

Optimización del uso de Refrigerante para Disminuir la Emisión de Contaminantes en Motores de Combustión Interna.

Enrique Torres ^{a1}, Josué Romero ^a, Víctor Apolo ^a, Néstor Rivera ^a, Jhon Vacacela ^a

^a Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, Ecuador
etorresv1@est.ups.edu.ec, jromeroh@est.ups.edu.ec, vapolo@est.ups.edu.ec
nrivera@ups.edu.ec, vvacacela@est.ups.edu.ec.

Resumen. En la actualidad algunos propietarios de vehículos optan por retirar el termostato del sistema de refrigeración o también utilizar agua potable en lugar del refrigerante sin tener conocimiento de la afección que se ocasiona. En función de esto surge el interés por analizar las consecuencias contaminantes al realizar dichas acciones mediante datos experimentales obtenidos mediante un diseño experimental de superficie de respuesta. Además se establece las condiciones óptimas a las cuales se reducirá la contaminación sin que se vea afectado el desempeño del vehículo.

En base a la optimización se obtiene como líquido refrigerante con menor contaminación ambiental a una mezcla 85% refrigerante y 15% agua. Respecto al termostato se recomienda aplicar mantenimiento correctivo curativo cuando presente falla y no desposeer al sistema del mismo.

Palabras Clave: Aleatorización, hidrocarburos, optimizar, refrigerante, termostato.

1 Introducción

En la actualidad individuos y empresas han decidido colaborar para reducir sus contribuciones a la contaminación del aire, así como comprar vehículos con más eficientes, reciclar y reducir los residuos industriales que ayudan a disminuir las toxinas que hay en la atmósfera de la Tierra.

Sin embargo el tema de la contaminación atmosférica forma parte de nuestra realidad y por tal razón esta investigación va dirigida a la reducción de gases en vehículos considerando los comunes mantenimientos paliativos que algunos propietarios suelen realizar en el sistema de refrigeración de su vehículo y finalmente pasan a ser valorados como mantenimientos correctivos, sin considerar los efectos medio ambientales que dichas acciones podrían ocasionar.

Entre los gases de escape que emite los vehículos se encuentran el dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO),

¹ Por favor notar que todos los autores figuran con Nombre y Apellidos Completos

hidrocarburos no quemados (HC), compuestos de plomo, anhídrido sulfuroso y partículas sólidas.

1.1. Hidrocarburos (HC)

Se generan por una mala ignición (una bujía o un cable de bujía en mal estado), un pobre encendido (un incorrecto ajuste al carburador o fugas en el vacío que crean una mezcla pobre al momento del encendido), pérdida de compresión (por fuga o una válvula de escape quemada) o por un motor desgastado lo que causa que queme aceite (guías de válvulas, anillos o cilindros usados). [2]

1.2. Dióxido de carbono (CO₂)

Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono. El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. El dióxido de carbono CO₂ a pesar de ser un gas no tóxico, provoca el calentamiento global. [2]

1.3. Sistema de refrigeración

Los motores tienen una temperatura óptima de funcionamiento, al superarse esta temperatura se abre la válvula que permite el paso del refrigerante (termostato), debido a esto el refrigerante recorre el motor y disminuye la temperatura del mismo. El refrigerante es enfriado por medio de un radiador y un electroventilador o ventilador accionado por polea, se enciende cuando el refrigerante llega a una determinada temperatura. [4]

1.4. Funcionamiento del electroventilador

Es el más utilizado en la actualidad, consiste en un ventilador acoplado a un motor eléctrico, con lo cual el giro del ventilador es independiente al giro del motor. El tiempo de encendido del electroventilador tiene influencia sobre el tiempo de inyección, consumo de combustible y emisión de gases del vehículo. [4]

1.5. Tiempo de Inyección

La cantidad de combustible inyectada depende de la presión del sistema de combustible y del tiempo que el inyector esté abierto. La presión de combustible del sistema es controlado por el regulador de presión, y el tiempo del inyector está controlado por la ECM. El tiempo de inyección se mide en milisegundos (ms). [1]

1.6. Modificaciones en el sistema de refrigeración

En la actualidad algunos propietarios de vehículos optan por retirar el termostato del sistema de refrigeración o también utilizar agua potable como refrigerante debido a que el motor empieza a recalentarse ya sea porque el termostato ha terminado su vida útil o porque no cuenta con el nivel de refrigerante suficiente.

2. Materiales y Métodos

En la optimización y mejora continua una de las estrategias más empleadas es el diseño de experimentos de Deming [5], el mismo que se proyecta como una estrategia de obtención de mejoras continuas tanto para procesos como productos, se aplica en las siguientes etapas:

- Diseño del plan experimental
- Realización de las corridas experimentales
- Análisis de resultados
- Implementación de los resultados.

Se parte de la hipótesis de que los comunes mantenimientos paliativos que suelen realizarse en el sistema de refrigeración pueden estar contribuyendo a la contaminación medio ambiental.

2.1. Unidad Experimental y Equipos

La unidad experimental, equipos y otros materiales empleados para realizar el experimento de describe en la tabla 1.

Tabla 1: Materiales y equipos

Equipos y Materiales	Características
Analizador de gases	Marca OROTECH Modelo QGA 6000 Determina el porcentaje o ppm de emisión de gases.
Escáner	Marca CARMAN SCAN LITE Mide parámetros de funcionamiento del motor.
Sistema de control de caudal	El sistema simular a un termostato. Consta de una llave de paso con giro 90 ° Regular el caudal de refrigerante en el sistema. Área máxima 594 mm ² .
Motor Hyundai Sanata 2.0	Código G 110701 DOHC SOKET OBD II Electro Ventilador.

**Fig. 1.** Unidad experimental.

2.2. Diseño experimental

La finalidad del proyecto es analizar las consecuencias medio ambientales al retirar el termostato del sistema de refrigeración o también utilizar agua de la llave como refrigerante, además en función de estos parámetros y el régimen de giro optimizar la emisión de gases sin que el rendimiento del motor se ve afectado, para conseguir el objetivo será necesario realizar las corridas

experimentales de dos niveles con puntos intermedios de las variables que se muestran a continuación.

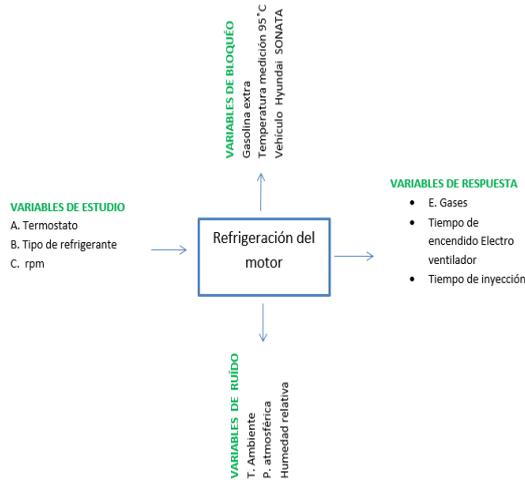


Fig. 2. Propuesta de diseño experimental.

2.2.1. Variables de estudio

Los factores de estudios a considerar tienen las siguientes especificaciones de interés para nuestra investigación:

- **Termostato:** Sistema de control de caudal.

Grados de apertura
 Diámetro interno cañería= 27.5 mm
 Área Total
 $A = 593.95 \text{ mm}^2$
 Apertura de la llave
 $\text{Área} = 594 \text{ mm}^2$
 Ángulo total 90°

Tabla 2: Niveles de apertura del sistema de control de caudal.

Niveles	Ángulo	Área (paso)
1	20°	131.99 mm^2
2	55°	362.97 mm^2
3	90°	594 mm^2

- **Tipo de refrigerante:** Se usa refrigerante Lubrystone.

PH a 25°C (7.5 - 11.0) ASTM D 1287.

Punto de ebullición a 15 psi: 122°C ASTM D1120.

Punto de congelamiento, - 2.0 °C ASTM D1177.

Nomenclatura

1. Refrigerante Lubrystone (100) %
2. Agua potable (0) %

Tabla 3: Niveles para medición del porcentaje de refrigerante en el motor.

Niveles	Porcentaje	Característica
1	100 %	Refrigerante
2	0 %	Agua
3	50 %	Mezcla

- **Régimen de giro (rpm):** se propuso un rango de trabajo que va desde el ralentí (750 r.p.m.) hasta las 1500 r.p.m.

Tabla 4: Niveles de medición para variar las revoluciones por minuto (rpm) del motor.

Niveles	Rpm
1	750 rpm
2	1125 rpm
3	1500 rpm

2.2.2. Variables de respuesta

Las variables de respuesta son salidas las del sistema cuyo valor se desea mejorar y fueron escogidas de acuerdo a investigaciones sobre el tema y normativa local como se ve en [6] y se muestran a continuación:

- Emisión de contaminantes HC y CO₂.
- Tiempo en el que permanece encendido el electro ventilador.
- Tiempo de inyección

2.2.3. Variables de ruido

Hacen referencia a las condiciones ambientales a las que tomamos las mediciones (no pueden ser controladas). Las más representativas son las siguientes:

- T. Ambiente: Entre 19 ° C y 17 ° C.
- P. atmosférica: comprendida a 685.1 hPa.
- Humedad relativa: comprendida entre 79% y 77%.

2.3. Matriz de diseño

Con ayuda de software estadístico, se ha conseguido las corridas aleatorias con tres repeticiones, necesarias para la toma de datos y la posterior aplicación de estadística inferencial que permitirá analizar el comportamiento de los datos en la presente investigación. La tabla que detalla las corridas experimentales seleccionadas por el software: Anexos: Tabla 1.

2.3.1. Protocolo de Medición

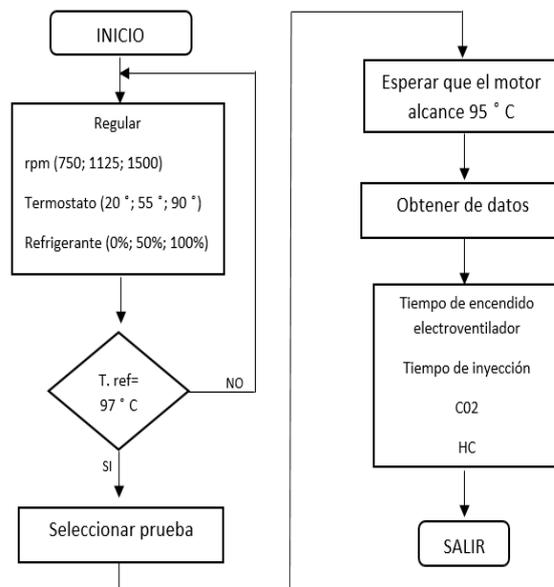


Fig. 3. Protocolo de medición.

3. Análisis de Resultados

3.1. Efectos principales y cruzados

Mediante el análisis de los diagramas de Pareto se obtiene la ponderación de los factores en las variables del experimento. En las tablas a continuación se muestran la significancia (p) de las variables de estudio como factores e interacciones.

Tabla 5: Valores de ponderación

	HC	CO2	T. Iny	T. ENC
Efectos principales				
1	Ref	Ref	Ref	Term
2	rpm	rpm	rpm	rpm
Interacciones dobles				
3	Term*Ref	Term*Ref	Term*rpm	Term*Ref
4	Ref*rpm	Ref*rpm	Ref*rpm	Term*rpm

3.1.1. Interpretación de valores de ponderación

En los valores de (p) para las variables de respuesta se aprecia que tiene un peso importante como variable única como por ejemplo la ponderación de rpm en la variable de salida HC ya que tiene un valor menor al 0.05.

En las interacciones dobles, en ciertas condiciones unas tienen mayor influencia que otras en las variables de salida, por ejemplo la ponderación entre Term*rpm y Ref*rpm que encontramos en las variables de salida del tiempo de inyección.

3.1.2. Respuesta de HC, CO2, tiempo de inyección y tiempo de encendido del ventilador

Los valores obtenidos de R2 para las variables de respuesta se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Valores de R2.

Regresión para R2	
VARIABLES DE RESPUESTA	Valor del R2 (mínimo 70%)
HC	89.54 %
CO2	52.3 %
Tiempo de inyección	52.28 %
Tiempo de encendido del ventilador	90.89 %

Los valores de CO2 y el tiempo de inyección indican que las muestras tomadas no varían lo suficiente debido a que el rango de experimentación es muy bajo y hacen falta más datos para el análisis.

3.2. Hidrocarburos no Combustionados

3.2.1. Análisis de la gráfica de residuos

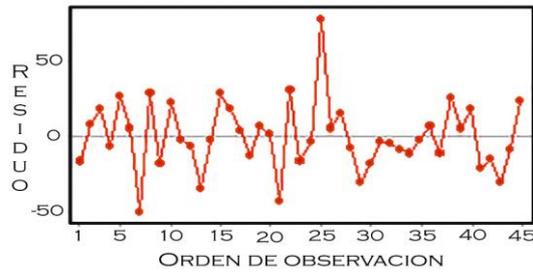


Fig. 4. Grafica de residuos para HC (ppm).

La gráfica de residuos para el HC denota distri distribución normal; la mayoría de los puntos de observación están sobre la línea de la regresión y no forman sesgos, ni bastones, solo existe un residuo grande que se encuentra separado de la línea de regresión esto debe a la intervención de factores de ruido o se realizó una mala medición. El histograma se puede observar que tenemos una distribución brevemente sesgada hacia la izquierda esto se debe al residuo grande mientras que del 35 al 75 no tenemos una distribución. La gráfica de ajuste está bien porque no existe agrupamiento de puntos, ni embudos. La gráfica de orden de igual forma muestra que las mediciones son correctas, debido a que si se tomó encuentra la aleatorización, como se puede observar los puntos se distribuyen aleatoriamente.

3.2.2. Análisis de efectos principales e interacciones dobles.

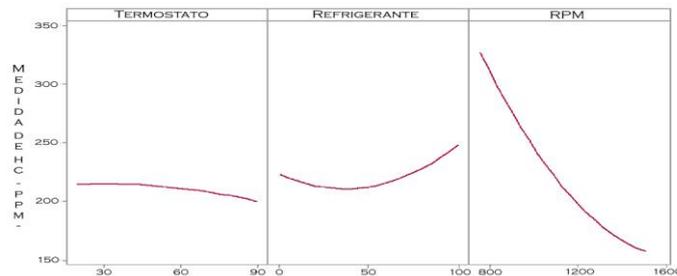


Fig. 5. Gráfica de efectos principales para HC (ppm).

- El termostato no tiene incidencia en la emisión de HC ya que como se puede ver en la figura 14, tenemos una curva con poca dependencia.
- En la segunda gráfica que representa como afecta el refrigerante en la salida, nos da una parábola por lo cual esta tendrá un mínimo, en este mínimo tendremos la menor concentración de HC que se da con una mezcla de agua y refrigerante.
- En la tercera gráfica que representa como afecta las revoluciones por minuto en la salida, es notable que es el factor más influyente.

Interacción

- Cuando se analizan las 3 variables de entrada la gráfica de interacciones no representa cortes por lo tanto puede no ser tomado en cuenta dentro del análisis figura.

3.3. Tiempo de Inyección

3.3.1. Análisis de la gráfica de residuos

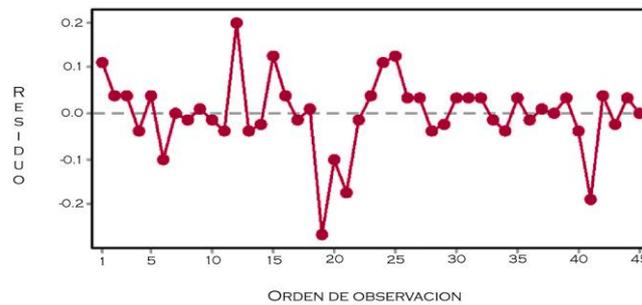


Fig. 6. Grafica de residuos para tiempo de inyección (ms).

En el tiempo de inyección la toma de datos fue realizada adecuadamente, por lo que la gráfica de la probabilidad normal nos muestra que los datos se encuentran sin sesgos, ni bastones y a la vez se puede ver como los puntos están cerca de la línea de regresión. En el análisis del Histograma se puede observar una distribución sesgada. La gráfica de ajuste está bien porque no existe agrupamiento de puntos. En la gráfica de orden los puntos se distribuyen aleatoriamente pero en la medición de 30 al 35 se puede evidenciar que se repiten, pero esta repetición es propia del evento, es así que los datos fueron tomados bien.

3.3.2. Análisis de efectos principales e interacciones dobles para el tiempo de inyección

El factor más influyente son las rpm; a mayores revoluciones se reduce el tiempo de inyección. Véase en Anexos: Figura 2.

Interacciones dobles:

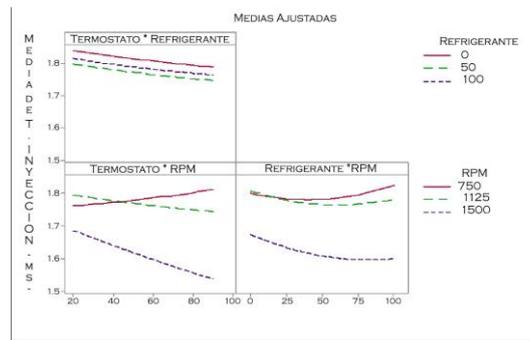


Fig. 7. Gráfica de interacciones dobles para tiempo de inyeccion.

- Donde interactúa el termostato y el refrigerante, se puede visualizar que no existe una interacción, ya que las curvas tienen paralelismo.
- En la gráfica del termostato y régimen de giro existe una interacción bastante fuerte, esto nos da a entender que esta interacción tiene bastante peso y los valores de P deben de ser mínimos en la tabla de significancia.
- En la interacción del refrigerante y las revoluciones por minuto existe una interacción al inicio de las 3 curvas, esto denota que los valores de (p) deben de ser bajos en la tabla 5.

3.4. Dióxido de Carbono

3.4.1. Análisis de efectos principales e interacciones dobles para CO2

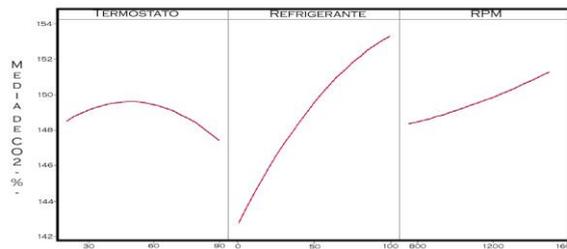


Fig. 8. Gráfica de efectos principales para CO2.

- En la primera gráfica se representa como afecta el termostato al CO₂, como se puede ver tenemos una parábola cóncava hacia abajo esto quiere decir que tendrá un máximo, en este máximo se tendrá la mayor concentración de CO₂ que es lo más conveniente para reducir las emisiones y se dará cuando el termostato se encuentre en medio abierto
- En la segunda gráfica que representa como afecta el refrigerante la CO₂, la curva nos indica que el motor trabajando con refrigerante al 100%, el CO₂ aumenta, este factor es el más influyente.
- A mayor régimen de giro mayor es la cantidad de CO₂ emitido.

Interacciones:

La única interacción que existe para el CO₂ es la de Ref*rpm, para el resto de interacciones no hay cruce de líneas y existe paralelismo. Anexos: Figura 3.

3.5. Tiempo de Encendido del Electroventilador

3.5.1. Análisis de efectos principales e interacciones dobles para encendido del ventilador.

El factor más influyente es el termostato, cuanto más cerrado este mas es el tiempo que dura encendido el ventilador Anexos: Figura 4.

Interacciones dobles:

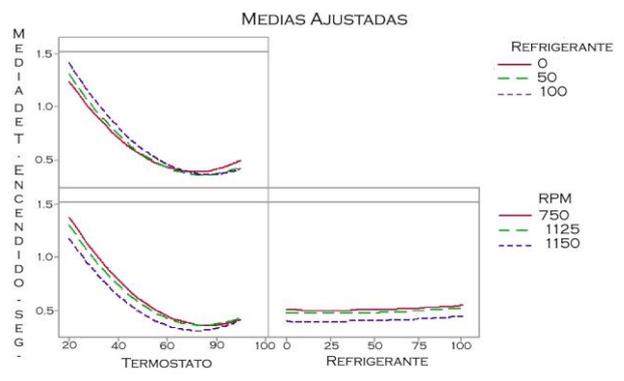


Fig. 9. Gráfica de interacciones dobles para tiempo de encendido del ventilador.

Al analizar el termostato y el refrigerante, tenemos una interacción fuerte ya que las gráficas tienen un cruce significativo y por tanto el valor de (p), es mínimo. También, entre el termostato y las rpm ahí interacción que representa influencia en el tiempo de encendido. Sin embargo en la interacción del refrigerante y las revoluciones por minuto se puede visualizar que existe una pequeña interacción, no es fuerte sin embargo existe.

3.6. Representación gráfica de variables de respuesta (superficies en 3d)

Una mejor manera de analizar como intervienen las interacciones en la salida de un factor es mediante superficies en 3D, como se muestra a continuación:

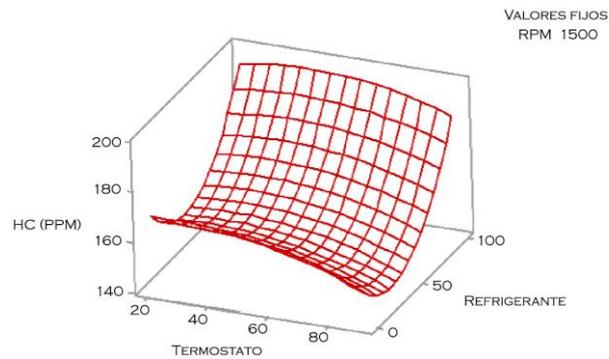


Fig. 10. Grafica de superficie para los HC vs refrigerante-termostato.

El HC depende del ángulo de apertura de la válvula de paso (termostato) y del porcentaje de refrigerante en el sistema de refrigeración.

- Cuando el motor trabaja con agua (0% de refrigerante rojo) el HC aumenta conforme se cierra la válvula de paso hasta llegar al ángulo de apertura mínimo que es de 20°.
- Al trabajar con una mezcla entre 40% a 50% de refrigerante y con el termostato totalmente abierto tendremos buenos resultados ya que se consigue bajar la emisión de HC.
- Finalmente; cuando el motor trabaja con refrigerante rojo, el HC aumenta conforme se cierra la válvula de paso hasta llegar al ángulo de apertura mínimo que Es de 20°.

Esto se da a 1500 revoluciones por minutos, las mismas que permanecen constantes para este análisis.

3.7. Contornos

La respuesta de Hidrocarburos no combustionados (HC); se muestra en la gráfica de contornos. Figura 11.

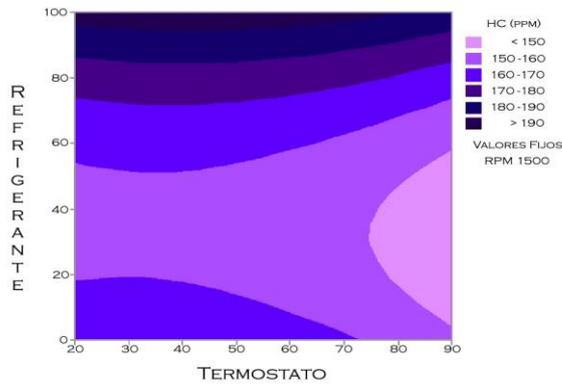


Fig. 11. Gráfica de contorno (representación de la superficie en dos dimensiones).

En donde la tonalidad de colores especifica los diferentes rangos de HC (PPM), como indicala misma figura, en donde existe mayor porcentaje del gas contaminante es cuando el ángulo de apertura de la llave de paso se encuentra entre 20° y 80°, y el motor trabaja con refrigerante rojo. Esta condición solo se da a 1500 revoluciones por minuto constante.

3.8. Superposición de contornos

Con la ayuda de la siguiente figura, podemos interpretar como afecta el HC (ppm), dependiendo del porcentaje de refrigerante y el ángulo de apertura de la llave de paso (bloqueo):

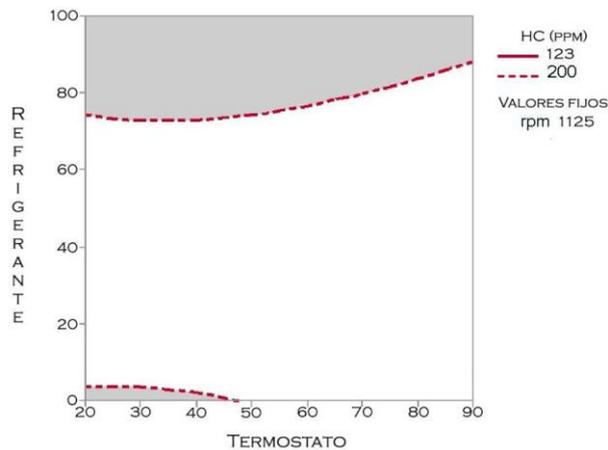


Fig. 12. Superposición de contorno un un rango específico de HC, (de 123 a 300 PPM).

La zona marcada en blanco es donde el motor puede trabajar en ese rango especificado por las escalas de termostato y de refrigerante, mientras que la zona que esta marcada en gris es donde el motor no esta apto para trabajar.

Cabe enfatizar que esta figura tiene 95% de confiabilidad.

3.9. Optimización de Respuesta

Lo más importante antes de proceder a realizar las tablas de optimización, es tener claro lo que queremos conseguir, en los siguientes puntos daremos a conocer lo que nos interesa minimizar y maximizar en el estudio:

Es de suma importancia minimizar las emisiones de gases contaminantes (en especial los hidrocarburos HC), ya que estos están destinados a destruir el medio ambiente, sin embargo para conseguir que sean mínimos es necesario optimizar al dióxido de carbono CO₂ como máximo.

El tiempo de inyección debe ser el mínimo porque mientras más pequeño, inyectara más rápido la mezcla aire-combustible, lo que implica que estará a mayor régimen de giro (r.p.m.). El valor de 1500 r.p.m. es el mayor régimen de giro en el análisis.

El tiempo que permanece encendido el electro ventilador debe ser mínimo, esto representará un menor consumo de energía eléctrica y expresará que la refrigeración del motor está siendo eficiente.

Una vez definido lo que se quiere conseguir, se ingresa al programa; la optimización a la que se obtiene las mínimas emisiones de hidrocarburos HC, sin afectar al desempeño del vehículo es decir T. inyección mínimo y tiempo de encendido del electro ventilador mínimo es:

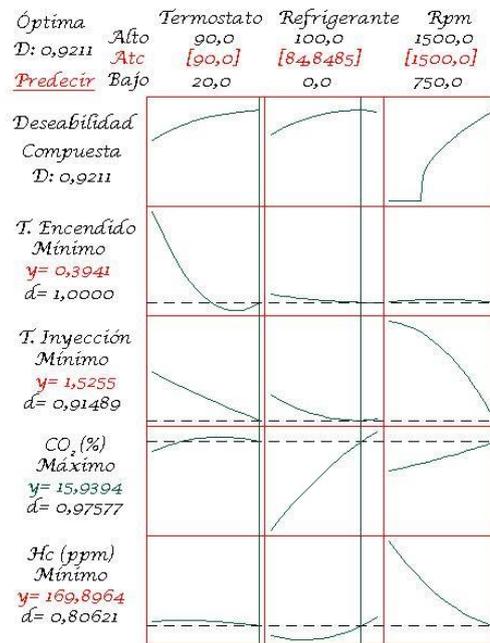


Fig. 13. Gráficas de optimización de respuesta.

3.10. Resultados y discusión

El tiempo mínimo de encendido del electro ventilador es de 0,394 segundos, el cual es pequeño y representa que el sistema de refrigeración es eficiente.

Las emisiones mínimas de hidrocarburos HC se consigue cuando el termostato está totalmente abierto lo cual es equivalente a no tener termostato, sin embargo antes de conseguir esta equivalencia si se trabajará sin termostato el rendimiento del vehículo se vería afectado debido a la baja temperatura en el motor

- El refrigerante para minimizar los HC, resulta ser una mezcla del 84.84% de refrigerante y 15.15% de agua.
- El tiempo de inyección mínimo es de 1.52 milisegundos, este valor contempla que al conseguir las mínimas emisiones de HC 169.89 ppm, el rendimiento del vehículo a 1500 rpm no se va a ver afectado.
- Finalmente las emisiones de dióxido de carbono CO₂ son de 15.43% para que las emisiones de HC sean mínimas.

4. Conclusiones

Al realizar el análisis de las gráficas de residuos se puede concluir que la mejor toma de datos se encuentra en los HC, ya que en la gráfica Residual-Orden, existe una mejor distribución aleatoria de los datos en comparación con las gráficas de las otras variables de salida.

Analizando los valores de R² de las distintas variables de respuesta se tiene que los Hidrocarburos y el tiempo de encendido del ventilador presentan mayor confiabilidad.

En el análisis de emisión de hidrocarburos se tiene que el factor más influyente para esta variable es el tipo refrigerante, mientras que para las otras variables de salida la influencia es menor.

No es conveniente retirar el termostato del sistema de refrigeración debido a que el motor se vería afectado en el rendimiento inicial hasta conseguir la temperatura óptima de funcionamiento.

Es conveniente que el termostato se abra totalmente cuando se está excediendo la temperatura óptima para disminuir el tiempo de encendido del electro ventilador y las emisiones de Hidrocarburos.

Para conseguir las mínimas emisiones de HC, es necesario que el sistema trabaje con una mezcla de 84.84% de refrigerante y 15.15% de agua.

Las emisiones mínimas de hidrocarburos 169 ppm se dan cuando los CO₂ son máximos 15.43%.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación GIIT (GRUPO DE INVESTIGACIÓN INGENIERÍA Y TRANSPORTE) de la Universidad Politécnica Salesiana.

Referencias

1. D. Meganeboy, «Aficionados a la Mecánica,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/.htm>.
2. R. d. I. V. Humberto Gutiérrez, Análisis y Diseño de Experimentos, 2da ed., Mexico. D.F: McGraw-Hill Interamericana, 2012.
3. H. Baver, Técnica de los gases de escape para motores de gasolina, Berlin: Postfach, 2003.
4. J. M. Alonso, Técnicas del automóvil, Séptima ed., Madrid: Paraninfo, 1998.
5. D. Montgomery, "Design and analysis of experiments" 8 ed, Ed. Jhon Wileys & Sons, 2012, pp 11-483.
6. INEN, Revisión Vehicular
Procedimientos, NTE INEM 2 349:2003.

Anexos

Tabla 1. Matriz de diseño

TERMOSTATO	REFRIGERANTE	RPM	HC(PPM)	CO2(%)	T. ENCENDIDO (seg)	T. INYECCIÓN (ms)
20	50	1500	142	14,9	1,12	1,8
20	50	750	338	14,5	1,32	1,8
90	100	1125	256	15,4	0,41	1,8
20	0	1125	222	13,7	1,23	1,8
20	50	750	357	14,5	1,26	1,8
55	100	1500	201	15,5	0,44	1,5
55	0	750	290	13	0,5	1,8
20	100	1125	276	15,2	1,18	1,8
90	0	1125	191	13,7	0,43	1,8
20	100	1125	270	15,2	1,15	1,8
90	50	1500	144	15	0,4	1,5
55	100	1500	190	15,4	0,46	1,8
20	0	1125	194	13,8	1,19	1,8
55	100	750	357	15,1	0,49	1,8
55	0	1500	194	13,8	0,43	1,8
90	100	1125	257	15,3	0,44	1,8
90	50	750	318	14,5	0,45	1,8
90	0	1125	196	13,7	0,45	1,8
55	50	1125	220	14,8	0,46	1,5
55	100	1500	197	15,5	0,44	1,5
55	0	1500	123	13,9	0,45	1,5
90	50	750	344	14,6	0,47	1,8
90	100	1125	222	15,3	0,41	1,8
20	50	1500	155	15	1,08	1,8
55	0	1125	243	15,4	0,47	1,8
55	50	1125	218	15	0,47	1,8
55	50	1125	229	14,9	0,48	1,8
90	50	1500	139	15,1	0,4	1,5
55	100	750	329	15	0,5	1,8
55	50	1125	196	15	0,48	1,8
55	50	1125	210	15	0,49	1,8
55	50	1125	208	14,9	0,47	1,8
20	100	1125	239	15,3	2,05	1,8
90	50	1500	136	15,1	0,43	1,5
55	50	1125	211	15	0,51	1,8
90	50	750	320	14,8	0,48	1,8
90	0	1125	197	13,7	0,46	1,8
55	0	750	365	15,2	0,5	1,8
55	50	1125	219	15	0,49	1,8
20	0	1125	246	15,5	1,29	1,8
20	50	1500	137	15,1	1,18	1,5
20	50	750	315	14,8	1,57	1,8
55	100	750	329	15	0,5	1,8
55	50	1125	205	15	0,48	1,8
55	0	750	363	15,2	0,52	1,8

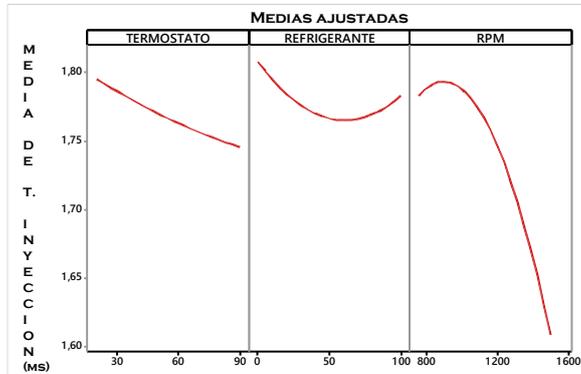


Fig. 1. Gráfica de efectos principales para tiempo de inyección.

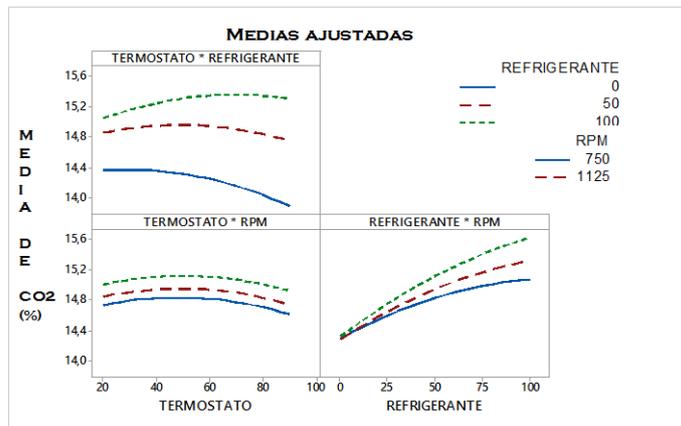


Fig. 2. Gráfica de interacciones dobles para CO₂.

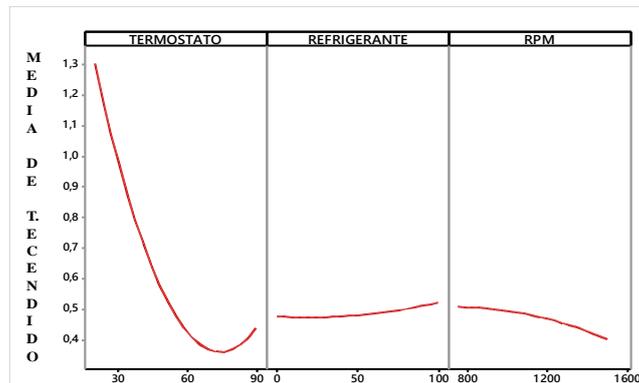


Fig. 3. Gráfica de efectos principales para tiempo de encendido del ventilador.