



Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI-FUEL y DUAL -FUEL de hidrógeno, en el control de emisiones de los motores de combustión interna de encendido por compresión.

Autores:

Mariscal Guambi, Deisy Carolina
Ortiz Santiana, Alan Esteban

Tutor:

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

Latacunga, 18 de Agosto del 2022

E. S. P. E.



INGENIERIA AUTOMOTRIZ



CONTENIDO

1 Planteamiento del problema

3 Justificación e importancia

4 Objetivos

5 Hipótesis

6 Fundamentación teórica

7 Protocolos

8 Pruebas

9 Análisis de resultados

9 Conclusiones



Planteamiento Del Problema



JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La búsqueda de combustibles alternativos a los de uso convencional, ha tenido como objeto principal disminuir las emisiones contaminantes producidas tanto por los MEP como los MEC.



Con el aumento del parque automotor, es necesario aportar a la búsqueda y técnicas del uso de combustibles alternativos que ayuden a reducir los niveles de gases contaminantes.



Se plantea la implementación de un sistema de generación de hidrógeno, que permita añadir este gas en cantidades adecuadas a la mezcla aire/combustible.



OBJETIVOS

Objetivo general

Investigar la incidencia del sistema de inyección BI-FUEL y DUAL-FUEL de hidrógeno, en el control de emisiones de los motores de combustión interna de encendido provocado y por compresión.



OBJETIVOS

- Realizar la fundamentación teórica científica de la generación de hidrógeno por electrolisis del agua en oxihidrógeno que es una mezcla de hidrógeno atómico y oxígeno atómico en proporción de 2:1.
- Construir un reactor de hidrógeno por electrolisis del agua para la separación de las moléculas de oxígeno de las moléculas de hidrógeno.
- Implementar el sistema de inyección de hidrógeno por aspersion en motores de combustión interna, para el control de la contaminación en motores de automóvil con fuentes móviles.



OBJETIVOS

- Ejecutar mediciones de emisiones considerando la normativa internacional de la SAE y nacional de la NTE INEN antes y después de la implementación del reactor y sistema de inyección de hidrógeno vehicular.
- Ejecutar mediciones de opacidad considerando la normativa internacional de la SAE y nacional de la NTE INEN antes y después de la implementación del reactor y sistema de inyección de hidrógeno vehicular.
- Analizar matemática, gráfica y estadísticamente los resultados obtenidos de las pruebas de emisiones y opacidad de la implementación del sistema de inyección de hidrógeno



HIPÓTESIS

El uso del hidrógeno como mejorador de combustión ayudará en la reducción de los niveles de gases contaminantes en un 35% para motores con encendido provocado y para motores con encendido por compresión disminuirá los niveles de opacidad del 3-10%.



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El hidrógeno se encuentra ubicado en el primer lugar de la tabla periódica, es el elemento más ligero y abundante de la tierra debido a que se encuentra combinado molecularmente con el agua, constituyendo el 75% de la materia.

Al hidrógeno se lo considera como un portador energético, capaz de liberar energía de forma controlada luego de someterse a procesos químicos y termodinámicos.



PROPIEDADES DEL hidrógeno

Reactividad

De la reacción química de hidrógeno con oxígeno se obtiene agua y calor que puede ser utilizada como trabajo útil. Para que ocurra dicha reacción debe existir un mínimo aporte de energía como el arco eléctrico producido por una bujía dentro del cilindro de un MCI.

Contenido energético

Todo combustible al reaccionar con oxígeno libera una cantidad determinada de energía que se mide experimentalmente y se cuantifica como:

- Poder calorífico superior (HHV)
- Poder calorífico inferior (LHV)

La diferencia entre estos dos es el calor de evaporación (cantidad de energía requerida para vaporizar un combustible líquido en gaseoso).

Poder calorífico superior : 141,86 kJ/g a 25°C - 1atm
Poder calorífico inferior: 119,93 kJ/g



Propiedades del hidrógeno

Inflamabilidad

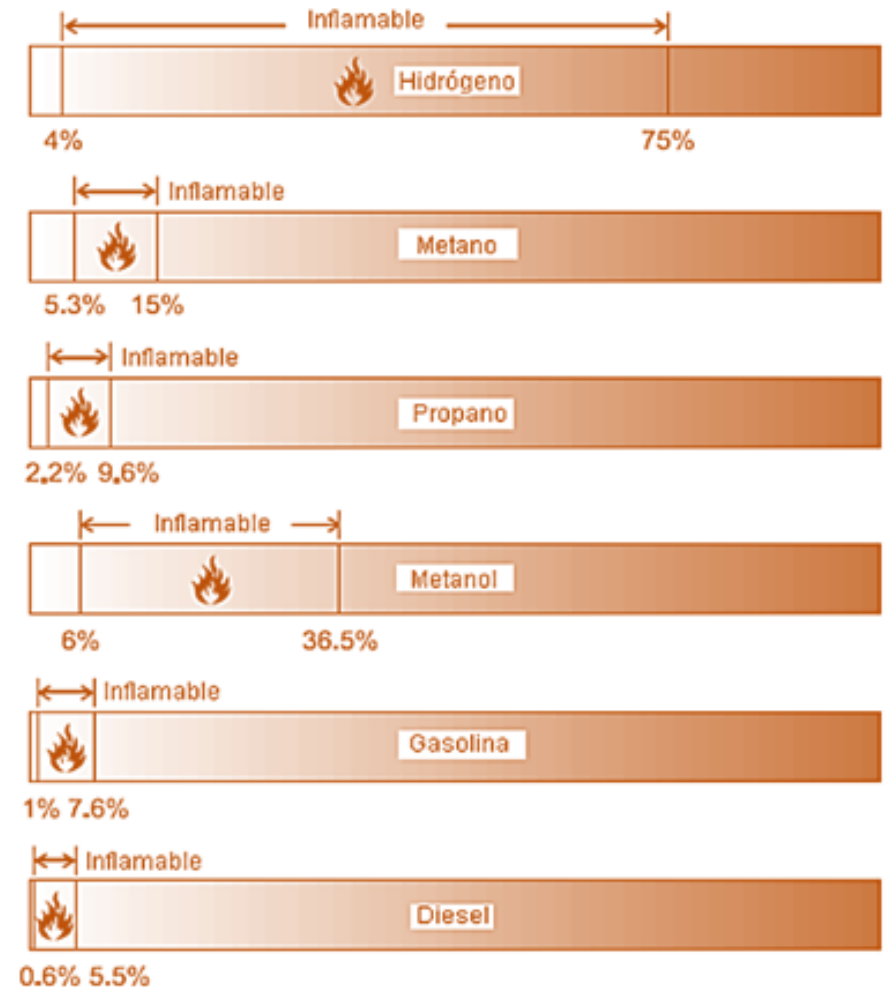
1. Combustible (hidrógeno)
2. Comburente (oxígeno, mezclado con el combustible)
3. Fuente de ignición (chispa)

Punto de inflamación

Es la característica de un combustible de evaporarse para quemarse. Esta propiedad, define la temperatura mínima a la que se desprenden vapores inflamables suficientes para combustionarse a presión atmosférica

Rango de inflamabilidad

Son los límites en los cuales una cantidad determinada de combustible vaporizado puede admitir una llama y propagarla al mezclarse con aire para seguir quemando



PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO

Temperatura de autoencendido.

Es la temperatura a la cual el combustible puede inflamarse sin la necesidad de una fuente de ignición. El hidrógeno posee una temperatura de autoencendido elevada de 585°C

Numero de Octano

Es la propiedad antidetonante de un combustible, el hidrógeno posee un numero de octano elevado, lo que lo hace resistente a detonaciones secundarias, aun cuando se realiza la combustión con mezclas muy pobres.

Energía de ignición

Es la cantidad de energía externa que se necesita para encender una mezcla de combustible, dicha energía tiene que ser superior a la temperatura de autoencendido y durar tanto como para calentar el combustible vaporizado



PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO

Velocidad de quemado

Indica la velocidad con la que la llama viaja a través de la mezcla aire – combustible, esta varía según la concentración de combustible a ambos extremos del rango de inflamabilidad del combustible.

Distancia de apagado

Es la propiedad que describe la distancia a la cual se extingue la llama de un combustible dentro de un MCI.

El hidrógeno tiene una distancia de apagado de 0,064 *cm*, que es aproximadamente 3 veces menos que la distancia de apagado de combustibles comunes como la gasolina



EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

Requiere de una elevada temperatura para que se produzca la autoignición cualidad lo que nos permites utilizar altas relaciones de compresión.

Al combustionarse bajo condiciones estequiometrias tiene una elevada velocidad de llama, permitiendo que el motor se acerque al ciclo térmico ideal aprovechando la mayor parte de energía térmica en trabajo útil.

Alto poder calorífico y contenido energético principales ventajas que permiten obtener una elevada cantidad de energía con una mínima cantidad de gas

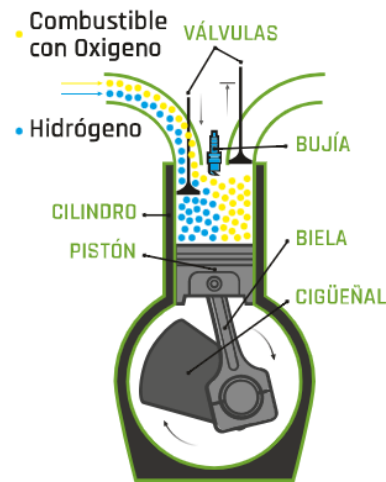
Poca polución al ambiente ya que al reaccionar con oxígeno se produce vapor de agua y calor, se disminuye la cantidad de HC, CO₂, CO y NO_x , producidos por la quema de hidrocarburos.



hidrógeno COMO MEJORADOR DE LA COMBUSTIÓN DE UN MCI

La mezcla aire – gasolina se quema bajo el principio de combustión premezclada, que consiste en la homogenización de la masa de aire que ingresa al cilindro con una cantidad determinada de gasolina, durante la fase de admisión.

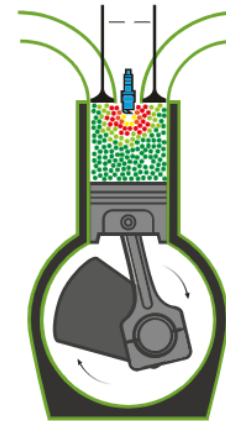
01 Admisión



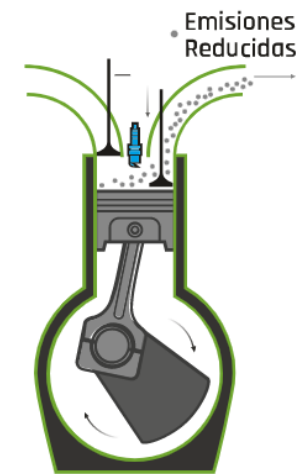
02 Fusión y Compresión



03 Combustión y Poder



04 Escape



COMBUSTIÓN MEP

Fase 1

Inicia cuando el arco eléctrico inicia la ignición de la mezcla comprimida en la cámara de combustión, formando el núcleo el cual va creciendo poco a poco hacia la mezcla sin quemar aumentando la presión al interior de la cámara.

Fase 2

En esta fase conocida como la eclosión de la llama se da la propagación de esta a una alta velocidad, debido a las altas temperaturas alcanzadas de la mezcla sin quemarse por el incremento de presión.

Fase 3

La llama propagada inicia su ralentización debido a que empieza a combustionarse el resto de mezcla y las llamas se acercan a las paredes del cilindro. Esta finaliza cuando la combustión haiga terminado.



HIDRÓGENO COMO MEJORADOR DE LA COMBUSTIÓN DE UN MCI

Para los motores MEC la mezcla aire – diésel se quema bajo dos principios el anteriormente estudiado y la combustión por difusión, en el cual el diésel y el aire están separados hasta el final de la fase de compresión, además en este tipo de combustión, se inicia cuando el diésel es pulverizado a alta presión directamente hacia el aire comprimido provocando su autoencendido.



COMBUSTIÓN MEC

Fase 1

En esta fase conocida como retraso al autoencendido se da la inyección a alta presión del diésel para que inicie la homogenización con el aire que ingreso al cilindro en la fase de admisión, aquí no se libera calor.

Fase 2

En esta fase debido a las altas temperaturas por la presión generada en la cámara de combustión, las partículas de oxígeno que se han homogenizado con el diésel vaporizado dan paso al autoencendido de la mezcla iniciando la combustión premezclada, liberando calor abruptamente.

Fase 3

Las fases anteriores en conjunto se conocen como la combustión por difusión temprana, pero al terminar la combustión premezclada con la propagación de la llama se da la combustión por difusión tardía que termina de combustionar la mezcla remanente.



EQUIPOS DE MEDICIÓN

Analizador De Gases Brain Bee
Mahle AGS – 688



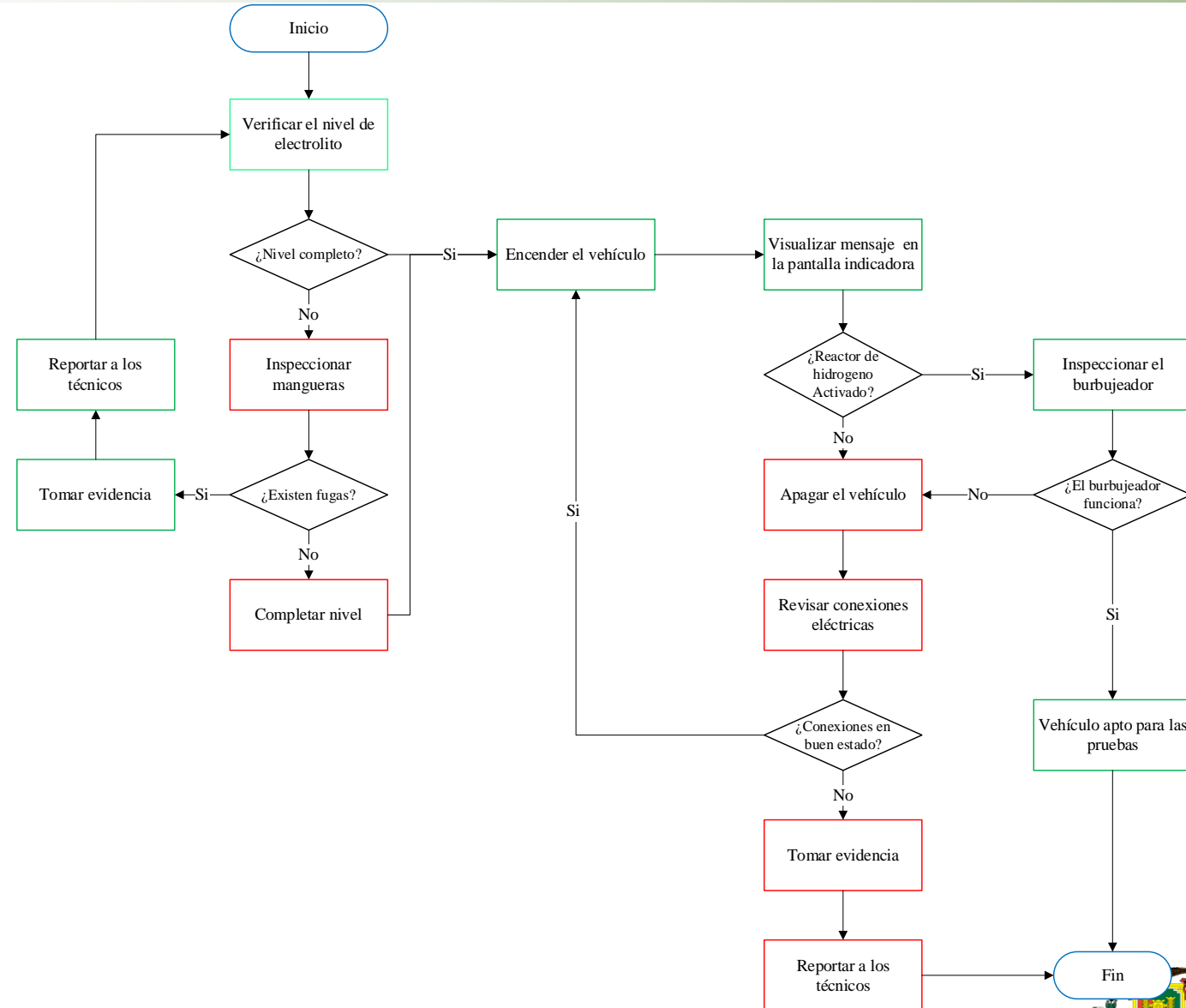
El opacímetro modelo 57 – 220
Marca Bear



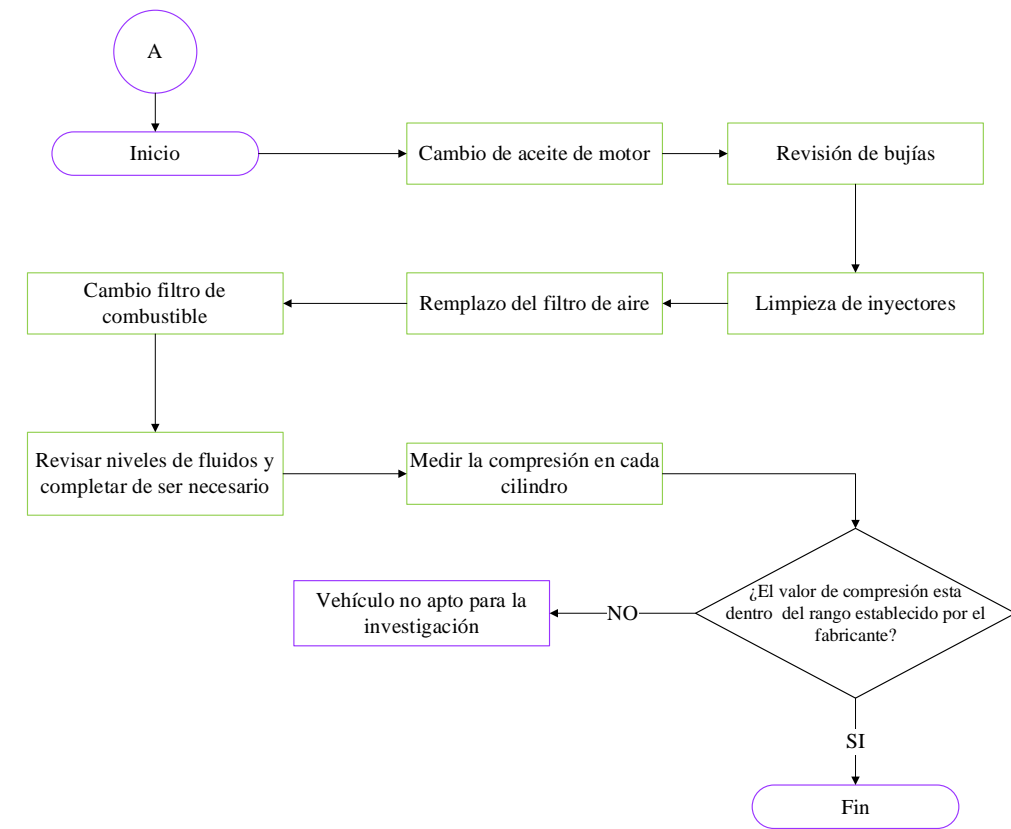
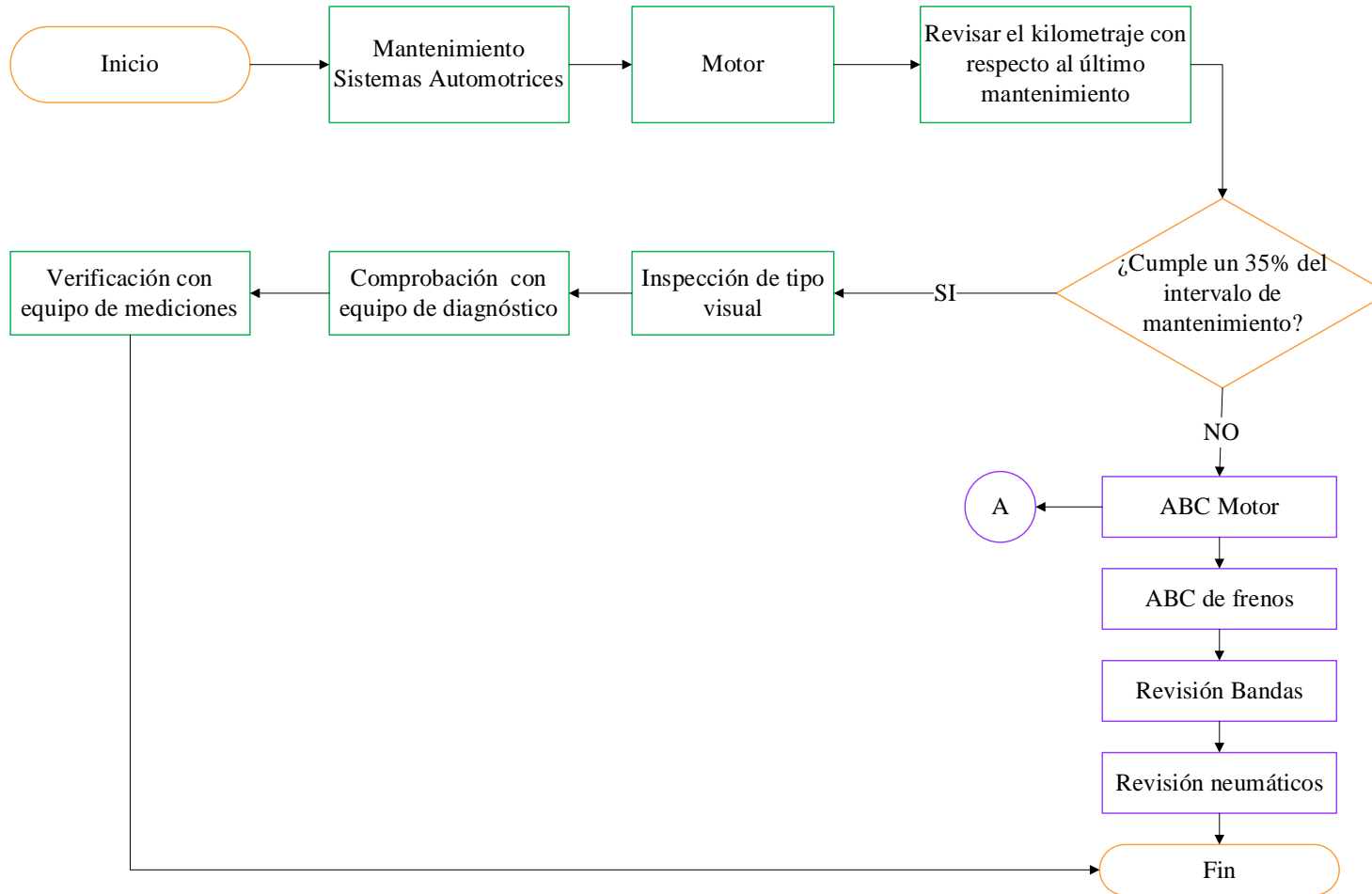
Medidor de RPM MGT – 300 EVO



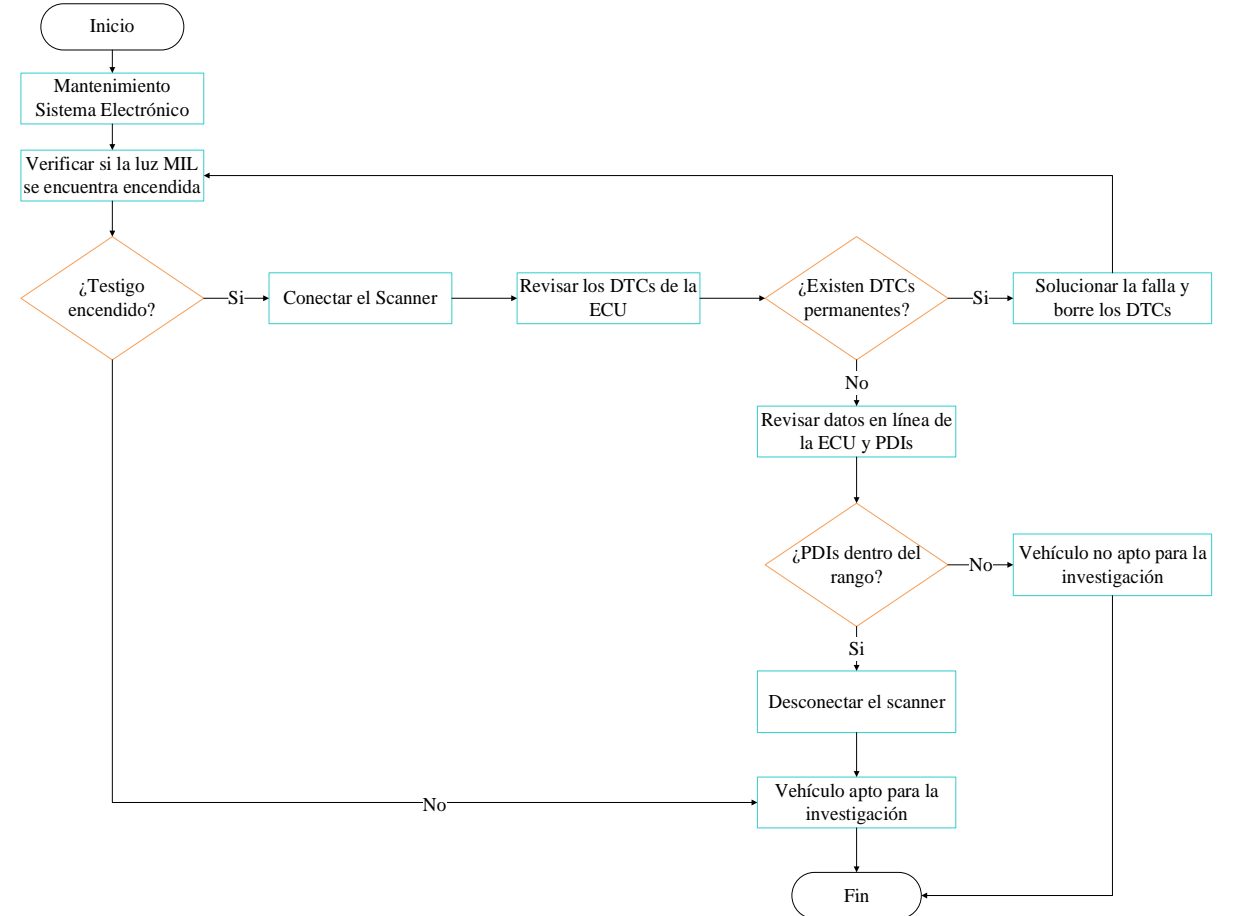
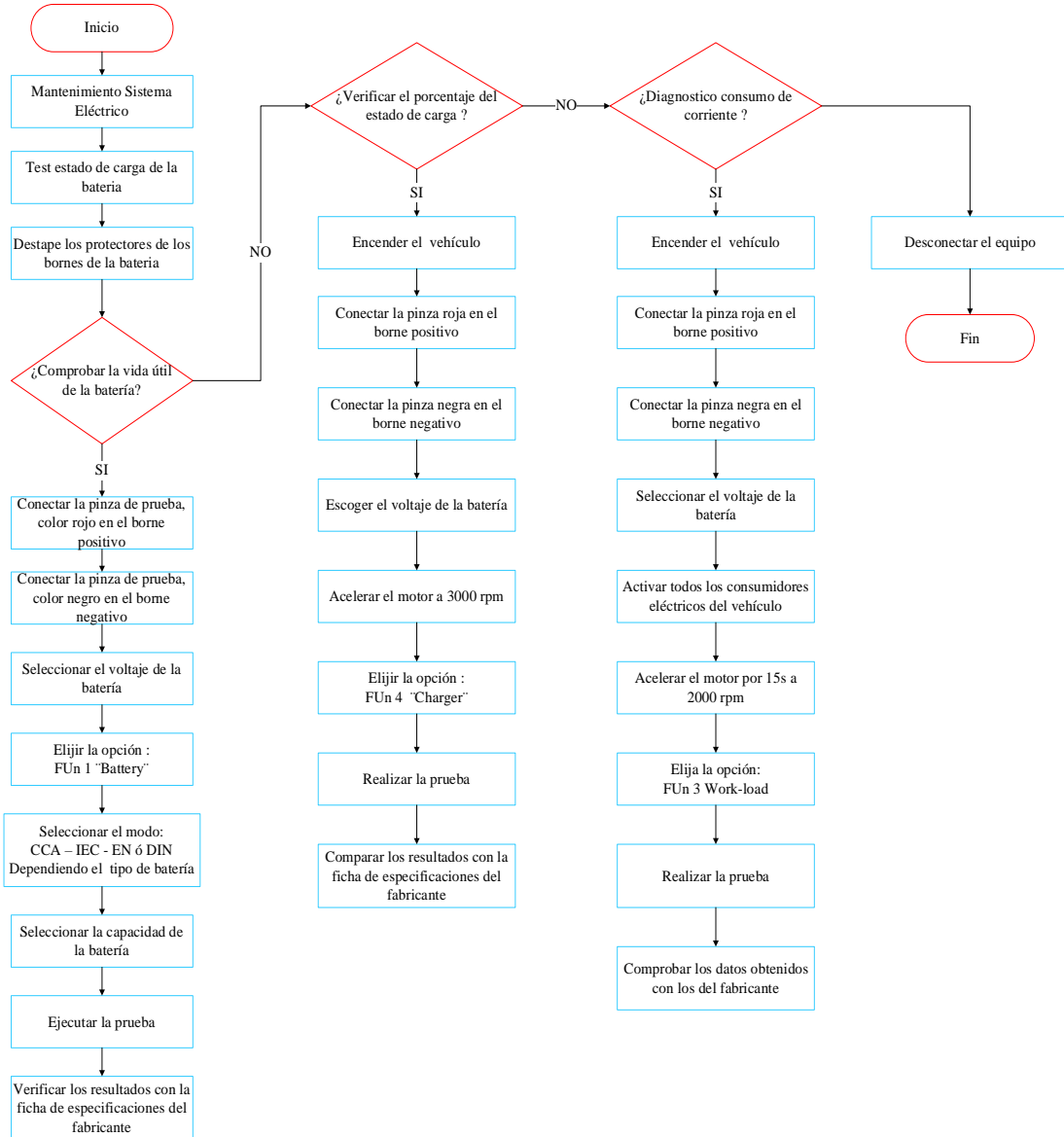
PROTOCOLO DE VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR



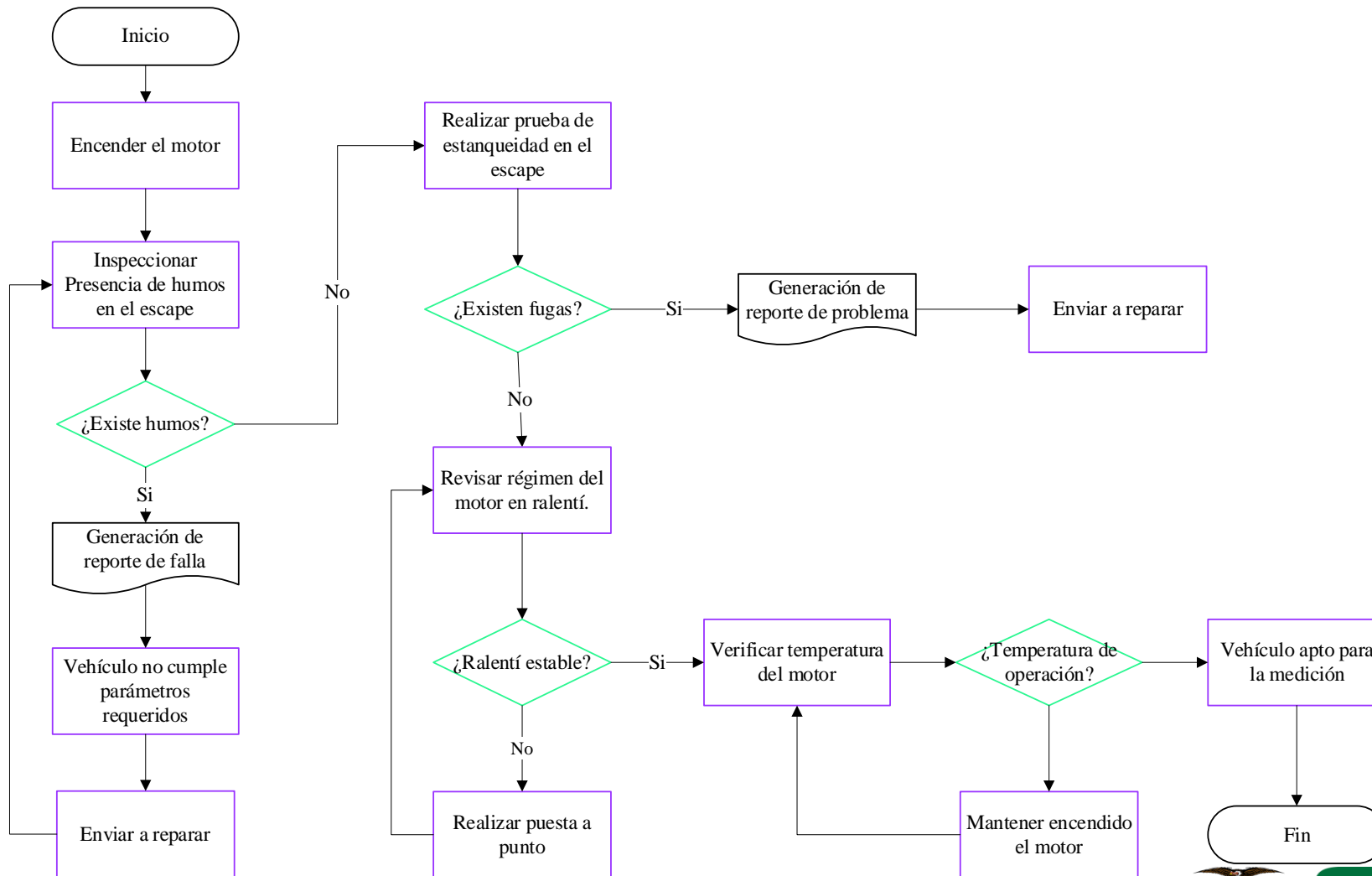
PROTOCOLO - PUESTA A PUNTO DEL MOTOR DE LOS VEHÍCULOS DE PRUEBA



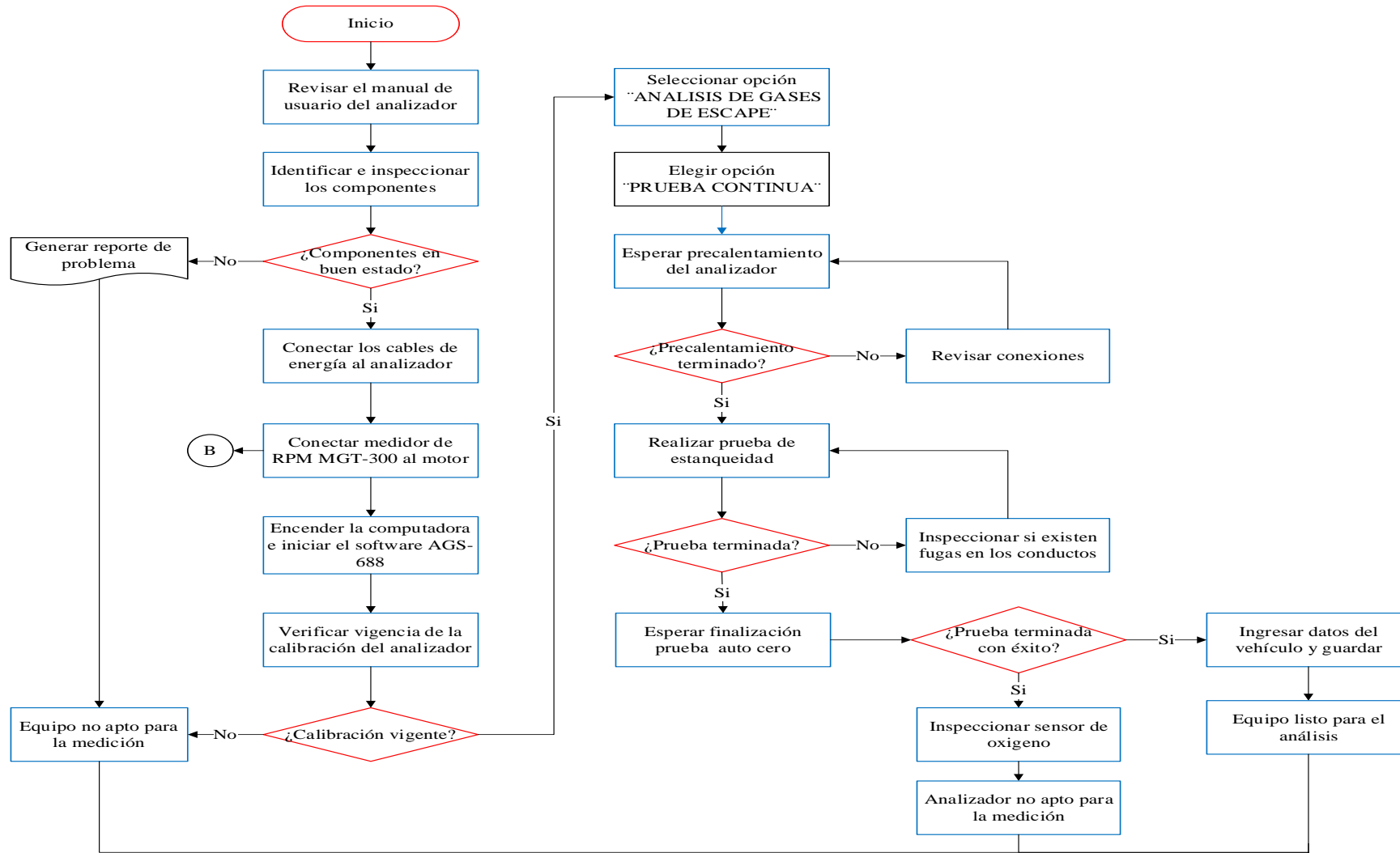
PROTOCOLO PUESTA A PUNTO SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO



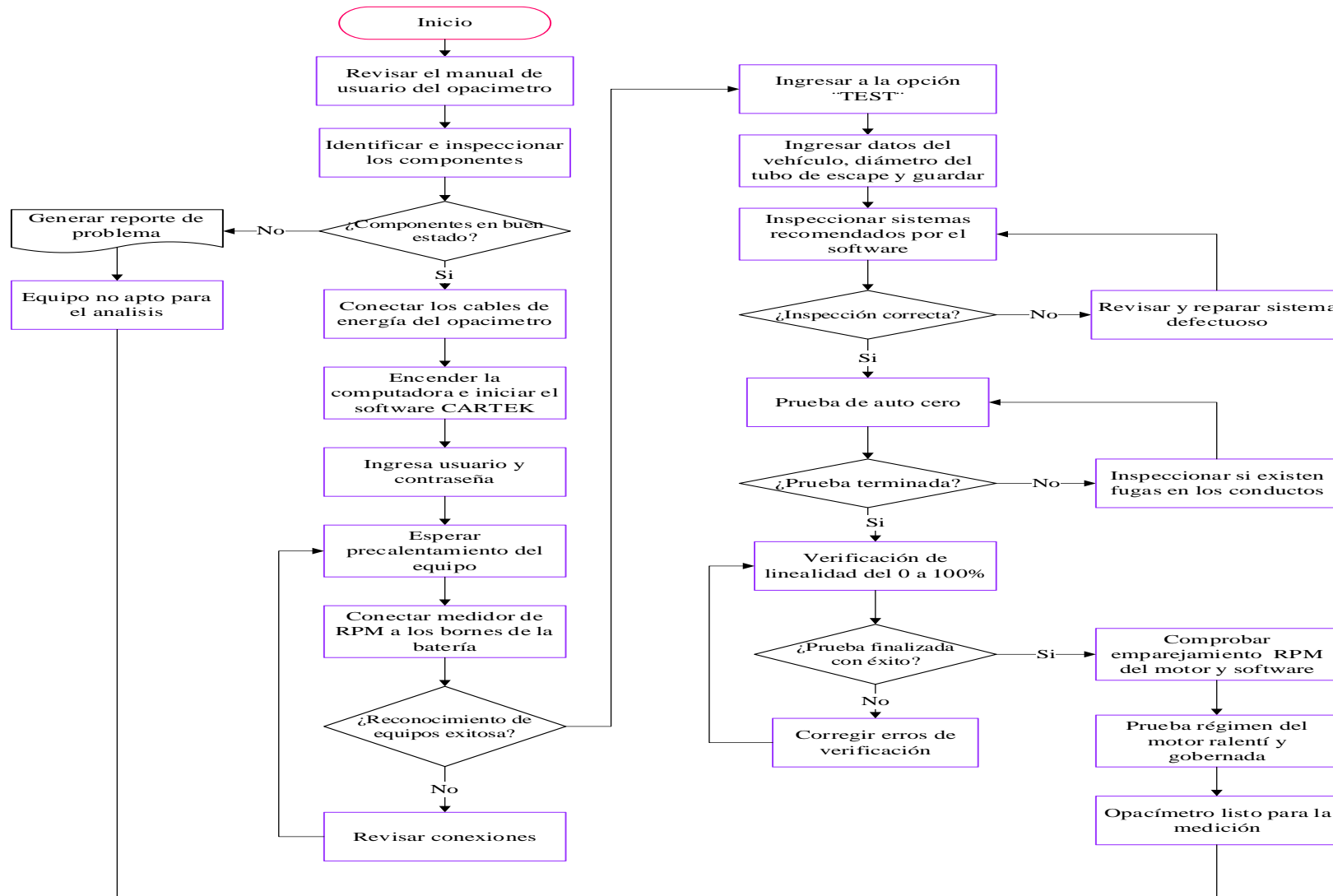
PROTOCOLO VERIFICACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL VEHÍCULO, PREVIO A LA MEDICIÓN DE GASES DE ESCAPE.



PROTOCOLO DEL USO DEL ANALIZADOR DE GASES DE ESCAPE



PROTOCOLO PARA EL USO DEL OPACÍMETRO



PRUEBAS

Prueba de emisiones de gases de MEP


Para esta prueba, se van a realizar 5 ensayos de emisiones en dos condiciones test oficial y prueba continua, que estarán bajo los protocolos estandarizados por las normativas NTE INEN 2203 y 2204.

Test oficial.

Para este ensayo se ejecutarán pruebas con un régimen de giro, en ralentí y a 2500 RPM, donde se tendrá como resultado los límites prescritos y los valores medidos.



REPORTE DE ANÁLISIS DE GASES

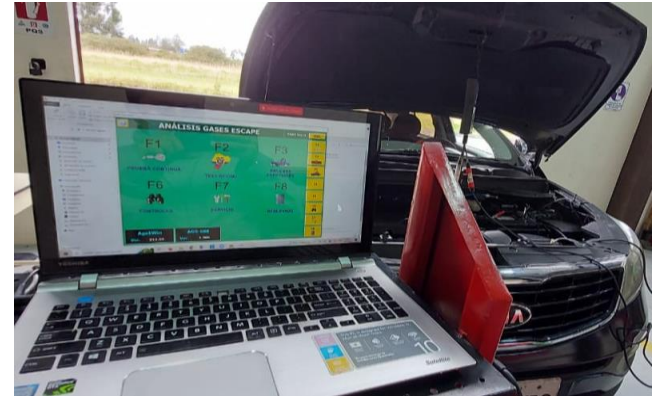
		TEST OFICIAL GASES DE ESCAPE	
ANALIZADOR GASES AGS-688		TACÓMETRO	
Número de Serie	: 160513000054	Número de Serie	:
Número de Homologación	: OM00292EST006cNET	Número de Homologación	:
Fecha vencimiento calibración	: 12/07/2023	Fecha vencimiento calibración	:
DATOS TALLER			
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPEL			
BELISARIO QUEVEDO		0987507064	
LATACUNGA		laquiroz@espe.edu.ec	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: PBQ-9678	No. Chasis	: KNAPB811AB7057593
Marca	: KIA	No. Tubos de Escape	: 1
Modelo	: SPORTAGE R 2.0L 4X2 GSL MT	2 Tiempos / 4 Tiempos	: 4
Año de Construcción	: 2011	Odómetro	: 130280
Combustible	: GASOLINA		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 80 [°C]	Régimen Motor en Aceleración	: 2400 - 2600 [1/min]
Régimen Motor al Mínimo	: 500 - 1200 [1/min]	CO	: 1.0 [%Vol]
O2	: 5.0 [%Vol]	HC	: 200 [ppmVol]
VALORES MEDIDOS			
PRUEBA AL MINIMO		PRUEBA EN ACELERACIONE	
Temp. Motor	: 91 [°C]	Temp. Motor	: 91 [°C]
RPM	: 690 [1/min]	RPM	: 2490 [1/min]
CO	: 0.03 [%Vol]	CO	: 0.40 [%Vol]
CO2	: 14.7 [%Vol]	CO2	: 14.5 [%Vol]
O2	: 0.53 [%Vol]	O2	: 0.42 [%Vol]
HC	: 44 [ppmVol]	HC	: 72 [ppmVol]
Lambda	: 1.023 [-]	Lambda	: 1.005 [-]
RESULTADO DEL TEST		: APROBADO SIN FALTAS	
Fecha y hora de inicio prueba	: 25/07/2022 15:10:58		
Fecha y hora de termine prueba	: 25/07/2022 15:13:34		
Examinador	: LEONIDAS QUIROZ		
Firma			



PRUEBAS

Prueba continua.

Para este ensayo, se tomará los valores de los niveles de emisiones en diferentes regímenes de giro del motor: ralentí, 1000, 2000, 3000 y 4000 RPM.



REPORTE DE ANALISIS DE GASES



ANALIZADOR	AGS-688	CUENTARREVOLUCIONES
Número de serie	: 160513000054	Número de serie

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPEL
BELISARIO QUEVEDO 0987507064
LATACUNGA laquiroz@espe.edu.ec

Datos del vehículo:

Marca	: KIA	Modelo	: SPORTAGE 2 2.0L 4X2
Matrícula	: PBQ-9678	No. Chasis	: KNAPB811AB7057593
Combustible	: GASOLINA	Km recorridos	: 129434

Valores relevados:

Temp. motor	[°C]	:	91
RPM	[1/min]	:	650
COcorr	[%Vol]	:	0.04
Lambda	[-]	:	1.008
CO	[%Vol]	:	0.04
CO ₂	[%Vol]	:	15.2
HC	[ppmVol]	:	71
O ₂	[%Vol]	:	0.27
NO	[ppmVol]	:	0

Fecha y hora prueba : 15/07/2022 08:38

Sello

Firma



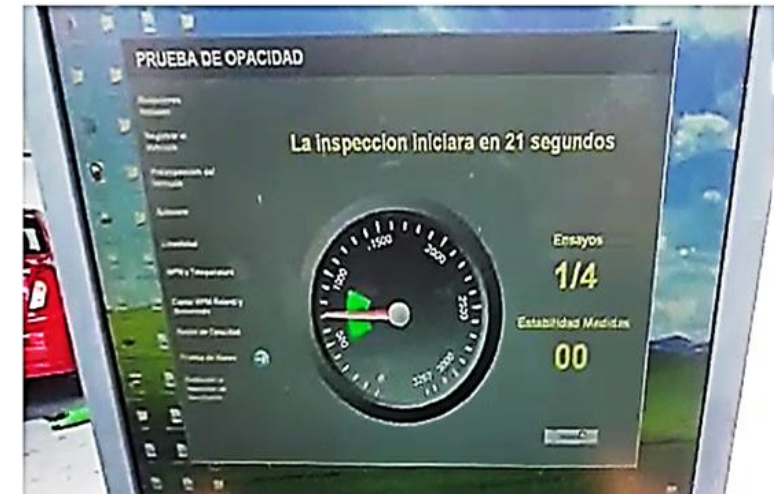
PRUEBAS MEP - OPACIDAD

Prueba de opacidad de MEC

Esta prueba se van a realizar 5 ensayos, que estarán regidos de acuerdo con las normativas NTE INEN 2202 y 2207, basadas el ensayo de aceleración libre.

Prueba de opacidad.

Consiste en 4 ensayos de aceleración libre, es decir llevar al motor de ralentí a velocidad gobernada progresivamente, en cuatro ocasiones, cada una de 5 segundos consecuentemente, obteniendo como resultado la opacidad promedio de los ensayos.



PRUEBAS MEP - OPACIDAD

Prueba de opacidad de MEC

Para esta prueba se va a realizar 5 ensayos de opacidad y emisiones de NO_x que estarán regidos por los protocolos establecidos de acuerdo con las normativas NTE INEN 2202 y 2207, basadas el ensayo de aceleración libre.



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó cinco pruebas de análisis de gases continuo en un MEP sin el generador de hidrógeno a diferente régimen de revolución, obteniendo los datos que se presentan a continuación.

N.º Prueba	Trem p. Motor °C	RPM 1/min	COcorr %Vol	λ	CO %Vol	CO2 %Vol	HC ppmVol	O2 %Vol	NO ppmVol
1	91	650	0,04	1,008	0,04	15,2	71	0,27	0
2	90	1520	0,2	1,019	0,19	14,2	120	0,61	17
3	91	2060	0,65	0,984	0,65	15	106	0,15	0
4	91	3020	0,48	0,992	0,48	14,9	90	0,21	57
5	94	4010	0,38	0,993	0,38	15	45	0,12	32



ANÁLISIS DE RESULTADOS

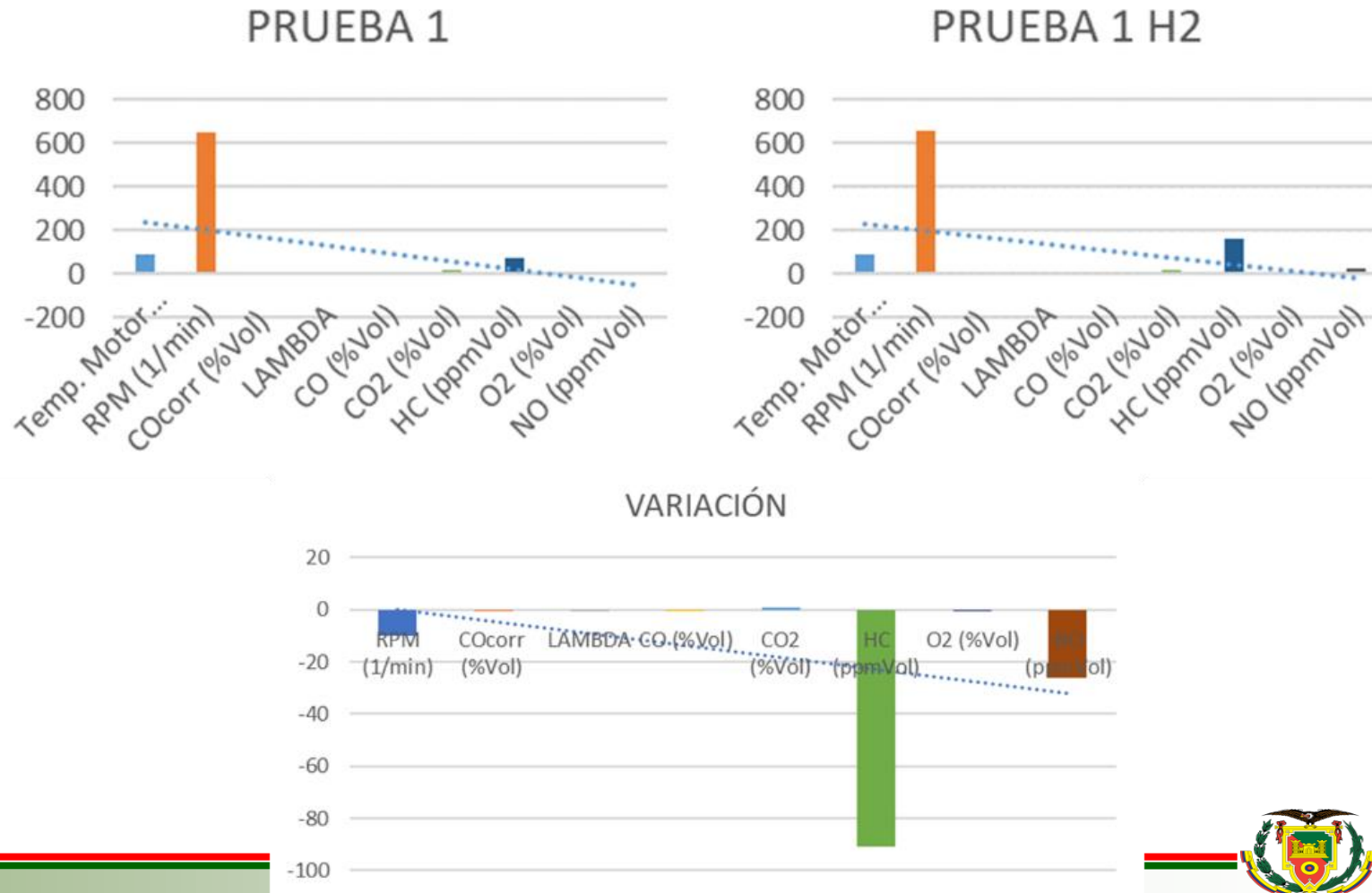
Análisis de gases continuo en MEP con el generador de hidrógeno activado, a diferente régimen de revolución.

N° Prueba	Temp. Motor °C	RPM 1/min	COcorr %Vol	λ	CO %Vol	CO2 %Vol	HC ppmVol	O2 %Vol	NO ppmVol
1	91	660	0,29	1,025	0,29	14,6	162	0,85	26
2	91	990	0,23	1,002	0,23	15,1	110	0,29	32
3	92	2530	0,34	1,073	0,3	12,8	65	1,6	69
4	94	3030	0,3	1,014	0,3	15	61	0,54	21
5	95	4020	0,53	1,018	0,53	14,8	39	0,75	21



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Variación Prueba 1 – MEP – Con H2 Vs Sin H2.



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Variación Prueba 1 – MEP – Con H2 Vs Sin H2.

Se realizó dos pruebas continuas a un régimen de revolución en ralentí, con y sin activación del generador, obteniendo los siguientes datos.

Prueba	RPM 1/min	CO_{corr} %Vol	λ	CO %Vol	CO₂ %Vol	HC ppmVol	O₂ %Vol	NO ppmVol
Sin H2	650	0,04	1,008	0,04	15,2	71	0,27	0
Con H2	660	0,29	1,025	0,29	14,6	162	0,85	26
Diferencia	-10	-0,25	-0,017	-0,25	0,6	-91	-0,58	-26



ANÁLISIS DE RESULTADOS

MEC – Medición De Opacidad

Las pruebas ejecutadas mediante la medición de opacidad se realizan con dos regímenes de revolución, ralentí y en gobernada, dando como resultado la opacidad que se muestra en unidades de porcentaje, logrando calcular el coeficiente K a través de la Ley de Beer-Lambert para la transmitancia.

Análisis de opacidad					
Nº	RPM ralentí (RPM)	RPM gobernado (RPM)	Prueba Ensayo (%)	Opacidad (%)	Transmitancia (%)
1	714	4351	3,48	2,77	0,9723
2	713	4372	2,45	2,27	0,9773
3	714	4368	1,81	1,81	0,9819
4	708	4370	2,97	2,34	0,9766
5	713	4373	2,25	1,79	0,9821



ANÁLISIS DE RESULTADOS

MEC – Medición De Opacidad - Con Hidrógeno

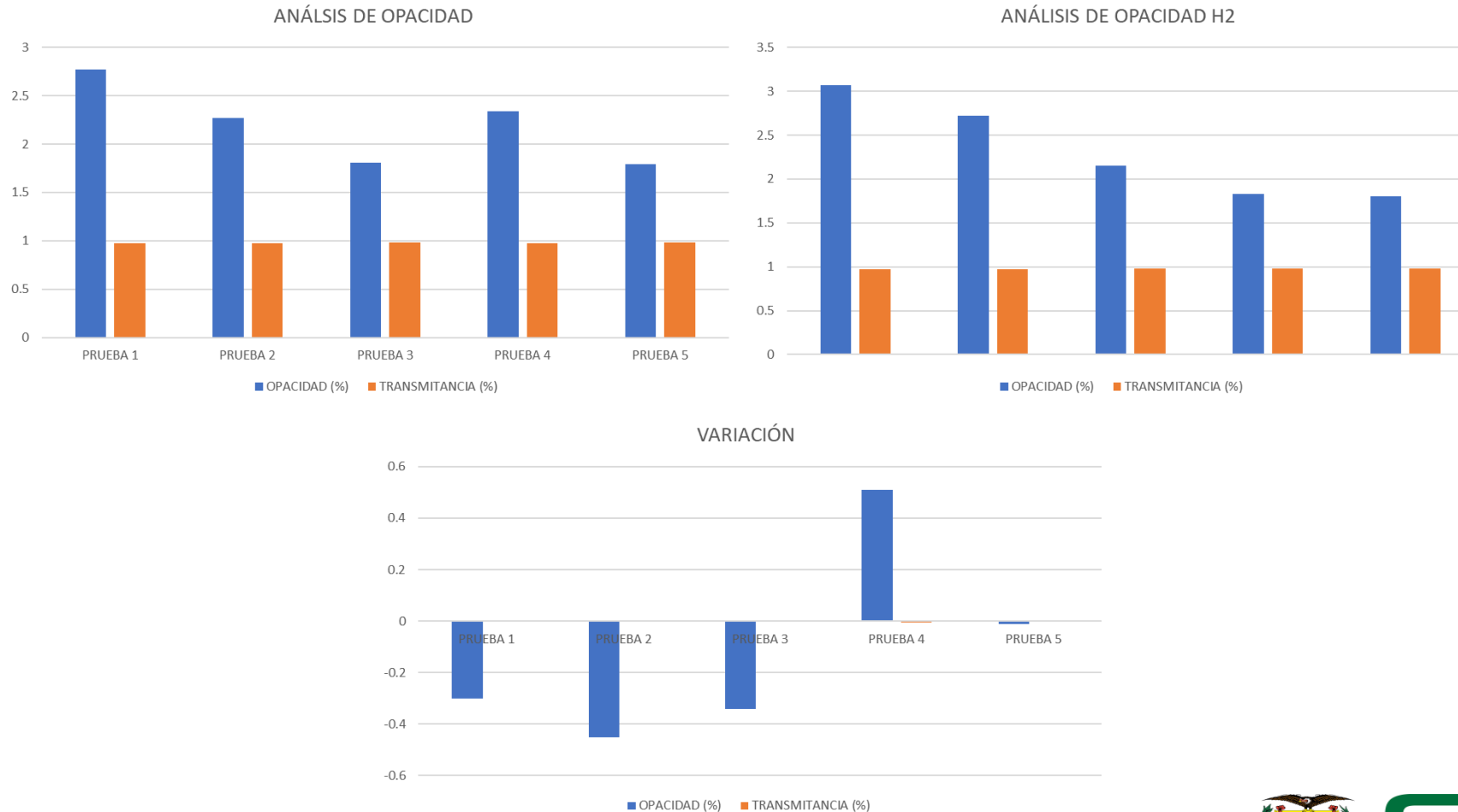
Se realizó 5 pruebas de medición de opacidad en un MEC obteniendo los siguientes valores.

Análisis de opacidad H2					
<i>Nº</i>	<i>RPM ralentí (RPM)</i>	<i>RPM gobernado (RPM)</i>	<i>Prueba Ensayo (%)</i>	<i>Opacidad (%)</i>	<i>Transmitancia (%)</i>
1	714	4368	3,71	3,07	0,9693
2	705	4367	3,33	2,72	0,9728
3	705	4367	3,1	2,15	0,9785
4	710	4368	2,29	1,83	0,9817
5	714	4367	2,04	1,8	0,982



ANÁLISIS DE RESULTADOS

MEC – Medición De Opacidad - Con y Sin hidrógeno



CONCLUSIONES

- Se concluye que el sistema de inyección BI-FUEL y DUAL - FUAL de hidrógeno ha incidido en la reducción de hidrocarburos en los gases de escape en los motores de encendido provocado, dando como resultado una baja emanación de partículas de combustible.
- Mediante la fundamentación teórica se pudo conocer aspectos importantes sobre la generación de hidrógeno por electrólisis del agua en oxihidrógeno, que posteriormente servirán como fuente de aplicación para la investigación, que mediante la construcción de un reactor de hidrógeno se pudo evidenciar la reducción de sustancias nocivas por la salida de escape de los vehículos de prueba.
- Al ejecutar las mediciones de opacidad mediante la normativa nacional e internacional se identificó los requisitos, parámetros, protocolos y procedimientos para las mediciones de gases de escape y opacidad en MEP y MEC respectivamente. Concluyendo que mediante las tablas y gráficas estadísticas se presencié la variación de los gases de escape en comparativa con la presencia del hidrógeno cómo mejorador de combustión en los motores MEP y MEC.



CONCLUSIONES

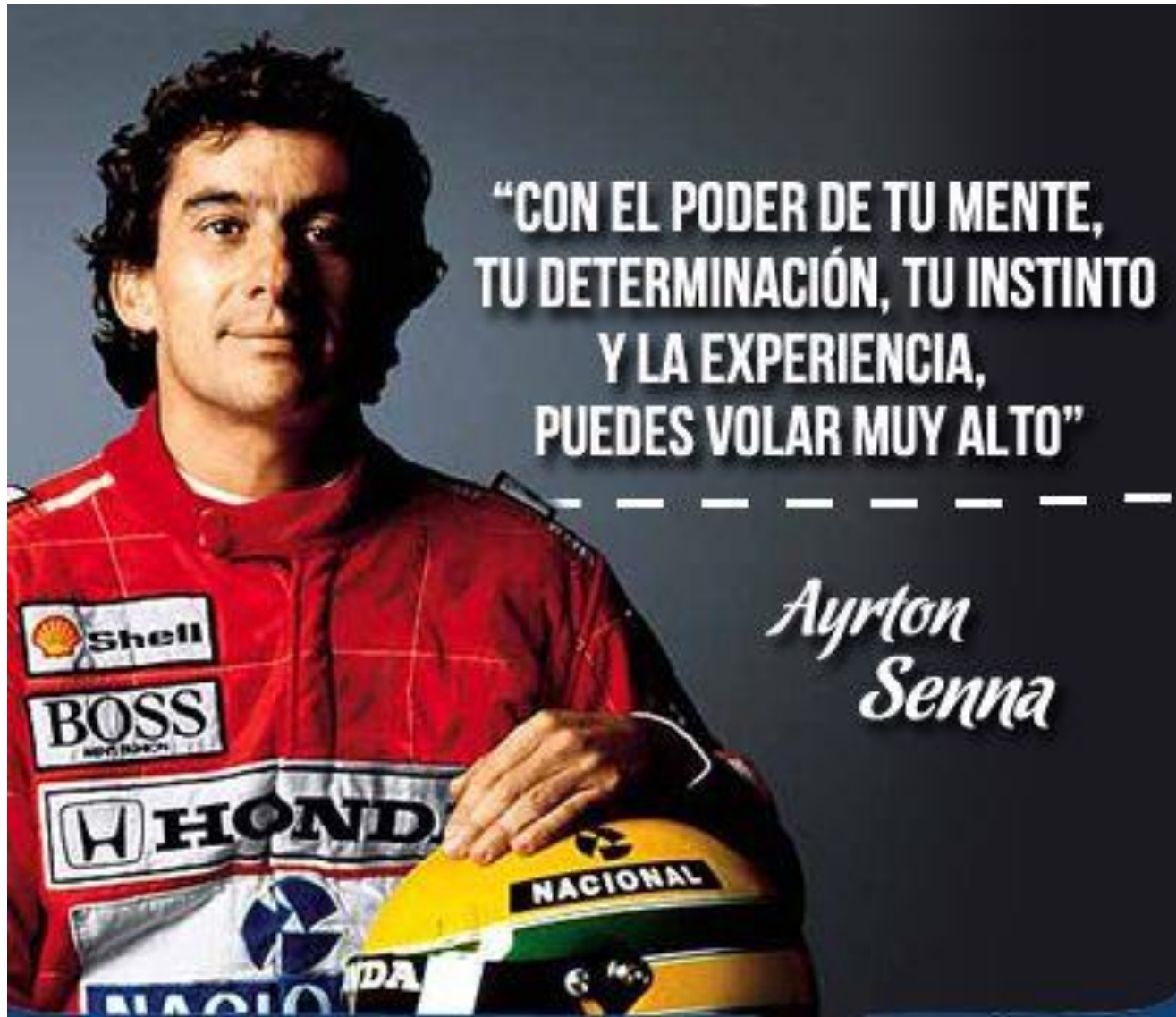
- Mediante el análisis de gases continuos se determinó que los valores obtenidos en un régimen de revolución de 650 RPM y una temperatura de 91°C en el MEP son de monóxido de carbono corregido (COcorr) de 0,04 %Vol., LAMBDA 1,008 monóxido de carbono (CO) de 0,04 %Vol., dióxido de carbono (CO₂) de 15,2 %Vol., hidrocarburos (HC) de 71 ppmVol, oxígeno (O₂) de 0,27 %Vol. y óxidos de nitrógeno (NO) de 0 ppmVol, cuando no se tiene la presencia de hidrógeno en la admisión de dicho motor sin mostrar una variación en los gases de escape tabulados idénticamente en las 5 pruebas.
- En consecuencia de la obtención de estos del análisis de gases continuos se señaló que los valores obtenidos en un régimen de revolución de 660 RPM y una temperatura de 91°C en el MEP son de monóxido de carbono corregido (COcorr) de 0,29 %Vol., LAMBDA 1,025 monóxido de carbono (CO) de 0,29 %Vol., dióxido de carbono (CO₂) de 14,6 %Vol., hidrocarburos no combustionados (HC) de 162 ppmVol, oxígeno (O₂) de 0,85 %Vol. y óxidos de nitrógeno (NO) de 26 ppmVol, cuando se tiene activado el generador de hidrógeno en la admisión del motor presentando como dato el monóxido de carbono corregido en esta prueba.



CONCLUSIONES

- En el caso del análisis de gases oficial en un régimen de motor en ralentí de 690 RPM y una temperatura de motor de 89 °C se extrajo valores de monóxido de carbono (CO) de 0,29 %Vol., dióxido de carbono (CO₂) de 14, %Vol., oxígeno (O₂) de 1,2 %Vol., hidrocarburos no combustionados (HC) de 148 ppmVol, y un LAMBDA de 1,043, con el MEP en prueba al mínimo dando un incremento de hidrocarburos no combustionados de 120 ppmVol de los 28 ppmVol obtenidos sin el hidrógeno en régimen de ralentí.
- Como resultado del análisis de gases oficial en un régimen de motor de 2520 RPM y una temperatura de motor de 89 °C se extrajo valores de monóxido de carbono (CO) de 0,61 %Vol., dióxido de carbono (CO₂) de 14,3 %Vol., oxígeno (O₂) de 0,66 %Vol., hidrocarburos no combustionados (HC) de 143 ppmVol, y un LAMBDA de 1,007, con el MEP en prueba en aceleración, con presencia de hidrógeno, dando valores inferiores de hidrocarburos no combustionados del 14.5% referente a la misma prueba sin hidrógeno.





“CON EL PODER DE TU MENTE,
TU DETERMINACIÓN, TU INSTINTO
Y LA EXPERIENCIA,
PUEDES VOLAR MUY ALTO”

*Ayrton
Senna*



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA