 - c- A diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno, vaporizando el peróxido de hidrógeno e iluminado

con luz UV.

Generación de Radicales

La generación de los radicales hidroxilo $OH\bullet$ se realizó por medio de la fotólisis del H_2O_2 con lámpara de luz deuterio que emite radiación de luz dentro del rango ultravioleta a partir de 185 nm.



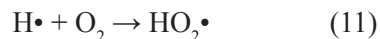
Los radicales $OH\bullet$ formados son introducidos en el mecanismo de escape del motor para el mezclado con los gases de combustión, para la reacción con el monóxido de carbono (CO), formándose un compuesto intermedio inestable radical hidrocarboxilo ($HOCO\bullet$), que se descompone en radical hidrógeno $H\bullet$ y dióxido de carbono (CO_2).



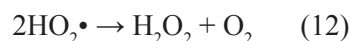
La ecuación neta es:



donde el radical hidrógeno puede reaccionar con el oxígeno del ambiente, dando radical hidroperóxido.



Se evalúa la efectividad de la reacción con la determinación de la disminución de la concentración de monóxido de carbono con la generación de radicales hidroxilo, que finalmente pueden volver a formar peróxido de hidrógeno, desprendiendo oxígeno.



Mediciones realizadas

Para cada una de las mediciones realizadas en cada experimento, se han realizado los ajustes de las lecturas de concentración del monóxido de carbono al rango de detección del equipo y realizado cada uno de los pasos descritos a continuación.

Valores de Base

Se ha realizado la medición del monóxido de carbono existente en el ambiente.

Con dispositivos

Se realizan todas las conexiones de los dispositivos

móviles mencionados a la salida del caño de escape del automóvil y se arranca el motor. Se realizan las mediciones desde el inicio hasta que la temperatura del motor llegue a la de funcionamiento estable, esto es teniendo en cuenta que en funcionamiento inicial a temperaturas bajas del motor pueden dar valores diferentes al de funcionamiento a temperatura normal máxima y luego se añade la fuente de luz y peróxido de hidrógeno y se realizan las lecturas en estas condiciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1

Valores de Base

Tabla 1. Concentración de CO (ppm) medidos en el ambiente de trabajo. **Valor Promedio:** 16 ppm. **Desviación Estándar:** 1 ppm. **N°:** Se refiere a la cantidad de mediciones realizadas.

N°	CO (ppm)	N°	CO (ppm)	N°	CO (ppm)	N°	CO (ppm)
1	16	11	17	21	17	31	15
2	15	12	16	22	16	32	15
3	15	13	16	23	16	33	15
4	15	14	15	24	16	34	15
5	15	15	15	25	15	35	16
6	16	16	15	26	15	36	16
7	16	17	16	27	16	37	16
8	15	18	16	28	15	38	15
9	16	19	15	29	15	39	16
10	16	20	16	30	16	40	16

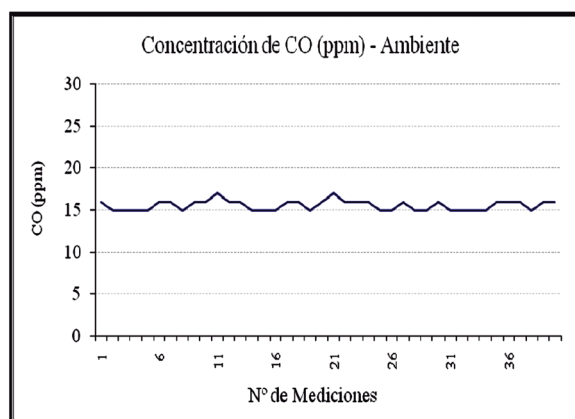


Figura 2. Valores de concentración de CO en función del tiempo medidos en el ambiente de trabajo.

Las mediciones se han realizado en el ambiente de trabajo antes de hacer funcionar el motor. En la Tabla 1 se dan los valores de la medición de CO en ppm realizada en el ambiente de trabajo, en donde se observan valores promedio de 16 ppm y una desviación estándar de 1 ppm.

En la Figura 2 se observan los valores de la concentración de CO (ppm) medidos en el ambiente de trabajo, en la que se observan valores con muy pequeñas fluctuaciones.

Medición de la concentración de CO (ppm) sin peróxido de hidrógeno y sin luz

Las mediciones de la concentración de CO del gas de escape se han realizado en las condiciones de funcionamiento normal, para tener los valores de CO iniciales. En la Tabla 2, se presentan los valores de CO (ppm) obtenidas con el tiempo.

Tabla 2. Concentración de CO (ppm) medidos del gas de escape, ajustados a valores de lectura dentro del rango de medida del equipo.

Medición	CO (ppm)	Medición	CO (ppm)	Medición	CO (ppm)
1	193	16	212	31	225
2	195	17	206	32	272
3	189	18	241	33	300
4	194	19	248	34	333
5	209	20	251	35	318
6	210	21	235	36	288
7	216	22	247	37	329
8	205	23	251	38	340
9	750	24	192	39	210
10	820	25	210	40	101
11	248	26	230	41	76
12	264	27	260	42	269
13	236	28	288	43	312
14	215	29	283		
15	218	30	254		

Mediciones de la concentración de CO en ppm con peróxido de hidrógeno y con luz

La medición se ha realizado de la mezcla del gas de escape con peróxido de hidrógeno comercial de 10

Tabla 3. Concentración de CO (ppm) medidos del gas de escape, mezclado con H_2O_2 10 Vol, iluminado con lámpara de tungsteno halogenado. N°: Se refiere a la cantidad de mediciones realizadas.

N°	CO (ppm)	N°	CO (ppm)
1	202	11	123
2	215	12	98
3	144	13	201
4	83	14	204
5	72	15	364
6	64	16	170
7	63		
8	61		
9	64		
10	160		

Vol, vaporizado e iluminado con luz proveniente de una lámpara de tungsteno halogenado.

En la Tabla 3, se presentan los valores de CO (ppm) obtenidos con el tiempo de la mezcla resultante de los gases de escape y peróxido de hidrógeno (comercial) de 10 volúmenes de concentración.

En la Tabla 4, se presentan los valores promedio de CO (ppm), el número de mediciones, la varianza y la desviación estándar de las mediciones en el ambiente de trabajo (1.1), de las mediciones del gas de escape sin peróxido de hidrógeno ni luz (1.2) y de la concentración resultante de los gases de escape y peróxido de hidrógeno (comercial) de 10 volúmenes de concentración iluminado con lámpara de tungsteno halogenado (1.3). Se ha realizado además la comparación de los resultados obtenidos de las mediciones de los gases de escape y existe una disminución del 42% en la concentración de CO (ppm) al mezclarlo con peróxido de hidrógeno e iluminarlo con la luz de una lámpara de tungsteno

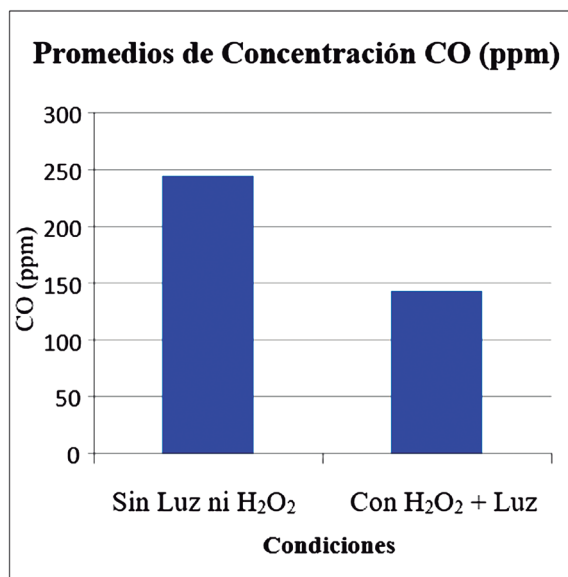


Figura 3. Concentración de CO en ppm en diferentes condiciones de medición. 1) Sin peróxido de hidrógeno, ni luz. 2) Con peróxido de Hidrógeno 10 Vol y luz de lámpara de tungsteno halogenado.

halogenado.

En las Figuras 3 y 4 se representan los valores promedios de la concentración de CO (ppm) medidos, según diferentes condiciones de determinación: 1.2) Mediciones realizadas del gas de escape sin el agregado del peróxido de hidrógeno ni luz que no sea la luz ambiental del día y la luz de un tubo fluorescente y 1.3) Mediciones realizadas de los gases de escape mezclados con peróxido de hidrógeno e iluminados con lámpara de tungsteno halogenado.

Con los resultados se ha observado una disminución de la concentración de monóxido de carbono (CO) con el agregado de la iluminación con lámpara de tungsteno halogenado a la mezcla de vapor de peróxido de hidrógeno 10 volúmenes con los gases de escape.

Tabla 4. Valores promedio de la concentración de CO en ppm en diferentes condiciones de medición.

Experimento	Valor promedio CO (ppm)	N° de Datos	Coefficiente de Variación	Desviación Estándar	% Disminución
1.1	16	40	4	1	
1.2	245	43	25	62	
1.3	143	16	58	83	43

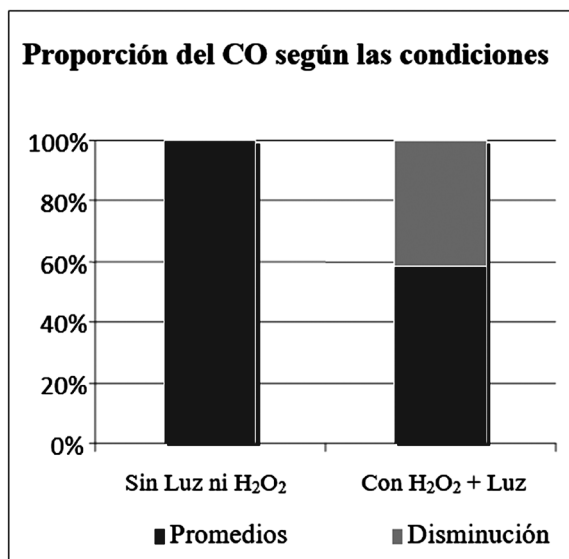


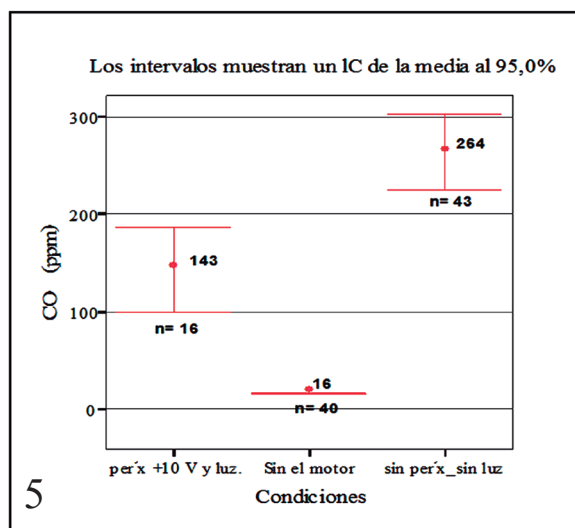
Figura 4. Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición. 1) Sin peróxido de hidrógeno, ni luz. 2) Con peróxido de hidrógeno 10 Vol y luz de lámpara de tungsteno halogenado.

Los resultados preliminares obtenidos dan valores esperados, no obstante, la lámpara de tungsteno halogenado utilizada, no tiene tanta intensidad de radiancia a longitudes de onda baja, para la generación de los radicales OH•, a partir del peróxido de hidrógeno (Gómez,2000).

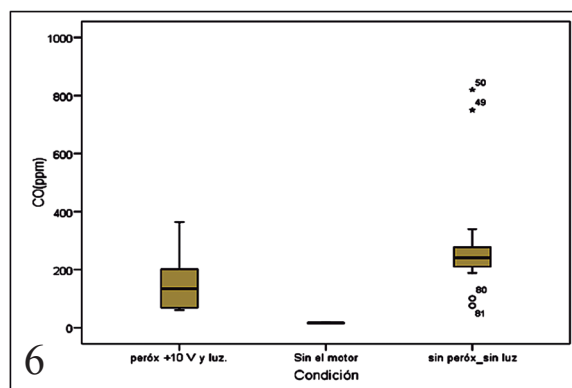
Análisis Estadístico

En las Figuras 5, 6 y 7 se muestra el comportamiento de CO según las condiciones del experimento (1), como las medias, intervalos de confianza del 95%, detección de valores extremos (teniendo en cuenta la mediana) y tamaños de las muestras (n). Se puede observar que la menor variabilidad corresponde al experimento realizado sin puesta en marcha el motor del vehículo y la mayor sin peróxido sin luz y con peróxido 10 Vol y luz respectivamente.

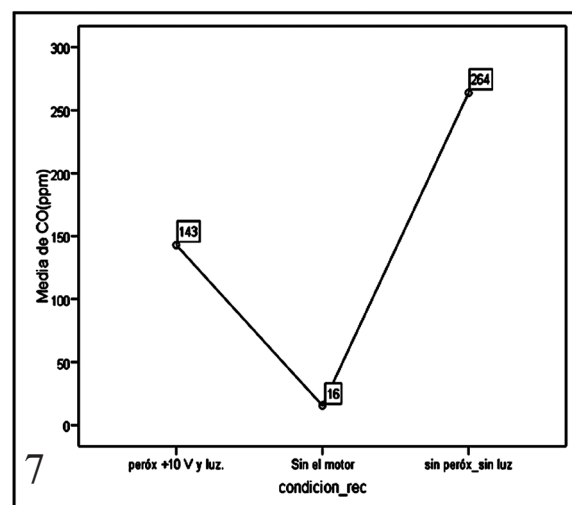
Figuras 5-7 (columna opuesta). Comportamiento del CO. 5) Gráfica de barra de error, media y su intervalo de confianza del 95%, tamaño de las muestras (n) de CO, según las condiciones del experimento (1). 6) Gráfica de cajas y bigotes de CO (ppm), según la condición del experimento (1). 7) Gráfica de medias de CO, según la condición del experimento (1).



5



6



7

Tabla 5. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, mezclado con H₂O₂ 10 Vol e iluminado con tubo fluorescente de luz UV y tungsteno halogenado.

Experimento	Condiciones	Promedios CO (ppm)	N° de Datos	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
2.1	Luz UV+Visible	90	21	36	32
2.2	Luz UV	91	48	22	31

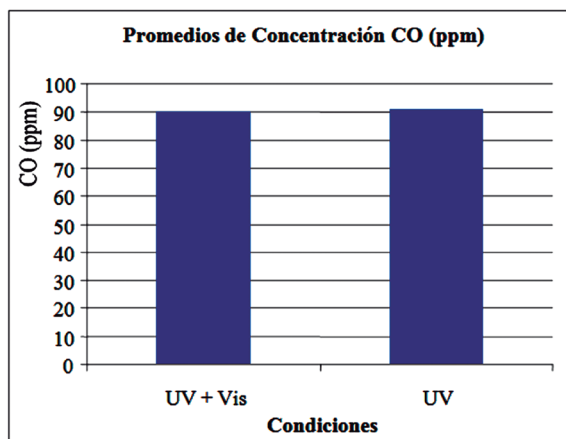
Los datos no presentan homogeneidad de la varianza con la prueba de Levene ($p < 0,05$). Presentan valores extremos inferiores y superiores (teniendo en cuenta la mediana) con las mediciones de sin peróxido de hidrógeno y sin luz (sin peróxido sin luz). Así mismo, presentan diferencias significativas entre cada una de las condiciones de mediciones de CO en sus valores de las medianas con la prueba de Friedman y Wilcoxon ($p < 0,05$), donde los mayores valores de CO se concentran en la medición de sin peróxido y sin luz y los menores sin puesta del motor en marcha.

Experimento 2

Se ha cambiado la fuente de luz visible, utilizando un tubo fluorescente de emisión en el rango UV colocado en el caño corrugado de flujo de la mezcla de gases de escape y peróxido de hidrógeno e incorporando la utilización de un soplador de aire, de modo a que los valores de concentración de monóxido de carbono no presenten mucha oscilación en el rango de lectura del equipo de medición.

Eficiencia de la generación de radicales OH• con la combinación de fuentes de luz

Las condiciones de funcionamiento, se detallan en la Tabla 5, en la que se dan los valores promedios, el número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las me-

**Figura 8.** Promedios de la concentración de CO (ppm) en diferentes condiciones de medición. 1) Peróxido de hidrógeno con luz visible y luz UV. 2) Peróxido de hidrógeno con luz UV.

diciones realizadas del CO (ppm), en el Experimento 1: con Luz UV + Luz visible y peróxido de hidrógeno y en el Experimento 2: utilizando solamente luz UV.

Los resultados obtenidos son casi similares para ambas condiciones de medición, lo que puede ser un indicador de la casi nula producción de radicales OH• por medio de la lámpara de tungsteno halogenado.

En la Figura 8 se representan los valores promedios de la concentración de CO (ppm) medidos, con luz UV y visible y solamente con luz UV, donde los resultados presentan valores casi similares en ambas determinaciones sin una disminución apreciable

Tabla 6. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, mezclado con H₂O₂ 10 Vol, sin luz e iluminado con tubo fluorescente de luz UV.

Experimento	Condiciones	Promedios CO (ppm)	N° de Datos	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
2.3	Sin luz UV	86	80	35	30
2.4	Con luz UV	66	47	29	20

con la combinación de lámparas.

Generación de radicales $\text{OH}\cdot$ a partir del peróxido de hidrógeno con luz UV

Las condiciones de funcionamiento, se detallan en la Tabla 6, en la que se dan los valores promedios, el número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las mediciones realizadas del CO (ppm), en el Experimento 2.3: Sin Luz UV y en el Experimento 2.4: utilizando luz UV.

El valor promedio de la concentración de CO medidos sin luz, fue de 86 ppm, mientras que al mezclar los gases de escape con vapor de peróxido de hidrógeno e iluminar con la luz UV se obtuvo un valor de 66 ppm en CO, lo que corresponde una disminución de 23% en la concentración de CO.

En las Figuras 9 y 10 se observan los valores promedio de la concentración de CO (ppm) medidos en las condiciones sin luz UV y con luz UV, donde los valores obtenidos sin luz UV, poseen valores promedio mayores (86 ppm) que

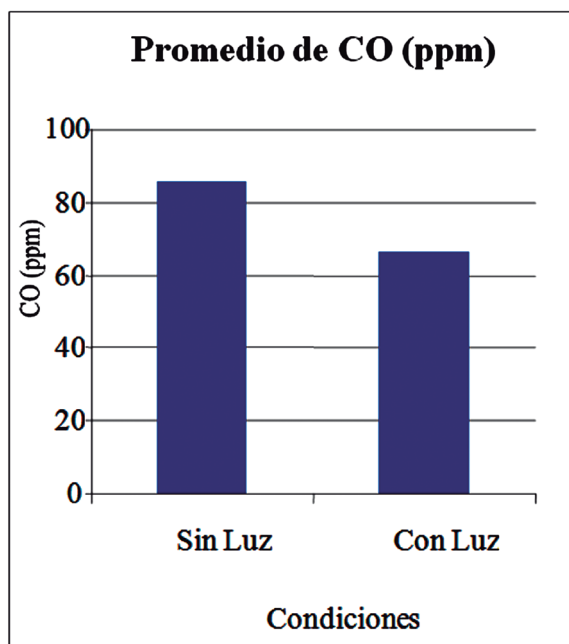


Figura 9. Concentración de CO en ppm en diferentes condiciones de medición. 1) Sin peróxido de hidrógeno, ni luz. 2) Con peróxido de hidrógeno 10 Vol y luz de lámpara de tungsteno halogenado.

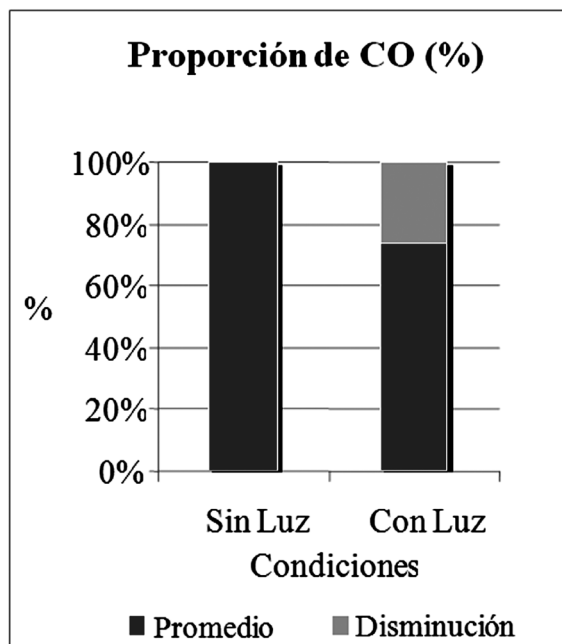


Figura 10. Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición: 1) Sin peróxido de hidrógeno, ni luz y 2) Con peróxido de hidrógeno 10 Vol y luz de lámpara de tungsteno halogenado.

las mediciones obtenidas con luz UV (66 ppm), dando una proporción de disminución del 23,2% al utilizar el peróxido de hidrógeno de 10 volúmenes e iluminar con luz de lámpara de tungsteno halogenado.

Evaluación de la reproductibilidad de los resultados alternando las mediciones con iluminación y sin iluminación

En la Tabla 7, se muestran los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar del CO (ppm) con nueva solución de peróxido de hidrógeno comercial de 10 Vol, utilizando otro humidificador. Los experimentos 2.5, 2.6, 2.7 se realizaron con luz UV y en los experimentos 2.8 y 2.9 sin luz UV.

Los valores promedio de la concentración de CO (ppm) de 45 ppm obtenidos al iluminar con luz UV, no refleja una disminución con respecto a los valores obtenidos sin iluminación de 43 ppm. La diferencia entre 43 y 45 ppm está dentro del error experimental (la desviación estándar es de 6 ppm

Tabla 7. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, mezclado con H_2O_2 10 Vol, sin luz e iluminado con tubo fluorescente de luz UV.

Experimento	Condiciones	Promedios CO (ppm)	Promedio CO (ppm)	N° de Datos	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
2.5	Con luz UV	53		282	493	22
2.6	Con luz UV	38		182	51	7
2.7	Con luz UV	43	45	69	41	6
2.8	Sin luz UV	38		329	126	11
2.9	Sin luz UV	35	43	55	85	9

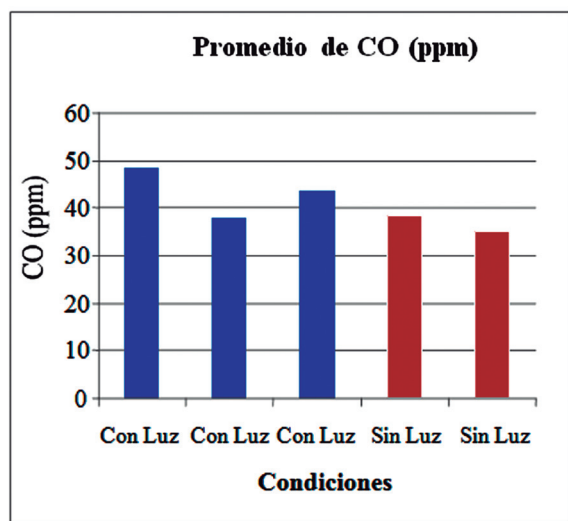


Figura 11. Concentración de CO en ppm en diferentes condiciones de medición de los gases de escape con H_2O_2 10 Vol. 1) Sin luz. 2) con luz UV.

en un caso y 9 ppm en el otro).

En las Figuras 11 y 12 se observan los valores promedio de la concentración de CO (ppm), medidos en las condiciones ambientales (2 repeticiones) y con luz UV (3 repeticiones), en donde no se reproduce la disminución con la adición de luz UV y H_2O_2 10Vol, sino que al contrario se observa un aumento (-6,6%), que puede ser influenciado por otros factores (soplador).

Dispositivo de producción del vapor de peróxido de hidrógeno con bomba de nebulizador y frasco de 500 ml

En la Tabla 8, se dan los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las medicio-

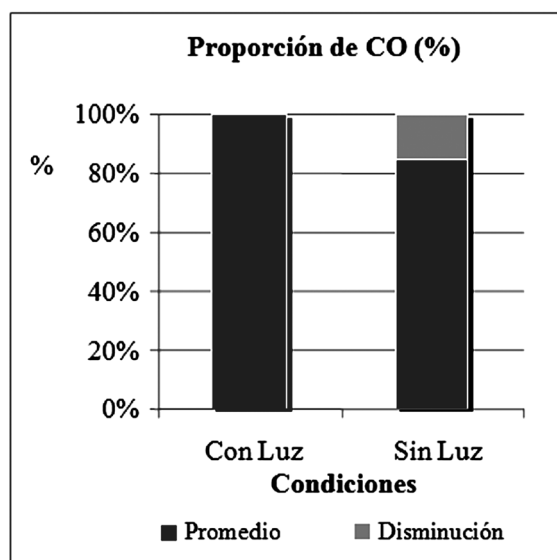


Figura 12. Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Con peróxido de Hidrógeno 10 Vol y luz UV y sin peróxido de hidrógeno, ni luz.

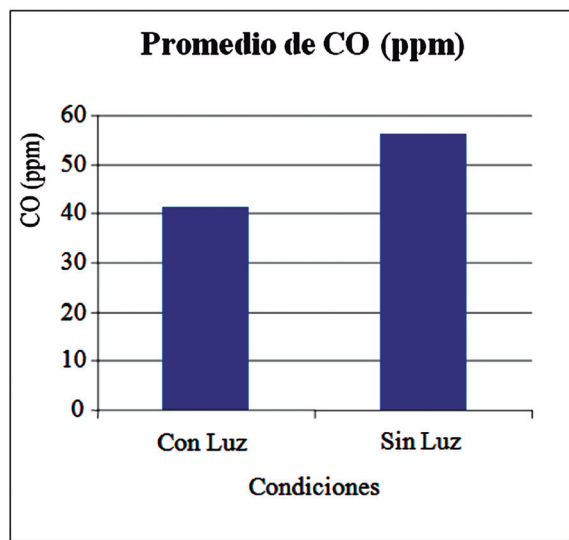
nes realizadas del CO (ppm), al utilizar otro humidificador (2), con luz UV (2.10) y sin luz (2.11).

Se observa la disminución de la concentración del CO por la iluminación con luz UV, con un promedio de 42 ppm en la concentración de CO y 56 ppm sin la iluminación, lo que equivale a una disminución del 26% en la concentración de monóxido de carbono.

En las Figuras 13 y 14 se observan los valores promedios de las concentraciones de CO (ppm) medidos, sin luz y sin peróxido de hidrógeno (56 ppm), con un valor mayor que el promedio de las mediciones obtenidas con luz UV (42 ppm), dando

Tabla 8. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, mezclado con H_2O_2 10 Vol, sin luz e iluminado con luz de tubo fluorescente UV.

Experimento	Condiciones	Promedios CO (ppm)	N° de Datos	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
2.10	Luz UV y H_2O_2 10 Vol	42	124	40	17
2.11	Sin luz UV	56	123	34	19

**Figura 13.** Concentración de CO en ppm en diferentes condiciones de medición: Con H_2O_2 10 Vol y luz UV y Sin peróxido de hidrógeno ni luz UV.

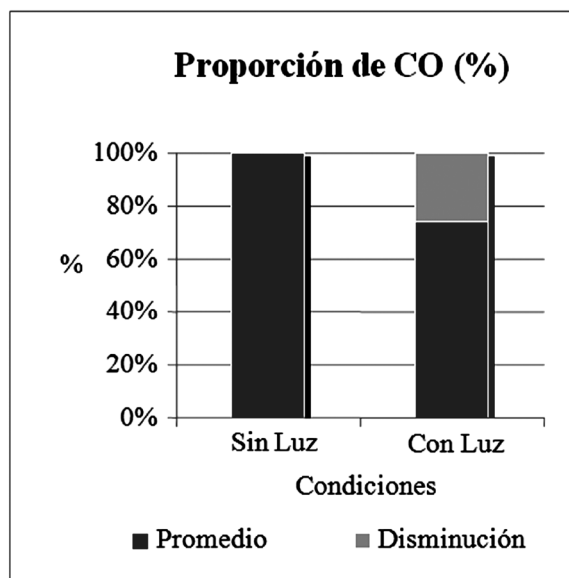
una disminución del 26% en la concentración de monóxido de carbono.

Punto de mezcla del vapor de peróxido de hidrógeno con los gases de escape en la cámara de reacción

En la Tabla 9, se muestran los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las mediciones realizadas del CO (ppm), al iluminar con la luz UV en la cámara de reacción (2) y sin luz.

Tabla 9. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, mezclado con H_2O_2 10 Vol, sin luz UV e iluminado con luz UV.

Experimento	Condiciones	Promedios CO (ppm)	N° de Datos	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
2.12	Sin luz UV	56	123	34	19
2.13	Con luz UV	53	201	38	20

**Figura 14.** Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Con peróxido de hidrógeno 10 Vol y luz UV y sin peróxido de hidrógeno, ni luz.

Los valores promedio de CO de 56 ppm, obtenidos al realizar el cambio del punto de mezcla del vapor del peróxido de hidrógeno con los gases de escape en la cámara de reacción, no produjeron una disminución significativa de la concentración de monóxido de carbono al obtenido sin la iluminación que fue de 53 ppm en CO. Esto evidencia el efecto de la turbulencia generada por el caño corrugado en la eficiencia de reacción de la mezcla de reactivos.

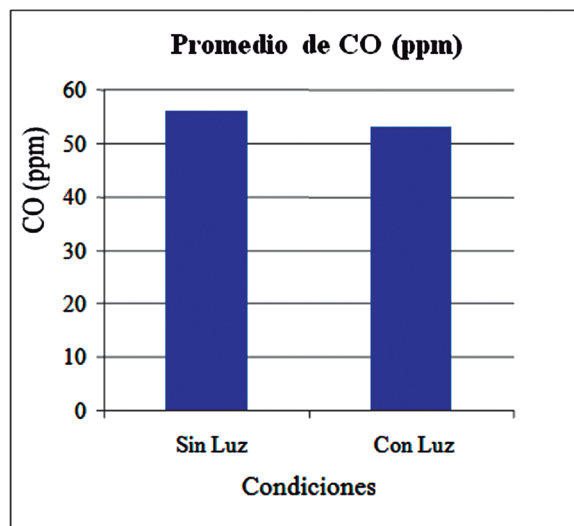


Figura 15. Concentración de CO en ppm en diferentes condiciones de medición: Sin peróxido de hidrógeno ni luz UV y con H_2O_2 y luz UV.

En las Figuras 15 y 16 se observan los valores promedios de las concentraciones de CO (ppm) medidos, sin luz y sin peróxido de hidrógeno (56 ppm), con valores mayores que las mediciones obtenidas con luz UV y peróxido de hidrógeno 10 Vol (53 ppm), dando una disminución del 3% en la concentración de monóxido de carbono.

Con el tubo fluorescente de luz UV dentro de la cámara de reacción

En la Tabla 10, se muestran los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las mediciones realizadas del CO (ppm), al iluminar con la luz UV en la cámara de reacción (2) y sin luz.

Se observa una disminución de la concentración del CO por la iluminación con luz UV en la cámara de reacción a un promedio de 35 ppm, del 54 ppm obtenido sin la iluminación, lo que equivale

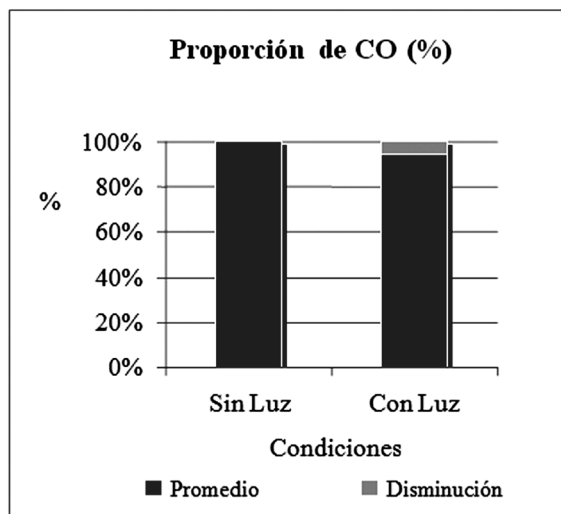


Figura 16. Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Con peróxido de Hidrógeno 10 Vol y luz UV y sin peróxido de hidrógeno, ni luz.

a una disminución del 36% en la concentración de monóxido de carbono. Que se observa un mayor porcentaje de disminución con la obtenida en las mismas condiciones, pero iluminando dentro del caño corrugado, observándose el efecto de la superficie de reacción o el volumen del reactor.

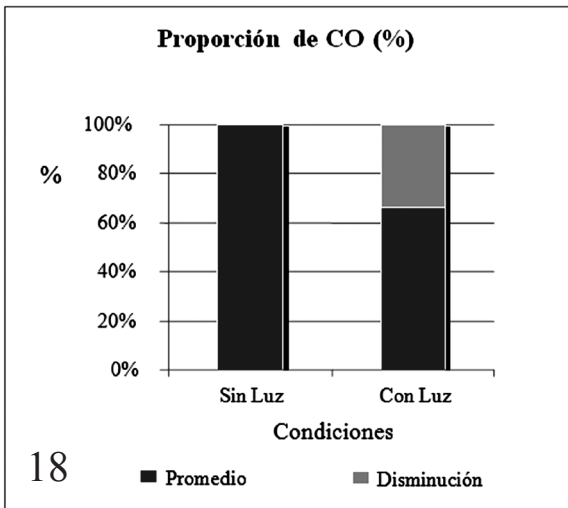
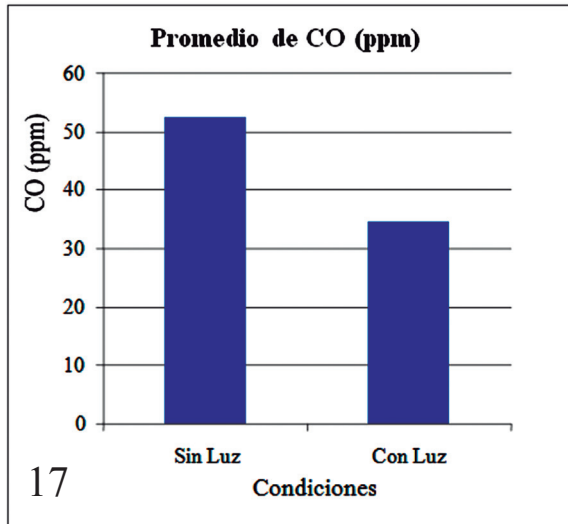
En las Figuras 17 y 18 se observan los valores promedios de las concentraciones de CO (ppm) medidos, sin luz y sin peróxido de hidrógeno (54 ppm), con valores mayores que las mediciones obtenidas con luz UV y peróxido de hidrógeno 10 Vol (35 ppm), lo que da una disminución del 36% en la concentración de monóxido de carbono al utilizar luz UV.

Análisis Estadístico

En las Figuras 19, 20 y 21 se muestra el comportamiento de CO según las condiciones del Experimento 2, como las medias, intervalos de confianza

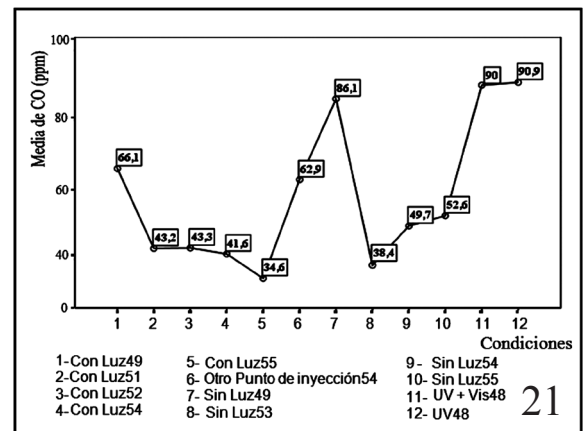
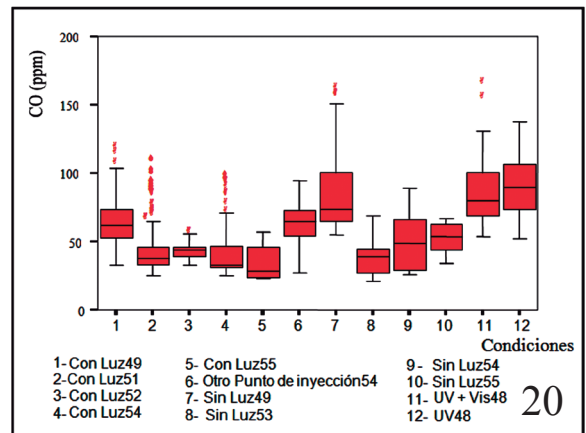
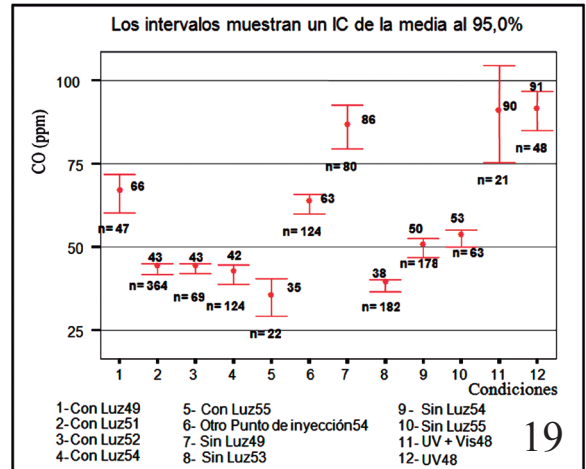
Tabla 10. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, mezclado con H_2O_2 10 Vol, sin luz UV e iluminado con luz UV dentro de la cámara de reacción.

Experimento	Condiciones	Promedios CO (ppm)	N° de Datos	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
2.14	Con luz UV	35	22	37	13
2.15	Sin luz UV	54	22	16	9



Figuras 17-18. Valores promedio de las concentraciones de CO (ppm). **17)** Concentración de CO en ppm en diferentes condiciones de medición: Con H_2O_2 10 Vol y luz UV y Sin peróxido de hidrógeno ni luz UV. **18)** Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Con peróxido de hidrógeno 10 Vol y luz UV y sin peróxido de hidrógeno, ni luz.

del 95%, detección de valores extremos (teniendo en cuenta la mediana) y tamaños de las muestras (n). Se puede observar que la menor variabilidad corresponde al experimento realizado sin luz y con luz; la mayor UV+Visible 48 respectivamente. Los datos no presentan homogeneidad de la varianza con la prueba de Levene ($p < 0,05$). Presentan va-



Figuras 18-21. Comportamiento del CO según las condiciones del Experimento 2. **19)** Gráfica de barra de error, media y su intervalo de confianza del 95%, tamaño de las muestras (n) de CO, según las condiciones del experimento (2). **20)** Gráfica de cajas y bigotes de CO, según la condición del experimento (2). **21)** Gráfica de medias de CO, según la condición del experimento (2).

Tabla 11. Resumen de valores de concentración de CO en ppm medidos en el ambiente de trabajo y de valores de CO (ppm) de ajuste de condiciones.

Experimento	Condiciones	Promedio CO (ppm)	N° de Datos	Coefficiente de Variación	Desviación Estándar
31	Valores de Base	6	60	5	0,3
32	Ajuste	401	114	4	18

lores extremos superiores (teniendo en cuenta la mediana) con casi todas las condiciones de este experimento, con mayor proporción con luz 51 y luz 54.

Así mismo también presentan diferencias significativas entre cada una de las condiciones de mediciones de CO en sus valores de las medianas a excepción entre UV48 - UV + Vis48 y Sin Luz49 - UV + Vis48 y Sin Luz49 - UV48 con la prueba de Friedman y Wilcoxon ($p > 0,05$), donde los mayores valores de CO se concentran con la medición de Sin luz49, UV + Vis48 y UV48 y los demás con menores valores.

Se observaron cambios en las concentraciones de CO utilizando como fuente de luz tubo fluorescente UV, y por las características de la misma la emisión de luz corresponda mayormente al rango UVA (320 – 400 nm), con lo que la generación de radicales puede estar sujeto a la energía suministrada mediante la misma.

Experimento 3

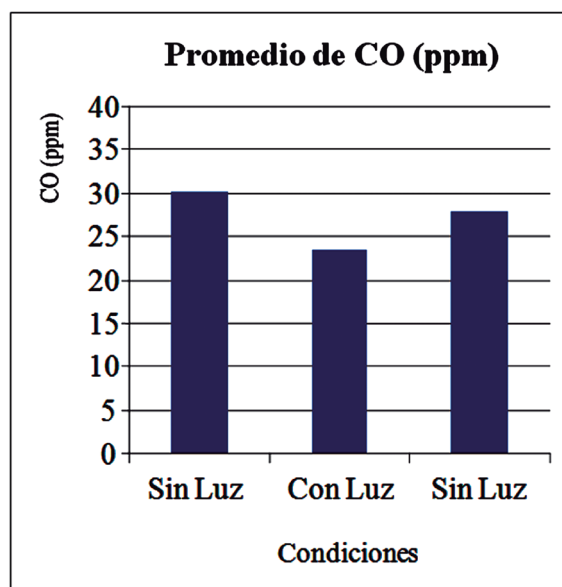
Antes de afirmar que la lámpara utilizada no es la adecuada, se ha realizado el mismo experimento utilizando peróxido de hidrógeno de mayor concentración de calidad para análisis de 100 volúmenes, modificado el sistema de inyección por arrastre del vapor por medio del burbujeo (Vaporizador 2) y se ha modificado cambiado la ubicación de la fuente de luz.

Tabla 12. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, mezclado con H₂O₂ 10 Vol, sin luz UV e iluminado con luz UV dentro de la cámara de reacción.

Experimento	Condiciones	Promedio CO (ppm)	N° de Datos	Coefficiente de Variación	Desviación Estándar
3.3	Sin Luz	30	132	25	8
3.4	Luz UV y H ₂ O ₂ 10 V	24	331	16	4
3.5	Sin Luz	28	301	23	6

Las mediciones se han realizado en el ambiente de trabajo antes de hacer funcionar el motor. En la Tabla 11 se dan los valores de la medición de CO en ppm realizada en el ambiente de trabajo, en donde se observan valores promedio de 6 ppm, un coeficiente de variación de 1 y una desviación estándar de 0,3.

Eficiencia y reproducibilidad de la generación

**Figura 22.** Concentración de CO en ppm en diferentes condiciones de medición: Con H₂O₂ 10 Vol y luz UV y Sin peróxido de hidrógeno ni luz UV (antes y después).

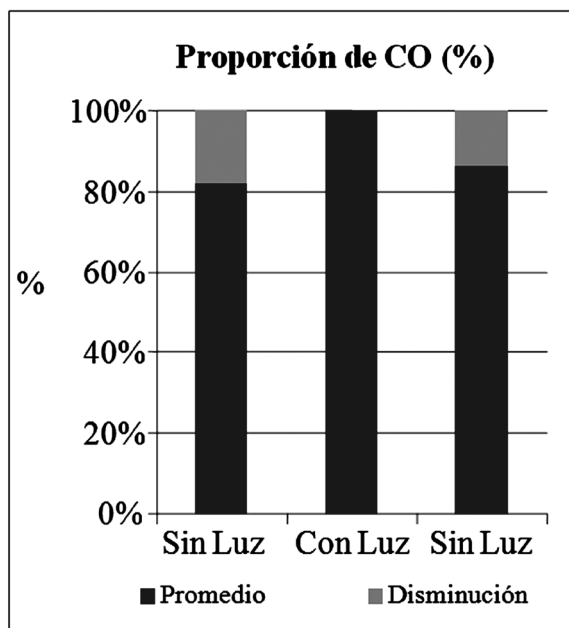


Figura 23. Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Con peróxido de hidrógeno 10 Vol y luz UV y sin peróxido de hidrógeno, ni luz.

de radicales OH• con fuente de luz UV y peróxido de hidrógeno 10 Vol

En la Tabla 12, se muestran los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las mediciones realizadas del CO (ppm), al iluminar con la luz UV en la cámara de reacción (2) y sin luz.

Se observa la disminución de la concentración promedio del CO desde 30 ppm (sin luz UV) a 24 ppm con luz UV y con un valor de 28 ppm del CO sin luz UV, lo que corresponde a una disminución promedio del 19%.

En las Figuras 22 y 23 se observan los valores promedios de las concentraciones de CO (ppm)

medidos, sin luz y sin peróxido de hidrógeno (30 ppm), con valores mayores que las mediciones obtenidas con luz UV y peróxido de hidrógeno 10 Vol (24 ppm) y sin luz ni peróxido de hidrógeno (30 ppm), dando una disminución del 7% en la concentración de monóxido de carbono cuando es iluminado con luz UV y presencia de peróxido de hidrógeno.

Evaluación de la eficiencia con la concentración del peróxido de hidrógeno (10 Vol 100 Vol) y luz UV

En la Tabla 13, se muestran los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las mediciones realizadas del CO (ppm), al iluminar con la luz UV en la cámara de reacción (2) y sin luz.

Se observa la disminución de la concentración del CO de 30 ppm (medida sin luz UV), utilizando

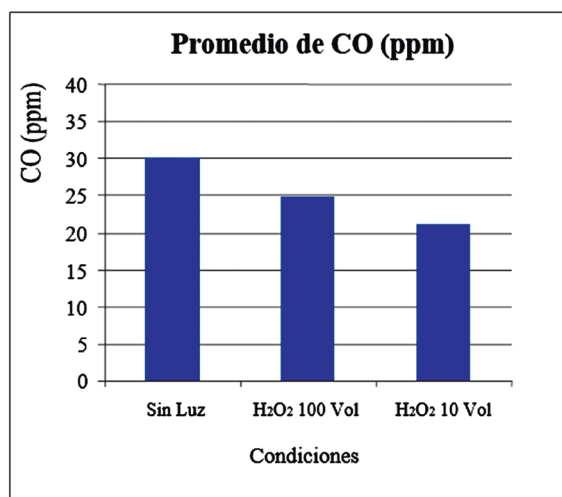


Figura 24. Concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Sin luz, Con Luz UV: H₂O₂ 100 Vol y H₂O₂ 10 Vol.

Tabla 13. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, sin luz e iluminado con luz UV, con H₂O₂ 10 Vol y 100 Vol.

Experimento	Condiciones	Promedio CO (ppm)	N° de Datos	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
3.5	Sin Luz	30	132	25	8
3.6	Luz UV y H ₂ O ₂ 10 V	21	176	11	2
3.7	Luz UV y H ₂ O ₂ 100 V	24	278	35	9

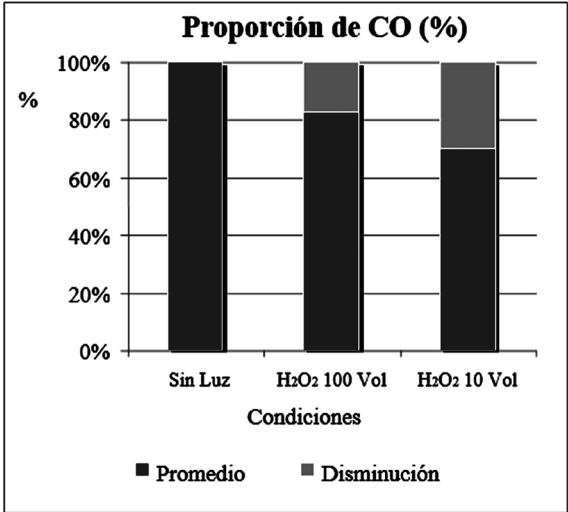


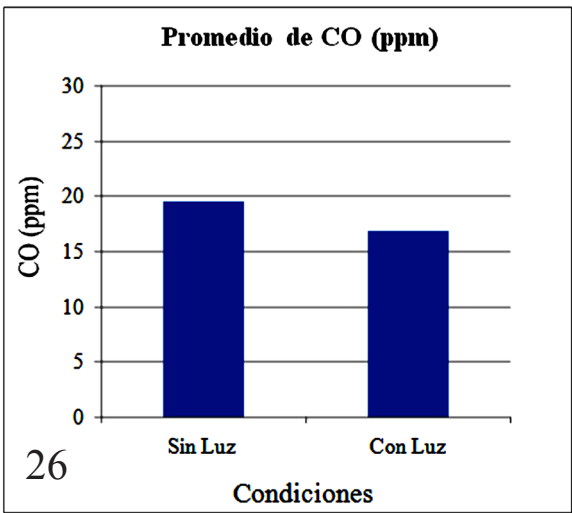
Figura 25. Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Sin luz y Con Luz UV: H₂O₂ 100 Vol y H₂O₂ 10 Vol.

luz UV con peróxido de hidrogeno de 10 Volúmenes a un promedio de 21 ppm y de 24 ppm con el peróxido de hidrógeno de 100 volúmenes.

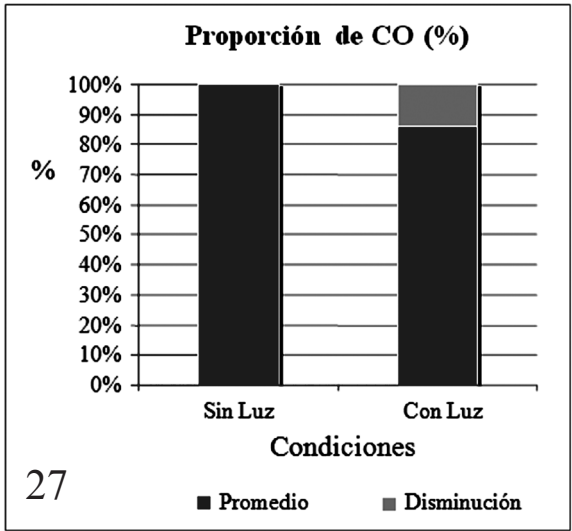
En las Figuras 24 y 25 se observan los valores promedios de CO (ppm) medidos, sin luz (30 ppm), con valores mayores que las mediciones con luz UV y H₂O₂ 10 Vol (21 ppm) y H₂O₂ 100 Vol (24 ppm), lo que equivale a una mayor eficiencia en 10% con el peróxido de hidrógeno de 10 Vol con respecto al del H₂O₂ 100 Vol.

Evaluación de la eficiencia de la reacción: Inyección del vapor de peróxido de hidrógeno de 10 volúmenes en la cámara de reacción

En la Tabla 14, se muestran los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las mediciones realizadas del CO (ppm), sin iluminación con luz UV y con la



26



27

Figuras 26-27. Valores promedios de CO (ppm). 26) Concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Sin luz, Con luz UV y H₂O₂ 10 Vol en la cámara de reacción. 27) Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Sin luz y Con luz UV y H₂O₂ 10 Vol en la cámara de reacción.

Tabla 14. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, sin luz e iluminado con luz UV en la cámara de reacción.

Experimento	Condiciones	Promedio CO (ppm)	N° de Datos	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
3.8	Luz UV (cámara de reacción)	17	110	8	1
3.9	Sin luz UV	19	79	20	4

iluminación con luz UV e inyección del H_2O_2 en la cámara de reacción.

Se observa que el promedio de la concentración del CO disminuye de 19 ppm sin la iluminación con luz UV a 17 ppm al realizar la inyección directamente en la cámara de reacción.

En las Figuras 26 y 27 se observan los valores promedios de CO (ppm) medidos, sin Luz UV (19 ppm), con valores mayores que las mediciones con luz UV y H_2O_2 10 Vol (17 ppm) cuando la inyección del H_2O_2 se realiza en la cámara de reacción con una disminución del 14% en la concentración de CO(ppm).

Análisis Estadístico

En la Figuras 28, 29 y 30 se muestra el comportamiento de CO según las condiciones del Experimento 3, como las medias, intervalos de confianza del 95%, detección de valores extremos (teniendo en cuenta la mediana) y tamaños de las muestras (n). Se puede observar que la menor variabilidad corresponde al experimento realizado con 10 Vol, la mayor 100 Vol de peróxido respectivamente. Los datos no presentan homogeneidad de la varianza con la prueba de Levene ($p < 0,05$). Presentan valores extremos superiores (teniendo en cuenta la mediana) para todas las condiciones de este experimento 3, con mayor proporción sin luz y 100 Vol.

Así mismo también presentan diferencias significativas entre cada una de las condiciones de mediciones de CO en sus valores de las medianas con la prueba de Friedman y Wilcoxon ($p < 0,05$), donde los mayores valores de CO se concentran con la medición de Sin luz y 100 Vol y los valores menores con 10 Vol de peróxido.

Experimento 4

Se incorpora la lámpara de luz UV de Deuterio

Figuras 28-30 (columna opuesta). Comportamiento de CO según las condiciones del Experimento 3. **28)** Gráfica de barra de error, media y su intervalo de confianza del 95%, tamaño de las muestras (n) de CO, según las condiciones del experimento 3. **29)** Gráfica de cajas y bigotes de CO, según la condición del experimento (3). **30)** Gráfica de medias de CO, según la condición del experimento 3.

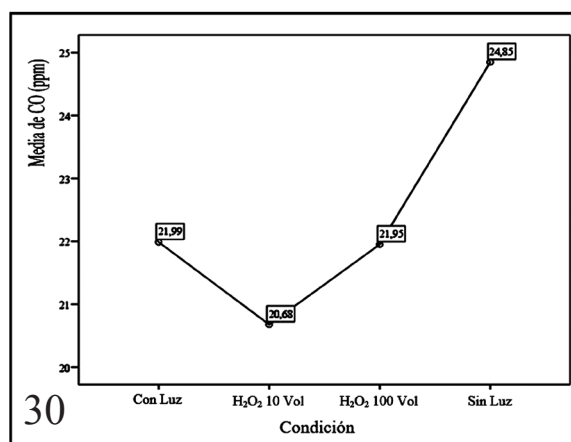
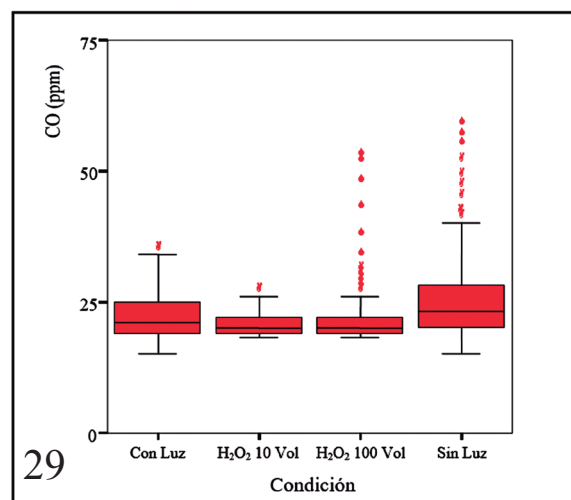
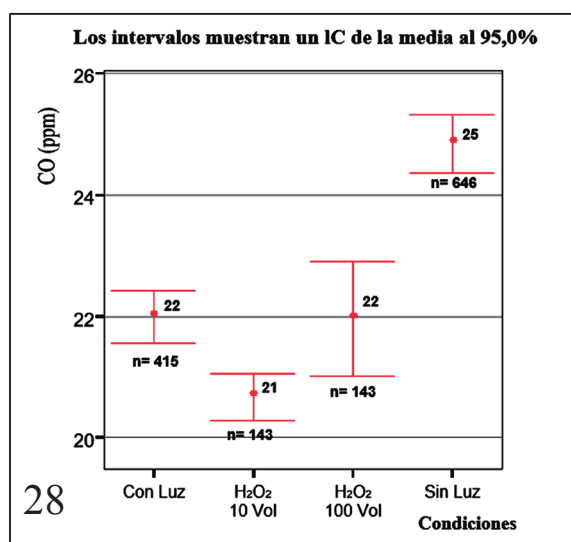


Tabla 15. Concentraciones promedio, coeficiente de variación y desviación estándar de CO (ppm) medidos del gas de escape, sin luz e iluminado con luz UV, con H_2O_2 10 Vol y 100 Vol.

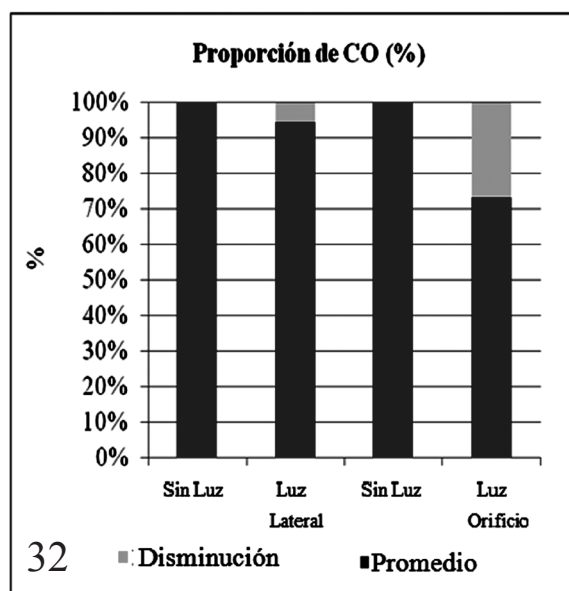
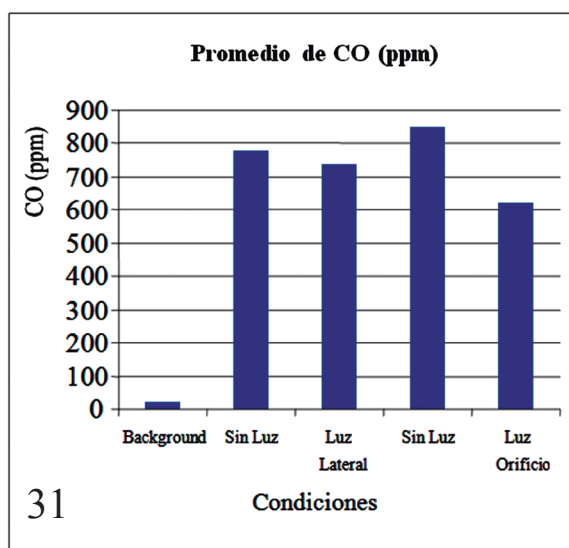
Experimento	Promedios CO (ppm)	N° de Datos	Referencia	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
4.1.1	18	48	Valores de base	4	1
4.1.2	777	117	Sin luz UV	15	120
4.1.3	733	285	Lateral de la cámara (2)	8	60
4.1.4	849	245	Sin luz UV	5	40
4.1.5	623	213	Orificio de la cámara (2)	13	80

tipo L2D2, de un espectrofotómetro de la marca Hitachi, con lo que se garantiza la emisión de luz a partir de longitud de onda 185 nm, y con un valor alto de intensidad de radiancia para la obtención de radicales OH^\bullet . Se ha cambiado el soplador por otro con fuente externa de 220 V con caudal de aire regulable, debido a que se han observado algunas fluctuaciones en la concentración de CO medido, sin el agregado del peróxido de hidrógeno ni luz UV, lo que se ha atribuido a que el soplador de 12 V alimentado con la batería del auto es afectado por la disminución de la tensión al funcionar el ventilador de refrigeración del motor, con lo que la velocidad de flujo de aire y la concentración de monóxido de carbono. Se ha cambiado el recipiente de mezcla y reacción por un frasco de vidrio con una mayor capacidad (aproximadamente de 5 litros).

Iluminación de la mezcla con luz UV - lámpara de deuterio L2D2

En la Tabla 15, se muestran los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las mediciones realizadas del CO (ppm), al iluminar con la luz UV la cámara de reacción, a través de la pared y por un orificio de la cámara de reacción utilizando peróxido de hidró-

Figuras 31-32 (columna opuesta). Concentraciones de CO (ppm). **31)** Concentración de CO en ppm del Background y en condiciones de medición: Sin luz, Con luz UV (Lateral de la cámara de reacción), Sin luz y con luz UV (Orificio de la cámara de reacción) con H_2O_2 100 Vol. **32)** Proporción de la concentración de CO en ppm en condiciones de medición: Sin luz - Con luz UV (Lateral de la cámara de reacción) y Sin luz - Con luz UV (Orificio de la cámara de reacción), con H_2O_2 100 Vol.



geno 100 Volúmenes, observándose que iluminando por el orificio de la cámara de reacción se tiene una mayor disminución (27%) de la concentración de CO (ppm) del iluminado a través de la pared (6%) con respecto a los valores obtenidos de CO sin luz. Este hecho se debe a la influencia de absorción de la luz por el material de la cámara de reacción (Vidrio de borosilicato).

En las Figuras 31 y 32 se observan las concentraciones de CO (ppm) medidas, del ambiente de trabajo, sin luz UV, en las condiciones de iluminación con luz UV a través de las paredes del recipiente y utilizando H₂O₂ 100 Vol e iluminado a través de un orificio de la tapa de la cámara de reacción, observándose la disminución de los valores de monóxido de carbono para ambos casos, pero, presentando una disminución mayor cuando la iluminación se realiza en forma directa a través del orificio de la tapa de la cámara de reacción (27%) de cuando se ilumina a través de la pared (6%). Este hecho indica que la luz UV ha sido absorbida por el material del recipiente utilizado.

Evaluación del efecto de la temperatura del peróxido de hidrógeno

En la Tabla 16, se muestran los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las mediciones realizadas del CO (ppm), al iluminar con luz UV la cámara de reacción a diferentes temperaturas del peróxido de hidrógeno de 100 volúmenes, medidos mediante un termómetro de mercurio sumergido en el peróxido de hidrógeno. Se observa que el aumento de la temperatura del peróxido de hidrógeno, no ha favorecido la reacción de disminución de la

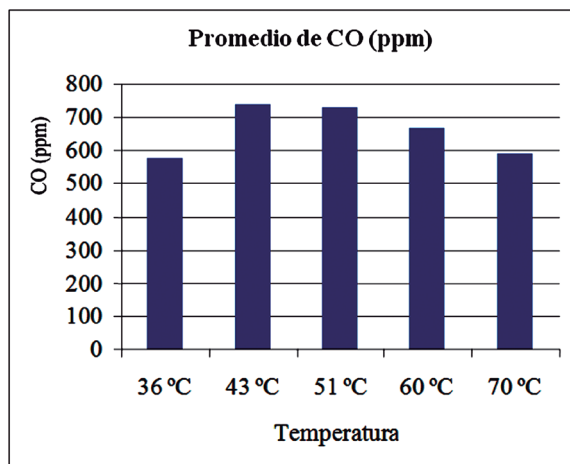


Figura 33. Efecto de la temperatura del peróxido de hidrógeno en la reacción.

concentración de CO.

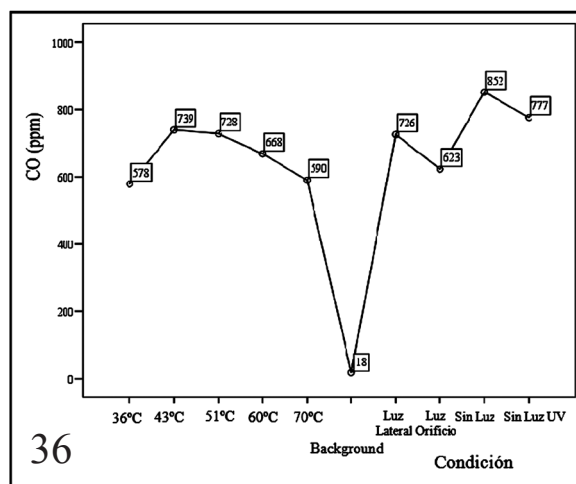
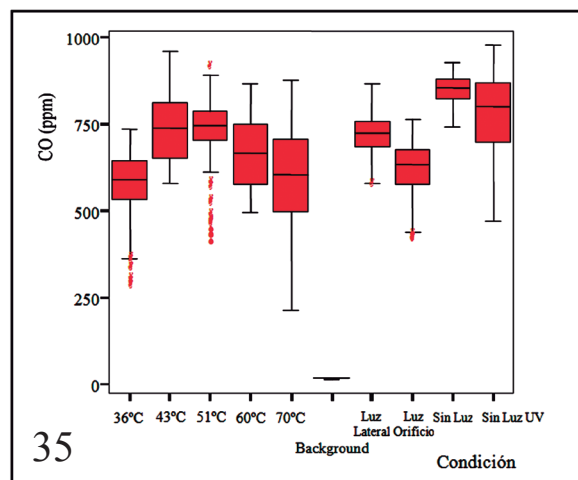
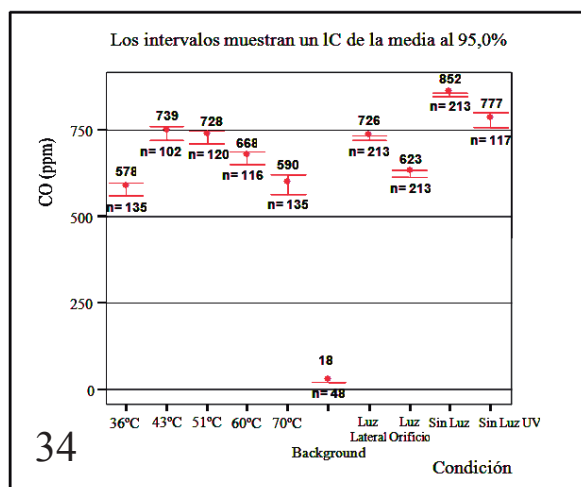
En la Figura 33 se observa que las concentraciones promedio del CO (ppm), medidos con luz UV y H₂O₂ 100 Vol a diferentes temperaturas, presentan aumentos desde 36 °C a 43 °C, siendo a esta temperatura el mayor valor obtenido y disminuyendo posteriormente a mayores temperaturas.

Análisis Estadístico

En las Figuras 34, 35 y 36 se muestra el comportamiento de CO según las condiciones del experimento (4), como las medias, intervalos de confianza del 95%, detección de valores extremos (teniendo en cuenta la mediana) y tamaños de las muestras (n). Se puede observar que la menor variabilidad corresponde al experimento realizado con los valores de base, la mayor a 70°C de peróxido y Sin luz UV, respectivamente.

Tabla 16. Concentración promedio del CO (ppm) determinado iluminando con luz UV L2D2 y H₂O₂ 100 Vol, variando la temperatura del peróxido de hidrógeno.

Experimento	Promedio CO (ppm)	N° de Datos	Temperatura °C	Coeficiente de Variación	Desviación Estándar
4.2.1	578	135	36	18	103
4.2.2	739	102	43	13	98
4.2.3	728	120	51	14	101
4.2.4	668	116	60	15	101
4.2.5	590	135	70	28	163



Figuras 34-36 (columna opuesta). Comportamiento de CO según las condiciones del experimento 4. **34)** Gráfica de barra de error, media y su intervalo de confianza del 95%, tamaño de las muestras (n) de CO, según las condiciones del experimento (4). **35)** de cajas y bigotes de CO, según la condición del experimento (4). **36)** Gráfica de medias de CO, según la condición del experimento (4).

Los datos no presentan homogeneidad de la varianza con la prueba de Levene ($p < 0,05$). Presentan valores extremos inferiores (teniendo en cuenta la mediana) para las condiciones de 36°C, 51°C y Luz-Orificio en este experimento (4), con mayor proporción a 51°C de temperatura. Presentan diferencias significativas entre cada una de las condiciones de mediciones de CO en sus valores de las medianas, a excepción entre 70°C-36°C y 51°C-43°C con la prueba de Friedman y Wilcoxon ($p > 0,05$), donde los mayores valores de CO se concentran con la medición de 43°C y Sin luz y los valores menores con los valores de base.

Experimento 5

Se han modificado las condiciones del experimento anterior, con la utilización de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno, así como el cambio de diseño de la cámara de reacción para el agregado de una rejilla metálica impregnada con dióxido de titanio - TiO_2 como catalizador. Las concentraciones de peróxido de hidrógeno se han preparado por dilución del reactivo puro PA 100Volúmenes.

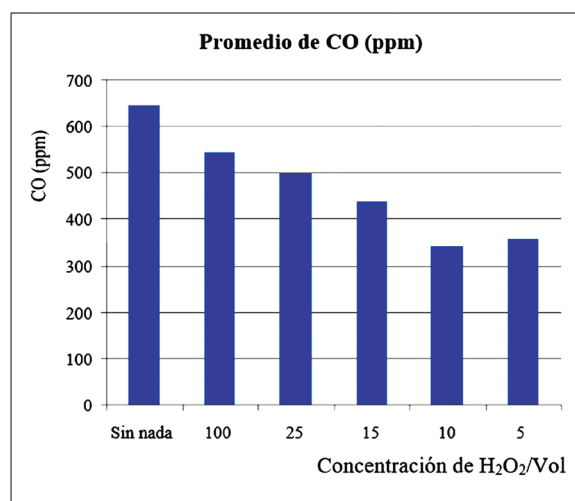
En la Tabla 17, se muestran los valores promedios, número de mediciones, el coeficiente de variación y la desviación estándar de las mediciones realizadas del CO (ppm), al iluminar con luz UV la cámara de reacción a diferentes concentraciones del peróxido de hidrógeno desde 5 a 100 Volúmenes. Se observa la disminución de la concentración de CO con la disminución de la concentración de H_2O_2 hasta el de 10 Vol y aumentando de nuevo con la concentración de 5 Vol.

Al tener en cuenta las disminuciones de concentración de CO medido, se tiene un total de 58%.

En la Figura 37 se observan los valores promedios de las concentraciones de CO (ppm) medidos,

Tabla 17. Concentración promedio del CO (ppm) determinado iluminando con luz UV L2D2 y H₂O₂ a diferentes concentraciones.

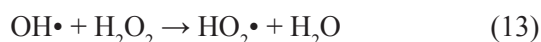
Mediciones	Promedios CO (ppm)	N° de Datos	Conc. H ₂ O ₂ Volúmenes	Coficiente de Variación	Desviación Estándar	% Disminución
4.5.1	644	194	Sin nada	6	37	
4.5.2	543	154	100	8	44	16
4.5.3	499	188	25	4	22	22
4.5.4	439	194	15	7	31	32
4.5.5	342	122	10	8	29	47
4.5.6	357	104	5	9	30	45

**Figura 37.** Concentración de CO en ppm medidos sin iluminación ni peróxido (sin nada) y a diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno y con luz UV.

sin luz ni peróxido de hidrógeno y con luz UV con H₂O₂ a diferentes concentraciones, en las que se observa que la concentración de monóxido de carbono va disminuyendo al disminuir la concentración de monóxido de carbono hasta llegar a la concentración de 10 volúmenes, aumentando nuevamente con la concentración de 5 volúmenes.

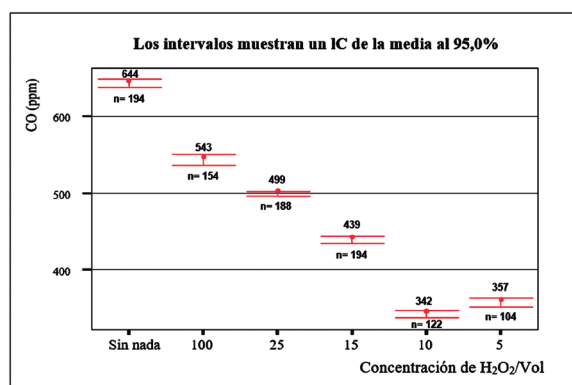
La eficiencia de una reacción aumenta con el aumento de la concentración de los reactivos (OH•) formados. El aumento de la eficiencia desde H₂O₂ 100 volúmenes hasta la de 10 volúmenes y una posterior disminución de la eficiencia con la solución de 5 volúmenes, nos indica que, se ha alcanzado la concentración óptima o la dosis adecuada de peróxido de hidrógeno para alcanzar la máxima eficacia del proceso (10 volúmenes).

A concentraciones menores de 10 volúmenes la concentración de radicales OH• disminuye debido a la concentración de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) disponible y en cuanto a las concentraciones de peróxido de hidrógeno mayores a 10 volúmenes, la disminución de la eficiencia puede atribuirse a la aparición de reacciones secundarias donde el peróxido actúa como inhibidor de los radicales hidroxilo formando radicales HO₂• mucho menos reactivos (Martínez, 2008).



Análisis Estadístico

La Figura 38 representa la media de monóxido de carbono para diferentes volúmenes de peróxido. El mayor valor promedio corresponde a la ausencia de peróxido (644) y el menor con 10 volúmenes de la misma (342). Se ha hecho una comparación no

**Figura 38.** Gráfica de barra de error, media y su intervalo de confianza del 95%, tamaño de las muestras (n) de CO, según las condiciones del experimento 5.

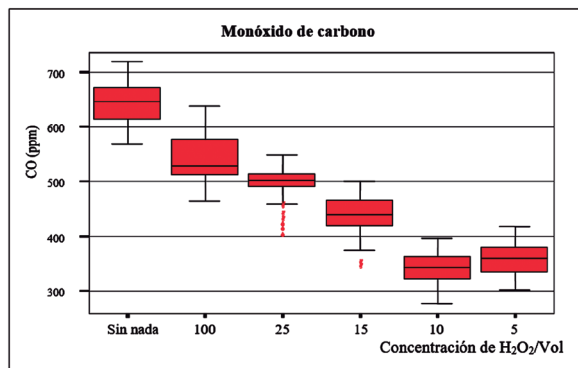


Figura 39. Gráfica de cajas y bigotes de CO, según la condición del experimento (5).

paramétrica debido a que los datos no presentan homogeneidad de la varianza ($p < 0,05$) encontrándose una diferencia significativa en la concentración de monóxido de carbono para todos los volúmenes de peróxido aplicados al escape de gases de un vehículo, con la prueba de Friedman y Wilcoxon ($p < 0,05$).

En la Figura 39 se muestran las medias de monóxido de carbono y sus intervalos de confianza al 95%, barra de error y tamaños de las muestras realizadas para cada volumen de peróxido. La mayor cantidad de experimentos realizados corresponde a la ausencia de peróxido (sin nada) y 15 Vol ($n=194$); la menor en 5 Vol ($n=104$). Por otro lado, la menor variabilidad corresponde a 25 Vol y 15Vol, ambos con valores pequeños muy extremos (teniendo en

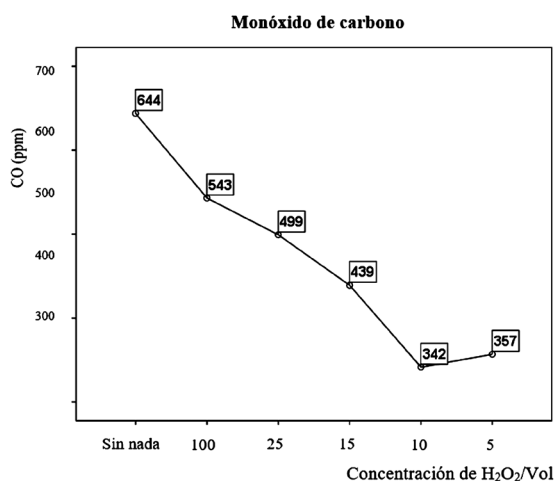


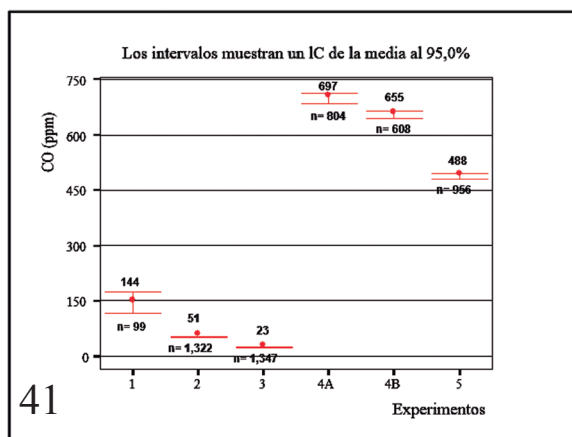
Figura 40. Gráfica de medias de CO, según la condición del experimento (5).

cuenta la mediana); la mayor variabilidad con la ausencia de peróxidos y 100 Vol, respectivamente, como se muestra en la Figura 40.

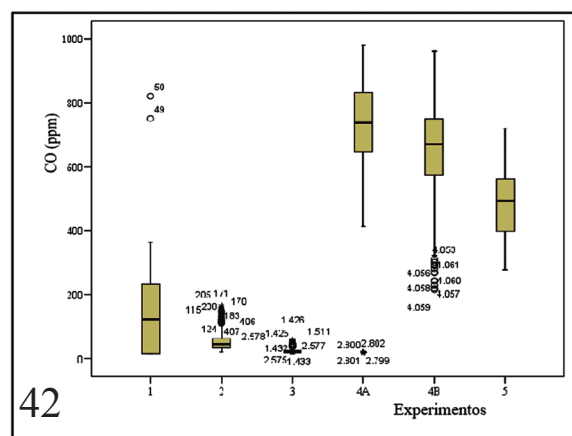
Todos los experimentos

En las Figuras 41, 42 y 43 se muestra el comportamiento de CO según los experimentos (1, 2, 3, 4 y 5), como las medias, intervalos de confianza del 95%, detección de valores extremos (teniendo en cuenta la mediana) y tamaños de las muestras (n). Se puede observar que la menor variabilidad corresponde a los experimentos (2 y 3) y los mayores a los experimentos (1, 4A y 4B), respectivamente.

Los datos no presentan homogeneidad de la va-



41



42

Figuras 41-42. comportamiento de CO según los experimentos (1, 2, 3, 4 y 5). **41)** Gráfica de barra de error, media y su intervalo de confianza del 95%, tamaño de las muestras (n) de CO, según los experimentos (1, 2, 3, 4 y 5). **42)** Gráfica de cajas y bigotes de CO, según los experimentos (1, 2, 3, 4 y 5).

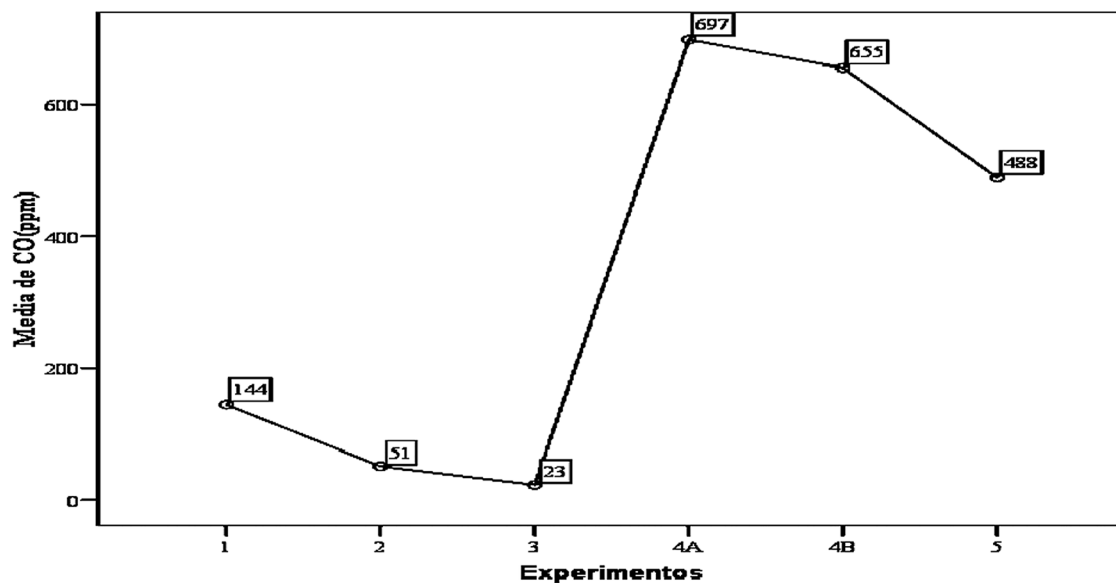


Figura 43. Gráfica de medias de CO, según los experimentos (1, 2, 3, 4 y 5).

rianza con la prueba de Levene ($p < 0,05$). Presentan valores extremos (teniendo en cuenta la mediana) para todos los experimentos a excepción el experimento 5, con mayor proporción a 2, 3, 4A y 4B. Presentan diferencias significativas entre cada uno de los experimentos en las mediciones de CO en sus valores de las medianas con la prueba de Friedman y Wilcoxon ($p < 0,05$), donde los mayores valores de CO se concentran con los experimentos 4A y 4B y los valores menores con el experimento 3.

La heterogeneidad de los resultados se puede deber a las características propias del motor de

combustión interna, en la que el funcionamiento mismo por más que sea régimen de revoluciones por minuto constante, se trata de un motor con desgastes, aparte de que para la refrigeración del motor debe funcionar un ventilador, con lo que en esos momentos los valores pueden sufrir algunas fluctuaciones.

Resumen de resultados

En la Tabla 18, se muestran los porcentajes de disminución de la concentración de peróxido de hidrógeno obtenidos en cada uno de los experimen-

Tabla 18. Resultados de los porcentajes de disminución de la concentración de monóxido de carbono obtenido en cada uno de los experimentos realizados.

Lámpara	Experimento	% Disminución de Concentración de CO	Promedio
Tungsteno halogenado	1	42	42
UV – Tubo fluorescente	2	23	
UV – Tubo fluorescente	3	32	24
UV – Tubo fluorescente	4	19	
UV – Tubo fluorescente	5	22	
UV – L2D2	5	58	58

tos realizados en las mismas condiciones. Se puede establecer que con el cambio de tipo de lámpara se han registrado cambios en las concentraciones de CO medidas, siendo el de mayor efecto en la disminución la lámpara de UV – L2D2, seguido de la lámpara de tungsteno halogenado y por último del tubo fluorescente, observándose el efecto del tipo de lámpara utilizada.

Que con la lámpara de tungsteno halogenado se haya obtenido una mayor disminución de la concentración de monóxido de carbono, se pueden evaluar dos situaciones; una de ellas que puede ser debido a una mayor potencia de luz que la de la lámpara de tubo fluorescente o que las diferencias no sean estadísticamente significativas, ya que tienen un coeficiente de variación de 58 y una desviación estándar de 83, mientras que con la lámpara de tubo fluorescente, tiene un coeficiente de variación de 22 y una desviación estándar de 20.

Teniendo en cuenta que la lámpara L2D2 tiene un rango de emisión de luz, a partir de 185 nm, con una energía aproximada de $646 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ (Gómez, 2000), mientras que la lámpara de tubo fluorescente (Se estima tiene un rango de longitud de onda de 320 – 400 nm), la máxima energía que puede alcanzar es de $380 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, mientras que la del tungsteno halogenado es alrededor de $300 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Conclusiones

La concentración de monóxido de carbono emitidos en los gases de combustión posterior a la mezcla con peróxido de hidrógeno e iluminación con una fuente externa ha registrado disminuciones en todos los casos.

La mayor disminución se ha registrado con la lámpara de UV – L2D2, seguido de la lámpara de tungsteno halogenado y por último del tubo fluorescente, observándose el efecto del tipo de lámpara utilizada, lo que indica que la generación de radicales $\text{OH}\cdot$ fue influenciado por la intensidad de radiación UV de cada lámpara empleada.

Del hecho de que con la lámpara de tungsteno halogenado se haya obtenido una mayor disminución de la concentración de monóxido de carbono, se pueden evaluar dos situaciones; una de ellas

que puede ser debido a una mayor potencia de luz que la de la lámpara de tubo fluorescente o que las diferencias no sean estadísticamente significativas, teniendo en cuenta que, con la lámpara de tungsteno se obtuvo un coeficiente de variación de 58 y una desviación estándar de 83, mientras que con la lámpara de tubo fluorescente, se tuvo un coeficiente de variación igual a 22 y una desviación estándar de 20.

Teniendo en cuenta que la lámpara L2D2 tiene un rango de emisión de luz, a partir de 185 nm, con una energía de $646 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ (Gómez, 2000), mientras que la máxima energía que puede alcanzar la lámpara fluorescente (Se estima un rango de longitud de onda de 320 – 400 nm), es de $380 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ y la del tungsteno halogenado alrededor de $300 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, que la cantidad de radicales $\text{OH}\cdot$ que pueden producir cada una de las lámparas es directamente proporcional a la energía que emite, además, de que los resultados obtenidos al utilizar el tubo fluorescente de luz UV conjuntamente con la lámpara de tungsteno, son casi similares con la obtenida utilizando solamente el tubo fluorescente de luz UV, se considera que el “Experimento 1” debería ser verificado en caso de que sea necesario.

El caño corrugado utilizado ha generado una turbulencia de los gases, que ha favorecido la mezcla eficiente de los reactivos para la reacción, observado al realizar la inyección del peróxido de hidrógeno en la cámara de reacción y comparándola con la inyección antes del filtro de aire.

Se ha verificado la eficiencia de la reacción con el aumento del volumen de la cámara de reacción, observado con los valores obtenidos al realizar las mediciones iluminando dentro del caño corrugado y dentro de la cámara de reacción. Este hecho se atribuye al mayor tiempo de mezcla los gases y al aumento de la superficie de iluminación (3.2.6).

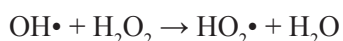
La eficiencia de la generación de los radicales $\text{OH}\cdot$ por la iluminación con luz UV es disminuida en un valor aproximado de 21% por el material de vidrio de borosilicato utilizado como cámara de reacción (3.4.1).

La producción de radicales $\text{OH}\cdot$ es influenciada por la concentración de peróxido de hidrógeno utilizada, independientemente de la fuente luz UV uti-

lizada (Tubo fluorescente UV o Tipo L2D2) (3.3.2).

La eficiencia de la reacción aumenta con la concentración del (H_2O_2) hasta un valor límite de la concentración de 10 Volúmenes de H_2O_2 .

A concentraciones mayores de 10 volúmenes se observa una disminución de la eficiencia que puede atribuirse a la aparición de reacciones secundarias donde el peróxido actúa como inhibidor de los radicales hidroxilos formando radicales $\text{HO}_2\cdot$ mucho menos reactivos.



Se considera que la concentración óptima o la dosis de peróxido de hidrógeno adecuada para alcanzar la máxima eficacia del proceso es la de 10 volúmenes.

Los valores obtenidos en los experimentos realizados son propios de las condiciones de funcionamiento del motor utilizado, ya que la cantidad de hollín, de otros gases u otros compuestos capaces de absorber la radiación UV, tendría un efecto similar al que ocurre al disminuir el flujo de radiación incidente, es decir, menor radiación disponible para la fotólisis del H_2O_2 y la cantidad transformada en radicales $\text{OH}\cdot$ será menor, con lo que éstos resultados se puede suponer tendrá una eficiencia mayor para motores nuevos y con un ajuste adecuado de la mezcla de combustible – aire.

El diseño del dispositivo que mejor se ha adecuado para obtener una mayor eficiencia de reacción del peróxido de hidrógeno con el monóxido de carbono de modo a disminuir la emisión de éste al ambiente, es la correspondiente al “Experimento 5”, utilizando una solución de H_2O_2 de 10 volúmenes, fuente de luz UV, de lámpara de deuterio con rango de longitud de onda de 185 a 400 nm, con iluminación dentro de la cámara de reacción (Volumen aproximado de 5 (cinco) litros), con una rejilla metálica impregnada con dióxido de titanio (TiO_2), con un soplador de flujo constante y las conexiones para el flujo de los gases, utilizando caño corrugado.

LITERATURA CITADA

Alfaro, R. (2001). Contaminación del aire en la

capital. *Ambientico*, 93.

Aristizabal, W.A.G. & Gómez, M.V.T. (2008). Estimación de la emisión de contaminantes por Motocicletas en el Valle de Aburra. *Dyna*, (156): 241–250.

Badii, M.H., A. Guillen, L.A. Araiza, E. Cerna, J. Valenzuela & J. Landeros. (2012). Métodos no paramétricos de uso común. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(1): 132-155.

Baird, C. (2001). *Química Ambiental*. . Edición 2. Barcelona: Reverté. 850 pp.

Cengel A. & Yunus. (2011). *Termodinámica*. México: McGraw-Hill/Interamericana. 502 pp.

Corzo S., J.A. (2005). *Notas de clase. Estadística no paramétrica (Métodos basados en rangos)*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 94 pp.

Chang, R. (2008). *Fisicoquímica*. Edición 3. México: Mc Graw-Hill/Interamericana. 1018 pp.

Delgado Saborit, J.M. (2005). *Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea*. Universitat Jaume: Tesis Doctoral.

Denbigh, K.G. & Turner, J.C. (1990). Introducción a la teoría de los reactores químicos, México: Limusa.

EPA (1997). EMC Conditional Test Method (CTM-030).

Fujishima A., Rao T.N. & Tryk D.A. (2000). Titanium Dioxide Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 1(1): 1-21.

Garcés Giraldo, L.F., Mejía Franco, E.A. & Santamaría Arango, J.J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1): 83-92.

García Morán, G.A. & García Cardona, A. (2008). An old new gas, carbon monoxide (CO): essentials in human Biology, Pathobiology, Bioclinic and human Pharmacotherapeutics. *Iatreia*21(3), 307–320.

- Giraldo Aristizabal, W.A. & Toro Gómez, M.V. (2008). Estimation of the emission polluting agents by motorcycles in the Aburra Valley. *Dyna*, 75(156): 241-250.
- Gómez, L., Urkiaga, A., Gutiérrez, M. & de las Fuentes, L. (2000). Fotooxidación de vertidos químicos: Revisión y experiencias de procesos de oxidación avanzada. *Ingeniería Química (Madrid)*, 32(371): 211-216.
- Jacob, D.J. (1999). *Introduction To Atmospheric Chemistry*. Princeton University Press. 280 pp.
- Molina, M. (2011). *Plan de acción para combustibles y vehículos más limpios en Paraguay*. Asuncion: Petrosur. 67 pp..
- Martínez, O.P. (2008). *Mejoras en el Tratamiento de Lixiviados de Vertedero de RSU Mediante Procesos de Oxidación Avanzada*. Universidad De Cantabria: Tesis Doctoral. 233 pp.
- Mielnicki, D.M., Canziani, P.O. & Drummond, J. (2004). *Quema de biomasa en el centro-sur de Sudamérica: Incendios locales, impactos regionales*. 10 pp.
- Moragues, L.A. (2011). *Manual de Tecnologías de Medición de Concentración de Gases y material particulado en chimeneas y atmósfera*. Buenos Aires: Ministerio de desarrollo social y medio ambiente. 149 pp.
- Neyestanaki, A.K., Klingstedt, F., Salmi, T. & Murzin, D.Y. (2004). Deactivation of postcombustion catalysts, a review. *Fuel*, 183(4): 395-408.
- Pérez, C. (2009). *Técnicas de Análisis Multivariante de Datos. Aplicaciones con SPSS*. Buenos Aires: Pearson Educación. 712 pp.
- Sbarato, D., Sbarato, V.M. & Ortega, J.E. (2007). *Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera*. Colección Salud Ambiental 2. Tucumán: Editorial Brujas. 156 pp.
- Skoog, D.A., Crouch, S.R. & Holler, F.J. (2008). *Principios de Análisis Instrumental*. Buenos Aires: Cengage Learning Editores. 1060p.
- TAIVO SA. (2013). *Concentración de Monóxido de Carbono en gases de escape de Vehículos verificados durante el periodo Febrero 2012 - Marzo 2013*. San Lorenzo, Paraguay, Planta verificadora. Informe.
- Téllez, J., Rodríguez, A. & Fajardo, Álvaro (2006). Carbon monoxide contamination: an environmental health problem. *Revista de Salud Pública*, 8(1): 108-117.
- Trabal, E. (1998). *Estabilidad y descomposición de Disoluciones de Peróxido de Hidrógeno*. Blanqueo de la Lana, Instituto de Investigación Textil. Informe.
- Vogel, B., Corsmeier, U., Vogel, H., Fiedler, F., Kühlwein, J., Friedrich, R., Obermeier, A., Weppner, J., Kalthoff, N., Bäumer, D. Bitzer, A. & Jay, K. (2000). Comparison of measured and calculated motorway emission data. *Atmospheric Environment*, 34(15): 2437-2450.
- Zereini, F. & Alt, F. (2006). *Palladium Emissions in the Environment: Analytical Methods, Environmental Assessment and Health Effects*. New York: Springer. 640 pp.