



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-  
Zeolita en convertidor catalítico, 2020”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**

Aquino Montoro, Josselyn Azucena (ORCID: 0000-0003-4724-1314)

**ASESOR:**

Dr. Valverde Flores, Jhonny Wilfredo (ORCID: 0000-0003-2526-112X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

Lima - Perú

2020

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis con todo amor y esfuerzo a mis padres Tito Aquino Rojas y Maruja Montoro Sánchez por brindarme su apoyo incondicional. Y a mi abuelito Germán por ser mi motivo de perseverancia y fuerza para llegar a culminarlo.

## **Agradecimiento**

Inicialmente agradezco a Dios por darme la oportunidad de mantenerme saludable y permitirme culminar mi tesis. Así mismo, al Dr. Jhonny Valverde por su apoyo y el impulso a sacar adelante mi tesis a pesar de los percances. Por último, a mi familia y mis amigos de la UCV y del intercambio Universidad Santo Tomas por su apoyo moral.

## Índice de Contenido

Índice de tablas .....	VI
Índice de figuras .....	VII
Índice de abreviaturas .....	VIII
Resumen .....	IX
Abstract .....	X
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Tipo y diseño de Investigación .....	16
3.2. Variables y operacionalización .....	17
3.3. Población, muestra y muestreo .....	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	20
3.5. Procedimientos.....	23
3.6. Métodos de análisis de datos .....	34
3.7. Aspectos éticos .....	34
IV. RESULTADOS .....	35
V. DISCUSIÓN.....	53
VI. CONCLUSIONES.....	56
VII. RECOMENDACIONES .....	57
REFERENCIAS.....	58
ANEXOS .....	66

## Índice de tablas

Tabla 1: Límites Máximo Permisibles para vehículos en circulación .....	15
Tabla 2: Promedio anual de Emisiones de los vehiculos en Lima-Callao, 2016 ..	18
Tabla 3: Evolución del Parque Vehicular Autorizado según marca 2012-2019....	19
Tabla 4 : Porcentaje de validación .....	22
Tabla 5: Especificaciones del automóvil.....	36
Tabla 6: Hidrocarburo Hexano Vs Rpm / Gasolina.....	37
Tabla 7: Hidrocarburo Propano Vs Rpm / Gas .....	38
Tabla 8: Monóxido de Carbono Vs Rpm / Gasolina .....	39
Tabla 9: Monóxido de Carbono Vs Rpm / Gas .....	40
Tabla 10: Concentración de CO <sub>2</sub> + CO Vs Rpm / Gasolina .....	41
Tabla 11: Concentración de CO <sub>2</sub> + CO Vs Rpm / Gas.....	42
Tabla 12: Parámetros fisicoquímicos de la solución de Zeolita .....	43
Tabla 13: Calcinación de la zeolita respecto al tiempo y temperatura.....	43
Tabla 14: Datos de pesos de la Zeolita antes y después del Intercambio Iónico .	44
Tabla 15: Datos de Pesos de la cordierita con y sin catalizador .....	45
Tabla 16: Factor Lambda con CC .....	49
Tabla 17: Prueba de normalidad HC .....	50
Tabla 18: Reducción de HC Hexano y Propano sin y con catalizador .....	50
Tabla 19: Pruebas de normalidad para CO.....	51
Tabla 20: Reducción de CO sin y con catalizador para GLP y gasolina .....	52
Tabla 21: Matriz de consistencia .....	88
Tabla 22 Matriz de Operacionalización .....	89

## Índice de figuras

Figura 1: Diagrama esquemático de la configuración experimental .....	10
Figura 2: Convertidor Catalítico ( Adaptado de Schifter y López, 2010).....	11
Figura 3: Fases que constituyen el proceso de síntesis hidrotérmico ( Adaptado de Torralba Simón, 2010).....	13
Figura 4: Toyota Corona 1984.....	19
Figura 5: Sistema de escape automotriz en 3D.....	23
Figura 6: Procedimiento de la preparación de la solución zeolita.....	24
Figura 7: Medición de ph y cristalización hidrotermal de la zeolita.....	25
Figura 8: Procedimiento de Intercambio Iónico de la zeolita con cobre .....	26
Figura 9: Procedimiento del revestimiento por inmersión de la cordierita .....	27
Figura 10: Moldeo de la carcasa del convertidor catalítico.....	28
Figura 11: Cubrimiento del monolito cerámico con fibra y malla .....	28
Figura 12: Soldación del convertidor catalítico .....	29
Figura 13: Medición de gases con el analizador HGA 400.....	30
Figura 14: Medición inicial y final de gases para gasolina según MINAM .....	30
Figura 15: Medición inicial y final de gases con combustible GLP según MINAM	31
Figura 16: Medición de gases antes de la instalación del convertidor catalítico a base de Cu-Zeolita .....	31
Figura 17: Medición de gases con el convertidor catalítico a base de Cu-Zeolita	32
Figura 18: Proceso experimental de la Cu-Zeolita .....	33
Figura 19: Sistema de escape automotriz del Toyota Corona 1984.....	35
Figura 20: Convertidor catalítico.....	36
Figura 21: Concentración de HC Hexano Vs Rpm / Gasolina .....	37
Figura 22: Hidrocarburo Propano Vs Rpm / Gas.....	38
Figura 23: Concentración de CO Vs Rpm / Gasolina .....	39
Figura 24: Monóxido de Carbono Vs Rpm / Gas.....	40
Figura 25: Concentración de CO <sub>2</sub> + CO Vs Rpm / Gasolina .....	41
Figura 26: Concentración de CO <sub>2</sub> + CO Vs Rpm /Gas .....	42
Figura 27: Estabilidad Térmica de la zeolita Na-Zeolita .....	44
Figura 28: Porcentaje de Reducción de HC Vs Rpm .....	46
Figura 29: Porcentaje de reducción de CO Vs Rpm.....	47
Figura 30: Concentración de CO + CO <sub>2</sub> Vs Tiempo .....	48

## Índice de abreviaturas

ZSM	Zeolita Socony Móvil
SSZ	Zeolita con Chabacita
DRX	Difracción de Rayos X
BET	Área Superficial
TGA	Análisis Termogravimétrico
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
OMS	Organización Mundial de la Salud
SINIA	Sistema Nacional de Información Ambiental
KPH	Kilómetro por hora
RPM	Revolución por minuto
SCR	Reducción Catalítica Selectiva
MINAM	Ministerio del Ambiente
ISO	Organización Internacional de Normalización
HC	Hidrocarburo
KW	Kilovatio
LMP	Límites Máximos Permisibles
CO	Monóxido de Carbono
CC	Convertidor Catalítico
A	Amperios

## Resumen

Los motores de inyección directa de gasolina son los más utilizados por su bajo consumo de combustible, mayor potencia y reparación facilitada. Sin embargo, estos motores son la principal fuente de emisión de gases que conforman el efecto invernadero, deteriorando la salud de las personas y contribuyendo en el calentamiento global. Es por ello, que nuestro estudio propone utilizar el Cu-zeolita como catalizador oxidante de gases. Este catalizador fue producto de una Síntesis Hidrotermal e intercambio iónico con 100 ml de  $\text{CuSO}_4$  1 M, los 8 gramos resultantes del tratamiento fueron utilizados en el revestimiento del monolito de cordierita, adicionándole  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  como aglutinante, hasta que el peso de la cerámica cumpla con la dosis de 20 gramos de revestimiento.

El experimento se llevó a cabo en un motor Bi-Combustible GLP con la instalación del convertidor a base de Cu-Zeolita. Se usó el analizador de gases HGA 400 para medir CO, HC y  $\text{CO}_2 + \text{CO}$  en mínimas y máximas revoluciones por minuto para motor gasolinero y GLP. Los resultados de las pruebas de emisión han mostrado una reducción significativa en las emisiones de HC Propano del 78% a velocidades altas de 2750 rpm y CO en 69% a velocidades bajas de 950 rpm para motor gasolinero. Lo que demostró que el Cu-zeolita fue eficiente en la reducción de gases, por presentar estabilidad térmica, alta dispersión de CuO en sus estructuras y una composición similar al padre H-ZSM5.

**Palabras clave:** Convertidor Catalítico, reducción de gases, Cu-Zeolita, oxidante, emisiones.



## Abstract

Direct gasoline injection engines are the most widely used because of their low fuel consumption, increased power and ease of repair. However, these engines are the main source of greenhouse gas emissions, deteriorating people's health and contributing to global warming. That is why our study proposes to use Cu-zeolite as an oxidizing gas catalyst. This catalyst was the product of a Hydrothermal Synthesis and Ionic Exchange with 100 ml of  $\text{CuSO}_4$  1 M, the 8 grams resulting from the treatment were used in the coating of the cordierite monolith, adding  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  as a binder, until the weight of the ceramic meets the dose of 20 grams of coating.

The experiment was carried out on a LPG Bi-Fuel engine with the installation of the Cu-Zeolite based converter. The gas analyzer HGA 400 was used to measure CO, HC and  $\text{CO}_2 + \text{CO}$  in minimum and maximum revolutions per minute for petrol and LPG engines. The results of the emission tests have shown a significant reduction in HC Propane emissions of 78% at high speeds of 2750 rpm and CO by 69% at low speeds of 950 rpm for gasoline engine. This showed that Cu-zeolite was efficient in reducing gases, as it presented thermal stability, high dispersion of CuO in its structures and a composition similar to the parent H-ZSM5.

**Keywords:** Catalytic Converter, gas reduction, Cu-Zeolite, oxidant, emissions.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de combustibles fósiles en el mundo ha provocado la alteración de los gases del efecto invernadero, siendo este el hincapié del desarrollo de un nuevo fenómeno como el cambio climático (Martínez, 2018). Conjuntamente, la extraordinaria expansión de las ciudades, el sector industrial y los factores naturales, han aportado en los cambios del clima, aumentado los posibles riesgos de salud de la humanidad (Pourvakhshoori, 2020). Inicios de la revolución industrial, la concentración de dióxido de carbono ascendió en 35%, induciendo a cambios irreversibles en el ecosistema y pérdidas de la biodiversidad (Na, 2020).

El deterioro de la calidad del aire es un problema global y la mayor parte de dicha contaminación es causada por el parque automotor, los cuales emiten gases tóxicos como el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado (Molina, 2017). Estos gases forman parte de los problemas más serios que enfrentan las zonas urbanas, el smog fotoquímico (Mendoza, 2016). A nivel internacional, el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Social sostuvo que el problema principal en Colombia es la contaminación del aire en un 51% (Minambiente, 2019) y en México, la emisión de estos gases tóxicos han provocado que más de 34 millones de sus ciudadanos estén expuestas a la mala calidad de aire (Rafael y Hernández, 2014, p.8).

En Perú esta contaminación representa el 70%, ya que sus distritos más representativos, Lima Metropolitana y el Callao concentran el 66% del total de vehículos existentes en el país, es decir 807 529 mil unidades (Saavedra, 2014). En un estudio del Senamhi de calidad de aire realizado en el 2012, el distrito de Santa Anita y Ate presentaron grandes cantidades de gases atmosféricos a diferencia de otras estaciones, con valores de dióxido de nitrógeno que superan los límites establecidos por el OMS, contribuyendo en la tasa de enfermedades respiratorias y cardíacas de la población a corto, mediano y largo plazo (Valverde, 2016, p.122). Sin embargo, estas cifras siguieron aumentando en el distrito de Ate Vitarte, señalándolo como el distrito más contaminado por la quema de combustibles al presentar mayores concentraciones de material particulado ( $P_{10}$ ) con 250 ppm diarios, concentración que sobrepasa el LMP definido en el D.S. N°

003-2017- MINAM, correspondiente a 150  $P_{1}$  diarios (SINIA, 2019). Es por ello que es indispensable proponer nuevas estrategias que puedan contrarrestar y mitigar las emisiones de gases de combustión interna automotriz.

El problema general fue: ¿En cuánto se reduce la concentración de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020? y los problemas específicos ¿De qué manera las características fisicoquímicas del catalizador influyen en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020?, ¿La dosis de revestimiento influirá positivamente en la reducción de concentración de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020? y ¿De qué manera las condiciones operativas del convertidor catalítico influyen en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita, 2020?.

La razón principal del desarrollo de la investigación, es porque se busca aportar al conocimiento científico existente sobre el uso de convertidores catalíticos, como tecnología limpia en la reducción de emisiones automovilísticas, gases tóxicos que alteran la composición de la atmósfera y producen daños en la población y el ambiente, su implementación es accesible en términos económicos y adaptable como alternativa de solución a la contaminación del aire en nuestra capital (Lima), ya que progresivamente presenta altos índices de concentración de gases por el flujo vehicular.

El objetivo general fue: Determinar la reducción de la concentración de gases de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020 y los objetivos específicos: Determinar cómo las características fisicoquímicas del catalizador influyen en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor de gases, 2020, determinar si la dosis de revestimiento influye positivamente en la reducción de concentración de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020 y determinar cómo las condiciones operativas del convertidor catalítico influyen en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita, 2020.

La hipótesis general fue: La concentración de gases de combustión interna

automotriz se reducirá significativamente utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020 y las hipótesis específicas: Las características fisicoquímicas del catalizador influirán positivamente en la reducción de gases de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020, la dosis de revestimiento de 20 gr influirá positivamente en la reducción de la concentración de gases de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020 y las condiciones operativas del convertidor catalítico influirán positivamente en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita, 2020.

## II. MARCO TEÓRICO

Uno de los problemas más urgentes a solucionar, es la eliminación de gases automovilísticos, que contribuyen en gran medida a la formación de smog fotoquímico y lluvia ácida (Bello, 2020). Por ello, muchos estudios se enfocaron al uso de zeolita como catalizador a base de cobre para la reducción de HC, CO, CO<sub>2</sub> y N<sub>x</sub>. En un estudio se aplicó el método de intercambio iónico con cobre para el dopaje de la zeolita y fue instalado en el escape de un automóvil con motor de gasolina de 125 cm<sup>3</sup>, obteniendo una efectividad de reducción de 66,52% de HC a altas velocidades de 70 kph, también se redujo el 76,63% de N<sub>x</sub> en el rango de 60-70 kph y el CO en 59.61% a mediana velocidad de 40 kph (Guerrero et al., 2019).

Para la reducción de gases automovilísticos provenientes de un motor de encendido por chispa, sintetizaron dos catalizadores por el método hidrotermal y fueron dopados con Cu y Ce en la matriz de cordierita. Su análisis de DRX, demostró que la zeolita ZSM5 presentaba una composición del 87% de Sílice Coloidal y 3% Alúmina, después realizaron tres mediciones, uno con el convertidor comercial, otro con Ce.Cu ZSM5 CC y el Cu-ZSM5 CC, como resultados obtuvieron que la conversión de HC eran más altos en los catalizadores bimetálico y mono metal, alcanzando una conversión máxima del 80% en un rango de 14 a 16 KW, en cambio en la conversión del CO es más efectiva la zeolita sin intercambio iónico, porque la dopación con metal redujo la reacción oxidativa del CO (Rajakrishnamoorthy [et al.], 2019).

En otro estudio, obtuvieron Cu-ZSM5 con un área de 392 m<sup>2</sup>/g, pero esta fue revestida en un monolito de cordierita de 400 CPSI de una dimensión de 90 mm y espesor de pared de 0.17 mm, para un automóvil de 2 cilindros, 4 tiempos y motor de gasolina refrigerado por agua, donde obtuvieron una reducción de NOx en un 55% a una potencia de 4KW hasta el 70% en 16 KW, en condiciones de temperatura para 180 °C la conversión era de 65% hasta alcanzar los 70% a 500 °C. Un caso muy diferente para la conversión de CO y HC, que aumentaron a la par con la temperatura y potencia, coincidiendo en porcentajes, 93% y 95% en condiciones de cargas de 4KW y 16KW, respectivamente (Karthikeyan, 2019).

En la India, modificaron la estructura de la Zeolita ZSM5 a Cu-ZSM5 y Li-ZSM5 y fueron revestidos en una cordierita de 400 CPSI e instalados en un convertidor catalítico, ambas zeolitas demostraron ser activas y estables, reduciendo el 70% de  $CO_2$  a bajas revoluciones por minuto (1600 rpm) hasta descender en 40% a 3200 rpm; la conversión del CO ascendió a 38% en 3600 rpm y para el HC, la conversión comenzó a descender en un 45% desde los 1600 rpm hasta los 3600 rpm (Baskara, Leenus y Chandradass, 2018).

En el sur de Borneo, sintetizaron zeolita a partir de 500 gr de cenizas volantes y fue revestido en tres catalizadores de 5, 7 y 9 de longitud, para un vehículo de motor Toyota 5K con una relación de aire y combustible de 14,7:1, el catalizador más amplio de 9 cm obtuvo una mayor reducción de HC y CO en 48 – 45 %, respectivamente a una presión de 0.1 MPa (Ghofur et al., 2018), en otros catalizadores con ángulo cónico de 35° y una carga de 16 kW, lograron una conversión del 60% de  $N_x$ , 80% de HC y 85% de CO, concluyendo que el aumento del área mejora significativamente la caída de presión (Karthikeyan, Saravanan y Gunasekaran, 2016). Asimismo, el diseño de un convertidor con aislamiento de 53 mm produce un mejor rendimiento térmico (Ibrahim et al., 2018).

Por otro lado, la inyección de combustible diésel con azufre a una concentración menor de 10 ppm como ensayo y la implementación de Fe-Zeolita como catalizador más urea en el sistema de inyección SCR a base de vanadio, redujo el 60% de  $N_x$  en el rango de 250 – 400°C (Pyo Cho et al., 2017). Pero esta reducción no solo se da por el dopaje con un metal, aparte de ello se ha observado que en el proceso de desorción de gases, la temperatura se correlaciona con la abertura de los poros, de tal manera que los catalizadores Pd / Beta, Pd / SSZ-13 y Pd / ZSM-5 mostraron altas capacidades de captura de TOC en un rango de 60 a 80% y NOx alrededor del 90% de remoción en temperaturas por debajo de 200 °C (Zheng, 2017).

En otro estudio sintetizaron la Cu/ZSM5 por el método de impregnación húmeda, donde el resultado fue considerado como un material microporoso con absorción de nitrógeno sobre  $P / P_0 = 0.01$  similar al del padre HZSM-5, porque los microporos del mineral no estaban significativamente bloqueados. Asimismo, el método de DRX, detectó nanopartículas de CuO, lo cual indica una mayor capacidad de dispersión de Cu, confirmándose después de detectar una banda intensa entre 700

-800 nm que corresponde a la transición de iones  $\text{Cu}^{2+}$  en un octaédrico medio ambiente, que se atribuye al  $\text{CuO}$  con un área superficial de  $318 \text{ m}^2/\text{g}$ . Cabe destacar, que la  $\text{Cu-ZSM5}$  mostró una alta actividad SCR a bajas temperaturas de 200 a  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ , por acción de las nanopartículas de  $\text{CuO}$  que conducen a la sobre oxidación de  $\text{NH}_3$ . Por lo tanto, su conversión de  $\text{NO}$  fue de 59% en  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 99% en  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  y descendió en 90% a  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  (Yue [et al.], 2019).

Otras investigaciones, se enfocaron en juntar dos tipos de catalizadores, como la  $0.6\text{-K}_{0.4}\text{CoO}_3$  para el proceso de oxidación y la  $\text{Cu-ZSM5}$  con agente reductor, de cada uno se extrajo 200 mg y fueron revestidos sobre un lecho de lana de vidrio. El análisis del  $\text{Cu-ZSM5}$ , mostró la presencia de isothermas del tipo IV exhibiendo tamaños de poros mesoporosos con un área superficial fue  $331.29 \text{ m}^2/\text{g}$  y una disminución de la cristalinidad, lo cual indica que los cationes de cobre fueron distribuidos homogéneamente en la superficie. La conversión del  $\text{CO}$  comenzó a ascender con la elevación de la temperatura, alcanzando el 80% de reducción a condiciones de  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ ; el propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) fue reducido en altas temperaturas, desde los  $480 \text{ }^\circ\text{C}$  para alcanzar una reducción del 50% y después subir hasta un 80 % de eficiencia en  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  (Trivedi y Prasad, 2018).

El intercambio iónico del catalizador  $\text{HZSM-5}$  con  $\text{Cu}^{2+}$ , fue un mejor agente reductor de gases en 90% a temperaturas más bajas de 195 a  $435 \text{ }^\circ\text{C}$ . Puesto que, después de la impregnación de las zeolitas con cobre, el área superficial del  $\text{Cu-zeolita}$  disminuyó gradualmente con el aumento del cobre, posiblemente debido al bloqueo de los poros accesibles por el material activo, así como el colapso de las estructuras porosas (Lai, 2015). Es por ello, que el estado químico del  $\text{Cu}$  juega un papel clave en el rendimiento catalítico, así como el  $5\text{Cu/ZSM5}$  que presentó mayor eficiencia de reducción de  $\text{CO}$  en 50% a  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ , hasta alcanzar el 90% en temperaturas altas de 500 y  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ , y para el  $\text{C}_4\text{H}_1$  su curva de conversión comenzó a ascender con el aumento de temperatura, llegando a alcanzar un 80% a 400 y  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ , lo que indica que las especies de  $\text{Cu}$  impregnadas actuaron como sitios activos primarios (Lee et al., 2019).

En el caso de las zeolitas de tipo  $\text{Cu-ZSM-5}$  intercambiadas con iones  $\text{Cu}^{2+}$ , confirma lo mencionado, ya que en este estudio se adhirió una concentración de 160, 320, 640 y 2000 ppm de cobre a 4 catalizadores de zeolita con una relación

de composición en Si/Al= 25 y los catalizadores con mayor concentración de cobre llegaron a convertir más del 80% de  $N_x$  en 250 a 400°C, por la formación de dímeros de cobre en solución ( $Cu_2 + OH^-$ ), lo que daría como resultado un anclaje de dos iones Cu(II), el cual aumenta su efectividad, pero un bajo contenido de CuO en los catalizadores exhiben una mayor selectividad de  $N_2$ . Deduciendo que los catalizadores Cu-ZSM-5 son más activos a bajas temperaturas, porque presentan menos carga de CuO (Pereda, 2014). Resaltando que la impregnación del óxido metálico (Cu) no altera la morfología de la Cu-ZSM5 (Chen et al., 2018).

Caso muy diferente al del Cu-SSZ-13, el cual fue cristalizado durante 48 h continuas, obteniendo un área superficial de  $34.82 m^2/g$  y una conversión del 98% de  $N_x$ , pero cuando la cristalización aumentó a 72 h, el área superficial fue de  $55.48 m^2/g$  mejorando su conversión aún más, sin embargo el exceso de tiempo, disminuyó el área superficial en  $51.25 m^2/g$ , lo que indica la relación entre el área superficial, la cristalización y el porcentaje de conversión; además su ángulo de difracción fue de  $2\theta = 9.5, 14.0, 16.1, 17.8, 20.8$  siendo estas idénticas a las zeolitas puras (Wang et al., 2015). Pero para otro estudio, la H-SSZ13 y Cu-SSZ13 no presentaban la formación de grandes óxidos de cobre cristalinos, lo que sugiere que las especies de Cu introducidas fueron altamente dispersadas sin aglomeraciones detectables en la superficie (Rizzotto [et al.], 2020).

Otro catalizador del tipo Cu-ZSM5 presentó picos de  $7.88^\circ, 8.76^\circ, 23.04^\circ, 23.88^\circ$  y  $24.36^\circ$ , interpretándose como buena estabilidad térmica, además su área superficial de  $110 m^2/g$  y carga del 10% de cobre, ayudó a ascender la conversión de CO en 10% a 400K, descendiendo a 0% en el rango de 500 a 650 K por falta de oxígeno, pero este empezó a subir a los 700 K llegando a alcanzar un 75% de conversión; en cambio los HC mantuvieron una conversión lineal hasta alcanzar el máximo de 90% a altas temperatura de 750 K (Li, 2005). En otro estudio, las difracciones del Cu-ZSM-5 mostraron picos de  $35.5^\circ$  y  $38.8^\circ$ , lo que demuestra la presencia de partículas de CuO bastantes grandes y una mayor absorción en esa región, los cuales catalizan principalmente las reacciones secundarias como la formación del  $N_2O$  entre 200 - 500 °C (Wang et al., 2019).

Así como las zeolitas del tipo ZSM-5 reducen la emisión de fuentes móviles, hay otros tipos de zeolitas que cumplen con el mismo objetivo, la perovskita fue



implementado en un convertidor catalítico de tres, presentando una mayor oxidación de monóxido de carbono llegando a oxidar el 60% a 500 K y 55% de  $N_x$  a 600 K (Heikens et al., 2019), su dopaje con carburo de tungsteno, redujo el 98% de CO, 97% en hidrocarburo y 99% en óxidos de nitrógeno (Lee, Kim y Baik, 2017). Y con óxido de aluminio, para motor diésel de cuatro tiempos y un cilindro, obtuvo una reducción del 90% de HC en condiciones de carga de 6 A y para el  $C_1$  y  $C_2$  hubo un aumento de 0.02 – 0.04 % de volumen, y una reducción 2.90 – 1.90 % de volumen, respectivamente; la razón por el cual el CO no reduce su volumen es debido a la falta de disponibilidad de aire para el proceso de oxidación (Karthé et al., 2016).

En otro estudio, la instalación de una caja de aire ayudó a reducir la contrapresión de los gases que ingresan al convertidor, apoyando en la reducción de las emisiones de CO y HC + NO en un 0.5% adicional al porcentaje de reducción que realiza el catalizador, los CO disminuyeron su concentración del 10 al 7% de volumen en 1000 rpm y el HC + NO en 3% a 950 rpm, concluyendo que la conversión depende del tipo de motor y la caja de aire (Rani, Hanumantha y Balakirshna, 2016). Por último, se deduce que el intercambio iónico con metales mejora el rendimiento catalítico y el aumento de la relación de composición entre Si/Al, aumenta el tiempo de vida del catalizador en un 87% (Niu, 2017).

La presente investigación se basó en las siguientes teorías: La contaminación atmosférica se define como la presencia de contaminantes en el aire que repercuten negativamente a los seres vivos y al ambiente, siendo las fuentes móviles una de las principales causas, por el crecimiento del parque automotor y la emisión de gases tóxicos, como el monóxido de carbono, óxido de nitrógeno e hidrocarburos (Saavedra-Vargas, 2014, p.6). Estas emisiones son generadas a través de un proceso de combustión interna de los motores automovilísticos, que para su funcionamiento necesitan combustibles fósiles, como la gasolina y el diésel.

Los gases principales de combustión interna automotriz son:

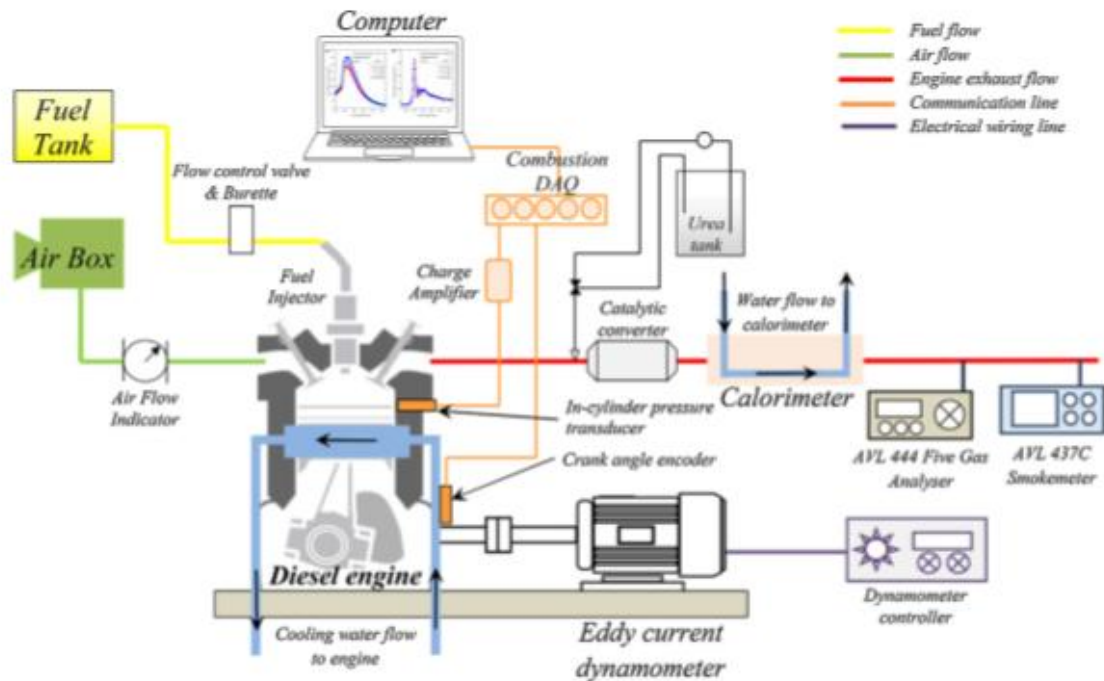
El monóxido de carbono, es un gas incoloro resultante de la combustión incompleta del motor con escasez de oxígeno, planta de combustión, tratamiento de residuos y refinerías de petróleo (Bolaños y Chacón, 2017). Los óxidos de nitrógeno, son

gases nocivos del efecto invernadero y fuente importante de contaminantes del aire, que conduce a graves problemas ambientales, como el smog fotoquímico y lluvia ácida (Bello, 2020). Y los hidrocarburos o también llamados oxidantes fotoquímicos, son los causantes de la producción de contaminantes secundarios como el metano, un gas tóxico que contribuye en la formación del efecto invernadero. Los óxidos de azufre conformado por el dióxido de azufre y trióxido de azufre, quienes al tener contacto con el agua forman la lluvia ácida y el material particulado de 10 y 2.5 micras (Orozco, Pérez y Gonzales, 2003).

A partir del siglo XIX se utilizó la catálisis en diferentes procesos como alternativa de solución para la mitigación y control de contaminantes. La Catálisis es el proceso de fuerzas químicas que ejercen una acción sobre los cuerpos, produciendo descomposición, separación y formación de nuevos compuestos. Para este proceso se utiliza un catalizador, una sustancia que acelera una reacción química, sin verse afectada. La catálisis es una de las tecnologías más aplicadas y desarrolladas a nivel mundial para la mitigación y control de emisiones atmosféricas por fuentes móviles y fijas, quienes deterioran la calidad del aire por gases tóxicos que puedan alterar su composición (Zanella, 2014).

El tipo de catálisis aplicado en fuentes móviles, es la catálisis heterogénea, porque estudia los fenómenos fisicoquímicos que ocurren cuando un material extraño actúa sobre otras sustancias que se le aproximan a su campo de fuerzas superficiales externas, impactando en la velocidad y dirección de conversión en los diferentes productos viables termodinámicamente. Este tipo de catálisis cuenta con ventajas como el tiempo de uso prolongado del catalizador, su condición de reacción es severa, el impacto económico y ambiental es menor, sin embargo presenta desventajas como la complejidad de su mecanismo y la escasez de variabilidad en las propiedades electrónicas (Lazcano, 2013).

Actualmente se utiliza el Sistema de Reducción Catalítica Selectiva para la reducción de gases de plantas de combustión con la inyección de un agente reductor llamado úrea o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y exceso de oxígeno, su funcionamiento es mejor a altas temperaturas  $> 400\text{ }^\circ\text{C}$  (Wang, 2015).

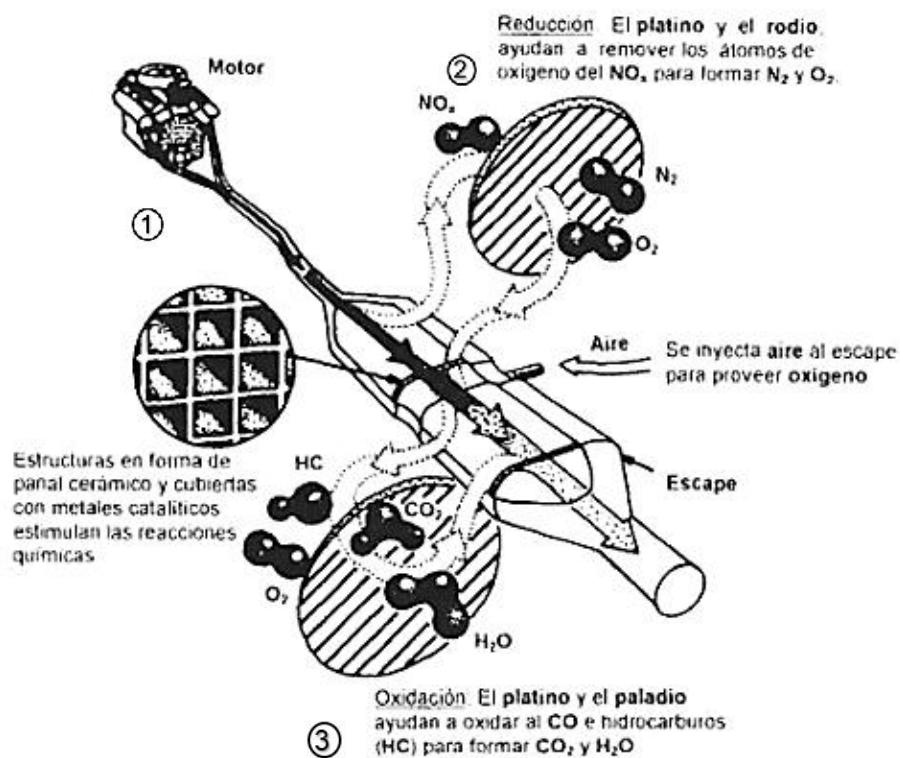


**Figura 1:** Diagrama esquemático de la configuración experimental ( Adaptado de Karthickeyan et al., 2019)

La Figura 1, representa el sistema de SCR electrónico especialmente para motores diésel, conformado por un dinamómetro, quien se ocupa en controlar la fuerza que ejerce el motor, un analizador de gases, el tanque de combustible y una caja de aire, muy importante para los procesos de oxidación de gases como CO, HC y NOx, y por último un convertidor catalítico que será inyectado con urea, como agente reductor de NOx.

Actualmente, este tipo de tecnología es aplicada en automóviles de motor diésel, al cual le inyectan una solución de urea al 32% en agua y este reacciona por el método de termólisis produciendo amoníaco a una temperatura de 200 – 300 °C (Decolatti, 2012, p.13). Su aplicación en el sector automovilístico, surge con la fabricación de los convertidores catalíticos, definidos como dispositivos instalados en el sistema de tubo de escape de los automóviles para el control y reducción de emisiones de gases tóxicos como los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre e hidrocarburos no quemados. Actualmente la fase activa del dispositivo está compuesto de metales preciosos como el Platino, Rodio y Paladio, quienes se comportan como catalizadores reductores y oxidantes (Sen, 2016, p.101).

La función catalizadora de un convertidor de gases comercial se desarrolla de la siguiente manera, (1) el gas inicial ingresa por el conducto que une al motor y llega hasta el escape ingresando en la estructura monolítica, (2) el primer monolito asume la función reductiva, revestido por metales raros como el platino y el rodio quienes ayudan a remover los átomos del  $\text{NO}_x$  para formar  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$ , seguidamente se inyecta aire al escape para proveer oxígeno, (3) esos gases ingresan a la fase oxidativa, donde el platino y el paladio ayudan a oxidar el  $\text{CO}$  e hidrocarburos (HC) para formar  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , los cuales son emitidos como gases resultantes de la conversión (Figura 2).



**Figura 2:** Convertidor Catalítico ( Adaptado de Schifter y López, 2010)

Uno de los procesos más importantes del convertidor catalítico es la fase activa y está conformado por catalizadores revestidos en una o dos monolitos. Estos monolitos o panal de abeja son estructuras continuas y uniformes con pasajes pequeños y paralelos, utilizados como soporte, responsable de la fase activa. Su comercialización y aplicación comenzó desde los años 70 con el propósito de descontaminar y controlar los gases emitidos por automóviles y plantas de ácido nítrico. Estas cerámicas presentan una sección transversal formado de celdas que

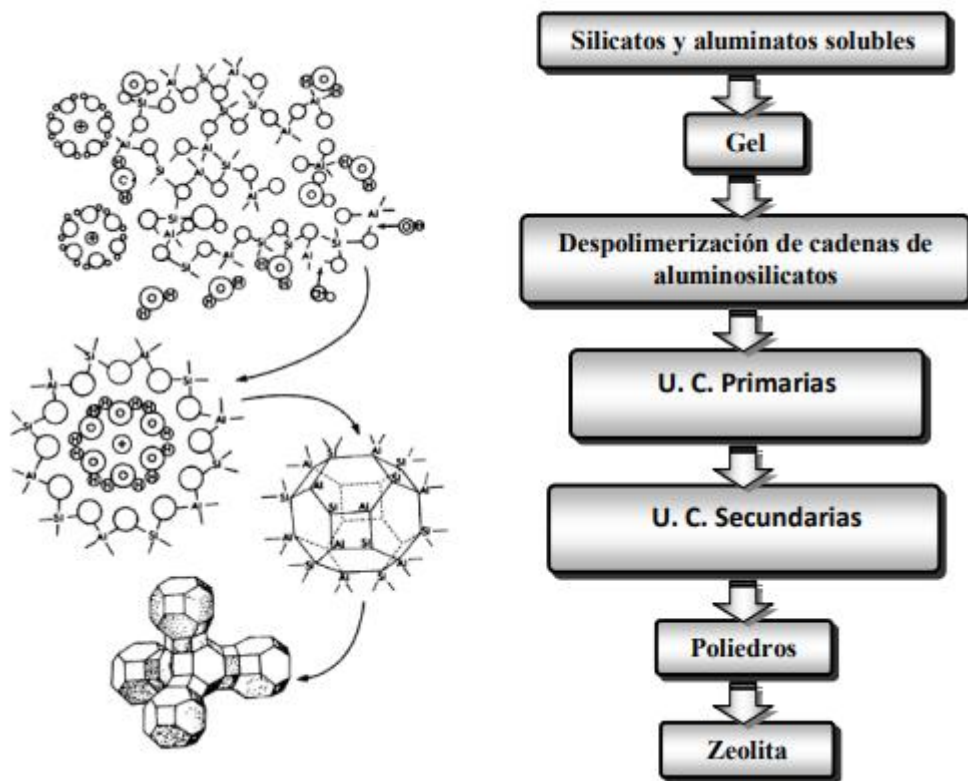
pueden ser diseñados de varias formas, circulares, triangular, hexagonales y rectangulares. Respecto al material de fabricación, son de dos tipos: metálico y cerámico, siendo este último el más comercializado.

Los monolitos cerámicos fueron aplicados en la industria a comienzos de 1966 con el propósito de limpiar los gases emitidos por el ácido nítrico. Progresivamente, se implementaron en el tratamiento de gases provenientes del escape. Usualmente está compuesto de cordierita en forma de un panal o espumas de cerámica. Estos son obtenidos por el proceso de extrusión y corrugación. Las espumas cerámicas inicialmente fueron utilizadas en la filtración de metales fundidos y gases calientes. Su porosidad estructural favorece el flujo turbulento, mejorando la transferencia de masa (Govender y Friedrich, 2017, p.4). Y el monolito de cordierita es uno de los más utilizados como soporte catalítico para la limpieza de gases de escape debido a su estabilidad hidrotérmica superior, bajo coeficiente de expansión térmica y bajo costo (Wang, 2015). Por ello, la elección de un soporte que cumpla la función de fase activa es importante, ya que es responsable de la actividad catalítica donde se desarrollará una serie de reacciones bajo condiciones o estándares establecidos.

Este proceso puede ser costoso, por el uso de metales preciosos como el platino y el rodio en la reacción reductora y paladio con radio en la reacción oxidativa, además puede mostrar sensibilidad en la variación de temperatura (Schifter y López, 2010). Por ello, en esta investigación se utilizó la zeolita como catalizador, siendo este un mineral del tipo aluminosilicatos tridimensionales cristalinos, con capacidad de retención e intercambio de iones, cationes sin modificar su estructura atómica natural, alta estabilidad y selectividad (Kianfar, 2020). En general, las zeolitas tienen diversas propiedades únicas, que incluyen acidez, estructuras de poro bien definidas y difusión limitada en geometría, haciéndolos interesantes como catalizadores para aplicaciones ambientales (Moliner y Corma, 2019). Además de presentan poros pequeños que se desempeñan en un rango más amplio de temperaturas de operación entre 200 y 600°C, mostrando alta estabilidad hidrotérmica (Argyle, 2015).

Para la obtención de las zeolitas, la metodología más utilizada es el proceso de síntesis hidrotermal, definido como una técnica versátil y adaptable cuando se utiliza precursores sólidos, capaz de obtener nanopartículas de materiales

cristalinos sobre el cual se puede ejercer un control del tamaño y morfología mediante procesos sencillos (Azor Lafarga, 2017). Existen dos tipos de síntesis, asociadas a bajas y altas temperaturas, la etapa más importante en el proceso de sintetización es la formación del gel, ya que esta etapa busca la unión de aluminato y silicato para formar cristales zeolíticos (Figura 3).



**Figura 3:** Fases que constituyen el proceso de síntesis hidrotérmico ( Adaptado de Torralba Simón, 2010)

Los parámetros que influyen en este proceso son:

La temperatura, favorece el proceso de despolimeración de los polialuminosilicatos de la mezcla y ayuda a conseguir una relación de sílice/alúmina más alta, este indicador precisa la estructura final de la zeolita. También es necesario conservar un pH alcalino para mantener los silicatos y aluminatos disueltos, en consecuencia se podrían formar hidróxidos (Torralba Simón, 2010).

El intercambio iónico consiste en adherir un metal en la matriz sólida de nuestro catalizador, con el propósito de mejorar su capacidad catalítica (Fernández Ruiz, 2015).

Con respecto al enfoque conceptual de las dimensiones e indicadores de la investigación, la primera dimensión a tomar en cuenta son las características del catalizador como la composición del material, estructura cristalina y temperatura. La composición es una característica química que nos permite identificar la relación del catalizador sintetizado a partir de las proporciones de elementos que lo componen. En cambio la estructura cristalina nos brindará información sobre la organización de los átomos de la zeolita por medio de picos de cristalización, el cual nos servirá para identificar su tipología. La técnica que se emplea para la evaluación de las características mencionadas, es el método de Difracción de Rayos X (DRX), el cual consiste en la irradiación de rayos X sobre los diminutos cristales, que actúan dispersándolos en direcciones e intensidades determinadas, con el fin de obtener la estructura molecular de la sustancia (Lazcano, 2013, p.37). La temperatura se analizó por el método termogravimétrico, donde el material es sometido a un tratamiento térmico bajo flujo de aire, para determinar si hay una pérdida de peso o presenta estabilidad térmica (Naffati *et al.*, 2020, p.3).

En cuanto a la dosis del catalizador, se utilizó la técnica de revestimiento por inmersión, la más utilizada en los procesos catalíticos heterogéneos por su facilidad en depositar un catalizador sólido sobre las paredes de un monolito cerámico (Hernández *et al.*, 2018). Finalmente cuando se haya culminado con la preparación y revestimiento del catalizador, son instaladas en el convertidor y medidas según condiciones de operación, en el desarrollo de la investigación está compuesta por parámetros que se deben controlar, supervisar y calibrar para obtener resultados eficientes. Uno de los parámetros a medir durante el funcionamiento del convertidor catalítico es la velocidad del motor, temperatura y tiempo de conversión.

La velocidad vehicular depende de la cantidad de revoluciones que da un cigüeñal por minuto. La velocidad no es directamente proporcional con el consumo de combustible, es decir si la velocidad del auto es menor, requiere mayor consumo de combustible y viceversa. Pero, si las velocidades del motor aumentan, también la temperatura interna aumenta, generando mayor emisión de óxidos de nitrógeno (Álvarez, 2011). Y finalizando, la temperatura es el factor de operación más importante en el funcionamiento interno del motor, ya que depende de este su vida útil. Solo los motores diseñados con alta resistencia podrían soportar altas

temperaturas, pero otras no. Además, la velocidad de desactivación de las partículas del catalizador y su efectividad en remoción, dependen de la temperatura máxima del proceso (Niu, 2017).

Este estudio cuenta con otro propósito adicional, reducir la concentración de gases de combustión interna automotriz y cumplir con el D.S N° 010-2017-MINAM, el cual establece los Límites Máximos Permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores (Tabla 1).

**Tabla 1:** Límites Máximo Permisibles para vehículos en circulación

II.4 Vehículos de categorías M y N con motor encendido por chispa a gasolina, GLP o GNV como combustibles y 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 Tarjeta de Identificación Vehicular.

(1) Solamente para GLP/NV

Fuente: D.S N° 010-2017 MINAM



### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de Investigación

El presente estudio, se desarrolló según el tipo de investigación de tipo aplicada, ya que se caracterizó en utilizar los conocimientos teóricos para aplicarlos en una situación concreta (Vargas, 2009, p.159). Por ello, se instaló un convertidor catalítico con monolito de cordierita revestido de Cu-Zeolita en su interior, para identificar si existe o no una reducción de los gases de combustión interna de un vehículo antiguo.

El diseño de la investigación es Experimental del tipo Experimental puro, porque se maneja la variable independiente, para analizar los posibles resultados y observar los efectos sobre las variables dependientes en una situación de control y operación (Arias, 2006). En la investigación, se evaluó el comportamiento del catalizador Cu-Zeolita respecto a las condiciones de operación en la reducción de gases de combustión interna automotriz.

El nivel de la investigación es explicativa porque se midió las concentraciones de los gases automovilísticos en revoluciones mínimas y máximas, así como en diferentes combustibles, gasolina y GLP. Este nivel de investigación busca saber el porqué de lo acontecido mediante la relación causa-efecto (Fidias, 2012).

**O<sub>1</sub>-----X-----O<sub>2</sub>**

Dónde:

O<sub>1</sub> : Medición inicial de la concentración de gases automovilísticos.

O<sub>2</sub> : Medición final de la concentración de gases automovilísticos.

X: Tratamiento de la zeolita

### 3.2. Variables y operacionalización

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo. De acuerdo con (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), este tipo de enfoque busca probar la hipótesis por medio de recolección de datos de forma secuencial.

#### 3.2.1. **Variable independiente:** Uso de Cu-Zeolita en convertidor catalítico

Definición conceptual: La zeolita es un mineral aluminosilicatos con capacidad de absorción y retención de gases (Govender y Friedich, 2017, p.4). Los convertidores catalíticos son dispositivos instalados en el sistema de tubo de escape de los automóviles para el control y reducción de emisiones de gases tóxicos (Sen, 2016).

Definición operacional: Se realizó un tratamiento a la zeolita, pasando por un proceso de síntesis e intercambio iónico con Cu. El catalizador obtenido, fue analizado por el método Termogravimétrico y discutido con estudios previos sobre la composición y la estructura cristalina. Posteriormente se realizó un revestimiento por inmersión a un monolito de cordierita con el catalizador según la dosis, finalmente fue instalado en un convertidor de metal inoxidable y conectado al escape del automóvil.

Indicadores: Su primera dimensión: Las características fisicoquímicas del catalizador, conformado por la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), la estructura cristalina ( $^{\circ}$ ) y la Composición elemental (%). Segunda dimensión: La dosis de revestimiento del monolito de cordierita fue con 20 gr. de una solución preparada con Cu-Zeolita y aglutinantes; y la tercera dimensión estuvo conformado por las condiciones de operación del convertidor: temperatura del motor ( $^{\circ}\text{C}$ ) y revoluciones por minuto (rpm).

#### 3.2.2. **Variable dependiente:** Reducción de gases de combustión interna automotriz.

Definición conceptual: Los gases de combustión interna automotriz conformado por CO, HC y  $\text{CO}_2 + \text{CO}$  es el principal factor de deterioro del aire, que conduce a graves problemas ambientales, como el cambio climático (Bello, 2020).

Definición operacional: Se determinó la concentración inicial y final de HC, CO y  $CO_2 + CO$  del escape con un analizador de gases HGA 400, según condiciones de operación: temperatura del motor y revoluciones por minuto (rpm).

Indicadores: La cuarta dimensión: Concentración inicial, final de CO,  $CO_2 + CO$  (% vol.),  $H (ppm)$  y porcentaje de reducción. Y la última dimensión: tiempo de emisión (s).

### 3.2.3. Escala de medición

Los indicadores de medición presentan escala de intervalo.

## 3.3. Población, muestra y muestreo

### Población

La población se define como el conjunto de individuos que mantienen una relación entre sí (Hernández, Fernández y Baptista, 1991). Por la naturaleza de la presente investigación la población es representada por la concentración de  $CO_2$ ,  $C$  y  $H$ , con 206 000, 272 905, 2 227 ton/año, respectivamente en el distrito de Lima y Callao del 2016 (**Tabla 2**). Y un valor total de 433 unidades vehiculares de autos Toyota del 2019 (**Tabla 3**).

**Tabla 2:** Promedio anual de Emisiones de los vehiculos en Lima-Callao, 2016 (Ton/año)

Contaminante (Ton/año)	2016
Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )	206 000.4
Monóxido de Carbono ( $C$ )	272 905
Hidrocarburo ( $ppm$ )	2 227

**Fuente:** Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA)

**Tabla 3:** Evolución del Parque Vehicular Autorizado según marca 2012-2019  
(Unidades vehiculares)

Marca	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Toyota	143	150	200	232	281	310	393	433

**Fuente:** MTC - Dirección General de Transporte Terrestre

- ) **Criterios de inclusión:** Autos antiguos con año de fabricación menores a 1995, biocombustible, personal, marca Toyota.
- ) **Criterios de exclusión:** Autos nuevos con año de fabricación mayor a 1996, motores diésel.

### Muestra

La muestra en esta investigación comprende las concentraciones de HC, CO y  $CO_2 + C$  emitido por la combustión interna del automóvil Toyota Corona 1984, biocombustible y de uso personal, el cual fue nuestro objeto de estudio donde se instaló, controló y midió las concentraciones de HC, CO y  $CO_2 + C$  con y sin convertidor catalítico (Figura 4).



**Fuente:** Propia, 2020

**Figura 4:** Toyota Corona 1984

## **Muestreo**

La técnica de muestreo es probabilístico al azar, porque se optó por aplicar la investigación en un automóvil, con el fin de analizar y determinar si el convertidor de gases con Zeolita reduce los HC, CO y  $CO_2 + C$  del sistema de escape. Este tipo de técnica, es incluida en un proceso de selección orientado por los criterios de la investigación, definiendo las características y tamaño de la muestra (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

**Unidad de análisis:** % v . para CO,  $CO_2 + C$  y ppm para HC.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos utilizadas son la Observación y el análisis documental. Respecto a la observación, tiene la intención de registrar sistemáticamente cada situación o fenómeno observado, a través de una serie de variables (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), y el análisis documental, recolecta información secundaria para después utilizarlo como argumento o soporte de los resultados.

Los instrumentos de recolección son los siguientes:

#### **) Ficha de Recolección de Datos N° 01 : Información del vehículo**

En esta ficha se registró todas las especificaciones del vehículo Toyota Corona 1984, el cual es utilizado como nuestro objeto de estudio.

#### **) Ficha de Recolección de Datos N° 02: Hoja de análisis del catalizador preparado:**

Esta ficha registró las propiedades fundamentales del catalizador preparado, tales como su estabilidad térmica, estructura cristalina y la composición química.

) **Ficha de Recolección de Datos N° 03: Concentración de gases de combustión interna sin convertidor catalítico**

Esta ficha registró las concentraciones iniciales de HC, CO y  $CO_2 + C$  sin catalizador, según condiciones de operación como la temperatura y revoluciones por minuto del motor.

) **Ficha de Recolección de Datos N° 04: Concentración de gases de combustión interna con convertidor catalítico**

Esta ficha registró las concentraciones finales de HC, CO y  $CO_2 + C$  después de instalar el convertidor catalítico con zeolita, según condiciones de operación como la temperatura y revoluciones por minuto del motor.

) **Ficha de Recolección de Datos N° 05: Ficha de porcentaje de reducción de HC, CO y  $CO_2 + C$**

Esta ficha registró el porcentaje de reducción de HC, CO y  $CO_2 + C$ , así como la concentración Vs tiempo de emisión.

**Validez**

La validez del instrumento determina la capacidad que puede poseer un instrumento para cuantificar de forma específica y correcta las variables (Hurtado, 2012). La validez de los instrumentos ha sido evaluada por los siguientes especialistas (Tabla 4):

**Experto 1:**

Apellidos y Nombres: Elmer Benites Alfaro

Grado: Doctor

Especialidad: Ingeniero Químico

CIP: 71998

**Experto 2:**

Apellidos y Nombres: Jorge Leonardo Jave Nakayo

Grado: Doctor

Especialidad: Agricultura- Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

CIP: 43444

**Experto 3:**

Apellidos y Nombres: Jhonny Wilfredo Valverde Flores

Grado: Doctor

Especialidad: Ingeniero Químico

CIP: 79862

**Tabla 4 : Porcentaje de validación**

<b>Nombres y apellidos del experto</b>	<b>Validez</b>
Elmer Benites Alfaro	95%
Jorge Leonardo Jave Nakayo	90%
Jhonny Wilfredo Valverde Flores	95%

**Confiabilidad**

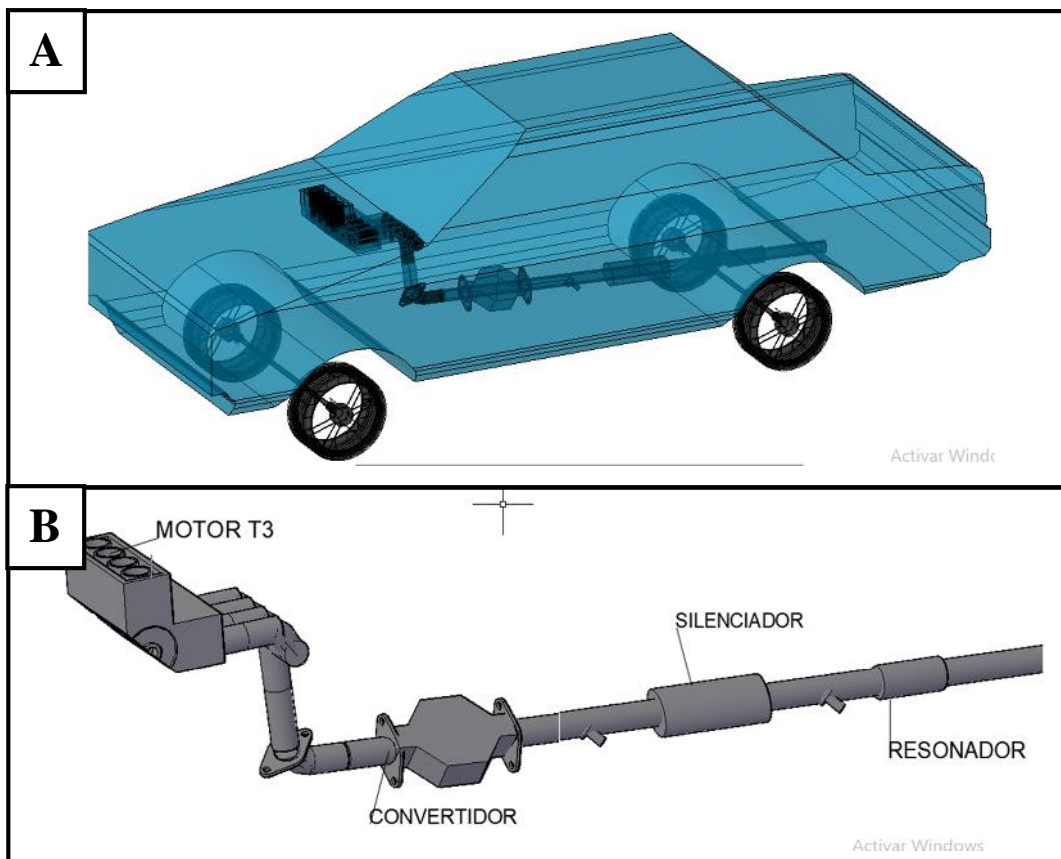
Según (Kelinger y Lee, 2012, p.581), la confiabilidad es el grado el instrumento de recolección de datos seguirá produciendo el mismo resultado de forma concisa y coherente. En el estudio, la confiabilidad del instrumento se verificó en el desarrollo del trabajo de investigación.

### 3.5. Procedimientos

La investigación se dividió en 5 etapas:

#### Etapa 1: Adecuación del convertidor

El sistema de escape automotriz es una de las piezas más importantes de los vehículos, porque asegura su funcionamiento y la seguridad de los pasajeros, al expulsar los gases nocivos que se producen por la combustión interna del motor (Figura 5A).



Fuente: Elaboración propia - AutoCAD

**Figura 5:** Sistema de escape automotriz en 3D

Para una mejor comprensión de este sistema se identificó las piezas que conforma el sistema de escape común y se plasmó en 3D: el motor, convertidor, silenciador, resonador y todas las conexiones de escape (Figura 5B).

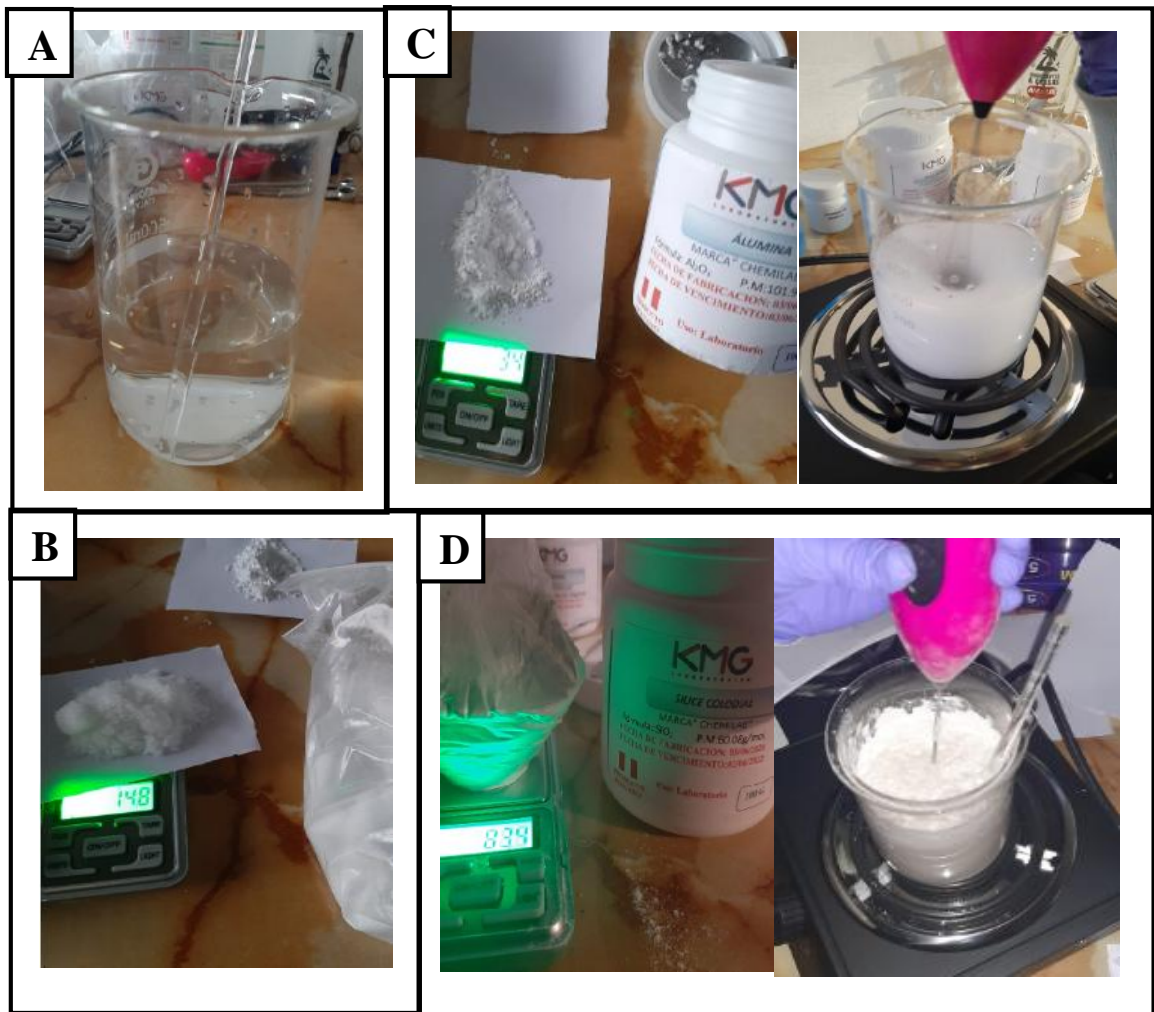


## Etapa 2: Medición inicial de HC, CO y CO<sub>2</sub> + C

Se midió la concentración de HC, CO y CO<sub>2</sub> + C con el analizador HGA 400 en el sistema de escape, según las condiciones de operación: Temperatura y revoluciones por minuto (rpm).

## Etapa 3: Tratamiento y análisis del Cu-zeolita

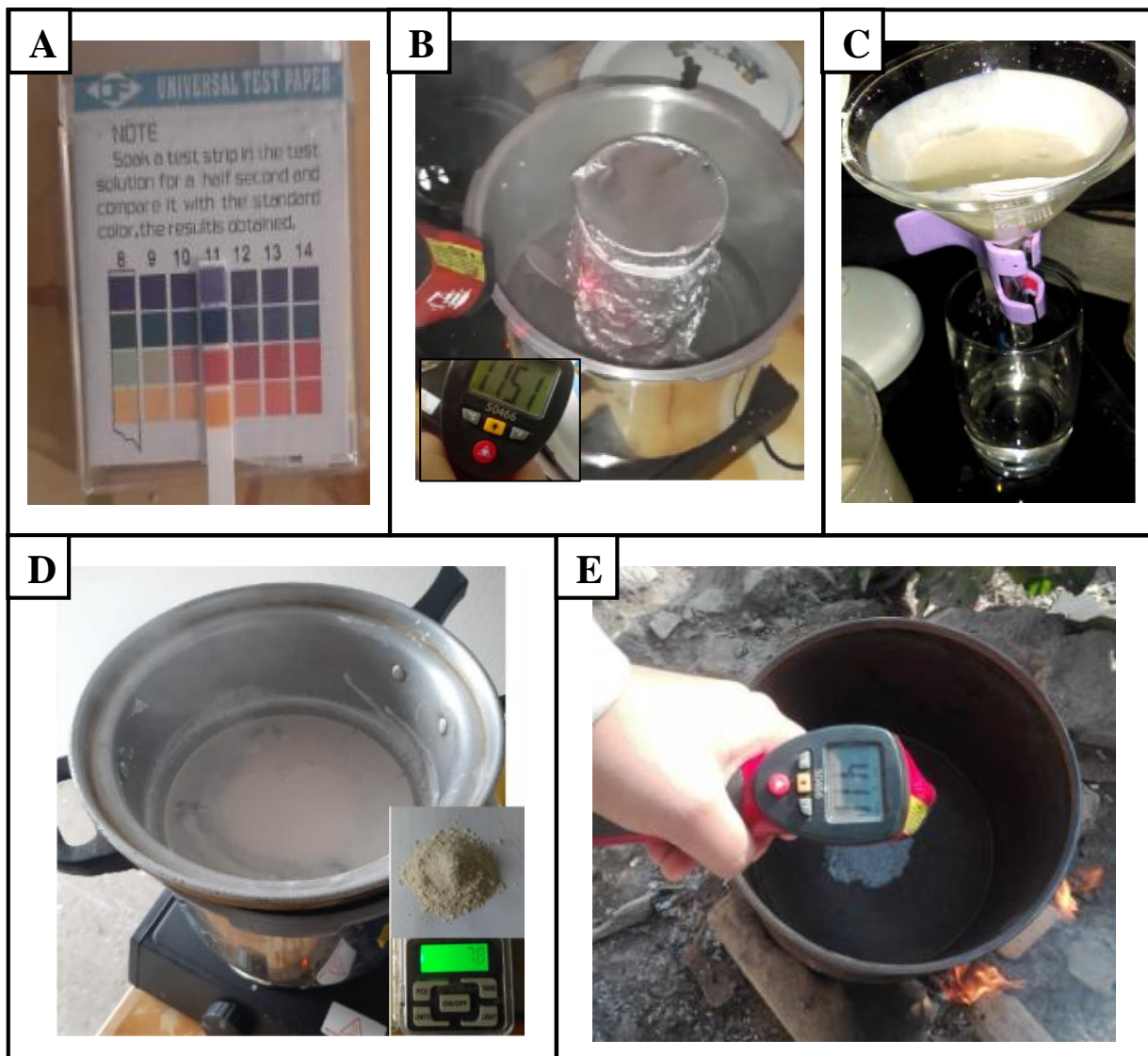
### Paso 1: Síntesis de la Zeolita tipo NaZSM-5 por el método Hidrotermal



**Figura 6:** Procedimiento de la preparación de la solución zeolita

- ) Se pesó 3,2 gramos de Hidróxido de Sodio (NaOH) en una balanza gramera de 500gr y se disolvió en 269,14 ml de Agua Destilada, la disolución duro 15 minutos (Figura 6A).

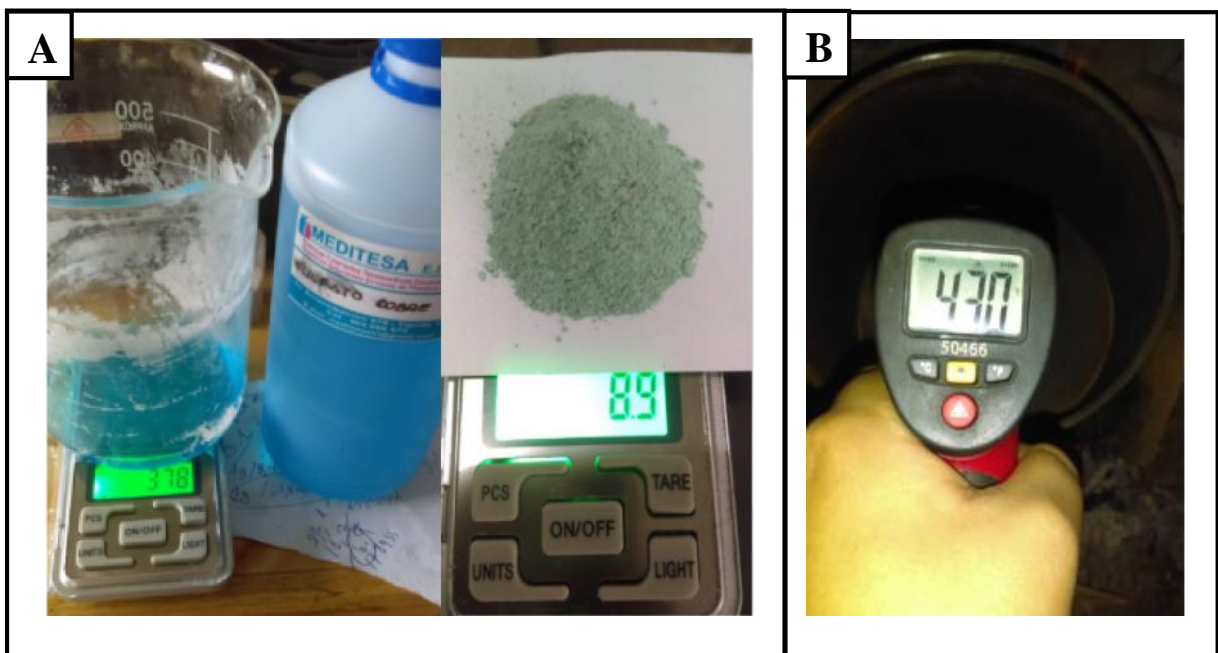
- )] Luego se pesó 14,8 g de Bromuro de Tetrapropilamonio (TPA) y se agregó a la solución preparada, agitándolo por 15 min con una batidora de mano (Figura 6B).
- )] Se agregó 3,4 g de Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y se dejó agitar 30 min (Figura 6C).
- )] Por último se agregó 83,4 g de Sílice coloidal ( $\text{SiO}_2$ ) y se disolvió con una agitación de 30 minutos (Figura 6D).



**Figura 7:** Medición de ph y cristalización hidrotérmica de la zeolita

- ) Después de la mezcla de la solución, se midió con un pH metro, teniendo como resultado pH: 12 (Figura 7A), confirmando el pH teórico de 11.8 (Fernández, 2015, p.26).
- ) Para su cristalización hidrotérmal, se sometió a 115 -120 °C por 72 horas (Figura 7B).
- ) Se filtra y se lava con agua destilada (Figura 7C).
- ) Luego es secado a 100°C por 2 horas y calcinado a 450 °C por 10 horas (Figura 7D, E).

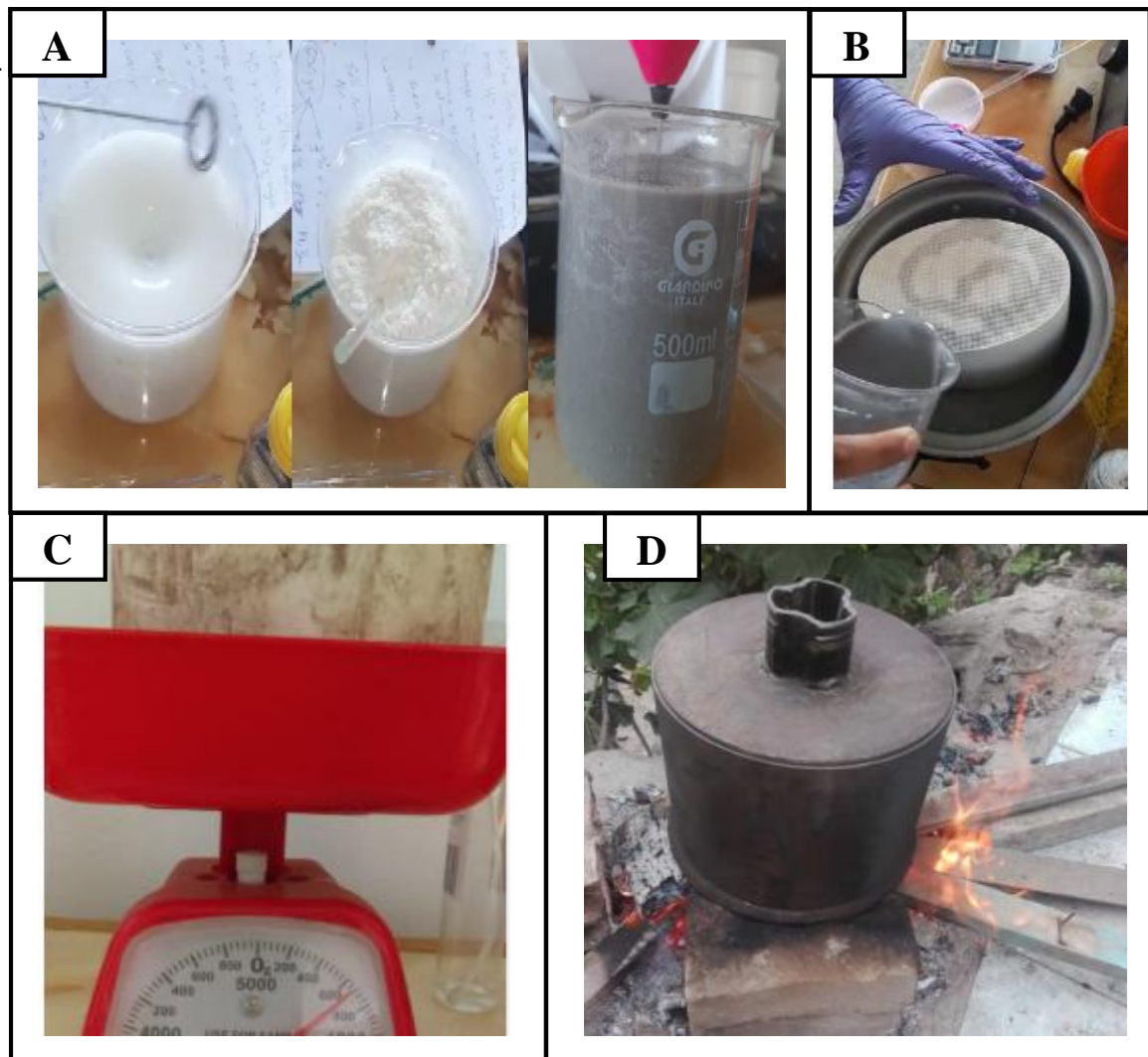
**Paso 2:** Intercambio iónico de la zeolita preparada con cobre (Guerrero, et al., 2019, p.5582)



**Figura 8:** Procedimiento de Intercambio Iónico de la zeolita con cobre

- ) Se realiza una mezcla homogénea de la zeolita preparada con la solución de  $\text{CuSO}_4$  1 M en una relación 1:5.4 de peso a volumen (g: ml) a 60 °C durante 1 hora, dejando remojar durante 48 horas (Figura 8A).
- ) La muestra final se lava con agua destilada.
- ) Se calcina por 400°C durante 4 horas (Figura 8B).

**Paso 3:** Revestimiento del soporte con la zeolita por el método de inmersión (Zamaro, Ulla y Miro, 2005, p. 26).



**Figura 9:** Procedimiento del revestimiento por inmersión de la cordierita

- ) Se agregó 8,1 g de Cu-Zeolita, 18 g alúmina, el restante de  $H_2O$  y 19,3 g de  $SiO_2$  como aglutinante (Figura 9A).
- ) Se sumergió 5 veces por minuto la cordierita en la solución acuosa preparada (Figura 9B).
- ) Se extrae el monolito y el exceso de suspensión se elimina con aire comprimido durante 5 minutos.
- ) Se seca a  $120\text{ }^{\circ}C$  durante 2 horas, hasta que el peso del monolito suba (Figura

9C).

J) Al final se calcinó a 500 °C durante 5 horas para activar los catalizadores (Figura 9D).

#### **Paso 4: Construcción e instalación del convertidor**

Después de tener listo nuestro monolito de cordierita revestido con el catalizador Cu-ZSM5, se amoldó la carcasa de metal con las dimensiones de la cerámica, y las entradas que conectan el tubo de escape (Figura 10).



**Figura 10:** Moldeo de la carcasa del convertidor catalítico



**Figura 11:** Cubrimiento del monolito cerámico con fibra y malla

En la Figura 11 se cubre la cordierita con una fibra de vidrio con el propósito de mantener la temperatura en el soporte sin afectar su estructura, y se ajusta con malla de hierro para que este no sufra algún daño con el movimiento del automóvil. Por último se suelda las tres piezas, incluido la cerámica (Figura 12).



**Figura 12:** Soldación del convertidor catalítico

#### **Análisis de laboratorio del Cu-zeolita:**

La caracterización de la muestra obtenida fue analizada por el método TGA con el propósito de determinar el comportamiento del catalizador respecto a la temperatura y una recopilación de información referente a los difractogramas de Difracción de rayos X según autores que sintetizaron Cu-ZSM5 y otros que utilizaron otro tipo de zeolita (composición elemental y estructura cristalina).

#### **Etapas 4: Medición final de HC, CO y CO<sub>2</sub> + C**

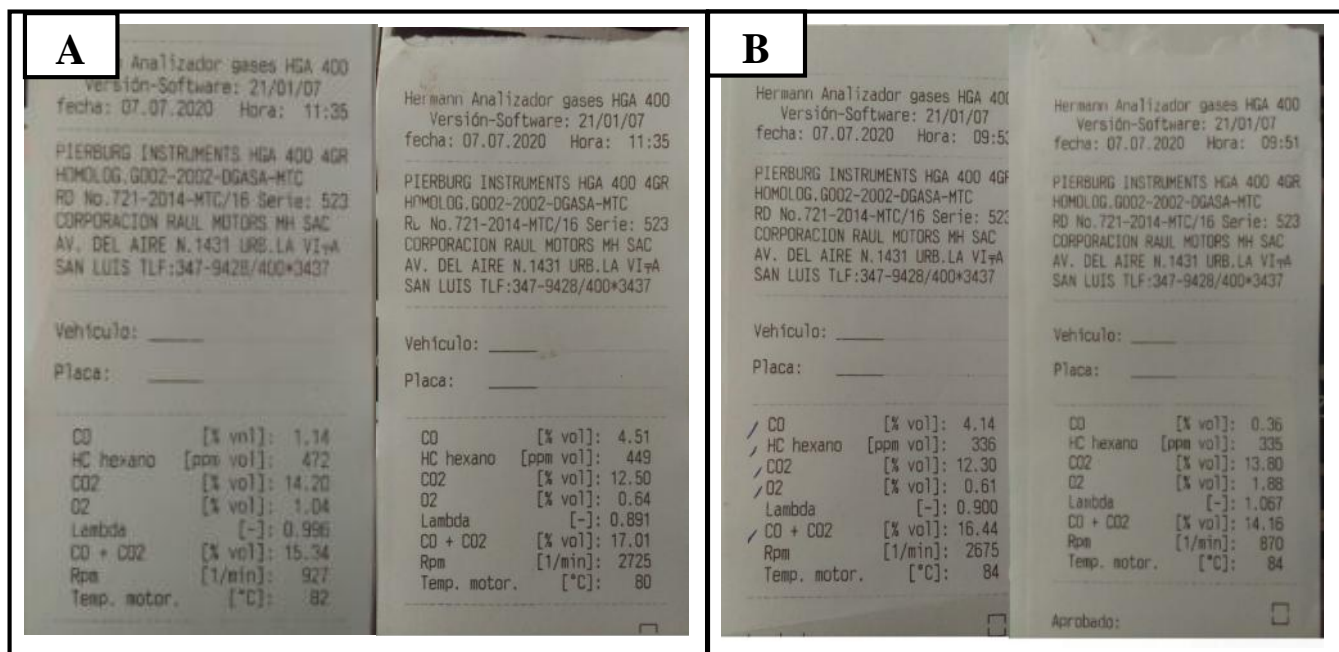
Las mediciones de las concentraciones de HC, CO y CO<sub>2</sub> + CO se realizaron antes y después de la instalación de convertidor catalítico, en diferentes revoluciones por minuto mínimas y máximas cuando este utilice GLP y gasolina, el equipo utilizado fue un analizador de gases HGA 400 4GR con Homologación G002 – 2002 – DGASA –MTC en servicio de la Corporación Raúl Motors MH SAC (Figura 13).



Fuente: Elaboración propia

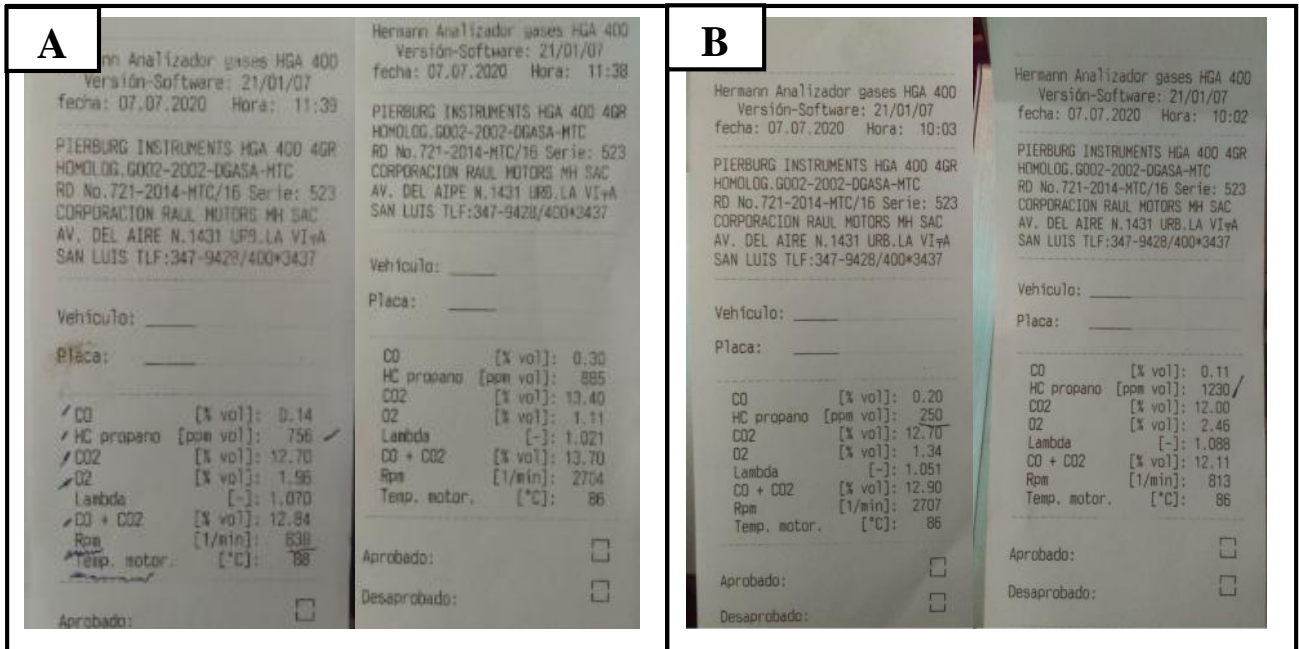
**Figura 13:** Medición de gases con el analizador HGA 400

La Figura 14A, muestra las concentraciones de gases antes incorporar el convertidor catalítico para un motor gasolinera y la Figura 14B, las concentraciones después de instalar el convertidor en revoluciones mínimas y máximas como establece la metodología del Decreto Supremo N° 047 - 2001MTC y su última actualización del 2017.

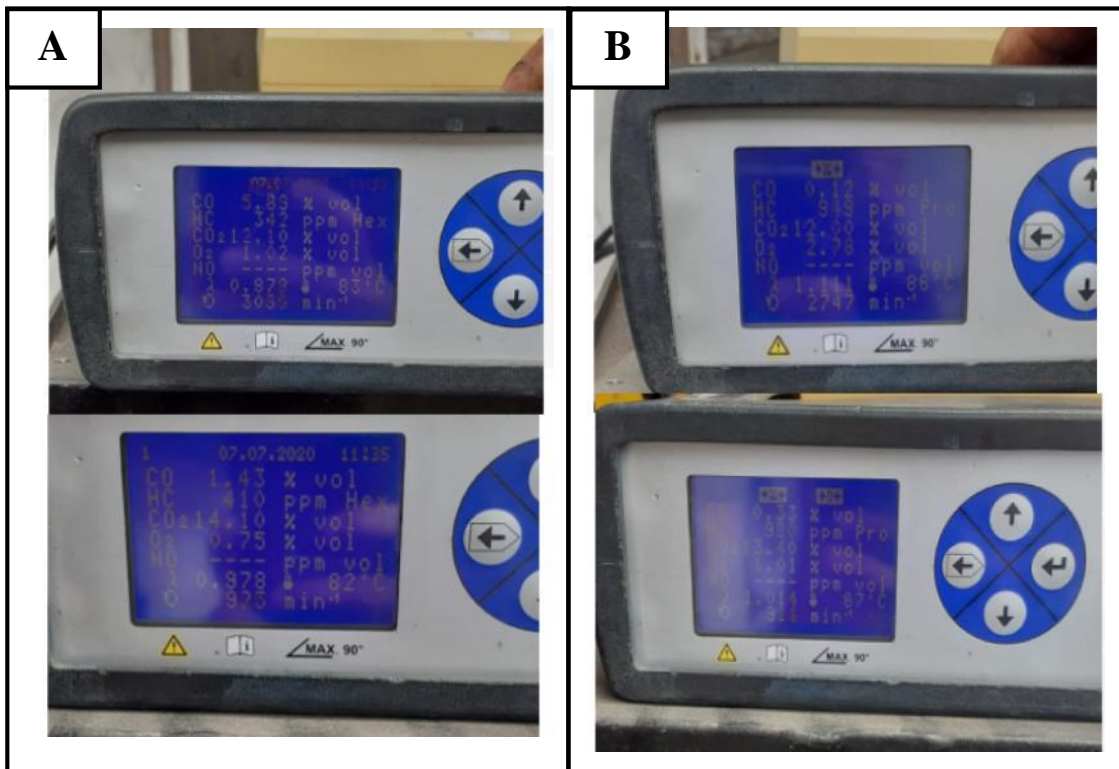


**Figura 14:** Medición inicial y final de gases para combustible de gasolina D.S 010-2017-MINAM

La Figura 15A, muestra las concentraciones de gases antes incorporar el convertidor catalítico para un motor que utilice GLP y la Figura 15B, las concentraciones después de instalar el convertidor en revoluciones mínimas y máximas



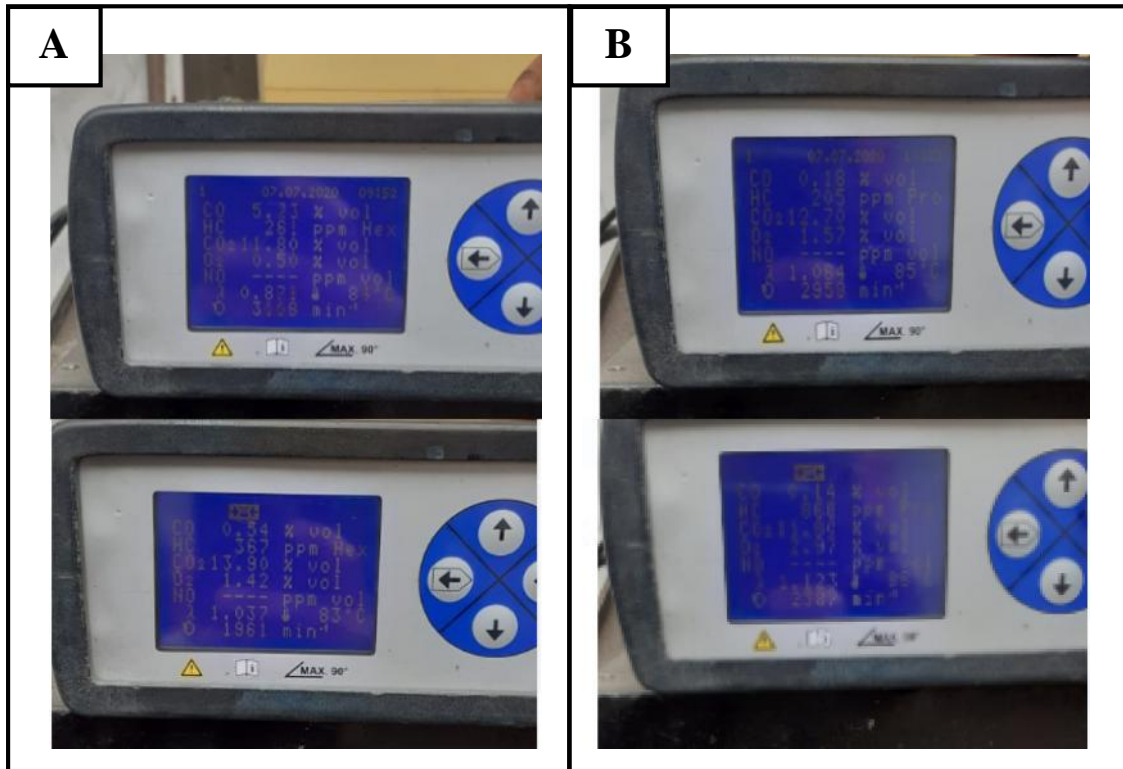
**Figura 15:** Medición inicial y final de gases con combustible GLP según D.S 010-2017-MINAM



**Figura 16:** Medición de gases antes de la instalación del convertidor catalítico a base de Cu-Zeolita



En la Figura 16A, se aprecia las mediciones complementarias de gases sin el convertidor para motor gasolinero, para altas y medianas revoluciones por minuto, asimismo en la Figura 16B, las mediciones de gases fueron realizadas con consumo de GLP sin el convertidor, con el propósito de evaluar si el cambio de combustible varía el proceso catalítico de la Cu-Zeolita.

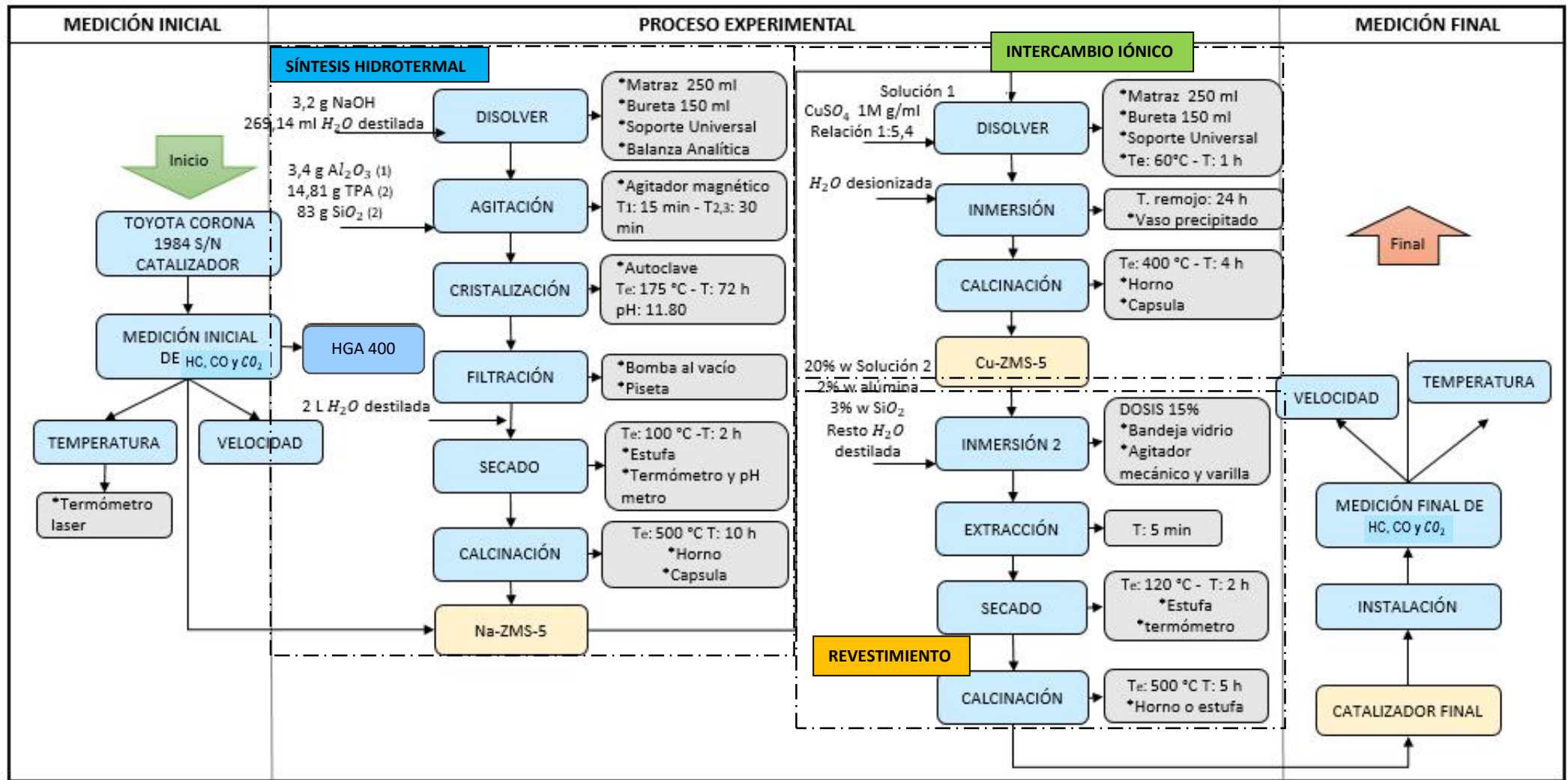


**Figura 17:** Medición de gases con el convertidor catalítico a base de Cu-Zeolita

En la Figura 17A, se midió los gases de combustión ya con el convertidor instalado en el sistema de escape para motor Gasolinero en altas y medianas revoluciones por minuto, y para la Figura 17B se aprecia las mediciones complementarias de gases para motor GLP.

#### **Etapa 5: Análisis de resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos fueron evaluados e interpretados por la técnica de análisis documental.



Activar Windows

Figura 18: Proceso experimental de la Cu-Zeolita

### **3.6. Métodos de análisis de datos**

En el estudio los datos obtenidos fueron sometidos a una estadística descriptiva por medio de tablas y gráficos que representarán las condiciones de operación respecto a la concentración de HC, CO y  $C_2 + CO$  y estadística inferencial de los datos para deducir si hubieron diferencias o no en las medición inicial y final de los gases de combustión mediante el programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) 23.

### **3.7. Aspectos éticos**

La presente investigación se culminó cumpliendo el código de Ética y criterio de veracidad de los resultados. Según la FAO, la ética se define como el análisis del comportamiento moral humana ante una situación, este se ocupa de guiarlo por un buen camino. Por lo tanto toda información fue procesada por el sistema de Turnitin, quien se ocupa en verificar si existe algún tipo de plagio en el proyecto.

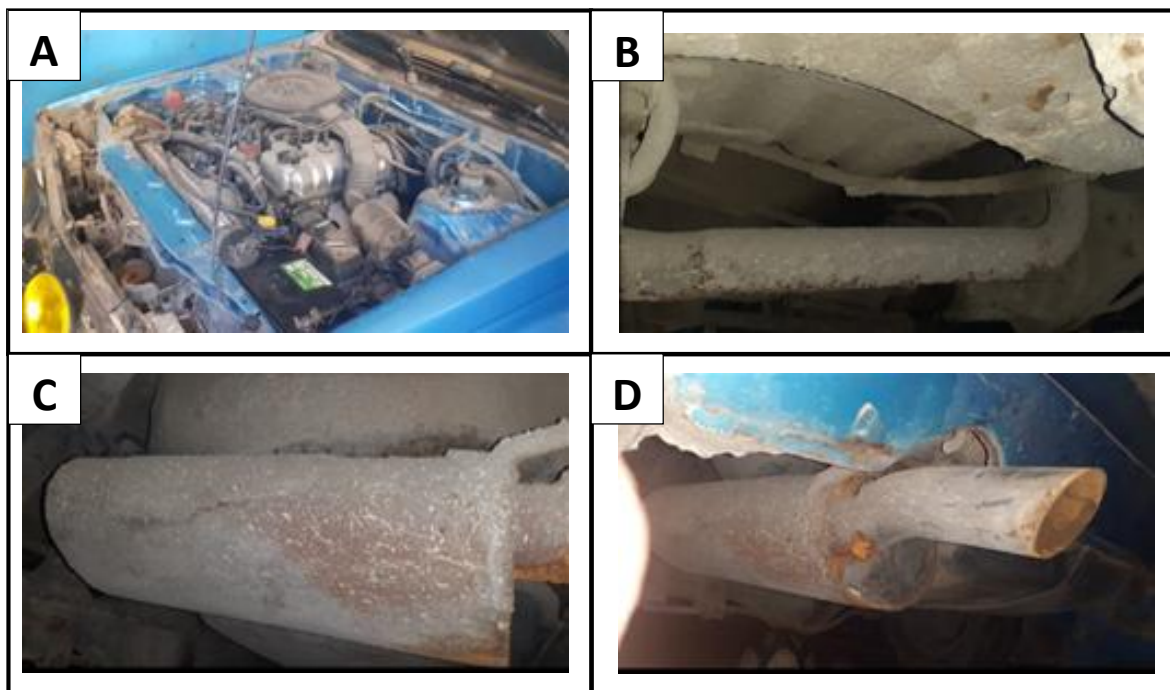
Respecto a la propiedad intelectual, la información de este proyecto fue citada y referida con la norma ISO 690. Según (International Organization for Standardization, 2013), brinda directrices para la elaboración de referencias bibliográficas y citas de diferentes recursos. Respecto a la investigación, fue desarrollado de acuerdo a los lineamientos instituidos por la Universidad Cesar Vallejo.

#### IV. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de la investigación según etapas de desarrollo.

##### **Etapas 1: Adecuación del convertidor**

Se realizó una verificación de los componentes del sistema de escape del Toyota Corona 1984:



**Figura 19:** Sistema de escape automotriz del Toyota Corona 1984

- ) Consta de un motor T3, con dimensiones de 390 mm de ancho x 410 mm largo x 275 mm de altura (Figura 19A).
- ) Tubo de escape de 3.20 metros de largo x R 35 mm (Figura 19B).
- ) Un silenciador cuya función es atenuar el ruido producido por los gases del escape con medidas: 500 mm de largo x R 35mm x 100 mm altura (Figura 19C).
- ) Un resonador, otro dispositivo que reduce el sonido de 300 mm de largo, R35 mm x 80 mm altura (Figura 19D).

La Tabla 5 nos muestra la especificación del automóvil Toyota Corona 1984, el cual fue nuestro objeto de estudio donde se instaló el convertidor catalítico a base de Cu-Zeolita:

**Tabla 5:** Especificaciones del automóvil

Datos Generales	
Modelo	Corona
Marca	Toyota
Motor	3T6458712
Combustible	BI-Combustible GLP
Cilindros	4
Año Fabricación	1984
Eje	2
Temperatura del motor	84 °C

En la Figura 20, se visualiza el convertidor catalítico que se instaló en sistema de escape del automóvil Toyota Corona 1984 y presentó las siguientes dimensiones: 95 mm de altura, 147 mm de largo y 120 mm de ancho.



**Figura 20:** Convertidor catalítico

## Etapa 2, 4: Medición inicial y final de HC, CO y CO<sub>2</sub> + C

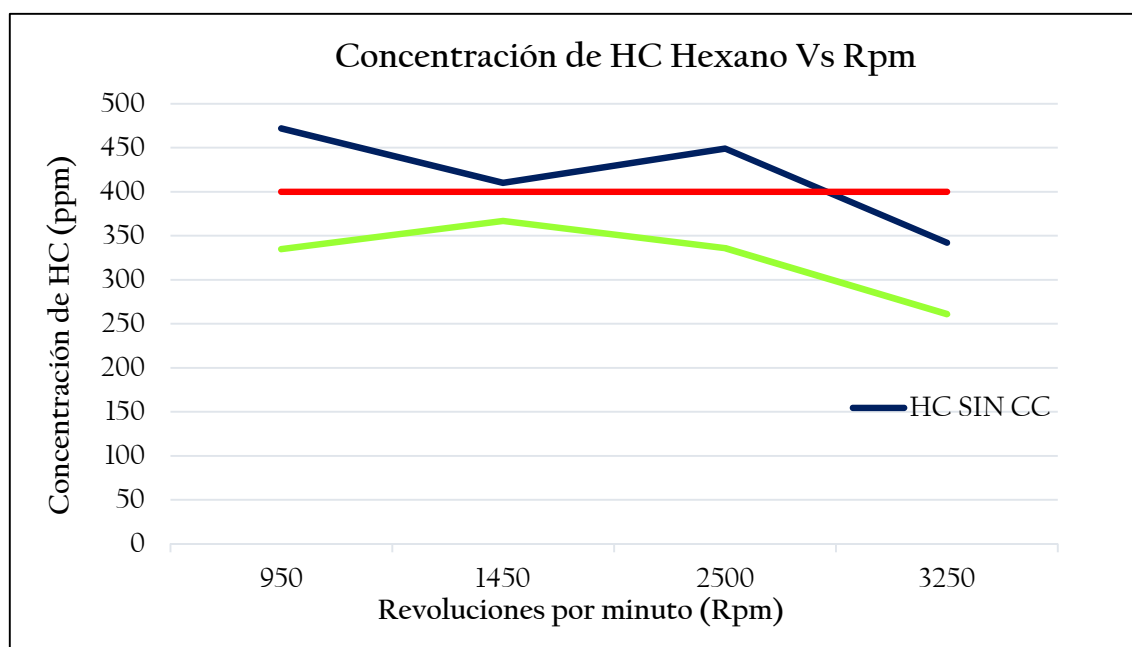
### Hidrocarburos Hexano (HC)

En la Tabla 6 se puede apreciar las concentraciones iniciales del Hidrocarburo hexano en ppm sin convertidor y las concentraciones finales con el convertidor, en diferentes rangos de revoluciones por minuto mínimas y máximas del motor. Adicionando los Límites Máximos Permisibles de 400 ppm para HC.

**Tabla 6:** Hidrocarburo Hexano Vs Rpm / Gasolina

Revoluciones por minuto (rpm)	Concentración de H (ppm)		
	Gasolina sin convertidor catalítico	Gasolina con convertidor catalítico	LMP (D.S 010 - 2017 MINAM)
950	472	335	400
1450	410	367	400
2500	449	336	400
3250	342	261	400

Fuente: Elaboración propia



**Figura 21:** Concentración de HC Hexano Vs Rpm / Gasolina

De la Figura 21, se observa que la concentración del Hidrocarburo Hexano comenzó a descender con la instalación del convertidor catalítico, donde su mayor concentración alcanzó los 449 ppm en condiciones de revoluciones máximas de 2500 rpm sin el convertidor, por acción del catalizador disminuyó hasta 336 ppm en la misma carga. Además con el catalizador se cumple con los LMP de HC.

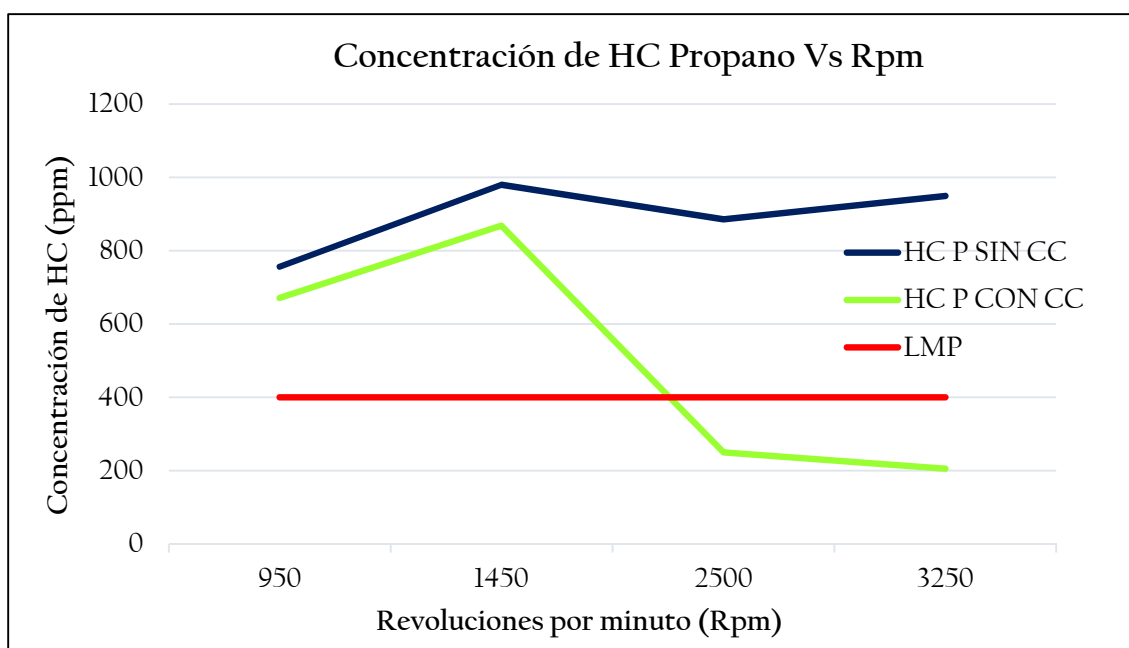
### Hidrocarburos Propano (HC)

En la tabla 7 se puede apreciar las concentraciones iniciales del Hidrocarburo propano en ppm sin convertidor y las concentraciones finales con el convertidor.

**Tabla 7:** Hidrocarburo Propano Vs Rpm / Gas

Revoluciones por minuto (rpm)	Concentración de H Propano (ppm)		
	Gas sin convertidor catalítico	Gas con convertidor catalítico	LMP (D.S 010 - 2017 MINAM)
950	756	671	400
1450	980	868	400
2500	885	250	400
3250	949	205	400

Fuente: Elaboración propia



**Figura 22:** Hidrocarburo Propano Vs Rpm / Gas

En la Figura 22, se visualiza que la concentración de HC propano en GLP sin el convertidor presenta una mayor emisión de 980 ppm en condiciones de 1450 rpm, pero con el convertidor la concentración del HC propano disminuyó hasta 205 ppm en mezcla pobre de 3250 rpm. Respecto al LMP, a revoluciones máximas se cumple con lo establecido, pero no en RPM mínimas.

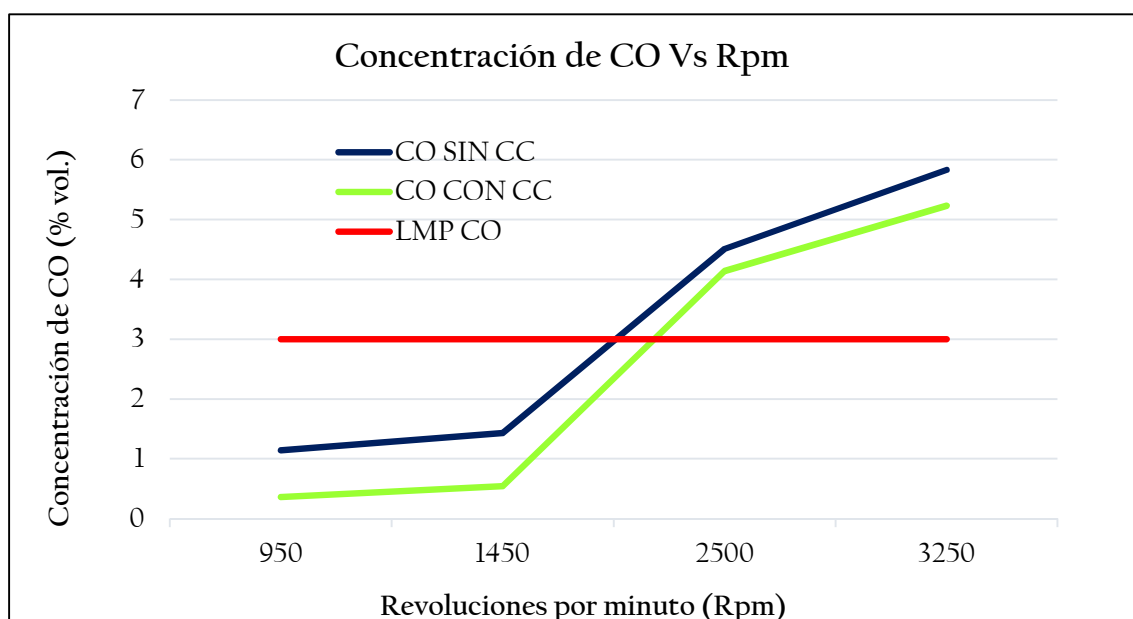
### Monóxido de Carbono (CO)

En la tabla 8 se puede apreciar las concentraciones iniciales del Monóxido de Carbono en % vol. sin convertidor y las concentraciones finales con el convertidor para un motor gasolinero.

**Tabla 8:** Monóxido de Carbono Vs Rpm / Gasolina

Revoluciones por minuto (rpm)	Concentración de C (% vol.)		
	Gasolina sin convertidor catalítico	Gasolina con convertidor catalítico	LMP (D.S 010 - 2017 MINAM)
950	1,14	0,36	3
1450	1,43	0,54	3
2500	4,51	4,14	3
3250	5,83	5,23	3

Fuente: Elaboración propia



**Figura 23:** Concentración de CO Vs Rpm / Gasolina



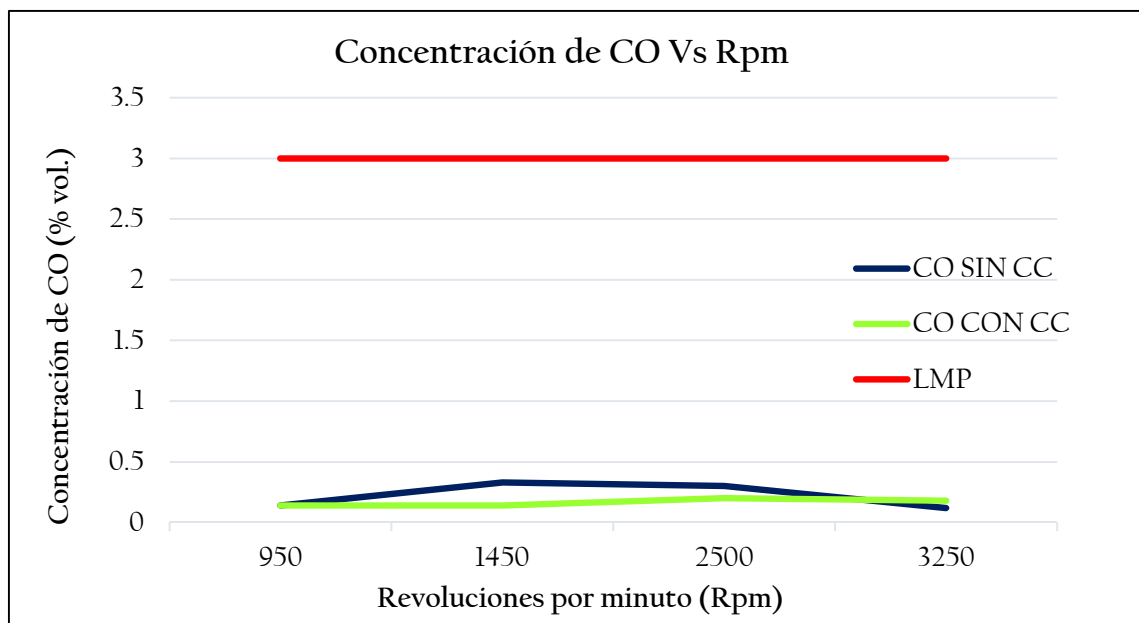
En la Figura 23, podremos apreciar que la concentración de CO medida sin el convertidor catalítico a base de Cu-Zeolita para un vehículo gasolinero, comienza a ascender a la par con los rpm, alcanzando los 5,83% vol. en RPM máximas y con el catalizador, disminuye a 5,23% vol. en las mismas condiciones, sin embargo no cumple con el LMP establecido para Rpm Altas, pero si en Rpm Mínimas.

En la Tabla 9, se muestra la concentración inicial y la final de CO, para vehículos que utilicen GLP con y sin convertidor catalítico:

**Tabla 9:** Monóxido de Carbono Vs Rpm / Gas

Revoluciones por minuto (rpm)	Concentración de C (% vol.)		
	Gas sin convertidor catalítico	Gas con convertidor catalítico	LMP
950	0,14	0,14	3
1450	0,33	0,14	3
2500	0,3	0,20	3
3250	0,12	0,18	3

Fuente: Elaboración propia



**Figura 24:** Monóxido de Carbono Vs Rpm / Gas

En la Figura 24, la concentración máxima de emisión inicial de CO para consumo de GLP fue de 0.33% vol. en condiciones de revoluciones mínimas de 1000 a 1500 rpm, pero con el convertidor catalítico a base de Cu-Zeolita, su concentración disminuyó en 0.14 %vol. en las mismas condiciones. Respecto al LMP, ambas mediciones con o sin catalizador, cumplen con lo establecido al ser menor a 3% vol.

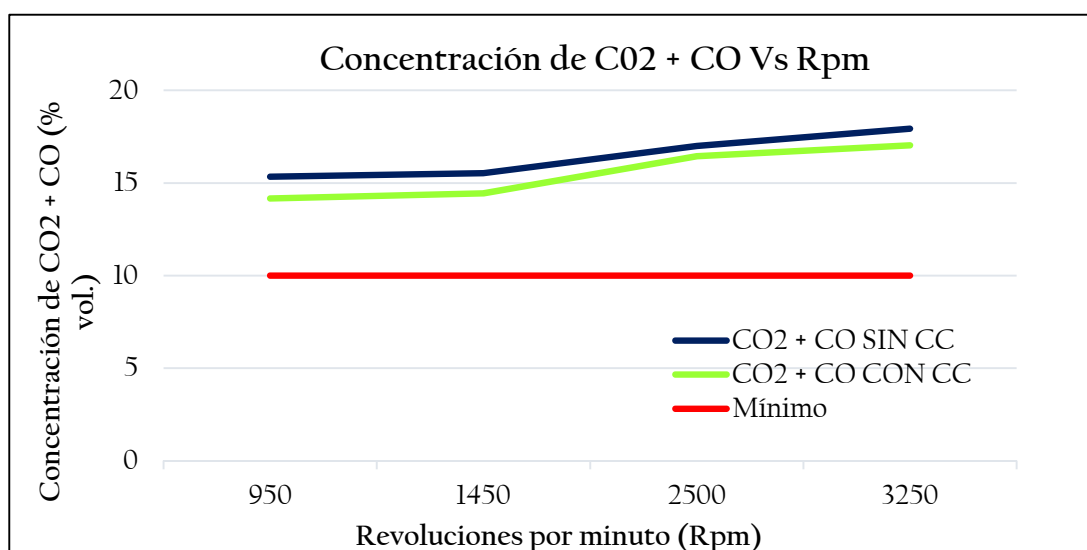
### Dióxido de Carbono + Monóxido de Carbono (CO<sub>2</sub> + C )

Según el D.S N° 047–2001-MTC, cuando el vehículo no cuenta con un sistema de inyección de aire, la medición debe efectuarse en cada una de ellas, registrando como valor la sumatoria, ya que presenta diferentes salidas de escape. En la tabla 10, se muestra las concentraciones iniciales y finales del CO<sub>2</sub> + CO en % vol. para un motor gasolínico en revoluciones por minuto mínimas y máximas.

**Tabla 10:** Concentración de CO<sub>2</sub> + C Vs Rpm / Gasolina

Revoluciones por minuto (rpm)	Concentración de CO <sub>2</sub> + CO (% vol.)		
	Gasolina sin convertidor catalítico	Gasolina con convertidor catalítico	Mínimo
950	15,34	14,16	10
1450	15,53	14,44	10
2500	17	16,44	10
3250	17,93	17,03	10

Fuente: Elaboración propia



**Figura 25:** Concentración de CO<sub>2</sub> + C Vs Rpm / Gasolina

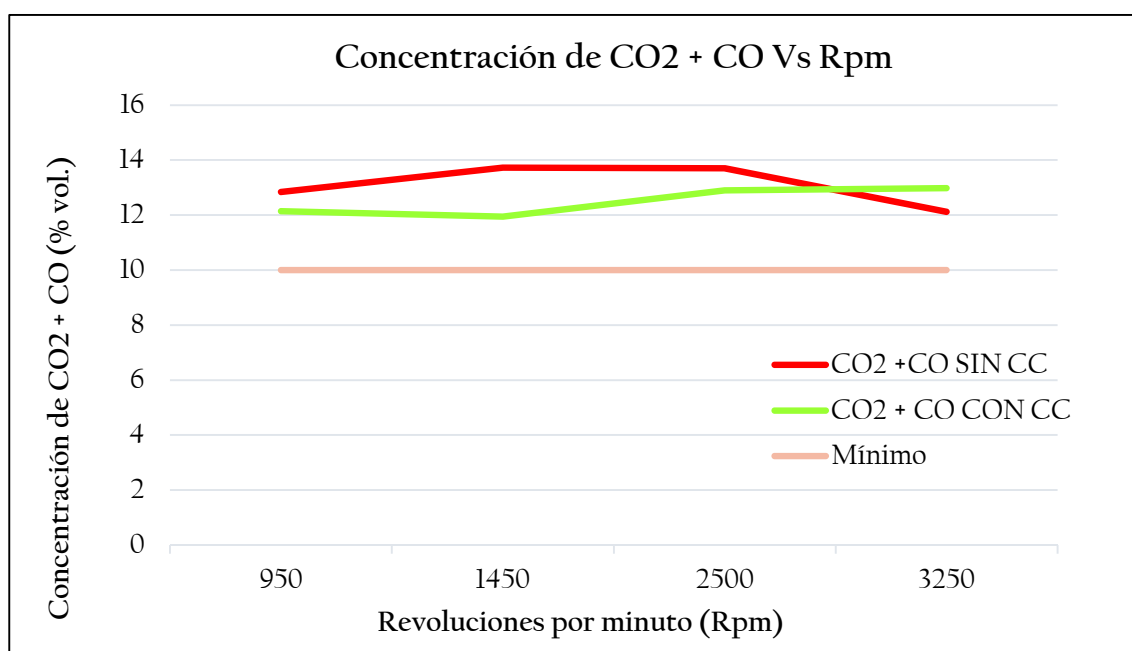
En la Figura 25, se muestra las concentraciones del  $\text{CO}_2 + \text{CO}$  sin el convertidor, con su concentración máxima de 17.93% vol. a revoluciones mayores a 2500 rpm, que por efecto del convertidor tuvo una reducción a 17.03% vol. en las mismas condiciones. Respecto al LMP que establece el MINAM, en este caso lo mínimo de  $\text{CO}_2 + \text{CO}$  es 10% vol., deduciendo que las concentraciones obtenidas cumplen la norma.

En la Tabla 11, se muestra las concentraciones iniciales y finales del  $\text{CO}_2 + \text{C}$  en % vol. para un vehículo a GLP en revoluciones por minuto mínimas y máximas.

**Tabla 11:** Concentración de  $\text{CO}_2 + \text{C}$  Vs Rpm / Gas

Revoluciones por minuto (rpm)	Concentración de $\text{CO}_2 + \text{CO}$ (% vol.)		
	GLP sin convertidor catalítico	GLP con convertidor catalítico	Mínimo
950	12,84	12,14	10
1450	13,73	11,94	10
2500	13,70	12,90	10
3250	12,12	12,98	10

Fuente: Elaboración propia



**Figura 26:** Concentración de  $\text{CO}_2 + \text{C}$  Vs Rpm /Gas

En la Figura 26, se muestra las concentraciones del  $\text{CO}_2 + \text{CO}$  sin el convertidor, con su concentración máxima de 13.73% vol. a revoluciones menores a 1450 rpm, que por efecto del convertidor tuvo una reducción a 11.94% vol. en las mismas condiciones. Respecto al LMP que establece el MINAM, en este caso lo mínimo de  $\text{CO}_2 + \text{CO}$  es 10% vol., deduciendo que las concentraciones obtenidas cumplen la norma con y sin catalizador.

### **Etapas 3: Tratamiento y análisis del Cu-zeolita**

#### **) Síntesis de la zeolita (NaZSM-5)**

En la Tabla 12 se puede observar las características de la Zeolita después del tratamiento de secado a 100 °C por durante 2 horas.

**Tabla 12:** Parámetros fisicoquímicos de la solución de Zeolita

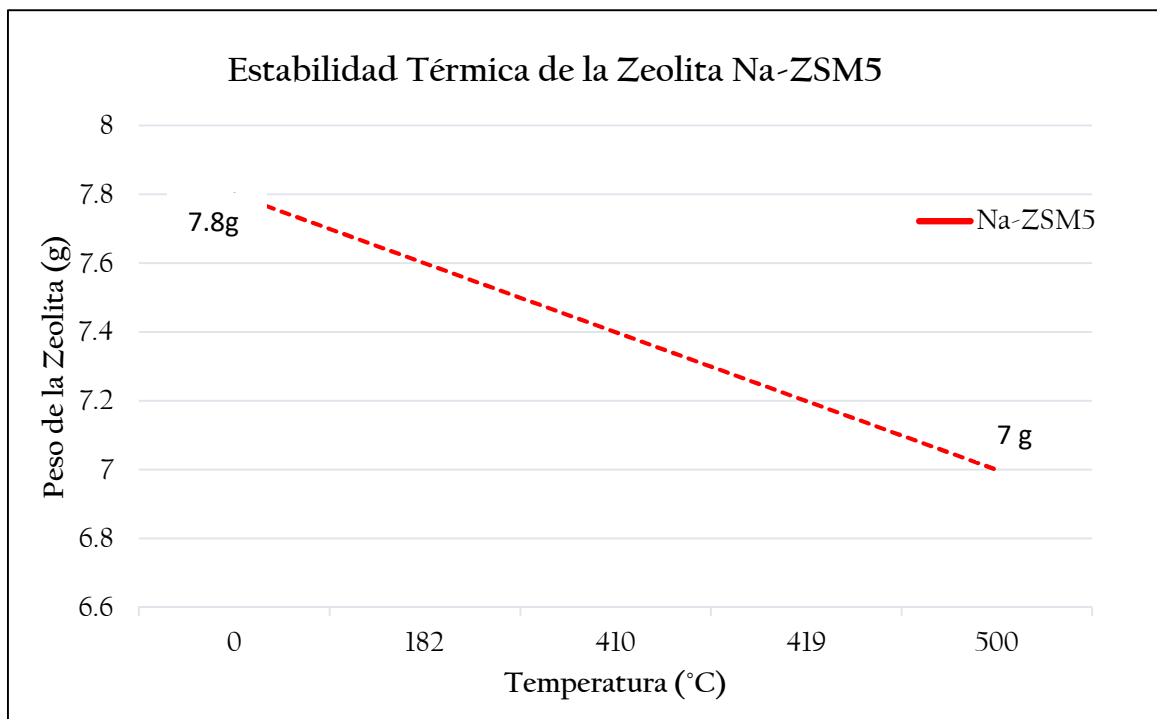
<b>Muestra</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>PH</b>
Zeolita	7,8 g	12

El material final del secado, se sometió a calcinación en diferentes temperaturas, desde los 132 °C hasta los 500°C en un horno con el propósito de realizar un análisis Termogravimétrico de la Zeolita. En la Tabla 13 se muestra el rango de horas y temperaturas que fue sometido la Zeolita.

**Tabla 13:** Calcinación de la zeolita respecto al tiempo y temperatura

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (h)</b>
183	2
411	2.3
419	2.3
500	3
Total	10

En la Figura 27, se muestra el comportamiento o estabilidad térmica de la zeolita obtenida en la síntesis. El cual presentó un desgaste del 10.2 %, ya que su peso inicial fue de 7,8 g y el peso final fue de 7 g.



**Figura 27:** Estabilidad Térmica de la zeolita Na-Zeolita

### ) Intercambio Iónico de la Na-ZSM5 a Cu-ZSM5

En la tabla 14 se presenta los cambios en pesos de la zeolita antes y después de realizar un intercambio iónico con  $\text{CuSO}_4$  1M en relación de 1:5,4 g/ml. La zeolita después del intercambio subió 1,9 gramos y al calcinarlo a 400 °C por 4 horas, su peso descendió en 8,1 gramos, con una pérdida de 8.9 % de peso.

**Tabla 14:** Datos de pesos de la Zeolita antes y después del Intercambio Iónico

Muestra	Peso inicial (g)	Peso con Cu (g)	Peso final con calcinación (g)
Zeolita	7g	8,9 g	8,1 g

## J) Revestimiento por inmersión de la cordierita

En la Tabla 15 se muestra las diferencias de pesos del monolito de cordierita antes y después del revestimiento con el catalizador preparado Cu-Zeolita y aglutinantes  $S_2$  y  $A_2O_3$ .

**Tabla 15:** Datos de Pesos de la cordierita con y sin catalizador

Muestra	Peso inicial (g)
Cordierita	600g
Cordierita + Cu-ZSM5	620g

### Etapa 5: Porcentajes de reducción de gases

La eficiencia de reducción de dióxido de nitrógeno se calculó utilizando la ecuación:

$$\% R \quad \text{ón} = \frac{(C - C_f)}{C} \times 100 \quad \dots \quad (1)$$

**C<sub>o</sub>** = Concentración inicial

**C<sub>f</sub>** = Concentración final

#### Porcentaje de reducción de Hidrocarburo Hexano

$$\checkmark \quad \% R_{r1} \quad \text{mín} \quad 1 = \frac{(4 - 3)}{4} \times 100 = 29\%$$

$$\checkmark \quad \% R_{r2} \quad \text{mín} \quad 2 = \frac{(4 - 3)}{4} \times 100 = 10\%$$

$$\checkmark \quad \% R_{r1} \quad \text{máx} \quad 1 = \frac{(4 - 3)}{4} \times 100 = 25\%$$

$$\checkmark \quad \% R_{r2} \quad \text{máx} \quad 2 = \frac{(3 - 2)}{3} \times 100 = 24\%$$

#### Porcentaje de reducción de Hidrocarburo Propano

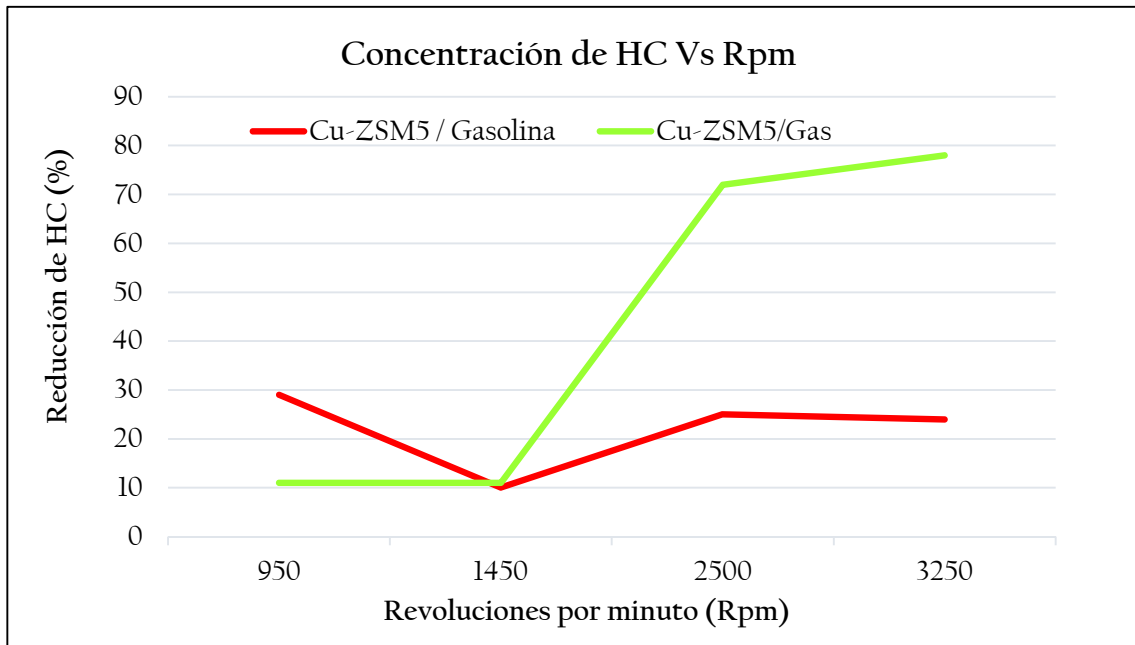
$$\checkmark \quad \% R_{r1} \quad \text{mín} \quad 1 = \frac{(7 - 6)}{7} \times 100 = 11\%$$

$$\checkmark \quad \% R_{r2} \quad \text{mín} \quad 2 = \frac{(9 - 8)}{9} \times 100 = 11\%$$

$$\checkmark \quad \% R_{r1} \quad \text{máx} \quad 1 = \frac{(8 - 2)}{8} \times 100 = 72\%$$

$$\checkmark \% R_{r1} \text{ máxi } 2 = \frac{(9 - 2)}{9} \times 100 = 78\%$$

Los porcentajes de reducción de HC totales en vehículo gasolinerero y GLP, serán representados en la siguiente figura:



**Figura 28:** Porcentaje de Reducción de HC Vs Rpm

La Figura 28 muestra la eficiencia de conversión de Hidrocarburos Totales, en el caso de un motor gasolinerero, la mayor reducción de HC Hexano fue del 29% en bajas revoluciones, manteniéndose hasta las máximas revoluciones con 24%; un caso muy diferente al del vehículo con GLP, donde la reducción de HC Propano fue directamente proporcional con las revoluciones por minuto, hasta alcanza el 78% de reducción en altas revoluciones.

### Porcentaje de reducción de Monóxido de Carbono (CO) para motor gasolinerero:

$$\checkmark \% R_{r1} \text{ míni } 1 = \frac{(1.1 - 0.3)}{1.1} \times 100 = 68\%$$

$$\checkmark \% R_{r1} \text{ míni } 2 = \frac{(1.4 - 0.5)}{1.4} \times 100 = 62\%$$

$$\checkmark \% R_{r1} \text{ máxi } 1 = \frac{(4.5 - 4.1)}{4.5} \times 100 = 8\%$$

$$\checkmark \% R_{r1} \text{ máxi } 2 = \frac{(5.8 - 5.2)}{5.8} \times 100 = 10\%$$

**Porcentaje de reducción de Monóxido de Carbono (CO) para motor GLP:**

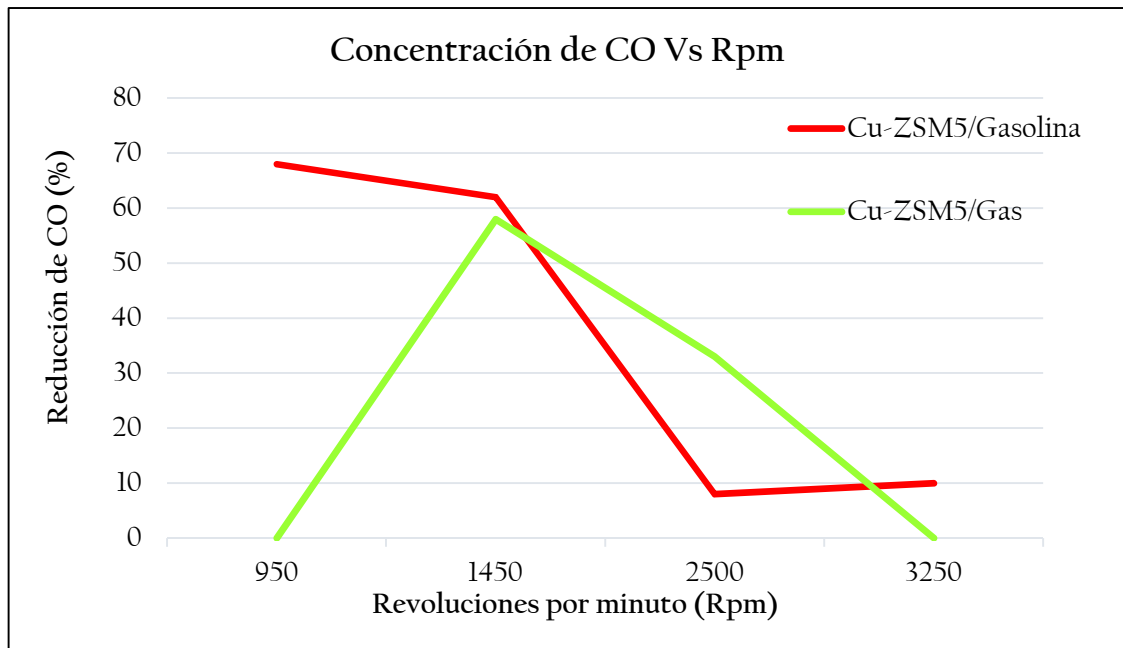
$$\checkmark \% R_{r1} \text{ míni } 1 = \frac{(0.1 - 0.1)}{0.1} \times 100 = 0\%$$

$$\checkmark \% R_{r1} \text{ míni } 2 = \frac{(0.3 - 0.1)}{0.3} \times 100 = 58\%$$

$$\checkmark \% R_{r1} \text{ máxi } 1 = \frac{(0.3 - 0.2)}{0.3} \times 100 = 33\%$$

$$\checkmark \% R_{r1} \text{ máxi } 2 = \frac{(0.1 - 0.1)}{0.1} \times 100 = 0\%$$

Los porcentajes de reducción de CO en vehículo gasolinero y GLP, serán representados en la siguiente figura:



**Figura 29:** Porcentaje de reducción de CO Vs Rpm

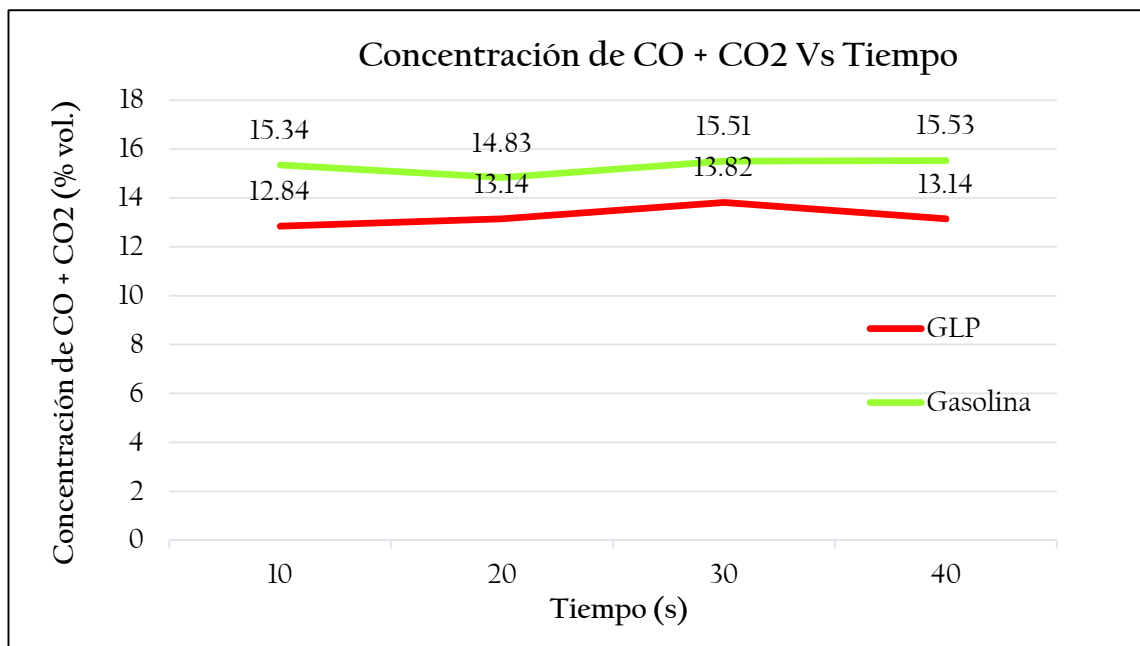
La Figura 29, muestra el porcentaje de reducción de monóxido de carbono, para este gas su reducción más efectiva en ambos combustibles fue mayor al 50% en revoluciones mínimas, lo que indica que la zeolita puede oxidar la emisión de CO desde el arranque del motor, en temperaturas bajas, sin forzar al motor.



En el caso de la emisión de CO + CO<sub>2</sub> no se evaluó el porcentaje de reducción, porque la normativa establece Valores Mínimos de concentración, no menciona máximos, deduciendo que las concentraciones monitoreadas se encuentran en orden con la normativa. Sin embargo, al representar más del 50% de las emisiones atmosféricas, sus valores fueron utilizados para evaluar el comportamiento de concentración Vs tiempo de emisión.

### Concentración CO + CO<sub>2</sub> Vs Tiempo

La Figura 30, nos muestra las concentraciones de CO + CO<sub>2</sub> en revoluciones mínimas, según el tipo combustible, del gráfico se deduce que la combustión de la gasolina emite mayores concentraciones de CO + CO<sub>2</sub>, las cuales están intrínsecamente ligadas al consumo de combustible, en cambio el GLP duran más y sus emisiones son menores. Sin embargo, el ascenso de la emisión es directamente proporcional al tiempo.



**Figura 30:** Concentración de CO + CO<sub>2</sub> Vs Tiempo

## Tipo de mezcla de combustible

El factor lambda del vehículo se mantuvo en un rango de 0.900 – 1.067, lo que significa que en bajas rpm al ser mayor a 1, los contaminantes como CO comienzan a descender y en altas rpm, la concentración de HC se mantiene.

**Tabla 16:** Factor Lambda con CC

Gasolina	Lambda	Mezcla
800 rpm (min.)	1.067	Pobre
2500 rpm (máx.)	0.900	Rica

## 4.2 Análisis Inferencial

### 4.2.1 Técnica de inferencia estadística

La inferencia estadística por medio de las técnicas o métodos, tiene la finalidad de inducir por medio de una muestra, el comportamiento con un margen de error y probabilidad.

### 4.2.2 Hipótesis general

**Ho:** No existe una reducción de la concentración de gases de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020.

**Ha:** Si existe una reducción de la concentración de gases de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020.

### A. Análisis de normalidad de los datos 1

Se utilizará el estadístico de prueba de hipótesis de Shapiro - Wilk debido a que el tamaño de la muestra es menor de 30.

Se tienen como hipótesis:

**Ho:** Los datos de reducción de la concentración de HC de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020

presentan una distribución normal.

**Ha:** Los datos de reducción de la concentración de HC de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020 no presentan una distribución normal.

**Tabla 17:** Prueba de normalidad HC

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
HCDif1	,184	4	.	,982	4	,914
HCDif2	,297	4	.	,813	4	,127

Fuente: Programa IBM SPSS

Según los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indican un nivel de significancia mayor a  $p$  ( $p > 0,05$ ), por lo tanto se acepta la hipótesis nula. Es decir que los datos pertenecen a una distribución normal, por lo que es paramétrico y se utilizará la Prueba T-student para muestras relacionadas.

## B. Prueba de Hipótesis

**Tabla 18:** Reducción de HC Hexano y Propano sin y con catalizador

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
HC hexano s/n catalizador - c/n catalizador	93,50	40,73	20,36	28,67	158,32	4,59	3	,019
HC propano s/n catalizador - c/n catalizador	391,75	346,75	173,37	-160,01	943,51	2,26	3	,109

Fuente: Programa IBM SPSS

Según los resultados de la Tabla 18, el primer grupo de medición de HC Hexano con y sin catalizador tuvo un valor de significancia de 0,019 lo que significa que es menor a  $p$  ( $p < 0.05$ ), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Para el segundo grupo de medición de HC Propano con y sin catalizador, tuvo un valor de significancia de 0,109, mayor al  $p$  ( $p > 0.05$ ), aceptando la hipótesis nula.

**Decisión 1:** Si existe una reducción de la concentración de HC Hexano de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020.

**Decisión 2:** No existe una reducción de la concentración de HC propano de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020.

### C. Análisis de normalidad de los datos 2

Se tienen como hipótesis:

**Ho:** Los datos de reducción de la concentración de CO de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020 presentan una distribución normal.

**Ha:** Los datos de reducción de la concentración de CO de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020 no presentan una distribución normal.

**Tabla 19:** Pruebas de normalidad para CO

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CODif1	,201	4	.	,968	4	,828
CODif2	,199	4	.	,974	4	,864

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indican un nivel de significancia mayor a  $p$  ( $p > 0,05$ ), por lo tanto se acepta la hipótesis nula. Es decir que los datos pertenecen a una distribución normal, por lo que es paramétrico y se utilizará la Prueba T-student para muestras relacionadas.

#### D. Prueba de Hipótesis

**Tabla 20:** Reducción de CO sin y con catalizador para GLP y gasolina

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
CO s/n catalizador - c/n catalizador (Gasolina)	,66	,22	,11	,29	1,02	5,80	3	,010
CO s/n catalizador - c/n catalizador (GLP)	,05	,11	,05	-,11	,23	1,04	3	,374

Fuente: Programa IBM SPSS

Según los resultados de la Tabla 20, el primer grupo de medición de CO en motor gasolinero con y sin catalizador tuvo un valor de significancia de 0,010 lo que significa que es menor a  $p$  ( $p < 0.05$ ), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Para el segundo grupo de medición de CO en GLP con y sin catalizador, tuvo un valor de significancia de 0.374, mayor al  $p$  ( $p > 0.05$ ), aceptando la hipótesis nula.

**Decisión 1:** Si existe una reducción de la concentración de CO de combustión interna automotriz para motor gasolinero utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020.

**Decisión 2:** No existe una reducción de la concentración de CO de combustión interna automotriz para GLP utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020.

## V. DISCUSIÓN

) De acuerdo a las siguientes investigaciones; GUERRERO [et al]. (2019), implementó la Cu-ZSM5 en un convertidor para motor de gasolina de 125  $\text{cm}^3$  y obtuvo una reducción de 66,52% de HC a altas velocidades de carga en 70 kph y para el CO obtuvieron una reducción del 59.61% a mediana velocidad de 40 kph; así mismo KARTHE [et al] (2016), diseñó un convertidor con ángulo cónico de 40° a base de Cu-ZSM5 que logró reducir el 85% de CO y el otro convertidor con ángulo de 35° redujo el 80% de HC y RAJAKRISHNAMOORTHY [et al] (2019), obtuvo una conversión máxima del 80% de HC en cargas de 14 a 16 kW, pero muy mínima para los CO; KARTHIKEYAN, SARAVANAN Y GUNASEKARA (2016), logró una conversión del 60% de NOx, 80% de HC Y 85% de CO a una carga de 16 kW; a partir de ello nuestro estudio tuvo una eficiencia de reducción del 78% de HC Propano en condiciones mayores de 2500±250 rpm para motores que consumen GLP, en el caso de CO se alcanzó una reducción máxima de 68% en revoluciones mínimas para autos gasolineros, que al ser comparados con otros estudios, se deduce que a pesar que el porcentaje de reducción es variante, la zeolita mostró tener altas capacidades de reducción de HC y CO.

) Respecto a las características fisicoquímicas del catalizador obtenido, los siguientes autores sintetizaron la Cu-ZSM5, por lo que TRIVEDI Y PRASAD [et al]. (2016), confirmó que este tipo de zeolita presenta una alta dispersión de CuO en sus estructuras, lo que ayudó a reducir el 80% de CO a bajas temperaturas; CHEN [et al]. (2018), identificó que la cristalización y el área superficial de su catalizador no cambiaron después de la impregnación del óxido metálico (Cu) observándose que el proceso de intercambio iónico no altera la composición de la zeolita; YUE [et al.] (2019) y PEREDA (2014), detectaron nano partículas de CuO, lo que indica una mayor capacidad de dispersión de Cu y mayor reducción de gases a bajas temperaturas; asimismo WANG [et al.] (2019), afirmó que la presencia de CuO demuestra una mayor absorción de gases en esa región; sin embargo otras zeolitas como la que sintetizó HEIKENS (2019), su perovskita presentó alta dispersión de PdO, lo que influyó en la reducción de CO a altas temperaturas y LEE (2018), sintetizó un SSZ-13 y sus

resultados de conversión de CO fueron en altas temperaturas con dopaje de Cu, pero sin este influyó negativamente ya que no hubo una reducción sino un aumento de concentración de CO; por lo tanto se deduce que el proceso oxidativo del Cu-ZSM5 presenta un único comportamiento en la reducción de CO a bajas temperaturas y revoluciones por minuto, lo que confirma que la Cu-Zeolita que se obtuvo en nuestro estudio es un ZSM5 con dopaje de Cobre, además de presentar una alta estabilidad térmica con una pérdida del 10,2% de su peso y composición similar al H-ZSM5.

) En lo que respecta a las dosis de revestimiento de los monolitos de cordierita con el catalizador Cu-ZSM5, según RAJAKRISHNAMOORTHY (2019), la zeolita fue revestido en un monolito de cordierita de 400 CPSI, con una dimensión de 90 mm y espesor de pared de 0.17 mm, la dosis de revestimiento fue de 16% del peso del monolito, el cual consiguió una reducción de 65% en 180 °C; para ZAMARO, ULLA Y MIRO (2005), utilizaron 4 dosis de revestimiento de 25, 30, 35 y 40 % de peso del monolito, sin embargo el exceso de dosis provocó una saturación de los poros, por lo cual la dosis de 30% tuvo mayor eficiencia en la reducción de NO en un 60%; en nuestro estudio la cerámica de cordierita con 400 CPSI, se revistió con una dosis de 20 gramos de una solución acuosa que incluye la Cu-Zeolita, SiO<sub>2</sub> y alúmina como aglutinantes, el cual presentó una reducción significativamente alta del 78% de HC y el 68% de CO en condiciones de revoluciones máximas y mínimas, respectivamente.

) La condición de operación utilizado en el proceso de medición inicial y final de la concentración de HC, CO y C<sub>2</sub>, fue la velocidad en revoluciones por minuto para dos tipos de combustibles: GLP y Gasolina, según BASKARA, LEENUS Y CHANDRADASS (2018), con la aplicación del Cu-ZSM5 en un motor gasolinero demostró una conversión del 38% de CO en 3600 rpm, en los HC fue del 45% en 1600 rpm y para el C<sub>2</sub> la mejor conversión fue de 70% en 1600 rpm; GHOFUR (2018), obtuvo una reducción del 48% de HC Y 45% de CO en condiciones de velocidad a 2000 rpm; TRIVEDI Y PRASAD (2018), lograron la conversión del CO a un 80% en condiciones de 300 °C y 350 °C, es decir a revoluciones medias entre 1000 a 1500 rpm, porque la temperatura del convertidor es directamente proporcional a las revoluciones del motor; RANI,

HANUMANTHA Y BALAKIRSHNA, (2016) redujeron los CO en 7 a 10% de volumen en 1000 rpm y el HC + NO en 3% a 950 rpm; confirmando que la aplicación de la Cu-Zeolita en nuestro estudio fue eficiente en la reducción de HC en 78% en altas revoluciones y CO en 58% para 950 rpm en un motor GLP, a diferencia de un motor gasolinero, el cual obtuvo una reducción del 29% de HC Hexano de 950 rpm y CO en 68 % en 950 a 1450±450 rpm.



## VI. CONCLUSIONES

- ) La reducción máxima de concentración de gases de combustión interna automotriz aplicando el Cu-zeolita en un convertidor catalítico para un motor gasolinera fue de 29% para HC Hexano y 68% de CO a revoluciones mínimas de 950 rpm; en cambio para un motor GLP fue del 78% de HC Propano y 58% de CO en condiciones de  $2500 \pm 250$  rpm y 950 rpm, respectivamente.
- ) Las características fisicoquímicas de la Cu-Zeolita sintetizada por el método Hidrotermal, influyó positivamente en la reducción de gases de combustión interna automotriz; porque presentó estabilidad térmica con una pérdida del 10,2 % de su peso, una composición similar al H-ZSM5 y las semejanzas del comportamiento del CO y HC, confirmarían que presenta dispersión de partículas de CuO en su estructura, confirmando que es un Cu-ZSM5.
- ) La dosis de revestimiento de 20 gramos que se adhirió al monolito de cordierita influyó positivamente en la reducción de HC y CO, ya que no se evidenció obstrucción de poros, ayudando a reducir más del 50% de los gases.
- ) La eficiencia del convertidor a base de Cu-Zeolita fue monitoreado en 4 grupos de revoluciones por minuto, menor a 950 rpm, 1450 rpm, 2500 rpm y mayor a 3250 rpm, de estas condiciones la máxima conversión de HC Propano fue de 78 % a 2750 rpm y CO en 68% a revoluciones menores de 950 rpm para motor gasolinero.

## VII. RECOMENDACIONES

- ) Aplicar varias dosis de revestimiento del monolito de cordierita con el catalizador Cu-Zeolita, con el propósito de verificar si el aumento del peso mayor al 50% provoca algún tipo de obstrucción de sus celdas transversales o se obtiene una reducción mayor al nuestro.
- ) Se debe duplicar la proporción de peso de los reactivos utilizados en la sintetización hidrotermal de la zeolita, con el fin de obtener una mayor cantidad del catalizador, porque al ser sometido a cristalización por 72 horas, su peso comienza a decaer.
- ) Se debe realizar un análisis de Fisisorción de Gases (BET) al monolito con el catalizador adherido, con el fin de saber si los catalizadores fueron distribuidos homogéneamente en sus celdas transversales o existe algún tipo de obstrucción.
- ) Es preferible que en el proceso de filtración y lavado con agua destilada, se realice filtración al vacío porque las partículas de la zeolita al ser tan pequeñas se adhieren al papel filtro, perdiendo una gran cantidad de zeolita para nuestro próximo procedimiento.

## REFERENCIAS

- ALVAREZ, Clemente. Como influye la velocidad en la contaminación de los coches [en línea]. El País Semanal, 09 de febrero de 2011 [fecha de consulta: 5 de octubre de 2019].  
Disponible en: <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2011/02/como-influye-la-velocidad-en-la-contaminacion-de-los-coches.html>
- ARGYLE, M y BARTHOLOMEW, C. Heterogeneous Catalyst Deactivation and Regeneration: A Review. *Catalysts*, (5):1, 145-269, Febrero 2015. ISSN 2073-4344  
DOI: 10.3390/catal5010145
- AZOR L, Alberto. Estrategias de síntesis sencillas para la obtención de nanoóxidos complejos: variaciones composicionales mediante procesos de una sola etapa. Tesis Doctoral. Madrid: Departamento de Química Inorgánica I, Universidad Complutense de Madrid, 2018.  
Disponible en: <https://eprints.ucm.es/49009/1/T40140.pdf>
- BASKARA, LEENUS y CHANDRADASS. Adsorption of CO<sub>2</sub> Using Modified ZSM-5 Zeolite in Petrol Engines. *Progress in Advanced Computing and Intelligent Engineering*, 433-445, Diciembre 2018.  
Doi: 10.1007/978-981-10-6872-0\_41  
**ISSN:** 21945357
- BELLO, Estefanía [et al]. Deactivation and regeneration studies on Pd-containing medium pore zeolites as passive NO<sub>x</sub> adsorbers (PNAs) in cold-start applications. *Microporous and mesoporous Materials*, 2020.  
Doi:10.1016/j.micromeso.2020.110222
- BOLAÑOS, Pamela y CHACÓN, Carolina. Intoxicación por monóxido de carbono. *Medicina Legal de Costa Rica*, (34):1, Marzo 2017.  
ISSN: 1409-0015
- CHUNGATA, Luis. Estudio del área superficial específica en la caracterización de los catalizadores a utilizarse en la gasificación catalítica para la producción de hidrógeno. Informe de tesis. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2017.

- CHEN [et al]. Efficiencies and mechanisms of ZSM5 zeolites loaded with cerium, iron, or manganese oxides for catalytic ozonation of nitrobenzene in water. *Science of the Total Environment*, (612), 1424–1432, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.019>.
- DECOLATTI, Hernán. Catalizadores activos y estables para la eliminación de contaminantes gaseosos. Tesis (Doctorado en Ingeniería Química). Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral, 2012.  
Disponible en:  
<http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/332/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- D. Karthikeyan. Research on Metal Doped Zeolite as Catalyst to Reduce NOX Emission from Lean Burn Gasoline Engines. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, (8): 5S3, July 2019.  
DOI: 10.35940/ijeat.E1047.0785S319 / ISSN: 2249 – 8958
- FERNÁNDEZ, Carlos. Síntesis, caracterización y actividad catalítica de zeolitas de tamaño de poro medio en la reacción de reducción de NOx. Proyecto Fin de Máster. Valencia: Instituto de Tecnología Química, Universidad Politécnica de Valencia, Julio 2015.
- FIDIAS G., Arias. El proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica. Quinta. Caracas: Episteme, 2006.  
ISBN: 9800785299
- GHOFFUR [et al]. Potential fly ash waste as catalytic converter for reduction of HC and CO emissions. *Sustainable Environment Research*, (28), 357-362, 2018.  
ISSN 2468-2039
- GOVENDER, Sandeeran y FRIEDRICH, Holger. Monoliths: A Review of the Basics, Preparation Methods and Their Relevance to Oxidation. *Catalysts*, (7):62, 1-29, Febrero 2017.  
DOI: 10.3390/catal7020062
- GUERRERO, Lailyn [et al]. Copper-Exchanged Philippine Natural Zeolites as Potential Alternative to Noble Metal Catalysts in Three-Way Catalytic Converters. *Arabian Journal for Science and Engineering*, (44), 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-019-03882-y>

- HEIKENS, Sascha [et al]. Three-way Catalysis with Noble Metal-Substituted La (Fe,Co)O<sub>3</sub> Perovskites—the Role of Noble and Base Metal Components. Emission Control Science and Technology, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40825-019-00123-4>
- HERNANDEZ [et al]. Adsorption of  $N_2$ ,  $N_2O$  and  $CO_2$  on Epistilbite Natural Zeolite from Jalisco, Mexico after Acid Treatment. Minerals, Mayo 2018.  
DOI: 10.3390/min8050196
- HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto, FERNÁNDEZ Collado, Carlos y BAPTISTA Lucio, María del Pilar. Metodología de la investigación. México, D.F.: McGraw-Hill Education, 1991.  
ISBN 968-422-931-3
- HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto, FERNÁNDEZ Collado, Carlos y BAPTISTA Lucio, María del Pilar. Metodología de la investigación. México, D.F.: McGraw-Hill Education, 2014.  
ISBN 978-1-4562-2396-0
- HURTADO de Barrera, Jacqueline. Metodología de la Investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia. 4 ed. Caracas: Quirón, 2012.  
ISBN 978-980-6306-66-0
- IBRAHIM, Hesham [et al]. Experimental and numerical investigations of flow through catalytic. International Journal of Heat and Mass Transfer, (127), 546-560, Julio 2018.  
ISSN 0017-9310
- KARTHE [et al]. Experimental Investigation on Reduction of NO<sub>x</sub> Emission Using Zeolite Coated Converter in CI Engine. Tamilnadu: Applied Mechanics and Materials, (854), 2016.  
ISSN 1662-7482
- KARTHIKEYAN, SARAVANAN y GUNASEKARAN, James. Performance analysis of catalytic converters in spark ignition engine emission reduction. Annamalainaga: International Journal of Advances in Engineering & Technology, 2016.  
ISSN 2231-1963
- KARTHIKEYAN, RAJAKRISHNAMOORTHY y SARAVANAN. Emission reduction technique applied in SI engines exhaust by using zsm5 zeolite as catalysts

synthesized from coal fly ash. *Materials Today: Proceedings*, 1-8, Julio 2019.

ISSN 2214-7853

KELINGER, Fred y HOWARD, Lee. *Investigación del comportamiento*. 4 ed. California: McGraw-Hill, 2012.

ISBN 970-10-3070-2

KIANFAR [et al]. Zeolite-based Catalysts for Methanol to Gasoline process: A review. *Microchemical Journal*, (156), 104822, July 2020.  
Doi:10.1016/j.microc.2020.104822

LAI [et al]. The promotional role of Ce in Cu/ZSM-5 and in situ surface reaction for selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> with NH<sub>3</sub>. *RSC Adv.* 5, 90235–90244, Junio 2015

DOI: <https://doi.org/10.1039/C5RA12505G>

LAZCANO Olmedo, Isabel. Síntesis y caracterización de catalizadores de Ni-CeO<sub>2</sub> por el método hidrotermal. Tesis (Grado de Técnico Superior Universitario en química área Tecnología Ambiental). Lerma: Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, 2013. Disponible en: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/45/089/45089748.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/089/45089748.pdf)

LEE [et al]. Effects of Cu loading and zeolite topology on the selective catalytic reduction with C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> over Cu/zeolite catalysts. *J. Ind. Eng. Chem.* (72), 73–86, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.12.005>

LEE, S., KIM, Jongmin y BAIK, Doo-Sung. Characteristics of transition metal catalytic converter for gasoline vehicle. Seoul: International Information Institute, (20): 1, 2017.

ISSN 1344-8994

LI [et al]. Selective catalytic reduction of nitrogen oxides from exhaust of lean burn engine over In-situ synthesized Cu ZSM-5/cordierite. *Environ. Sci. Technol.* 39, 2841–2847, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.1021/es049744t>

- MARTÍNEZ, Juan. Alteración del clima en la provincia de Huaraz como consecuencia del cambio climático, periodo 1986-2027, Ancash, 2018. Informe de Tesis. Lima: Universidad Privada Cesar Vallejo, 2018.
- MENDOZA, Joseph, DONG, Lee y KANG, Joo. Photocatalytic removal of NO<sub>x</sub> using TiO<sub>2</sub>-coated zeolite. Environmental Engineering Research, 2016. ISSN 1226-1025  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4491/eer.2016.016>
- MINAM. DECRETO SUPREMO N° 047-2001-MTC "Establece Límites Máximos Permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial y su actualización con el D.S N° 010-2017-MINAM. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/establecen-limites-maximos-permisibles-imp-emisiones-atmosfericas>
- MINAM. Diagnóstico de la gestión de la calidad del aire de Lima y Callao, 2019. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-gestion-calidad-ambiental-aire-lima-callao>
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Mejorar la calidad del aire, compromiso del Gobierno Duque en el Día Mundial del Medio Ambiente. [En línea]. Junio de 2019. [Fecha de consulta: 23 de Setiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4327-mejorar-la-calidad-del-aire-compromiso-del-gobierno-duque-en-el-dia-mundial-del-medio-ambiente>
- MOLINER y CORMA. From metal-supported oxides to well-defined metal site zeolites: the next generation of passive NO<sub>x</sub> adsorbers for low-temperature control of emissions from diesel engines. React Chem. Eng., 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1039/C8RE00193F>
- NA. Climate change: a major global threat." Pakistan & Gulf Economist. Gale Academic OneFile, (39):8, 1 Mar. 2020.  
Disponible en: <https://link.gale.com/apps/doc/A616054995/AONE?u=univcv&sid=AONE&xid=b94ccc5d>.
- NAFFATI, N. Carbon-nanotube/TiO<sub>2</sub> materials synthesized by a one-pot oxidation/hydrothermal route for the photocatalytic production of hydrogen from

- biomass derivatives. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 115, 2020. ISSN: 1369-8001  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.105098>
- NIU [et al]. Influence of crystal size on the catalytic performance of H-ZSM-5 and Zn/H-ZSM-5 in the conversion of methanol to aromatics. *Fuel Processing Technology*, 157: 99-107, 2017.  
DOI: 10.1016/j.fuproc.2016.12.006
- OROZCO-BARRENETXEA, Carmen, PÉREZ-SERRANO, Antonio y GONZÁLEZ-DELGADO, María Nieves. *Contaminación ambiental*. 1 ed. Madrid: Paraninfo, 2003. 682 pp.  
ISBN 978-849-73-2178-5
- PEREDA [et al]. Role of the different copper species on the activity of Cu/ zeolite catalysts for SCR of NO<sub>x</sub> with NH<sub>3</sub>. *Appl. Catal. B-Environ.* 147, 420–428, 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.09.010>.
- POURVAKHSHOORI [et al]. The simultaneous effects of thermal stress and air pollution on body temperature of Tehran traffic officers. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, (18), 279-284, 2020.  
Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40201-020-00463-2>
- PYO CHO, Chong [et al]. NO<sub>x</sub> reduction and N<sub>2</sub>O emissions in a diesel engine using Fe-zeolita and vanadium based SCR catalysts por Republica de Korea: *Applied Thermal Engineering*, 2017.  
ISSN 1359-4311
- RAFAEL, Mercedes y HERNANDEZ, Andrés. *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Instituto Mexicano de Transporte, 2014.  
ISSN 0188-7297
- RAJAKRISHNAMOORTHY, ELAVARASAN y KARTHIKEYAN y SARAVANAN. Emission Reduction in SI Engines by using metal doped Cu-ZSM5 and Ce.Cu-ZSM5 zeolite as Catalysts. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, Julio 2019.  
DOI: 10.35940/ijitee.H6993.078919



ISSN 2278-3075

RANI, Jamuna, HANUMANTHA-RAO, V. y BALAKIRSHNA, B. Experimental analysis on emissions & back pressure of a diesel engine using catalytic converter with air-box. *Jntuk: International Research Journal of Engineering and Technology*, (3):7, 2016.

ISSN 2395-0056

RIZZOTTO [et al]. Spectroscopic identification and catalytic relevance of NH<sub>4</sub> p intermediates in selective NO<sub>x</sub> reduction over Cu-SSZ-13 zeolites. *Chemosphere*. (250): 126272, 1-8, 2020.

DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126272

ISSN: 00456535

SAAVEDRA, Juan. Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular. Tesis (Titulo en Ingeniería Ambiental). La Molina: Universidad Nacional Agraria la Molina, 2014.

SCHIFTER, Isaac y LÓPEZ-SALINAS, Esteban. Uso y abusos de las gasolinas. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2010.

ISBN 978-607-16-0388-3

SEN, Indra [et al]. Emerging airborne contaminants in India: Platinum Group Elements from catalytic converters in motor vehicles. *Applied Geochemistry*, (75), 100-106, Diciembre 2016.

DOI: 10.1016/j.apgeochem.2016.10.006

Sistema Nacional de Información Ambiental. Ate es el distrito más contaminado de Lima por quema de combustibles. [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 24 de Setiembre de 2019].

Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ate-distrito-mas-contaminado-lima-quema-combustibles>

TRIVEDI, S., & PRASAD, R. A four-way catalytic system for control of emissions from diesel engine. *Dordrecht Tomo 43, N. ° 8,* (2018): 1-13.

DOI: 10.1007/s12046-018-0884-0 / ISSN: 02562499

UNE-ISO 690. Información y documentación, Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y citas de recursos de información. Génova: Universidad de Burgos, 44, 2013.

Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0051162>

VALVERDE, Jhonny. Evaluación de la calidad de aire en la intersección de la Av. Universitaria con Panamericana Norte – Los Olivos, Lima. [En línea]. Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM, (19):38, 121-124. Julio - Diciembre 2016. [Fecha de consulta: 10 de noviembre del 2019].

Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/13577/11988/>

VARGAS Cordero, Zoila Rosa. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Montes de Oca: Educación, (33):1, 155-165, 2009.

ISSN 03797082

WANG [et al]. In-situ hydrothermal synthesis of Cu-SSZ-13/cordierite for the catalytic removal of NO<sub>x</sub> from diesel vehicles by NH<sub>3</sub>. Chem. Eng. J. 263, 9–19, 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.10.086>.

WANG, H., Xu, R., Jin, Y., Zhang, R.. Zeolite structure effects on Cu active center, SCR performance and stability of Cu-zeolite catalysts. Catal. Today 327, 295– 307, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.04.035>

YUE [et al.]. Direct synthesis of hierarchical FeCu-ZSM-5 zeolite with wide temperature window in selective catalytic reduction of NO. NH<sub>3</sub> by ChemCatChem, (11):9, 4744-4754, 7 octubre 2019.

DOI: [10.1002/cctc.201901104](https://doi.org/10.1002/cctc.201901104)

ISSN: 18673880

ZAMARO, Juan, ULLA, María y MIRÒ, Eduardo. Zeolite washcoating onto cordierite honeycomb reactors for environmental applications. Santa Fe: Chemical Engineering Journal, (106):1, 25-33, 2005.

DOI: [10.1016/j.cej.2004.11.003](https://doi.org/10.1016/j.cej.2004.11.003)

ZANELLA, Rodolfo. Aplicación de los nanomateriales en catálisis. Ciudad de México: Mundo Nano, (7):12, Enero - Junio de 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2014.12.49711>

ZHENG [et al]. Low-Temperature Pd/Zeolite Passive NO<sub>x</sub> Adsorbers: Structure, Performance, and Adsorption Chemistry, J. Phys. Chem. C, 121, 15793-15803, 2017

Doi:10.1021/acs.jpcc.7b04312

**ANEXOS**

# ANEXO 01: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Elmer Benites Alfaro
- 1.2. Cargo e institución donde labora: DTE UCV
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ing. Químico / SGA / Dpto. Ing. Ambiental
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Información del vehículo
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aguirre Mansora

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												/	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												/	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												/	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												/	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												/	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/	

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 16/11 del 2019

  
**FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE**  
 CIP. 71998  
 DNI No. 078215 Telf.: .....

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: ELMER BENITES ALFARI
- 1.2. Cargo e institución donde labora: DIR. UCV
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: ING. QUÍMICO / SGA / DYC / ING. AMBIENTAL
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Hoja de análisis del catalizador preparado
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aquino Montoro

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												/	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												/	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												/	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												/	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												/	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/	

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si
-

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 11/11 del 2019

[Firma]  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP 71928

DNI No. 038625 Telf: .....

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Elmer Benites Alvaro
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Dte. UCV
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ing. Químico/ SGA/ DICA Ing. Ambiental
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Concentración de NOx sin convertidor catalítico
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aquino Montoro

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, ..... 18/11 del 2019

Benites  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP. 71990

DNI No. 086257 Telf.: .....



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Elmer Benites Alfaro  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Dte. UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ing. Química / SGA / DUAL Ing. Ambiental  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Concentración de NO<sub>x</sub> con convertidor catalítico  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aguirre Honorato

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												/	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												/	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												/	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												/	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												/	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/	

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si
-

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 11/11 del 2019

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 CIP. 21998  
 DNI No. 0286725 Telf. ....

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Elmer Benites Alvaro  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Dte. UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ing. Químico (S.G.A./ D. G.) Ing. Ambiental  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha Resumen del 90 de reducción de NOx después de instalar el Convertidor Catalítico  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Joselyna Azucena Aquino monjoro

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, ..... 11/11 del 2019

*Elmer Benites*  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP: 71298

DNI No. 036725 Telf: .....



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: JAVE NAKAYO JORGE LEONARDO  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: AGRICULTURA - MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Información del vehículo  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aquino Montoro

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											✓		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											✓		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											✓		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											✓		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											✓		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											✓		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											✓		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											✓		

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90%

Lima, 14 de Noviembre del 2019

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP 43000  
 DNI No. 01066653 Telf: 994552085

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: José Nakayo Jorge Leonardo  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Agricultura - Medio Ambiente y desarrollo Sostenible  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Hoja de análisis del catalizador preparado  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aguirre Montoro

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											/		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											/		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											/		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											/		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											/		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											/		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											/		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											/		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											/		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											/		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %

Lima, 11/11 del 2019

  
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP 43447

DNI No 01066653 Telf.: 994552085

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Jove Nakayo Jorge Leonardo
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Agricultura - Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Información de Concentración de NOx sin convertir
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aguino Montoro

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											✓		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											✓		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											✓		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											✓		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											✓		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											✓		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											✓		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											✓		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

α

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %

Lima, 14/11 del 2019

[Firma]  
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP 42444

DNI No. 01066653 Telf: 99.4552087

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Jave Nakayo Jorge Leonardo
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Agricultura - Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Concentración de NOx con convertidor catalítico
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aguino Mantora

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												/	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												/	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												/	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												/	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												/	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD


- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %

Lima, 11/11 del 2019

  
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 CIP. 43447  
 DNI No. 0106665 Telf: 994552085

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Jave Nakayo Jorge Leonardo  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Agricultura - Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha resumen del % de reducción de NOx después de instalar el convertidor catalítico.  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Aquino Mantoro

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												/	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												/	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												/	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												/	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												/	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %

Lima, 21/11 del 2019

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP. 43144  
 DNI No. 0106665 Telf: 994152085

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Johnny Wilfredo Valverde Flores
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCY
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: INS. QUINTO
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Información del vehículo
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselya Axena Aguirre Montoro

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 11 / 11 del 2019

  
**FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE**  
 CIP. 79862  
 DNI No. 18120253 Telf.:



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

## I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Jhonny Wilfredo Valverde Flores  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ing. Químico  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Hoja de análisis del catalizador preparado  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aguirre Montoro

## II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												/	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												/	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												/	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												/	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												/	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/	

## III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

## IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %
------

Lima, 11 / 11 del 2019

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP. 79862DNI No. 18120253 Telf.: .....

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Jhonny Wilfredo Valverde Flores  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ing. Químico  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Concentración de óxido de nitrógeno sin convertidor catalítico  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Jesselyn Azucena Aguirre Mantara

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												✓	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												✓	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												✓	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												✓	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												✓	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												✓	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												✓	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												✓	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												✓	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												✓	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %
------

Lima, ..... 11 de Noviembre del 2019

*Jhonny Valverde*

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP. 77862

DNI No. 18120253. Telf.: .....



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Jhonny Wilfredo Valverde Flores  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ing. Químico  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: concentración de óxido de nitrógeno con convertidor catalítico  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azuena Aquino Montoro

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %

Lima, 11 de Noviembre del 2019

*Jhonny Valverde*

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP. 79862

DNI No. 18120253 Telf:.....

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Johnny Wilfredo Valverde Flores  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente USV  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ing. Químico  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha Resumen del % de reducción de NOx después de instalar el convertidor catalítico.  
 1.5. Autor(A) de Instrumento: Josselyn Azucena Aguirre Montoro

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

x

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

95 %
------

Lima, 11/11 del 201 9

*Johnny Valverde P*

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 CIP 79862  
 DNI No. 18120253 Telf: .....

### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS N° 01

ESPECIFICACIONES DEL VEHÍCULO	
<b>TÍTULO</b>	“Reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en convertidor catalítico, 2020”
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN</b>	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería
<b>REALIZADO POR</b>	Aquino Montoro, Josselyn
<b>ASESOR</b>	Dr. Valverde Flores, Jhonny
Datos Generales	
<b>Modelo</b>	
<b>Marca</b>	
<b>Motor</b>	
<b>Combustible</b>	
<b>Cilindros</b>	
<b>Año Fabricación</b>	
<b>Eje</b>	

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS N° 02

HOJA DE ANÁLISIS DE CATALIZADOR PREPARADO	
<b>TÍTULO</b>	“Reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en convertidor catalítico, 2020”
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN</b>	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería
<b>REALIZADO POR</b>	Aquino Montoro, Josselyn
<b>ASESOR</b>	Dr. Valverde Flores, Jhonny

DATOS GENERALES			
Numero de muestra:		Hora final de análisis:	
Código de muestra:		Analista a cargo:	
Hora inicial de análisis:		Establecimiento de análisis:	
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL CATALIZADOR			
Muestra	Composición química (%)	Temperatura (°C)	Estructura cristalina (°)

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS N° 03

CONCENTRACIÓN DE GASES SIN CONVERTIDOR CATALÍTICO	
<b>TÍTULO</b>	“Reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en convertidor catalítico, 2020”
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN</b>	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería
<b>REALIZADO POR</b>	Aquino Montoro, Josselyn
<b>ASESOR</b>	Dr. Valverde Flores, Jhonny

GAS	GASOLINA					GLP				
	Velocidad del motor (rpm)					Velocidad del motor (rpm)				
CO (%vol.)										
HC (ppm)										
CO + C <sub>2</sub> (% vol.)										

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS N° 04

CONCENTRACIÓN DE GASES CON CONVERTIDOR CATALÍTICO	
<b>TÍTULO</b>	“Reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en convertidor catalítico, 2020”
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN</b>	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería
<b>REALIZADO POR</b>	Aquino Montoro, Josselyn
<b>ASESOR</b>	Dr. Valverde Flores, Jhonny

GAS	GASOLINA					GLP				
	Velocidad del motor (rpm)					Velocidad del motor (rpm)				
CO (% vol.)										
HC (ppm)										
CO + C <sub>2</sub> (% vol.)										

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS N° 05**

<b>FICHA RESUMEN DEL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE GASES</b>	
<b>TÍTULO</b>	“Reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en convertidor catalítico, 2020”
<b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN</b>	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería
<b>REALIZADO POR</b>	Aquino Montoro, Josselyn
<b>ASESOR</b>	Dr. Valverde Flores, Jhonny

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidad (rpm)</b>	<b>Reducción de CO (%vol.)</b>	<b>Reducción de HC (ppm)</b>	<b>Reducción de CO<sub>2</sub> (%vol)</b>	<b>Tiempo (s)</b>
84					10
					20
					30
					40

**Observaciones:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

# ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA



**Tabla 21: Matriz de consistencia**

<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipotesis General</b>
¿En cuánto se reduce la concentración de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020?	Determinar la reducción de la concentración de gases de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020.	La concentración de gases de combustión interna automotriz se reducirá utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020.
<b>Problemas Especificos</b>	<b>Objetivos Especificos</b>	<b>Hipotesis Especificos</b>
¿De qué manera las características fisicoquímicas del catalizador influyen en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020?	Determinar cómo las características fisicoquímicas del catalizador influyen en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor de gases, 2020	Las características fisicoquímicas del catalizador influirán positivamente en la reducción de gases de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020.
¿La dosis de revestimiento influirá positivamente en la reducción de concentración de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020?	Determinar si la dosis de revestimiento influye positivamente en la reducción de concentración de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020	La dosis de revestimiento de 20 gr influirá positivamente en la reducción de la concentración de gases de combustión interna automotriz utilizando Cu-Zeolita en un convertidor catalítico, 2020
¿De qué manera las condiciones operativas del convertidor catalítico influyen en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita, 2020?	Determinar cómo las condiciones operativas del convertidor catalítico influyen en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita, 2020	Las condiciones operativas del convertidor catalítico influirán positivamente en la reducción de gases de combustión interna automotriz usando Cu-Zeolita, 2020.

**Tabla 22 Matriz de Operacionalización**

Variables		Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala	
Independiente	Uso de Cu-Zeolita en convertidor	La zeolita es un mineral aluminosilicatos con capacidad de absorción y retención de gases (Govender y Friedrich, 2017, p.4). Los convertidores catalíticos son dispositivos instalados en el sistema de tubo de escape de los automóviles para el control y reducción de emisiones de gases tóxicos (Sen, 2016).	Se realizó un tratamiento de la zeolita, pasando por un proceso de síntesis, e intercambio con Cu. Y el catalizador obtenido fue analizado por el método Termogravimétrico y revisión documental de estructura y composición. Posteriormente se realiza un revestimiento por inmersión en una cordierita.	Características fisicoquímicas del catalizador	Estabilidad Térmica	°C	
					Estructura Cristalina	°	
					Composición elemental	%	
				Dosis del Catalizador	20	g	
				Condiciones de operación	Temperatura del motor	°C	
Velocidad del motor	rpm						
Dependiente	Reducción de gases	Los gases de combustión interna automotriz conformado por CO, HC, CO <sub>2</sub> es el principal factor de deterioro del aire, que conduce a graves problemas ambientales, como el cambio climático (Bello, 2020).	Se determinó la concentración inicial y final del HC, CO y CO <sub>2</sub> + CO emitido en el escape del motor con un analizador de gases HGA 400 y se midió la concentración de los gases en diferentes tiempos.	Concentración de gases	Concentración inicial	CO	%vol.
						CO <sub>2</sub> + C	
					Concentración final	CO	%vol.
						CO <sub>2</sub> + C	
				% reducción	%		
				Tiempo	10	s	
					20		
30							
40							

# ANEXO 03: INFORMES DE ENSAYOS



**HAIHONG INDUSTRY CO., LTD.**  
7/F, SANQING FENGRUN BUILDING, NO. 100 SOUTH GONGYE ROAD,  
JINAN CITY , SHANDONG PROVINCE, CHINA. P.C.: 250100  
WEBSITE: www.haihongchem.com

## CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product Name:	Tetrapropylammonium bromide		
CAS No.:	1941-30-6	Quantity	1000 kg
Rep Date	May.09.2019	Batch NO.	May.07.2019
MFG. Date	May.07.2019	Expiry Date	May.06.2021

Item	Specifications	Results
Appearance	White to almost white crystalline powder	Conforms
Assay	$\geq 99.0\%$	99.55%
Amine value	$\leq 3.0$ mg KOH/g	0.24mg KOH/g
Water	$\leq 0.5\%$	0.12%
Conclusion	Qualified.	

Analyst: Liya

Checker: Weichen

Q.C. Director: Xuleilei

# KET CATALYST

**Address** NO.8 Pujiang Rd, Tongshan District  
 Xuzhou, Jiangsu, 221116, P.R. China  
**Website** [www.ket.com](http://www.ket.com)  
**Tel** +86-516-87310116  
**Fax** +86-516-87310112

## Ceramic monolith test report

Executive Standard: Q/320125 gtc03-2011

Ceramic Size:118mm\*130mm

Material: Cordierite

Item	Technical Standard	Actual Test Report
SiO <sub>2</sub> (%)	49.7 ±1.5	50.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	35.4 ±1.5	35.80
MgO(%)	13.5±1.5	13.10
Cell Density(hole/c. m <sup>2</sup> )	62±3	62
Wall Thickness(mm)	0.18±0.02	0.18
Compression Strength(MPa)	A axle	>12
	B axle	>2
Unit Weight(g/cm <sup>3</sup> )	≤0.55	0.38
Water Absorption(%)	25±5	25.9
Thermal expansion coefficient (×10 <sup>-6</sup> )	≤1.8	1.24
Temperature softening ( ° C)	≥1360	≥1360
Above item is all qualified		

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°: CC-0192-20

### 1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SOLICITANTE:

- 1.1 Solicitante: CORPORACION RAUL MOTORS M&H S.A.C.  
1.2 RUC (N°): 20514928381  
1.3 Dirección: AV. SAN LUIS 994 URB. LAS MORAS - SAN LUIS
- 1.4 Persona de Contacto: ROSA RIVERA GARCIA  
1.5 Correo/Teléfono: corpraulmotors@hotmail.com / 994038850  
1.6 Solicitud de Servicios (N°): SS-0331-20  
1.7 Fecha de recepción: 11/03/2020

### 2. INFORMACIÓN DEL EQUIPO/INSTRUMENTO CALIBRADO:

- 2.1 Equipo/Instrumento: Analizador de Gases  
2.2 Marca: Pierburg Instruments Hermann  
2.3 Modelo: HGA 400 4GR  
2.4 N° Serie/Identificación: 523  
2.5 Clase de Exactitud: Clase 1  
2.6 Rango de la Escala: CO: 0 a 10% vol; CO2: 0 a 20% vol; HC: 0 a 20000 ppm  
2.7 División de la Escala: CO: 0,01% vol; CO2: 0,1% vol; HC: 1 ppm vol C3H8

### 3. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN:

- 3.1 Lugar: Laboratorio de Calibración CALIBRA S.A.C., San Lorenzo 363, Surquillo, Lima  
3.2 Fecha: 12 de Marzo de 2020

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados consignados en el presente Certificado de Calibración se refieren únicamente al objeto sometido a calibración; al momento y condiciones en las que se realizaron las mediciones, CALIBRA S.A.C. no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los objetos calibrados o del presente Certificado de Calibración.

Este Certificado de Calibración cumple con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP - ISO/IEC 17025 (traducción nacional de la Norma Internacional ISO/IEC 17025 "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración").

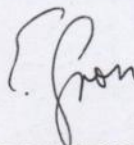
Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Las modificaciones requieren la autorización de CALIBRA S.A.C.. Certificados sin firma y sello carecen de validez.

Las enmiendas al presente documento no efectuadas por CALIBRA S.A.C., constituyen un delito contra la fe pública y el infractor es sujeto de sanciones civiles y penales reguladas por dispositivos legales vigentes.

Fecha

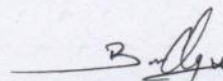


Jefe de Laboratorio de Calibración



ESTEBAN GROSS

Técnico de Calibración



BERNIE CONTRERAS

**INFORME**

Razón Social : **Josselyn Azucena Aquino Montoro**  
 Domicilio Legal : **A. H Los precursores Mz.H lote 6 V.M.T**  
 Proyecto : **Medición de gases de combustión automotriz**  
 Procedencia : **AV. Del Aire N.1431 Urb. La Vía San Luis**  
 Muestreo Realizado Por : **Corporación Raul Motors MH SAC**  
 Serie del equipo : **523**  
 Producto : **Emisiones**  
 Fecha de Ensayo : **7/07/2020** al **7/07/2020**

**I. Resultados**

Combustible: Gasolina	Tipo de Producto	Resultados			
Revoluciones por minuto (rpm)	Unidad	< 950	950 - 1900	2250 - 2750	>2750
Determinación de la Concentración de Hidrocarburo expresado en Hexano (HC) s/n catalizador	ppm	472.0	410.0	449.0	342.0
Determinación de la Concentración de Hidrocarburo expresado en Hexano (HC) c/n catalizador	ppm	335	367	336	261
Determinación de la Concentración de Monóxido de Carbono (CO) s/n catalizador	% vol.	1.140	1.430	4.510	5.830
Determinación de la Concentración de Monóxido de Carbono (CO) c/n catalizador	% vol.	0.380	0.540	4.140	5.230
Determinación de la Concentración de Dióxido de Carbono y Monóxido de Carbono (CO2+CO) s/n catalizador	% vol.	15.34	15.53	17	17.930
Determinación de la Concentración de Dióxido de Carbono y Monóxido de Carbono (CO2+CO) c/n catalizador	% vol.	14.16	14.44	16.44	17.03
Combustible: GLP	Tipo de Producto	Resultados			
Determinación de la Concentración de Hidrocarburo expresado en Hexano (HC) s/n catalizador	ppm	756.0	980.0	885.0	949.0
Determinación de la Concentración de Hidrocarburo expresado en Hexano (HC) c/n catalizador	ppm	671	868	250	205
Determinación de la Concentración de Monóxido de Carbono (CO) s/n catalizador	% vol.	0.140	0.330	0.300	0.120
Determinación de la Concentración de Monóxido de Carbono (CO) c/n catalizador	% vol.	0.140	0.140	0.200	0.180
Determinación de la Concentración de Dióxido de Carbono y Monóxido de Carbono (CO2+CO) s/n catalizador	% vol.	12.84	13.73	13.7	12.120
Determinación de la Concentración de Dióxido de Carbono y Monóxido de Carbono (CO2+CO) c/n catalizador	% vol.	12.14	11.94	12.9	12.98

**MÉTODOS Y REFERENCIAS**

Tipo de Ensayo	Norma Referencia	Título
Evaluación y homologación del equipo	Referenciado en Homologación. G002-2002-DGASA-MTC (Validado); 2002	Analizador de 4 gases HGA 400
Determinación de la Concentración de Monóxido de Carbono, Hidrocarburo expresado en Hexano y Propano, CO2 +CO	D.S N° 010-2017-MINAM (VALIDADO). 2017	Establecen Límites Máximos Permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores

  
**CORPORACION RAUL MOTORS M&H S.A.C.**  
**VICTOR RAUL RIVERA GARCIA**  
 GERENTE GENERAL