

# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

## **PROYECTO TÉCNICO:**

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL COMBUSTIBLE ECOPAÍS EN  
EMISIONES CONTAMINANTES Y PRESTACIONES DE UN VEHÍCULO  
CHEVROLET GRAND VITARA COMO PROTOTIPO EN LA CIUDAD  
DE CUENCA”**

## **AUTORES:**

Luis Enrique Urgilés Sánchez  
José Luis Erreyes Erreyes.

## **TUTOR:**

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

Cuenca - Ecuador

2018

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros, Luis Enrique Urgilés Sánchez, con documento de identificación N° 0105206908 , y José Luis Erreyes Erreyes, con documento de identificación N° 0106528342 , manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación denominado: “ANALISIS DE LA INFLUENCIA DEL COMBUSTIBLE ECOPAIS EN EMISIONES CONTAMINANTES Y PRESTACIONES DE UN VEHICULO CHEVROLET GRAND VITARA COMO PROTOTIPO EN LA CIUDAD DE CUENCA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2018



Luis Enrique Urgilés Sánchez

C.I. 0105206908



José Luis Erreyes Erreyes

C.I. 0106528342

## **CERTIFICACIÓN**

Yo Néstor Diego Rivera Campoverde, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación denominado: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL COMBUSTIBLE ECOPAIS EN EMISIONES CONTAMINANTES Y PRESTACIONES DE UN VEHICULO CHEVROLET GRAND VITARA COMO PROTOTIPO EN LA CIUDAD DE CUENCA”, realizado por los autores, Luis Enrique Urgilés Sánchez y José Luis Erreyes Erreyes, obteniendo el Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2018



---

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

C.I. 0103898995

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Luis Enrique Urgilés Sánchez, con documento de identificación N° 0105206908, y José Luis Erreyes Erreyes con documento de identificación N° 0106528342, autores del Trabajo de Titulación denominado: “ANALISIS DE LA INFLUENCIA DEL COMBUSTIBLE ECOPAIS EN EMISIONES CONTAMINANTES Y PRESTACIONES DE UN VEHICULO CHEVROLET GRAND VITARA COMO PROTOTIPO EN LA CIUDAD DE CUENCA”, certificamos que el total contenido del Proyecto Técnico, son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, marzo del 2018



Luis Enrique Urgilés Sánchez

C.I. 0105206908



José Luis Erreyes Erreyes

C.I. 0106528342

## AGRADECIMIENTO

*Primero quiero agradecer a Dios por permitirme llegar tan lejos.*

*Mi más sentido agradecimiento al Ing. Néstor Rivera por la paciencia y el apoyo brindado durante este proceso, ya que sin sus conocimientos impartidos oportunamente no se hubiera podido materializar este proyecto.*

*A mis padres Rosa Sánchez y Jaime Urgilés por el apoyo, el amor, la comprensión, el entusiasmo, la paciencia y la consideración brindada en todos estos años, por ser ejemplo en mi vida personal e incentivar mi vida profesional, puesto que todo lo que soy se los debo a ellos. A mi mamá por jamás desfallecer durante su ardua y bien elaborada tarea. A mi papá por ser un ejemplo en mi vida.*

*A mis hermanas: Priscila Urgilés y Gabriela Urgilés por el apoyo brindado en todos los años académicos y por ser palabras de aliento en momentos difíciles.*

*En especial quiero agradecer a mi sobrina EMILIA BARRERA por darme las fuerzas para terminar la carrera con éxito y darme las fuerzas necesarias para continuar con un sueño que empezó antes de que exista.*

*A Lorena Vallejo por el amor, el apoyo y la comprensión brindados, para poder concluir con éxito una etapa de mi vida.*

*A Andrea Pizarro por darme el apoyo necesario, ser mi confidente y un gran ejemplo de superación personal y profesional.*

*Finalmente quiero agradecer también a mis amigos: Edgar Mora, José González, Fabián Arévalo, Andrés Palacios, Sebastián Paute, Andrés Flores, Michel Trujillo, Wilson Malla por el apoyo brindado para poder culminar una etapa muy importante en mi vida personal y profesional.*

***Luis Urgilés***

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme concebido la vida y darme fuerzas para no desfallecer y seguir el camino del bien.*

*Un agradecimiento especial al Ing. Diego Rivera por confiar en nosotros y compartir sus conocimientos para llevar a cabo con éxito la realización de la tesis.*

*A mis padres Segundo Erreyes y Rasa Erreyes por darme el apoyo incondicional y el respaldo para culminar este sueño tan importante en mi vida.*

*A mi hijo Johan Erreyes por ser el motivo principal de mi motivación a seguir y terminar esta meta propuesta en mi vida.*

*A mi esposa Valeria Escaribay por haber confiado en mí, y darme el apoyo en todo momento, ya que siempre estuvo a mi lado en los momentos buenos y en los momentos malos de mi carrera universitaria.*

*A mis hermanos Olger, Rene, Rolando, Gladis, Marcia y Alex por el apoyo incondicional que me brindaron durante mi vida de estudiante.*

*A mi compañero de tesis Luis Urgilés por confiar en mí, y permitirme desarrollar este importante proyecto.*

*Finalmente quiero agradecer a mis amigos José Maldonado y Cristian Jerez que de alguna manera supieron brindarme su apoyo durante mi carrera universitaria.*

***José Erreyes***

## DEDICATORIA

*Dedico este proyecto a mis padres, hermanas y sobrina por ser un pilar, porque este también es su esfuerzo y trabajo de años y ser fundamentales en mi vida, por ser las personas que están y estarán siempre a mi lado y por no ser la familia perfecta pero sí la familia adecuada y la mejor para mí.*

*A Andrea Pizarro por estar siempre dispuesta a brindarme su apoyo incondicional.*

*A mis familiares, abuelitas, tíos, tías, primos y primas que han sido de gran aporte en mi vida, con palabras de esperanza o fracaso que a la final han servido para seguir adelante.*

*A Lorena Vallejo por apoyarme en el transcurso de este proyecto y por sus palabras de apoyo.*

*A mis amigos: Edgar Mora, José González y Fabián Arévalo por ser mis mejores amigos en las buenas y en las peores.*

***Luis Urgilés***

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto académico a Dios, a mi hijo Johan, a mis padres Segundo y Rosa, a mis hermanos, hermanas, esposa, a mis familiares y todos mis amigos quienes siempre estuvieron motivándome a seguir adelante en mi vida académica.*

*José Erreyes*



## RESUMEN

En la ciudad de Cuenca en el mes de agosto del año 2017, se implementó la gasolina denominada Ecopaís en sustitución de la anteriormente comercializada gasolina Extra; al ser una gasolina nueva en la ciudad, no se han realizado pruebas preliminares para determinar el comportamiento de este combustible en emisiones contaminantes y prestaciones de los vehículos; por lo tanto, para el desarrollo de este proyecto se ha utilizado un vehículo Chevrolet Grand Vitara, el mismo que tiene el 5.3% de presencia en el parque automotor de la ciudad de Cuenca.

Para realizar las pruebas en el vehículo es necesario el desarrollo de un diseño experimental, mediante el cual se determina el número de pruebas y la configuración necesaria para la obtención de los datos para su posterior análisis, el diseño de experimentos se desarrolló en el software MINITAB®, el diseño empleado es un Diseño de superficie de respuestas de Box Behnken. Para modificar el dosado del combustible, se sustituye el sensor de oxígeno, original del vehículo, por uno de banda ancha, el cual, mediante un ARDUINO y un programa en Matlab, se puede manipular. Para determinar las vibraciones que se generan en el motor, producto de las detonaciones, se adquiere la señal del sensor KS, por medio de una tarjeta de adquisición de datos DAQ 6212 y un programa desarrollado en LABVIEW®.

Con el diseño de experimentos desarrollado en MINITAB® se procede a la toma de datos, para lo cual se utiliza una lámpara estroboscópica para modificar el adelanto al encendido, el banco dinamométrico MAHA LPS 3000 con simulación de carga del 100% y régimen de giro de 2500rpm, el analizador de gases MAHA MGT 5 y los programas desarrollados para determinar el dosado del combustible, CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>,  $\dot{W}$ ,  $\tau$ .

Finalmente se ingresan los datos obtenidos en el diseño de experimentos desarrollado en MINITAB® para analizar los datos obtenidos y determinar el comportamiento del vehículo con el empleo de gasolina Ecopaís.

## **ABSTRACT**

On August 2017 in Cuenca “Ecopais” gasoline was implemented as a substitution of the previously commercialized gasoline named “Extra”; it is a new gasoline, in which no preliminary testing has been made to determine the behavior of this fuel as in greenhouse gas emissions and vehicle performance, therefore, for the development of this project a Chevrolet Grand Vitara has been used, which has a 5.3% population in the Cuenca’s automotive fleet.

To perform the tests on the vehicle it is necessary to develop an experimental design, in which the number of tests and the required set up is determined, in order to obtain the later analyzed data, the experimental design was developed in software (MINITAB®), the used design is a surface responses of Box Behnken. To modify the fuel dosage, the vehicle’s oxygen sensor is replaced by a wide-band sensor, which can be controlled by and ARDUINO and Matlab program. In order to determine the engine’s generated detonations, the KS sensor signal is acquired, by means of a DAQ 6212 data acquisition card and a LABVIEW ® program.

With the design of MINITAB® developed experiments the data acquisition starts, for which an ignition timing light is used in order to modify the ignition advance, the MAHA LPS 3000 dynamometer with a 100% load simulation and engine speed of 2500 rpm, the MAHA MGT 5 gas analyzer and the developed programs to determine the fuel dosing, CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>,  $\dot{W}$ ,  $\tau$ .

Finally the obtained data is entered in the developed Minitab® experimental design to analyze the obtained data and determine the vehicle’s behavior with the “Ecopais” gasoline.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS GENERAL

1.	INTRODUCCION.....	1
2.	PROBLEMA .....	2
3.	OBJETIVOS .....	2
3.1	Objetivo general.....	2
3.2	Objetivos específicos.....	2
4.	MARCO TEÓRICO.....	3
4.1	Combustible Ecopaís. ....	3
4.2	Objetivos del proyecto ECOPAIS. ....	3
4.3	Ecopaís en el sur del país.....	4
4.4	Bioetanol de Caña de Azúcar. ....	4
5.	ESTADO DEL ARTE. ....	4
6.	MARCO METODOLOGICO.....	5
6.1	Fase I: Obtención de las características del combustible Ecopaís y del vehículo Chevrolet Grand Vitara. ....	5
6.1.1	Fundamentos y Marco Teórico. ....	5
6.1.2	Marco Teórico. ....	6
6.1.3	Proyecto Ecopaís. ....	9
6.1.4	Vehículos en el Ecuador. ....	14
6.1.5	Características de la Ciudad de Cuenca.....	15
6.1.6	Parámetros de los que dependen las prestaciones de un motor. ....	16
6.2	Fase II: Planificación del proceso de toma de datos mediante la metodología de diseño experimental. ....	19
6.2.1	Introducción. ....	19
6.2.2	Diseño de Experimentos .....	20

6.2.3	Desarrollo del diseño Experimental. ....	26
6.2.4	Tratamientos .....	43
6.3	Fase III: Toma de datos.....	45
6.3.1	Medida de Potencia del Vehículo.....	45
6.3.2	Medida de Emisiones contaminantes. ....	45
6.3.3	Toma de datos.....	45
6.4	Fase IV: Análisis de los Datos Obtenidos del vehículo Chevrolet Grand Vitara con el empleo de gasolina Ecopaís. ....	51
6.4.1	ANÁLISIS ANOVA .....	51
6.4.2	ANÁLISIS DE INFERENCIA.....	52
6.4.3	ANALISIS DE EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES. ....	53
6.4.4	PRESTACIONES DEL VEHÍCULO.....	76
6.4.5	ANALISIS DE FACTORES DE VIBRACION.....	80
6.4.6	ANALISIS COMPARATIVO. ....	86
6.4.7	OPTIMIZACION. ....	99
6.4.8	ANALISIS COMPARATIVO RESPECTO DE LAS CONDICIONES INICIALES DEL VEHICULO. 104	
6.4.9	ANALISIS RESPECTO DE LA OPTIMIZACION DE LA GASOLINA. ....	108
7.	CONCLUSIONES. ....	110
8.	RECOMENDACIONES. ....	112
9.	REFERENCIAS.....	113
10.	ANEXOS A. ....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6.1 Fases de Funcionamiento del Motor Otto. Fuente: (Sevilla, s.f.) .....	6
Figura 6.2 Vehículos Chevrolet en la ciudad de Cuenca (Mirasol, 2010-2014) .....	15
Figura 6.3 Factor Lambda. Fuente: (Sevilla, s.f.).....	17
Figura 6.4 Punto de encendido en relación presión-volumen. Fuente: (mailxmail, s.f.).....	17
Figura 6.5 Etapas del Diseño de Experimentos.....	20
Figura 6.6 Factores que influyen en el Diseño de Experimentos .....	20
Figura 6.7 Vehículo de Pruebas.....	24
Figura 6.8 Banco Dinamométrico es MAHA LPS 3000 .....	25
Figura 6.9 Programa del Lazo de Control para el Factor Lambda. ....	28
Figura 6.10 Concentración de CO y HC en función de Lambda.....	29
Figura 6.11 Conexión de un sistema DAQ (National Instruments, 2009) .....	31
Figura 6.12 DAQ NI USB-6212 (National Instruments, 2009) .....	31
Figura 6.13 Configuración de entrada analógica. (National Instruments, 2009) .....	32
Figura 6.14 Diagrama de conexión entre la DAQ y el Ks.....	32
Figura 6.15 Código G para la adquisición de los datos.....	33
Figura 6.16 Señal del Ks con frecuencia de muestreo de 200KHz con tiempo de 5 segundos. ....	33
Figura 6.17 Medición del Adelanto al Encendido.....	34
Figura 6.18 Código G para obtener los datos estadísticos.....	35
Figura 6.19 Variación de la Energía según el adelanto al encendido.....	36
Figura 6.20 Variación de la potencia según el adelanto al encendido.....	37
Figura 6.21 Variación del RMS según el adelanto al encendido.....	38
Figura 6.22 Variación del factor de cresta según el adelanto al encendido.....	39
Figura 6.23 Variación del factor de cresta según el adelanto al encendido.....	40
Figura 6.24 Medición del Octanaje del combustible utilizado .....	42
Figura 6.25 Comportamiento de la concentración de gasolina Súper en Ecopaís.....	43
Figura 6.26. Adquisición de datos en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana .....	46
Figura 6.27 Flujograma para la adquisición de datos generales.....	47
Figura 6.28 Flujograma para la adquisición de los datos del KS .....	48

Figura 6.29 Flujograma para modificar el valor de lambda .....	49
Figura 6.30 Flujograma para determinar las corridas de los datos .....	50
Figura 6.31 Gráficas de residuos para la validación de los datos .....	52
Figura 6.32 Efectos principales de Hidrocarburos no Combustionados (HC) .....	54
Figura 6.33 Interacciones para los Hidrocarburos no Combustionados (HC).....	55
Figura 6.34 De contornos para las emisiones de HC respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido .....	56
Figura 6.35 Gráfica de superficie para las emisiones de HC respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido .....	57
Figura 6.36 Efectos principales del CO.....	58
Figura 6.37 Gráfica de contornos para las emisiones de CO respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido .....	59
Figura 6.38 Gráfica superficie para las emisiones de CO respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido .....	60
Figura 6.39 Gráfica de efectos principales para el CO2.....	61
Figura 6.40 Gráfica de interacciones del CO2 .....	61
Figura 6.41 Gráfica de contornos para las emisiones de CO2 respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido .....	62
Figura 6.42 Gráfica de superficie para las emisiones de CO2 respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido .....	63
Figura 6.43 Efectos principales para O2 .....	64
Figura 6.44 Interacciones del O2.....	65
Figura 6.45 Gráfica de contornos para las emisiones de O2 respecto al octanaje del combustible y el adelanto al encendido .....	66
Figura 6.46 Gráfica de contornos para las emisiones de O2 respecto al octanaje del combustible y al Lambda.....	67
Figura 6.47 Gráfica de contornos para las emisiones de O2 respecto el adelanto al encendido y el Lambda.....	68
Figura 6.48 Gráfica de superficie para las emisiones de O2 respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido .....	69

Figura 6.49 Gráfica de superficie para las emisiones de O <sub>2</sub> respecto del Octanaje del combustible y lambda.....	69
Figura 6.50 Gráfica de superficie para las emisiones de O <sub>2</sub> respecto del adelanto al encendido y lambda.....	70
Figura 6.51 Gráfica de efectos principales de los NO <sub>x</sub> .....	71
Figura 6.52 Gráfica de interacción del NO <sub>x</sub> .....	72
Figura 6.53 Gráfica de contornos para las emisiones de óxidos nitrosos respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido.....	73
Figura 6.54 Gráfica de contornos para las emisiones de NO <sub>x</sub> respecto el adelanto al encendido y el Lambda.....	74
Figura 6.55 Gráfica de superficie para las emisiones de NO <sub>x</sub> respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido.....	75
Figura 6.56 Gráfica de superficie para las emisiones de NO <sub>x</sub> respecto del adelanto al encendido y lambda.....	75
Figura 6.57 Gráfica de los efectos principales de la potencia .....	76
Figura 6.58 Gráfica de contornos para la potencia respecto al octanaje del combustible y al Lambda.....	77
Figura 6.59 Gráfica de superficie para la potencia respecto del Octanaje del combustible y lambda .....	78
Figura 6.60 Gráfica de los efectos principales de la fuerza tractora.....	79
Figura 6.61 Gráfica de contornos para la fuerza tractora respecto al octanaje del combustible y a Lambda.....	79
Figura 6.62 Gráfica de superficie para la fuerza tractora respecto del Octanaje del combustible y lambda.....	80
Figura 6.63 Gráfica de efectos principales para el factor de cresta.....	81
Figura 6.64 Gráfica de interacción para el factor de cresta.....	82
Figura 6.65 Gráfica de contornos para el factor de cresta respecto al octanaje del combustible y de lambda .....	83
Figura 6.66 Gráfica de superficie del factor de cresta respecto al octanaje del combustible (ROM) y los valores de lambda.....	84
Figura 6.67 Caracterizaciones de la señal de vibración del motor. ....	85

Figura 6.68 Valores calculados del índice normalizado.....	86
Figura 6.69 Comparación de la concentración de HC obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	87
Figura 6.70 Comparación de la concentración de HC obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (Súper-Ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	88
Figura 6.71 Comparación de la concentración de CO obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	89
Figura 6.72 Comparación de la concentración de CO obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (súper-ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	90
Figura 6.73 Comparación de la concentración de CO <sub>2</sub> obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	91
Figura 6.74 Comparación de la concentración de CO <sub>2</sub> obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (súper-ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	92
Figura 6.75 Comparación de la concentración de O <sub>2</sub> obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	93
Figura 6.76 Comparación de la concentración de O <sub>2</sub> obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (súper-ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	94
Figura 6.77 Comparación de la concentración de NO <sub>x</sub> obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	95
Figura 6.78 Comparación de la concentración de NO <sub>x</sub> obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (súper-ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido. ....	96
Figura 6.79 Comparación de la potencia obtenida con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de (súper-ecopaís), respecto del factor lambda y el adelanto al encendido.....	97
Figura 6.80 Comparación de la fuerza tractora obtenida con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de (súper-ecopaís), respecto del factor lambda y el adelanto al encendido .....	98
Figura 6.81 Comparación del factor de cresta obtenida con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de (súper-ecopaís), respecto del factor lambda y el adelanto al encendido .....	99
Figura 6.82 Comparación de potencia relativa con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas en relación del factor lambda y adelanto al encendido. ....	105
Figura 6.83 Comparación de la emisión relativa de HC con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas en relación del factor lambda y adelanto al encendido. ....	106



Figura 6.84 Comparación de la emisión relativa de CO con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas en relación del factor lambda y adelanto al encendido. ....	107
Figura 6.85 Comparación de la emisión relativa de NOx con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas en relación del factor lambda y adelanto al encendido. ....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1 Tipos de combustibles. Fuente: (Francisco Payri, 2011, pág. 40).....	8
Tabla 6.2 Datos fisicoquímicos de los biocombustibles. Fuente: (Encalada & Ñauta, 2010) .....	11
Tabla 6.3 Características del vehículo Chevrolet Grand Vitara (SUZUKI, 2000-2010). ....	15
Tabla 6.4 Características de la ciudad de Cuenca (Tiempo, 2016). ....	16
Tabla 6.5 Variables de Respuesta.....	21
Tabla 6.6 Variables de Bloqueo .....	21
Tabla 6.7 Variables de Ruido .....	22
Tabla 6.8 Variables de Estudio.....	22
Tabla 6.9 Características del vehículo de pruebas.....	23
Tabla 6.10 Rangos de Medición de los Gases en el analizador MAHA MGT5 (MAHA, MAHA, s.f.).....	25
Tabla 6.11 Límites de emisiones de CO y HC en función de la altura. Fuente: (INEN 2204, 2017).....	27
Tabla 6.12 Intervalos del Factor Lambda para emisiones de CO y HC (Rivera & Chica, 2015).....	29
Tabla 6.13 Niveles del factor Lambda.....	30
Tabla 6.14 Descripción de los pines del Ks .....	30
Tabla 6.15 Niveles del Adelanto al Encendido .....	40
Tabla 6.16 Resultados de concentración de gasolina Súper y Ecopaís. ....	42
Tabla 6.17 Niveles del Combustible.....	43
Tabla 6.18 Niveles para el Diseño Experimental .....	43
Tabla 6.19 Diseño de Box Behnken .....	44
Tabla 6.20 Extracto de los datos obtenidos. ....	51
Tabla 6.21 Valores obtenidos del P.Value. ....	53
Tabla 6.22 Configuración para obtener la menor concentración de HC .....	57
Tabla 6.23 Configuración para obtener la menor concentración de CO .....	60
Tabla 6.24 Configuración para obtener la menor concentración de CO2 .....	63
Tabla 6.25 Configuración para obtener la mayor concentración de CO2 .....	63
Tabla 6.26 Configuración para obtener la menor concentración de O2.....	70

Tabla 6.27 Configuración para obtener la menor concentración de NO <sub>x</sub> .....	76
Tabla 6.28 Configuración para obtener la mayor potencia .....	78
Tabla 6.29 Configuración para obtener la mayor fuerza tractora.....	80
Tabla 6.30 Valores de normalización de los factores.....	84
Tabla 6.31 Valores del índice normalizado .....	86
Tabla 6.32 Optimización de Respuestas.....	99
Tabla 6.33 Optimización de la gasolina súper.....	100
Tabla 6.34 Valores de las variables de respuesta deseadas .....	100
Tabla 6.35 Valores de las variables de respuesta obtenidas. ....	100
Tabla 6.36 Optimización de la gasolina ecopaís .....	101
Tabla 6.37 Valores de las variables de respuesta deseadas .....	101
Tabla 6.38 Valores de las variables de respuesta obtenidas .....	102
Tabla 6.39 Optimización de la mezcla de gasolina (Súper-Ecopaís) .....	102
Tabla 6.40 Valores de las variables de respuesta deseadas .....	103
Tabla 6.41 Valores de las variables de respuesta obtenidos.....	103
Tabla 6.42 Resumen de la optimización.....	104
Tabla 6.43 Valores del error de ajuste.....	109

## ÍNDICE DE ANEXOS

Figura A- 1 Gráfica de Residuos para el CO.....	116
Figura A- 2 Gráfica de Residuos para el Lambda de Respuesta. ....	117
Figura A- 3 Gráfica de Residuos para el O2. ....	117
Figura A- 4 Gráfica de Residuos para el NOx .....	118
Figura A- 5 Gráfica de Residuos para el CO2.....	118
Figura A- 6 Gráfica de Residuos para el HC.....	119
Figura A- 7 Gráfica de Residuos para la Temperatura del Aceite.....	119
Figura A- 8 Gráfica de Residuos para la Fuerza Tractora. ....	120
Figura A- 9 Gráfica de Residuos para la Potencia. ....	120
Figura A- 10 Gráfica de residuos para el Factor de curtosis .....	121
Figura A- 11 Gráfica de residuos para la Energía. ....	121
Figura A- 12 Gráfica de residuos para el RMS. ....	122
Figura A- 13 Gráfica de residuos para el Factor de cresta. ....	122
Figura A- 14 Gráfica de residuos para el Factor de potencia. ....	123
Figura A- 15 Gráfica de efectos principales para el CO.....	123
Figura A- 16 Gráfica de efectos principales para el Lambda de Respuesta. ....	124
Figura A- 17 Gráfica de efectos principales para el O2. ....	124
Figura A- 18 Gráfica de efectos principales para los NOx.....	125
Figura A- 19 Gráfica de efectos principales para CO2. ....	125
Figura A- 20 Gráfica de efectos principales para los HC.....	126
Figura A- 21 Gráfica de efectos principales para la Temperatura del Aceite. ....	126
Figura A- 22 Gráfica de efectos principales para la Fuerza Tractora.....	127
Figura A- 23 Gráfica de efectos principales para la Potencia. ....	127
Figura A- 24 Gráfica de efectos principales para el Factor de Curtosis.....	128
Figura A- 25 Gráfica de efectos principales para la Energía.....	128
Figura A- 26 Gráfica de efectos principales para el RMS.....	129
Figura A- 27 Gráfica de efectos principales para el Factor de Cresta. ....	129
Figura A- 28 Gráfica de efectos principales para el Factor de potencia.....	130
Figura A- 29 Gráfica de interacciones para el CO. ....	130
Figura A- 30 Gráfica de interacciones para el Lambda de Respuesta.....	131

Figura A- 31 Gráfica interacciones para el O2.....	131
Figura A- 32 Gráfica de Interacciones para los NOx. ....	132
Figura A- 33 Gráfica de interacciones para el CO2. ....	132
Figura A- 34 Gráfica de interacciones para los HC.....	133
Figura A- 35 Gráfica de interacciones para la Temperatura del Aceite. ....	133
Figura A- 36 Gráfica de interacciones para la Fuerza Tractora. ....	134
Figura A- 37 Gráfica de interacciones para la Potencia. ....	134
Figura A- 38 Gráfica de interacciones para el Factor de Curtosis.....	135
Figura A- 39 Gráfica de interacciones para la Energía. ....	135
Figura A- 40 Gráfica de interacciones para RMS. ....	136
Figura A- 41 Gráfica de interacciones para el Factor de cresta.....	136
Figura A- 42 Gráfica de interacciones para el Factor de potencia. ....	137
Figura A- 43 Gráfica de contorno de CO Vs RON, Adelanto al encendido. ....	137
Figura A- 44 Gráfica de contorno de CO Vs RON, Lambda. ....	138
Figura A- 45 Gráfica de contorno de CO Vs Adelanto al encendido, Lambda.....	138
Figura A- 46 Gráfica de contorno del Lambda de respuesta Vs RON, Adelanto al encendido.....	139
Figura A- 47 Gráfica de contorno del Lambda de respuesta Vs RON, Lambda. ....	139
Figura A- 48 Gráfica de contorno del Lambda de respuesta Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	140
Figura A- 49 Gráfica de contorno de O2 Vs RON, Adelanto al encendido. ....	140
Figura A- 50 Gráfica de contorno de O2 Vs RON, Lambda. ....	141
Figura A- 51 Gráfica de contorno de O2 Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	141
Figura A- 52 Gráfica de contorno de NOx Vs RON, Adelanto al encendido. ....	142
Figura A- 53 Gráfica de contorno de NOx Vs RON, Lambda. ....	142
Figura A- 54 Gráfica de contorno de NOx Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	143
Figura A- 55 Gráfica de contorno de CO2 Vs RON, Adelanto al encendido. ....	143
Figura A- 56 Gráfica de contorno de CO2 Vs RON, Lambda. ....	144
Figura A- 57 Gráfica de contorno de CO2 Vs Adelanto al encendido, Lambda.....	144
Figura A- 58 Gráfica de contorno de HC Vs RON, Adelanto al encendido. ....	145
Figura A- 59 Gráfica de contorno de HC Vs RON, Lambda. ....	145

Figura A- 60 Gráfica de contorno de HC Vs Adelanto al encendido, Lambda.....	146
Figura A- 61 Gráfica de contorno de la Temperatura del aceite Vs RON, Adelanto al encendido.....	146
Figura A- 62 Gráfica de contorno de la Temperatura del aceite Vs RON, Lambda. ....	147
Figura A- 63 Gráfica de contorno de la Temperatura del aceite Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	147
Figura A- 64 Gráfica de contorno de la Fuerza Tractora Vs RON, Adelanto al encendido. ....	148
Figura A- 65 Gráfica de contorno de la Fuerza Tractora Vs RON, Lambda. ....	148
Figura A- 66 Gráfica de contorno del Lambda de respuesta Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	149
Figura A- 67 Gráfica de contorno de la Potencia Vs RON, Adelanto al encendido. ....	149
Figura A- 68 Gráfica de contorno de la Potencia Vs RON, Lambda. ....	150
Figura A- 69 Gráfica de contorno de la Potencia Vs Adelanto al encendido, Lambda.....	150
Figura A- 70 Gráfica de contorno del Factor de Curtosis Vs RON, Adelanto al Encendido. ....	151
Figura A- 71 Gráfica de contorno del Factor de Curtosis Vs RON, Lambda. ....	151
Figura A- 72 Gráfica de contorno del Factor de Curtosis Vs Adelanto al Encendido, Lambda. ....	152
Figura A- 73 Gráfica de contorno de la Energía Vs RON, Adelanto al Encendido. ....	152
Figura A- 74 Gráfica de contorno de la Energía Vs RON, Lambda. ....	153
Figura A- 75 Gráfica de contorno de la Energía Vs Adelanto al Encendido, Lambda. ....	153
Figura A- 76 Gráfica de contorno del RMS Vs RON, Adelanto al Encendido.....	154
Figura A- 77 Gráfica de contorno del RMS Vs RON, Lambda. ....	154
Figura A- 78 Gráfica de contorno del RMS Vs Adelanto al Encendido, Lambda. ....	155
Figura A- 79 Gráfica de contorno del Factor de Cresta Vs RON, Adelanto al Encendido.	155
Figura A- 80 Gráfica de contorno del Factor de Cresta Vs RON, Lambda. ....	156
Figura A- 81 Gráfica de contorno del Factor de Cresta Vs Adelanto al Encendido, Lambda. ....	156
Figura A- 82 Gráfica de contorno del Factor de Potencia Vs RON, Adelanto al Encendido. ....	157

Figura A- 83 Gráfica de contorno del Factor de Potencia Vs RON, Lambda. ....	157
Figura A- 84 Gráfica de contorno del Factor de Potencia Vs Adelanto al Encendido, Lambda. ....	158
Figura A- 85 Gráfica de superficie del CO Vs RON, Adelanto al encendido.....	158
Figura A- 86 Gráfica de superficie del CO Vs RON, Lambda.....	159
Figura A- 87 Gráfica de superficie del CO Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	159
Figura A- 88 Gráfica de superficie del Lambda de respuesta Vs RON, Adelanto al encendido.....	160
Figura A- 89 Gráfica de superficie del Lambda de respuesta Vs RON, Lambda. ....	160
Figura A- 90 Gráfica de superficie del Lambda de respuesta Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	161
Figura A- 91 Gráfica de superficie del O <sub>2</sub> Vs RON, Adelanto al encendido. ....	161
Figura A- 92 Gráfica de superficie del O <sub>2</sub> Vs RON, Lambda. ....	162
Figura A- 93 Gráfica de superficie del O <sub>2</sub> Vs Adelanto al encendido, Lambda.....	162
Figura A- 94 Gráfica de superficie de los NO <sub>x</sub> Vs RON, Adelanto al encendido. ....	163
Figura A- 95 Gráfica de superficie de los NO <sub>x</sub> Vs RON, Lambda.....	163
Figura A- 96 Gráfica de superficie de los NO <sub>x</sub> Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	164
Figura A- 97 Gráfica de superficie del CO <sub>2</sub> Vs RON, Adelanto al encendido.....	164
Figura A- 98 Gráfica de superficie del CO <sub>2</sub> Vs RON, Lambda. ....	165
Figura A- 99 Gráfica de superficie del CO <sub>2</sub> Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	165
Figura A- 100 Gráfica de superficie del HC Vs RON, Adelanto al encendido.....	166
Figura A- 101 Gráfica de superficie de los HC Vs RON, Lambda. ....	166
Figura A- 102 Gráfica de superficie del HC Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	167
Figura A- 103 Gráfica de superficie de la Temperatura del aceite Vs RON, Adelanto al encendido.....	167
Figura A- 104 Gráfica de superficie de la Temperatura del aceite Vs RON, Lambda.....	168
Figura A- 105 Gráfica de superficie de la Temperatura del aceite Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	168
Figura A- 106 Gráfica de superficie de la Fuerza tractora Vs RON, Adelanto al encendido. .....	169
Figura A- 107 Gráfica de superficie de la Fuerza tractora Vs RON, Lambda. ....	169

Figura A- 108 Gráfica de superficie de la Fuerza tractorsa Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	170
Figura A- 109 Gráfica de superficie de la Potencia Vs RON, Adelanto al encendido.....	170
Figura A- 110 Gráfica de superficie de la Potencia Vs RON, Lambda.....	171
Figura A- 111 Gráfica de superficie de la Potencia Vs Adelanto al encendido, Lambda. .	171
Figura A- 112 Gráfica de superficie del Factor de Curtosis Vs RON, Adelanto al encendido. .....	172
Figura A- 113 Gráfica de superficie del Factor de Curtosis Vs RON, Lambda. ....	172
Figura A- 114 Gráfica de superficie del Factor de Curtosis Vs Lambda, Adelanto al encendido.....	173
Figura A- 115 Gráfica de superficie de la Energía Vs RON, Adelanto al encendido. ....	173
Figura A- 116 Gráfica de superficie de la Energía Vs RON, Lambda. ....	174
Figura A- 117 Gráfica de superficie de la Energía Vs Adelanto al encendido, Lambda. ..	174
Figura A- 118 Gráfica de superficie del RMS Vs RON, Adelanto al encendido.....	175
Figura A- 119 Gráfica de superficie del RMS Vs RON, Lambda.....	175
Figura A- 120 Gráfica de superficie del RMS Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	176
Figura A- 121 Gráfica de superficie del Factor de Cresta Vs RON, Adelanto al encendido. .....	176
Figura A- 122 Gráfica de superficie del Factor de Cresta Vs RON, Lambda. ....	177
Figura A- 123 Gráfica de superficie del Factor de Cresta Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	177
Figura A- 124 Gráfica de superficie del Factor de Potencia Vs RON, Adelanto al encendido.....	178
Figura A- 125 Gráfica de superficie del Factor de Potencia Vs RON, Lambda. ....	178
Figura A- 126 Gráfica de superficie del Factor de Potencia Vs Adelanto al encendido, Lambda. ....	179
Figura A- 127 Optimización de la gasolina Súper. ....	179
Figura A- 128 Optimización de la gasolina Ecopaís. ....	180
Figura A- 129 Optimización de la Mezcla se gasolina Súper y Ecopaís.....	180



## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente estudio tiene como objetivo el análisis de la gasolina Ecopaís en la ciudad de Cuenca, la cual se encuentra a 2550 metros sobre el nivel del mar, utilizando como unidad de estudio el vehículo Chevrolet Grand Vitara, siendo el SUV (Vehículo de servicio utilitario) más vendido en el Ecuador, en la ciudad de Cuenca circula el 5.3% de estos vehículos según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE).

En la actualidad en Ecuador se reemplazó la producción de gasolina extra por la gasolina Ecopaís, siendo motivo de estudio. La comercialización de gasolina Ecopaís se implementó sin socialización para todas las provincias, ya que se tomó como plan piloto en las ciudades de Quito y Guayaquil.

Mediante este estudio se busca conocer los efectos del combustible Ecopaís en emisiones contaminantes y prestaciones del vehículo de estudio, variando el adelanto al encendido, factor lambda y octanaje del combustible, con el fin de determinar la configuración óptima de los factores descritos para reducir la concentración de gases contaminantes y aumentar las prestaciones del vehículo; tomando en cuenta que la presión y la temperatura atmosférica bajo estas condiciones geográficas, son menores, afectando directamente a la densidad y composición del aire, factor influyente para la combustión de la mezcla aire-combustible.

## **2. PROBLEMA**

Considerando que no existe un estudio del comportamiento de los motores a gasolina con el empleo de combustible Ecopaís, tanto en emisiones contaminantes, como en prestaciones del vehículo a una altura de 2500msnm, surge la necesidad de realizar un estudio que brinde esta información acerca de los efectos del uso de este combustible en la ciudad de Cuenca, ya que según el reporte de calidad del aire en la ciudad, emitida por la alcaldía a través de la EMOV EP (Arizaga, 2015), establece un incremento de vehículos que han aprobado la RTV desde el año 2008 con 9.261 vehículos aprobados, hasta el año 2015 con una cantidad de 11.4408 vehículos aprobados, estas cifras evidencian un incremento en el parque automotor de la ciudad, razón por la cual existe aumento en la contaminación del aire de la ciudad, siendo responsables de este incremento, los vehículos propulsados por motores de combustión interna con el 70% del total de la contaminación del aire, teniendo en el 2015 un promedio de MP10 de  $39,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (microgramo/metro cúbico), este valor es mayor a los promedios desde el año 2011 hasta el 2014 con MP10 de  $31,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Arizaga, 2015). La ordenanza para la comercialización de combustible Ecopaís, en el sur del país entro en vigencia en agosto del presente año.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general**

Analizar mediante diseño de experimentos la influencia del combustible Ecopaís en un vehículo Chevrolet Grand Vitara como prototipo en la ciudad de Cuenca para la obtención de los efectos que tiene este combustible en emisiones contaminantes y prestaciones del vehículo.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Obtener las características del combustible Ecopaís y del vehículo mediante la metodología descriptiva para la determinación de los parámetros requeridos en este estudio.
- Planificar el proceso de toma de datos mediante la metodología de diseño experimental para la obtención de un parámetro a seguir en las mediciones.
- Realizar la toma de datos necesarios mediante experimentación para su posterior análisis.

- Analizar los datos obtenidos del vehículo con el empleo de combustible Ecopaís mediante las herramientas estadísticas para la determinación del comportamiento de las emisiones contaminantes y prestaciones del vehículo Chevrolet Grand Vitara.

#### **4. MARCO TEÓRICO**

##### **4.1 Combustible Ecopaís**

El Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC), en el marco del Cambio de la Matriz Productiva, fomenta la producción de la gasolina ECOPAÍS, un biocombustible compuesto de 5% de bioetanol (proveniente de la caña de azúcar) y un 95% de gasolina base (Saenz, 2014).

ECOPAÍS posee el mismo octanaje (87 octanos) y precio de la gasolina Extra. Este proyecto empezó, como fase piloto, el 12 de enero de 2010 en Guayaquil (Ecuador, 2014).

Para la producción de gasolina Extra con 87 octanos se requiere mezclar un 76% de nafta de alto octano (NAO), las cuales se importan, con 24% de naftas de bajo octano (NBO); mientras que para la producción de ECOPAÍS, con la misma cantidad de octanos, se requiere 62% de NAO, 33% de NBO y un 5% de bioetanol (Saenz, 2014).

Gracias al alto octanaje de bioetanol, al incorporarlo en la producción de ECOPAÍS, genera una reducción de la producción de NAO en un 14%, lo que implica menos importaciones de este derivado y un efecto positivo en la balanza comercial nacional (Ecuador, 2014).

##### **4.2 Objetivos del proyecto ECOPAÍS**

Los objetivos del Proyecto ECOPAÍS son (Ecuador, 2014):

- Sustituir la gasolina Extra por gasolina ECOPAÍS, para la utilización en el parque automotor nacional, hasta alcanzar el 10% de bioetanol (E10) en su composición.
- Ahorrar recursos económicos del Estado, destinados a la importación y subsidio de Naftas de Alto Octano, invirtiendo este capital en productores nacionales de bioetanol.
- Incorporar productores de alcohol artesanal como proveedores de materia prima de las empresas productoras de bioetanol.

- Reducir emisiones de CO<sub>2</sub> que provocan calentamiento global y cambio climático.
- Generar empleos en el campo y en la industria, para el cultivo de la caña de azúcar y el procesamiento del bioetanol, respectivamente.

### **4.3 Ecopaís en el sur del país**

La mayoría de estaciones de servicio de las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago desde el mes de agosto venden gasolina denominada Ecopaís en reemplazo de la extra (CSM, 2017).

Ecopaís es un biocombustible de 87 octanos en promedio, el galón se comercializa a 1,48 dólares, igual al valor que se comercializaba la gasolina extra (CSM, 2017).

### **4.4 Bioetanol de Caña de Azúcar**

Se obtiene bioetanol por medio de la fermentación de los azúcares, a partir del procesamiento de la caña de azúcar. Su utilización repercute positivamente en el medio ambiente ya que la caña de azúcar es un cultivo de alta energía y uno de los más eficientes en la generación de energías limpias y renovables (aproximadamente seis veces más eficiente que otros cultivos). El uso del bioetanol permite reducir el impacto en el medio ambiente producido por los combustibles fósiles, y se estima que, junto a otros biocombustibles, movilizará el 20% del transporte mundial para el año 2040 (frente al 3% actual) (Ledesma, ledesma.com, 2010).

El bioetanol es el alcohol obtenido de la caña de azúcar o del maíz, el cual se puede utilizar como combustible, solo o mezclado con la nafta. El uso de bioetanol como combustible es beneficioso para el medio ambiente, ya que proviene de fuentes renovables, como la caña de azúcar y el maíz, y colabora con la reducción de la contaminación del aire (Ledesma, ledesma.com, 2010).

## **5. ESTADO DEL ARTE**

Actualmente no existen proyectos vinculados a esta propuesta en la ciudad de Cuenca.

## **6. MARCO METODOLOGICO**

### **6.1 Fase I: Obtención de las características del combustible Ecopaís y del vehículo Chevrolet Grand Vitara**

#### **6.1.1 Fundamentos y Marco Teórico**

##### **6.1.1.1 Fundamentos**

Para que un motor de combustión interna de ciclo Otto funcione, es necesario que el combustible ingrese a la cámara de combustión en forma gaseosa, para que a su vez se pueda combinar con el oxígeno, proveniente del aire, logrando que esta mezcla, con el salto de la chispa en las bujías se combustione.

En el inicio de los motores de combustión interna se empleó la gasificación de la mezcla aire-combustible con un sistema, a base de membranas y varillas, que enviaba dicha mezcla en forma gaseosa al interior de la cámara de combustión, este elemento se conoce como carburador, el cual al poseer elementos mecánicos necesitaba mantenimiento constante para que la mezcla sea lo más homogénea posible en todo momento, al necesitar mantenimiento el carburador con el paso del tiempo va perdiendo su eficiencia, siendo esta una de las causas por las cuales con el implemento de la electrónica en la industria automotriz, fue perdiendo utilidad.

A partir de los nuevos estándares de contaminación que se han establecido a nivel mundial, se han implementado sistemas de inyección electrónica, los cuales, a más de brindar una dosificación adecuada del combustible, en el momento adecuado, reducen el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, de manera eficaz y oportuna. Estos sistemas al no tener elementos mecánicos en constante movimiento no necesitan mantenimiento, por lo que su vida útil es prolongada.

##### **6.1.1.2 Antecedentes**

Hace más de cien años se construyó el primer vehículo con un motor de combustión interna de ciclo Otto, siendo uno de los inventos más relevantes del siglo XX, cambiando por completo la forma de vida de las personas, por la facilidad de transportarse de un lugar a otro, promoviendo el progreso de los pueblos y regiones de la época.

Con la llegada del vehículo, por las grandes ventajas que proporcionaba, nunca se llegó a pensar que este invento desembocaría en problemas futuros de interés social, que la humanidad enfrenta en la actualidad, puesto que son las fuentes más importantes de contaminación del aire. Para que el motor de un vehículo funcione se requiere, en su mayoría de derivados del petróleo, por lo que se han implementado, a nivel mundial, normas y leyes que regulan las emisiones contaminantes; provocando en los fabricantes de motores y vehículos que cada vez realicen productos más eficientes con el fin de reducir la mayor cantidad de emisiones contaminantes y aprovechar al máximo las prestaciones del vehículo.

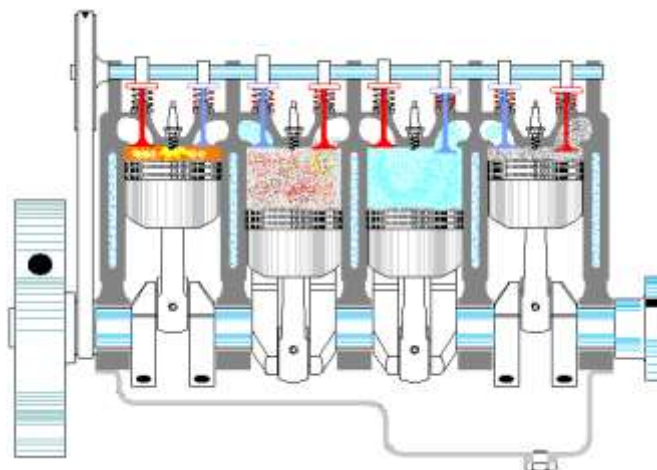


Figura 6.1 Fases de Funcionamiento del Motor Otto. Fuente: (Sevilla, s.f.)

### 6.1.2 Marco Teórico

Los motores de combustión interna alternativos tienen un gran campo de aplicación, por las ventajas que ofrecen, como:

#### 6.1.2.1 Rendimiento

El rendimiento de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) puede tener valores desiguales, puesto que depende del tipo del motor, condiciones de operación y el tipo de combustible. El rendimiento de un MCIA puede llegar al 55% dependiendo de la energía que pueda aportar el combustible, este rendimiento a simple vista puede parecer bajo, en comparación con otro tipo de motores, pero considerando las condiciones termodinámicas de funcionamiento del mismo, no lo es tanto (Francisco Payri, 2011, pág. 25).

### **6.1.2.2 Potencia**

Los MCIA pueden ser contruidos para brindar altas potencias, dependiendo de las necesidades y prestaciones que se le va a dar, teniendo un amplio campo de aplicación (Francisco Payri, 2011, pág. 25).

### **6.1.2.3 Combustibles**

Los MCIA están diseñados para trabajar con combustibles de alta calidad, pero en la realidad, dependiendo de la región donde se encuentre, esta calidad puede variar, los MCIA pueden adaptarse a trabajar con combustibles de baja calidad en forma líquida o gaseosa, la ventaja más grande de los combustibles para este tipo de motores es el poder calorífico que pueden brindar con referencia a su volumen.

### **6.1.2.4 Tipos de Combustible**

Los combustibles que se utilizan en MCIA pueden tener diferentes componentes y fases (líquido o gaseoso), los que en su mayoría son derivados del petróleo.

Los combustibles han ido cambiando constantemente, acoplándose a las nuevas tecnologías utilizadas en la industria, normativas de emisiones contaminantes, mejoras en el proceso de refinación; con el fin de obtener mejores y mayores prestaciones como: alto poder calorífico, facilitar el arranque del motor en condiciones adversas, reducir las emisiones contaminantes, mejor funcionamiento (Francisco Payri, 2011, pág. 40).

Tabla 6.1 Tipos de combustibles. Fuente: (Francisco Payri, 2011, pág. 40)

Combustible	Tipo de Motor		Fase del Combustible		Origen del Combustible	
	MEP	MEC	Líquido	Gas	Fósil	Otros
Gasolina	o		o		o	
Etanol	o		o			o
Metanol	o		o		o	o
MTBE (metil terciario butil éter)	o		o			o
ETBE (etil terciario butil éter)	o		o		o	o
Gas Natural	o		o	o	o	
Gas licuado del Petróleo	o		o		o	
Hidrogeno	o		o	o	o	o
Diésel		o	o		o	
Bio Diésel		o	o			o
GTL (gas to liquid)		o	o		o	
CTL (coal to liquid)		o	o		o	
BTL (biomass to liquid)		o	o			o
DME (bio dimetil éter)		o	o		o	o
Biogás (BG)	o		o	o		o

#### 6.1.2.5 Motor Otto

El primer motor de combustión interna alternativo fue realizado por el técnico alemán Nikolaus August Otto en 1.876, quien para su funcionamiento utilizó gas de alumbrado, logrando obtener un rendimiento del 15 % (Francisco Payri, 2011, pág. 15).

El motor de combustión interna transforma la energía térmica, obtenida de un combustible, en energía mecánica, la que posteriormente servirá para impulsar el vehículo.

Los motores alternativos de combustión interna, tienen mayor rendimiento a una temperatura ambiente de 17°C y a nivel del mar, puesto que bajo las características geográficas, las zonas que se encuentran próximas a nivel del mar tienen mayor cantidad de oxígeno, el cual favorece a que exista una mejor combustión; por lo tanto la potencia del motor disminuye cuando las condiciones geográficas, la temperatura ambiente y la humedad, no son las ideales. (Rivera & Chica, 2015).



Para que exista una buena combustión dentro de la cámara de combustión, es necesario que la mezcla aire combustible mantenga una relación de 14,7 partes de aire para inflamar 1 parte de gasolina, llamado relación estequiométrica; si hay mayor cantidad de aire la velocidad de combustión se hace lenta y se denomina "mezcla pobre", produciendo un calentamiento del motor y pérdida de potencia; por el contrario si existe mayor cantidad de gasolina la velocidad de combustión aumenta y se denomina "mezcla rica", al no haber la cantidad necesaria de aire, la mezcla no se combustiona por completo (Manuel, Técnicas del Automovil Motores, 2000, pág. 245).

### **6.1.3 Proyecto Ecopaís**

#### **6.1.3.1 Antecedentes**

El Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC), de acuerdo con el Decreto Ejecutivo No. 1831 publicado en el Registro Oficial No. 641 del 24 de julio de 2009, posee todas las competencias de coordinación en cuanto a la producción, distribución y comercialización de biocombustibles en el Ecuador. Este proyecto de producción de la gasolina ECOPÍS tienen la finalidad de reducir el consumo de nafta de alto octano en preparación de las gasolinas y su remplazo con etanol de producción nacional, para reducir las emisiones de los gases contaminantes. Es por eso que se convierte en una de las opciones más valederas para contribuir al cambio de la Matriz Productiva. El siguiente proyecto ECOPAIS tiene como objetivos los siguientes aspectos (Vanegas, s.f.):

- Sustituir la gasolina Extra por gasolina ECOPAÍS, para la utilización en el parque automotor nacional, hasta alcanzar el 10% de bioetanol (E10) en su composición.
- Ahorrar recursos económicos del Estado, destinados a la importación y subsidio de Naftas de Alto Octano, invirtiendo este capital en productores nacionales de bioetanol.
- Incorporar productores de alcohol artesanal como proveedores de materia prima de las empresas productoras de bioetanol.
- Reducir emisiones de CO<sub>2</sub> que provocan calentamiento global y cambio climático.
- Generar empleos en el campo y en la industria, para el cultivo de la caña de azúcar y procesamiento del bioetanol, respectivamente.

### 6.1.3.2 Impactos del proyecto ECOPAÍS

Este proyecto tiene beneficios de tipo económico, social y ambiental, al generar ahorro en salida de divisas y en subsidios, además fomenta empleos en el área agrícola e industrial y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera (Vanegas, s.f.).

- Despacho de 1,057 MM Gal de ECOPAÍS en las 1,062 gasolineras de Ecuador
- Compra de 53 MM Gal de bioetanol a la industria alcoholera nacional
- Compra de 6 MM L de alcohol artesanal proveniente de asociaciones artesanales
- Ahorro de 286 MM USD en salida de divisas al sustituir importaciones de NAO
- Balanza Comercial Positiva de 178 MM USD
- Ahorro de 2.2 MM USD en subsidios a la gasolina Extra
- Reducción de 476 mil TM de emisiones de CO<sub>2</sub>, equivalente a que el parque automotor de Portoviejo (3er lugar nacional) deje de circular 1 año

### 6.1.3.3 Definición de Bioetanol

El bioetanol es alcohol obtenido de la caña de azúcar o del maíz, que luego de un proceso de deshidratación se puede utilizar como combustible, solo o mezclado con nafta. El uso de bioetanol como combustible es beneficioso para el medio ambiente, ya que proviene de fuentes renovables como la caña de azúcar y el maíz, y colabora con la reducción de la contaminación del aire (Ledesma, ledesma, s.f.).

### 6.1.3.4 Tipos de biocombustibles

**Gasohol:** Se le conoce como una mezcla de un hidrocarburo más un alcohol que puede ser etanol o metanol con una proporción hasta el 25%. Para poder nombrar esta mezcla de etanol y gasolina se E10; es decir que tiene un 10% de etanol y 90% de gasolina, este número se modifica de acuerdo al porcentaje de alcohol usado para la mezcla (Encalada & Ñauta, 2010).

**Metanol:** Este biocombustible es el menos usado debido a las características propias del alcohol que es la toxicidad, cuando se realiza mezclas con gasolinas hasta un porcentaje de aproximadamente un 2% se tiene un aumento significativo en la presión de vapor (Encalada & Ñauta, 2010).

**Etanol:** Es un alcohol de origen vegetal, otra forma de obtener este biocombustible es mediante la hidratación del etileno usando ácido sulfúrico como un acelerador químico. En comparación con la gasolina el etanol tiene un 31% menos energía, pero permite disminuir la dependencia del petróleo (Encalada & Ñauta, 2010).

El etanol que se utiliza para producir la gasolina ECOPAÍS presenta características como ser un alcohol desnaturalizado o grado carburante por lo que hace que este no sea usado como bebida alcohólica, existen otros componentes que la dan esta característica toxica al alcohol como el metanol, isopropanol y benceno (Encalada & Ñauta, 2010).

**Butanol:** Este se utiliza como un aditivo para la mezcla del metanol, este alcohol no es de producción nacional por este motivo esta mezcla no es muy común. Una de las características principales es que ayuda a conservar la presión de vapor dentro de la norma establecida para la comercialización (Encalada & Ñauta, 2010). En la tabla 6.2 se presenta los datos fisicoquímicos de los biocombustibles.

Tabla 6.2 Datos fisicoquímicos de los biocombustibles. Fuente: (Encalada & Ñauta, 2010)

PROPIEDAD	UNIDAD	METANOL	ETANOL	BUTANOL
Octanaje	(RON)	120	109	96
Densidad Energética	(MJ/L)	16	19.6	29.2
Mezcla Aire Combustible	--	6.4	9	11.1
Presión de Vapor	(kPA)	13.02	5.95	0.67
Temperatura de ebullición	(°C)	34.8	79	117.7
Densidad	(Kg/L)	0.792	0.789	0.802

#### 6.1.3.5 Definición de la gasolina

La gasolina es un líquido volátil e inflamable que está formado por hidrocarburos que tienen en sus moléculas entre 4 y 10 carbonos, se obtiene a partir del fraccionamiento del petróleo con un intervalo de ebullición de 50°C a 200 °C, es utilizada en motores de combustión interna de encendido por chispa eléctrica; cuya combustión en presencia de aire permite el funcionamiento de dichos motores ya sean estos a carburador o inyección.

#### 6.1.3.6 Propiedades fisicoquímicas de la gasolina

**Poder antidetonante:** Esta propiedad se encuentra directamente relacionada con la temperatura de inflamación de cada uno de sus componentes, esto también no permite conocer la capacidad antidetonante de las gasolinas propiedad que influye directamente en el desempeño de los motores de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil.

Para la determinación de esta propiedad se usa hidrocarburos como es el iso-octano (poco detonante) que tiene un índice de octano de 100 y al n-heptano (muy detonante) un índice de octano de 0. Se tiene los siguientes parámetros de medición (Encalada & Ñauta, 2010):

**Numero de octano experimental (RON):** Este valor es cuantificado a una velocidad de 600 revoluciones por minuto (rpm) y aun temperatura de entrada de aire de 51.7 °C.

**Numero de octano del motor (MON):** Este valor es medido con el motor estático es decir como si estuviera en la carretera con pocas aceleraciones, pero a velocidades mayores que en la ciudad. Para determinar el MON se utiliza el mismo motor que determina el RON pero con una diferencia es que se utiliza una mezcla precalentada con un motor que este mas revolucionado. Por lo general este valor se encuentra 10 puntos por debajo del valor del RON.

**Presión de vapor:** Este valor no permite conocer la estabilidad de los compuestos tomando en cuenta su volatilidad, además no permite analizar si un combustible se evapora o no en cantidades notorias cuando su temperatura se eleva a 37.8 °C. Si un combustible tiene cantidades significativas de componentes volátiles este tendrá una pérdida del producto y un peligro latente ya que se crea una atmosfera.

**Aromáticos, benceno y olefinas:** Estos componentes nos permiten conocer la calidad de la gasolina, hay 5 tipos de componentes que pueden estar presente como: parafinas normales o ramificadas, ciclo pentano, ciclo hexano, benceno y sus derivados (Encalada & Ñauta, 2010):

#### 6.1.3.7 Características de la gasolina

La gasolina debe poseer características importantes para generar la combustión como:

- Volatilidad

- Numero de octanos
- Contenido de azufre
- Presión de vapor Reid
- Densidad

#### **6.1.3.8 Clasificación de la gasolina según su octanaje**

- Gasolina ECOPAÍS de 87 octanos
- Gasolina Súper de 92 octanos

#### **6.1.3.9 Gasolina ECOPAÍS**

Este combustible se compone del 95% de combustible fósil y 5% de etanol (alcohol de caña de azúcar) (Ministerio de Hidrocarburos, 2017). Con la producción de este combustible se reduce la producción de nafta alto de octanaje (NAO) en un 14% gracias al bioetanol ya que este contiene una alta cantidad de octanaje. Esta gasolina, teóricamente, posee el mismo octanaje (87 octanos) y precio que contenía la gasolina extra (Saragosín Lozada, 2016).

#### **6.1.3.10 Beneficios de utilizar la gasolina ECOPAÍS**

- Cumple con la misma norma de calidad que la Extra
- No daña el motor
- No exige ajustes o cambios al motor
- Tiene el mismo precio que la Extra
- Su producción está cubierta al 100% por la producción nacional de etanol
- Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente
- Ahorro nacional
- Generador de empleo

#### **6.1.3.11 Gasolina Súper**

La gasolina Súper se utiliza en vehículos que tienen motores con relación de compresión elevada, los hidrocarburos, especialmente isoparafínicos y aromáticos presentes en este tipo

de gasolina tienen alto grado de resistencia a elevadas presiones y temperaturas sin llegar al rompimiento de las moléculas.

Hoy en día las petroleras han optado utilizar proporciones mucho mayores de ciertos hidrocarburos como: aromáticos, isoparafinas y compuestos oxigenados, reemplazando a la utilización del plomo; de esta manera los vehículos utilicen combustible sin plomo. (Encalada & Ñauta, 2010)

#### **6.1.4 Vehículos en el Ecuador**

Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) en el año 2014 se han vendido 120.060 vehículos en el Ecuador, donde la marca predominante en ventas es Chevrolet con 53.574 vehículos vendidos, correspondiente al 44.62% de vehículos comercializados, de estas cantidades en la Ciudad de Cuenca se comercializaron 2.842 vehículos, correspondiente al 5.3% (AEADE, 2014).

##### **6.1.4.1 Parque Automotor en la Ciudad de Cuenca**

Según el reporte de calidad de aire en la ciudad de Cuenca emitido por la EMOV EP, para el año 2014 se ha matriculado 84.176 vehículos, para el año 2015 se han matriculado 114.408 vehículos, dando un incremento de 30.232 vehículos, y para el año 2016 se han matriculado 94.918, dando un decrecimiento de 19.490 vehículos en comparación con el año anterior pero un incremento de 10.742 vehículos en comparación al año 2014; siendo este número de vehículos los que han aprobado la revisión técnica vehicular. Estas cantidades corresponden a vehículos nuevos, usados, de servicio público y privado (EMOV).

##### **6.1.4.2 Vehículos Chevrolet Grand Vitara en Cuenca**

De los datos proporcionados por la AEADE se obtienen que los vehículos más vendidos son: Chevrolet Sail 1.4L con el 19% y el vehículo Chevrolet Grand Vitara 2.0L con el 17 %, teniendo más relevancia el vehículo Chevrolet Grand Vitara porque desde el año 2010 al 2014 se han comercializado 2.140 unidades de este modelo y el vehículo Chevrolet Sail 1.4L se han comercializado 1.539 unidades (AEADE, 2014).

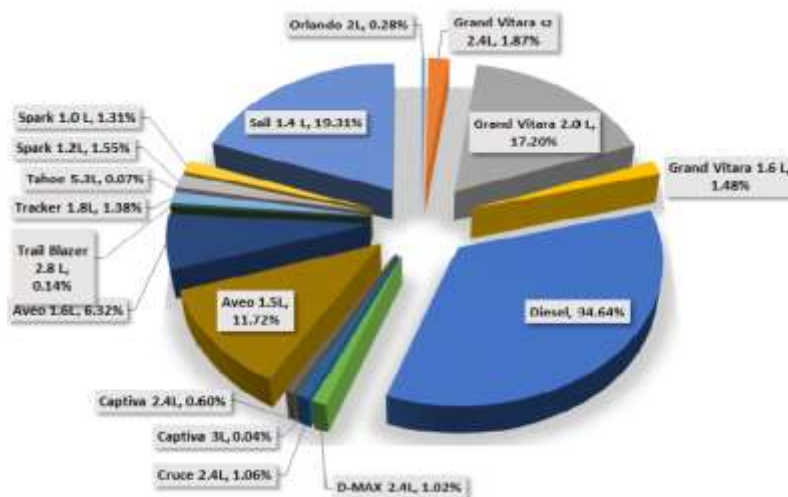


Figura 6.2 Vehículos Chevrolet en la ciudad de Cuenca (Mirasol, 2010-2014)

#### 6.1.4.3 Características del Vehículo Chevrolet Grand Vitara

El vehículo Chevrolet Grand Vitara 2.0 cuenta con las características descritas en la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Características del vehículo Chevrolet Grand Vitara (SUZUKI, 2000-2010).

<b>Marca</b>	Chevrolet	<b>Cilindrada (cc)</b>	1996
<b>Modelo</b>	Grand Vitara	<b>Numero de Cilindros</b>	4
<b>Tipo</b>	Jeep	<b>Distribución</b>	DOHC
<b>Potencia Máxima (Hp @ RPM)</b>	126@6000	<b>Válvulas Por Cilindro</b>	4
<b>Torque (Nm @ RPM)</b>	17.7 @ 4300	<b>Neumáticos</b>	235/60 R16

#### 6.1.5 Características de la Ciudad de Cuenca

La ciudad de Cuenca se encuentra situada en la cordillera de los andes del Ecuador, en el sur del país, por su ubicación geográfica tiene diferentes elevaciones en sus carreteras, también el clima varía con frecuencia, factores predominantes para el funcionamiento de un MCIA.

Tabla 6.4 Características de la ciudad de Cuenca (*Tiempo, 2016*).

<b>CARACTERISTICAS DE LA CIUDAD DE CUENCA</b>		
<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>
Altura	2543	msnm
Temperatura media anual	14	°C
Temperatura máxima media anual	20.5	°C
Temperatura mínima media anual	8.1	°C
Humedad media anual	59.3	%
Precipitación total anual	495.56	mm
Visibilidad media anual	18.7	km
Velocidad media anual del viento	6.3	km/h

### **6.1.6 Parámetros de los que dependen las prestaciones de un motor**

En el motor de un vehículo existen parámetros que se pueden manipular para mejorar las prestaciones del mismo de acuerdo a las necesidades, ubicación geográfica, etc, los cuales pueden ser sencillos o complejos de manejar para lograr el objetivo deseado.

#### **6.1.6.1 Factor Lambda**

Designado con la letra griega " $\lambda$ " determina, en peso, la relación aire/combustible en forma de mezcla que ingresa al interior de los cilindros del motor, relacionada con la proporción estequiométrica ideal de 14,7 partículas de aire por una de gasolina (Álvarez Flórez, 2005, págs. 350-355)



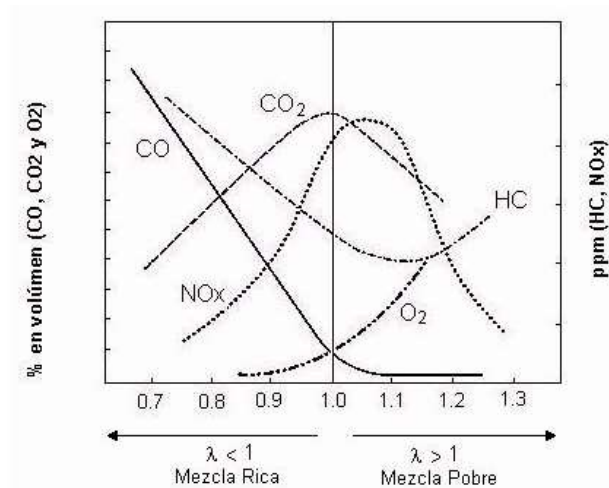


Figura 6.3 Factor Lambda. Fuente: (Sevilla, s.f.).

#### 6.1.6.2 Adelanto al encendido

Desde que salta la chispa en los electrodos de la bujía, pasa un tiempo aproximado de 2 milisegundos, por tal motivo se requiere que la que la chispa se produzca antes de tiempo, con el fin de que la presión máxima se ejerza sobre la cabeza del pistón sea poco un tanto después de pasar al punto muerto superior, si el salto de la chispa es muy anticipado, la presión máxima se dará cuando el pistón este en carrera ascendente, lo que frena el embolo en movimiento ascendente y si el salto de la chispa se produce muy tarde, la presión máxima se dará cuando el pistón este lejos del punto muerto superior y en carrera descendente, en cualquiera de los casos la potencia disminuirá en relación al consumo de combustible (Álvarez Flórez, 2005, págs. 150-153).

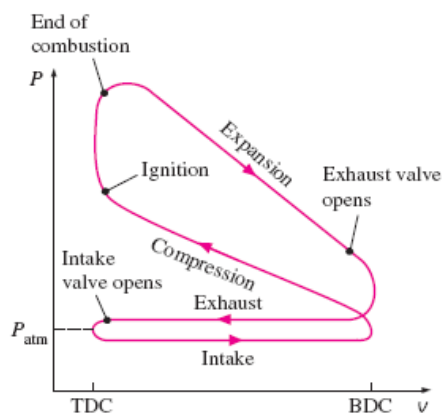


Figura 6.4 Punto de encendido en relación presión-volumen. Fuente: (mailxmail, s.f.)

#### **6.1.6.3 Combustible Utilizados en motores de ciclo Otto**

Los motores Otto generalmente, para su funcionamiento utilizan gasolina, la cual debe tener la capacidad de gasificarse fácilmente y en su totalidad para combustionar dentro del motor. La gasolina se define por el número de octano (NO), que indica la capacidad de combustionar progresiva y homogéneamente a una presión establecida sin llegar a producir detonación.

En los motores Otto se produce un frente de llama que progresa dispersando la mezcla de sustancias que existen en la cámara de combustión; las zonas que no son alcanzadas por el frente de llama tienden a autoinflamarse, provocando aumentos significativos de presión, por lo tanto mientras mayor es el número de octano, menor es el peligro a que esto ocurra (Francisco Payri, 2011, pág. 390).

#### **6.1.6.4 Régimen de Giro**

Cuando se incrementa el número de revoluciones del motor, incrementa también la temperatura del motor, lo que provoca una disminución en el tiempo de retraso del combustible, sin embargo, este efecto puede variar de acuerdo al tipo de cámara de combustión.

En las cámaras divididas la disminución del tiempo de retraso es lineal, respecto al aumento de la velocidad del motor, provocando un ángulo de retraso prácticamente constante.

En las cámaras abiertas el retraso será menor, aumentando el ángulo de retraso, en este tipo de cámaras para conservar la combustión centrada, se debe adelantar el punto de inyección al aumentar las rpm (Álvarez Flórez, 2005, págs. 150-153).

#### **6.1.6.5 Carga**

El par motor depende de la cantidad de combustible que se inflame en la cámara de combustión. Las fuerzas que se oponen a la rotación del motor crean un par resistente el cual se denomina carga del motor. La carga del motor está relacionada con la cantidad de mezcla aire combustible que ingrese al motor, dependiendo de la posición de la mariposa de gases.

La regulación de la carga y el régimen de giro del motor deben tener equilibrio entre las fuerzas que causan la rotación del cigüeñal y las que se oponen al giro. Determinado un

régimen de giro, que se desequilibra al variar la carga, el cual al modificar la posición de la mariposa de gases logra una compensación. Existiendo un número infinito de combinaciones para lograr la velocidad deseada (Manuel, Tecnicas del Automovil Motores)

## **6.2 Fase II: Planificación del proceso de toma de datos mediante la metodología de diseño experimental**

### **6.2.1 Introducción**

En las industrias durante varios años se ha innovado en la implementación de procesos como: de fabricación, de tratamiento de materiales, de manejo de desechos, etc., con el fin de mejorar y optimizar los recursos que se tienen, en el menor tiempo posible, con la mayor cantidad de beneficios posibles y con el fin de reducir los gastos contaminantes al mínimo.

Mediante la técnica estadística de diseño experimental se puede modificar un proceso para que sea lo más eficaz posible. El objetivo del diseño experimental consiste en determinar que pruebas se deben hacer y de la forma en las que se deben realizar, de manera que la información que se obtenga sea objetiva y pueda resolver las interrogantes planteadas en el experimento.

En el diseño de experimentos influyen dos polos: la teoría, que está basada en hipótesis, supuestos y modelos; por otro lado, están los hechos reales, fenómenos, los datos y la evidencia. Para iniciar con una experimentación se deben tener identificado el proceso inicial, el cual responde a una hipótesis para posteriormente comparar con los datos que se obtengan, si los resultados obtenidos no corresponden a una mejora, se opta por modificar la hipótesis original, creando un nuevo ciclo de pruebas, hasta que los datos que se obtengan representen una mejora considerable del proceso e hipótesis original.

La propuesta de este trabajo es para realizar un análisis de la influencia del combustible Ecopaís en emisiones contaminantes y prestaciones de un vehículo Chevrolet Grand Vitara como prototipo en la ciudad de Cuenca, para ello se modificara la dosificación del combustible, el adelanto al encendido y el octanaje del combustible para encontrar las mejores situaciones de funcionamiento del combustible Ecopaís en el vehículo empleado, para lo cual se desarrollara un diseño experimental para encontrar estas mejoras.

## 6.2.2 Diseño de Experimentos

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimientos de un sistema o proceso, mediante pruebas que se forman apropiadamente. Esta metodología ha tomado auge en la investigación como un conjunto sistemático, estadístico y de ingeniería, que ayudan a comprender de mejor manera situaciones complejas y permiten analizar las causas y los efectos que se puedan obtener de un determinado sistema o proceso (Gutiérrez & De la Vara, págs. 418-419).

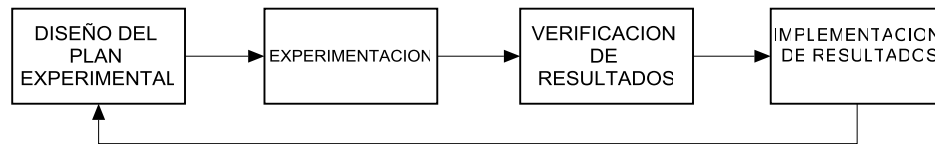


Figura 6.5 Etapas del Diseño de Experimentos.

### 6.2.2.1 Experimento

Un experimento es el punto de partida para mejorar un sistema o proceso, puesto que se pueden manipular las condiciones iniciales de funcionamiento para obtener información del resultado que generaría la modificación, total o parcial, del sistema o proceso; los resultados que arroje el experimento servirán a su vez para conocer mayor y mejor información del sistema causa de estudio (Gutiérrez & De la Vara, pág. 418).

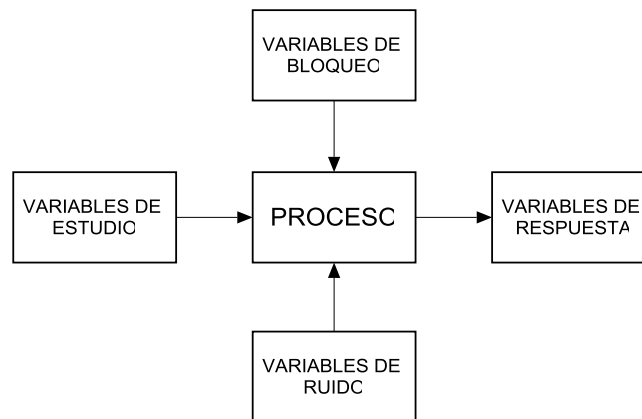


Figura 6.6 Factores que influyen en el Diseño de Experimentos

### 6.2.2.2 Variables de respuesta

Por medio de este tipo de variables se pueden observar los resultados de las pruebas de la experimentación, son variables que permiten obtener el desempeño del sistema a analizar;

por lo tanto, el motivo de la experimentación es llegar a mejorar y optimizar este tipo de variables para obtener un sistema con mejores características. Para este experimento se indican en la tabla 6.5 las variables de respuesta (Gutiérrez & De la Vara, págs. 418-419).

Tabla 6.5 Variables de Respuesta

<b>VARIABLES DE RESPUESTA</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDAD</b>
Monóxido de Carbono	CO	[%]
Hidrocarburos no combustionados	HC	[ppm]
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	[%]
Oxígeno	O <sub>2</sub>	[%]
Óxidos Nitrosos	NOX	[ppm]
Fuerza Tractora	F	[N]
Potencia	P	[W]

#### 6.2.2.3 Variables de Bloqueo

Denominados también factores controlables, son variables que caracterizan los procesos, a las cuales se les puede atribuir un nivel predeterminado, algunos de estos factores se controlan durante el proceso, son distinguibles porque se puede variar o controlar en el nivel de operación lo que los hace experimentables. Para el desarrollo de este estudio se han considerado variables que permanezcan fijas o mantengan poca variabilidad las cuales se indican en la tabla 6.6 (Gutiérrez & De la Vara, págs. 418-419).

Tabla 6.6 Variables de Bloqueo

<b>VARIABLES DE BLOQUEO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Temperatura del Refrigerante	T.ref	90	[ °C ]
Temperatura de la banda de rodadura	T.rod	30	[ °C ]
Temperatura del Lubricante	T.luv	95	[ °C ]

#### 6.2.2.4 Variables de Ruido.

Conocidas también como factores no controlables, son variables características y métodos, que como su nombre lo indica, no se pueden controlar durante la experimentación, sin embargo existen factores no controlables que mediante procesos mecánicos o tecnológicos

se pueden convertir en controlables o se pueden llegar a manejar para que su efecto no altere los resultados esperados durante el proceso de experimentación, las variables de ruido para el experimento planteado se indican en la tabla 6.7 (Gutiérrez & De la Vara, págs. 418-419).

Tabla 6.7 Variables de Ruido

<b>VARIABLES DE RUIDO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDAD</b>
Temperatura del Aire	T.aire	[ °C ]
Temperatura del Combustible	T.comb	[ °C ]
Humedad relativa del Aire	H.rel	[ % ]
Presión Atmosférica	P.atm	[ Pa ]

#### 6.2.2.5 Variables de Estudio

Son las variables que se van a investigar en la experimentación, para poder determinar que influencia tienen en las variables de respuesta; este tipo de variables pueden ser controlables o no controlables, en caso de ser no controlables se debe realizar algún tipo de proceso mediante el cual se puedan manejar estas variables durante el experimento. Un factor se puede estudiar, se debe haber probado en el experimento, por lo menos en dos niveles. Para determinar las variables o factores de estudio se han escogido las que más influyan sobre las variables de respuesta, siendo fáciles de manipular (Gutiérrez & De la Vara, págs. 418-419); estas variables se muestran en la tabla 6.8.

Tabla 6.8 Variables de Estudio

<b>VARIABLES DE ESTUDIO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDAD</b>
Lambda	$\lambda$	[ m/m ]
Adelanto al Encendido	$\alpha$	[ ° ]
Combustible	R	[ RON ]

#### 6.2.2.6 Unidad Experimental

La unidad experimental es una muestra, la cual sirve para obtener una cantidad representativa del resultado del experimento. La unidad experimental está comprendida por todos los recursos empleados para el desarrollo de la experimentación, para la creación y obtención de los datos necesarios durante el experimento.

### 6.2.2.6.1 Vehículo de Pruebas

Como ya se explicó en la sección 6.1.4.2, el vehículo marca Chevrolet modelo Grand Vitara es uno de los vehículos más vendidos a nivel del Ecuador, teniendo cifras significativas en la ciudad de Cuenca. En la tabla 6.9 se presenta las características del vehículo de pruebas.

Tabla 6.9 Características del vehículo de pruebas.

<b>CARACTERISTICAS TECNICAS Chevrolet Grand Vitara 2.0</b>			
<b>Marca</b>	Chevrolet	<b>Frenos Delanteros</b>	Discos Ventilados
<b>Modelo</b>	Grand Vitara	<b>Frenos Traseros</b>	Tambor de Ataque y Salida
<b>Tipo de Motor</b>	Gasolina	<b>Sistema de Alimentación</b>	Inyección Multipunto
<b>Motor</b>	J 20 A	<b>Capacidad del Depósito de Combustible (l)</b>	66
<b>Potencia Máxima. (CV/RPM)</b>	140/6.000	<b>Velocidad Máxima Km/h</b>	175
<b>Par Máximo. (Nm/RPM)</b>	183/4.000	<b>Aceleración (0-100 km/h)</b>	12.5
<b>Caja de Cambios</b>	Manual de 5 velocidades	<b>Peso en Orden de Marcha</b>	1.505
<b>Suspensión Delantera</b>	Tirante Mac Pherson	<b>Medidas: Largo/Ancho/Alto (mm)</b>	4.470/11.810/1.695
<b>Suspensión Trasera</b>	Multi-link	<b>Consumo: Urbano/Carretera/Mixto</b>	11,6/7,6/9,1
<b>Dirección</b>	Cremallera y piñón	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (% Vol)</b>	195
<b>Kilometraje actual</b>			95931

Este vehículo, como se ve en la tabla 6.9, cuenta con un sistema de inyección de combustible multipunto, esto quiere decir que a más de controlar el sistema de inyección controla también el sistema de encendido; por lo tanto, cuenta con un sensor en el árbol de levas (CMP).



Figura 6.7 Vehículo de Pruebas.

#### **6.2.2.6.2 Banco Dinamométrico**

Para el desarrollo de la experimentación planteada es necesario un banco dinamométrico, que permita establecer las prestaciones del vehículo, el banco empleado es MAHA LPS 3000, el cual cuenta permite preestablecer carga a diferentes rangos, el banco también puede establecer el torque y la potencia del vehículo.

El banco dinamométrico mide la potencia de los vehículos según la normativa DIN 70020, EWG 80/1269, ISO 1585, SAE J1349 O JIS D1001, la potencia está regulada en el Ecuador mediante la normativa INEN 0960 1984.

Mediante los rodillos, conectados a un freno dinamométrico, se capta la velocidad del vehículo y el par de giro, adicional el banco cuenta con una serie de sensores, los mismos que permiten medir las condiciones ambientales, tales como la presión atmosférica, humedad relativa y temperatura del aire.





Figura 6.8 Banco Dinamométrico es MAHA LPS 3000

#### 6.2.2.6.3 Analizador de Gases

Para este experimento se ha utilizado el analizador de gases MAHA MGT 5, el cual mide HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, siendo opcional la medición de NO<sub>x</sub>; los HC, CO y CO<sub>2</sub> mide mediante el principio de medición espectrometría de infrarrojo; el O<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> se mide por medio del principio de detección electroquímica; para utilizar el analizador se tiene que calentar por un tiempo estimado de 480 segundos (MAHA, MAHA, s.f.). Los rangos de medición de los gases se observan en la tabla 6.10:

Tabla 6.10 Rangos de Medición de los Gases en el analizador MAHA MGT5 (MAHA, MAHA, s.f.).

GAS	RANGO DE MEDICION	UNIDAD	EXACTITUD DE MEDICION (MAX)
CO	0-15	% Vol.	0.01
CO <sub>2</sub>	0-20	% Vol.	0.01
HC	0-9999	ppm	0.1(Hexan) 0 - 20000 ppm/(Propan)
O <sub>2</sub>	0-25	% Vol.	0.01
LAMBDA	0.5-9.99	----	0.01
NO <sub>x</sub>	0-5000	ppm	1

La conexión del analizador de gases al vehículo, se lo realiza mediante una sonda.

### **6.2.3 Desarrollo del diseño Experimental**

Para la experimentación planteada se ha seleccionado un diseño experimental de Box-Behnken, puesto que este diseño incluye puntos intermedios y se puede establecer la influencia de las variables de entrada sobre las de salida, con el fin de reducir al mínimo las emisiones contaminantes y a su vez maximizar las prestaciones del motor.

#### **6.2.3.1 Diseño experimental de Superficie de Respuestas Box-Behnken**

En todo proceso están presentes diferentes tipos de variables, las cuales deben ser identificadas con certeza para que la experimentación tenga buenos resultados.

Este diseño experimental se aplica cuando se tienen 3 o más factores, obteniendo menor número de corridas con respecto a otro tipo de diseños experimentales, pero con mayor información para el desarrollo del experimento. El diseño experimental de Box-Behnken es un diseño rotatable o casi rotatable, esto quiere decir que no contiene tratamientos de los vértices de la región experimental, con esto se logra que los tratamientos no se hagan en los extremos, para evitar inconvenientes en las corridas. Esto implica que las corridas sean menos extremas, que para el caso del diseño Factorial completo  $3^2$ , el diseño de Box Behnken garantiza que en cualquier tratamiento, al menos un factor este en la mitad de su rango de pruebas (Gutiérrez & De la Vara, págs. 417-418).

##### **6.2.3.1.1 Niveles y Tratamientos**

Los niveles son los diferentes valores que se pueden asignar a cada factor de estudio. Cuando se combinan los niveles de todos los factores estudiados, se considera tratamiento o punto de diseño.

Para poder establecer el efecto que tiene cada variable de estudio sobre las de respuesta, es necesario considerar 2 niveles, que estén lejanos entre sí, se debe considerar un punto intermedio dentro del intervalo de los 2 niveles para observar si el comportamiento de las variables de respuesta es lineal o tiene curvaturas. El objetivo de que los niveles de las variables sean lejanos entre si es para poder producir cambios en la salida del experimento, si los niveles fuesen no muy lejanos entre sí, probablemente la salida del sistema no sufra

cambios significativos, para lo cual no se podrían establecer los efectos de las variables de estudio.

#### 6.2.3.1.1.1 Lambda

La relación aire combustible, estequiométrica, influye de manera directa sobre los gases de escape y a su vez a las prestaciones del motor del vehículo como fuerza tractora y potencia, causa de estudio. Se debe tener en cuenta que los vehículos están afinados para mantener un equilibrio en sus prestaciones, es así que lo que por un lado se gana por otro se perdería, si se modifica el dosado de la mezcla puede que disminuya el consumo de combustible, pero a su vez se disminuya la fuerza tractora y la potencia del vehículo, por lo tanto, se debe tener en consideración las limitaciones del factor lambda.

Los límites máximos de CO y HC se encuentran establecidos en la norma INEN 2204, los cuales se muestran a en la tabla 6.11.

Tabla 6.11 Límites de emisiones de CO y HC en función de la altura. Fuente: (INEN 2204, 2017)

AÑO MODELO	CO [%]		HC [ppm]	
	0-1500 msnm	1500-3000 msnm	0-1500 msnm	1500-3000 msnm
2000 y Posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y Anteriores	5,5	6,5	1000	1200

#### 6.2.3.1.1.2 Adaptación de la Mezcla

Para poder modificar los valores de lambda, es necesario cambiar el funcionamiento del motor, cambiando el sensor de oxígeno que viene de fábrica en el motor, por un sensor de oxígeno de banda ancha, que envía una señal analógica en función de la mezcla aire-combustible, a través de la concentración de oxígeno en los gases de escape.

El sensor de oxígeno de banda ancha recibe una señal creada por el sensor, conectado a un módulo de wideband, genera una señal de voltaje variable, la cual es tratada para poder modificar los diferentes valores de estequiometría del motor.

La señal proveniente de la wideband es enviada a un lazo de control para poder generar una señal similar a la del sensor de oxígeno original del vehículo.

El objetivo del módulo de wideband es que, por medio del lazo de control, se envíe una señal modificada a la UCE, para que a su vez se realicen las modificaciones necesarias del tiempo de inyección y controlar la mezcla por medio del sistema de inyección retroalimentado por el sensor de banda ancha.

Con el sistema de inyección original del vehículo no se puede modificar el factor lambda, puesto que el sensor de oxígeno original solo puede determinar si la mezcla es rica o pobre y en base a ello envía la señal a la UCE para que pueda realizar las modificaciones necesarias para que el motor funcione con mezcla estequiométrica. El lazo de control contiene un generador de frecuencia donde se establece el valor objetivo de lambda.

En la figura 6.9, se muestra la configuración del programa empleado para regular el factor lambda según lo que se requiera, donde para tratar el error se utiliza un PID para generar una salida retrasada pero estable, en la salida del PID se tiene un comparador a cero que genera una salida de 0V cuando el valor de entrada es negativo y de 5V cuando el valor es positivo, el voltaje ingresa a un partidor de tensión, donde por medio de las resistencias se genera una señal que varía de 0.03V a 0.8V para establecer el valor de la señal del sensor de oxígeno (Rivera & Chica, 2015).

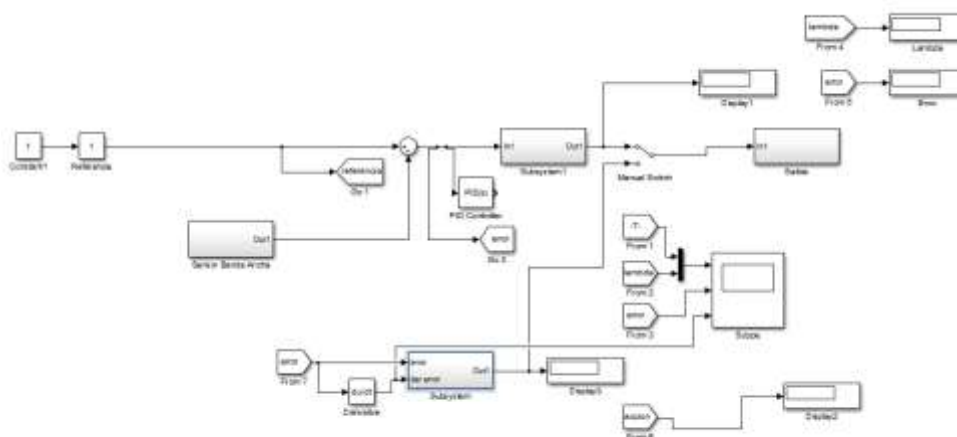


Figura 6.9 Programa del Lazo de Control para el Factor Lambda.

En la gráfica 6.10, se puede observar gráficamente el comportamiento tanto del CO, como del HC en función del factor lambda.

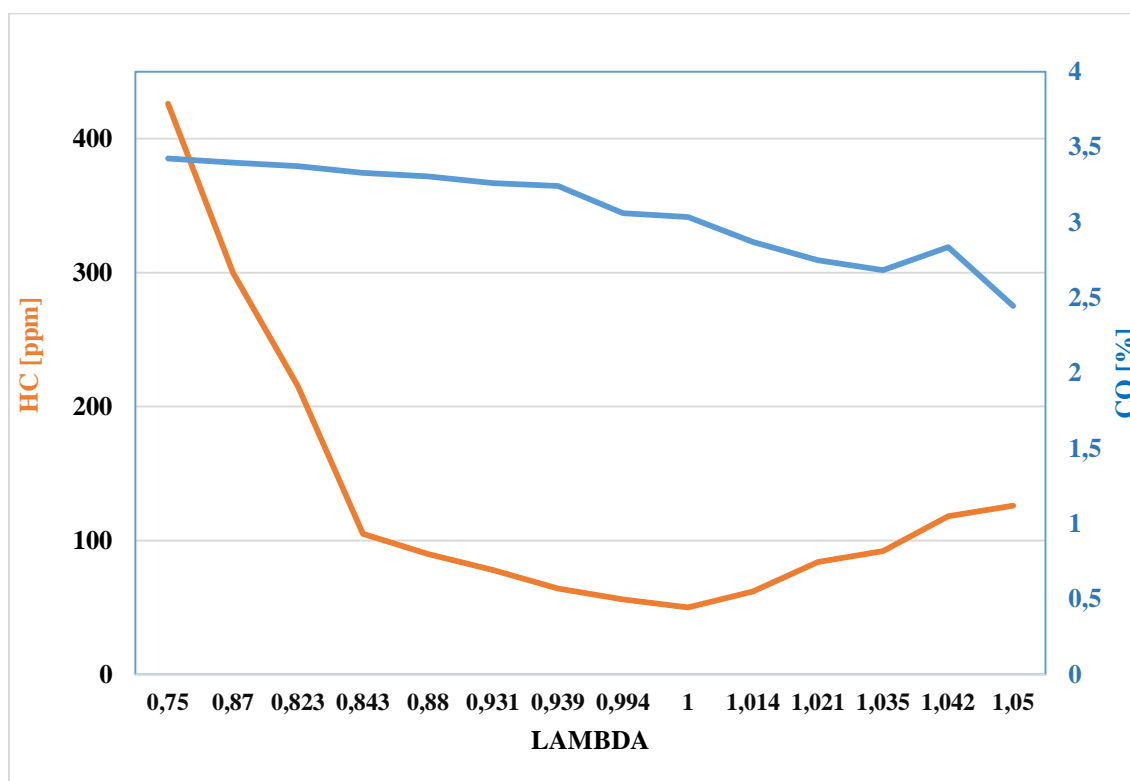


Figura 6.10 Concentración de CO y HC en función de Lambda.

Para establecer los valores del factor lambda en base a las emisiones contaminantes se establecen los valores de la tabla 6.12.

Tabla 6.12 Intervalos del Factor Lambda para emisiones de CO y HC (Rivera & Chica, 2015).

COMPUESTO	LIMITE	INTERVALO	60% LIMITE	INTERVALO
CO	1%	$0.96 < \lambda$	0.6[%]	$0.975 < \lambda$
HC	200[ppm]	$0.87 < \lambda < 1.07$	120[ppm]	$0.926 < \lambda < 1.05$

De lo establecido se puede determinar, en base a las emisiones de CO y HC, un valor mínimo de lambda de 0.95 debido a los límites de CO y HC, un valor máximo de 1.05 por las emisiones de HC, los cuales se indican en la tabla 6.13.

Tabla 6.13 Niveles del factor Lambda

<b>Factor</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Medio</b>	<b>Valor Máximo</b>
Lambda	0.95	1	1.05

### **6.2.3.2 Caracterización de la señal de vibración**

#### **6.2.3.2.1 Sensor de detonación Knock sensor (KS)**

El sensor KS tiene la capacidad de convertir el ruido que se produce en los cilindros motivo de la combustión del motor, en señal eléctrica de forma alterna AC, además la señal depende del régimen de giro del motor y mediante esto varía la frecuencia y magnitud de la señal.

El sensor KS está montado en bloque de cilindros y permite sensar el golpeteo del motor, el cual es producido por ruido y vibraciones no deseadas, que con el tiempo degradan al motor, además produce vibraciones de alta frecuencia (1-18 KHz) en el cilindro, este efecto se produce en la fase de combustión; en la tabla 6.14 se describe la función de los pines del KS. (Garzón & Urdiales, 2017)

Tabla 6.14 Descripción de los pines del Ks

<b>KS</b>	<b>PCM Pin No.</b>	<b>Descripción</b>
<b>A</b>	CO1-2 30	Señal alta
<b>B</b>	CO1-2 15	Señal baja

Para obtener la señal del KS se utiliza una tarjeta de adquisición de datos llamada DAQ.

#### **6.2.3.2.1.1 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)**

La adquisición de datos es un proceso para medir, mediante hardware y software, un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema de adquisición de datos consta de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software LABVIEW®. (National Instruments, 2013)



Figura 6.11 Conexión de un sistema DAQ (*National Instruments, 2009*)

El programa LABVIEW® o también llamado Software de instrumentación virtual, por su apariencia y operación, simula instrumentos físicos como osciloscopios y multímetros. Además, contiene un conjunto completo de herramientas para adquirir, analizar, visualizar y almacenar datos. (National Instruments, 2013)

NI USB-6212: Es un módulo (DAQ) multifunción USB de la serie M energizado por bus y optimizado, para obtener una mejor precisión y alta velocidad de muestreo. Esta tarjeta tiene 16 entradas digitales, velocidad de muestreo de 400 kW/s, dos salidas analógicas, 32 líneas de E/S digital, cuatro rangos de entrada programable, disparo digital y dos contadores temporizadores. (National Instruments, 2018)



Figura 6.12 DAQ NI USB-6212 (*National Instruments, 2009*)

Para realizar la conexión entre el sensor KS y la DAQ se utiliza la configuración diferencial, mostrada en la figura 6.13.

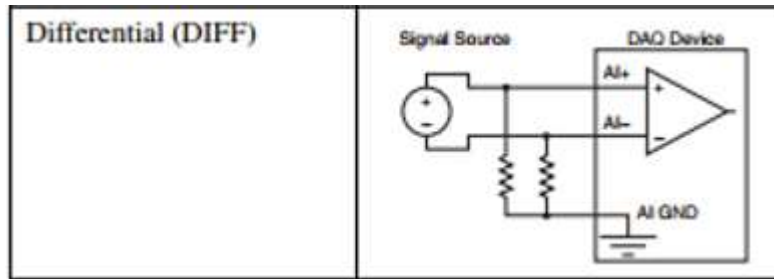


Figura 6.13 Configuración de entrada analógica. (National Instruments, 2009)

El pin A del sensor KS se conecta al puerto AI17(+), el pin B se conecta al puerto AI18(-), la tierra se conecta en el puerto 28 (GND) de la DAQ. Se utilizan dos resistencias de  $5.1\text{ K}\Omega$  para disminuir el ruido y evitar posibles alteraciones en la señal a obtener, para su posterior análisis. En la figura 6.14 se puede visualizar el diagrama de conexión.

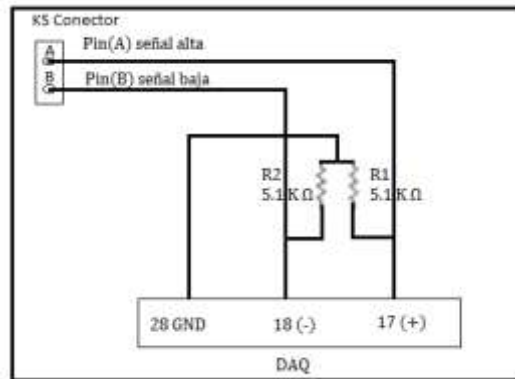


Figura 6.14 Diagrama de conexión entre la DAQ y el Ks.

Para visualizar los datos obtenidos del sensor KS, en una gráfica, se emplea el código G (Programación gráfica) que en la figura 6.15 se detalla.



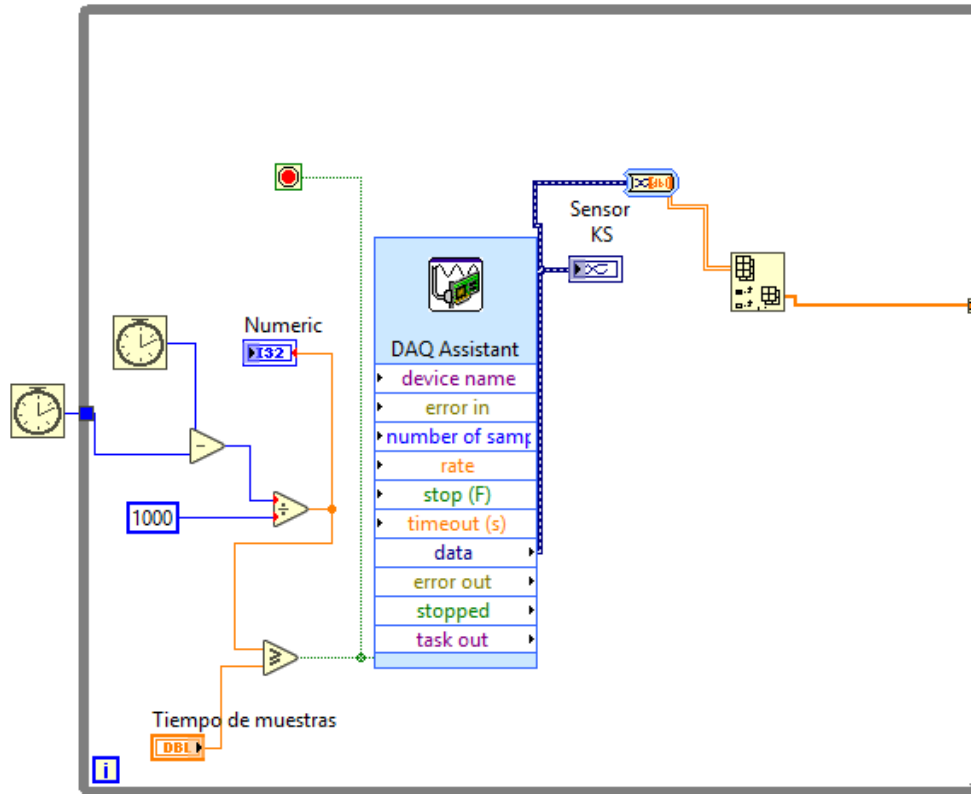


Figura 6.15 Código G para la adquisición de los datos.

Cada muestra se adquiere con duración de 5 segundos y con frecuencia de muestreo de 200 KHz. Los datos obtenidos se guardan en formato .xlsx para su posterior análisis.

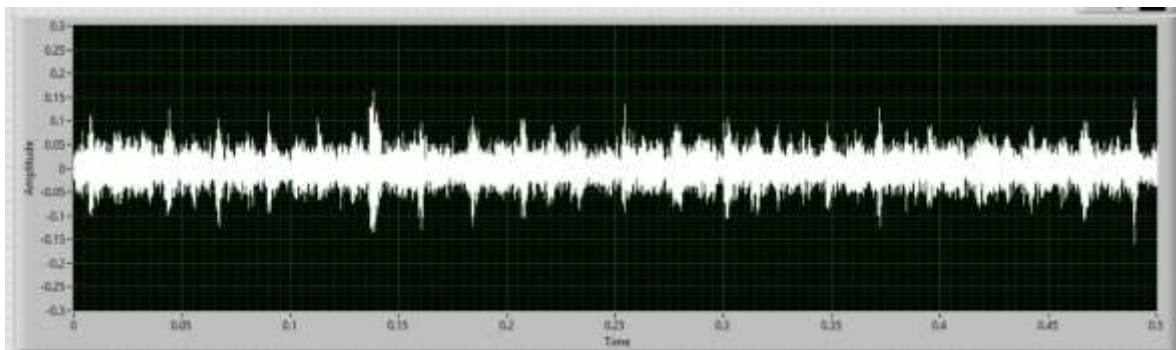


Figura 6.16 Señal del Ks con frecuencia de muestreo de 200KHz con tiempo de 5 segundos.

#### 6.2.3.2.2 Adelanto al Encendido

Al realizar cualquier tipo de modificación sobre el adelanto al encendido, ya sean valores altos o bajos, causando efectos positivos o negativos sobre el rendimiento del motor y sobre los gases contaminantes. Al tener valores elevados de adelanto al encendido puede ocasionar

autoencendido de la mezcla (aire-gasolina), provocando que los óxidos nitrosos aumenten. Si por el contrario se tienen valores bajos de adelanto al encendido se obtendrá baja potencia y mayor consumo de combustible. (Rivera & Chica, 2015)

Para establecer la modificación de los niveles de adelanto al encendido se realizaron varias pruebas experimentales y se escoge la más idónea para el caso de estudio. Para medir el adelanto al encendido del vehículo Chevrolet Grand Vitara, se adapta un cable de bujía en la conexión de la bobina de encendido al primer cilindro, quedando espacio suficiente para colocar la pinza de la lámpara estroboscópica. El adelanto al encendido no se establece mediante el scanner puesto que los valores medidos con la lámpara estroboscópica y los medidos por el scanner no coinciden, permaneciendo en el scanner en un valor constante de 14°.



Figura 6.17 Medición del Adelanto al Encendido.

#### **6.2.3.2.1 Obtención de los datos estadísticos**

De las señales obtenidas del sensor KS, se determinan datos estadísticos, como: factor de potencia, factor curtosis, factos de cresta, energía y RMS. Para obtener estos datos se programa en el mismo Software, que en la figura 6.18 se presenta.

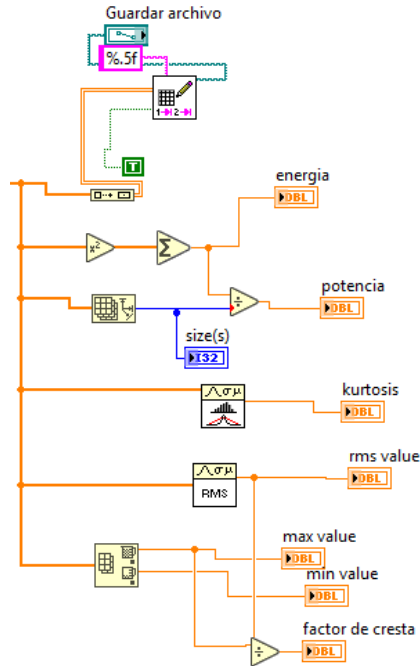


Figura 6.18 Código G para obtener los datos estadísticos

#### 6.2.3.2.1.1 Energía

Representa la energía disipada por una resistencia de 1 ohm cuando se aplica un voltaje X, equivalente a la señal de aceleración. Se define por la ecuación 6.1. (Rivera & Chica, 2015)

$$E = \sum_{i=0}^{N-1} x_i^2 \quad (6.1)$$

En la figura 6.19, se puede visualizar la energía de la señal, según el adelanto al encendido, cuando mayor es el adelanto al encendido, mayor es la energía de la señal.

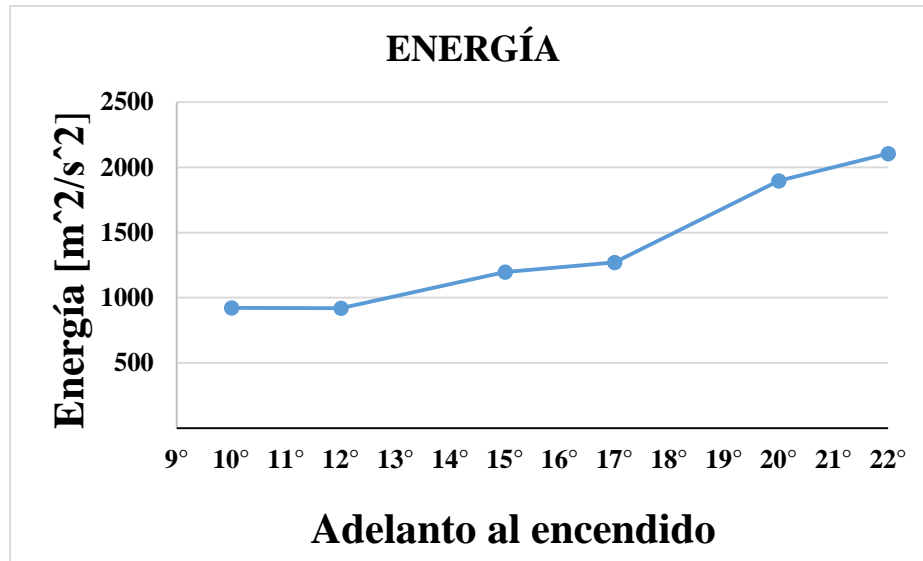


Figura 6.19 Variación de la Energía según el adelanto al encendido

#### 6.2.3.2.1.2 Potencia

Es la energía por unidad de tiempo, en un intervalo, para señales discretas, la cual se expresa en la ecuación 6.2. (Rivera & Chica, 2015)

$$P = \frac{1}{N_2 - N_1 + 1} \sum_{i=N_1}^{N_2} x_i^2 \quad (6.2)$$

Donde

$N_2 - N_1$  es el rango de medición en número de muestras.

$x_i$  es el valor muestral de aceleración.

En la figura 6.20, se observa que la potencia es directamente proporcional al adelanto al encendido (10° a 22°).

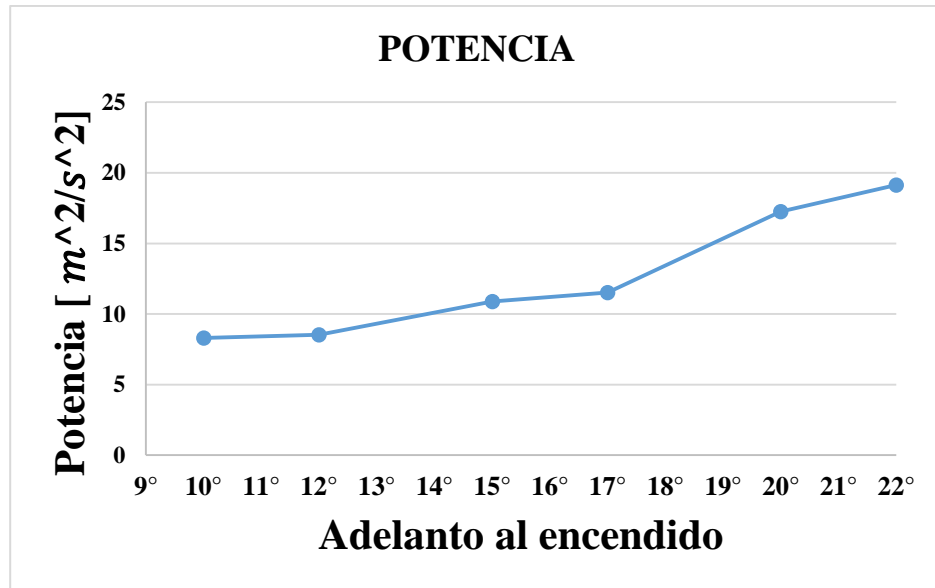


Figura 6.20 Variación de la potencia según el adelanto al encendido

#### 6.2.3.2.1.3 RMS (Root Mean Square)

Se define como la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de los valores de la señal en el intervalo de análisis; el cual se determina con la ecuación 6.3. (Rivera & Chica, 2015)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (6.3)$$

En la figura 6.21, se puede observar que para variaciones del adelanto al encendido cercano a 12 ° el RMS no presenta mayor variación, caso contrario se da cuando la variación es mayor en el adelanto, el RMS tiene incremento pronunciado.

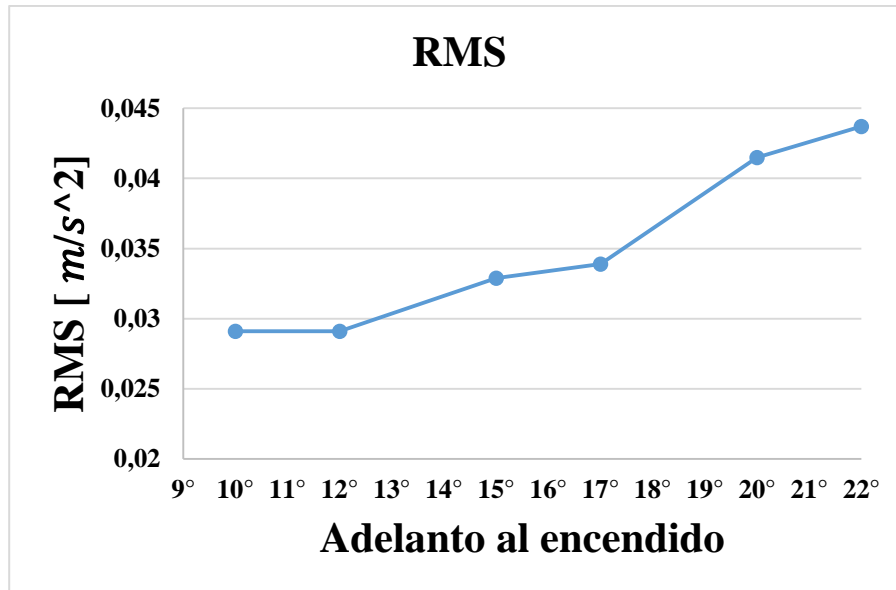


Figura 6.21 Variación del RMS según el adelanto al encendido

#### 6.2.3.2.1.4 Factor de cresta

Es una medida normalizada de la amplitud del pico máximo respecto del RMS. Este factor se incrementa con la presencia de pocos picos de gran amplitud, causados por la detonación al interior de los cilindros, el cual está definido por la ecuación 6.4. (Rivera & Chica, 2015)

$$FC = \frac{|x_{\max}|}{\text{RMS}} \quad (6.4)$$

En la figura 6.22, se puede visualizar que, al aumentar el adelanto al encendido, el factor de cresta disminuye (depende del RMS) y este incrementa al aumentar el adelanto, como se vio en la gráfica 6.21; por lo tanto, el factor de cresta es inversamente proporcional al RMS.

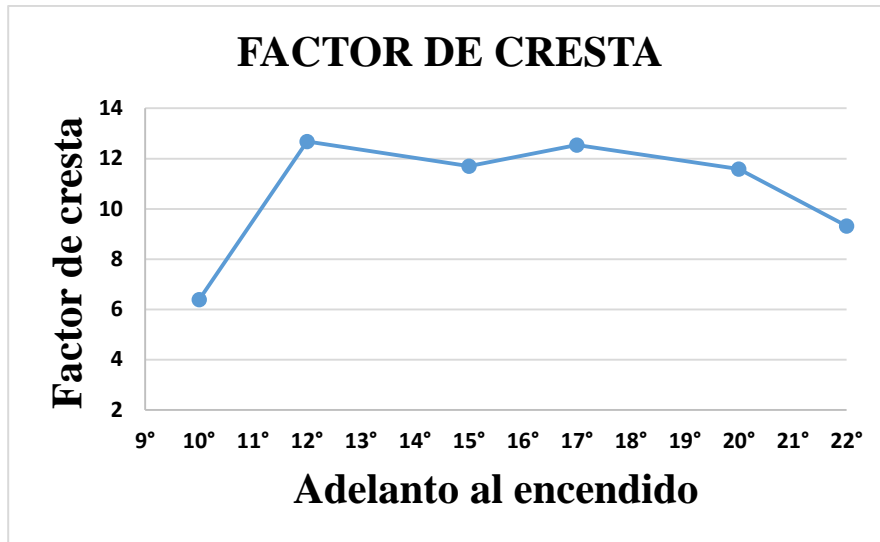


Figura 6.22 Variación del factor de cresta según el adelanto al encendido

#### 6.2.3.2.1.5 Factor de Curtosis

Es el cuarto momento normalizado de la señal. El momento es normalizado por la raíz cuadrada de la varianza, es una medida relacionada con la cantidad y la amplitud de picos presentes en la señal. Mientras más altos es el número de picos la curtosis tiende a crecer, la cual se determina por la ecuación 6.5. (Rivera & Chica, 2015)

$$\text{CURTOSIS} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6.5)$$

En la figura 6.23, se puede apreciar un crecimiento abrupto respecto al valor de adelanto de 12°, esto sucede porque al aumentar el adelanto al encendido, se produce un mayor número de picos con amplitudes elevadas.

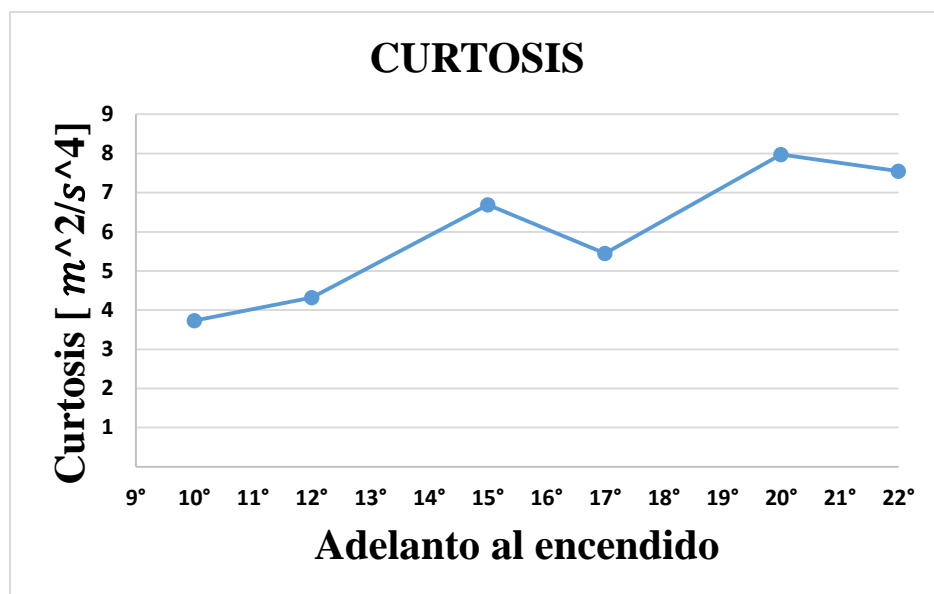


Figura 6.23 Variación del factor de cresta según el adelanto al encendido

El vehículo inicialmente está con adelanto al encendido de 12°, las pruebas se realizan con régimen de giro de 2500 rpm y con carga de 100%, para establecer el adelanto al encendido máximo, se realizan pruebas a 12°, 17° y 22°, las señales de vibración con 22° de adelanto al encendido son muy elevadas, por lo cual se estableció el adelanto al encendido de 20° para este estudio como se indica en la tabla 6.15.

Tabla 6.15 Niveles del Adelanto al Encendido

Factor	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo
Adelanto al encendido	10°	15°	20°

Estos valores se determinan mediante el análisis de la señal emitida por el sensor KS, donde se lleva el motor al nivel máximo de adelanto al encendido.

#### 6.2.3.2.2 Combustible

En la actualidad en la ciudad de Cuenca se expenden 2 tipos de combustible para MCIA, gasolina Súper con 92 octanos y Gasolina Ecopaís con 87 octanos, esta última ha sido incorporada al mercado de la ciudad, en sustitución a la Extra.



Para la determinación de los niveles de combustible se han medido experimentalmente el RON, el MON y el AKI; para esto se ha utilizado el analizador Shatox SX-300.

#### **6.2.3.2.2.1 Medida de Octanaje de la Gasolina**

Para la obtención del octanaje de la gasolina se utiliza un medidor de octanaje denominado Petroleum Quality Analyzer de Shatox SX-300, de fabricación alemana, el cual está compuesto de un microprocesador de alta precisión, este instrumento de medida se calibra automáticamente en base a los datos que han sido cargados previamente por un ordenador. El medidor de octanaje es capaz de almacenar las muestras tomadas con fecha y hora en la memoria del equipo, hasta transferir los datos a la PC (formato xlsx o txt).

El analizador SX-300 tiene un sensor que permite medir la resistividad del volumen de los productos derivados del petróleo con alta precisión y adicionalmente puede comparar el valor obtenido en 2 valores normalizados; midiendo a más del octanaje del combustible, la presencia de aditivos férricos, níquel y manganeso, entre otras. El equipo está regulado mediante la normativa GOST 4039-88 (ASTM D 525). Los parámetros que da este instrumento son: Research Octane Number (Numero de Octano de Investigación) denominado como RON, Motor Octane Number (Numero de Octano del Motor) designado como MON, el Anti-knock Index (Índice de Anti-Golpeo) denominado como AKI (Shatox, s.f.).

##### **6.2.3.2.2.1.1 Proceso de medición**

- a) Verificar que el equipo cuente con los 2 sensores, limitador de gasolina y el cable USB.
- b) Conectar los sensores al equipo
- c) Encender el equipo y verificar las medidas de temperatura, RON, MON y AKI.
- d) Apagar el equipo
- e) Retirar el limitador de gasolina
- f) Colocar la gasolina hasta la marca indicada en el sensor
- g) Encender el equipo y dará los parámetros requeridos



Figura 6.24 Medición del Octanaje del combustible utilizado

Para determinar los niveles de gasolina para el diseño de experimentos es necesario conocer el octanaje real de la gasolina con la que se trabaja, por lo tanto, se medirá el RON, para lo cual se necesita 3 tipos de gasolina: Ecopaís, Súper y una mezcla de las 2 que se establezca a los valores intermedios deseados para las muestras. En la tabla 6.16, se observa a detalle los resultados obtenidos de la medición de los combustibles.

Tabla 6.16 Resultados de concentración de gasolina Súper y Ecopaís.

<b>Denominación</b>	<b>100% Gasolina Ecopaís</b>	<b>25% Gasolina Súper en 75% de Ecopaís</b>	<b>50% Gasolina Súper en 50% de Ecopaís</b>	<b>75% Gasolina Súper en 25% de Ecopaís</b>	<b>100% Gasolina Súper</b>
Temperatura	18.9 °C	18.7 °C	18.6°C	18.1 °C	18.8 °C
RON	82.9	84.1	86.1	95.7	91.2
MON	78.6	76.2	79.3	85.7	85.2
AKI	80.3	80.8	81.2	90.7	88.3

El comportamiento de las concentraciones obtenidas, se observa en la figura 6.25, donde se puede notar como varia el RON, MON, AKI de cada mezcla de gasolina Súper en Ecopaís.

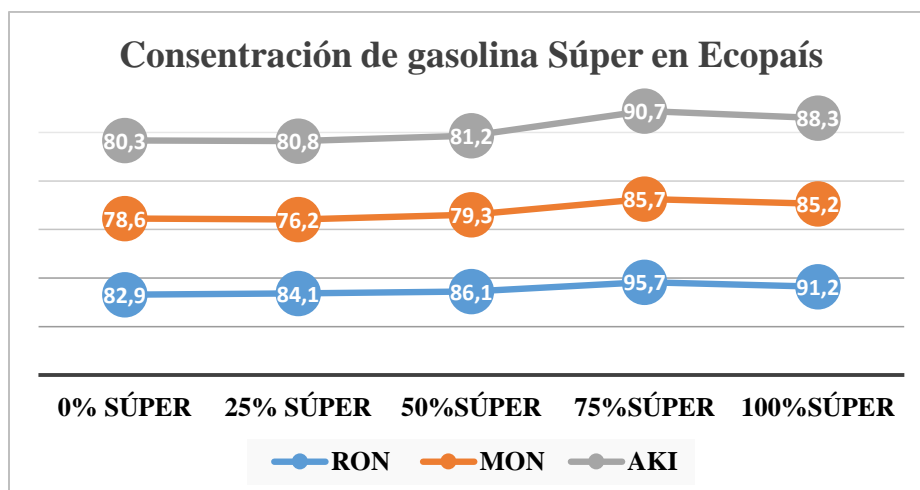


Figura 6.25 Comportamiento de la concentración de gasolina Súper en Ecopaís.

Según lo expuesto para los niveles del diseño de experimentos se necesita utilizar el RON de la gasolina Súper como nivel máximo, el RON de la gasolina Ecopaís como mínimo y como nivel neutro la concentración de 50% de gasolina Súper en 50% de gasolina Ecopaís. Por lo tanto, los niveles para el combustible se observan en la tabla 6.17.

Tabla 6.17 Niveles del Combustible

Factor	Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo
Combustible (RON)	82.9	87.05	91.2

#### 6.2.4 Tratamientos

Finalmente, con la determinación de las variables y de los niveles, se determinan los tratamientos de la corrida y el diseño experimental.

Tabla 6.18 Niveles para el Diseño Experimental

Factor	Símbolo	Unidad	Nivel Mínimo	Nivel Central	Nivel Máximo
Lambda	$\lambda$	-	0.95	1	1.5
Adelanto	$\alpha$	°	10	15	20
Combustible	R	RON	82.9	87.05	91.2

#### 6.2.4.1 Corridas del Diseño experimental

Una vez determinados los factores, los niveles y el diseño experimental, se emplea en software Minitab, para establecer el número de corridas y configuraciones necesarias para el experimento planteado, con 3 repeticiones de cada una.

El número de corridas, según el diseño mostrado, se detalla en la tabla 6.19.

Tabla 6.19 Diseño de Box Behnken

Orden Est	Orden Corrida	Tipo Pt	Bloques	Lambda	Adelanto	RON
18	1	2	1	0.95	20	87.05
9	2	2	1	1	10	82.9
20	3	2	1	0.95	15	82.9
15	4	0	1	1	15	87.05
45	5	0	1	1	15	87.05
11	6	2	1	1	10	91.2
7	7	2	1	0.95	15	91.2
8	8	2	1	1.05	15	91.2
24	9	2	1	1	10	82.9
25	10	2	1	1	20	82.9
1	11	2	1	0.95	10	87.05
14	12	0	1	1	15	87.05
34	13	2	1	1.05	20	87.05
2	14	2	1	1.05	10	87.05
17	15	2	1	1.05	10	87.05
31	16	2	1	0.95	10	87.05
19	17	2	1	1.05	20	87.05
21	18	2	1	1.05	15	82.9
16	19	2	1	0.95	10	87.05
5	20	2	1	0.95	15	82.9
40	21	2	1	1	20	82.9
41	22	2	1	1	10	91.2
12	23	2	1	1	20	91.2
42	24	2	1	1	20	91.2
10	25	2	1	1	20	82.9
3	26	2	1	0.95	20	87.05
36	27	2	1	1.05	15	82.9
43	28	0	1	1	15	87.05
33	29	2	1	0.95	20	87.05
30	30	0	1	1	15	87.05
39	31	2	1	1	10	82.9
23	32	2	1	1.05	15	91.2

35	33	2	1	0.95	15	82.9
27	34	2	1	1	20	91.2
22	35	2	1	0.95	15	91.2
32	36	2	1	1.05	10	87.05
26	37	2	1	1	10	91.2
38	38	2	1	1.05	15	91.2
4	39	2	1	1.05	20	87.05
28	40	0	1	1	15	87.05
37	41	2	1	0.95	15	91.2
13	42	0	1	1	15	87.05
6	43	2	1	1.05	15	82.9
29	44	0	1	1	15	87.05
44	45	0	1	1	15	87.05

### **6.3 Fase III: Toma de datos**

#### **6.3.1 Medida de Potencia del Vehículo**

Para la medida de potencia del vehículo se han tomado las especificaciones establecidas en la normativa técnica ecuatoriana, mediante la normativa INEN 960 1983-04, VEHICULOS AUTOMOTORES. DETERMINACION DE LA POTENCIA NETA DEL MOTOR, donde se establece el método para determinar el rendimiento de los motores automotrices (NTE, 1983).

#### **6.3.2 Medida de Emisiones contaminantes**

Para establecer las mediciones de gases de escape se ha considerado la normativa INEN 2349 REVISION TECNICA VEHICULAR. PROCEDIMIENTO, donde se establecen las consideraciones para realizar las mediciones contaminantes del vehículo, para el proceso de medición se ha establecido la normativa INEN 2203, GESTION AMBIENTAL. AIRE. VEHICULOS AUTOMOTORES. DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MINIMA O RALENTI. PRUEBA ESTATICA (NTE, 2000).

#### **6.3.3 Toma de datos**

Las corridas experimentales de los datos se realizan en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana en la ciudad de Cuenca.



Figura 6.26. Adquisición de datos en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana

Para realizar obtención de los datos se debe seguir el orden descrito en la figura 6.27.

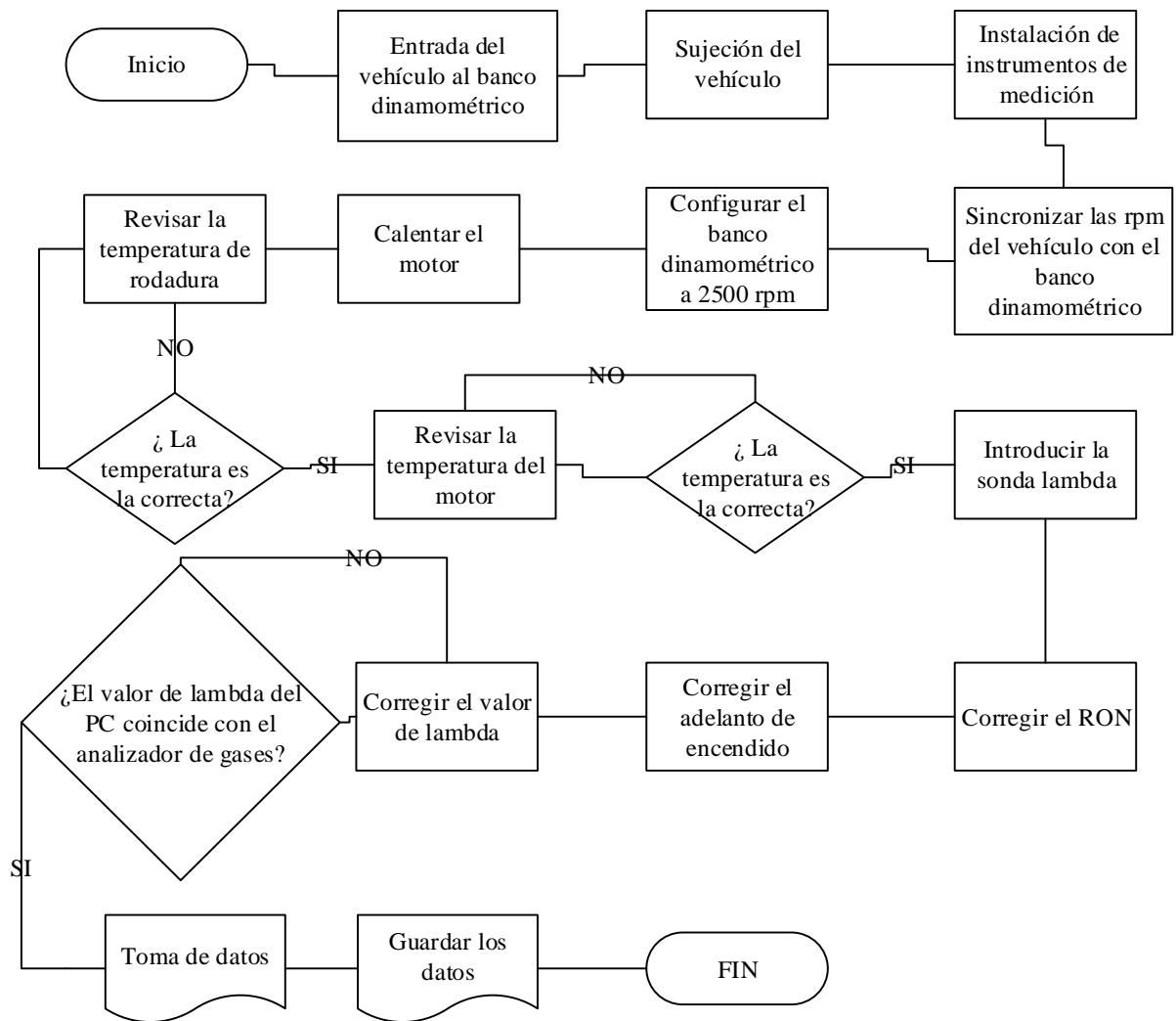


Figura 6.27 Flujograma para la adquisición de datos generales

Para determinar la toma de datos del KS se debe seguir los pasos descritos en el flujograma que se representa en la figura 6.28.

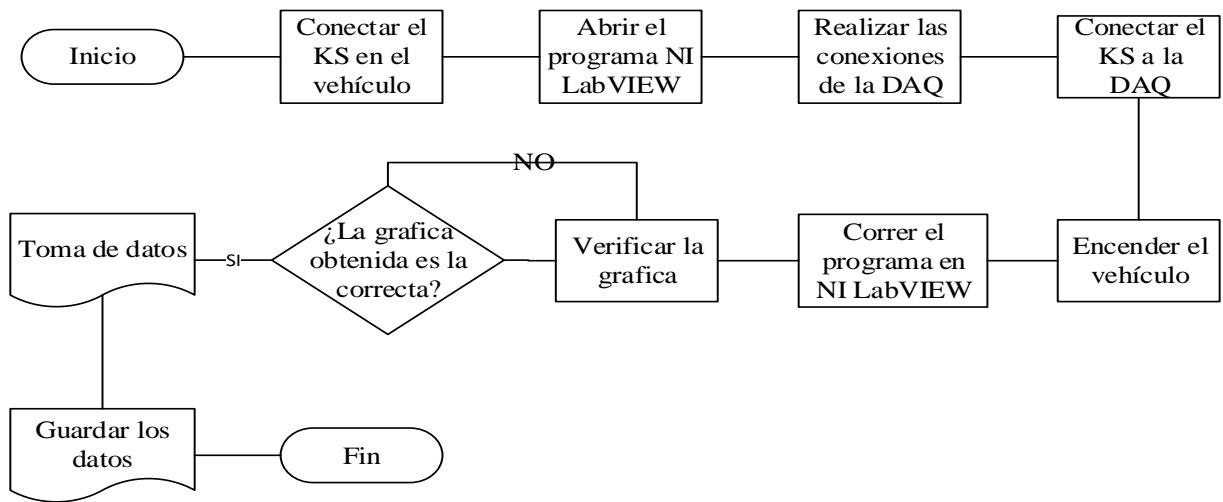


Figura 6.28 Flujograma para la adquisición de los datos del KS

Para modificar el valor de lambda en el experimento se siguen los pasos descritos en el flujograma que en la figura 6.29 se detalla.



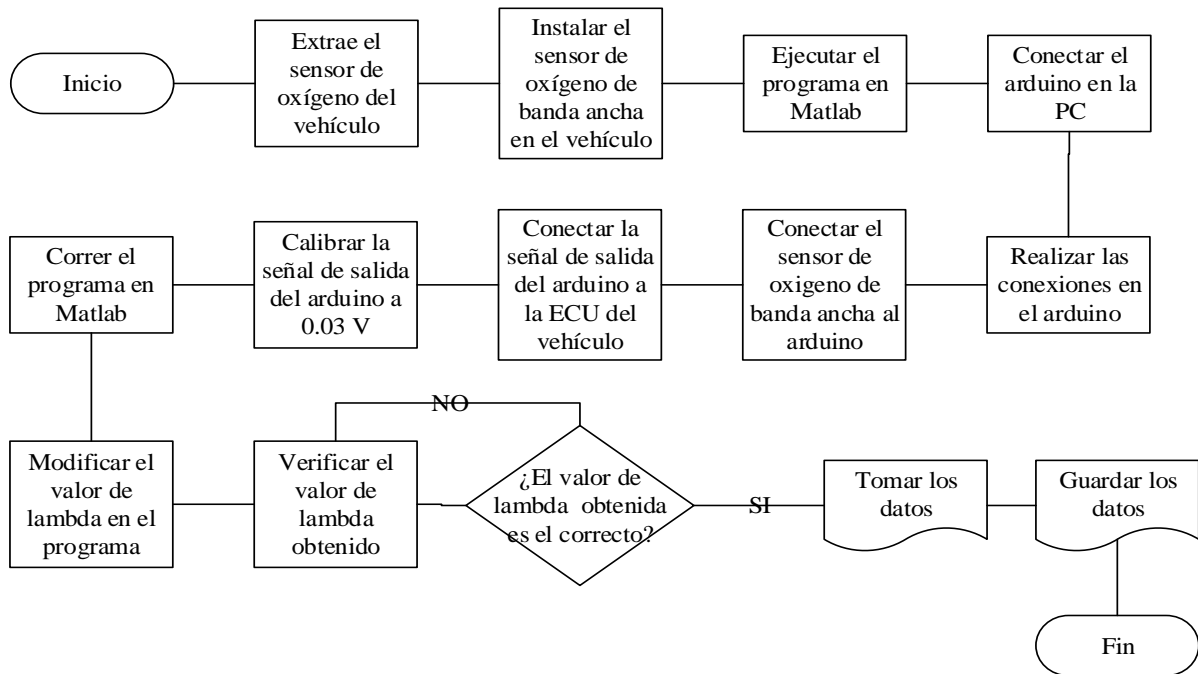


Figura 6.29 Flujograma para modificar el valor de lambda

Para la toma de datos se sigue la secuencia descrita en el flujograma, detallado en la figura 6.30.

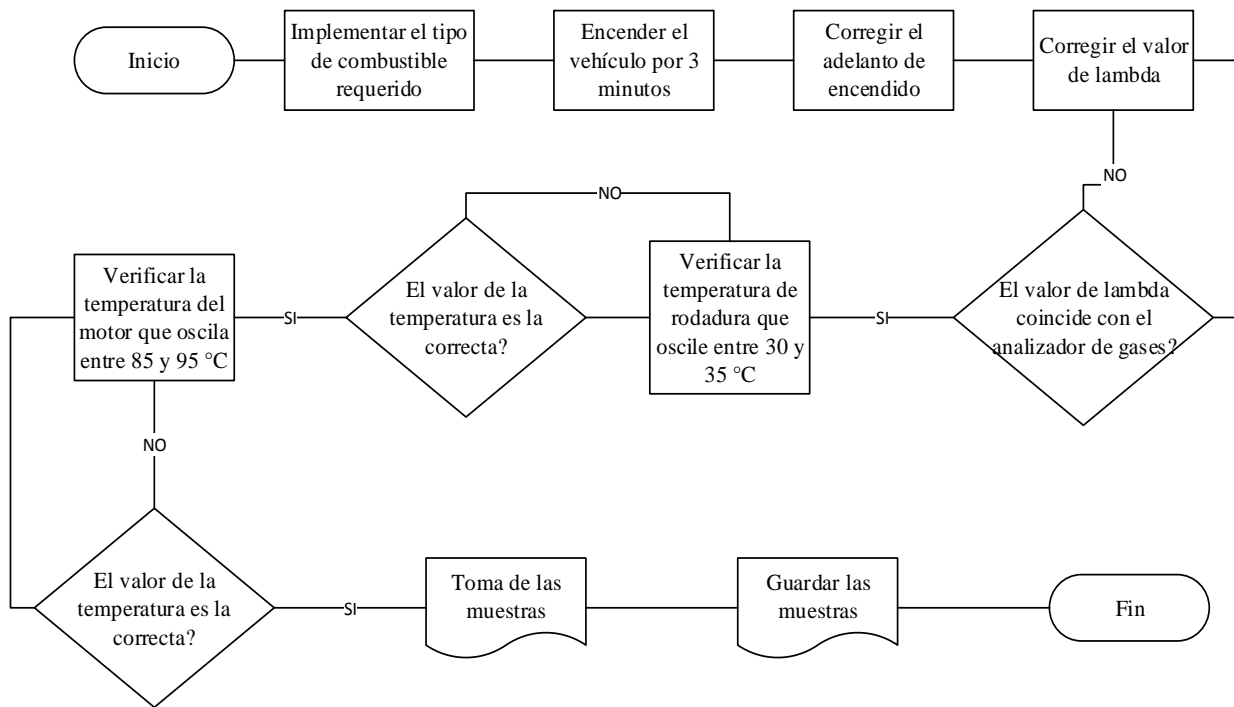


Figura 6.30 Flujograma para determinar las corridas de los datos

### 6.3.3.1 Protocolo de la toma de muestras

Para que las muestras tengan una garantía de reproducibilidad y repetibilidad hay que realizar el siguiente protocolo:

- Ingresar el vehículo al banco Dinamométrico.
- Asegurar el vehículo con las correas de seguridad
- Instalar los equipos de medición como la DAQ, arduino y analizador de gases
- Establecer la carga del 100% en el banco Dinamométrico a 2500 rpm
- Poner la gasolina según la corrida correspondiente
- Encender el vehículo y llevar a la temperatura normal de funcionamiento
- Llevar la temperatura del refrigerante mayor a 90 °C
- Mantener la temperatura del lubricante entre 85 y 95 °C
- Mantener la temperatura de la banda de rodadura entre 30 a 35 °C
- Modificar el valor de lambda establecida por la corrida
- Modificar el adelanto al encendido según la corrida
- Colocar la sonda del analizador de gases
- Comprobar el valor de lambda en el analizador de gases

- Mantener encendido el motor durante 3 minutos con las nuevas configuraciones
- Adquirir los datos según las condiciones establecidas
- Apagar el motor

Luego de seguir el protocolo y los diferentes procesos establecidos de medición se obtiene los datos de la unidad experimental. En la tabla 6.20, se visualiza un extracto de los datos obtenidos del diseño planteado.

Tabla 6.20 Extracto de los datos obtenidos.

POTENCIA	FUERZA TRACTOR A	TEMP. ACEITE	HC	CO	CO2	O2	Lambda_1	No	HORA	FACTOR DE CURTOSIS	ENERGÍA	RMS	FACTOR DE CRESTA	FACTOR POTENCIA
22.9	1267	97	148	2.87	13.93	0.02	0.924	840	9:42:00 a.m.	11.543	2560.71	0.05	14.8	23.279
22.8	1260	85	132	2.32	14.2	0.03	0.937	389	3:32:00 p.m.	13.045	1692.68	0.04	10.211	15.388
22.2	1224	91	168	2.91	13.89	0.03	0.928	425	3:38:00 p.m.	11.831	3841.16	0.06	13.214	34.92
23.6	1303	94	153	2.13	14.33	0.02	0.938	405	9:49:00 a.m.	9.113	1710.65	0.04	12.196	15.551
23.6	1306	95	133	2.12	14.28	0.02	0.941	661	9:53:00 a.m.	8.369	1750.34	0.04	11.117	15.912
23.4	1292	89	149	3.07	14.03	0.07	0.92	140	5:14:00 p.m.	3.603	828.2	0.03	9.895	7.529
23.3	1288	94	148	3.19	13.91	0.03	0.916	442	5:18:00 p.m.	5.568	939.89	0.03	13.225	8.544
23.4	1292	95	131	3.14	13.81	0.03	0.918	677	5:22:00 p.m.	5.084	952.4	0.03	95.064	8.658
22.9	1267	94	144	1.77	14.51	0.003	0.95	1028	3:44:00 p.m.	11.922	1785.87	0.04	15.919	16.235
22	1214	94	186	3.07	13.83	0.04	0.923	679	3:50:00 p.m.	10.792	4446.45	0.06	12.7	40.42
24	1327	95	131	1.96	14.48	0.02	0.945	744	9:56:00 a.m.	4.754	1146.89	0.03	12.054	10.426
23.7	1308	94	153	2.11	14.44	0.02	0.939	326	10:03:00 a.m.	9.265	1820.71	0.04	10.917	16.552
22.9	1262	94	144	2.41	14.22	0.02	0.932	275	10:09:00 a.m.	10.099	2846.98	0.05	13.797	25.882

## 6.4 Fase IV: Análisis de los Datos Obtenidos del vehículo Chevrolet Grand Vitara con el empleo de gasolina Ecopaís

### 6.4.1 ANÁLISIS ANOVA

#### 6.4.1.1 ANÁLISIS DE RESIDUOS

En la figura 6.31 de probabilidad normal se puede observar que los puntos siguen el patrón de la línea de regresión, sin la presencia de puntos atípicos y sin sesgos ni bastones. En la figura 6.31 de residuos vs ajuste, se aprecia que los puntos están dispersos el rededor de cero, teniendo una varianza constante, existen dos puntos que están más alejados de cero, pero con una distancia menor a 0.010 por lo tanto no se consideran como valores atípicos. El histograma tiene forma de campana, sin valores que puedan ser considerados como atípicos. En la figura 6.31 de residuos vs orden de observación se visualiza una dispersión aleatoria alrededor de cero, esto se debe a la aleatorización de la toma de datos. Debido a que las

gráficas de residuos se acercan a lo estipulado, se consideran como válidos los datos tomados en el experimento.

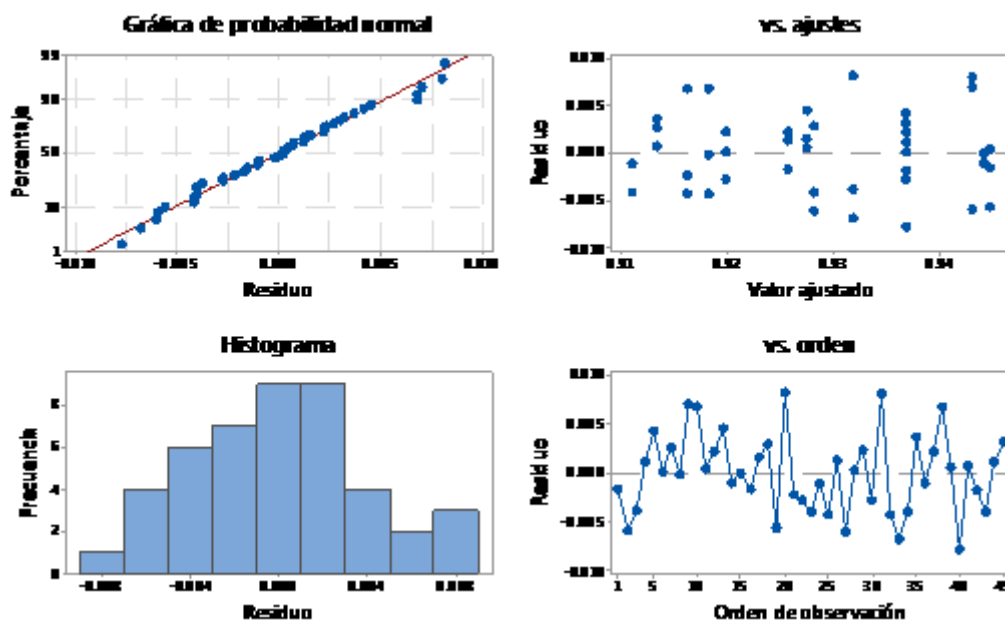


Figura 6.31 Gráficas de residuos para la validación de los datos

## 6.4.2 ANÁLISIS DE INFERENCIA

En la tabla 6.21 se indica el análisis de inferencia mediante el pvalue para las interacciones de los factores independientes y para las interacciones de dos factores, este valor no debe ser menor a 0.05, si existen valores inferiores quiere decir que la influencia de los factores es significativa e infieren sobre los resultados de las variables de estudio.

En la tabla 6.21, se puede observar que los factores que tienen mayor influencia sobre las variables de estudio son el adelanto al encendido y el octanaje del combustible, teniendo mayor influencia en la emisión de Hidrocarburos no combustionados (HC), monóxido de carbono (CO) y oxígeno ( $O_2$ ).

Tabla 6.21 Valores obtenidos del P.Value.

VARIABLE DE RESPUESTA	P. VALUE					
	LINEAL			INTERACCION DE DOS FACTORES		
	$\alpha$	$\lambda$	Ron	$\lambda * \alpha$	$\lambda * \text{Ron}$	$\alpha * \text{Ron}$
Potencia	0	0.8	0	0.72	0.633	0.237
Fuerza Tractora	0	0.728	0	0.814	0.549	0.535
HC	0	0	0	0.918	0.798	0
CO	0	0.613	0	0.579	0.161	0.002
CO <sub>2</sub>	0	0.722	0.009	0.453	0.214	0.05
O <sub>2</sub>	0.572	0.864	0.959	0.151	0.468	0.04
Nox	0.964	0.854	0.468	0.964	0.905	0.175

### 6.4.3 ANALISIS DE EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES

#### 6.4.3.1 HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC)

En la figura 6.32, de efectos principales para los Hidrocarburos no Combustionados (HC) se puede observar que:

- El factor Lambda influye en las emisiones de HC significativamente, la gráfica tiene forma parabólica, teniendo un mínimo de HC con mezcla pobre (lambda de 1.05) y máximo con mezcla rica (lambda de 0.95).
- El adelanto al encendido tiene una influencia directa sobre las emisiones de HC, teniendo un valor mínimo de con adelanto al encendido de 10° y máximo con adelanto al encendido de 20°.
- El octanaje del combustible (RON) tiene una influencia relevante sobre las emisiones de HC, teniendo un valor máximo con gasolina Ecopaís (RON de 82.9) y un valor mínimo con gasolina Súper (RON de 91.2).

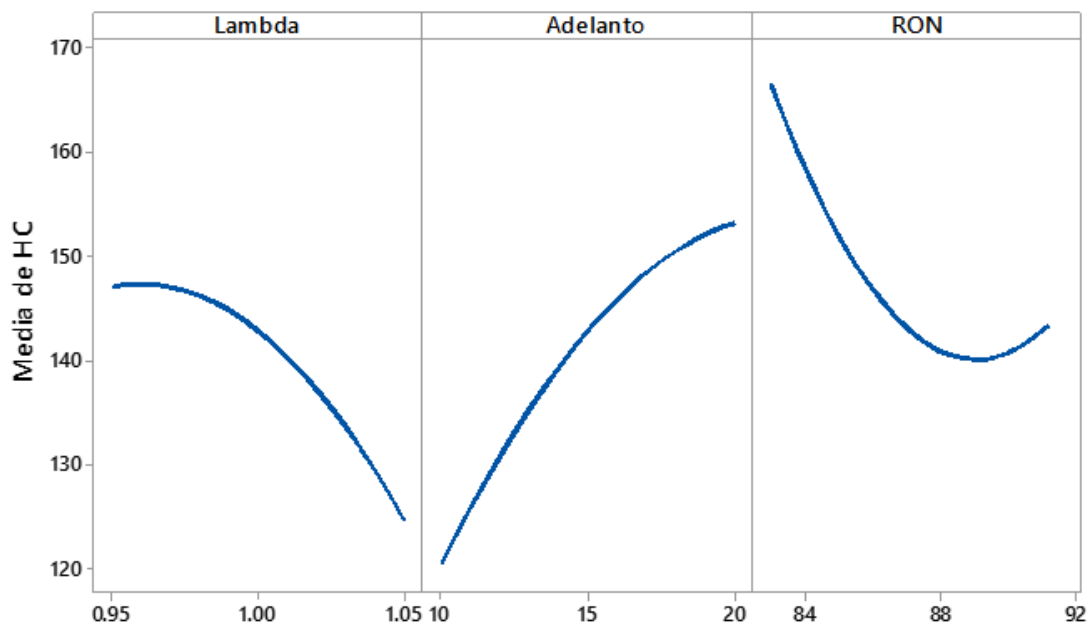


Figura 6.32 Efectos principales de Hidrocarburos no Combustionados (HC)

En figura 6.33, de interacciones para los HC, se puede apreciar que existe una interacción fuerte en la intersección Adelanto\* RON, en un valor de adelanto cercano a los 10° y en adelanto de 15°, lo que implica que al modificar cualquiera de estos factores existirán repercusiones sobre la concentración de los HC:

- Con gasolina Ecopaís (RON de 82.9) y adelanto al encendido de 10° los HC disminuyen, si se incrementa el adelanto a 20° la emisión de HC aumenta.
- Para el caso de gasolina Súper (RON de 91.2), con adelanto de 15° existe un ligero incremento en los HC, con adelanto de 10° y 20° las emisiones de HC son menores.
- En el caso de la mezcla de Súper y Ecopaís (RON de 87.05), con adelanto de 10°, existe menor emisión de HC; si se incrementa el adelanto a 20° la concentración de HC es mayor.

Para la intersección Lambda\*RON se puede observar que existe una pequeña reacción con mezcla rica (lambda 0.95), no es significativa, pero sin embargo existe.

Para el caso de la intersección Lambda\*Adelanto, no existe ningún tipo de interacción, puesto que las líneas no se cruzan entre sí.

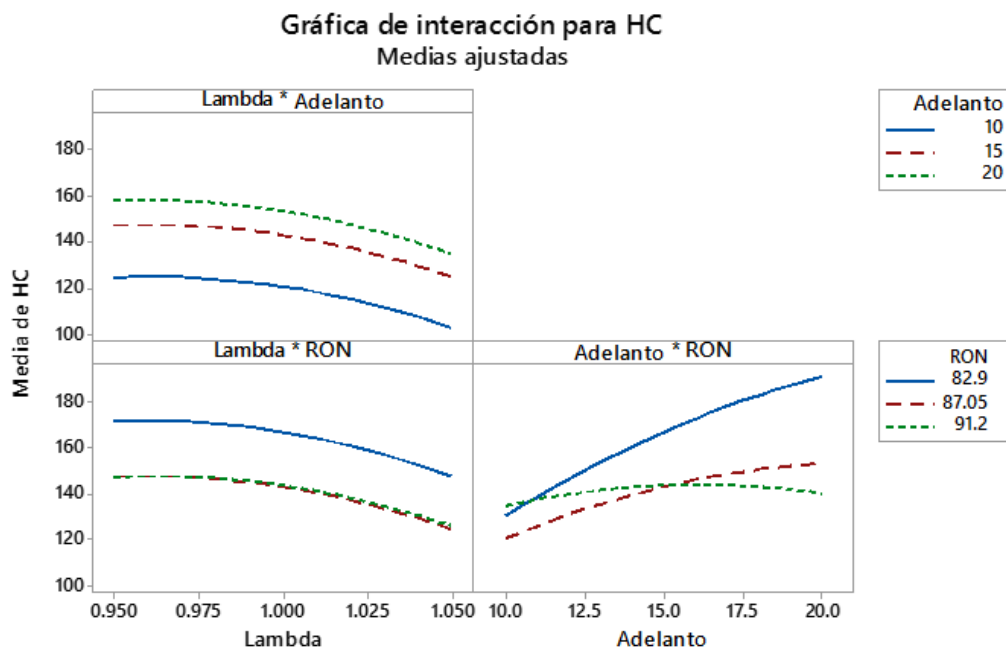


Figura 6.33 Interacciones para los Hidrocarburos no Combustionados (HC)

En la figura 6.34, se observa la representación de contornos para las emisiones de HC respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido, donde se puede notar que con gasolina Súper y la mezcla de Súper con Ecopaís (RON entre 87.05 y 91.2); con una concentración de HC de 140 a 150 ppm. La menor concentración de HC se da cuando el adelanto al encendido esta entre 10° y 12°, gasolina Ecopaís y la mezcla de Súper con Ecopaís (RON de 82.9 a 87.05), con emisiones de HC inferiores a 130ppm. La mayor emisión de HC se da cuando el adelanto está comprendido entre 18° y 20°, con gasolina Ecopaís y la mezcla de Súper y Ecopaís (RON de 82.9 y 8705), con emisión de HC superiores a 190ppm.

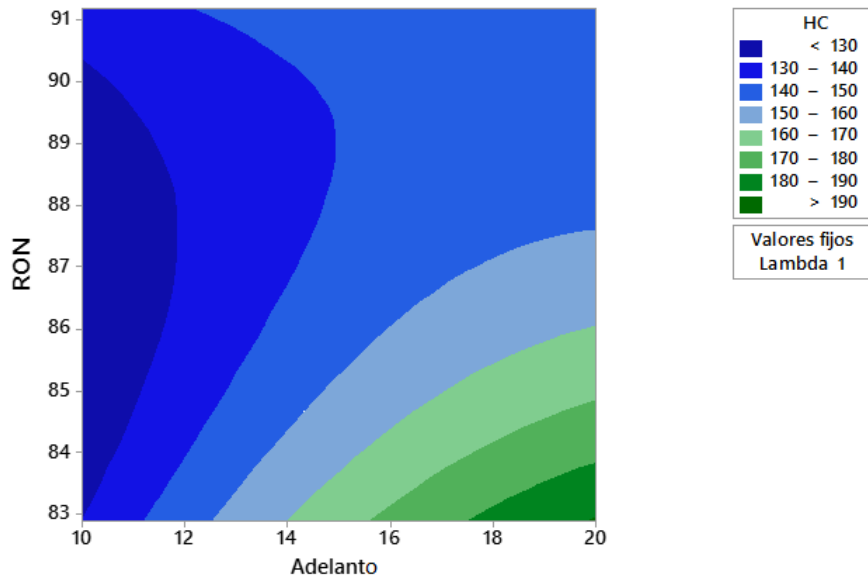


Figura 6.34 De contornos para las emisiones de HC respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido

El comportamiento de las emisiones de HC se detalla en la ecuación 6.6, que se indica a continuación:

$$\begin{aligned}
 \text{HC} = & 2496 + 5068 \lambda + 69.9 \alpha - 119.5 \text{ RON} - 2811 \lambda^2 - 0.241 \alpha^2 \quad (6.6) \\
 & + 0.705 \text{ Ron}^2 - 1.3 \lambda * \alpha + 4.0 \lambda * \text{Ron} - 0.667 \alpha * \text{Ron}
 \end{aligned}$$

En la figura 6.35, se muestra la superficie para las emisiones de HC respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido, donde se aprecia que existe un comportamiento cuadrático de las emisiones de HC, se puede observar que con combustible Ecopaís (RON de 82.9), con combustible Súper (RON de 91.2), con adelanto al encendido de 10° las emisiones de HC son menores, la mayor emisión de HC se da con gasolina Ecopaís (RON de 82.9) y con adelanto al encendido de 20°.



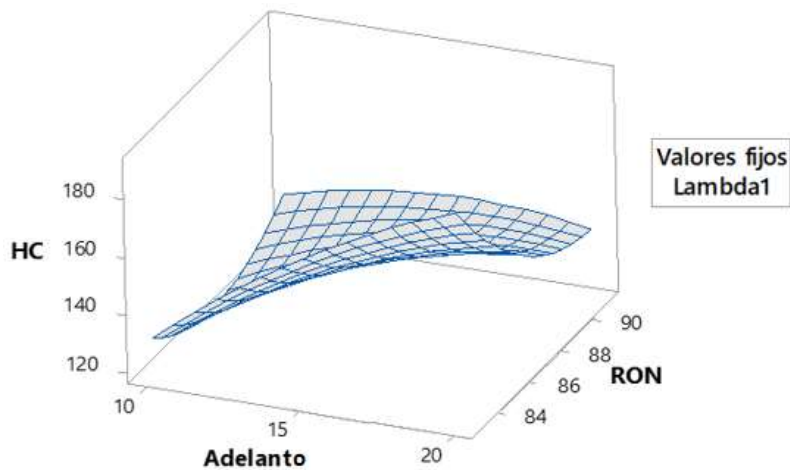


Figura 6.35 Gráfica de superficie para las emisiones de HC respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido

La menor concentración de HC se obtiene con la siguiente configuración indicada en la tabla 6.22, con emisiones de 93ppm:

Tabla 6.22 Configuración para obtener la menor concentración de HC

<b>Lambda</b>	<b>Adelanto</b>	<b>RON</b>
1.05	10°	87.05

#### 6.4.3.2 MONOXIDO DE CARBONO (CO)

En la figura 6.36, de efectos principales del CO, se aprecia que:

- El factor Lambda no influye de manera directa sobre las emisiones de CO, esto se puede constatar al observar la gráfica, la cual tiene forma lineal.
- El adelanto al encendido influye directamente en las emisiones de CO, puesto que el comportamiento de la gráfica tiene pendiente pronunciada, teniendo un valor mínimo de CO con adelanto al encendido de 10° y valor máximo con 20 ° de adelanto al encendido.
- El número de octanos del combustible, tiene un comportamiento parabólico, teniendo un mínimo de emisiones de CO con la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís (RON de 87.5) y máximo con gasolina Súper (RON de 91.2).

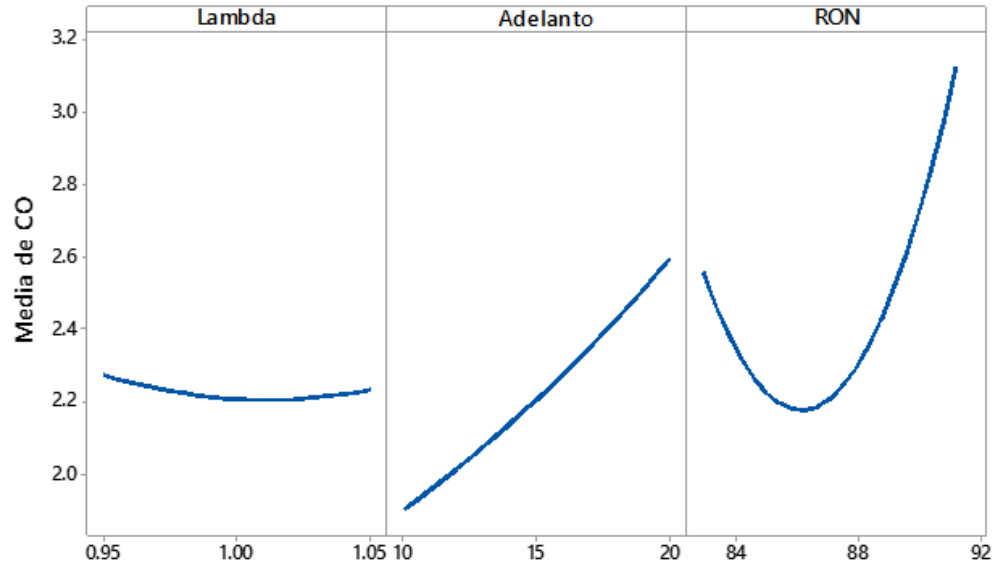


Figura 6.36 Efectos principales del CO

En la figura 6.37, se observa la representación de contornos para las emisiones de CO respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido, donde se puede notar que con la mezcla de gasolina Súper y Ecopaís (RON 87.05); con concentración de CO de 2.0 a 2.4 % Vol. En la gráfica se observa que la mayor emisión de CO se da cuando el adelanto es de 18° a 20°, con gasolina Súper (RON 91.2), las emisiones de CO son superiores a 3.2% Vol. La menor emisión de CO se da cuando el adelanto al encendido está comprendido entre 10° y 13°, con la mezcla de Súper y Ecopaís (RON 87.05), las emisiones de CO son inferiores a 2.0% Vol.

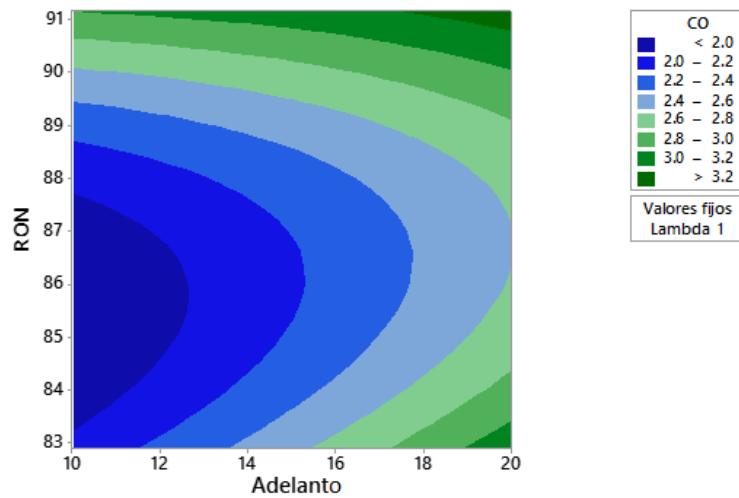


Figura 6.37 Gráfica de contornos para las emisiones de CO respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido

El comportamiento de las emisiones de CO se detalla en la ecuación 6.7, que se indica a continuación:

$$\begin{aligned} \text{CO} = & 244.2 + 0.3 \lambda + 0.953 \alpha - 5.802 \text{ RON} + 17.6 \lambda^2 + 0.00169 \alpha^2 \quad (6.7) \\ & + 0.03676 \text{ Ron}^2 - 0.127 \lambda * \alpha - 0.390 \lambda * \text{Ron} \\ & - 0.00928 \alpha * \text{Ron} \end{aligned}$$

En la figura 6.38, se muestra la superficie para las emisiones de CO respecto del octanaje del combustible y el adelanto al encendido, donde se aprecia que existe un comportamiento cuadrático de las emisiones de CO, donde se puede notar que con combustible Ecopaís (RON de 82.9), con adelanto al encendido de 10° las emisiones de CO son menores, la mayor emisión de CO se da con gasolina Súper y con adelanto al encendido de 20°.

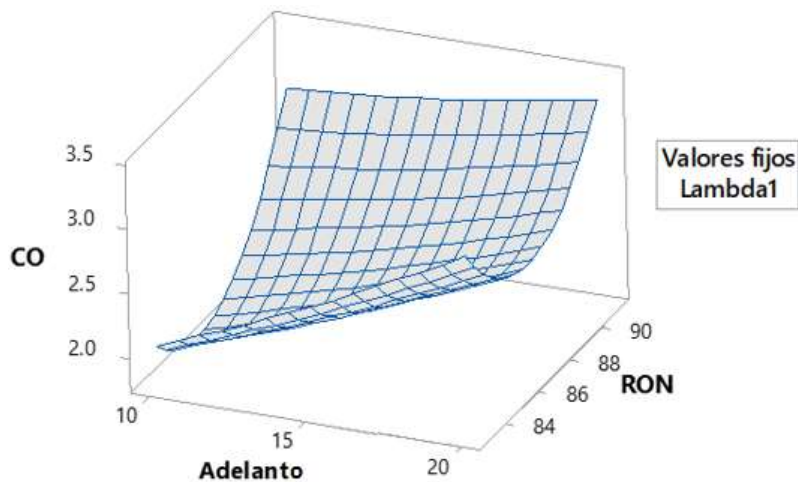


Figura 6.38 Gráfica superficie para las emisiones de CO respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido

La menor emisión de CO se da con la configuración indicada en la tabla, con concentración de 1.67% Vol de CO.

Tabla 6.23 Configuración para obtener la menor concentración de CO

Lambda	Adelanto	RON
1	10°	82.9

#### 6.4.3.3 DIOXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)

En la figura 6.39, de efectos principales para el CO<sub>2</sub> se tiene:

- El factor lambda no influye de manera directa sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, teniendo un comportamiento lineal, esto se puede observar en la figura 6.39.
- El adelanto al encendido tiene influencia sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que la gráfica muestra una pendiente pronunciada, teniendo la mayor emisión de CO<sub>2</sub> con 10° de adelanto al encendido y un valor mínimo con adelanto al encendido de 20°, siendo lo más conveniente que el valor de CO<sub>2</sub> sea mayor para reducir emisiones contaminantes.
- El número de octanos del combustible (RON), tiene un comportamiento parabólico, por lo tanto, influye en las emisiones de CO<sub>2</sub> teniendo un máximo de emisiones con la mezcla de Súper y Ecopaís (RON de 87.5) y un mínimo con gasolina Súper (RON de 91.2), siendo conveniente que el valor de CO<sub>2</sub> sea mayor.

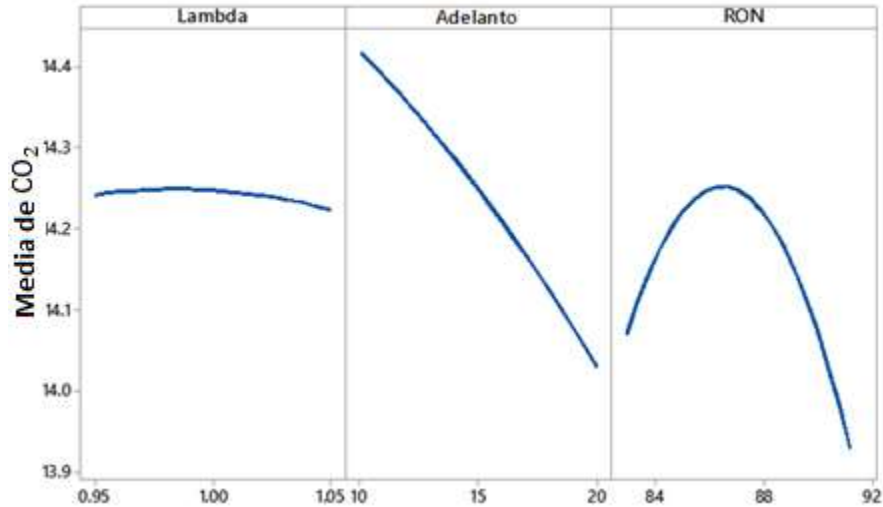


Figura 6.39 Gráfica de efectos principales para el CO<sub>2</sub>

En la gráfica 6.40, de interacciones del CO<sub>2</sub>, existe una pequeña interacción para la intersección Adelanto\*RON, que no es significativa, pero está presente en adelanto a 20° y entre gasolina Súper y Ecopaís (RON de 82.9 y 91.2). En el caso de las intersecciones Lambda\*RON y Lambda\*Adelanto no existen interacciones puesto que las líneas están paralelas.

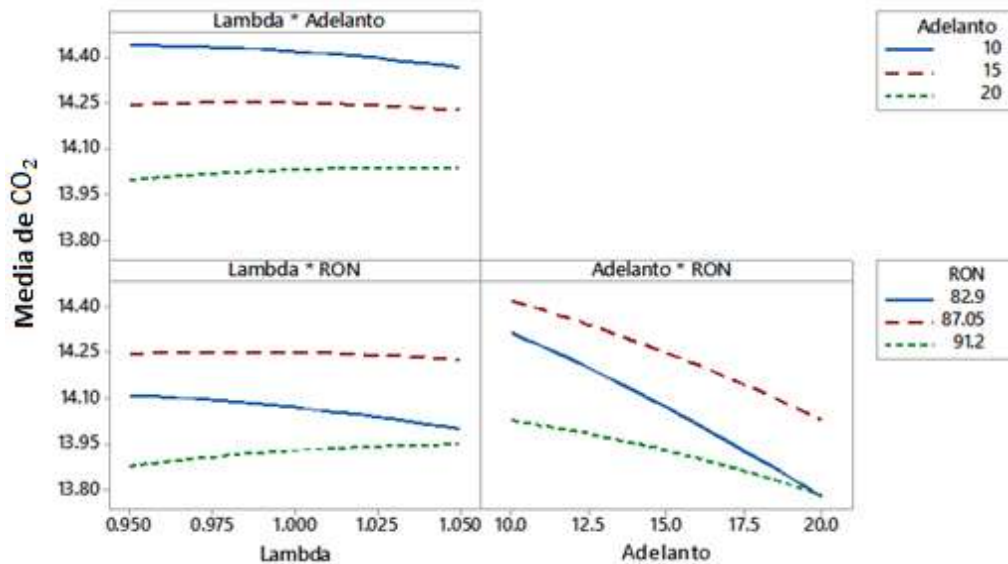


Figura 6.40 Gráfica de interacciones del CO<sub>2</sub>

En la gráfica 6.41, se observa la representación de contornos para las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al octanaje del combustible y adelanto al encendido, donde se puede notar que con la mezcla de las Súper y Ecopaís (RON 87.05); con una concentración de CO<sub>2</sub> de 14.2 a 14.4

% Vol. La mayor emisión de CO<sub>2</sub> se da con el adelanto al encendido comprendido entre 10° y 12°, con la mezcla de Súper y Ecopaís (RON 87.05), con emisiones de CO<sub>2</sub> de 14.4% Vol. La menor emisión de CO<sub>2</sub> se da cuando el adelanto es de 20° y se utiliza gasolina Ecopaís (RON 82.9), con emisiones de CO<sub>2</sub> inferiores a 13.8% Vol.

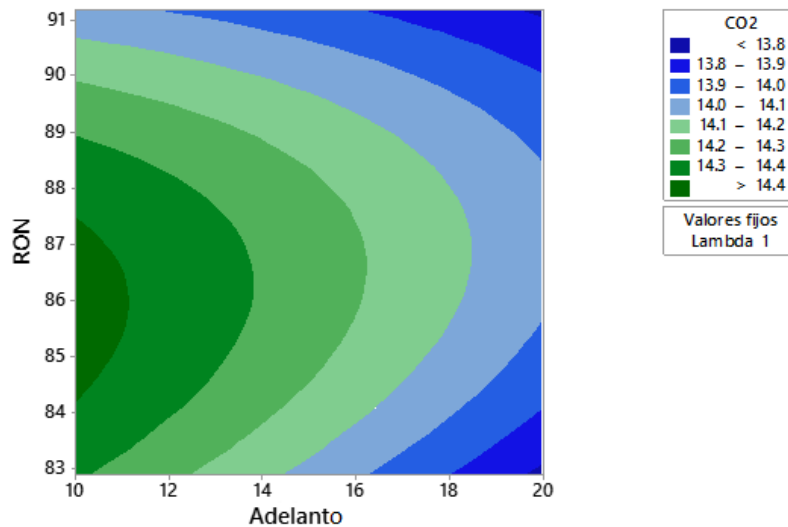


Figura 6.41 Gráfica de contornos para las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido

El comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> se detalla en la ecuación 6.8, que se indica a continuación:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 = & -73.6 - 9.3 \lambda - 0.428 \alpha + 2.225 \text{ Ron} - 5.9 \lambda^2 - 0.00096 \alpha^2 \quad (6.8) \\ & - 0.01445 \text{ Ron}^2 + 0.110 \lambda * \alpha + 0.221 \lambda * \text{ Ron} \\ & + 0.00353 \alpha * \text{ Ron} \end{aligned}$$

En la gráfica 6.42, se muestra la superficie para las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido, donde se aprecia que existe un comportamiento cuadrático de las emisiones de CO<sub>2</sub>, donde con combustible Ecopaís (RON de 82.9) y Súper (RON de 91.2), valor de adelanto al encendido de 20° las emisiones de CO<sub>2</sub> son menores, la mayor emisión de CO<sub>2</sub> se da con la mezcla de los 2 combustibles, Súper y Ecopaís (RON de 87.05) y con adelanto al encendido de 10°.

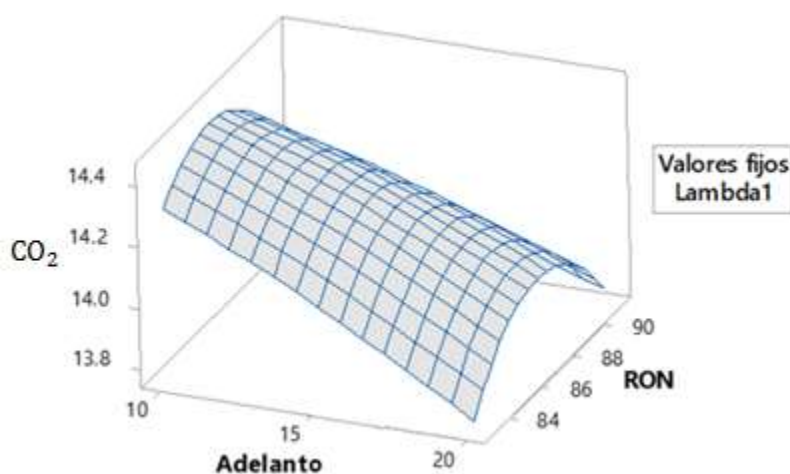


Figura 6.42 Gráfica de superficie para las emisiones de  $\text{CO}_2$  respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido

La menor emisión de  $\text{CO}_2$  se da con la configuración mostrada en la tabla 6.24, con emisiones de  $\text{CO}_2$  de 13.66% Vol.

Tabla 6.24 Configuración para obtener la menor concentración de  $\text{CO}_2$

Lambda	Adelanto	RON
1	20°	82.9

La mayor emisión de  $\text{CO}_2$  se da con la configuración mostrada en la tabla 6.25, con emisiones de  $\text{CO}_2$  de 14.51% Vol.

Tabla 6.25 Configuración para obtener la mayor concentración de  $\text{CO}_2$

Lambda	Adelanto	RON
1	10°	82.9

#### 6.4.3.4 OXIGENO ( $\text{O}_2$ )

Los efectos principales para  $\text{O}_2$  se observan en la gráfica 6.43, donde:

- El factor lambda influye de manera directa en las emisiones de  $\text{O}_2$ , lo que se puede apreciar en la gráfica, teniendo como mínimo con mezcla estequiométrica (lambda de 1) y máximo con mezcla rica (lambda de 0.95).

- El adelanto al encendido influye en las emisiones de  $O_2$ , esto se puede observar en la gráfica que tienen un comportamiento parabólico, teniendo un valor de  $O_2$  mínimo con adelanto al encendido de  $15^\circ$  y valor máximo con adelanto al encendido de  $10^\circ$ .
- El Número de octanos del combustible influye en las emisiones de  $O_2$ , teniendo la gráfica un comportamiento parabólico, con un valor mínimo de  $O_2$  con la mezcla de Súper y Ecopaís (RON de 87.5) y valor máximo con gasolina Ecopaís (RON de 82.9).

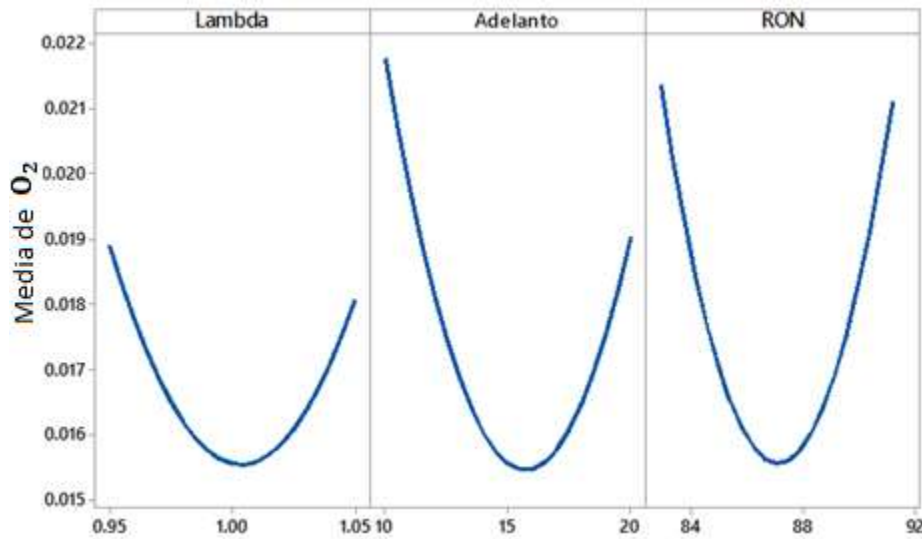


Figura 6.43 Efectos principales para  $O_2$

En la gráfica 6.44, de interacciones del  $O_2$  se puede apreciar que existe una interacción fuerte en la intersección Adelanto\*RON, con adelanto próximo a los  $12^\circ$  entre gasolina Súper y Ecopaís (RON de 82.9 y 87.05), con adelanto próximo a los  $15^\circ$ , entre gasolina Súper y Ecopaís (RON de 82.9 y 91.2), y con adelanto próximo a los  $20^\circ$  entre gasolina Súper y la mezcla de Súper y Ecopaís (RON de 87.05 y 91.2); lo que indica que si modificamos el adelanto y el octanaje de combustible, repercutirá sobre la concentración de  $O_2$ :

- Con adelanto al encendido de  $10^\circ$  y gasolina Ecopaís (RON de 82.9), el  $O_2$  va a disminuir; con la misma gasolina, con adelanto al encendido de  $20^\circ$  las emisiones de  $O_2$  van a aumentar.
- Cuando se mezcla gasolina Súper y Ecopaís (RON de 87.05), con adelanto al encendido de  $15^\circ$  las emisiones de  $O_2$  disminuyen; caso contrario cuando se da un adelanto de  $10^\circ$  y  $20^\circ$  el  $O_2$  aumenta.



- Para el caso de gasolina Súper (RON de 91.2) se obtiene menor concentración de  $O_2$  con adelanto de  $20^\circ$ ; con adelanto de  $10^\circ$  las emisiones de  $O_2$  aumentan considerablemente.

En el caso de la intersección Lambda\*RON existe una interacción débil con adelanto al encendido de  $10^\circ$ , entre gasolina Súper y Ecopaís (RON de 91.2 y 82.9).

Para el caso de intersección Lambda\*Adelanto existe una interacción fuerte con mezcla rica (lambda próximo a 0.975) y con mezcla pobre (lambda de 1.025).

- Con adelanto de  $10^\circ$  y mezcla rica (lambda de 0.95) las emisiones de  $O_2$  son menores; con mezcla pobre (lambda de 1.05) y con el mismo adelanto las emisiones de  $O_2$  aumentan.
- Cuando el adelanto al encendido es de  $20^\circ$  con mezcla rica (lambda de 0.95), la concentración de  $O_2$  aumenta, con mezcla pobre (lambda de 1.05), las emisiones de  $O_2$  aumentan.
- Para el caso del adelanto al encendido de  $15^\circ$ , con mezcla estequiométrica (lambda de 1) existe menos concentración de  $O_2$ , con mezcla rica y mezcla pobre (lambda de 0.95 y 1.05) las emisiones de  $O_2$  son mayores.

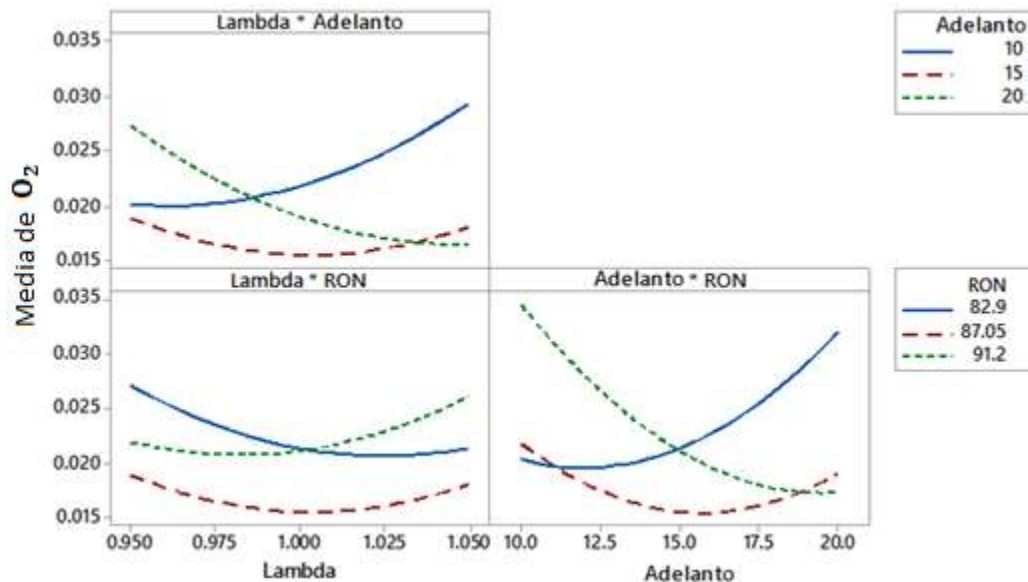


Figura 6.44 Interacciones del  $O_2$

En la gráfica 6.45, se observa la representación de contornos para las emisiones de  $O_2$  respecto al octanaje del combustible y el adelanto al encendido, donde se puede notar que con gasolina Ecopaís (RON 82.9) y la mezcla de Súper con Ecopaís (RON 87.05), con emisiones de  $O_2$  entre 0.016 y 0.020 % Vol. La gráfica 6.45 indica que la menor emisión de  $O_2$  se da cuando el adelanto al encendido está entre  $14^\circ$  y  $19^\circ$  con la mezcla de las 2 gasolinas (RON de 87.05) y con gasolina Súper (RON 91.2), con emisiones de  $O_2$  de 0.016 a 0.020. La mayor concentración de  $O_2$  se da cuando el adelanto esta entre  $10^\circ$  y  $11^\circ$  con gasolina Súper (RON91.2), con emisiones de  $O_2$  superiores a 0.032.

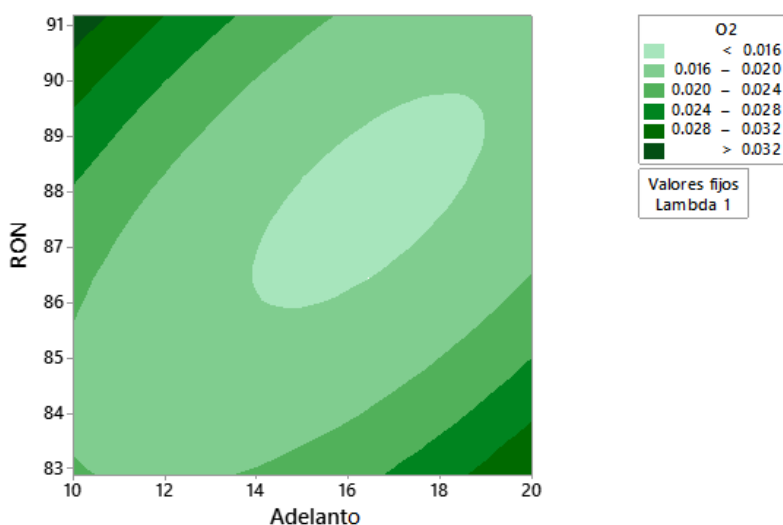


Figura 6.45 Gráfica de contornos para las emisiones de  $O_2$  respecto al octanaje del combustible y el adelanto al encendido

En la gráfica 6.46, se indica la representación de contornos para las emisiones de  $O_2$  respecto al octanaje del combustible y lambda, donde puede observar que la mayor emisión de  $O_2$  se da cuando la mezcla es pobre (lambda de 1.035 a 1.05), con gasolina Súper (RON 91.2), con emisiones superiores a 0.026% Vol. La menor emisión de  $O_2$  se da cuando la mezcla es próxima a la estequiométrica (lambda entre 0.975 y 1.025), con la mezcla de Súper y Ecopaís (RON 87.05), con emisiones de  $O_2$  de 0.016% Vol.

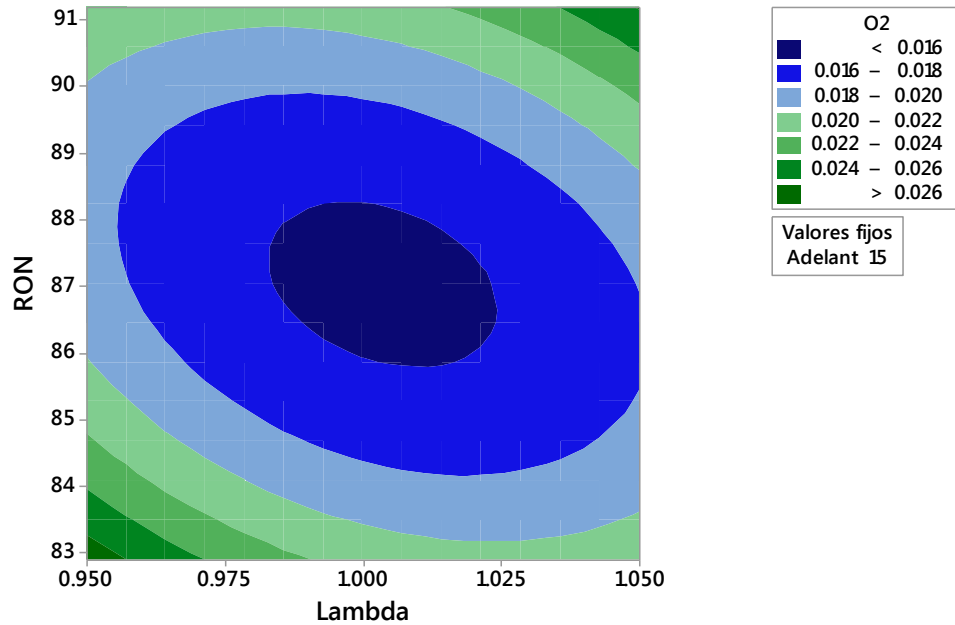


Figura 6.46 Gráfica de contornos para las emisiones de O<sub>2</sub> respecto al octanaje del combustible y al Lambda

En la gráfica 6.47, se observa la representación de contornos para las emisiones de O<sub>2</sub> respecto el adelanto al encendido y el lambda, donde se puede observar que la mayor emisión de O<sub>2</sub> se da cuando la mezcla es pobre (lambda 1.05) y adelanto al encendido es de 10°. La menor concentración de O<sub>2</sub> se da cuando la mezcla es próxima a la estequiométrica (lambda comprendido entre 0.975 y 1.05), con adelanto al encendido de 14° a 19°, con emisiones de O<sub>2</sub> inferiores a 0.016% Vol.

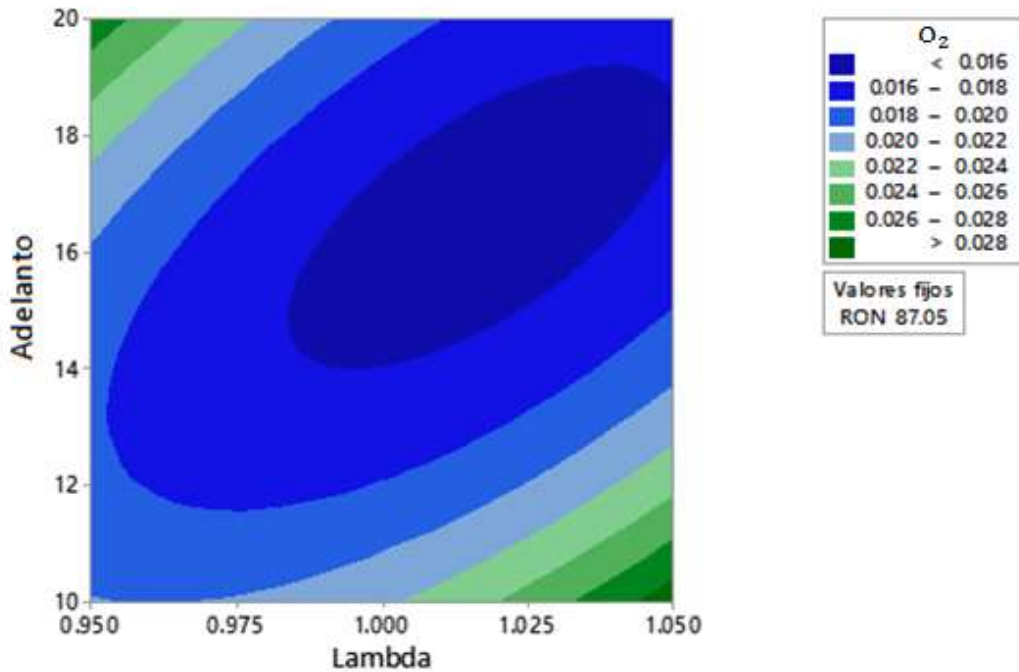


Figura 6.47 Gráfica de contornos para las emisiones de  $O_2$  respecto el adelanto al encendido y el Lambda  
El comportamiento de las emisiones de  $O_2$  se detalla en la ecuación 6.9, que se indica a continuación:

$$\begin{aligned}
 O_2 = & 4.04 - 3.10 \lambda + 0.0443 \alpha - 0.0643 \text{ Ron} + 1.17 \lambda^2 & (6.9) \\
 & + 0.000194 \alpha^2 + 0.000330 \text{ Ron}^2 - 0.0200 \lambda * \alpha \\
 & + 0.0120 \lambda * \text{Ron} - 0.000349 \alpha * \text{Ron}
 \end{aligned}$$

En la gráfica 6.48, se muestra la superficie para las emisiones de  $O_2$  respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido, donde se aprecia que existe un comportamiento cuadrático de las emisiones de  $O_2$ , donde se puede observar que con combustible Ecopaís y con adelanto al encendido de  $20^\circ$  las emisiones de  $O_2$  son superiores que cuando el octanaje es mayor (Súper) y con adelanto de  $20^\circ$ ; la mayor emisión de  $O_2$  se da cuando el adelanto al encendido es de  $15^\circ$  con gasolina Súper.

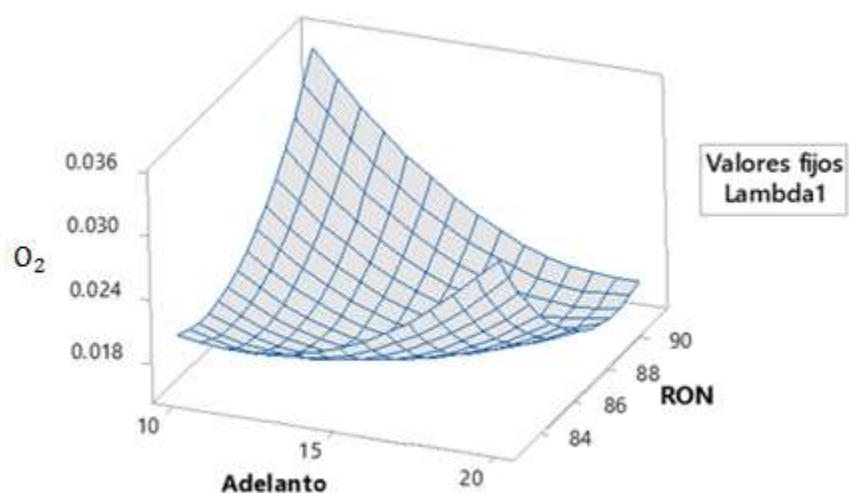


Figura 6.48 Gráfica de superficie para las emisiones de  $O_2$  respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido

En la gráfica 6.49, se muestra la superficie para las emisiones de  $O_2$  respecto del Octanaje del combustible y lambda, donde se aprecia que existe un comportamiento cuadrático; la mayor emisión de  $O_2$  se da con combustible súper y mezcla pobre, las emisiones de  $O_2$  son menores cuando se mezcla el combustible Súper y Ecopaís y con mezcla estequiométrica. Las emisiones de  $O_2$  son elevadas también cuando la mezcla es rica y se utiliza gasolina Súper.

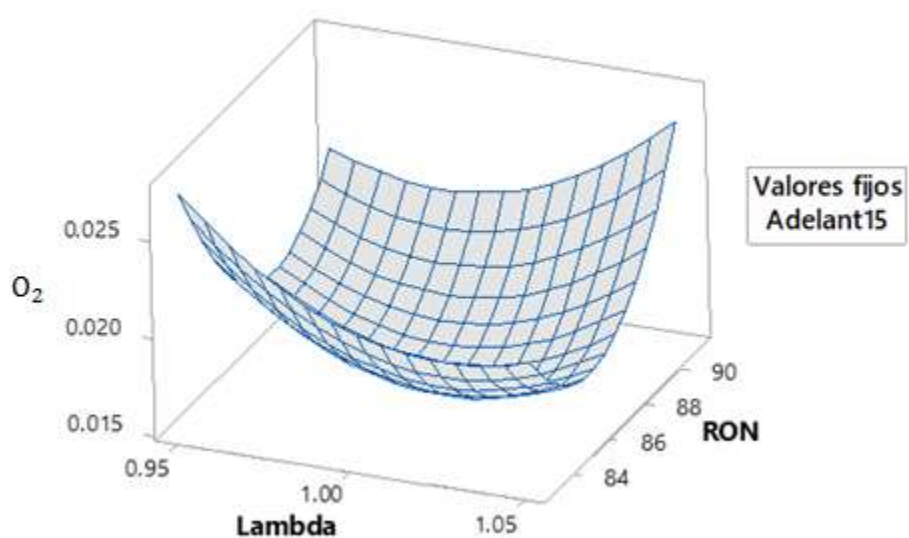


Figura 6.49 Gráfica de superficie para las emisiones de  $O_2$  respecto del Octanaje del combustible y lambda

En la gráfica 6.50, se muestra la superficie para las emisiones de  $O_2$  respecto del adelanto al encendido y lambda, donde se aprecia que tiene un comportamiento cuadrático; con adelanto al encendido de  $20^\circ$  y mezcla pobre, las emisiones de  $O_2$  son menores; por el contrario, cuando el adelanto es de  $20^\circ$  y la mezcla es rica, las emisiones de  $O_2$  aumentan notablemente.

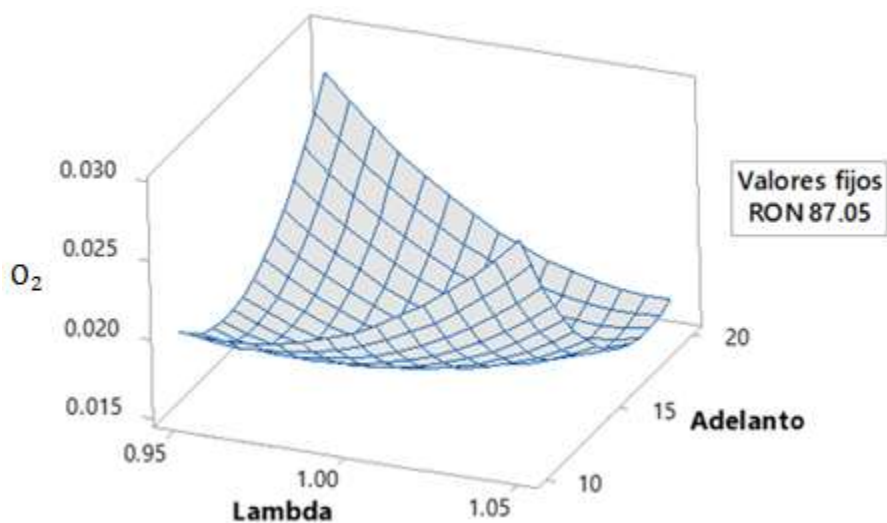


Figura 6.50 Gráfica de superficie para las emisiones de  $O_2$  respecto del adelanto al encendido y lambda

La menor emisión de  $O_2$  se da con la configuración mostrada en la tabla 6.26, con emisiones de  $O_2$  de 0.01% Vol.

Tabla 6.26 Configuración para obtener la menor concentración de  $O_2$

Lambda	Adelanto	RON
1	$10^\circ$	82.9
1.05	$15^\circ$	82.9
0.95	$10^\circ$	87.05
1	$15^\circ$	87.05
1	$10^\circ$	91.2
1.05	$15^\circ$	91.2
1.05	$20^\circ$	87.05
0.95	$15^\circ$	91.2

#### 6.4.3.5 OXIDOS DE NITROGENO ( $NO_x$ )

En la gráfica 6.51, de efectos principales de los  $NO_x$  se puede apreciar que:

- El factor lambda influye directamente sobre las emisiones de NOx, teniendo un comportamiento parabólico, con un valor máximo de emisiones de NOx con mezcla estequiométrica (lambda de 1) y un valor mínimo con mezcla rica (lambda de 0.95).
- El adelanto al encendido influye directamente sobre las emisiones de NOx, esto se puede apreciar en la gráfica, la cual tiene un comportamiento parabólico con un valor mínimo de emisiones de No con adelanto de 15° y un valor máximo con adelanto de 10°.
- El número de octanos del combustible (RON) influye directamente sobre las emisiones de NOx, teniendo un comportamiento lineal con una pendiente pronunciada, se tiene un valor mínimo de emisiones con gasolina Súper (RON de 91.2) y un valor máximo con gasolina Ecopaís (RON de 82.9).

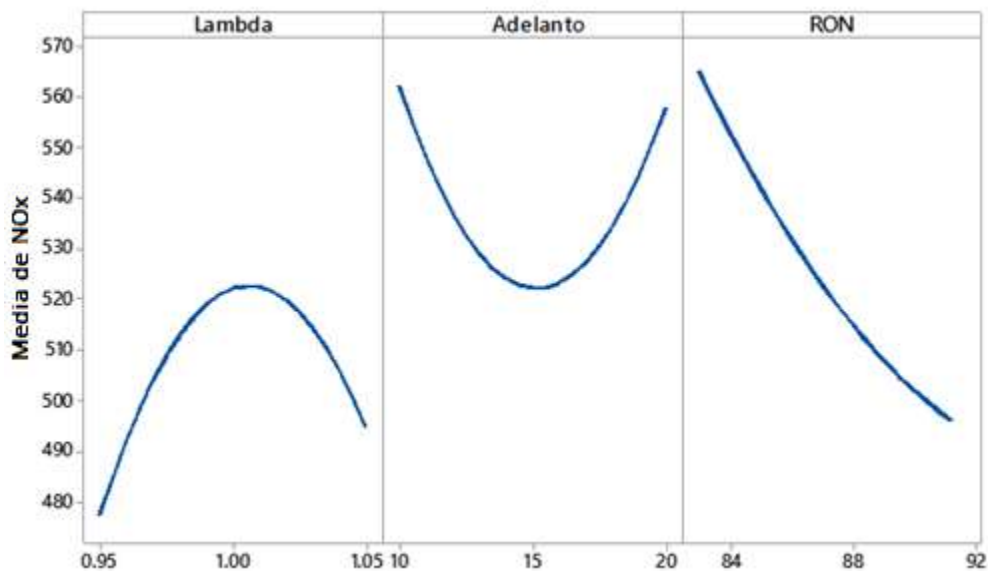


Figura 6.51 Gráfica de efectos principales de los NOx

Para el caso de los NOx, se observa en la gráfica 6.52 que existe una interacción fuerte entre el adelanto al encendido y el número de octanos del combustible (RON), puesto que todas las líneas se intersectan entre sí, en un punto cercano de adelanto al encendido de 17.5, esto quiere decir que, si se modifica el adelanto al encendido y el octanaje del combustible los NOx se van a ver afectados aumentando o disminuyendo:

- Con adelanto al encendido de  $10^\circ$  y gasolina Súper (RON de 91.2), los NOx van a disminuir, con la misma gasolina y adelanto al encendido de  $20^\circ$ , los NOx van a aumentar.
- Cuando se tiene adelanto de  $10^\circ$  y gasolina Ecopaís (RON de 82.9) los NOx aumentan, para el mismo caso si se incrementa el adelanto al encendido a  $20^\circ$  los NOx disminuyen.
- Para el caso de la mezcla de Súper con Ecopaís (RON de 87.05), con adelanto al encendido de  $10^\circ$  o  $20^\circ$  los NOx, no tienen gran diferencia, con el mismo octanaje y adelanto al encendido de  $15^\circ$  los NOx disminuyen.

En la gráfica de intersección Lambda\*RON se observa que no existe ningún tipo de interacción, puesto que las líneas son paralelas.

Para el caso de la intersección Lambda\*Adelanto, se puede apreciar que existe una interacción débil, con mezcla rica (lambda de 0.975), adelanto de  $10^\circ$  y  $20^\circ$ ; esta interacción es pequeña, pero está presente.

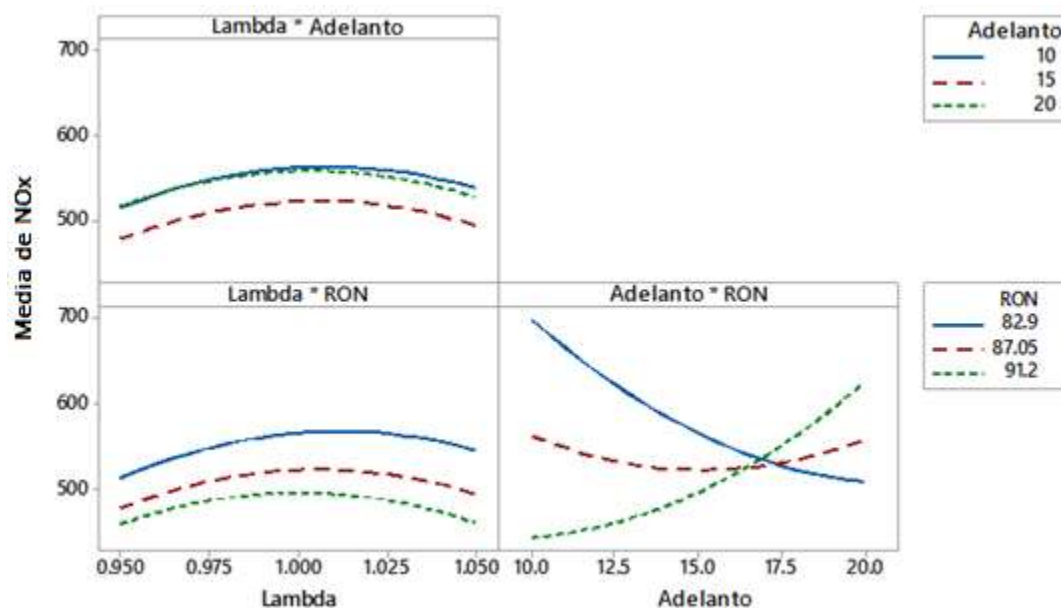


Figura 6.52 Gráfica de interacción del NOx

En la gráfica 6.53, se observa la representación de contornos para las emisiones de óxidos nitrosos respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido, donde se puede notar que la mayor emisión de NOx se da cuando el adelanto al encendido es de  $10^\circ$  y se



emplea combustible Ecopaís (RON de RON de 82.9), con emisión de NOx superior a 650ppm, el mismo comportamiento se observa cuando el adelanto es de 20°, con gasolina Súper (RON de 91.2). La menor concentración de NOx se da cuando el adelanto al encendido es de 10°, y se utiliza gasolina Súper (RON 91.2) con emisiones de NOx inferiores a 450ppm.

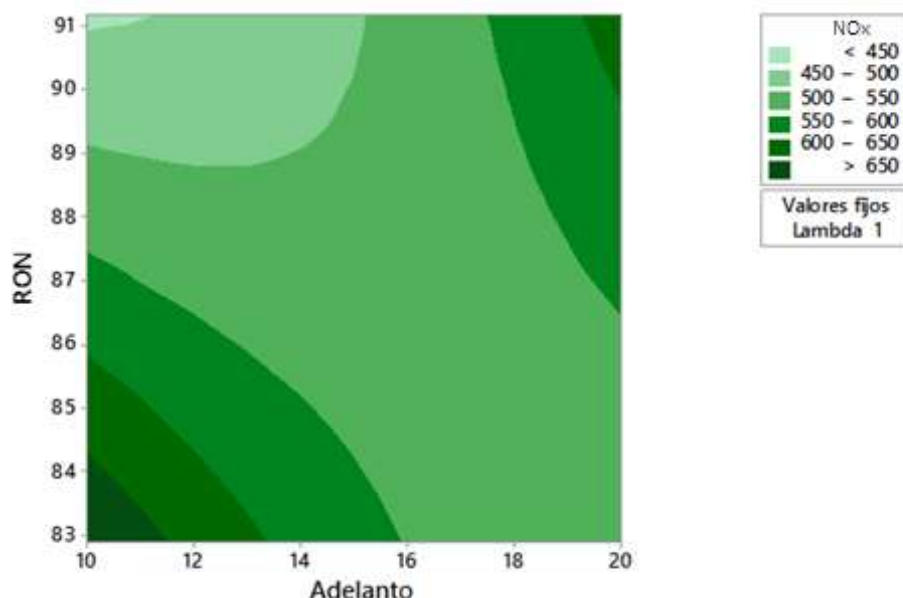


Figura 6.53 Gráfica de contornos para las emisiones de óxidos nitrosos respecto al octanaje del combustible y del adelanto al encendido

En la gráfica 6.54, se observa la representación de contornos para las emisiones de NOx respecto el adelanto al encendido y lambda, donde puede observar que la menor concentración de NOx se da cuando el adelanto esta entre 11° y 19° con mezcla rica (lambda entre 0.95 y 0.9625), con valores de NOx inferiores a 480ppm. La mayor emisión de NOx se da cuando la mezcla es pobre y estequiométrica (lambda comprendido entre 0.985 y 1.025), con adelanto de 10° a 12°, con concentraciones de NOx superiores a 560ppm.

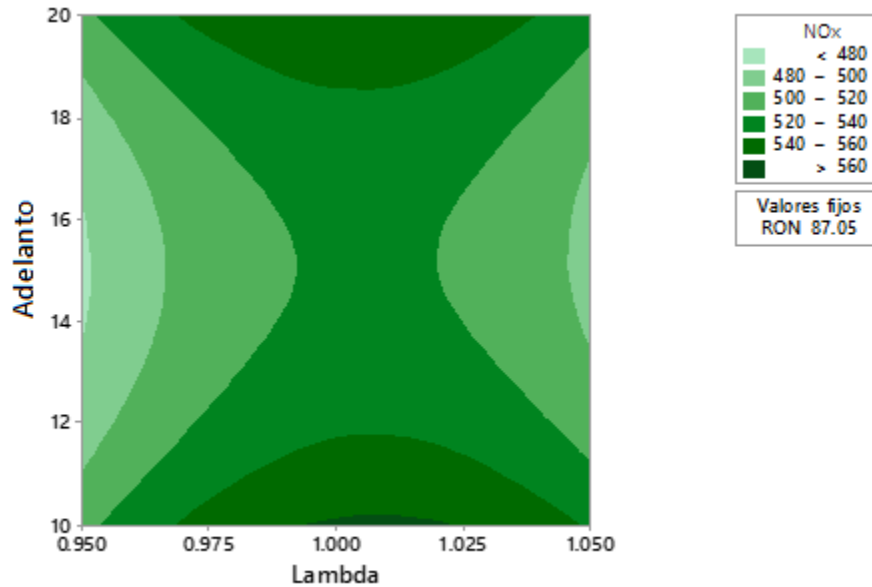


Figura 6.54 Gráfica de contornos para las emisiones de NOx respecto el adelanto al encendido y el Lambda  
El comportamiento de las emisiones de NOx se detalla en la ecuación 6.10, que se indica a continuación:

$$\text{NOx} = -7099 + 32800 \lambda - 423 \alpha - 122 \text{ Ron} - 14544 \lambda^2 + 1.52 \alpha^2 \quad (6.10) \\ + 0.49 \text{ Ron}^2 - 12 \lambda * \alpha - 39 \lambda * \text{Ron} + 4.47 \alpha * \text{Ron}$$

En la gráfica 6.55, se muestra la superficie para las emisiones de NOx respecto del octanaje del combustible y el adelanto al encendido, donde se aprecia que existe un comportamiento lineal de las emisiones de NOx, donde se puede notar que con combustible Ecopaís y con adelanto al encendido de 20° las emisiones de NOx son menores, caso contrario ocurre cuando se utiliza gasolina Súper y el adelanto al encendido es de 10°, las emisiones de NOx aumentan considerablemente.

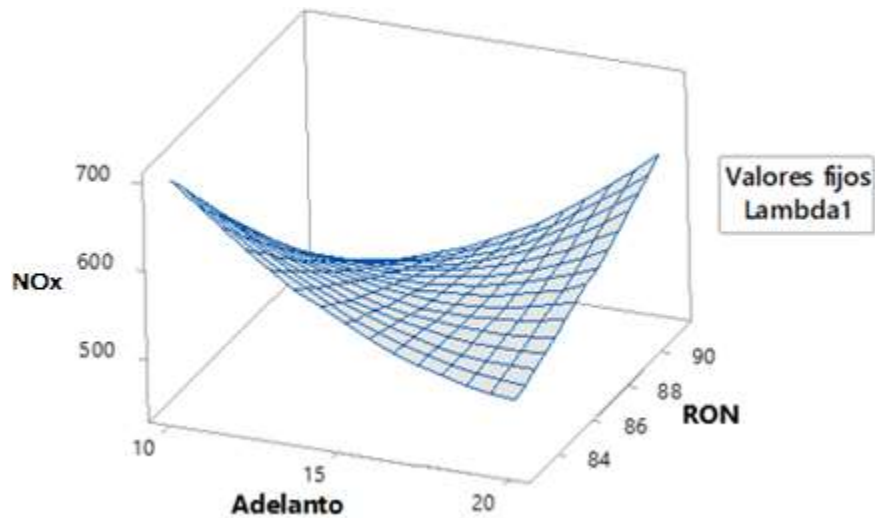


Figura 6.55 Gráfica de superficie para las emisiones de NOx respecto del Octanaje del combustible y el adelanto al encendido

En la gráfica 6.56, se muestra la superficie para las emisiones de NOx respecto del adelanto al encendido y lambda, donde se aprecia que tiene un comportamiento cuadrático; con adelanto al encendido de 15° y mezcla pobre o rica las emisiones de NOx son menores; por el contrario, cuando el adelanto es de 20° y la mezcla es estequiométrica, las emisiones de NOx aumentan notablemente.

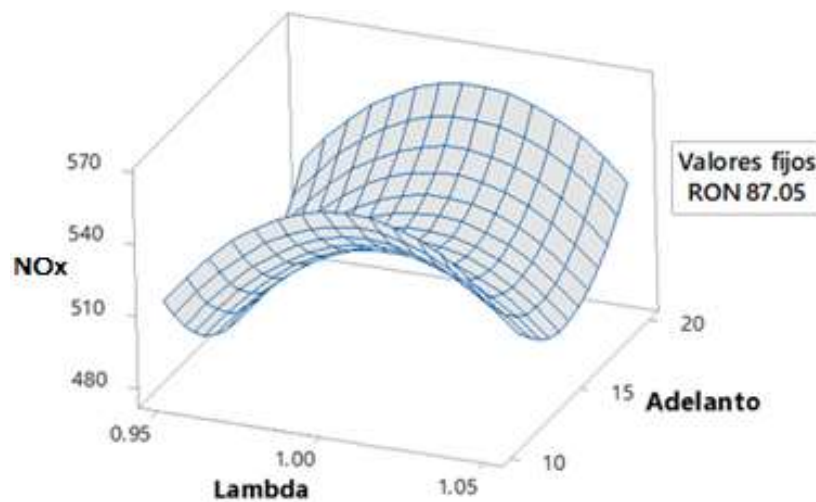


Figura 6.56 Gráfica de superficie para las emisiones de NOx respecto del adelanto al encendido y lambda

La menor emisión de NOx se obtiene con la configuración indicada en la tabla 6.27, con emisiones de 140ppm.

Tabla 6.27 Configuración para obtener la menor concentración de NOx

Lambda	Adelanto	RON
1	10	91.2

## 6.4.4 PRESTACIONES DEL VEHÍCULO

### 6.4.4.1 POTENCIA

En la gráfica 6.57, de efectos principales de la potencia se observa que:

- El factor lambda no influye sobre la potencia del vehículo, teniendo un comportamiento casi lineal, con un valor máximo de potencia con mezcla pobre (lambda de 1.05) y un valor mínimo de potencia con mezcla estequiométrica (lambda de 1), siendo la diferencia, entre los puntos máximos y mínimos, no representativa.
- El adelanto al encendido influye de manera significativa en la potencia del vehículo, teniendo la potencia menor con adelanto al encendido de 20° y mayor con adelanto al encendido de 10°.
- El número de octanaje de la gasolina influye directamente sobre la potencia del vehículo, teniendo un comportamiento parabólico, obteniendo la potencia máxima cuando se mezcla gasolina Súper con Ecopaís (RON de 87.5) y la potencia mínima con gasolina Ecopaís (RON de 82.90).

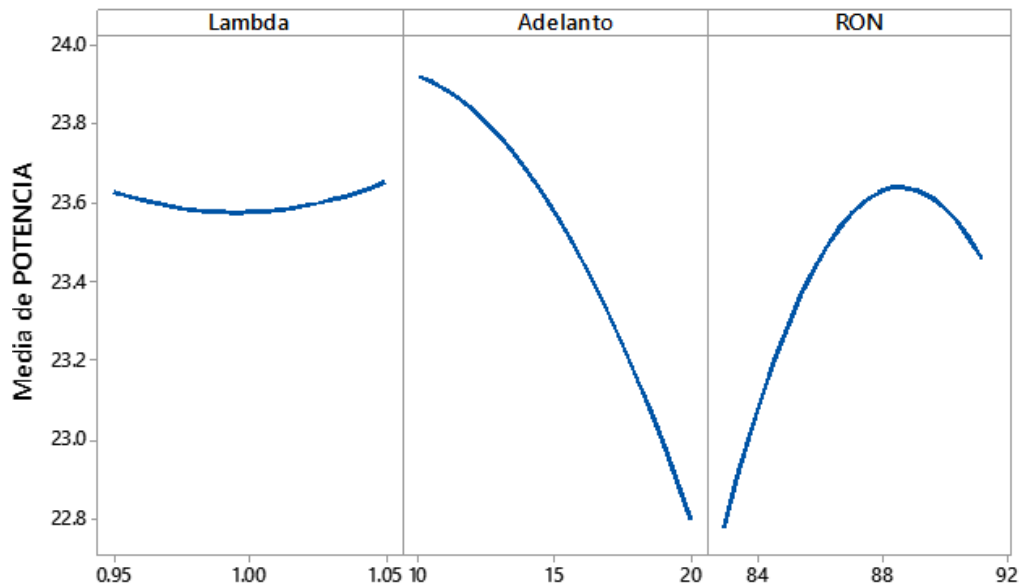


Figura 6.57 Gráfica de los efectos principales de la potencia

En la gráfica 6.58, se observa la representación de contornos para la potencia respecto al octanaje del combustible y lambda, donde se puede notar que existe la potencia mayor se obtiene con: lambda de 0.95 a 1.05, y la mezcla de Súper con Ecopaís (RON de 87.05 y superiores), con potencia superior a 23.6Kw. Se puede apreciar que la menor potencia se da cuando la mezcla es rica y estequiométrica (lambda de 0.95 a 1), con gasolina Ecopaís (RON 82.9) con valores menores a 22.8 Kw.

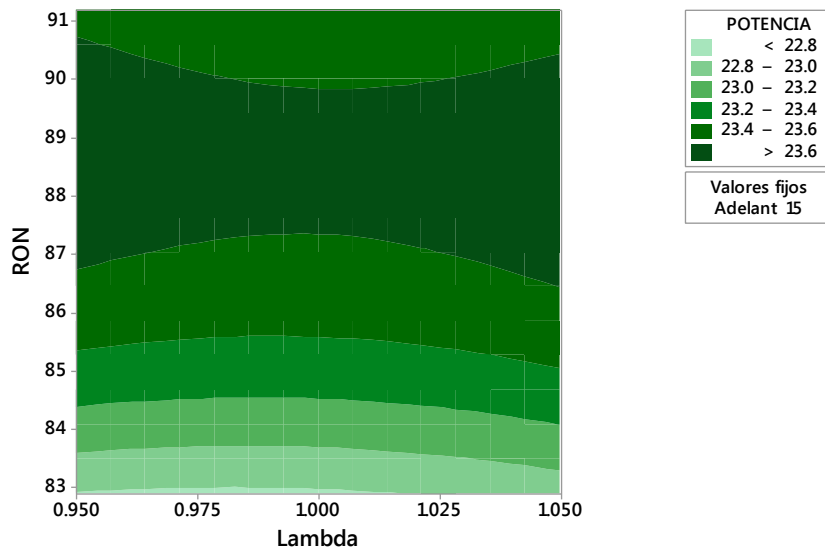


Figura 6.58 Gráfica de contornos para la potencia respecto al octanaje del combustible y al Lambda

El comportamiento de la fuerza tractora se detalla en la ecuación 6.11, que se indica a continuación:

$$\begin{aligned} \text{POTENCIA} = & -178.0 - 39.5 \lambda + 0.399 \alpha + 4.950 \text{Ron} + 26.1 \lambda^2 \quad (6.11) \\ & - 0.00872 \alpha^2 * - 0.02669 \text{Ron}^2 + 0.100 \lambda * \alpha - 0.161 \lambda \\ & * \text{Ron} - 0.00402 \alpha * \text{Ron} \end{aligned}$$

En la gráfica 6.59, se muestra la superficie para la potencia respecto del Octanaje del combustible y lambda, donde se aprecia que existe un comportamiento cuadrático; la mayor potencia se tiene con la mezcla de los 2 combustibles y con mezcla pobre o rica. La potencia es menor con gasolina Ecopaís, con mezcla rica y estequiométrica.

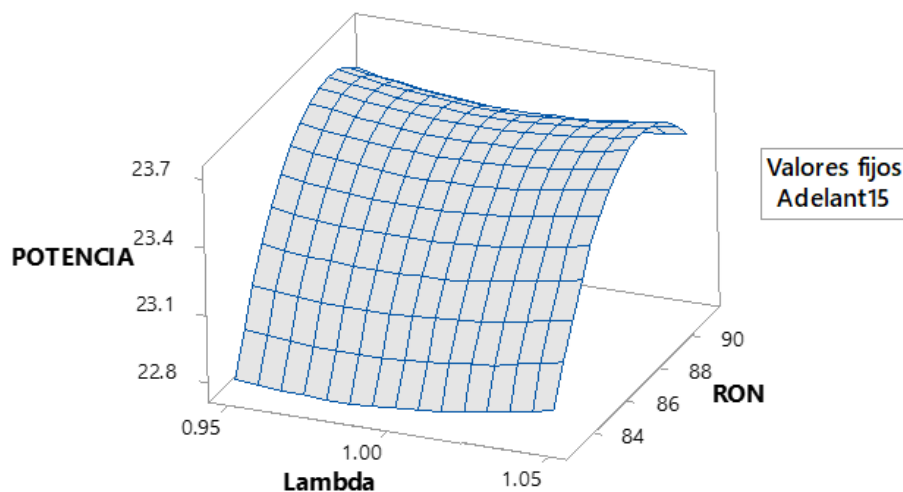


Figura 6.59 Gráfica de superficie para la potencia respecto del Octanaje del combustible y lambda

La mayor potencia se obtiene con la configuración indicada en la tabla 6.28, con una potencia de 24.2KW.

Tabla 6.28 Configuración para obtener la mayor potencia

Lambda	Adelanto	RON
0.95	10	87.05

#### 6.4.4.2 FUERZA TRACTORA

En la gráfica 6.60, de efectos principales de la fuerza tractora se observa que:

- El factor lambda no influye directamente sobre la fuerza tractora, teniendo un comportamiento casi lineal, donde la diferencia entre los puntos máximos y mínimos no es representativa.
- El adelanto al encendido influye directamente sobre la fuerza tractora, teniendo una fuerza mínima con adelanto al encendido de 20° y fuerza máxima con adelanto al encendido de 10°.
- El número de octanaje de la gasolina influye significativamente sobre la fuerza tractora del vehículo, teniendo un comportamiento parabólico, obteniendo la fuerza máxima con la mezcla de Súper y Ecopaís (RON de 87.5) y potencia mínima con gasolina Ecopaís (RON de 82.90).

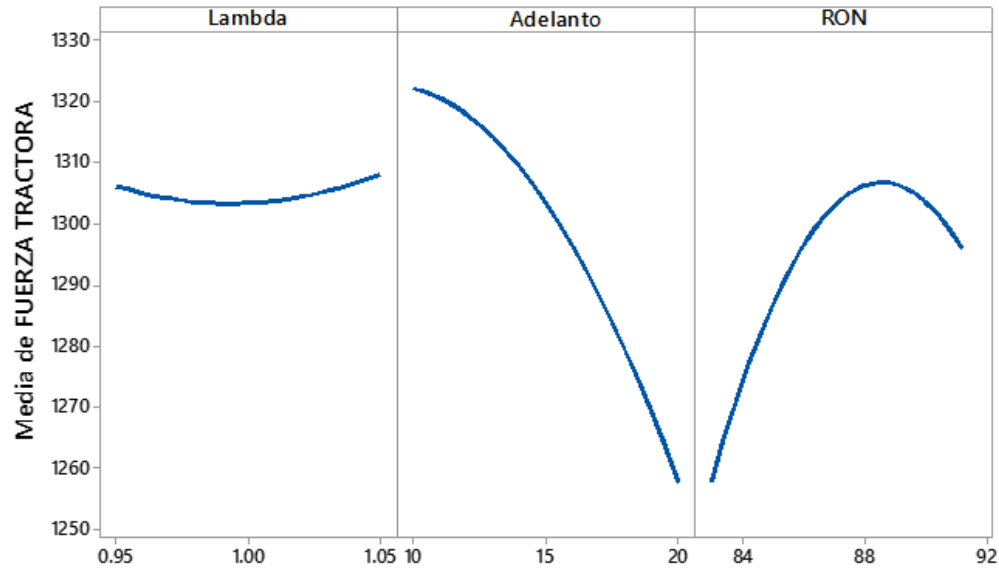


Figura 6.60 Gráfica de los efectos principales de la fuerza tractora

En la gráfica 6.61, se observa la representación de contornos para la fuerza tractora respecto al octanaje del combustible y lambda, donde puede observar que la mayor fuerza tractora se da cuando la mezcla es pobre (lambda 1.05) y se emplea la mezcla de Súper con Ecopaís, con fuerza tractora superior a 1310N. Se puede apreciar que la menor fuerza tractora se da cuando la mezcla es rica y estequiométrica (el lambda de 0.95 a 1) con gasolina Ecopaís (RON 82.9) con valores menores a 1260 N.

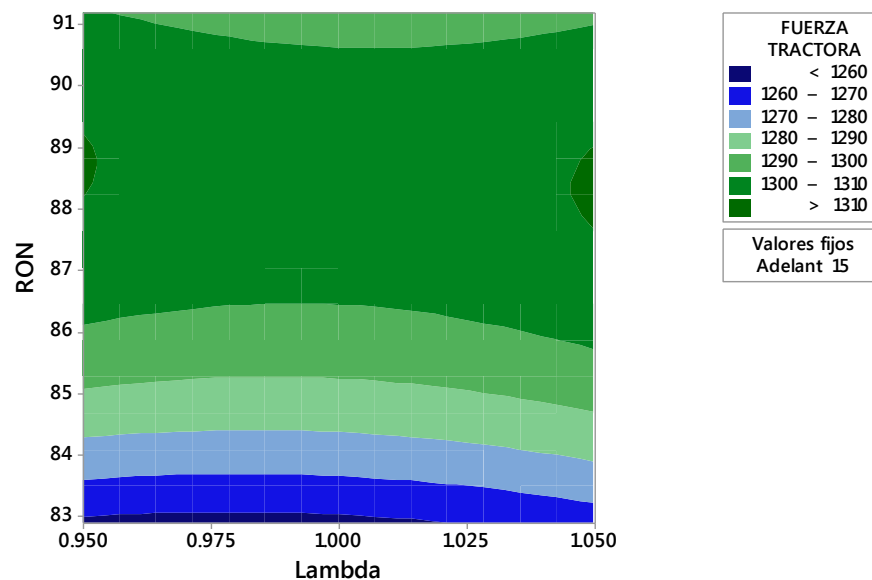


Figura 6.61 Gráfica de contornos para la fuerza tractora respecto al octanaje del combustible y a Lambda

El comportamiento de la fuerza tractora se detalla en la ecuación 6.12, que se indica a continuación:

FUERZA TRACTORA ( 6.12 )

$$\begin{aligned}
 &= -10412 - 2057 \lambda + 16.2 \alpha + 286.3 \text{ Ron} + 1500 \lambda^2 \\
 &- 0.540 \alpha^2 - 1.544 \text{ Ron}^2 + 3.7 \lambda * \alpha - 11.2 \lambda * \text{Ron} \\
 &- 0.116 \alpha * \text{Ron}
 \end{aligned}$$

En la gráfica 6.62, se muestra la superficie para la fuerza tractora respecto del Octanaje del combustible y lambda, donde se aprecia que existe un comportamiento cuadrático; la mayor fuerza tractora se tiene con la mezcla de los 2 combustibles y con mezcla pobre o rica, la fuerza tractora es menor con gasolina Ecopaís, con mezcla rica y estequiométrica.

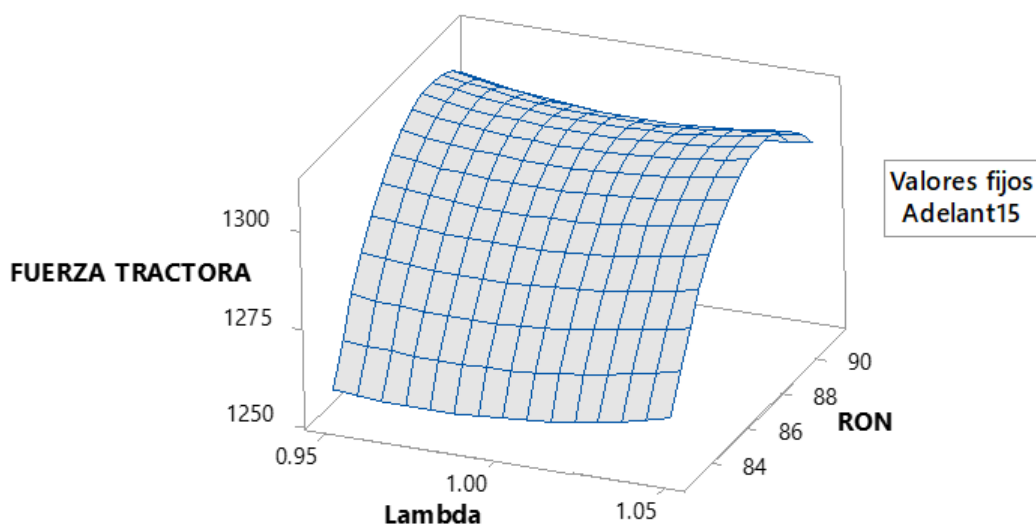


Figura 6.62 Gráfica de superficie para la fuerza tractora respecto del Octanaje del combustible y lambda

La fuerza tractora mayor se obtiene con la configuración indicada en la tabla 6.29, con una fuerza tractora de 1.335N.

Tabla 6.29 Configuración para obtener la mayor fuerza tractora

Lambda	Adelanto	RON
1.05	10	87.05

#### 6.4.5 ANALISIS DE FACTORES DE VIBRACION



#### 6.4.5.1 Factor de cresta

En la figura 6.63, se puede observar que las tres variables de entrada tienen un efecto significativo en el factor de cresta.

- Para el caso de lambda tiene un efecto significativo, la gráfica tiene un comportamiento parabólico, donde el valor mínimo del factor de cresta se da con mezcla rica y el máximo valor del factor de cresta se obtiene con mezcla pobre.
- El adelanto al encendido tiene un efecto directo, la gráfica tiene comportamiento parabólico, obtenido el valor mínimo del factor de cresta con adelanto al encendido de 10° y el valor máximo se obtiene con un adelanto al encendido de 15°.
- Para el caso del ROM se observa en la gráfica un comportamiento parabólico, el valor mínimo del factor de cresta se obtiene con la mezcla de la gasolina Ecopaís con Súper, el valor máximo se obtiene cuando se utiliza la gasolina Súper.

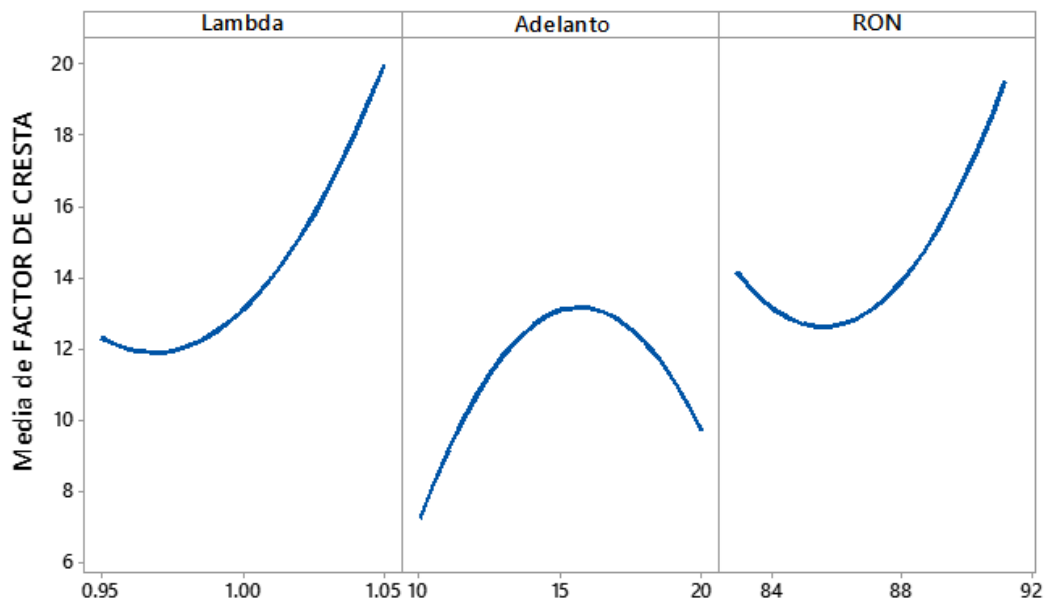


Figura 6.63 Gráfica de efectos principales para el factor de cresta

En la figura 6.64, se puede apreciar que existe una interacción fuerte en la intersección Lambda\*RON. Si se modifica el octanaje de la gasolina (RON) y el valor de lambda se verá afectado el factor de cresta.

- Cuando se utiliza mezcla rica y gasolina Ecopaís se tendrá un aumento considerable del factor de cresta. Al utilizar el mismo combustible con una mezcla pobre el factor de cresta disminuirá.
- Al utilizar la mezcla de gasolina Súper y Ecopaís, con mezcla rica, se obtiene el mínimo factor de cresta; al utilizar el mismo octanaje con mezcla pobre el factor de cresta disminuye.
- Para el caso de gasolina Súper con mezcla rica, se obtiene el mínimo factor de cresta; al utilizar la misma gasolina, con mezcla pobre el factor de cresta será el máximo.

Para la intersección  $\text{Lambda} \times \text{Adelanto}$ , se aprecia que no existe ninguna clase de interacciones

Para el caso de la intersección  $\text{Adelanto} \times \text{ROM}$ , se puede observar una interacción débil, esto ocurre cuando el valor del adelanto al encendido es de  $17.5^\circ$  y se utiliza la gasolina Ecopaís o la gasolina mezclada Súper y Ecopaís. Esta interacción es pequeña, pero está presente.

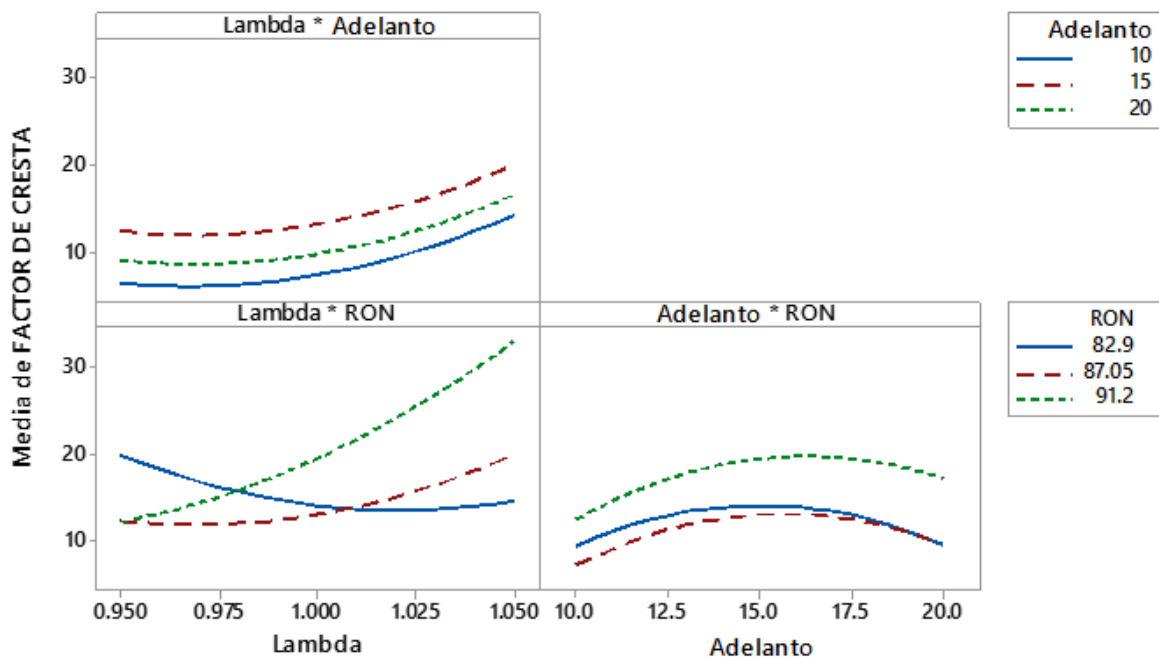


Figura 6.64 Gráfica de interacción para el factor de cresta

En la gráfica 6.65, se observa la representación de contornos para el factor de cresta respecto al octanaje del combustible y lambda, donde se puede notar que el menor factor de cresta se obtiene con la mezcla de gasolina Súper y Ecopaís (RON 87.05), con la mezcla ligeramente

rica, estequiométrica y ligeramente pobre ( $\lambda < 1$ ,  $\lambda \geq 1.025$ ), con valores inferiores a 15. El mayor factor de cresta se da con gasolina Súper (RON 91.2) y mezcla pobre ( $\lambda 1.05$ ), con valores superiores a 30, aumentando notablemente la detonación en el motor.

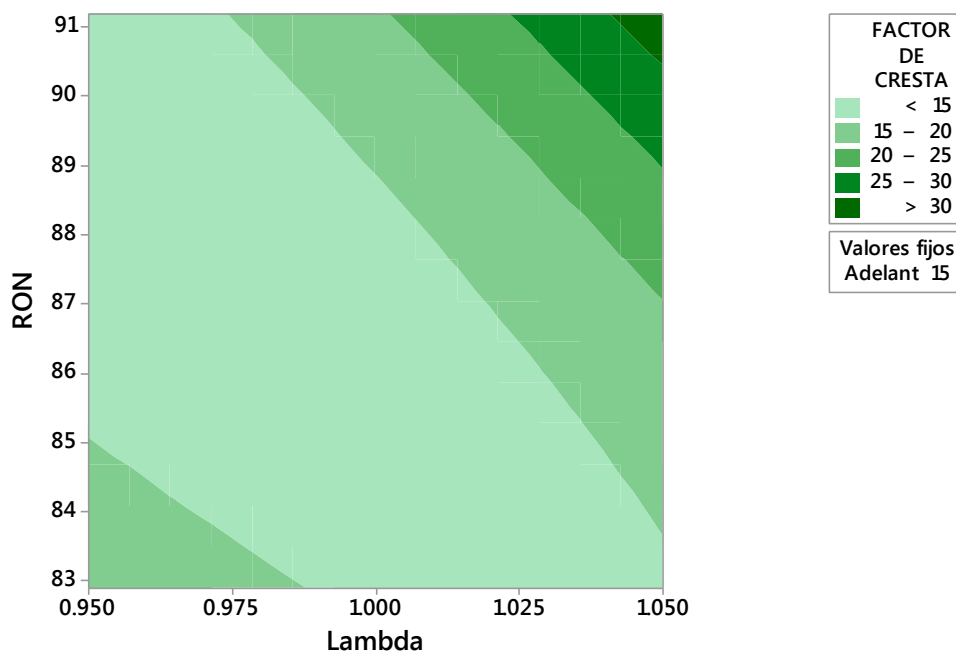


Figura 6.65 Gráfica de contornos para el factor de cresta respecto al octanaje del combustible y de lambda  
El comportamiento del factor de cresta se detalla en la ecuación 6.14, la misma que se indica a continuación.

FACTOR DE CRESTA ( 6.13 )

$$\begin{aligned}
 &= 5502 - 5095 \lambda + 1.1 \alpha - 69.3 \text{ Ron} + 1225 \lambda^2 \\
 &- 0.185 \alpha^2 + 0.217 \text{ Ron}^2 - 0.2 \lambda * \alpha + 31.3 \lambda * \text{Ron} \\
 &+ 0.056 \alpha * \text{Ron}
 \end{aligned}$$

En la gráfica 6.66, se muestra el factor de cresta respecto al octanaje del combustible (ROM) y lambda, el cual tiene un comportamiento parabólico, al utilizar la gasolina Ecopaís con mezcla pobre, se obtienen valores bajos del factor de cresta, es decir en este caso el motor no sufrirá detonaciones graves. Al utilizar gasolina Súper con mezcla pobre se obtienen los valores más altos del factor de cresta por ende las detonaciones serán mayores.

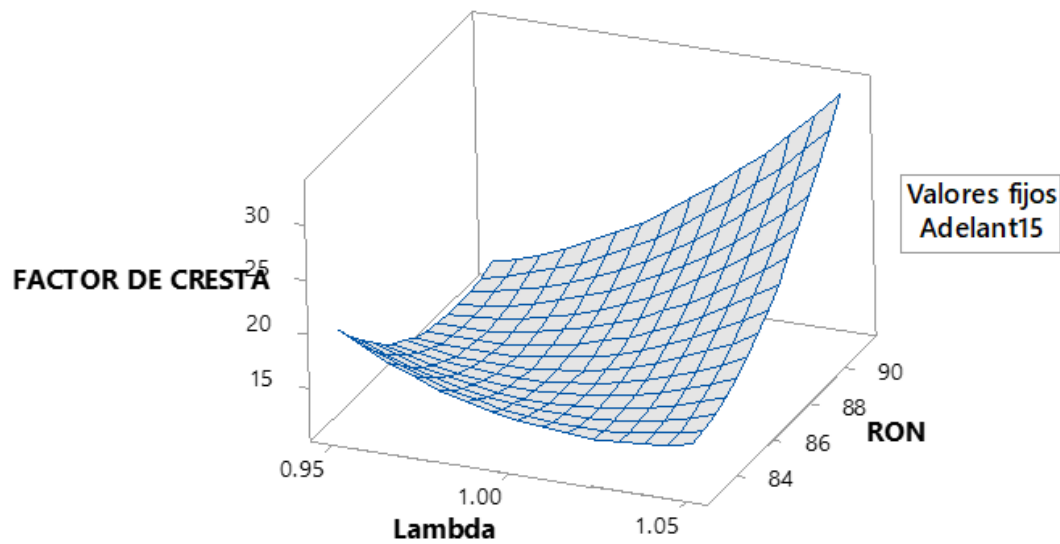


Figura 6.66 Gráfica de superficie del factor de cresta respecto al octanaje del combustible (ROM) y los valores de lambda

#### 6.4.5.2 Normalización de los factores

Se realiza la normalización de los factores para cuantificar de mejor manera los efectos de detonación del motor, esto se realiza con respecto al motor en condiciones de funcionamiento recomendadas por el fabricante. En la tabla 6.30, se presenta los valores de normalización de factores.

Tabla 6.30 Valores de normalización de los factores

ADELANTO AL ENCENDIDO	FACTOR DE CURTOSIS	ENERGÍA	RMS	FACTOR DE CRESTA	POTENCIA
10°	0.47	0.44	0.75	0.5	0.43
12°	0.54	0.44	0.75	1	0.45
15°	0.84	0.57	0.75	0.92	0.57
17°	0.68	0.6	0.75	0.99	0.6
20°	1	0.9	1	0.91	0.9
22°	0.95	1	1	0.74	1

En la figura 6.67, se puede apreciar las diferentes caracterizaciones de la señal de vibración del motor respecto al adelanto de encendido.

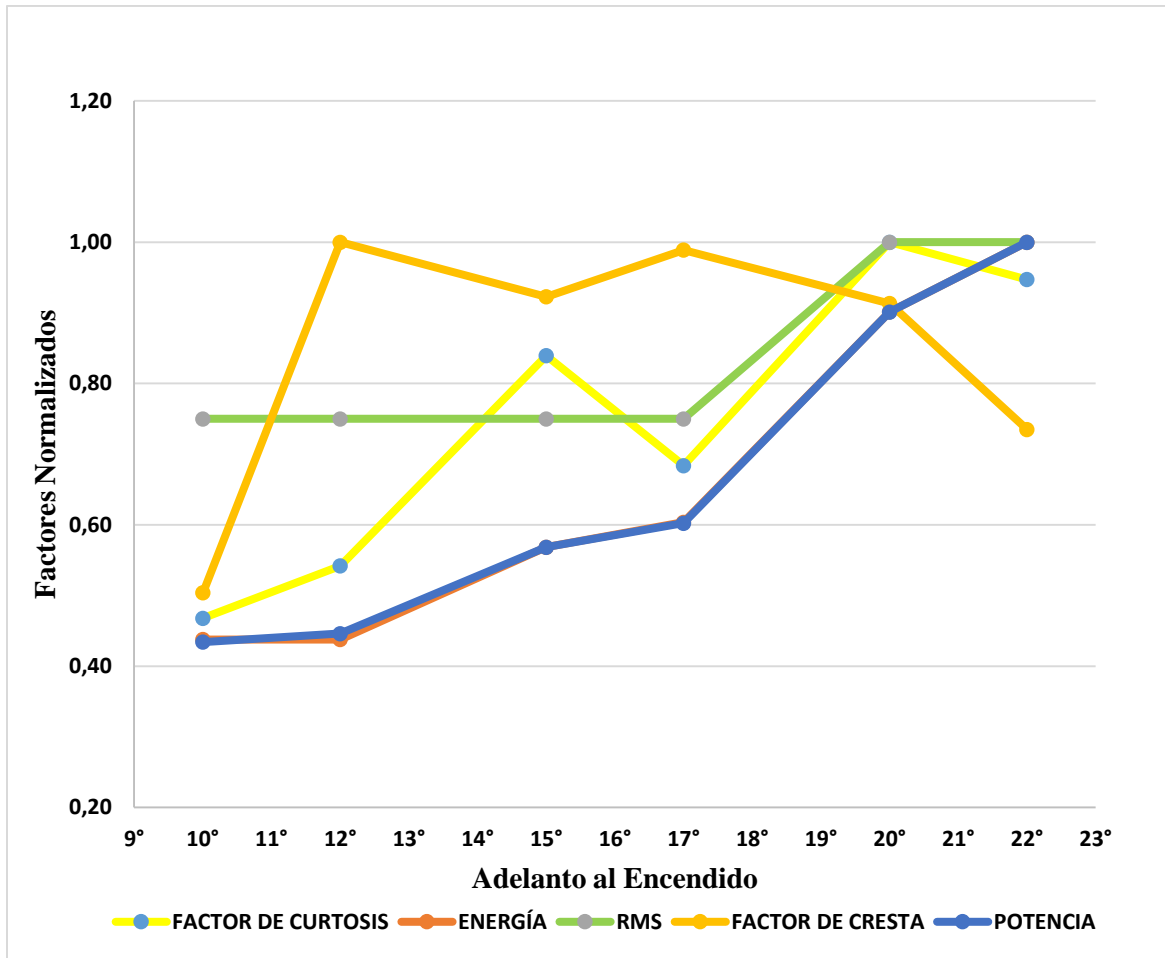


Figura 6.67 Caracterizaciones de la señal de vibración del motor.

#### 6.4.5.2.1 Índice de normalización

Se utiliza para evaluar el efecto que produce la detonación del motor en un solo factor, se obtiene de la medida de los efectos individuales de cada factor respecto del valor normalizado por el fabricante. Para adquirir el índice de normalización se utiliza la ecuación 6.14.

$$I_N = \frac{\left| \frac{E}{E_0} - 1 \right| + \left| \frac{C}{C_0} - 1 \right| + \left| \frac{RMS}{RMS_0} - 1 \right| + \left| \frac{FC}{FC_0} - 1 \right| + \left| \frac{P}{P_0} - 1 \right|}{5} \quad (6.14)$$

Para el vehículo de estudio el índice normalizado es a 12° de adelanto al encendido, con lambda estequiométrica y con gasolina súper, con esta configuración se tiene un valor de índice normalizado de 0. En la tabla 6.31, se observa los datos obtenidos.

Tabla 6.31 Valores del índice normalizado

<b>GRADOS DE ADELANTO AL ENCENDIDO</b>	<b>ÍNDICE NORMALIZADO</b>
10°	0.13
12°	0.00
15°	0.24
17°	0.20
20°	0.67
22°	0.77

En la figura 6.68, se puede observar que los valores del índice normalizado aumentan acorde se aumenta el adelanto al encendido, por ende, el autoencendido del motor será más alto cuando se trabaje con valores elevados del adelanto al encendido.

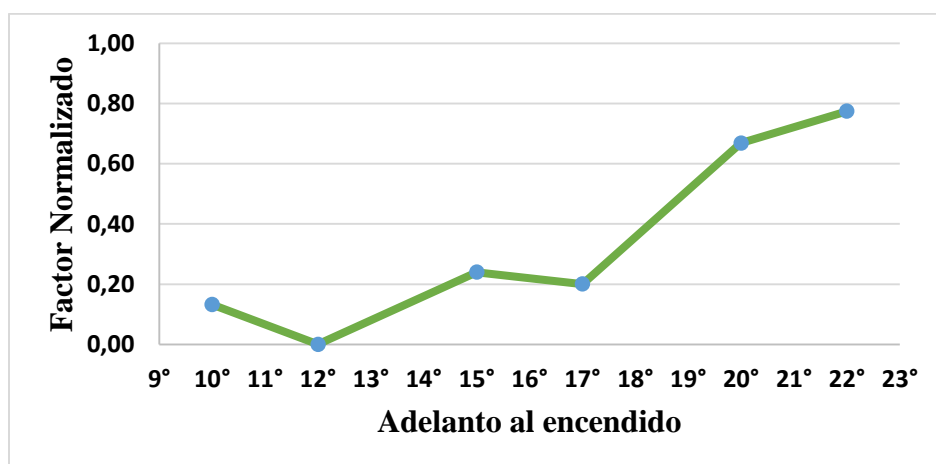


Figura 6.68 Valores calculados del índice normalizado

## 6.4.6 ANALISIS COMPARATIVO

En el siguiente análisis se detalla cómo se ven afectados tanto los gases de escape y las prestaciones del vehículo, con los diferentes tipos de gasolina empleadas en el estudio.

### 6.4.6.1 EMISIONES CONTAMNANTES

#### 6.4.6.1.1 Hidrocarburos no Combustionados (HC)

**Súper y Ecopaís**

En la figura 6.69, se muestra la comparación de la concentración de HC obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede apreciar que:

- La menor concentración de HC se obtiene con gasolina Ecopaís, adelanto al encendido de 10° y mezcla pobre (lambda 1.05); un comportamiento similar se observa con gasolina Súper, adelanto al encendido de 10° y mezcla pobre (lambda 1.05).
- La mayor concentración de HC se obtiene con gasolina Ecopaís, mezcla rica (lambda 0.95) y adelanto al encendido de 20°.

En la figura 6.69, se puede observar que con mezcla pobre (lambda 1.05) y adelanto al encendido de 20° la emisión de HC es menor con gasolina Súper que con gasolina Ecopaís, con las mismas condiciones.

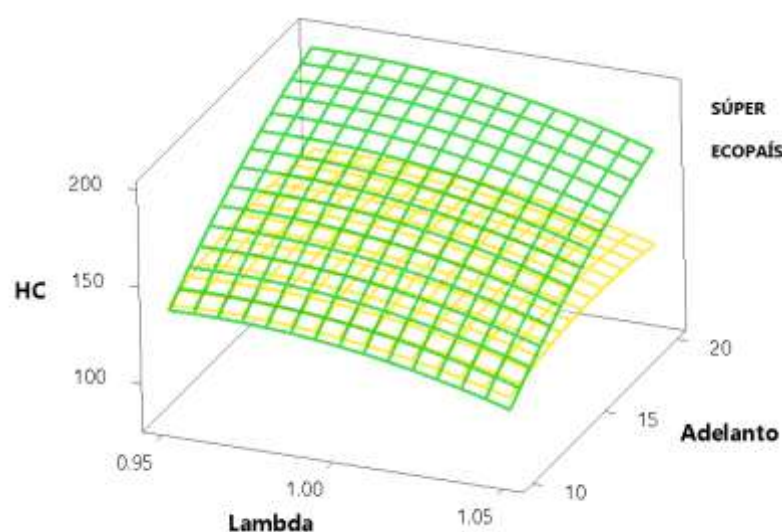


Figura 6.69 Comparación de la concentración de HC obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

### **Súper y mezcla de Súper y Ecopaís**

En la figura 6.70, se muestra la comparación de la concentración de HC obtenido con gasolina Súper y la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede apreciar que:

- La menor concentración de HC se obtiene con la mezcla de las dos gasolinas, con adelanto al encendido de 10° y con mezcla pobre (lambda 1.05).

- La mayor emisión de HC se da con la mezcla de las dos gasolinas, con adelanto al encendido de 20° y con mezcla rica (lambda 0.95), en comparación a la gasolina Súper.

En la figura 6.70, se puede observar que con mezcla rica (lambda 0.95) y adelanto al encendido de 20° la emisión de HC es menor con gasolina Súper que con la mezcla de las dos gasolinas, con la misma configuración.

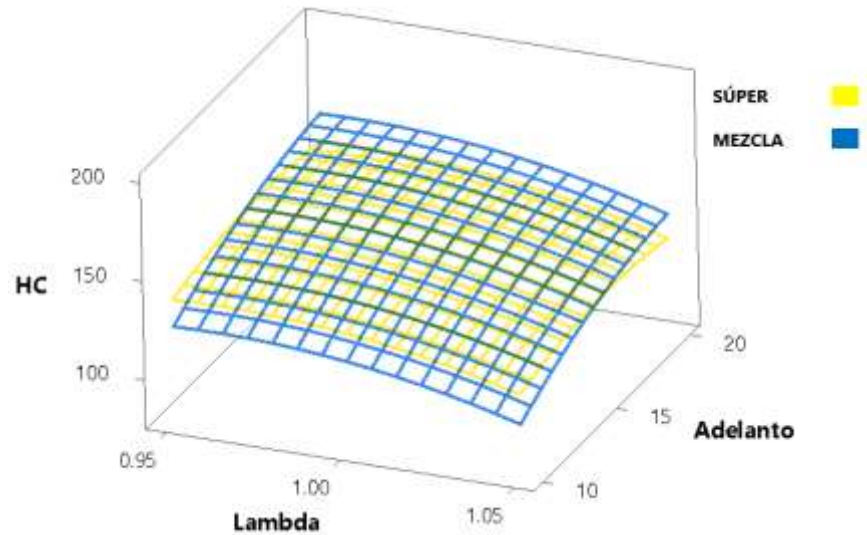


Figura 6.70 Comparación de la concentración de HC obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (Súper-Ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

#### 6.4.6.1.2 Monóxido de Carbono (CO)

##### Súper y Ecopaís

En la figura 6.71, se muestra la comparación de las emisiones de CO obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede notar que:

- La menor emisión de CO se da con gasolina Ecopaís, adelanto al encendido de 10° y mezcla rica (lambda 0.95).
- La mayor concentración de CO se tiene con gasolina Súper adelanto al encendido de 10° y mezcla rica (lambda 0.95).



En la figura 6.71, se puede observar que con mezcla rica ( $\lambda$  0.95) y adelanto al encendido de  $10^\circ$  la emisión de CO es menor con gasolina Ecopaís que con gasolina Súper, con la misma configuración.

En la figura 6.71, se aprecia que la gasolina Ecopaís como la Súper se comporta de igual forma la emisión de CO con mezcla pobre ( $\lambda$  1.05) y adelanto al encendido de  $20^\circ$ , bajo las mismas condiciones.

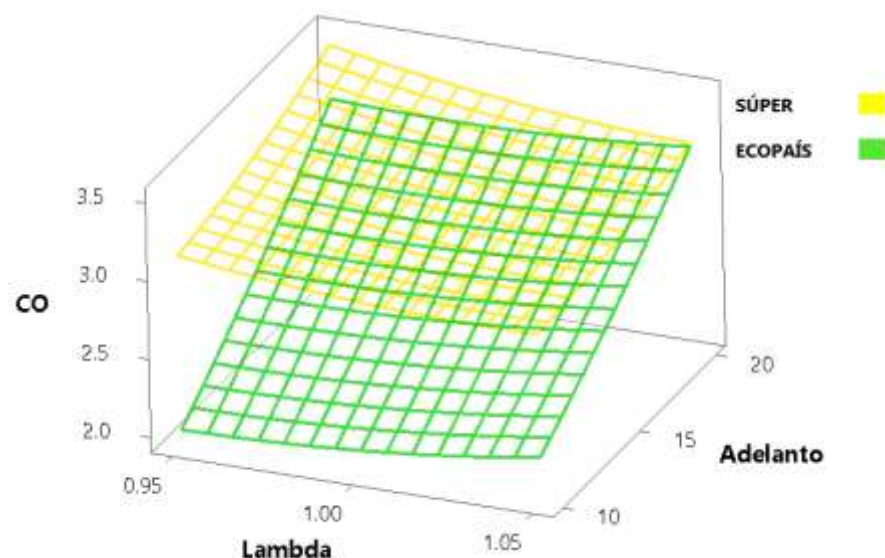


Figura 6.71 Comparación de la concentración de CO obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

### **Súper y mezcla de Súper y Ecopaís**

En la figura 6.72, se muestra la comparación de la emisión de CO obtenido con gasolina Súper y la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede apreciar que:

- La menor concentración de CO se obtiene con la mezcla de las dos gasolinas, adelanto al encendido de  $10^\circ$  y mezcla rica ( $\lambda$  0.95).
- La mayor emisión de CO se da con gasolina Súper, adelanto al encendido de  $10^\circ$  y mezcla rica ( $\lambda$  0.95).

En la figura 6.72, se puede observar que con mezcla rica ( $\lambda$  0.95) y adelanto al encendido de  $20^\circ$  la emisión de CO es mayor con gasolina Súper que con la mezcla de las dos gasolinas, en iguales condiciones.

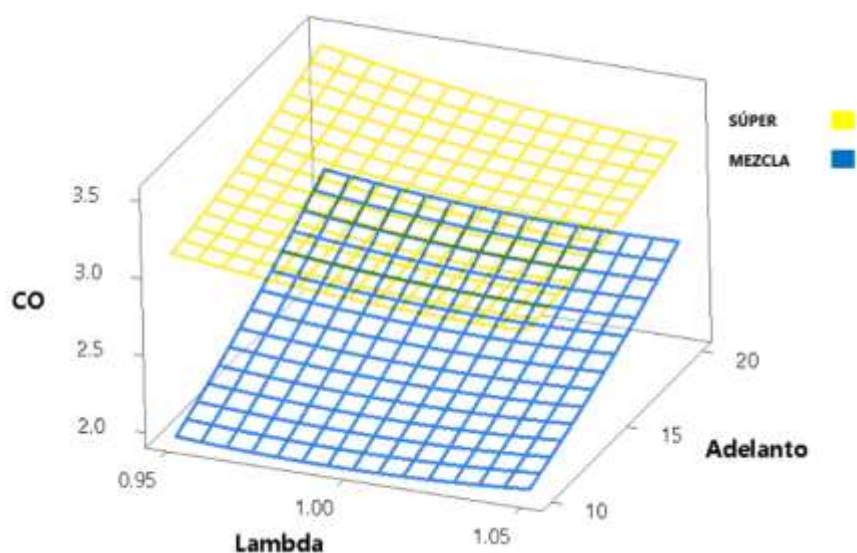


Figura 6.72 Comparación de la concentración de CO obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (súper-ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

#### 6.4.6.1.3 Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )

##### Súper y Ecopaís

En la figura 6.73, se puede muestra la comparación de las emisiones de  $\text{CO}_2$  obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede notar que:

- La menor emisión de  $\text{CO}_2$  se da con gasolina Súper, adelanto al encendido de  $10^\circ$  y mezcla rica (lambda 0.95).
- La mayor concentración de  $\text{CO}_2$  se tiene con gasolina Ecopaís, adelanto al encendido de  $10^\circ$  y mezcla rica (lambda 0.95); siendo lo adecuado que el  $\text{CO}_2$  sea alto para reducir emisiones contaminantes.

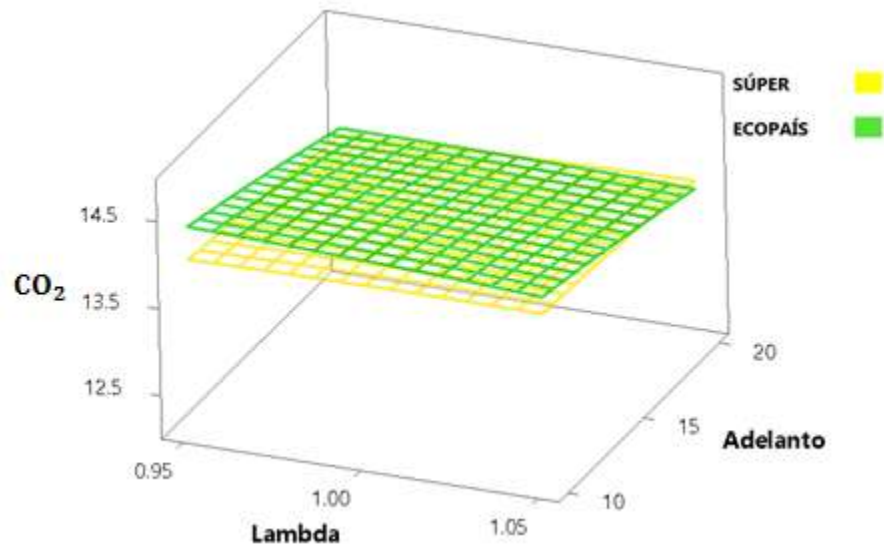


Figura 6.73 Comparación de la concentración de  $\text{CO}_2$  obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

### Súper y mezcla de Súper y Ecopaís

En la figura 6.74, se muestra la comparación de la emisión de  $\text{CO}_2$  obtenido con gasolina Súper y la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede apreciar que:

- La menor concentración de  $\text{CO}_2$  se obtiene con gasolina Súper, adelanto al encendido de  $10^\circ$  y mezcla rica (lambda 0.95).
- La mayor emisión de  $\text{CO}_2$  se da con la mezcla de las dos gasolinas, adelanto al encendido de  $10^\circ$  y mezcla rica (lambda 0.95).

En la figura 7.74, se puede observar que, con la mezcla de las dos gasolinas, existe mayor emisión de  $\text{CO}_2$  con mezcla pobre (lambda 1.05), que con gasolina Súper, en las mismas condiciones.

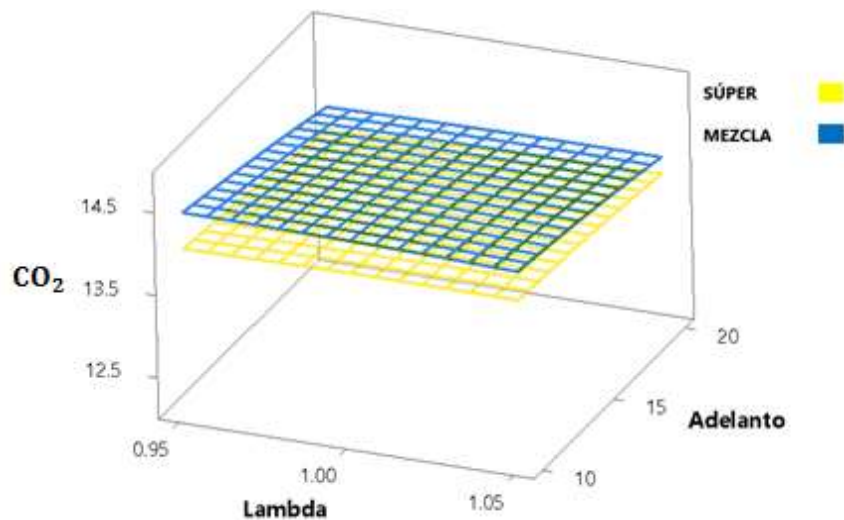


Figura 6.74 Comparación de la concentración de CO<sub>2</sub> obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (súper-ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

#### 6.4.6.1.4 Oxígeno (O<sub>2</sub>)

##### Súper y Ecopaís

En la figura 6.75, se muestra la comparación de las emisiones de O<sub>2</sub> obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede notar que:

- La menor emisión de O<sub>2</sub> se da con gasolina Súper, adelanto al encendido de 20° y mezcla pobre (lambda 1.05).
- La mayor concentración de O<sub>2</sub> se tiene con gasolina Ecopaís, adelanto al encendido de 20° y mezcla rica (lambda 0.95).

En la figura 6.75, se puede observar que con mezcla pobre (lambda 1.05), adelanto al encendido de 20°, las emisiones de O<sub>2</sub>, son menores con gasolina Súper que con Ecopaís, bajo las mismas condiciones.

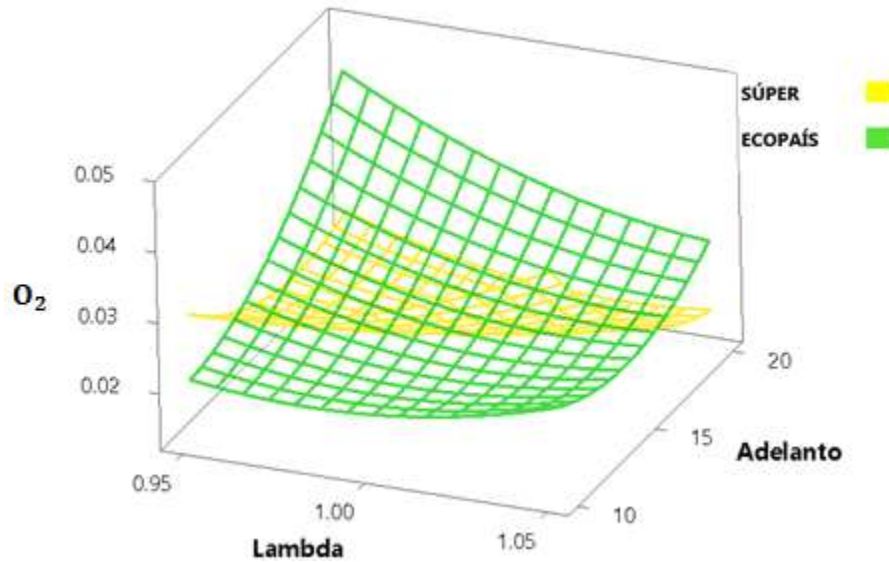


Figura 6.75 Comparación de la concentración de  $O_2$  obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

### Súper y mezcla de Súper y Ecopaís

En la figura 6.76, se muestra la comparación de la emisión de  $O_2$  obtenido, con gasolina Súper y la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede apreciar que:

- La menor concentración de  $O_2$  se obtiene con gasolina Súper y con la mezcla de las 2 gasolinas, adelanto al encendido de  $20^\circ$  y mezcla pobre (lambda 1.05).
- La mayor emisión de  $O_2$  se da con la mezcla de las dos gasolinas con adelanto al encendido de  $10^\circ$  y con mezcla rica (lambda 0.95).

En la figura 6.76, se puede apreciar que con la mezcla de las dos gasolinas existe menor emisión de  $O_2$  con mezcla rica (lambda 0.95) y adelanto al encendido de  $10^\circ$ , en comparación a la emisión de  $O_2$  con gasolina Súper con las mismas condiciones.

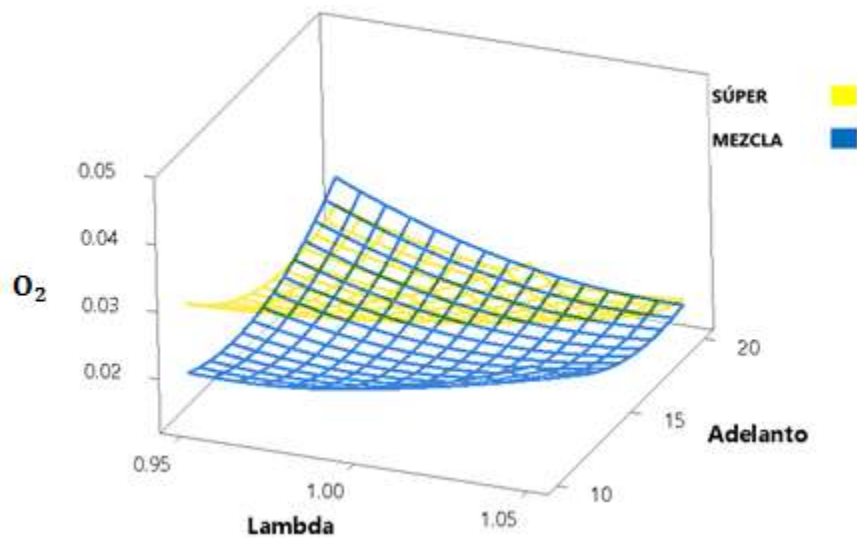


Figura 6.76 Comparación de la concentración de  $O_2$  obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (súper-ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

#### 6.4.6.1.5 Óxidos Nitrosos ( $NO_x$ )

##### Súper y Ecopaís

En la figura 7.77, se muestra la comparación de las emisiones de  $NO_x$  obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede notar que:

- La menor emisión de  $NO_x$  se da con gasolina Súper, adelanto al encendido de  $10^\circ$ , mezcla pobre y rica (lambda 1.05 y 0.95).
- La mayor concentración de  $NO_x$  se tiene con gasolina Súper, adelanto al encendido de  $20^\circ$  y mezcla estequiométrica (lambda 1).

En la figura 6.77, se puede observar que con adelanto al encendido de  $20^\circ$  y mezcla pobre (lambda 1.05), la emisión de  $NO_x$  es menor con gasolina Ecopaís que con Súper, bajo las mismas condiciones.

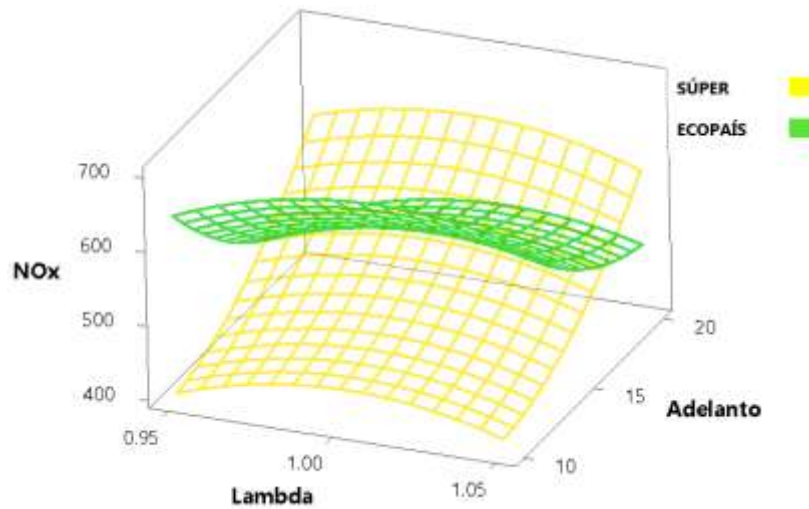


Figura 6.77 Comparación de la concentración de NOx obtenido con gasolina Súper y Ecopaís respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

### Súper y mezcla de Súper y Ecopaís

En la figura 6.78, se muestra la comparación de la emisión de NOx obtenido, con gasolina Súper y la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís respecto del factor lambda y el adelanto al encendido, donde se puede apreciar que:

- La menor emisión de NOx se da con gasolina Súper, adelanto al encendido de 10°, mezcla pobre y rica (lambda 1.05 y 0.95).
- La mayor concentración de NOx se tiene con gasolina Súper, adelanto al encendido de 20° y mezcla estequiométrica (lambda 1).

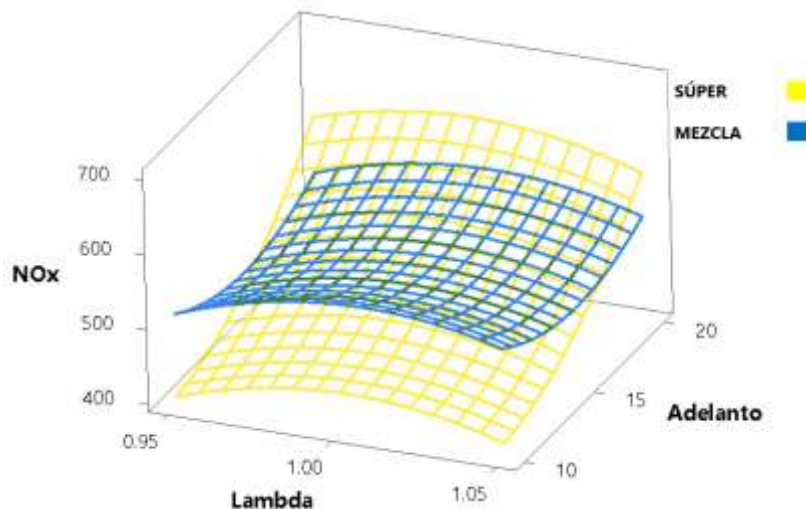


Figura 6.78 Comparación de la concentración de NOx obtenido con gasolina Súper y mezcla de gasolina (súper-ecopaís) respecto del factor lambda y adelanto al encendido.

## 6.4.6.2 PRESTACIONES DEL VEHICULO

### 6.4.6.2.1 Potencia

#### Súper, Ecopaís y mezcla de Súper con Ecopaís

En la figura 6.79, se muestra comparación de la potencia obtenida con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de 50% de Súper y 50% de Ecopaís, respecto del factor lambda y el adelanto al encendido; donde se puede observar que:

- La mayor potencia se obtiene con gasolina Súper, mezcla rica (lambda 0.95) y adelanto de 10°; también se obtiene una potencia similar con la mezcla de gasolina Súper y Ecopaís, mezcla rica (lambda 0.95) y adelanto al encendido de 10°.
- La potencia menor se obtiene con gasolina Ecopaís, mezcla estequiométrica, rica o pobre (lambda 0.95, 1, 1.05) y adelanto al encendido de 10°.

En la gráfica 6.79, se puede apreciar que con mezcla pobre (lambda 1.05) y adelanto al encendido de 20° se comporta mejor en cuanto a potencia, la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís en comparación a la gasolina Súper y Ecopaís, con las mismas condiciones de funcionamiento.



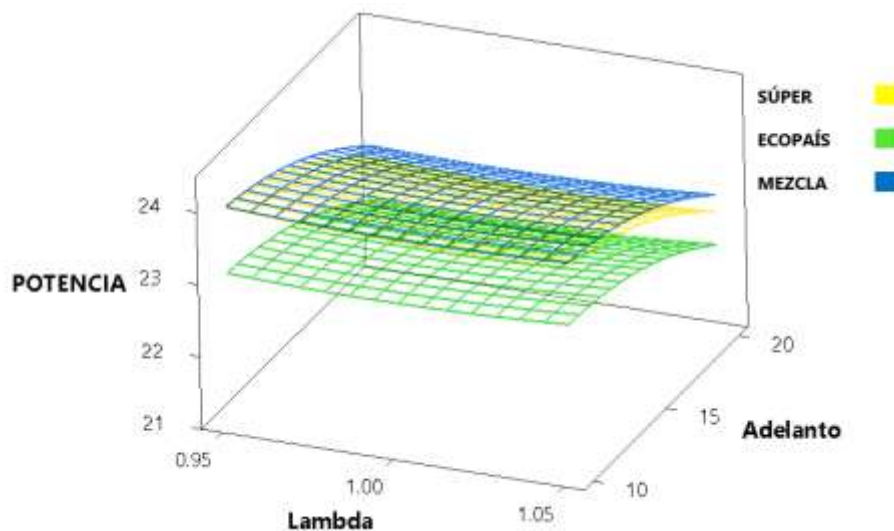


Figura 6.79 Comparación de la potencia obtenida con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de (súper-ecopaís), respecto del factor lambda y el adelanto al encendido

#### 6.4.6.2.2 Fuerza tractora

##### Súper, Ecopaís y la mezcla de Súper con Ecopaís

En la figura 6.80, se muestra comparación de la fuerza tractora obtenida con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de 50% de Súper y 50% de Ecopaís, respecto del factor lambda y el adelanto al encendido; donde se puede observar que:

- La mayor fuerza tractora se obtiene con gasolina Súper, con mezcla rica (lambda 0.95) y con adelanto de 10°; también se obtiene la mayor fuerza tractora con la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís, mezcla rica (lambda 0.95) y con adelanto al encendido de 10°.
- La fuerza tractora menor se obtiene con gasolina Ecopaís, mezcla estequiométrica (lambda 1) y con adelanto al encendido de 10°.

En la gráfica 6.80, se puede apreciar que con mezcla pobre (lambda 1.05) y adelanto al encendido de 20° se comporta mejor en cuanto a la fuerza tractora, la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís en comparación a la gasolina Súper y Ecopaís, con las mismas condiciones de funcionamiento.

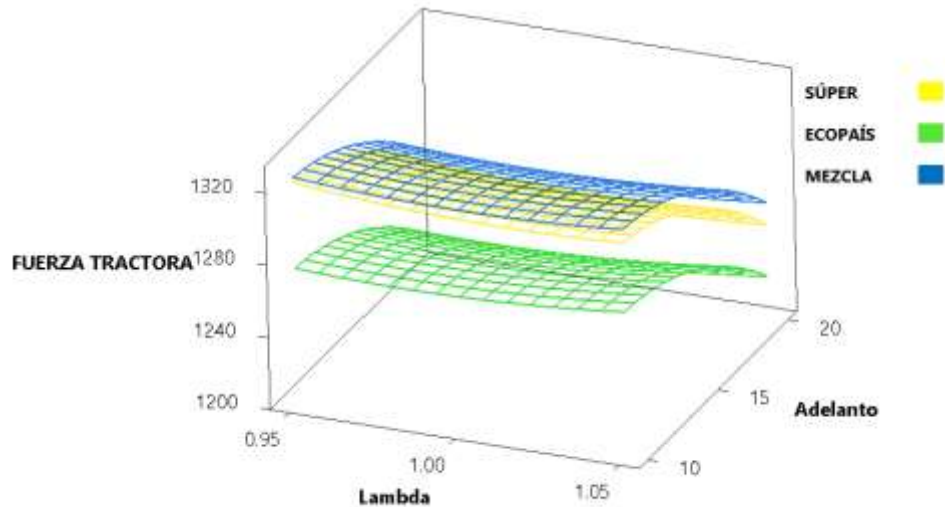


Figura 6.80 Comparación de la fuerza tractora obtenida con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de (súper-ecopaís), respecto del factor lambda y el adelanto al encendido

#### 6.4.6.3 Factor de Cresta

##### Súper, Ecopaís y la mezcla de Súper con Ecopaís

En la figura 6.81, se muestra comparación del factor de cresta obtenido con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de 50% de Súper y 50% de Ecopaís, respecto del factor lambda y el adelanto al encendido; donde se puede observar que:

- El factor de cresta mayor se obtiene con gasolina Súper, con mezcla rica (lambda 0.95) y con adelanto de 20°, obteniendo mayores detonaciones en el motor. El factor de cresta menor se obtiene con gasolina Súper con mezcla rica (lambda 0.95) y con adelanto al encendido de 10°, dando como resultado una disminución notable en las detonaciones del motor.
- En la gráfica 6.81 se observa que, con el uso de la mezcla de las dos gasolinas, se obtiene un factor de cresta bajo, similar al menor obtenido con gasolina súper, con mezcla rica (lambda 0.95) y con adelanto al encendido de 10°, obteniendo menores detonaciones en el motor.

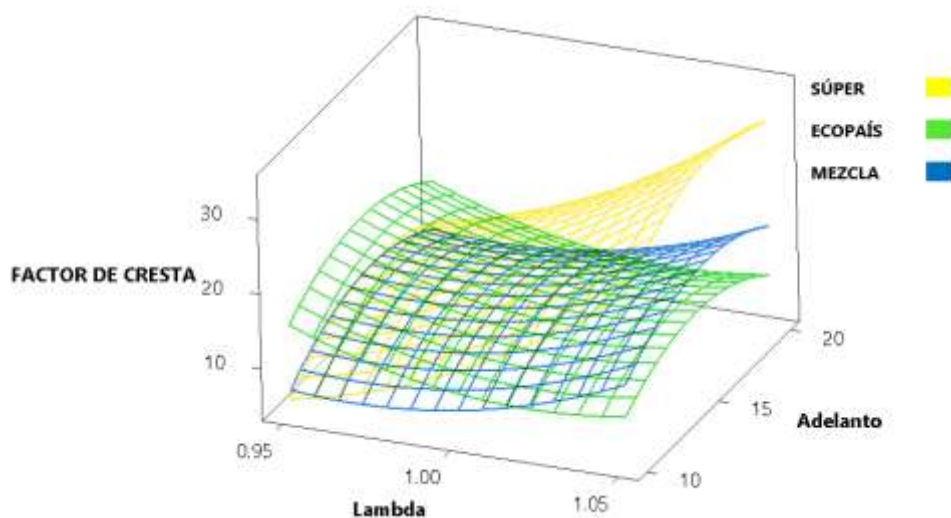


Figura 6.81 Comparación del factor de cresta obtenida con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de (súper-ecopaís), respecto del factor lambda y el adelanto al encendido

#### 6.4.7 OPTIMIZACION

La optimización de los 3 tipos de combustible utilizados en el experimento se ha realizado mediante el método de deseabilidad compuesta por máxima pendiente, esto quiere decir que se busca una combinación de las variables de estudio para obtener los mejores resultados, disminuyendo los gases de escape (CO, HC, NOx) y aumentando la potencia al máximo. La deseabilidad compuesta tiene un rango de cero a uno, siendo uno la situación ideal.

Tabla 6.32 Optimización de Respuestas

OPTIMIZACION DE RESPUESTAS		
Respuesta	Meta	Unidad
P	Maximizar	[Kw]
CO	Minimizar	[% Vol]
HC	Minimizar	[ppm]
NOx	Minimizar	[ppm]

##### 6.4.7.1 Gasolina Súper

Para optimizar el uso de gasolina Súper, es necesario configurar las variables de estudio, obteniendo una deseabilidad de 0.5993; como se indica en la tabla 6.33:

Tabla 6.33 Optimización de la gasolina súper

<b>CONFIGURACION PARA OPTIMIZAR LA GASOLINA SÚPER</b>		
LAMBDA	RON	ADELANTO
1.05	91.2	10°

Con la configuración indicada en la tabla 6.33; se pretende obtener los siguientes valores, indicados en la tabla 6.34, en las variables de respuesta:

Tabla 6.34 Valores de las variables de respuesta deseadas

<b>GASOLINA SÚPER</b>				
<b>Denominación</b>	<b>NOx (ppm)</b>	<b>CO (%Vol)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>Potencia (kW)</b>
<b>Limite</b>	mínimo	mínimo	mínimo	máximo
<b>Valor deseado</b>	410.8889	2.9889	117.7222	23.9069

Los valores obtenidos con la configuración indicada en la tabla 6.33, se indican en la tabla 6.35, con deseabilidad compuesta de 0.6456:

Tabla 6.35 Valores de las variables de respuesta obtenidas.

<b>VALORES OBTENIDOS CON GASOLINA SÚPER</b>				
<b>Denominación</b>	<b>NOx (ppm)</b>	<b>CO (%Vol)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>Potencia (kW)</b>
<b>Valor deseado</b>	410.8889	2.9889	117.7222	23.9069
<b>Valor obtenido</b>	684.5	3.27	135	23.1
<b>Diferencia</b>	273.6111	0.2811	17.2778	0.8069

En la tabla 6.35, se observa que, con la configuración de las variables descrita en la tabla 6.33, el valor obtenido de NOx es mayor 39.97% respecto del valor deseado. Para el caso del

CO el valor obtenido es mayor 8.59% con relación al valor deseado. Para los HC el valor obtenido es mayor 12.79% en comparación al valor deseado. La potencia obtenida es similar a la deseada, siendo el valor de la potencia deseado 3.49% mayor a la deseada.

### Gasolina Ecopaís

Para optimizar el uso de gasolina Ecopaís, es necesario configurar las variables de estudio, obteniendo una deseabilidad de 0.5849, con los valores que se indican en la tabla 6.36:

Tabla 6.36 Optimización de la gasolina ecopaís

<b>CONFIGURACION PARA OPTIMIZAR LA GASOLINA ECOPAIS</b>		
LAMBDA	RON	ADELANTO
1.05	82.9	10°

Con la configuración indicada en la tabla 6.36; se pretende obtener los valores, indicados en la tabla 6.37, en las variables de respuesta:

Tabla 6.37 Valores de las variables de respuesta deseadas

<b>GASOLINA ECOPAIS</b>				
<b>Denominación</b>	<b>NOx (ppm)</b>	<b>CO (% Vol)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>Potencia (kW)</b>
<b>Limite</b>	mínimo	mínimo	mínimo	máximo
<b>Valor deseado</b>	681.5556	2.1972	111.5556	23.1236

Los valores obtenidos con la configuración indicada en la tabla 6.36; se indican en la tabla 6.38, con deseabilidad compuesta de 0.5396:

Tabla 6.38 Valores de las variables de respuesta obtenidas

<b>VALORES OBTENIDOS CON GASOLINA ECOPAIS</b>				
<b>Denominación</b>	<b>NOx (ppm)</b>	<b>CO (% Vol)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>Potencia (kW)</b>
<b>Valor deseado</b>	681.5556	2.1972	111.5556	23.1236
<b>Valor obtenido</b>	447	2.845	174.5	22.45
<b>Diferencia</b>	234.5556	0.6478	62.9444	0.6736

En la tabla 6.38, se observa que con la configuración de las variables descrita en la tabla 6.36, el valor obtenido de NOx es menor 52.47% en comparación al valor deseado. Para el caso del CO el valor obtenido es mayor 22.92% respecto al valor deseado. Para los HC el valor obtenido es mayor 36.071% en relación al valor deseado. La potencia obtenida es menor 3.0004%, respecto a la obtenida.

#### 6.4.7.2 Mezcla de gasolina Súper y Ecopaís

Para optimizar el uso de la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís en el estudio es necesario configurar las variables de estudio, como se indica en la tabla 6.39, obteniendo una deseabilidad de 0.7850, de la siguiente manera:

Tabla 6.39 Optimización de la mezcla de gasolina (Súper-Ecopaís)

<b>CONFIGURACION PARA OPTIMIZAR LA MEZCLA DE GASOLINA SUPER Y ECOPAIS</b>		
<b>LAMBDA</b>	<b>RON</b>	<b>ADELANTO</b>
1.05	87.05	10°

Con la configuración indicada en la tabla 6.39, se pretende obtener los valores, que se observan en la tabla 6.40, en las variables de respuesta:

Tabla 6.40 Valores de las variables de respuesta deseadas

<b>MEZCLA DE GASOLINA SUPER Y ECOPAIS</b>				
<b>Denominación</b>	<b>NOx (ppm)</b>	<b>CO (%Vol)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>Potencia (kW)</b>
<b>Limite</b>	mínimo	mínimo	mínimo	máximo
<b>Valor deseado</b>	537.75	1.96	102.5	23.975

Los valores obtenidos con la configuración indicada en la tabla 6.39; se indican, en la tabla 6.41, con deseabilidad compuesta de 0.5784:

Tabla 6.41 Valores de las variables de respuesta obtenidos

<b>VALORES OBTENIDOS CON LA MEZCLA DE GASOLINA SUPER Y ECOPAIS</b>				
<b>Denominación</b>	<b>NOx (ppm)</b>	<b>CO (%Vol)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>Potencia (kW)</b>
<b>Valor deseado</b>	537.75	1.96	102.5	23.975
<b>Valor obtenido</b>	484	1.99	102	24.1
<b>Diferencia</b>	197.5556	0.2072	9.5556	0.9764

En la tabla 6.41, se observa que, con la configuración de las variables descrita en la tabla 6.40, el valor obtenido de NOx es menor 10.98% en relación al valor deseado. Para el caso del CO el valor obtenido es mayor 1.50% respecto al valor deseado. Para los HC el valor obtenido es menor 0.49% en comparación al valor deseado. La potencia obtenida es mayor 0.52% en relación a la deseada.

#### **6.4.7.3 Datos obtenidos de la optimización**

Los datos obtenidos de la optimización se resumen en la tabla 6.42, a continuación:

Tabla 6.42 Resumen de la optimización.

<b>RESULTADOS DE LA OPTIMIZACION</b>					
<b>Factor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Condición Normal</b>	<b>Optimo Súper</b>	<b>Optimo Ecopaís</b>	<b>Optimo 50% Súper/50% Ecopaís</b>
R	RON	91.2	91.2	82.9	87.05
$\alpha$	°	12	10	10	10
$\lambda$	-	1	1.05	1.05	1.05
P	Kw	22.6	23.1	22.45	24.1
CO	% Vol	3.26	3.27	2.845	1.99
HC	ppm	169	135	174.5	102
NOx	ppm	442	682	447	484

## 6.4.8 ANALISIS COMPARATIVO RESPECTO DE LAS CONDICIONES INICIALES DEL VEHICULO

### 6.4.8.1 Potencia Relativa

En la figura 6.82, se muestra la comparación de potencia relativa con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas utilizadas en el estudio, en relación del factor lambda y el adelanto al encendido; donde se puede apreciar que:

- La potencia relativa con la mezcla de las dos gasolinas es 7.080% mayor, con adelanto al encendido de 10° y mezcla rica (lambda 0.95), respecto de las condiciones iniciales del vehículo.
- La potencia relativa con gasolina ecopaís es menor 2.655%, con mezcla estequiométrica (lambda 1) y adelanto al encendido de 20°, respecto de las condiciones iniciales del motor.
- La potencia relativa, con el empleo de gasolina Súper, incrementa 6.195% con mezcla rica y estequiométrica (Lambda 1 y 0.95) y adelanto al encendido de 10° y 15°, respecto de las condiciones iniciales del vehículo.



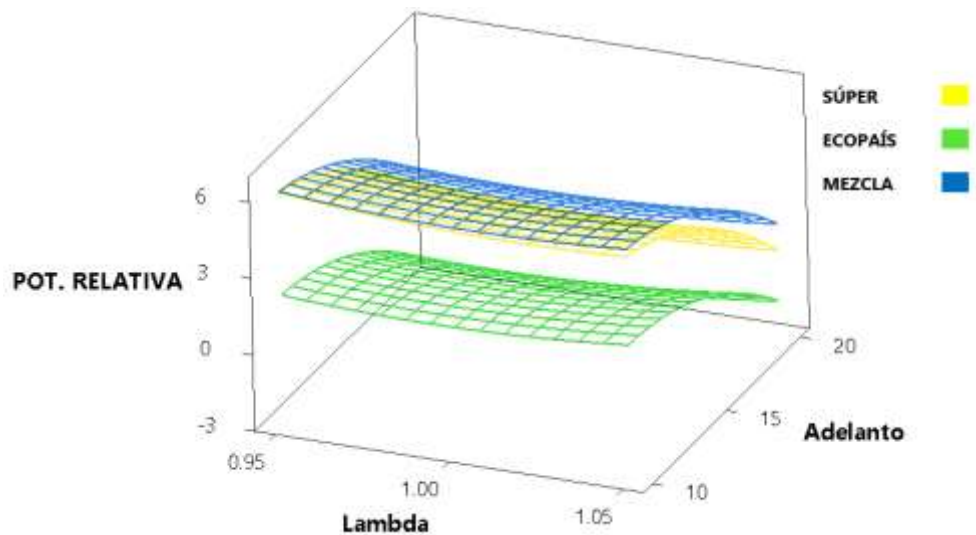


Figura 6.82 Comparación de potencia relativa con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas en relación del factor lambda y adelanto al encendido.

#### 6.4.8.2 HC Relativo

En la figura 6.83, se muestra la comparación de la emisión relativa de HC con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas utilizadas en el estudio, en relación del factor lambda y el adelanto al encendido; donde se puede apreciar que:

- La emisión relativa de HC con la mezcla de las dos gasolinas es 42.60% menor, con adelanto al encendido de 10° y mezcla pobre (lambda 1.05), respecto de las condiciones iniciales del vehículo.
- La emisión relativa de HC con gasolina ecopaís es menor 30.18%, con mezcla estequiométrica (lambda 1) y adelanto al encendido de 10°, respecto de las condiciones iniciales del motor.
- La emisión relativa de HC, con el empleo de gasolina Súper, disminuye 26.63% con mezcla pobre (Lambda 1.05), con adelanto al encendido de 15°, respecto de las condiciones iniciales del vehículo.

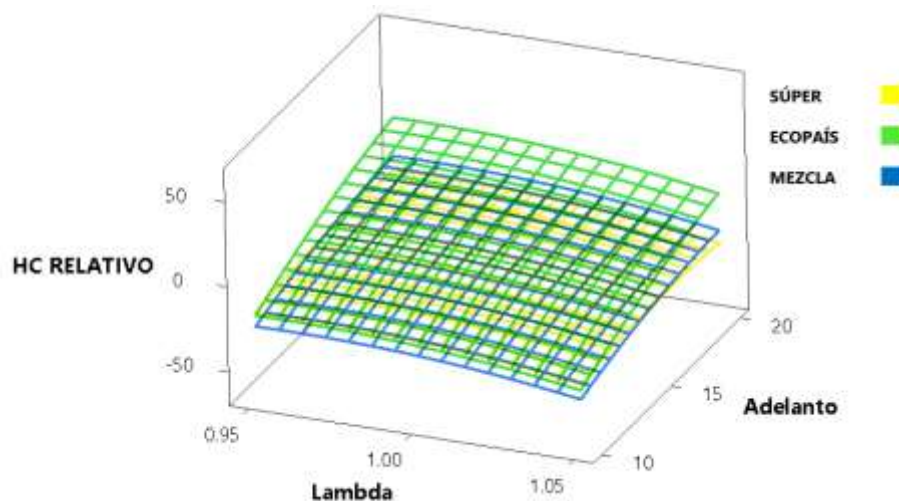


Figura 6.83 Comparación de la emisión relativa de HC con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas en relación del factor lambda y adelanto al encendido.

#### 6.4.8.3 CO Relativo

En la figura 6.84, se muestra la comparación de la emisión relativa de CO con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas utilizadas en el estudio, en relación del factor lambda y el adelanto al encendido; donde se puede apreciar que:

- La emisión relativa de CO con la mezcla de las dos gasolinas es 39.88% menor, con adelanto al encendido de 10° y mezcla rica (lambda 0.95), respecto de las condiciones iniciales del vehículo.
- La emisión relativa de CO con gasolina ecopaís es menor 48.78%, con mezcla estequiométrica (lambda 1) y adelanto al encendido de 10°, respecto de las condiciones iniciales del motor.
- La emisión relativa de CO, con el empleo de gasolina Súper, disminuye 17.49% con mezcla pobre (Lambda 1.05), con adelanto al encendido de 15°, respecto de las condiciones iniciales del vehículo.

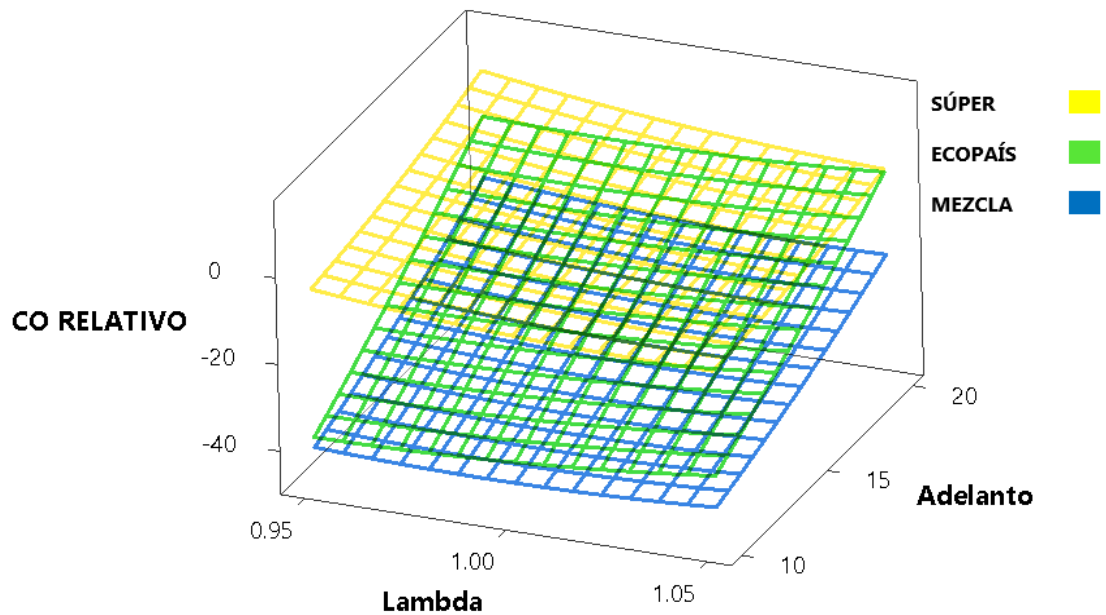


Figura 6.84 Comparación de la emisión relativa de CO con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas en relación del factor lambda y adelanto al encendido.

#### 6.4.8.4 NOx Relativo

En la figura 6.85, se muestra la comparación de la emisión relativa de NOx con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas utilizadas en el estudio, en relación del factor lambda y el adelanto al encendido; donde se puede apreciar que:

- La emisión relativa de NOx con la mezcla de las dos gasolinas es 52.27% menor, con adelanto al encendido de 20° y mezcla rica (lambda 0.95), respecto de las condiciones iniciales del vehículo.
- La emisión relativa de NOx con gasolina ecopaís es menor 23.62%, con mezcla pobre (lambda 1.05) y adelanto al encendido de 15°, respecto de las condiciones iniciales del motor.
- La emisión relativa de NOx, con el empleo de gasolina Súper, disminuye 68.33% con mezcla estequiométrica (Lambda 1), con adelanto al encendido de 10°, respecto de las condiciones iniciales del vehículo.

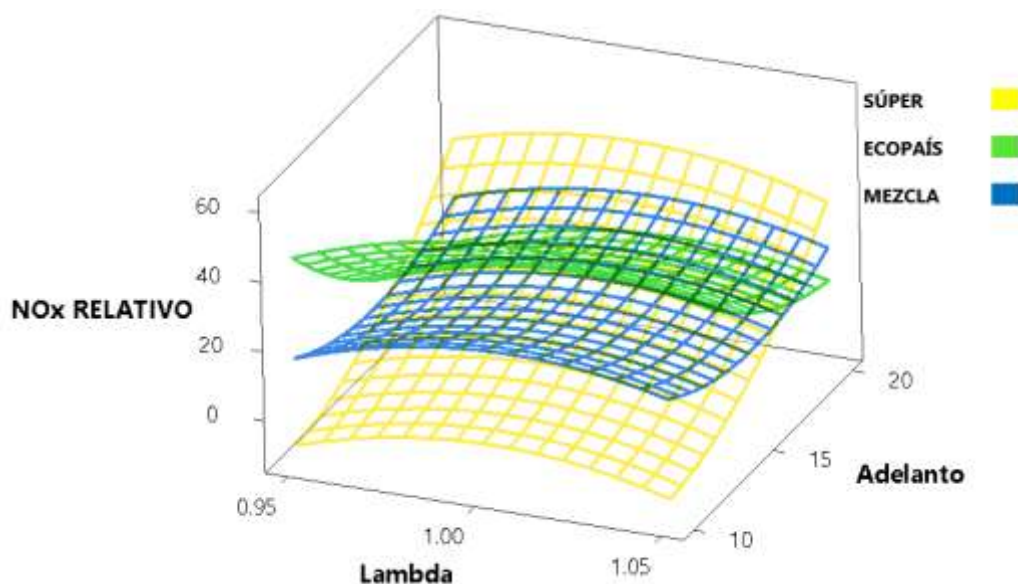


Figura 6.85 Comparación de la emisión relativa de NOx con gasolina Súper, Ecopaís y la mezcla de las gasolinas en relación del factor lambda y adelanto al encendido.

## 6.4.9 ANALISIS RESPECTO DE LA OPTIMIZACION DE LA GASOLINA

### 6.4.9.1 Potencia

Para la optimización de la gasolina Súper, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, la potencia obtenida es mayor en un 2.21%.

Para la optimización de la gasolina Ecopaís, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, la potencia obtenida es menor en un 0.66%.

Para la optimización de la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, la potencia obtenida es mayor en un 6.63%.

### 6.4.9.2 HC Relativo

Para la optimización de gasolina Súper, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, la emisión de HC obtenida es menor en 15.1%.

Para la optimización de la gasolina Ecopaís, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, la emisión de HC obtenida es mayor en 9.75%.

Para la optimización de la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, emisión de HC obtenida es menor en 35.85%.

#### 6.4.9.3 CO Relativo

Para la optimización de gasolina Súper, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, la emisión de CO obtenida es mayor en 0.31%.

Para la optimización de la gasolina Ecopaís, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, la emisión de CO obtenida es menor en 12.73%.

Para la optimización de la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, emisión de CO obtenida es menor en 38.96%.

#### 6.4.9.4 NOx Relativo

Para la optimización de gasolina Súper, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, la emisión de NOx obtenida es mayor en 54.87%.

Para la optimización de la gasolina Ecopaís, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, la emisión de NOx obtenida es mayor en 1.13%.

Para la optimización de la mezcla de gasolina Súper con Ecopaís, respecto de las condiciones iniciales del vehículo, emisión de NOx obtenida es mayor en 9.5%.

#### 6.4.9.5 Error de Ajuste

En la tabla 6.43, se observa el error de ajuste; para determinar dicho error se mantienen fijos los valores de adelanto al encendido a 12° y mezcla estequiométrica (lambda 1) y se varia el RON según el tipo de combustible, donde se puede notar que el error mayor se obtiene con NOx y el menor error se da en la potencia.

Tabla 6.43 Valores del error de ajuste

<b>ERROR DE AJUSTE</b>			
<b>Factor</b>	<b>Súper</b>	<b>Ecopaís</b>	<b>50% Súper/50% Ecopaís</b>
RON	91.2	82.9	87.05
P. rel	0.41578	0.41578	0.331741
CO. rel	2.35327	2.35327	1.87762
HC. rel	2.59484	2.59484	2.07036
Nox. rel	20.5472	20.5472	16.3941

## 7. CONCLUSIONES

- El error mínimo obtenido en la adquisición de datos se da para la medida de potencia con valores comprendidos entre 0.33% y 0.41 %, el error máximo obtenido se da para la medida de NOx con valores comprendidos entre 16.39% y 20.54%; este error se da porque los NOx son más sensibles a las variaciones de temperatura.
- Al utilizar gasolina Súper con adelanto al encendido de 10° y mezcla estequiométrica, hay una reducción en la detonación de 11.17%, con respecto a las condiciones recomendadas por el fabricante ( $\lambda=1$ , AE=12° y gasolina Súper), al utilizar 15° de adelanto al encendido, el nivel de autoencendido del motor aumenta 11.84% con respecto a 12°. Al utilizar el adelanto al encendido de 20° el índice normalizado aumenta 59.78% con respecto a 12°. El autoencendido en el motor depende del adelanto al encendido y del octanaje del combustible, al tener valores del adelanto al encendido mayores a lo especificado por el fabricante y gasolina de menor octanaje, el motor incrementa el autoencendido.
- El uso de gasolina Ecopaís con adelanto al encendido de 10° y mezcla estequiométrica, el índice normalizado aumenta 16.59% con respecto a las condiciones normales de funcionamiento recomendadas por el fabricante. Al utilizar el adelanto al encendido de 15° el índice normalizado aumenta 79.07% con respecto a la gasolina súper utilizando 12°. Al utilizar 20° de adelanto al encendido, el índice normalizado se eleva abruptamente en 247.30%, con respecto a las condiciones recomendadas por el fabricante. Esto se debe a que la gasolina ecopaís tiene menor octanaje, por lo que aumenta considerablemente el autoencendido del motor al aumentar el adelanto al encendido.
- Al utilizar la mezcla de gasolinas (Súper-Ecopaís) con adelanto al encendido de 10° y mezcla estequiométrica, el índice normalizado aumenta 7.01% con respecto a las condiciones recomendadas por el fabricante. Al utilizar el adelanto al encendido de 15° el autoencendido aumenta 74.17% con respecto a 12° y con gasolina Súper. Al utilizar 20° de adelanto al encendido el índice normalizado se incrementa considerablemente en 142.03% con respecto a 12° y utilizando gasolina Súper. Esto se debe a que la mezcla de gasolina (Súper-Ecopaís) mejora sus propiedades

químicas, en especial el octanaje por lo que reduce el autoencendido en el motor con respecto al utilizar gasolina Ecopaís.

- En las emisiones contaminantes se ha determinado que la gasolina Ecopaís emite menores cantidades de CO con adelanto al encendido de  $10^\circ$  y mezcla rica ( $\lambda$  0.95), en comparación a las emisiones de gasolina Súper; caso similar ocurre con las emisiones de NOx que son menores con el empleo de gasolina Ecopaís; en cuanto a las emisiones de HC, es similar con gasolina Súper y Ecopaís con mezcla pobre ( $\lambda$  1.05) y adelanto al encendido de  $10^\circ$ .
- Mediante la optimización del combustible ecopaís se ha establecido que, para reducir las emisiones contaminantes y aumentar la potencia, se debe configurar el factor  $\lambda$  a 1.05 y el adelanto al encendido a  $10^\circ$ ; con esta configuración se determinó que las emisiones de HC son mayores en 39.5ppm en relación a las emitidas con gasolina súper. Las emisiones de NOx son menores en 237ppm en relación a las emitidas con gasolina súper. La concentración de CO con gasolina Ecopaís es mayor 0.425%Vol respecto a las emisiones con el empleo de gasolina Súper. La potencia obtenida con gasolina ecopaís es 0.65KW menor a la obtenida con gasolina Súper.
- Con la mezcla de 50% de gasolina súper y 50% de ecopaís, se mejoran las propiedades del combustible, para lo cual se ha establecido la configuración óptima de las variables de entrada con factor  $\lambda$  de 1.05 y adelanto al encendido de  $10^\circ$ ; dando como resultado una disminución en los HC de 33ppm en relación al empleo de gasolina súper; en el caso de los NOx se reduce 200ppm en comparación al empleo de gasolina súper, pero existe un aumento de 37ppm en comparación al empleo gasolina Ecopaís pura. El CO se ve reducido en 1.28%Vol en comparación al empleo de gasolina Súper y a su vez 0.855%Vol en relación a la gasolina Ecopaís. La potencia es mayor 1KW en comparación al uso de gasolina Súper y 1.65KW mayor en relación al empleo de gasolina Ecopaís. Por lo tanto, para mejorar las propiedades del combustible, reducir emisiones contaminantes y aumentar la potencia del vehículo de estudio, lo óptimo es utilizar 50% de gasolina Súper y 50% de gasolina Ecopaís.

## 8. RECOMENDACIONES

- Repetir el experimento planteado en otros vehículos para poder generalizar el conocimiento de cómo afecta la gasolina Ecopaís a las emisiones contaminantes y prestaciones de los vehículos a nivel local.
- Para realizar la toma de datos se debe seguir el orden aleatorio proporcionado por el diseño de experimentos, con el fin de evitar valores atípicos en los resultados y mantener la confiabilidad del 95% que se obtiene en el software estadístico.
- Antes de realizar la toma de datos se deben realizar pruebas preliminares con el vehículo instrumentado, con el fin de observar que todos los programas de adquisición de datos estén obteniendo adecuadamente los resultados, que los instrumentos de medición estén sincronizados, para de esta manera evitar errores durante el experimento y pérdidas de tiempo.
- Al realizar la toma de datos se debe tener en cuenta que la temperatura del aceite no debe sobrepasar los 92°C, puesto que si se incrementa esta temperatura, el aceite empieza a perder sus propiedades. Si la temperatura del aceite incrementa se debe detener el experimento y encender el ventilador del banco dinamométrico, teniendo en cuenta que los frenos del mismo estén accionados para evitar percances.
- La temperatura de la banda de rodadura debe estar comprendida entre 30 y 35°C, esto con el fin de que los datos obtenidos de potencia y fuerza tractora tengan relación para todas las muestras realizadas; si la temperatura de la banda de rodadura es mayor, tiene más adherencia y la potencia aumenta; caso contrario si la temperatura de la banda de rodadura es menor a los valores establecidos, la potencia se reduce.
- Se debe tener en cuenta que la toma de datos debe realizarse en condiciones climáticas similares, si bien es cierto es un factor incontrolable pero puede llegar a afectar los resultados obtenidos durante las pruebas.



## 9. REFERENCIAS

- 2204, I. (2017). INEN 2204. En Gestion Ambiental. Aire. Vehiculos Automotores. Limites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Moviles Terrestres que Emplean Gasolina. (pág. 3). Quito.
- AEADE. (2014). Asociacion de Empresas Automotrices del Ecuador. Obtenido de [www.aeade.net](http://www.aeade.net)
- Álvarez Flórez, J. A. (2005). Motores Alternativos de Combustion Interna. Barcelona.
- Arizaga, A. A. (2015). Informe de Calidad AIRE Cuenca . EMOV, 17-21.
- CSM. (2017, agosto 8). En el Austro ya se vende Ecopais. El Mercurio.
- Ecuador, F. (2014, octubre 15). forosecuador.ec. Obtenido de forosecuador.ec:  
<http://www.forosecuador.ec/forum/aficiones/autos-y-motos/8460-gasolina-ecopa%C3%ADs>
- EMOV. (2016). Informe de Caidad del Aire. Cuenca.
- Encalada, C. F., & Ñauta, U. P. (2010, Marzo). Incidencia del tipo de Gasolinas, Aditivos y Equipos Optimizadores de Combustible Comercializados en la Cuidad de Cuenca, sobre las Emisiones Contaminantes Emitidas al Aire. Cuenca.
- Francisco Payri, D. J. (2011). Motores de Combustion Interna Alternativos. Valencia: Reverte.
- Garzón, I. G., & Urdiales, B. M. (2017, Julio). Diseño e implementación de un sistema para determinar las fallas mecánicas en motores de encendido provocado mediante redes neuronales artificiales. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Gutiérrez, P. H., & De la Vara, S. R. (s.f.). Analisis y Diseño de Experimentos. En H. G.-R. Vera, Analisis y Diseño de Experimentos (págs. 418-419). Guadalajara, Mexico: Ricardo A. del Bosque Alayón.
- Ledesma. (2010, 5 21). ledesma.com. Obtenido de ledesma.com:  
<http://www.ledesma.com.ar/54/bioetanol>

- Ledesma. (s.f.). ledesma. Obtenido de <http://www.ledesma.com.ar/54/bioetanol>
- MAHA. (s.f.). MAHA. Obtenido de <http://www.maha.de/banco-de-potencia-con-rodillos-partidos-msr-500-2-coche-4x4-lps-3000.htm>
- MAHA. (s.f.). MAHA. Obtenido de <http://www.maha.de/analizador-de-emisiones-mgt-5-mdo2-lon-analizador-combinado.htm>
- mailxmail. (s.f.). Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-emision-gases/tabla-estequiometrica>
- Manuel, A. J. (2000). Tecnicas del Automovil Motores. Madrid.
- Manuel, A. J. (s.f.). Tecnicas del Automovil Motores. En A. J. Manuel, Tecnicas del Automovil Motores (pág. 63).
- Ministerio de Hidrocarburos. (2017, Marzo 28). EP Petroecuador firma contrato con empresas productoras de alcohol para garantizar abastecimiento de Ecopaís. Obtenido de <http://www.hidrocarburos.gob.ec/ep-petroecuador-firma-contrato-con-empresas-productoras-de-alcohol-para-garantizar-abastecimiento-de-ecopais/>
- Mirasol. (2010-2014). Reporte de Ventas.
- National Instruments. (2009). NI USB-6212 User Manual. National Instruments, 60.
- National Instruments. (2013). Getting Started with LabVIEW. Instruments, National, 9.
- National Instruments. (2018). National Instruments. Obtenido de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/207097>
- Ñauta, P., & Encalada, F. (2010). Incidencia del tipo de gasolina, aditivos y equipos optimizadores de combustible comercializados en la ciudad de Cuenca, sobre las emisiones contaminantes emitidas al aire. Cuenca.
- Rivera, N., & Chica, F. (2015). Estudio del Comportamiento de un Motor Ciclo Otto de Inyeccion Electronica Respecto de la Estequiometria de la Mezcla y del Adelanto al Encendido para la Cuidad de Cuenca. Cuenca.

- Saenz, J. O. (2014). Proyecto Ecopais. Galapagos: Ministerio Coordinador de Produccion, Empleo y Competitividad.
- Saragosín Lozada, M. L. (2016, Abril). Incremento en la producción de etanol proveniente de la caña de azúcar. Fundamentos para disminuir la contaminación. Guayaquil, Guayas, Ecuador .
- Sevilla, U. d. (s.f.). laplace. Obtenido de [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Otto](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto)
- Shatox. (s.f.). Shatox. Obtenido de <http://shatox.com/catalog/i-5-analyzer.html>
- SUZUKI. (2000-2010). Service Manual Grand Vitara.
- Tiempo, T. (2016). tutiempo.net. Obtenido de <https://www.tutiempo.net>
- Vanegas, E. (s.f.). Proyecto Ecopais. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/357908420/INFORME-PROYECTO-ECOPAIS-01-03-16-1>

## 10. ANEXOS A

### FIGURAS

#### GRAFICAS DE RESIDUOS

Monóxido de Carbono (CO)

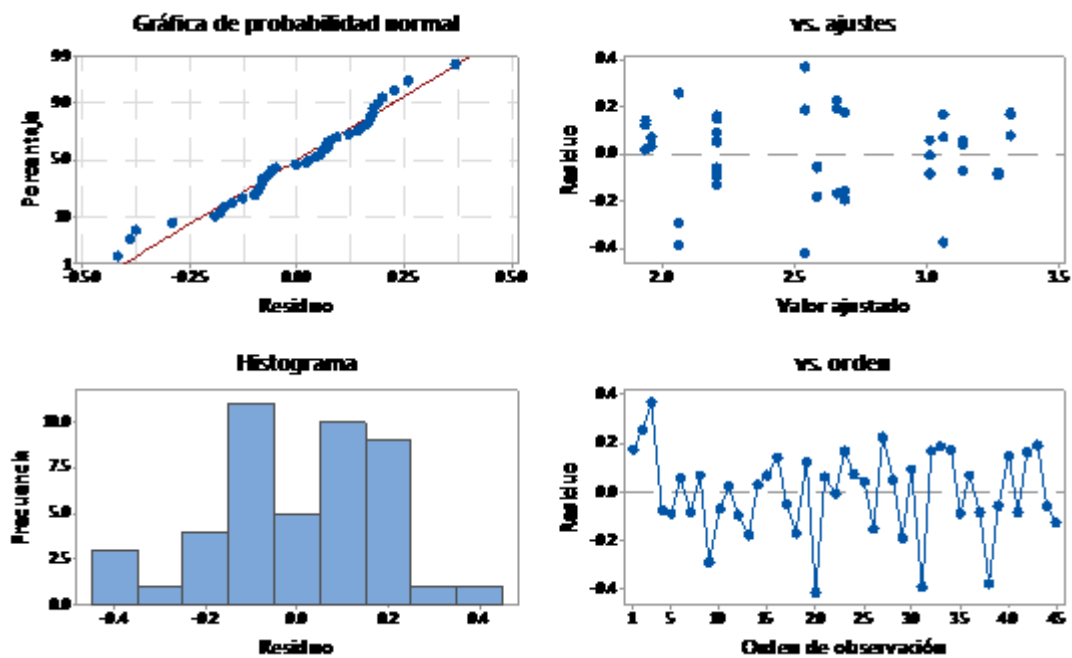


Figura A- 1 Gráfica de Residuos para el CO.

## LAMBDA

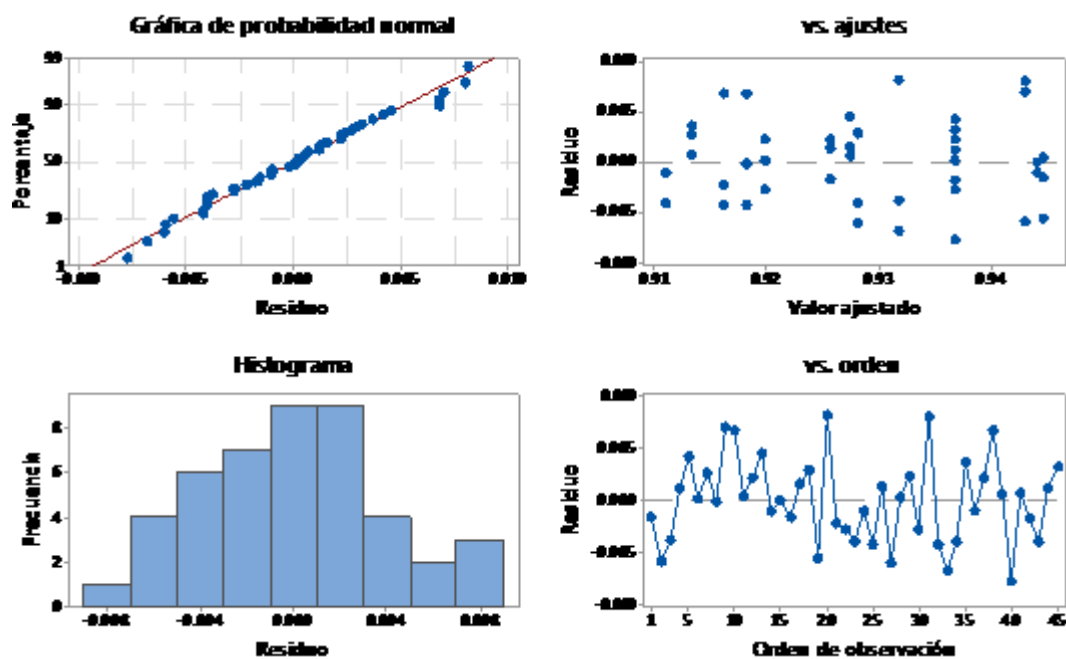


Figura A- 2 Gráfica de Residuos para el Lambda de Respuesta.

## Oxigeno (O<sub>2</sub>)

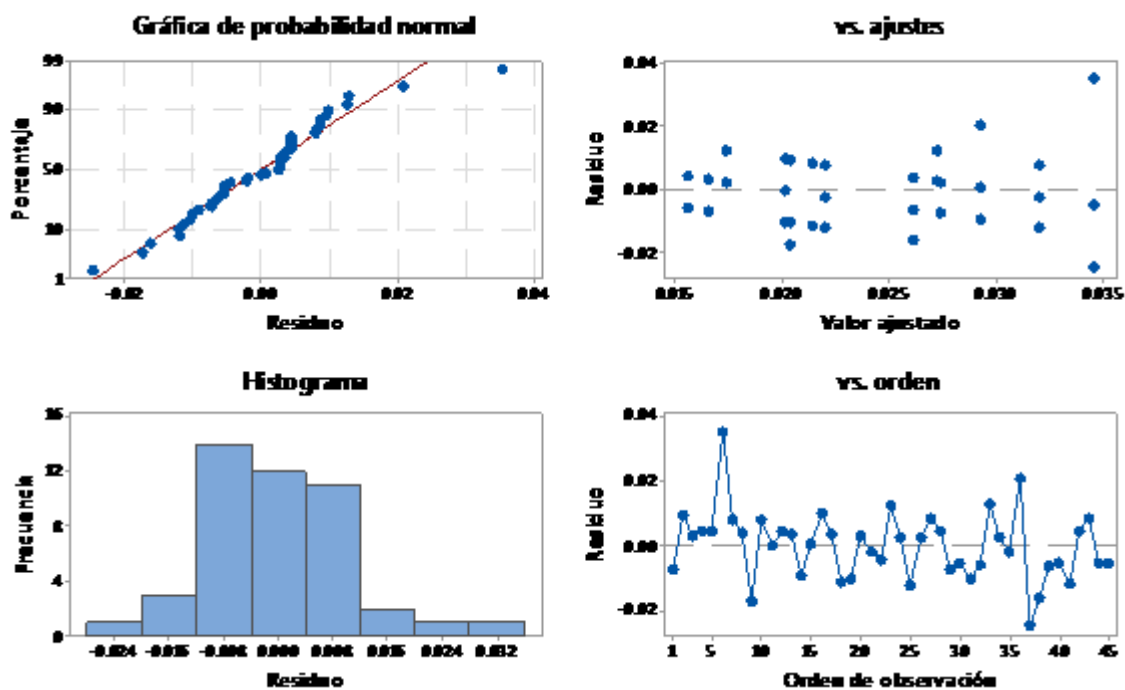


Figura A- 3 Gráfica de Residuos para el O<sub>2</sub>.

## Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

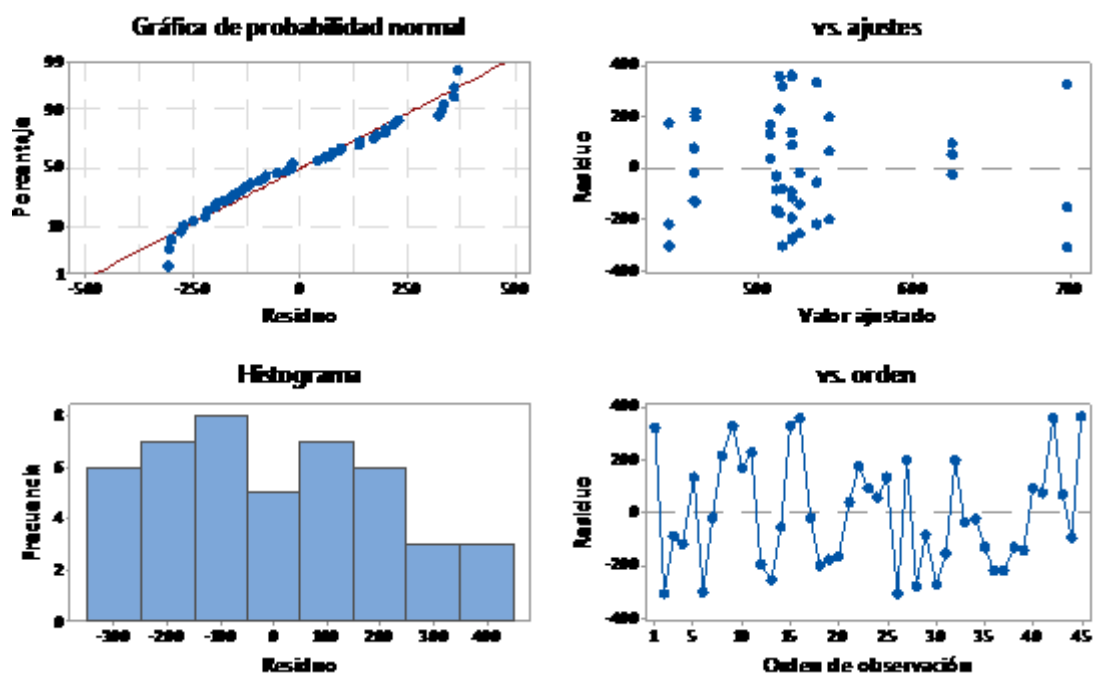


Figura A- 4 Gráfica de Residuos para el NO<sub>x</sub>

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

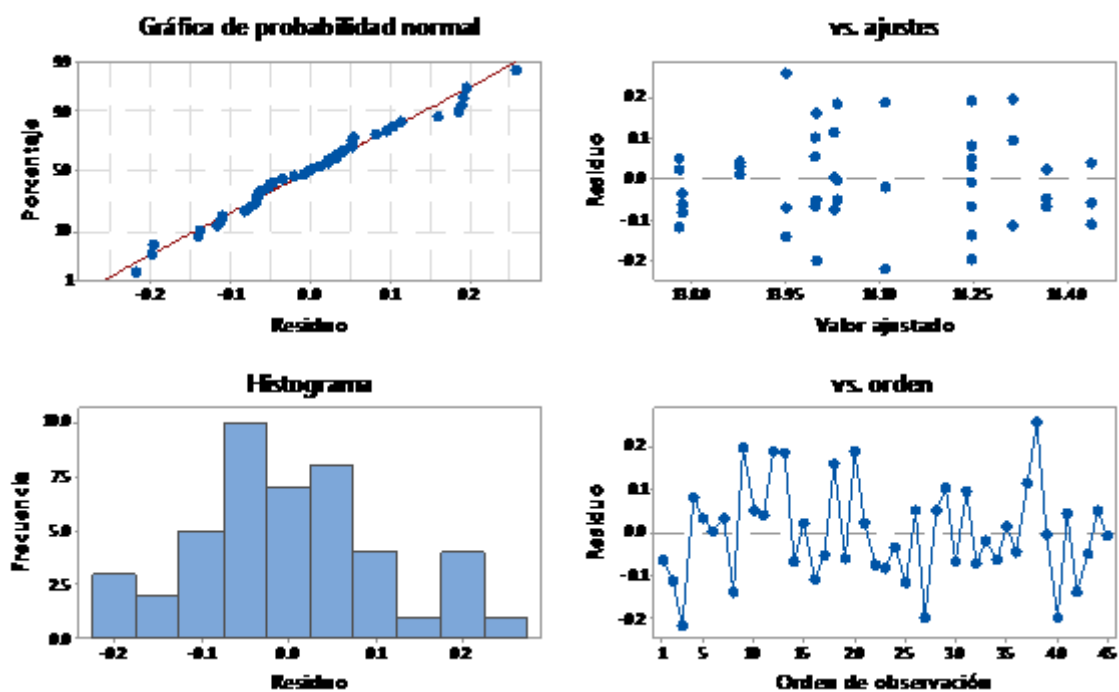


Figura A- 5 Gráfica de Residuos para el CO<sub>2</sub>.

## Hidrocarburos no Combustionados (HC)

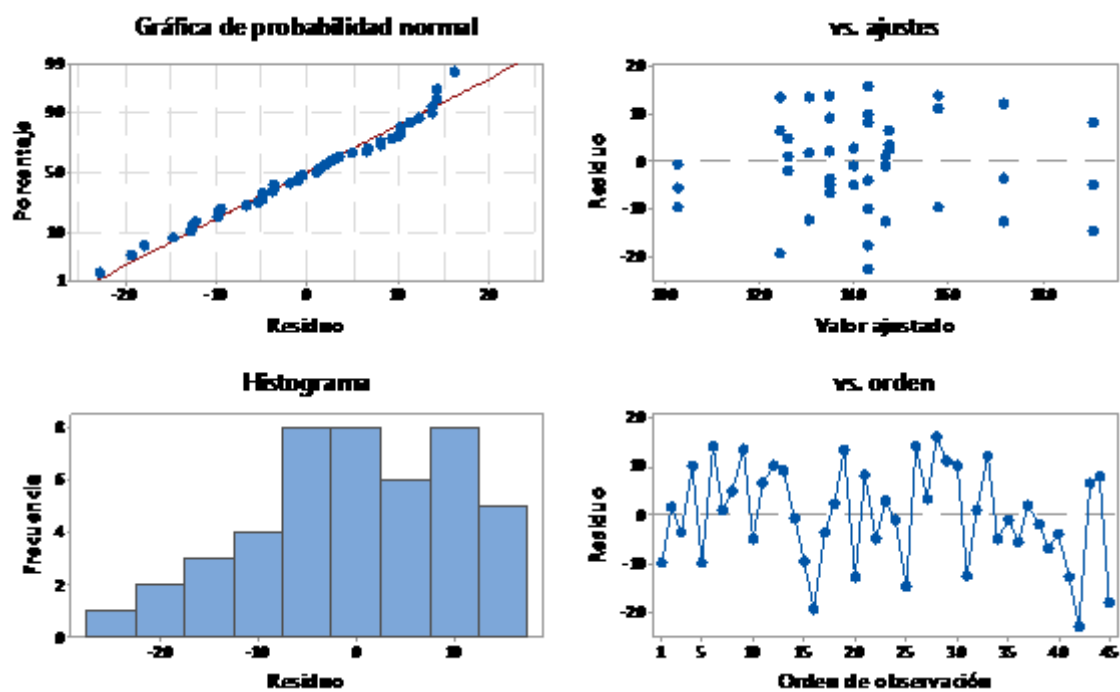


Figura A- 6 Gráfica de Residuos para el HC.

## Temperatura del Aceite

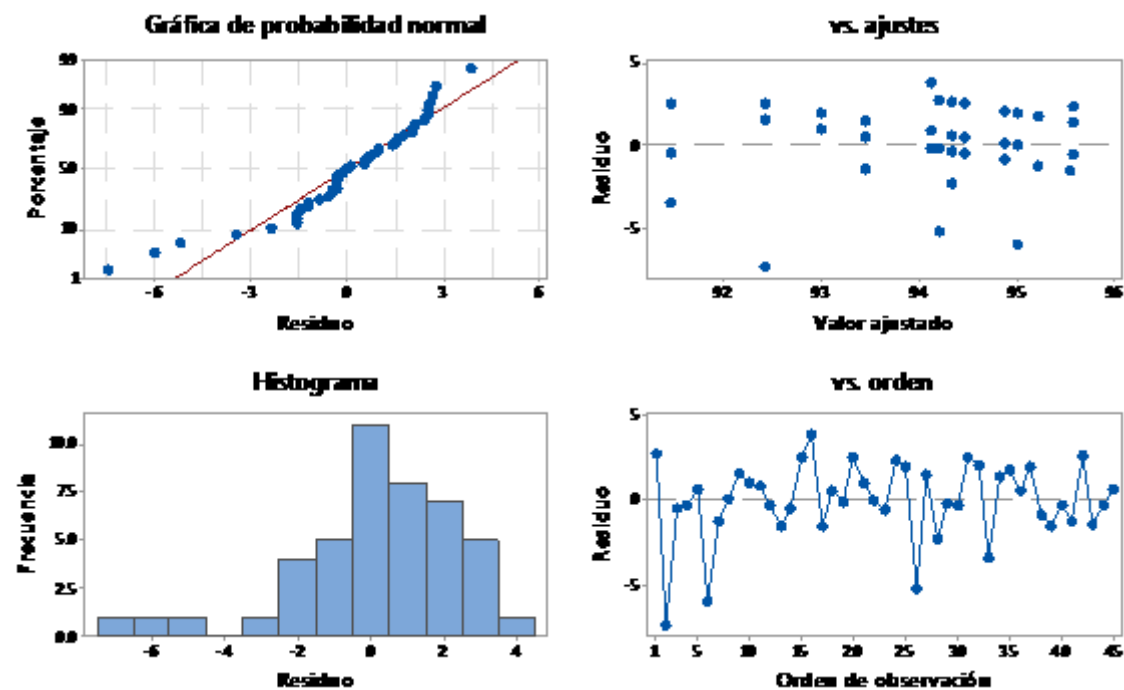


Figura A- 7 Gráfica de Residuos para la Temperatura del Aceite.

## Fuerza Tractora

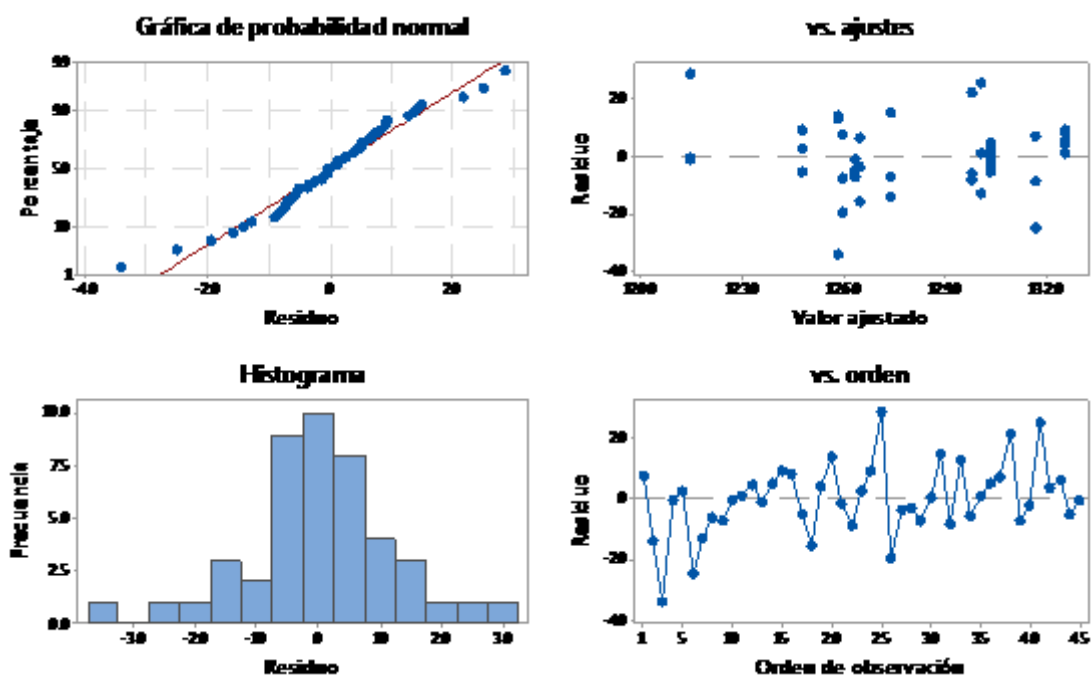


Figura A- 8 Gráfica de Residuos para la Fuerza Tractora.

## Potencia

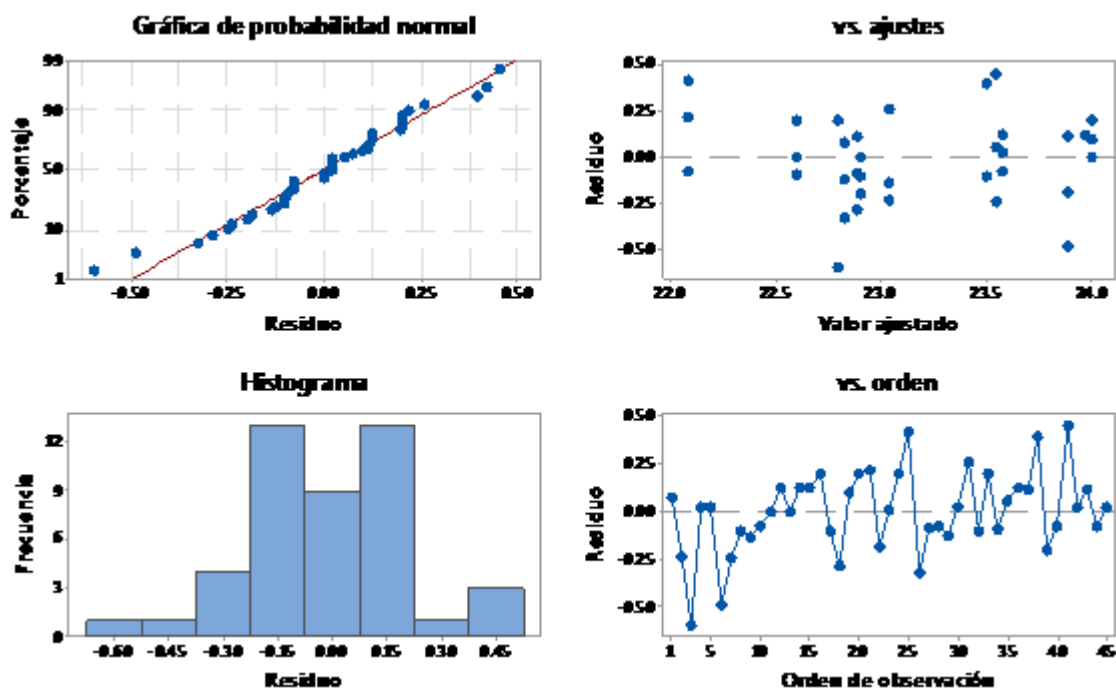


Figura A- 9 Gráfica de Residuos para la Potencia.



## Factor de Curtosis

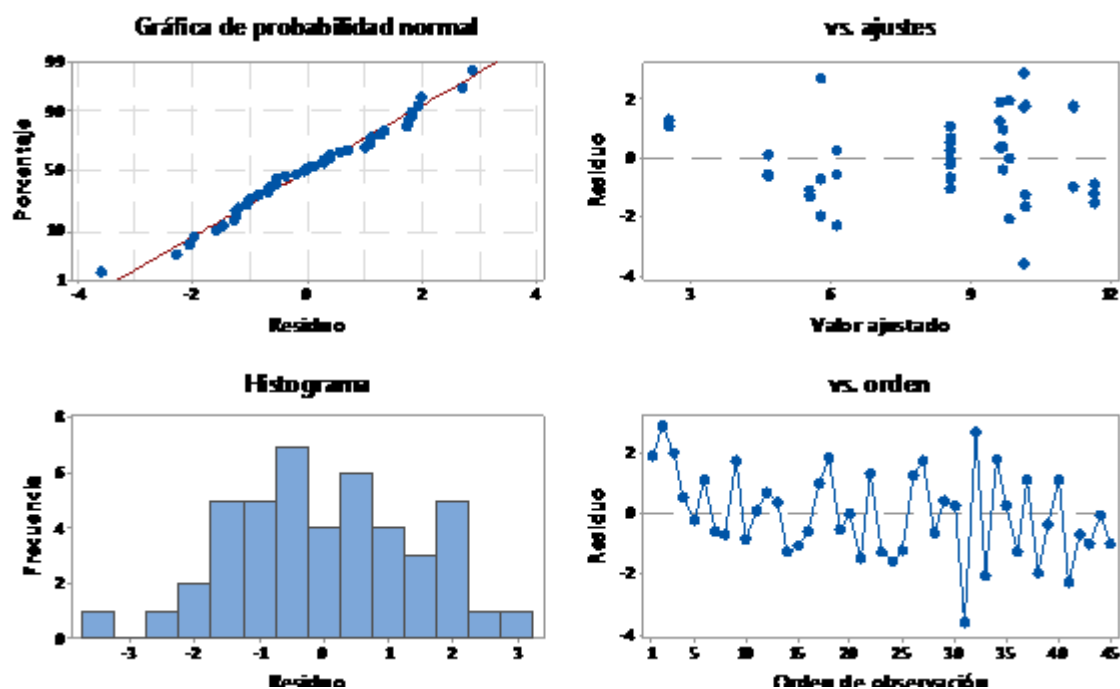


Figura A- 10 Gráfica de residuos para el Factor de curtosis

## Energía

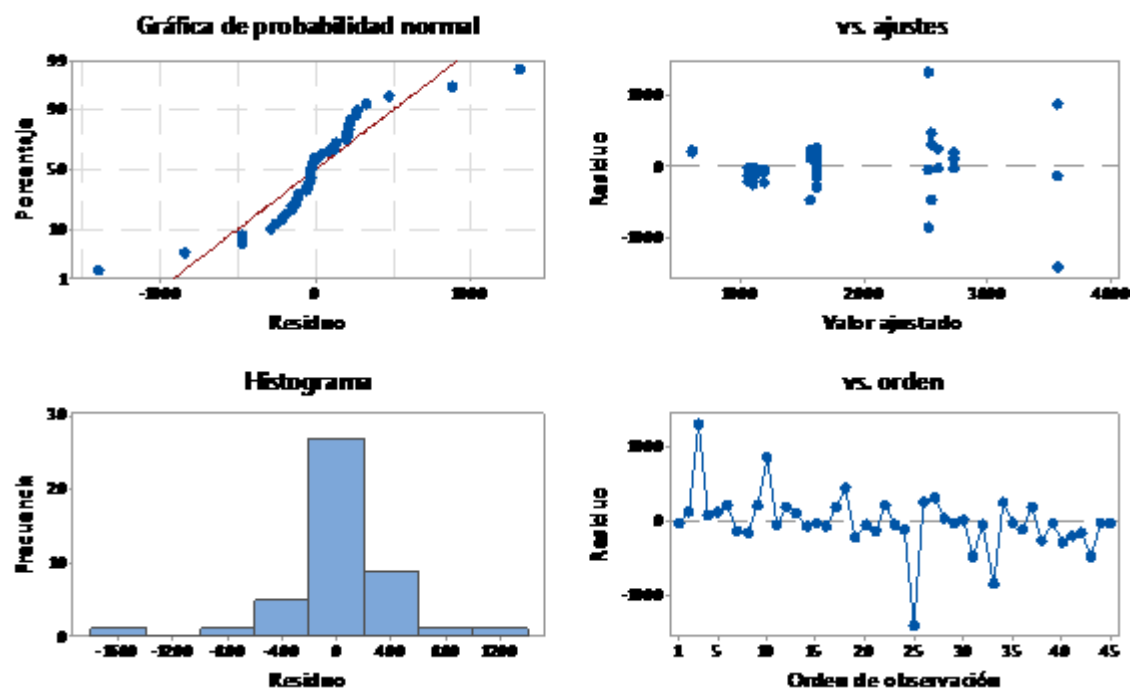


Figura A- 11 Gráfica de residuos para la Energía.

## RMS

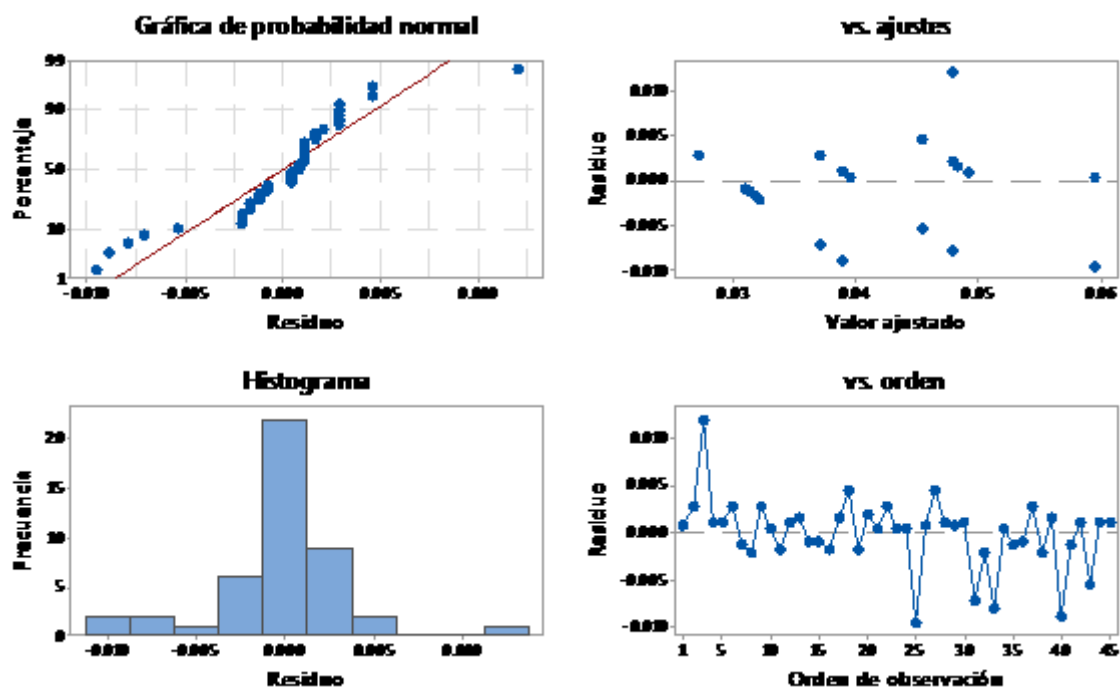


Figura A- 12 Gráfica de residuos para el RMS.

## Factor de Cresta

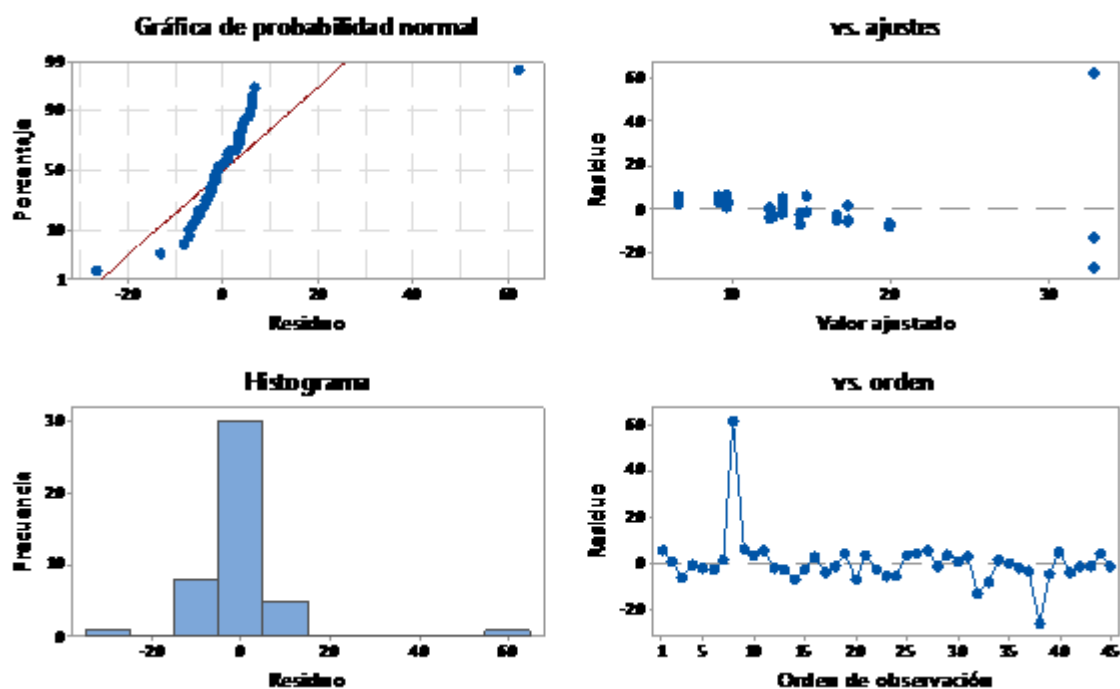


Figura A- 13 Gráfica de residuos para el Factor de cresta.

## Factor de Potencia

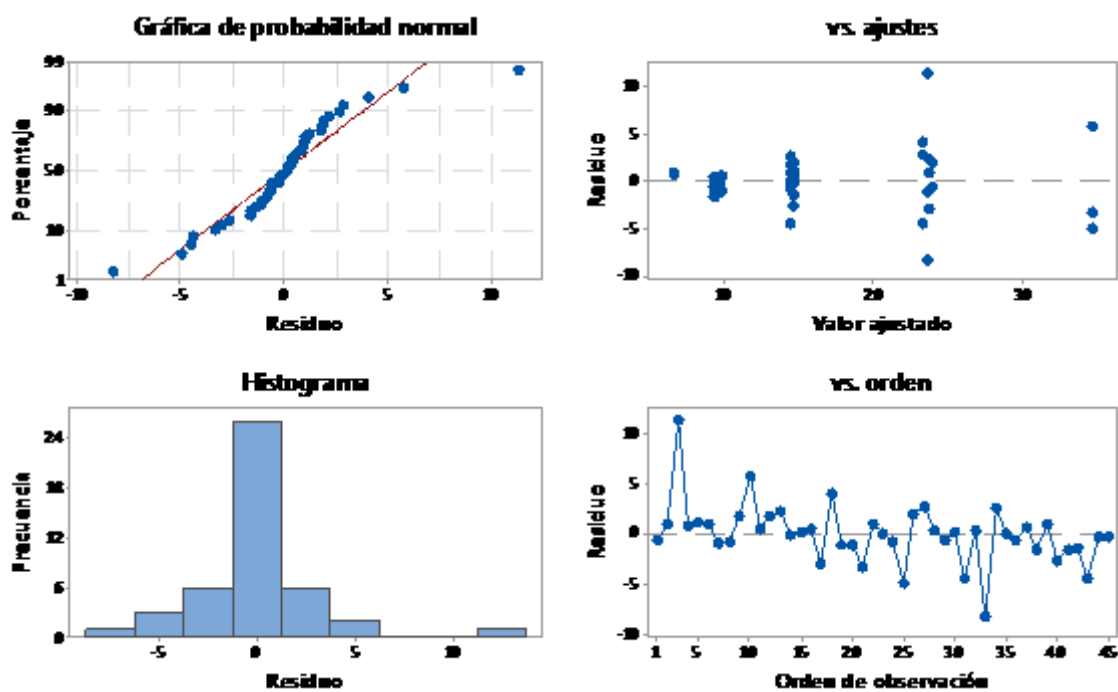


Figura A- 14 Gráfica de residuos para el Factor de potencia.

## GRÁFICAS DE EFECTOS PRINCIPALES

### Monóxido de Carbono (CO)

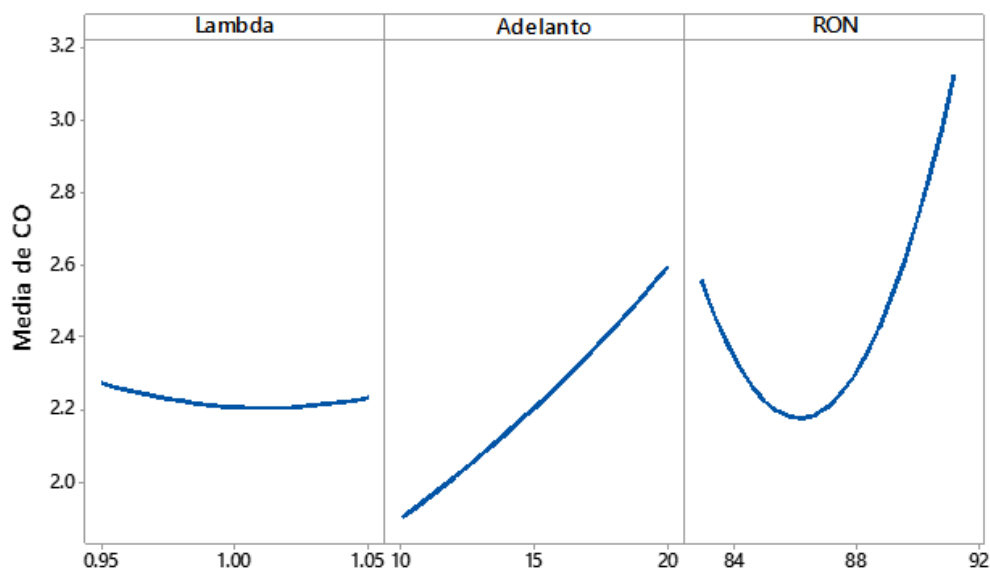


Figura A- 15 Gráfica de efectos principales para el CO.

## LAMBDA

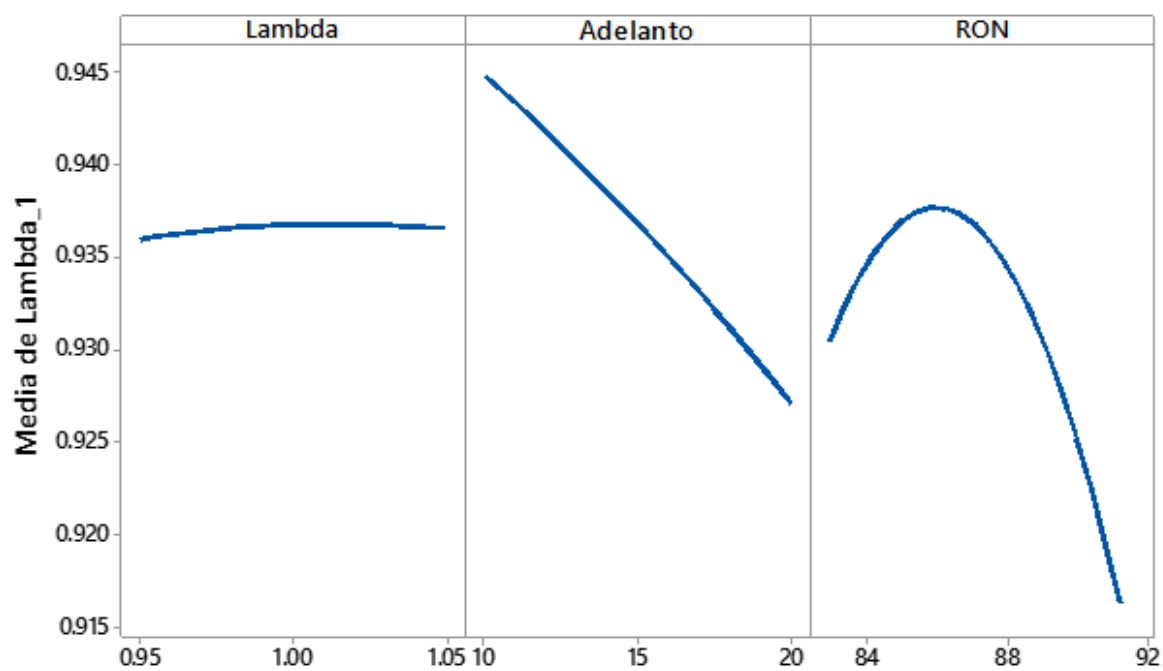


Figura A- 16 Gráfica de efectos principales para el Lambda de Respuesta.

## Oxigeno (O<sub>2</sub>)

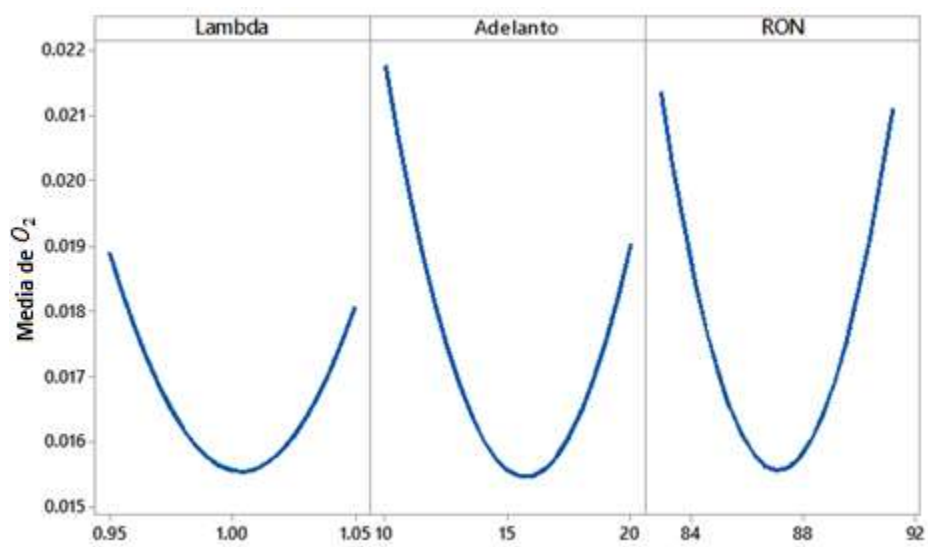


Figura A- 17 Gráfica de efectos principales para el O<sub>2</sub>.

## Óxidos de Nitrógeno (NOx)

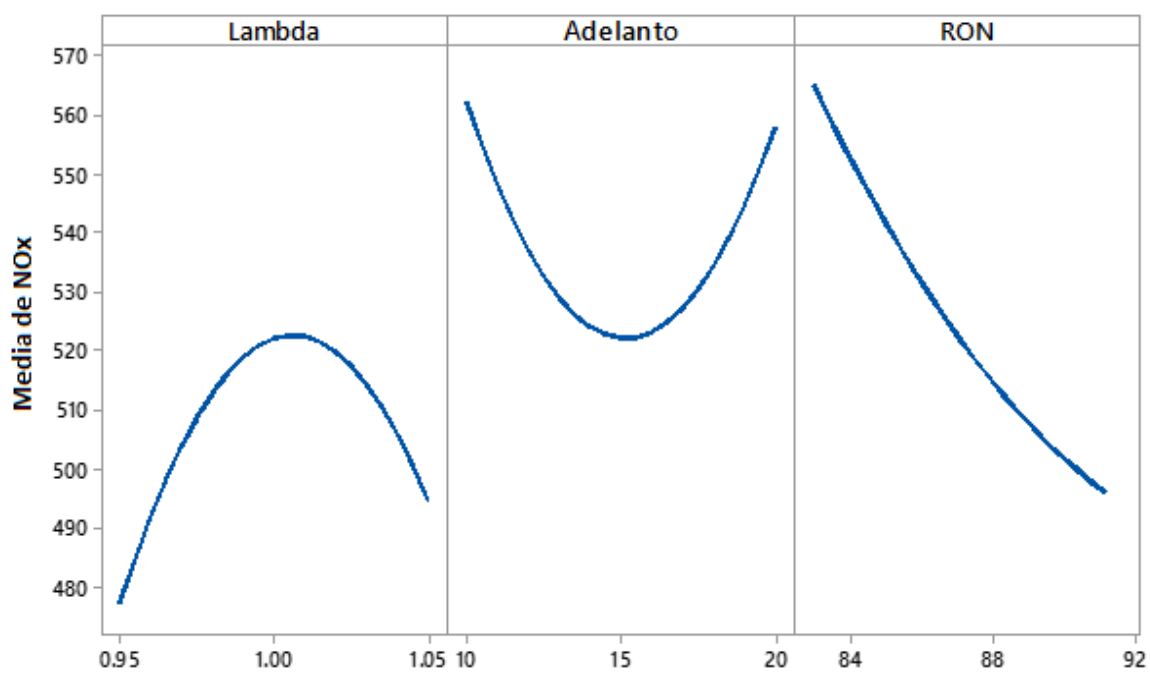


Figura A- 18 Gráfica de efectos principales para los NOx.

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

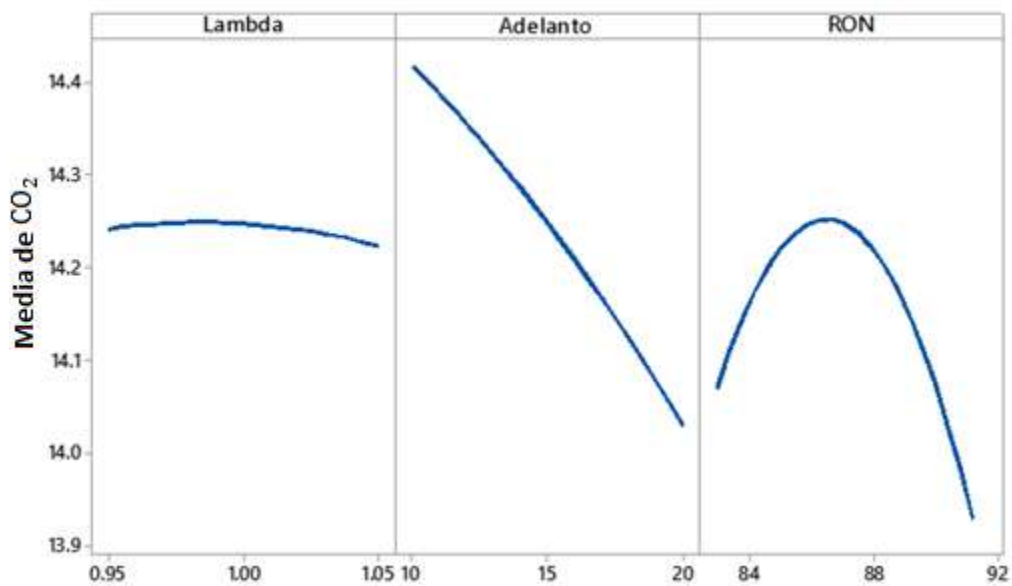


Figura A- 19 Gráfica de efectos principales para CO<sub>2</sub>.

## Hidrocarburos no Combustionados (HC)

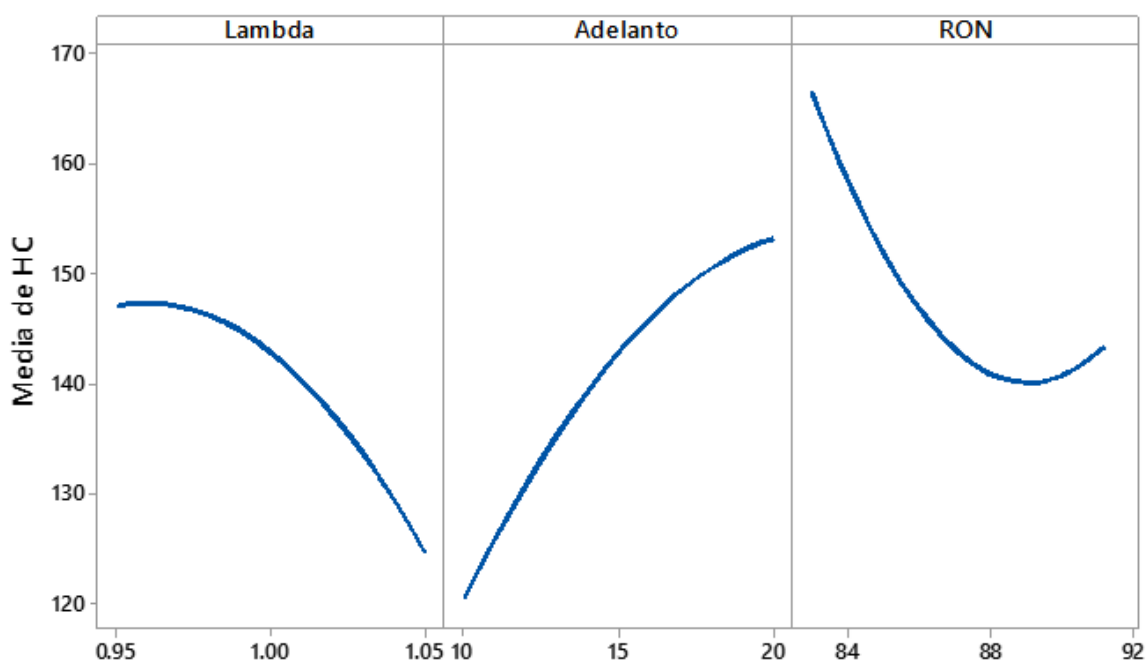


Figura A- 20 Gráfica de efectos principales para los HC

## Temperatura del Aceite

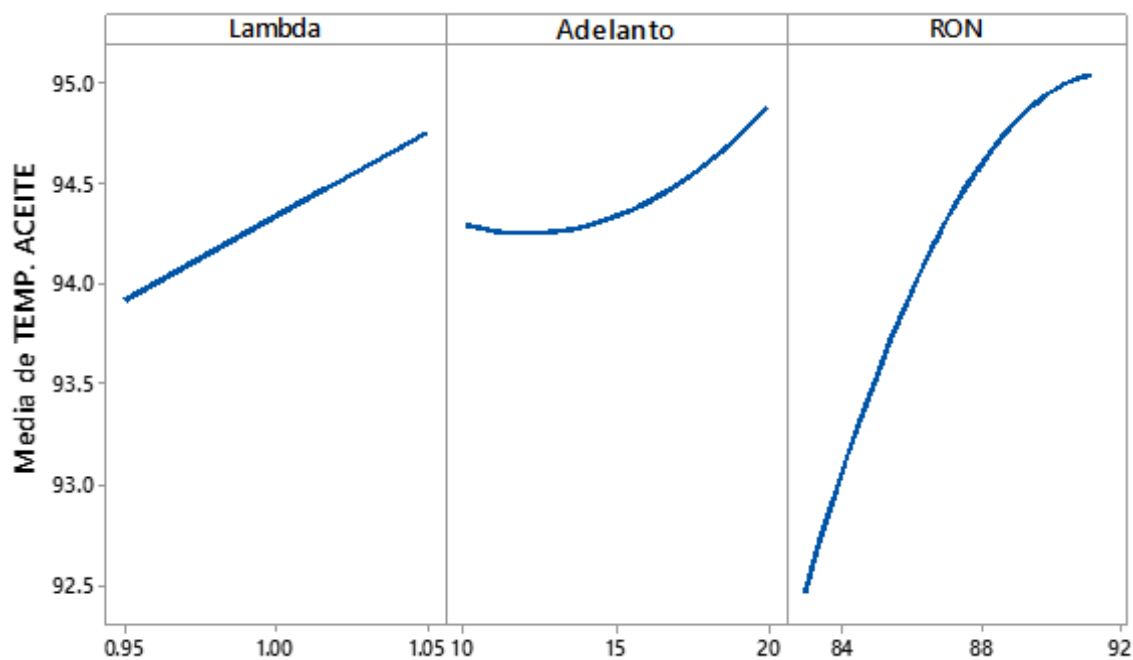


Figura A- 21 Gráfica de efectos principales para la Temperatura del Aceite.

## Fuerza Tractora

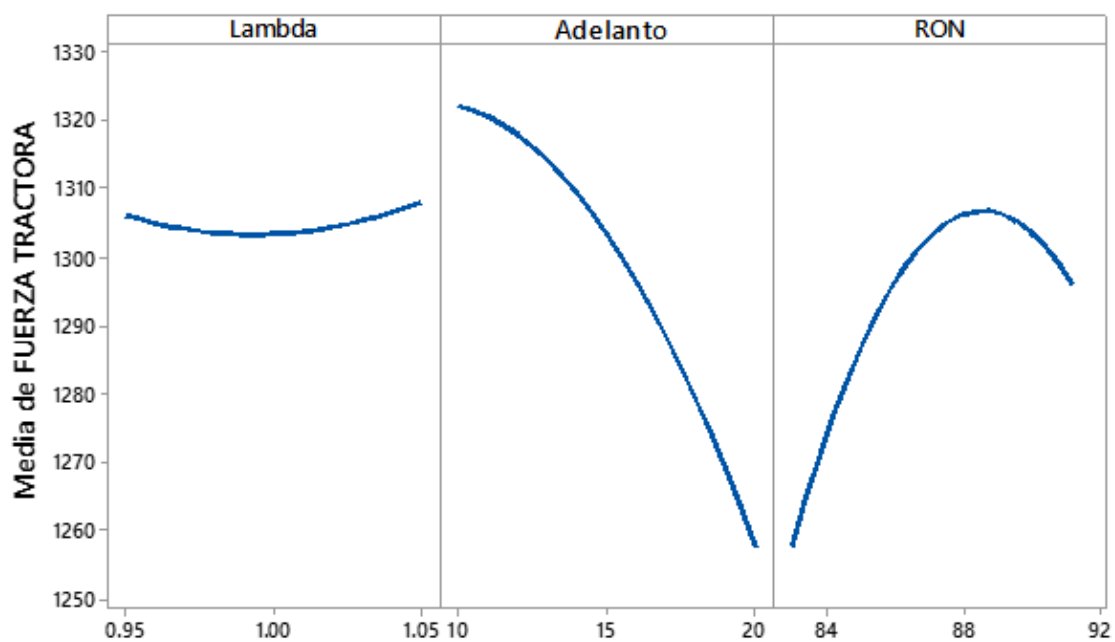


Figura A- 22 Gráfica de efectos principales para la Fuerza Tractora.

## Potencia

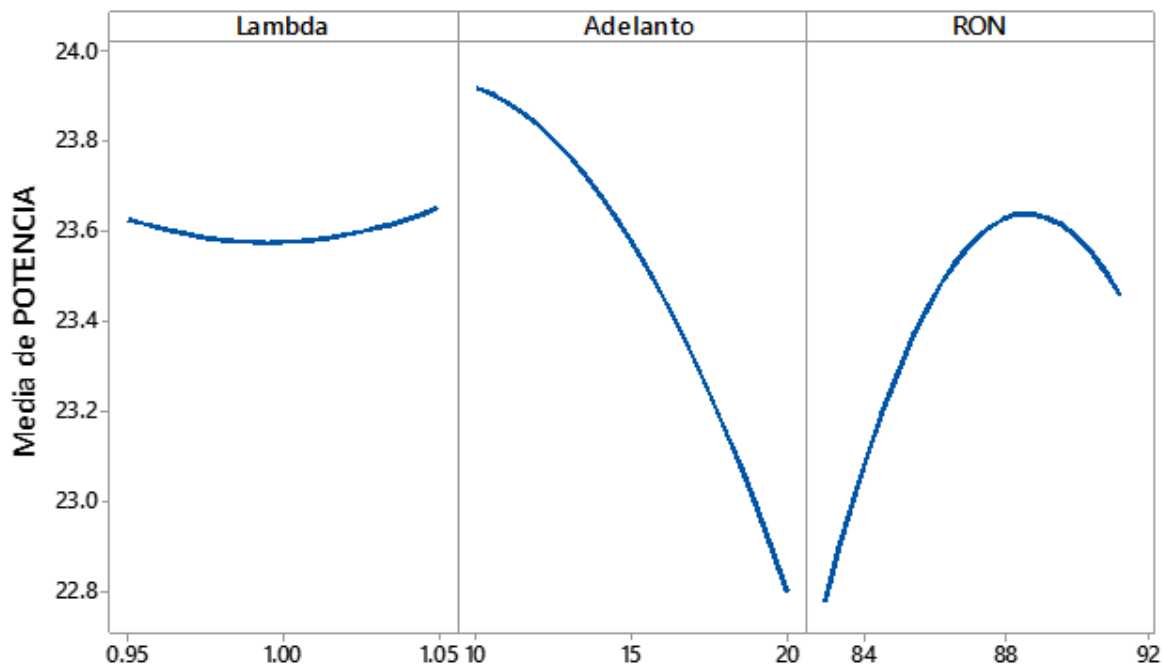


Figura A- 23 Gráfica de efectos principales para la Potencia.

## Factor de Curtosis

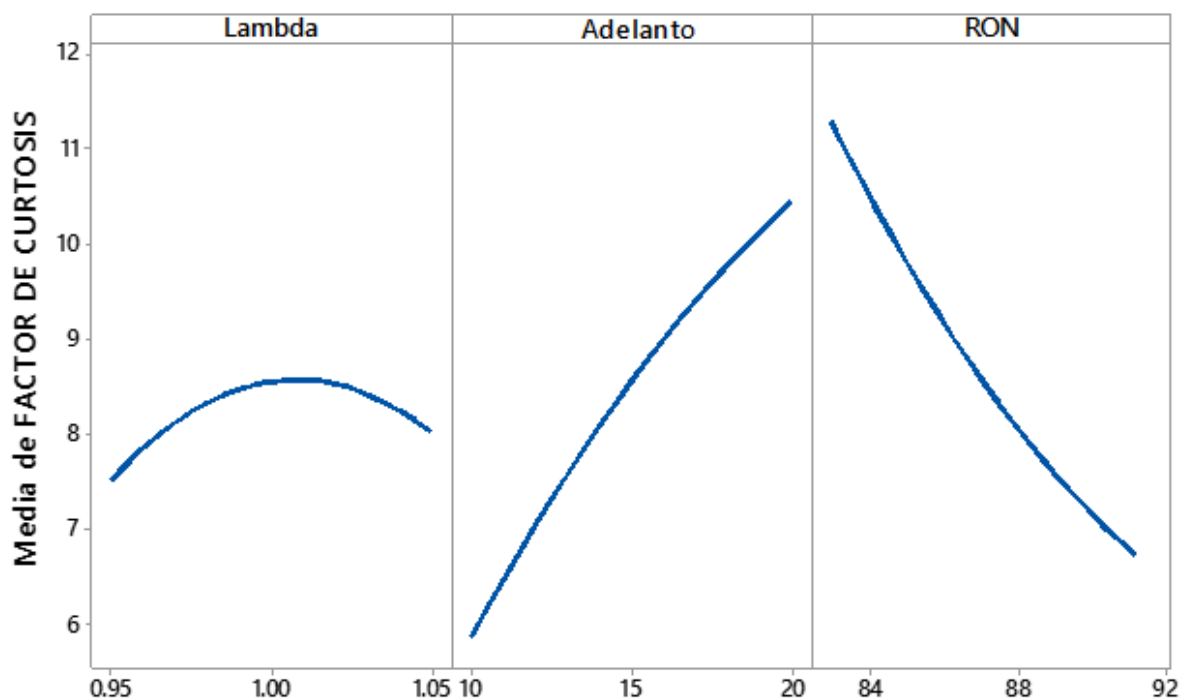


Figura A- 24 Gráfica de efectos principales para el Factor de Curtosis.

## Energía

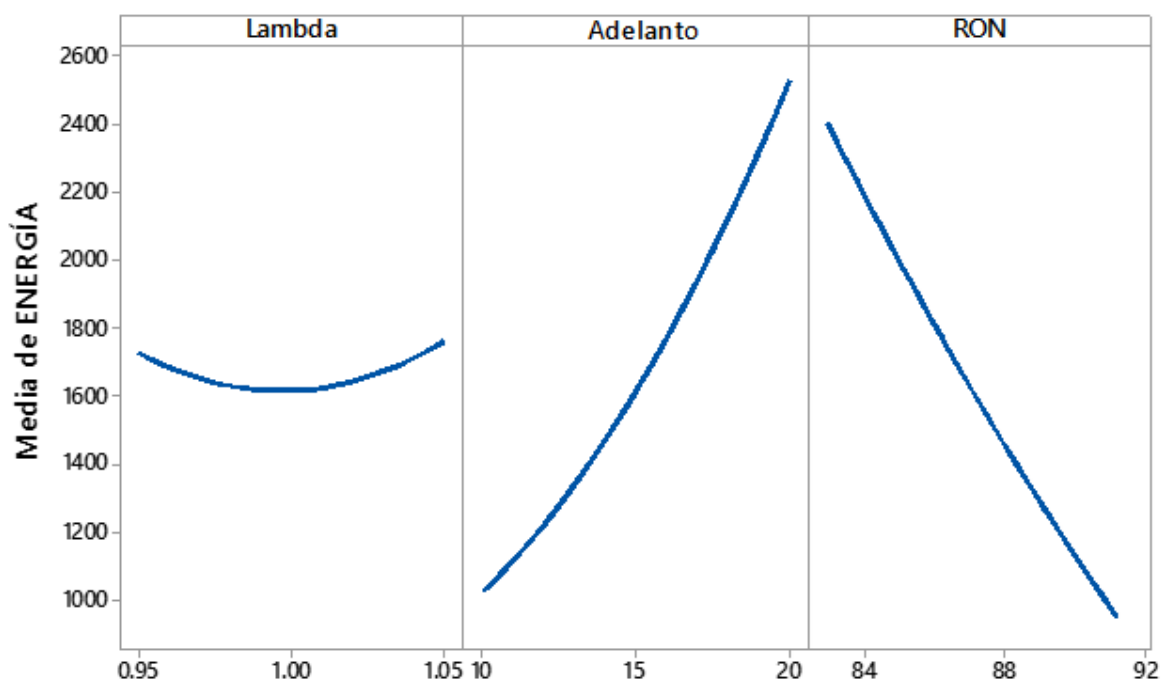


Figura A- 25 Gráfica de efectos principales para la Energía.



## RMS

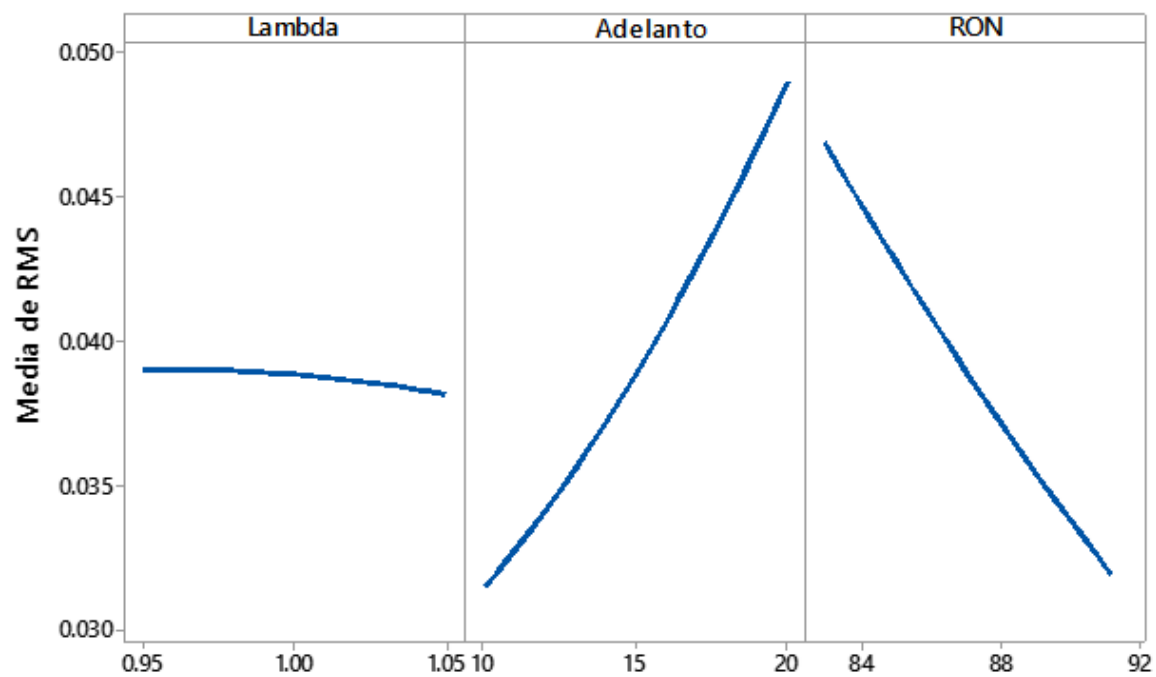


Figura A- 26 Gráfica de efectos principales para el RMS.

## Factor de Cresta

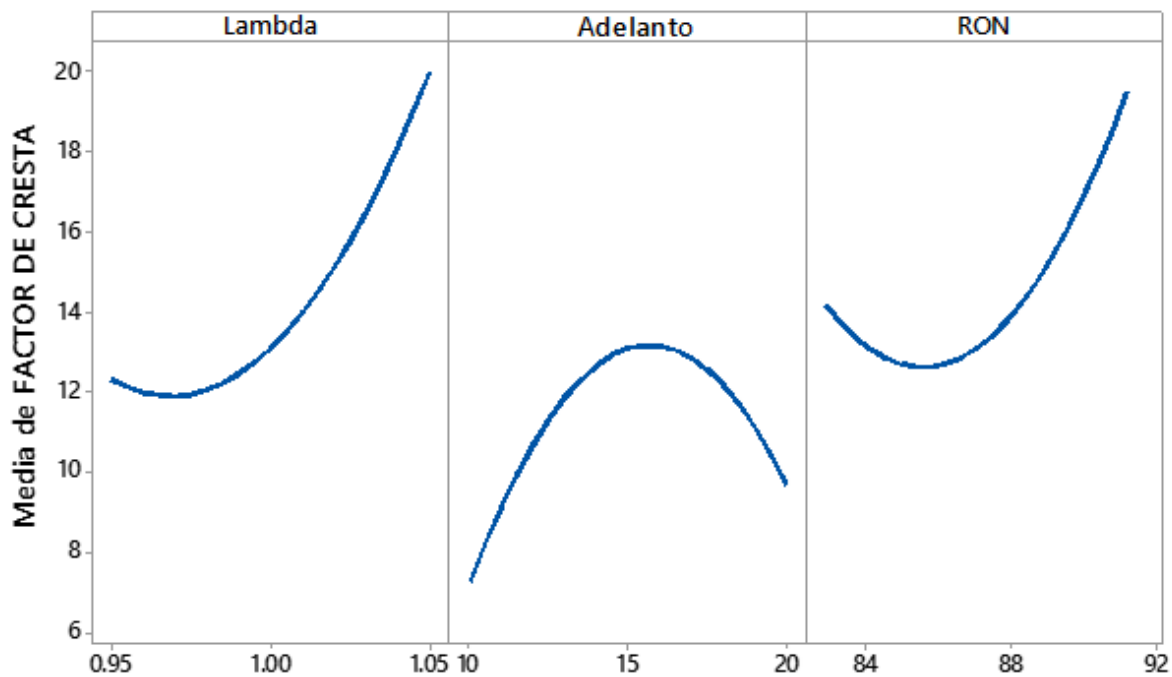


Figura A- 27 Gráfica de efectos principales para el Factor de Cresta.

## Factor de Potencia

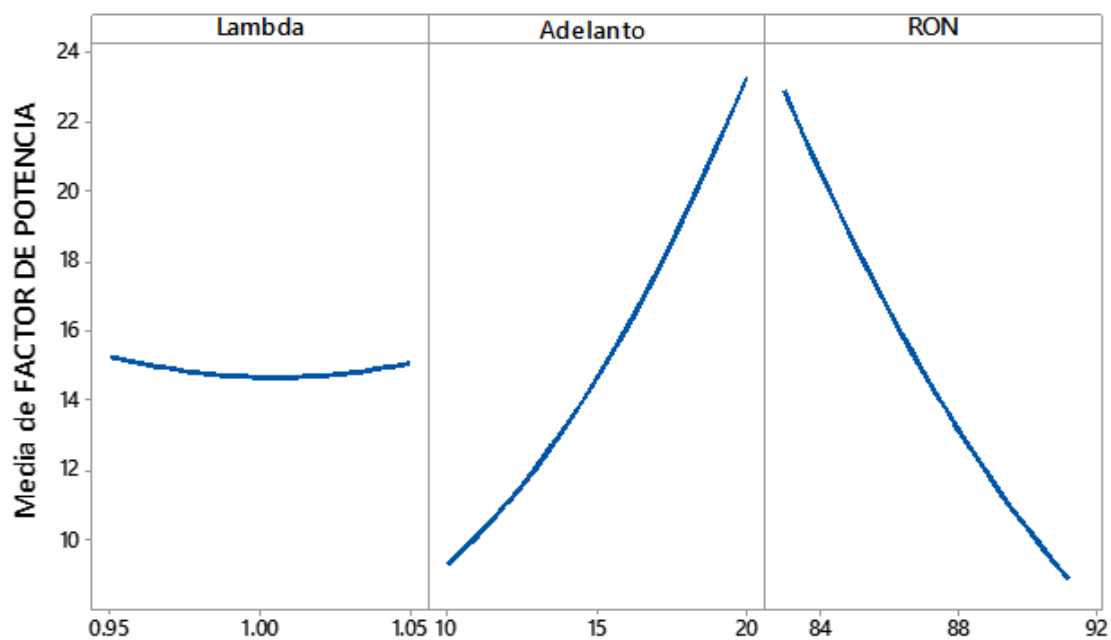


Figura A- 28 Gráfica de efectos principales para el Factor de potencia.

## GRÁFICAS DE INTERACCIONES

### Monóxido de Carbono (CO)

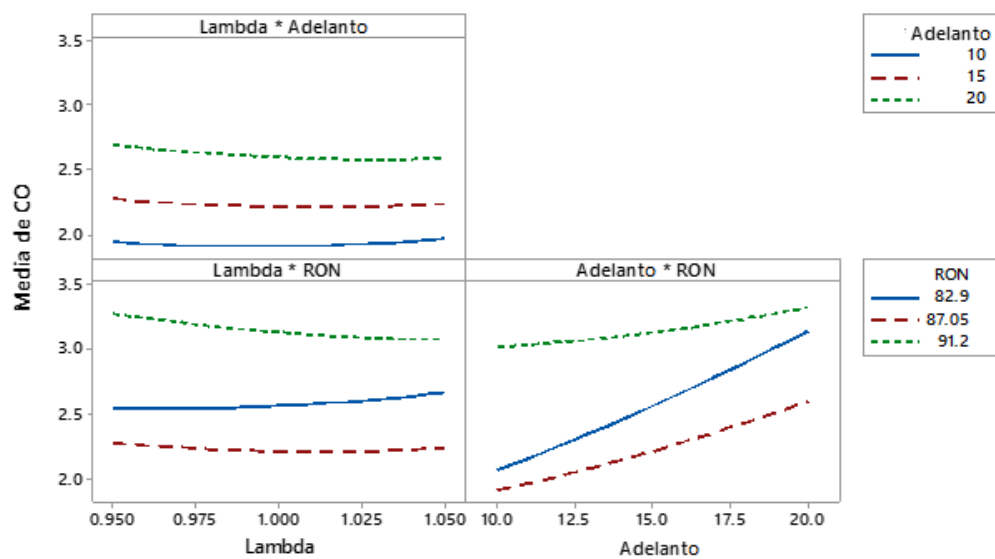


Figura A- 29 Gráfica de interacciones para el CO.

## LAMBDA

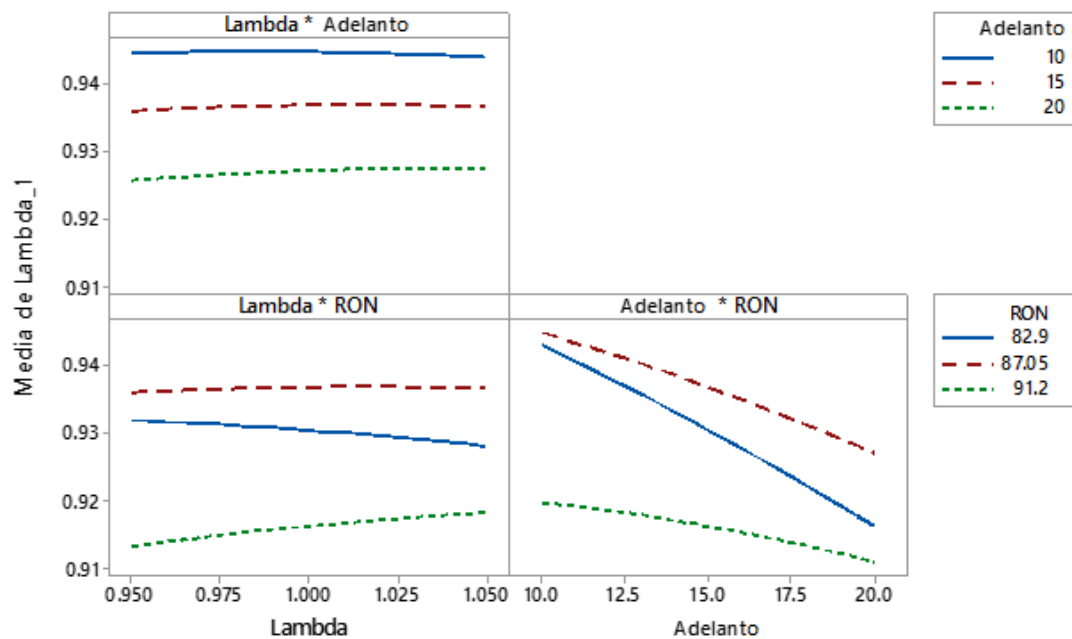


Figura A- 30 Gráfica de interacciones para el Lambda de Respuesta

## Oxígeno (O<sub>2</sub>)

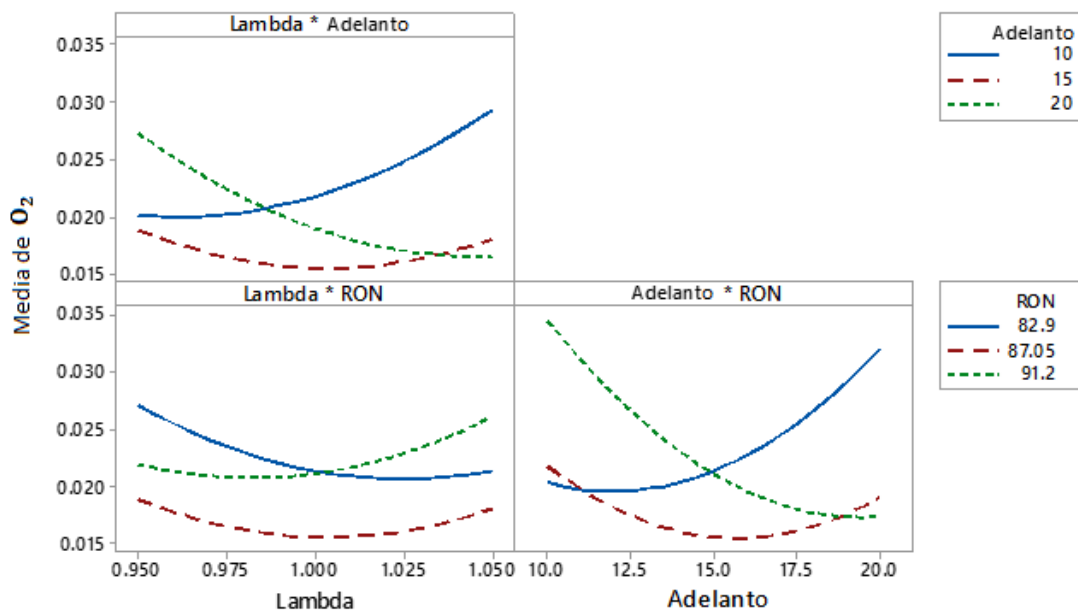


Figura A- 31 Gráfica interacciones para el O<sub>2</sub>.

## Óxidos de Nitrógeno (NOx)

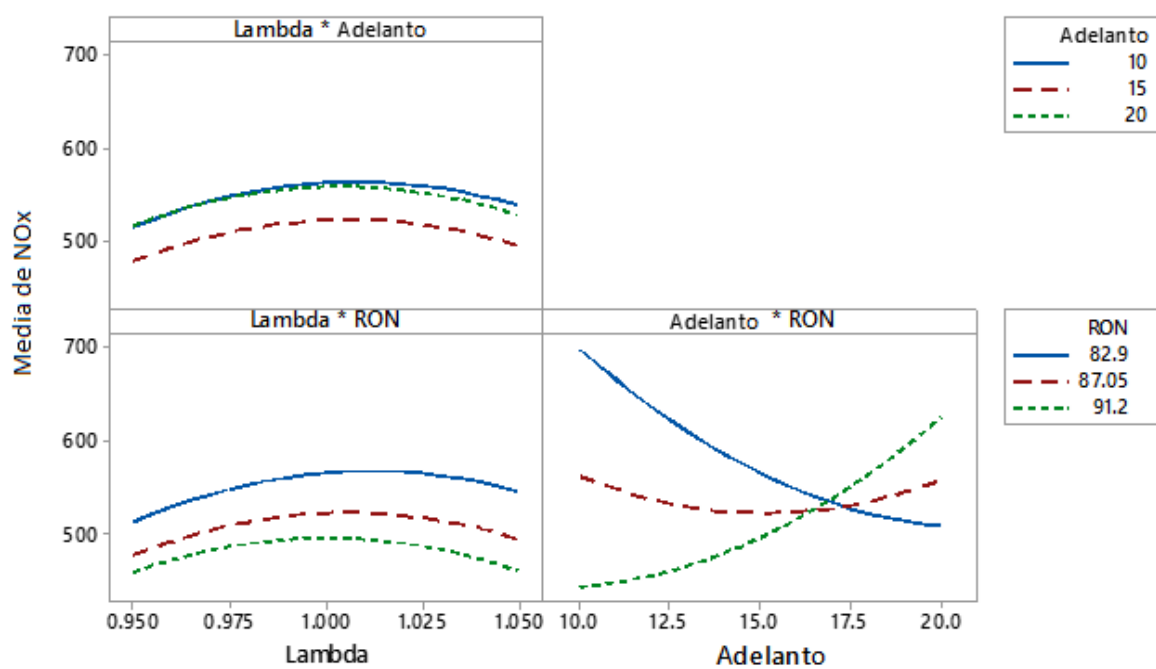


Figura A- 32 Gráfica de Interacciones para los NOx.

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

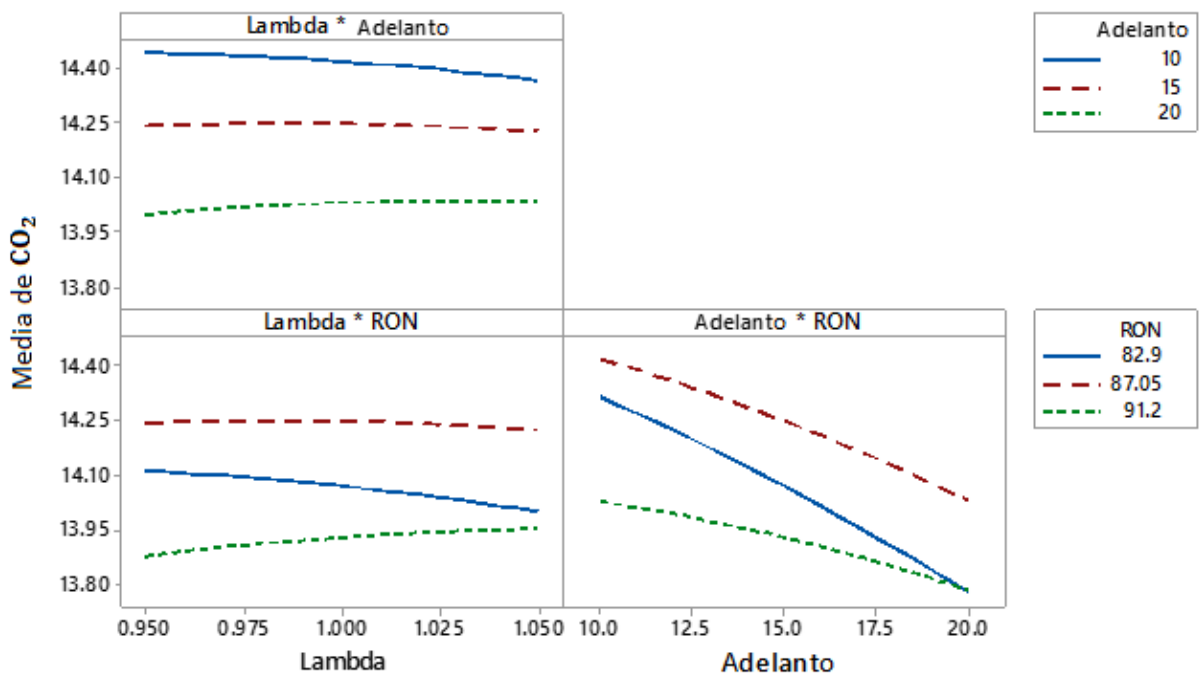


Figura A- 33 Gráfica de interacciones para el CO<sub>2</sub>.

## Hidrocarburos no Combustionados (HC)

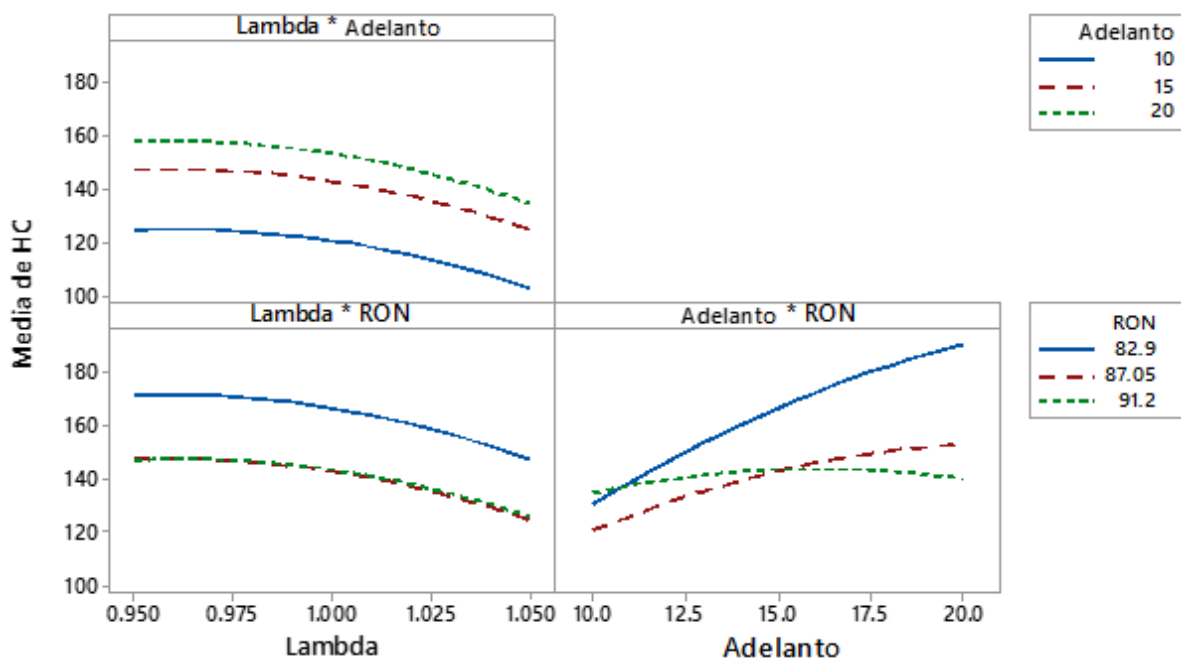


Figura A- 34 Gráfica de interacciones para los HC.

## Temperatura del Aceite

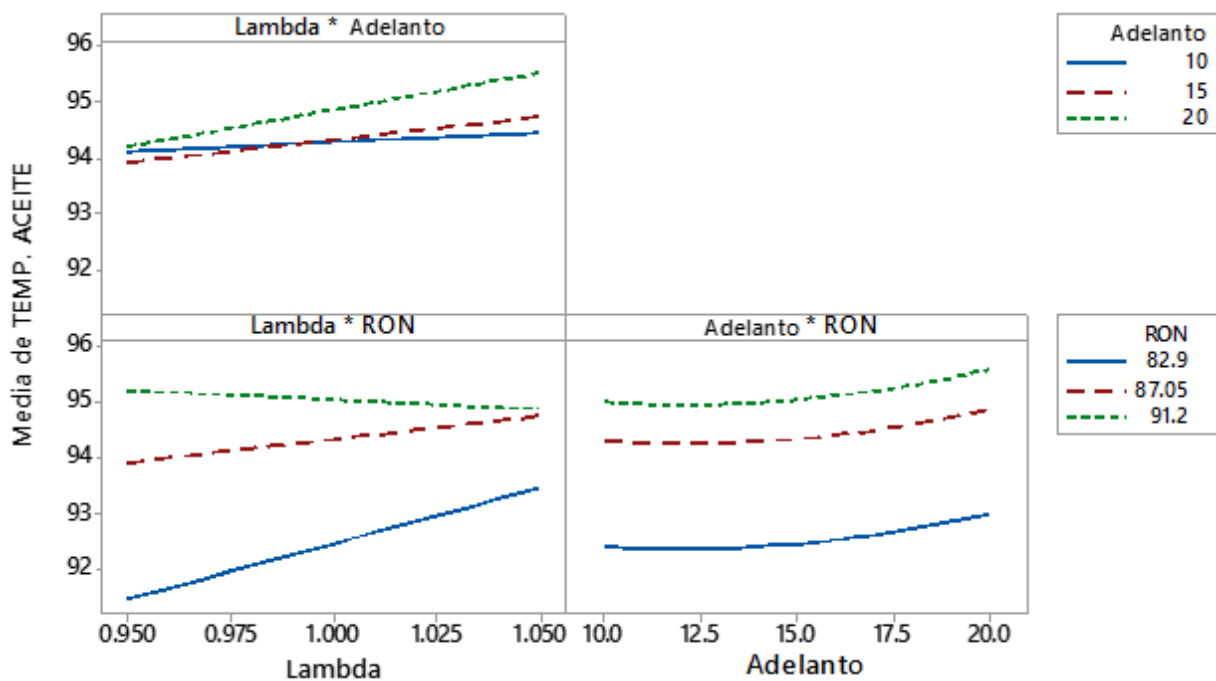


Figura A- 35 Gráfica de interacciones para la Temperatura del Aceite.

## Fuerza Tractora

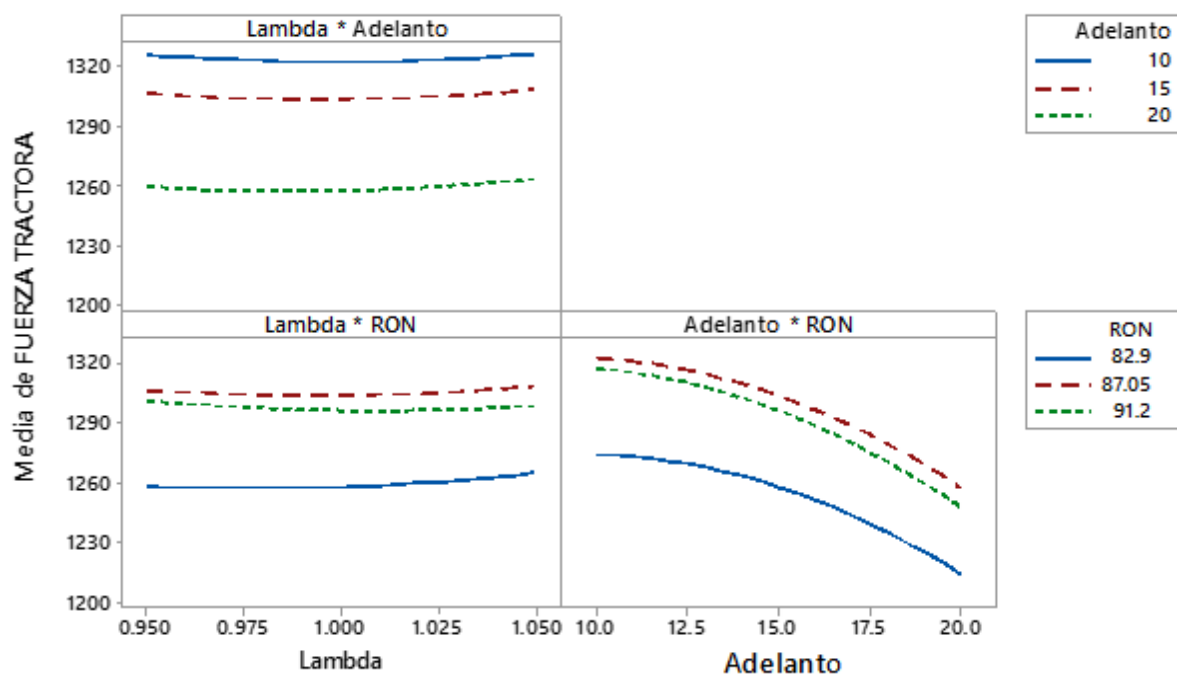


Figura A- 36 Gráfica de interacciones para la Fuerza Tractora.

## Potencia

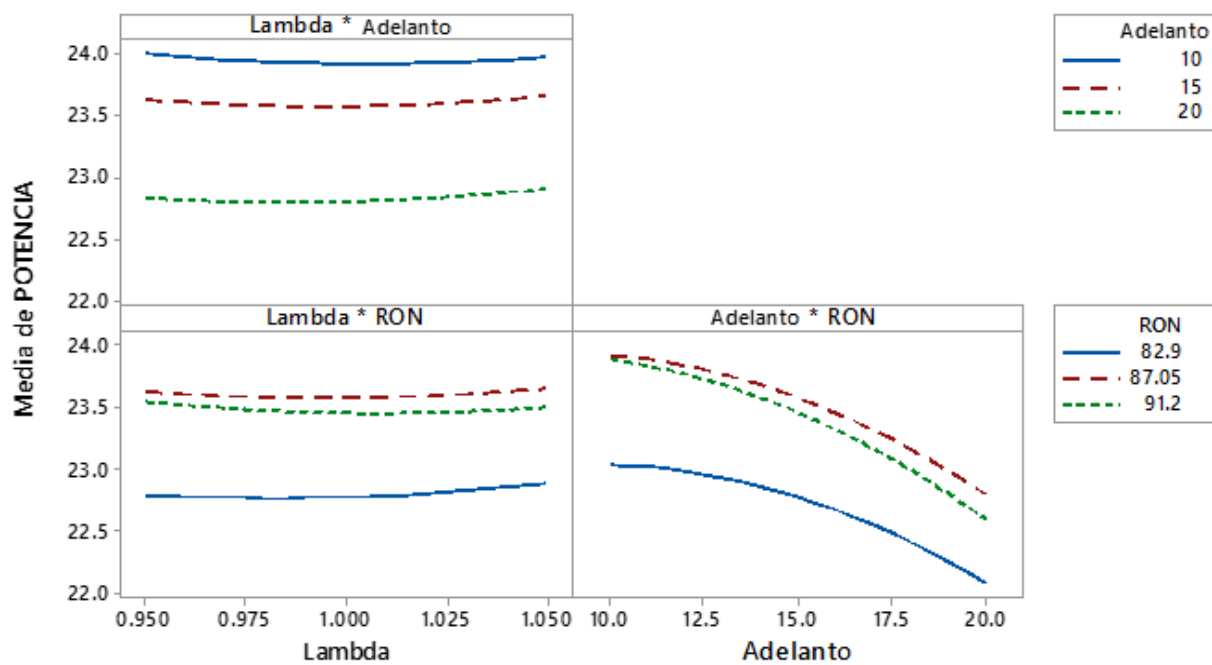


Figura A- 37 Gráfica de interacciones para la Potencia.

## Factor de Custosis

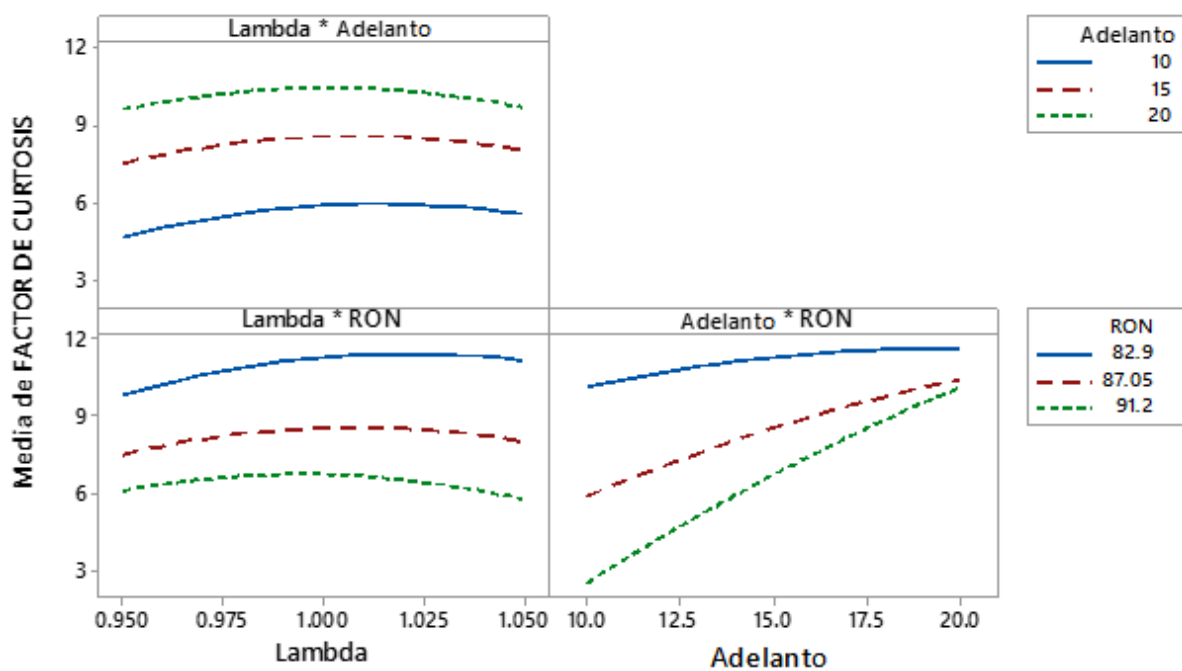


Figura A- 38 Gráfica de interacciones para el Factor de Curtosis.

## Energía

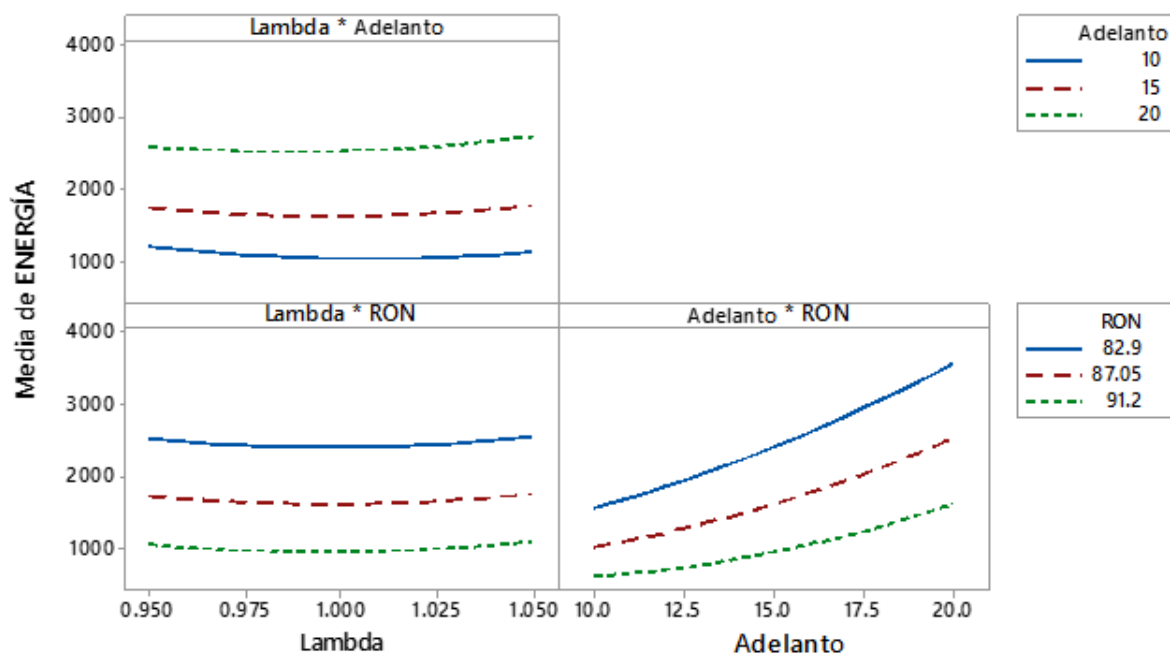


Figura A- 39 Gráfica de interacciones para la Energía.

## RMS

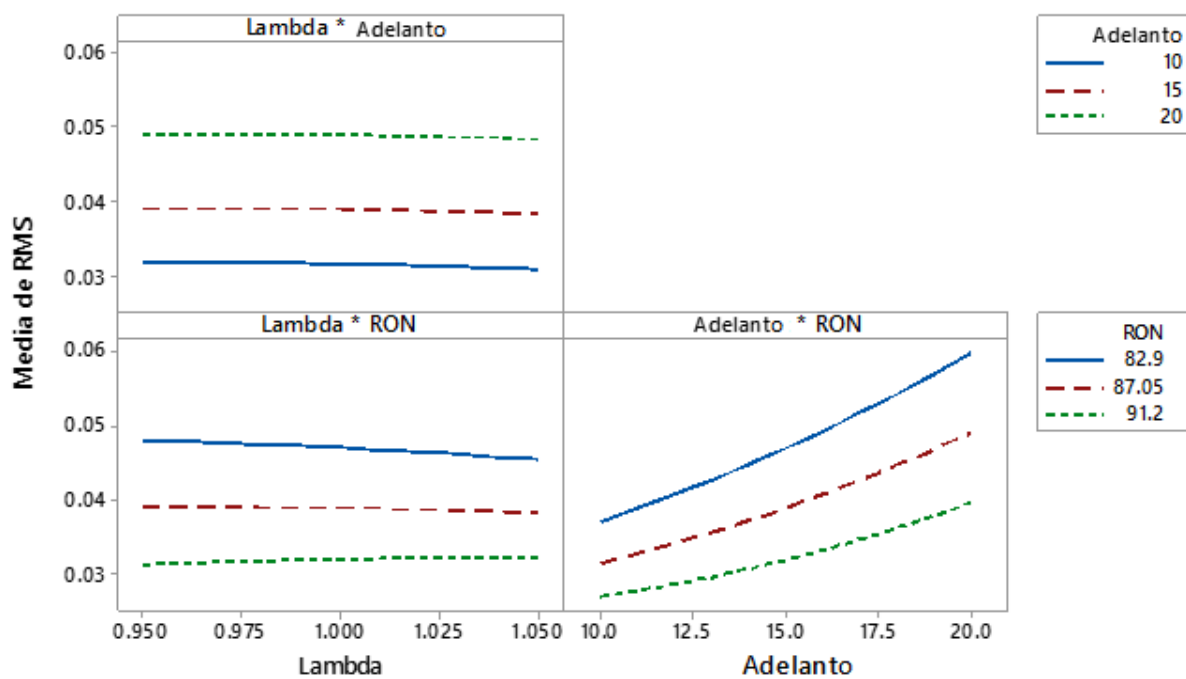


Figura A- 40 Gráfica de interacciones para RMS.

## Factor de Cresta

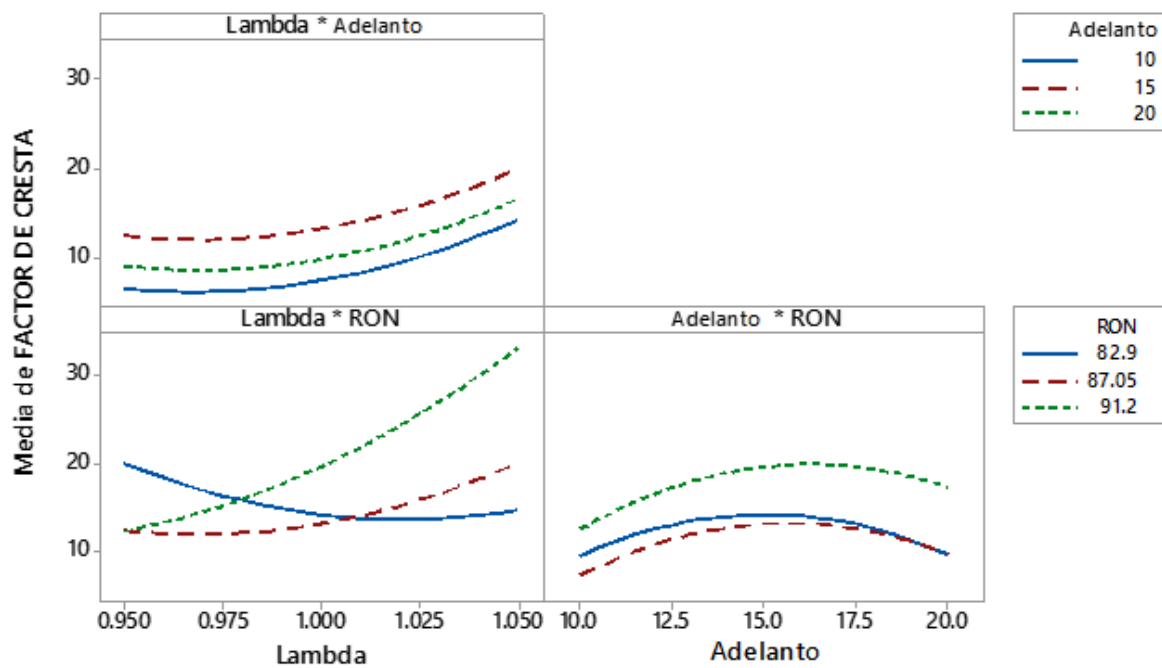


Figura A- 41 Gráfica de interacciones para el Factor de cresta.



## Factor de Potencia

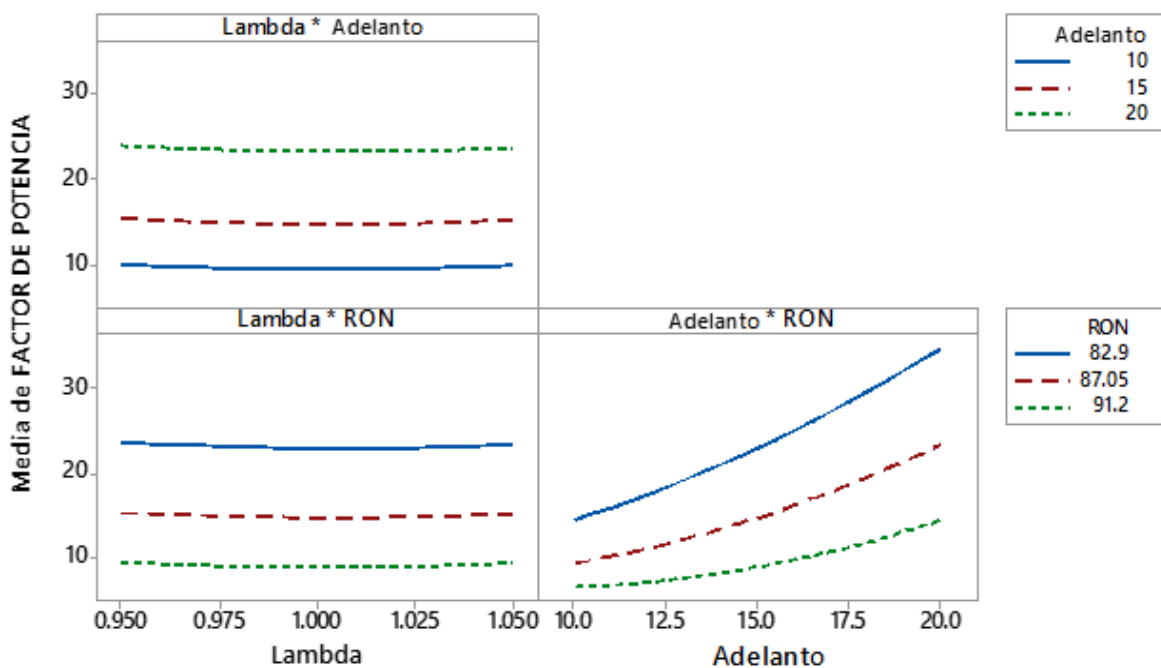


Figura A- 42 Gráfica de interacciones para el Factor de potencia.

## GRÁFICAS DE CONTORNO

### Monóxido de Carbono (CO)

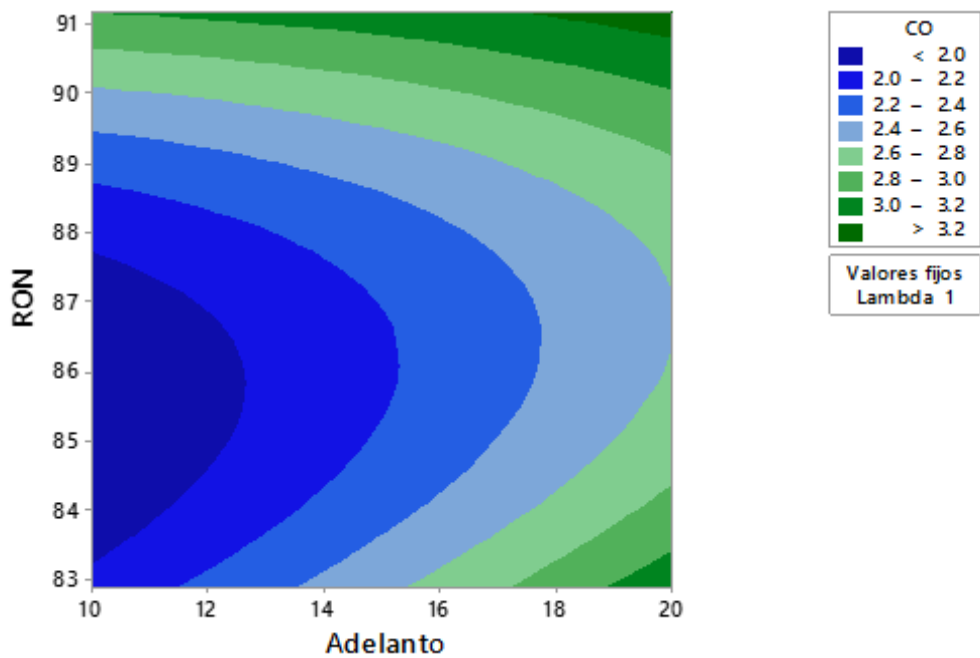


Figura A- 43 Gráfica de contorno de CO Vs RON, Adelanto al encendido.

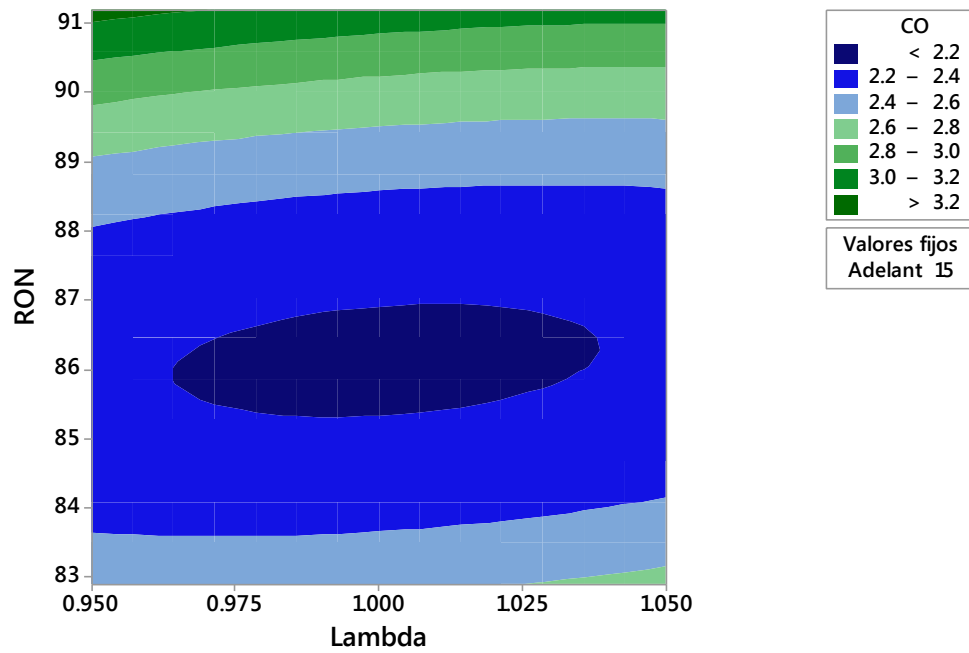


Figura A- 44 Gráfica de contorno de CO Vs RON, Lambda.

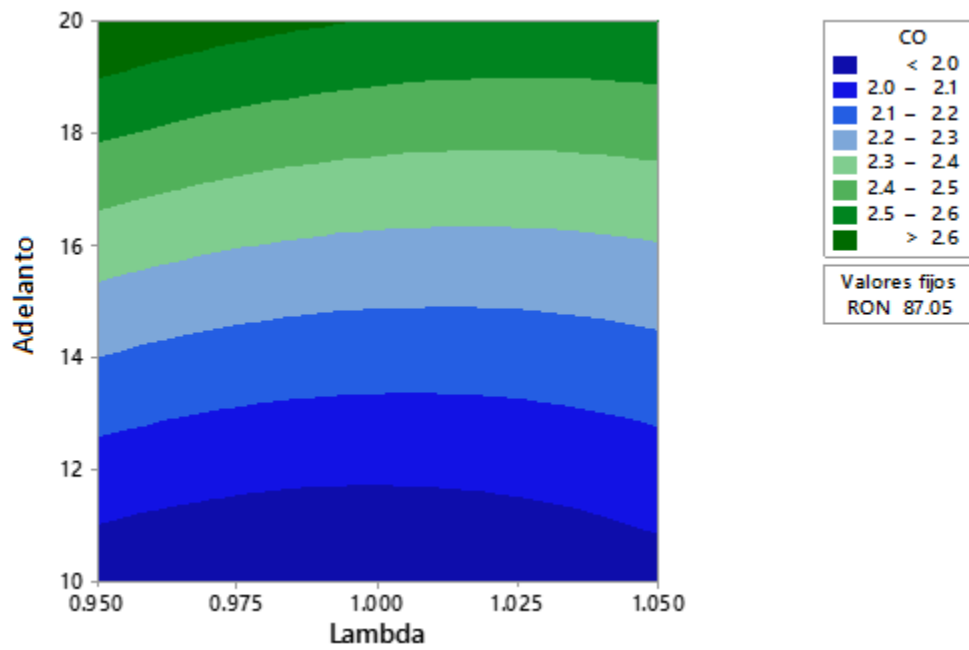


Figura A- 45 Gráfica de contorno de CO Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Lambda de respuesta

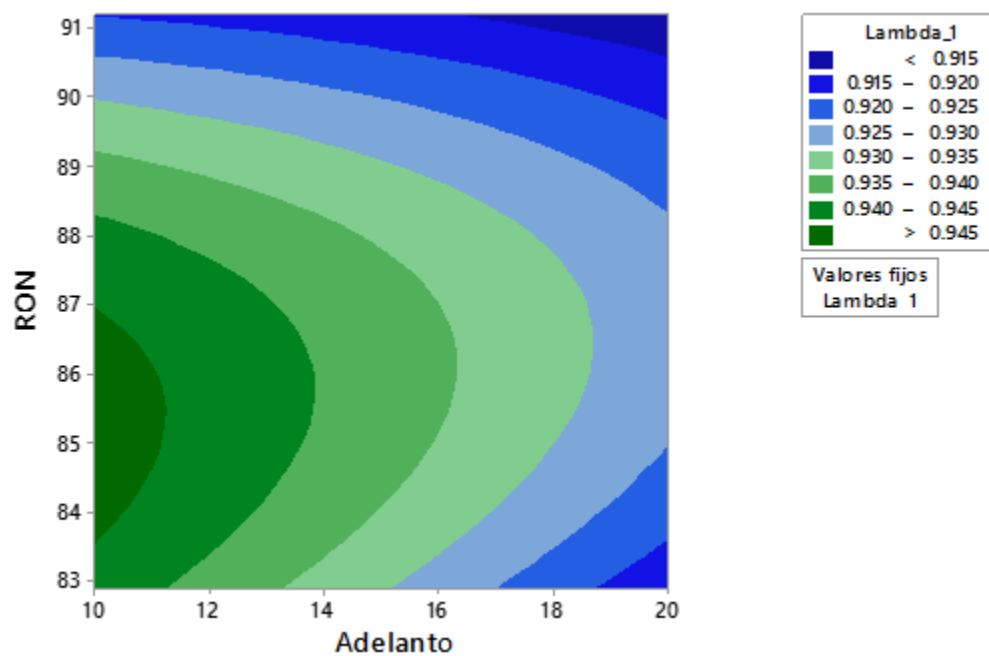


Figura A- 46 Gráfica de contorno del Lambda de respuesta Vs RON, Adelanto al encendido.

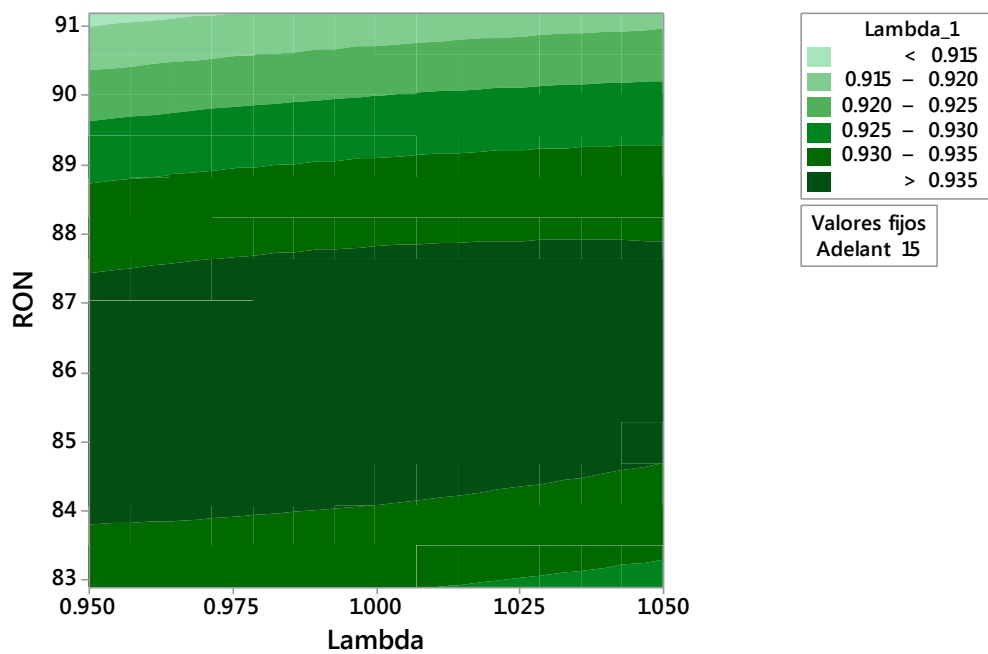


Figura A- 47 Gráfica de contorno del Lambda de respuesta Vs RON, Lambda.

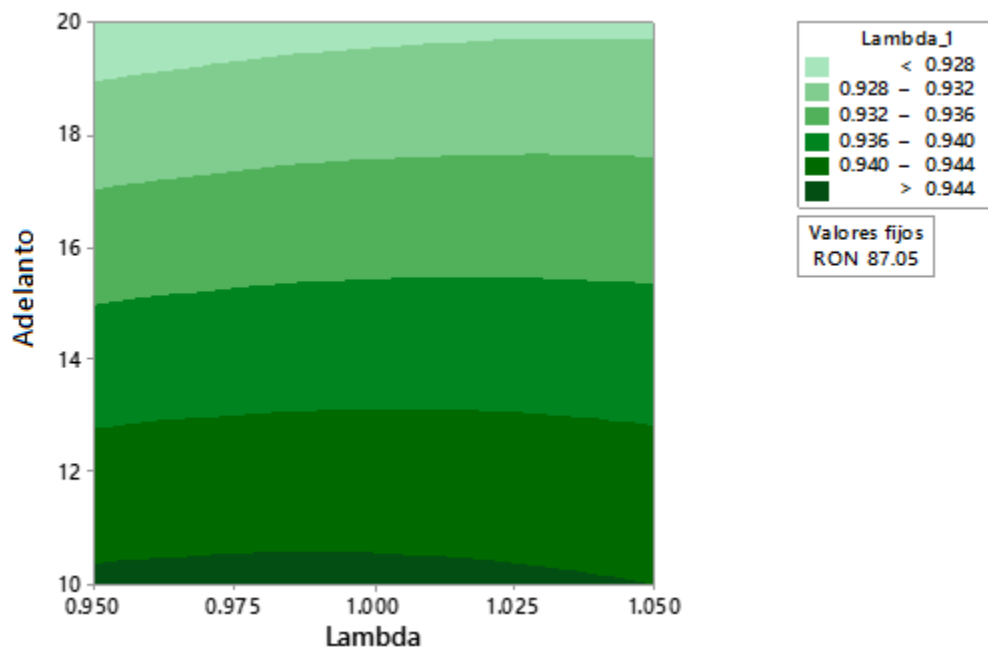


Figura A- 48 Gráfica de contorno del Lambda de respuesta Vs Adelanto al encendido, Lambda.

### Oxígeno ( $O_2$ )

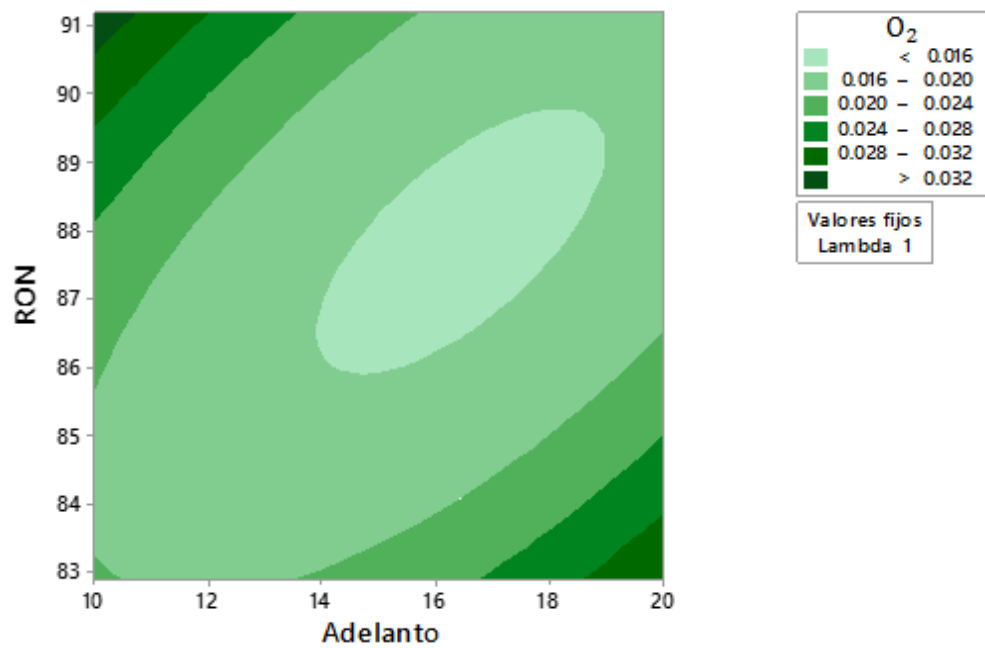


Figura A- 49 Gráfica de contorno de  $O_2$  Vs RON, Adelanto al encendido.

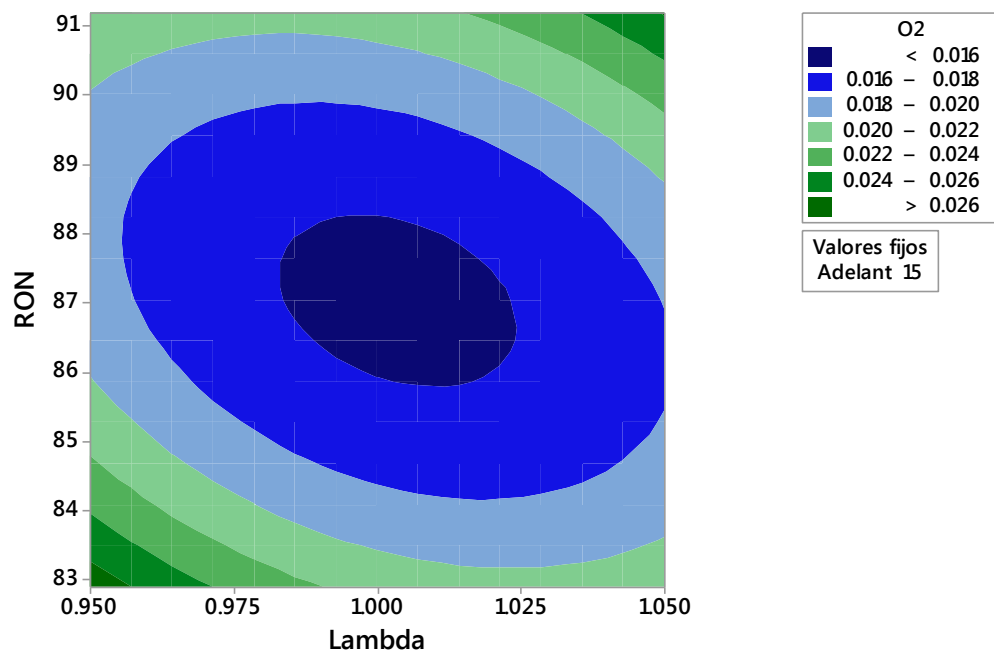


Figura A- 50 Gráfica de contorno de  $O_2$  Vs RON, Lambda.

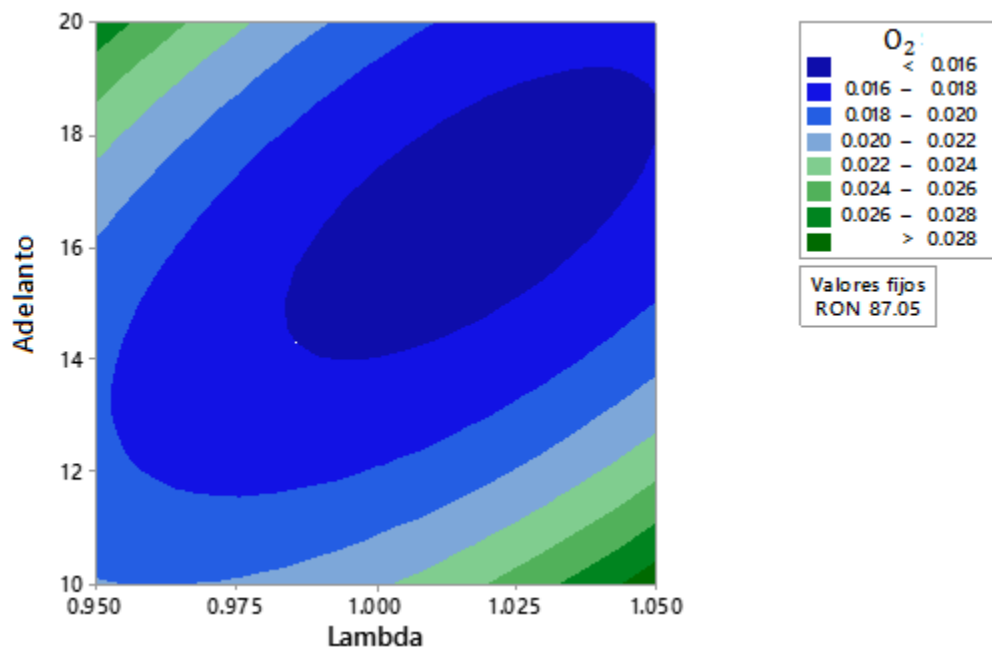


Figura A- 51 Gráfica de contorno de  $O_2$  Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Óxidos Nitrosos (NOx)

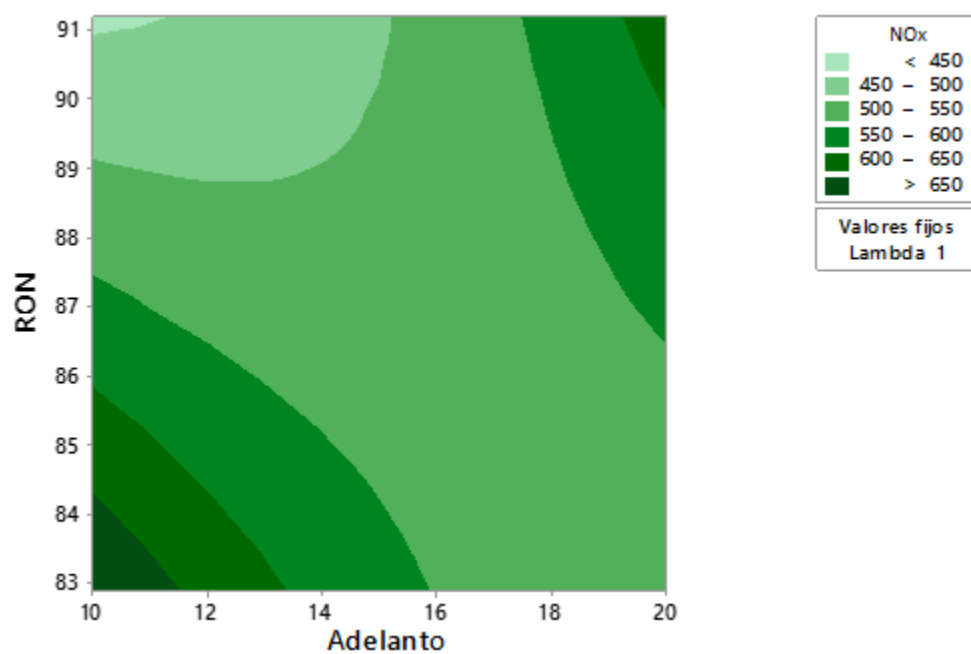


Figura A- 52 Gráfica de contorno de NOx Vs RON, Adelanto al encendido.

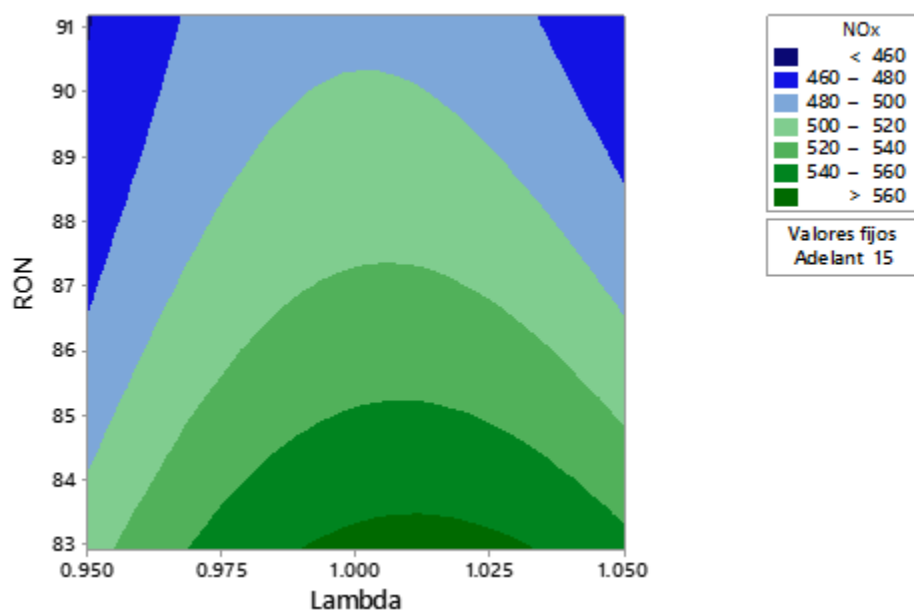


Figura A- 53 Gráfica de contorno de NOx Vs RON, Lambda.

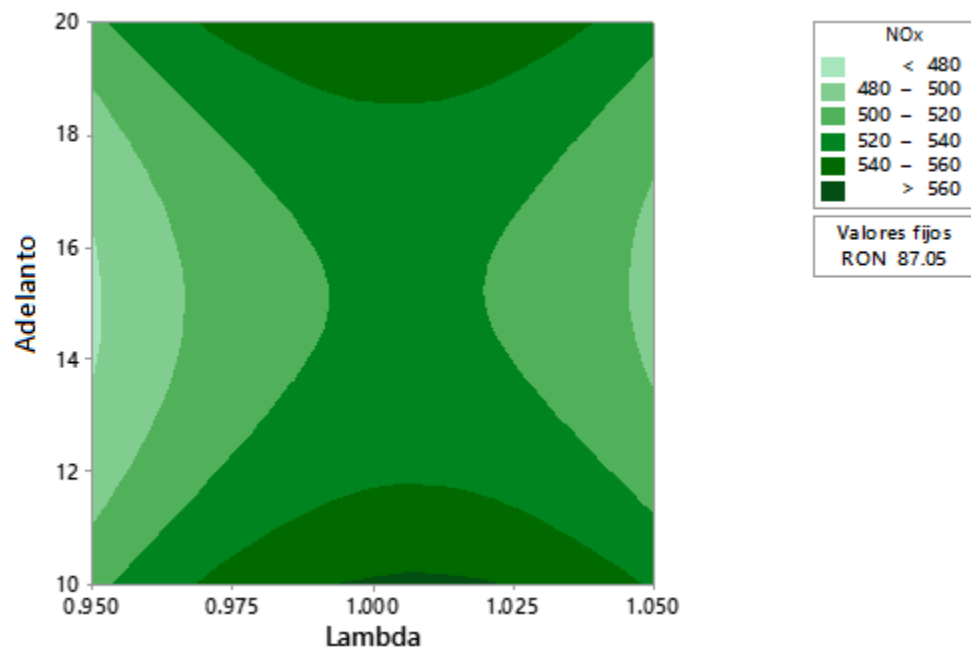


Figura A- 54 Gráfica de contorno de NOx Vs Adelanto al encendido, Lambda.

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

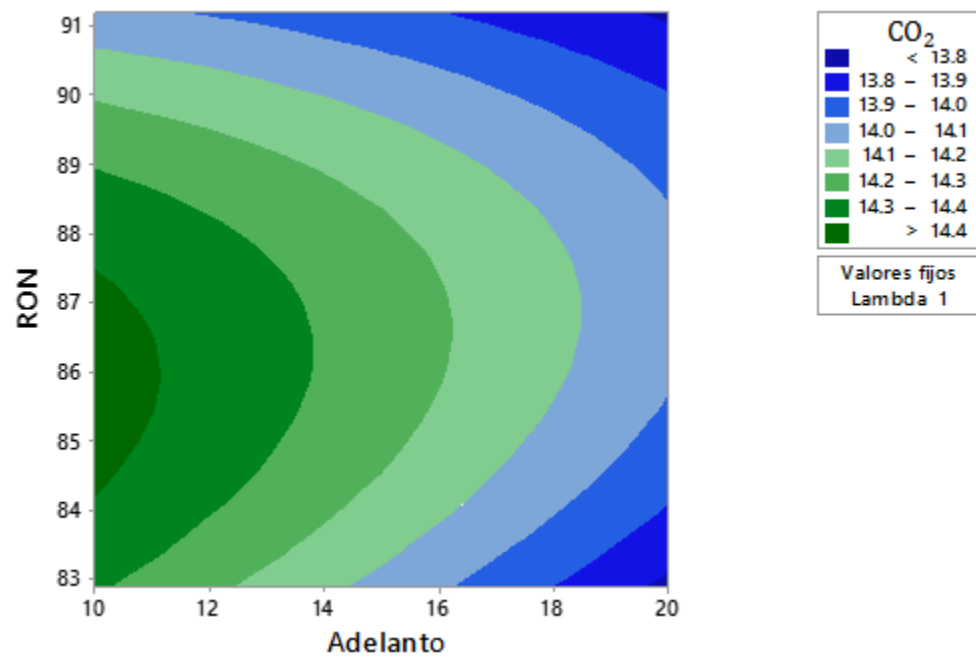


Figura A- 55 Gráfica de contorno de CO<sub>2</sub> Vs RON, Adelanto al encendido.

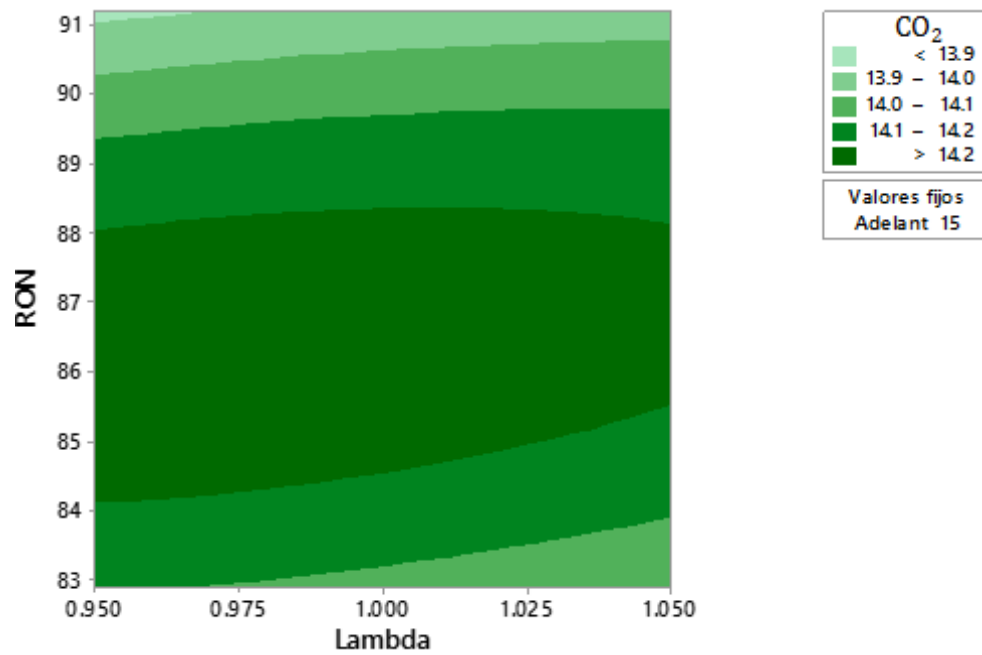


Figura A- 56 Gráfica de contorno de  $CO_2$  Vs RON, Lambda.

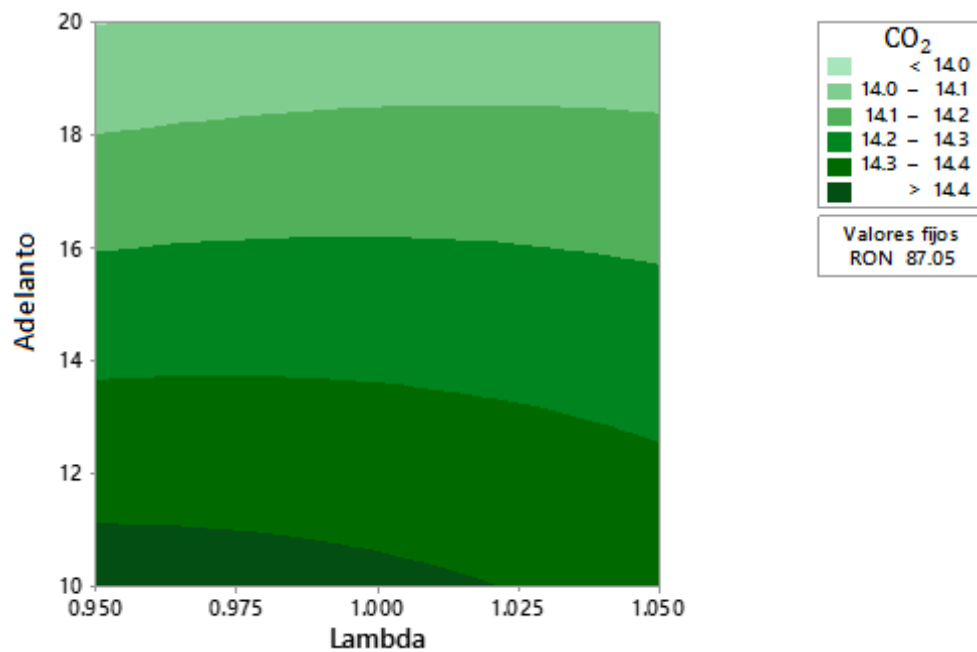


Figura A- 57 Gráfica de contorno de  $CO_2$  Vs Adelanto al encendido, Lambda.



## Hidrocarburos no Combustionados (HC)

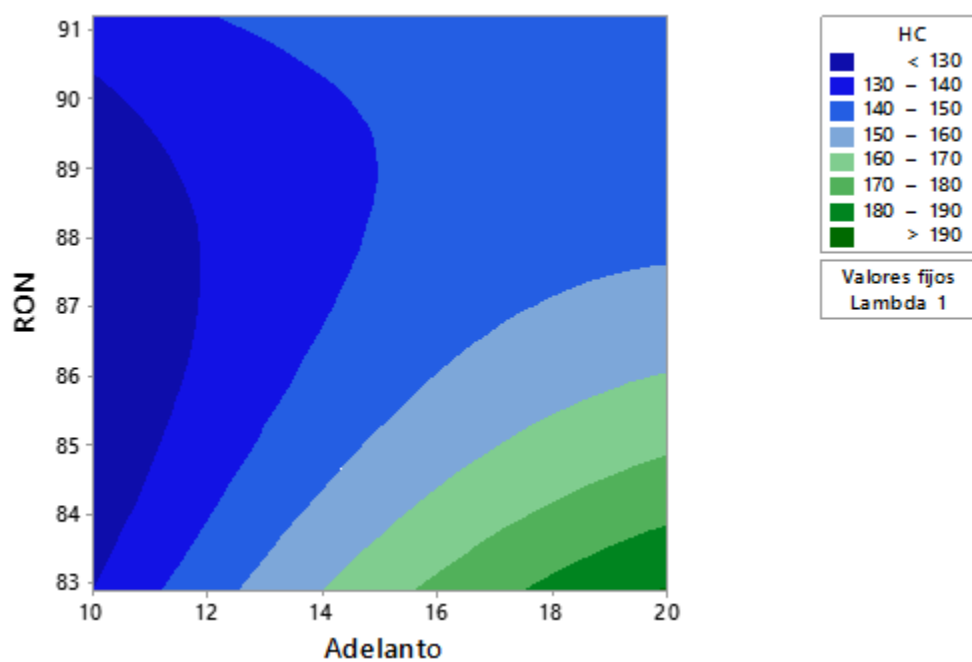


Figura A- 58 Gráfica de contorno de HC Vs RON, Adelanto al encendido.

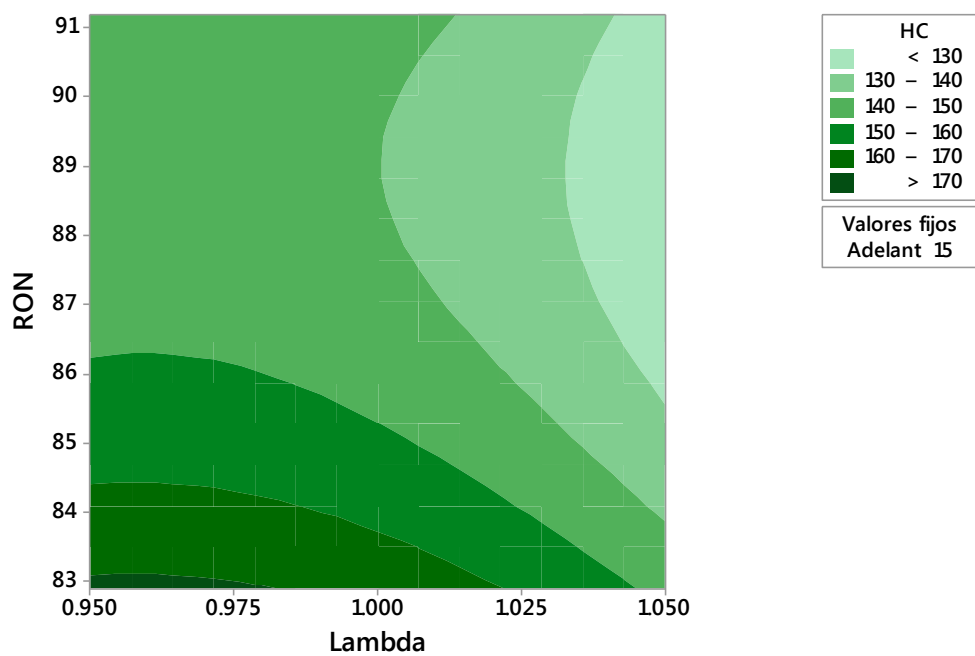


Figura A- 59 Gráfica de contorno de HC Vs RON, Lambda.

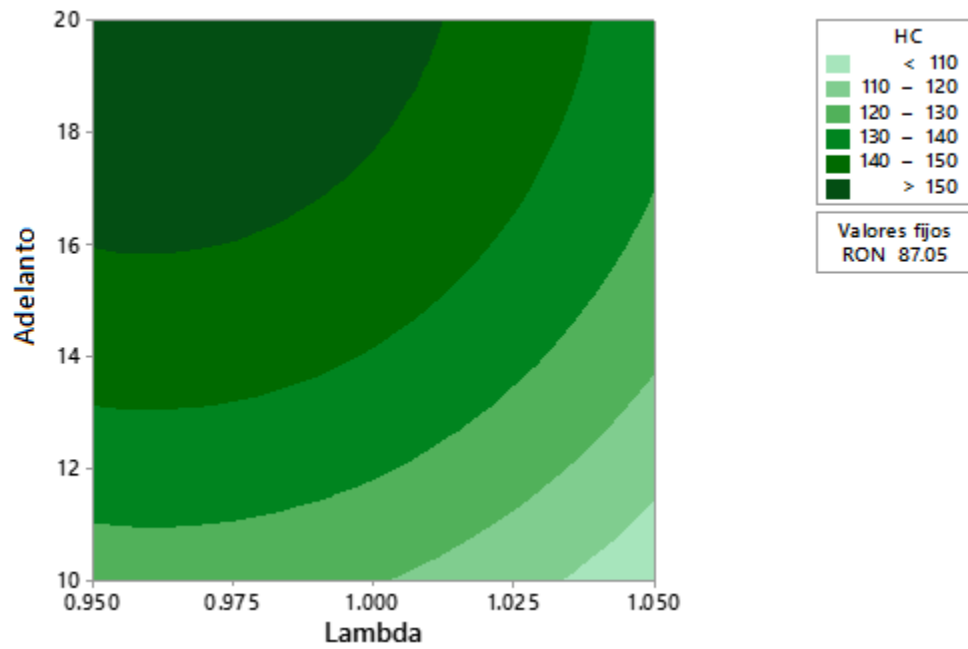


Figura A- 60 Gráfica de contorno de HC Vs Adelanto al encendido, Lambda.

### Temperatura del aceite

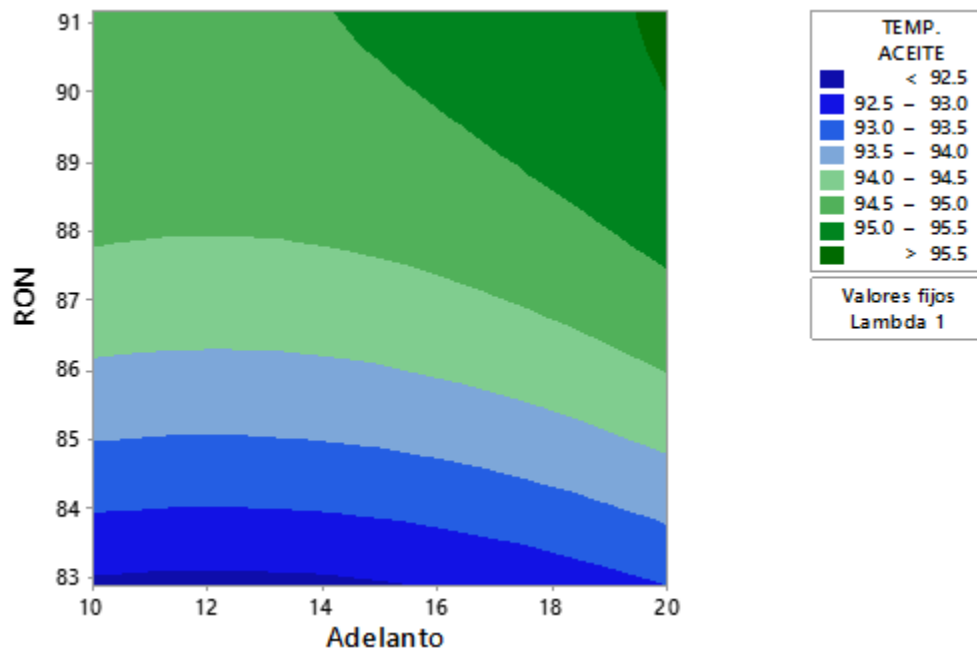


Figura A- 61 Gráfica de contorno de la Temperatura del aceite Vs RON, Adelanto al encendido.

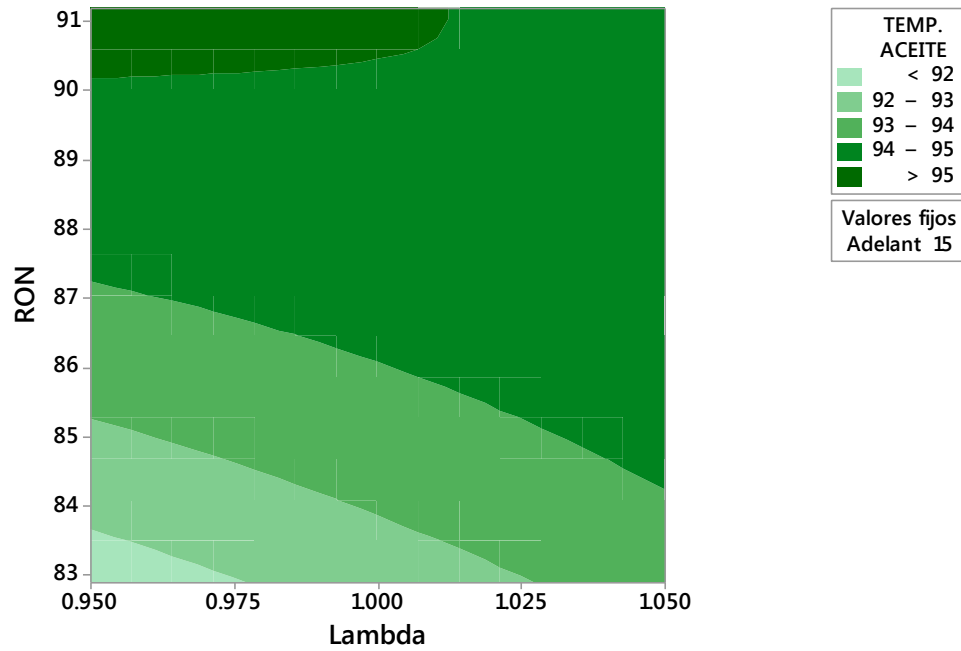


Figura A- 62 Gráfica de contorno de la Temperatura del aceite Vs RON, Lambda.

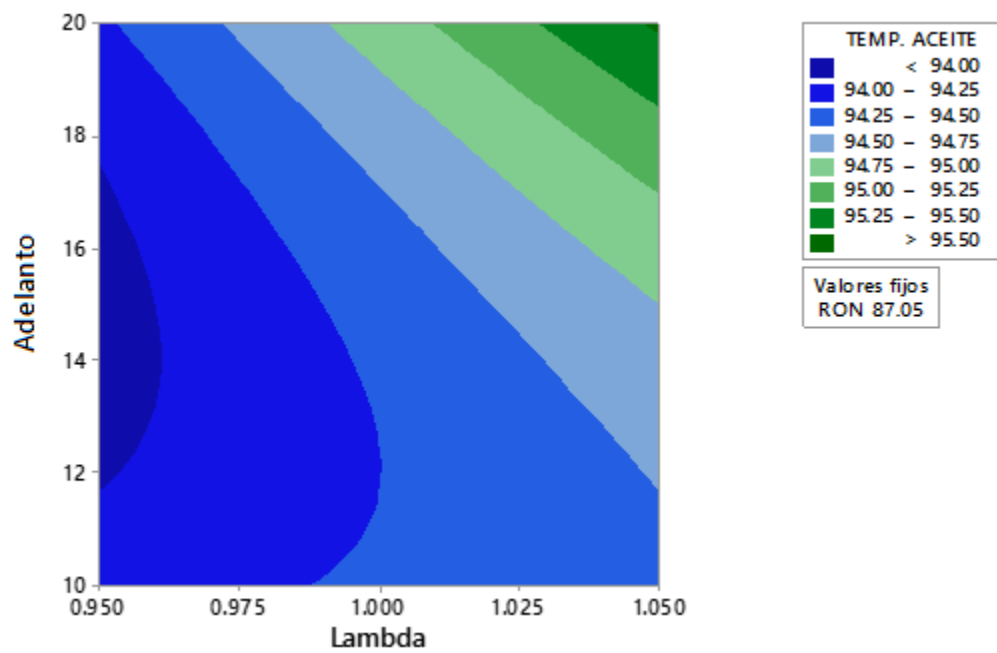


Figura A- 63 Gráfica de contorno de la Temperatura del aceite Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Fuerza tractora

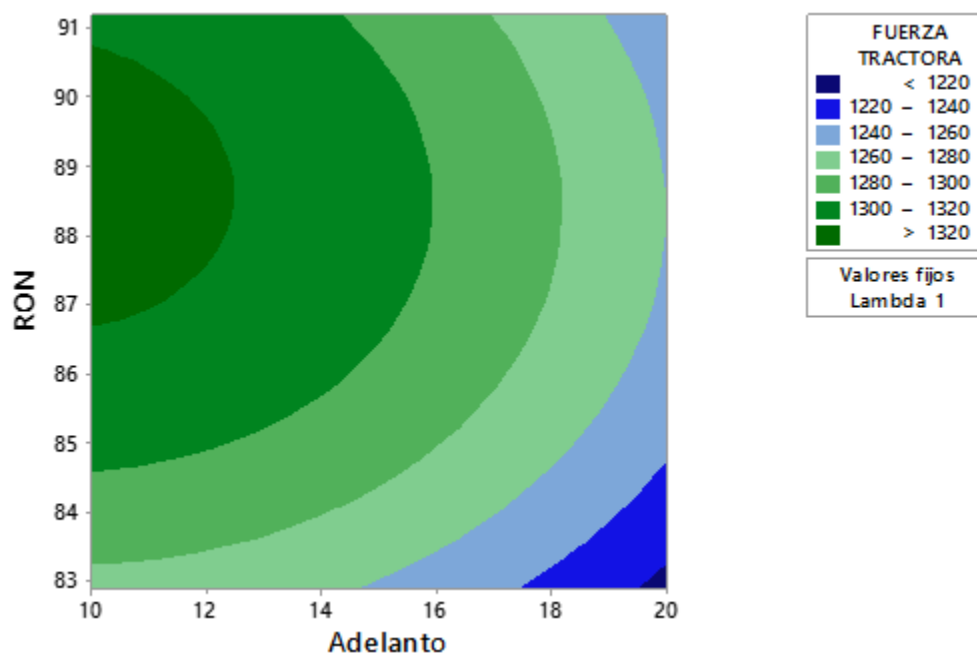


Figura A- 64 Gráfica de contorno de la Fuerza Tractora Vs RON, Adelanto al encendido.

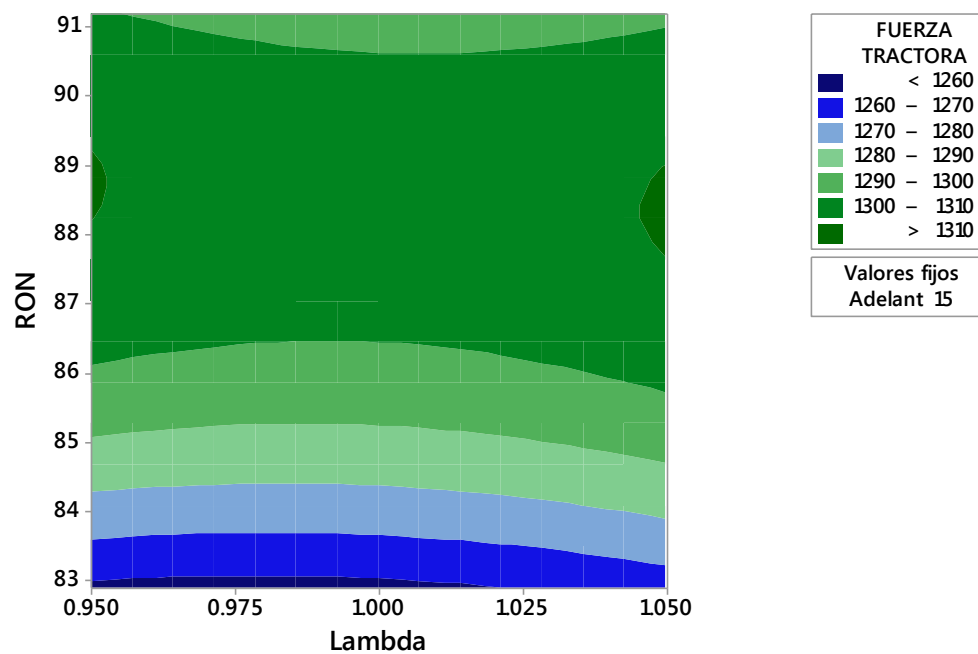


Figura A- 65 Gráfica de contorno de la Fuerza Tractora Vs RON, Lambda.

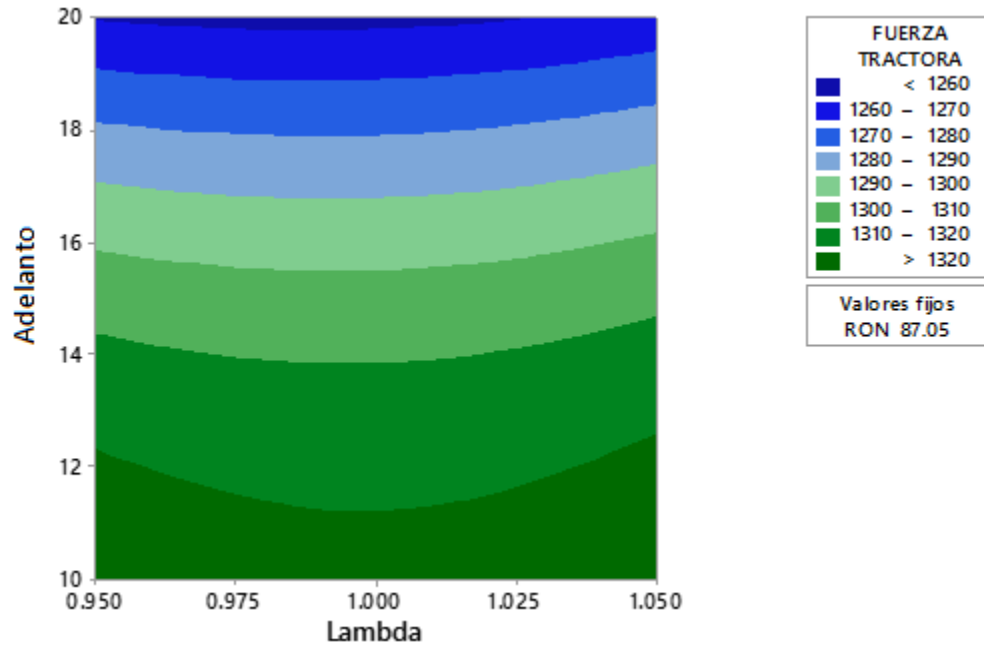


Figura A- 66 Gráfica de contorno del Lambda de respuesta Vs Adelanto al encendido, Lambda.

Figura 1. 1

## Potencia

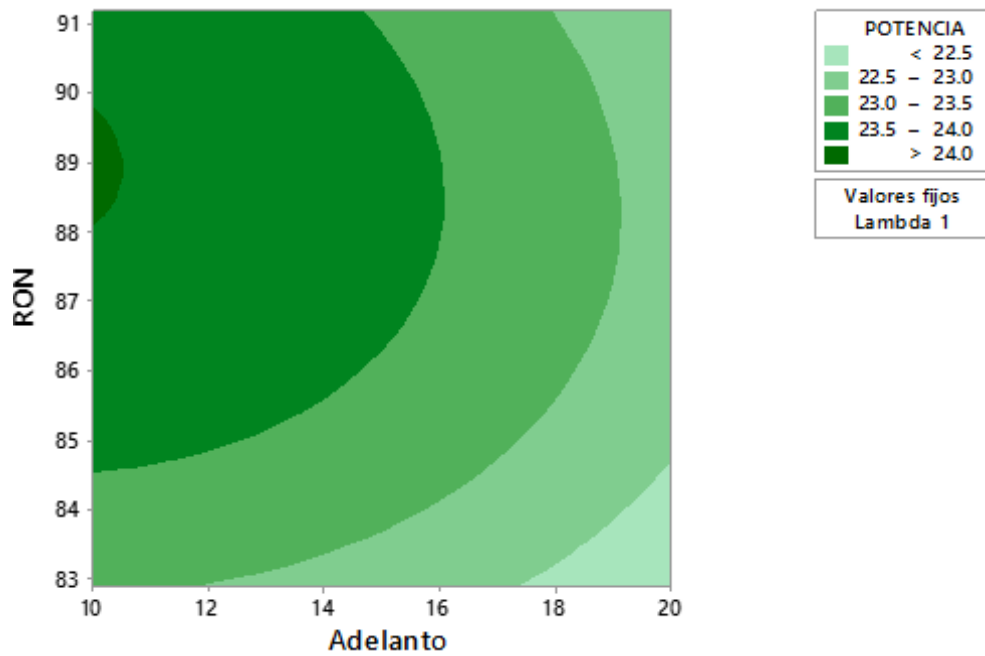


Figura A- 67 Gráfica de contorno de la Potencia Vs RON, Adelanto al encendido.

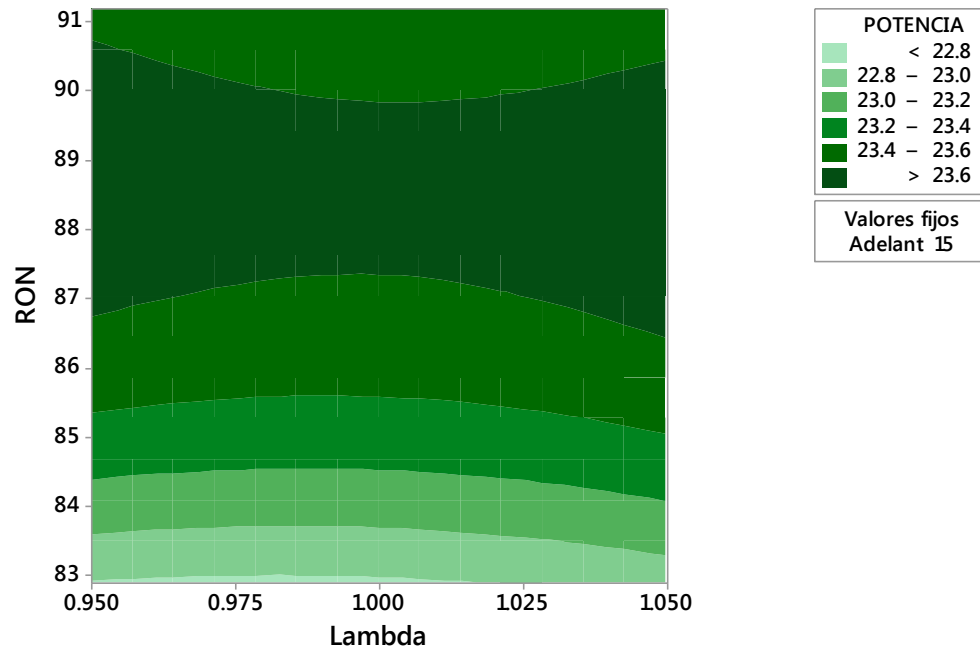


Figura A- 68 Gráfica de contorno de la Potencia Vs RON, Lambda.

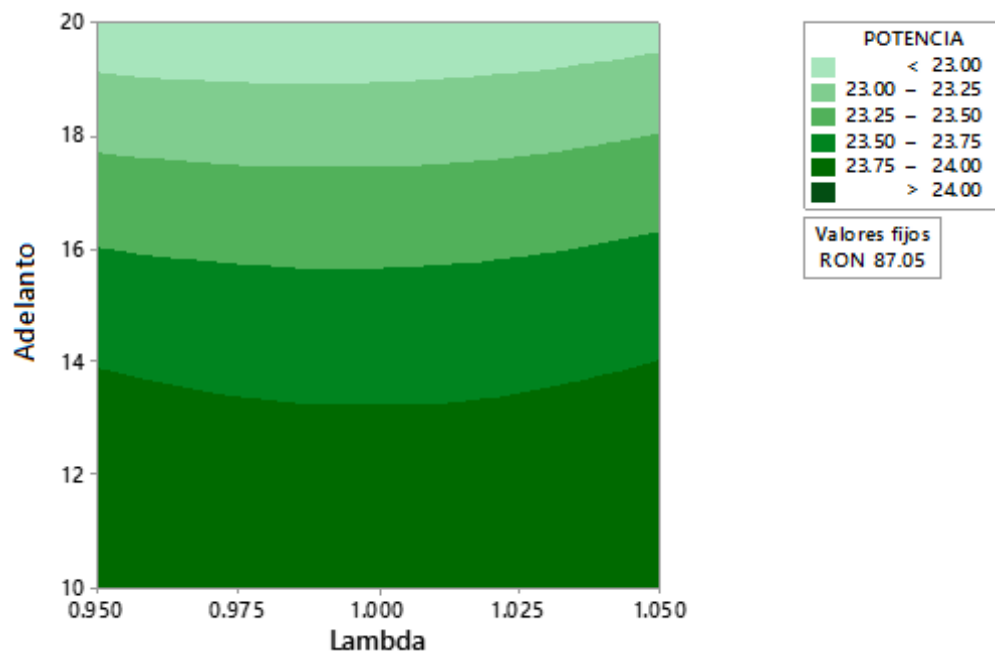


Figura A- 69 Gráfica de contorno de la Potencia Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Factor de Curtosis

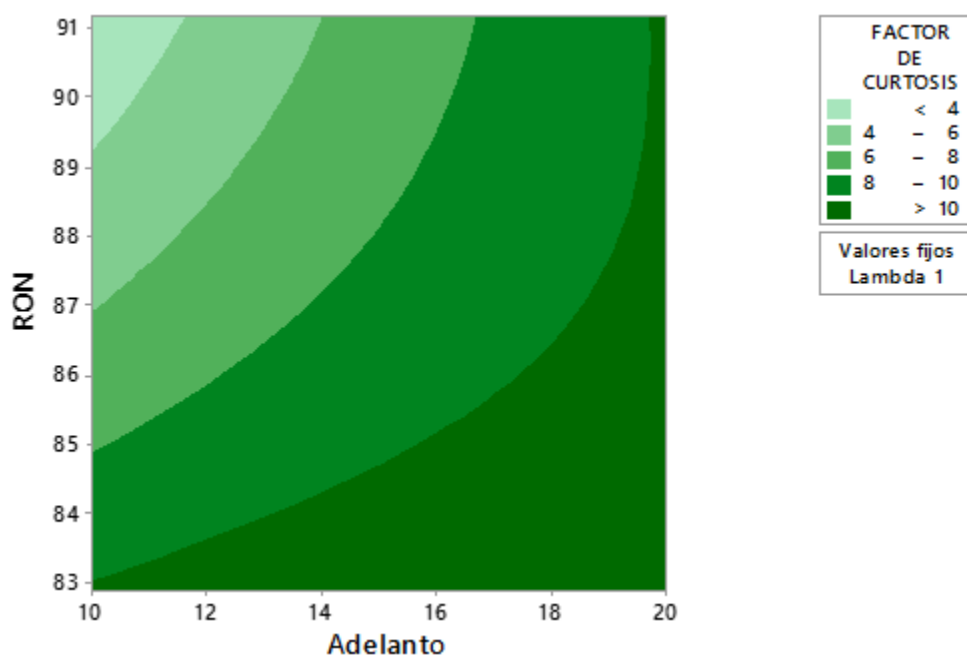


Figura A- 70 Gráfica de contorno del Factor de Curtosis Vs RON, Adelanto al Encendido.

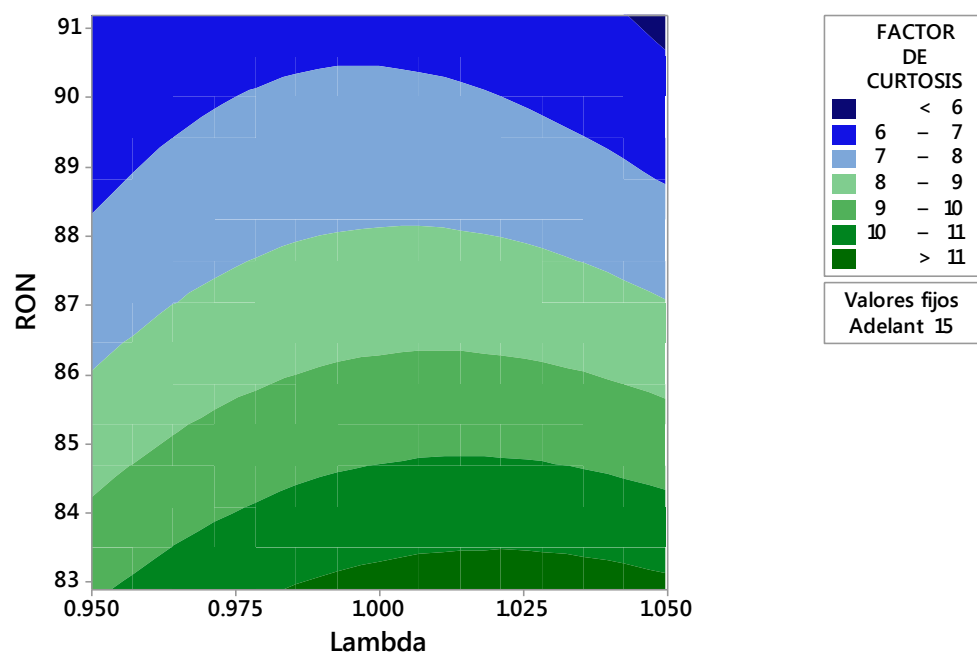


Figura A- 71 Gráfica de contorno del Factor de Curtosis Vs RON, Lambda.

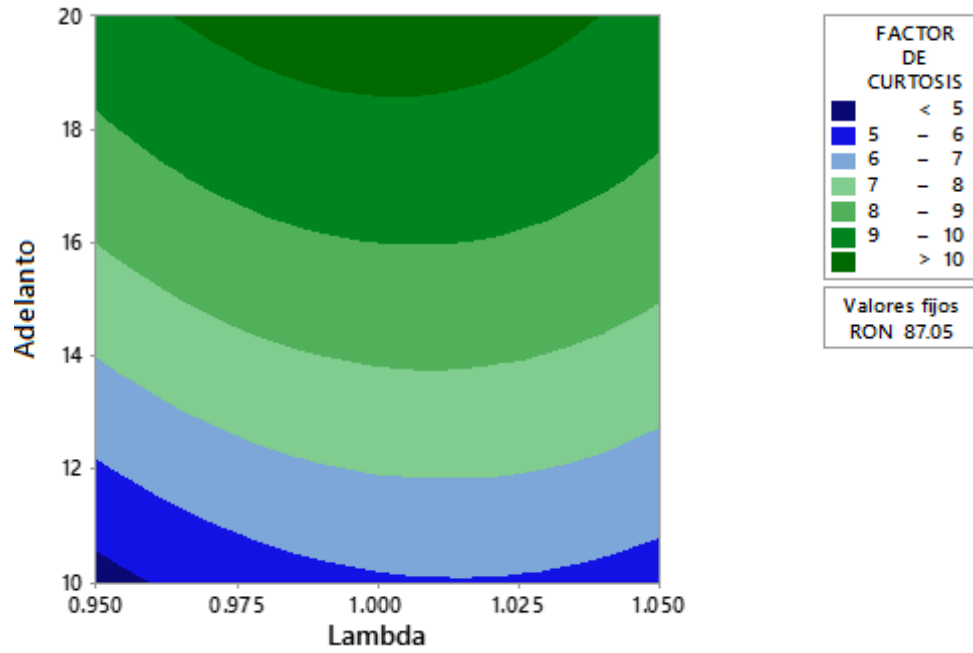


Figura A- 72 Gráfica de contorno del Factor de Curtosis Vs Adelanto al Encendido, Lambda.

### Energía

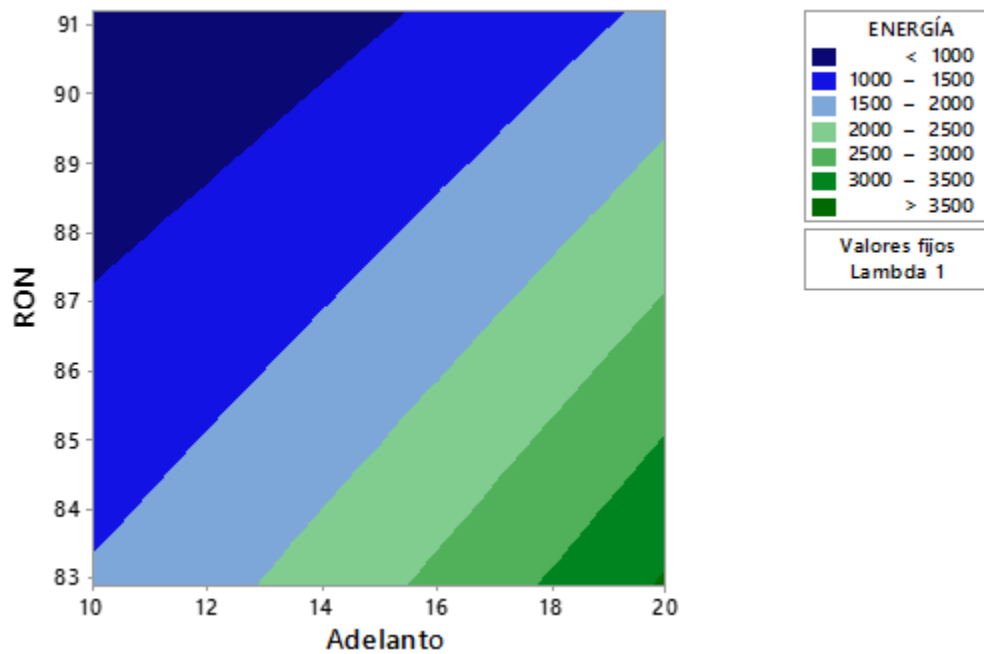


Figura A- 73 Gráfica de contorno de la Energía Vs RON, Adelanto al Encendido.



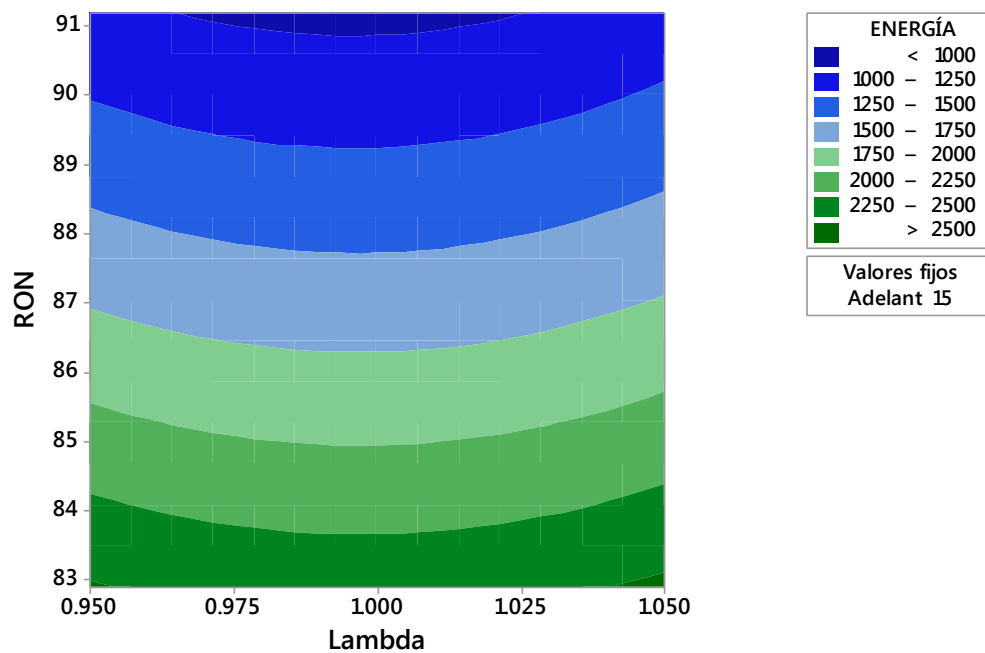


Figura A- 74 Gráfica de contorno de la Energía Vs RON, Lambda.

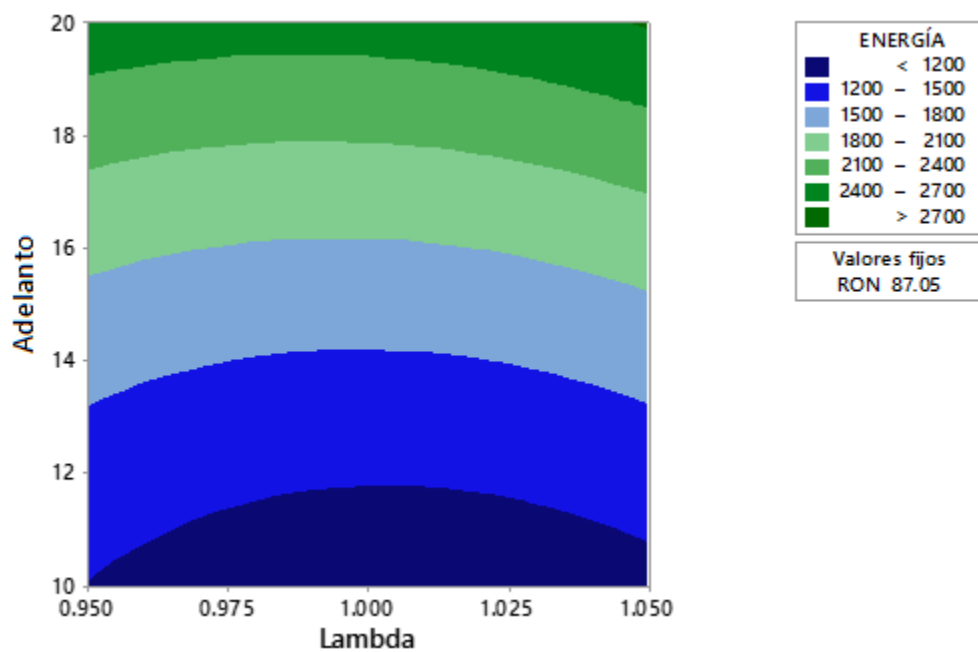


Figura A- 75 Gráfica de contorno de la Energía Vs Adelanto al Encendido, Lambda.

RMS

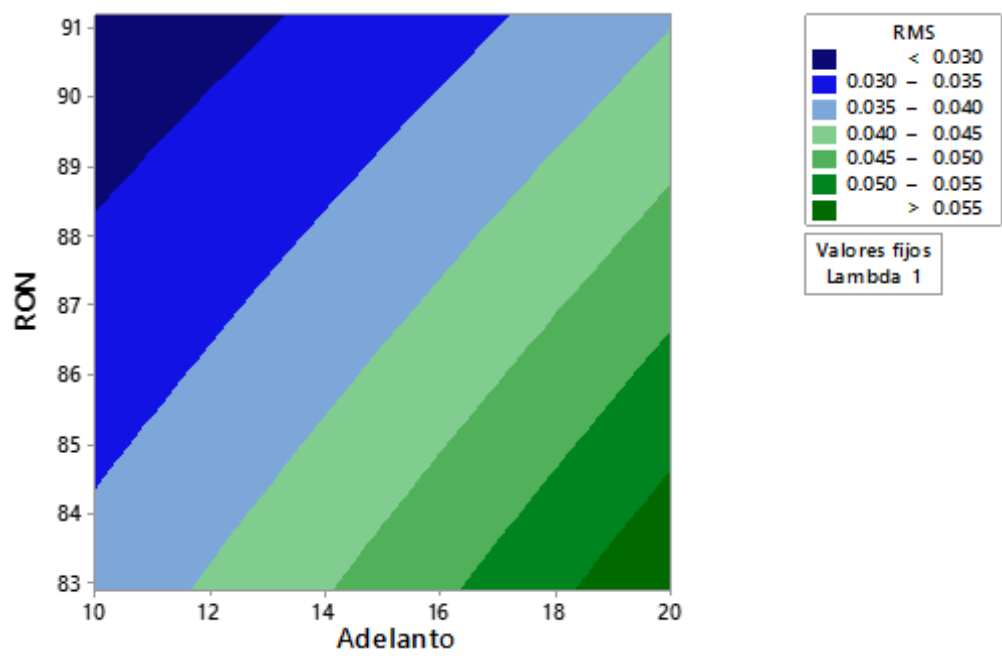


Figura A- 76 Gráfica de contorno del RMS Vs RON, Adelanto al Encendido.

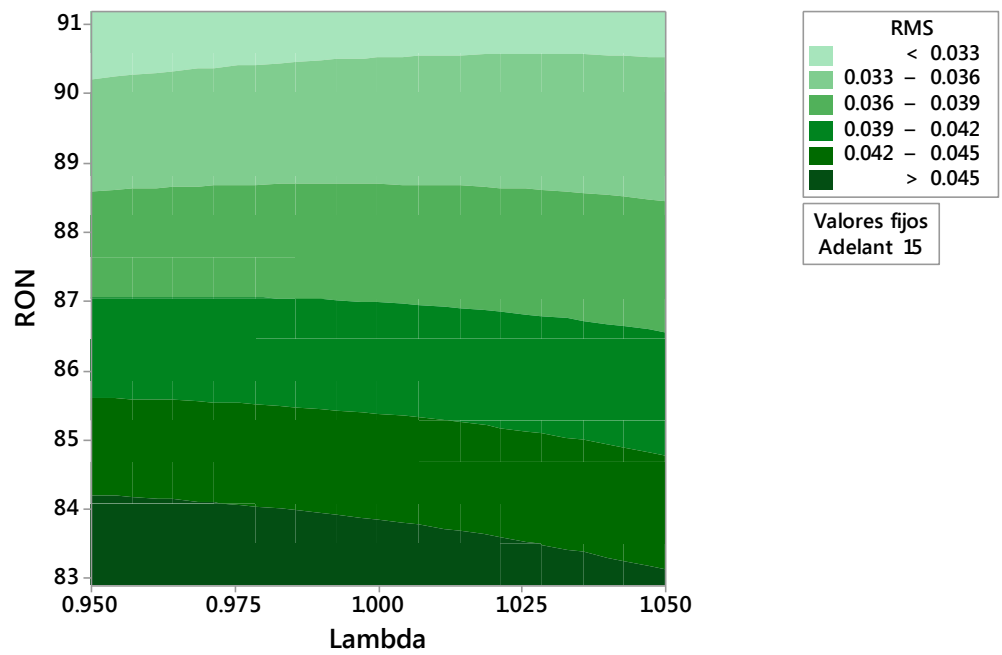


Figura A- 77 Gráfica de contorno del RMS Vs RON, Lambda.

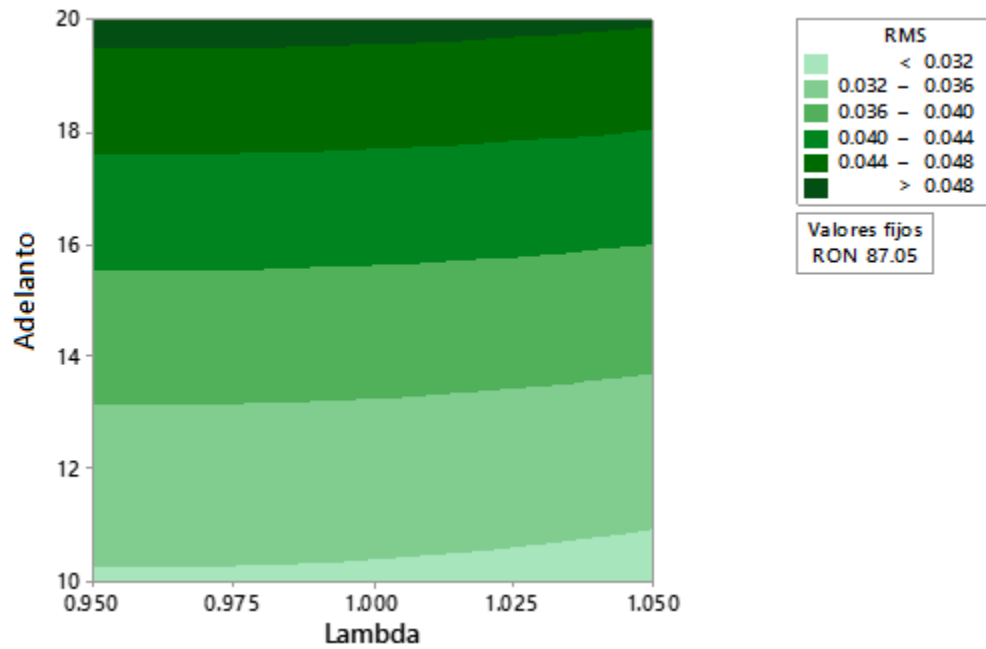


Figura A- 78 Gráfica de contorno del RMS Vs Adelanto al Encendido, Lambda.

### Factor de Cresta

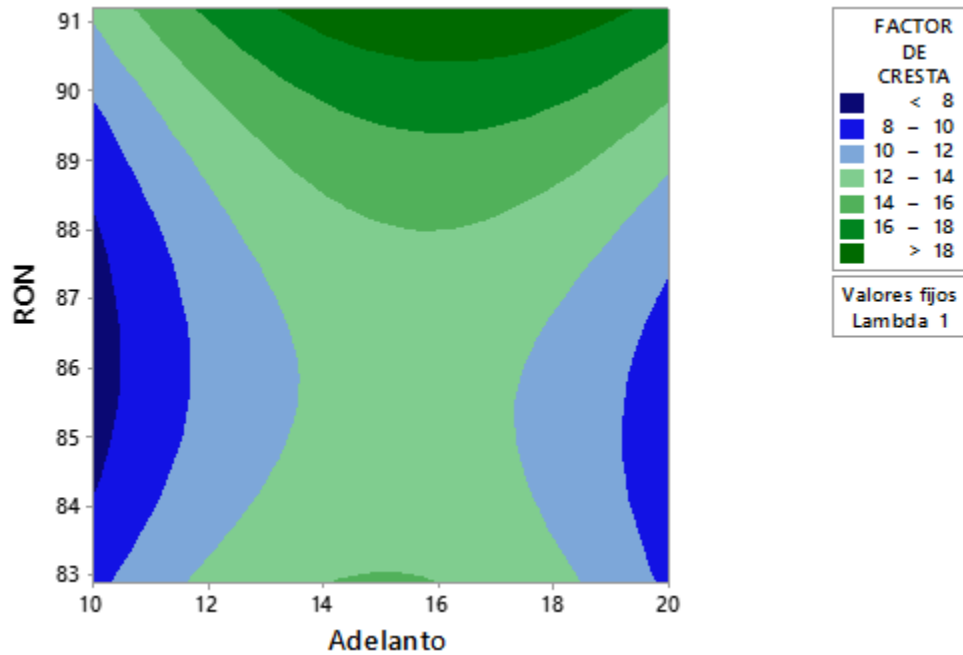


Figura A- 79 Gráfica de contorno del Factor de Cresta Vs RON, Adelanto al Encendido.

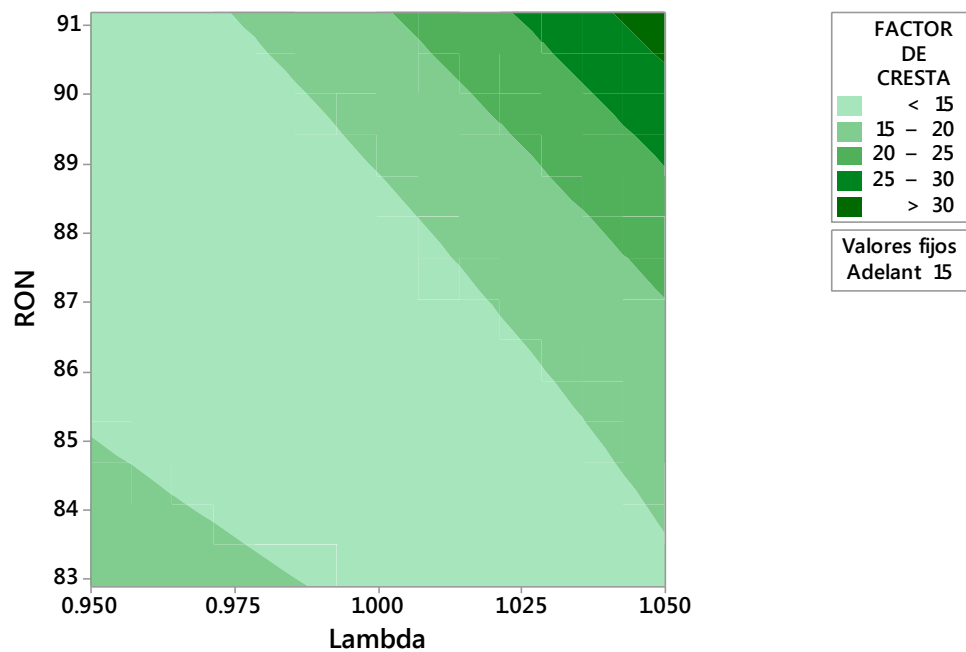


Figura A- 80 Gráfica de contorno del Factor de Cresta Vs RON, Lambda.

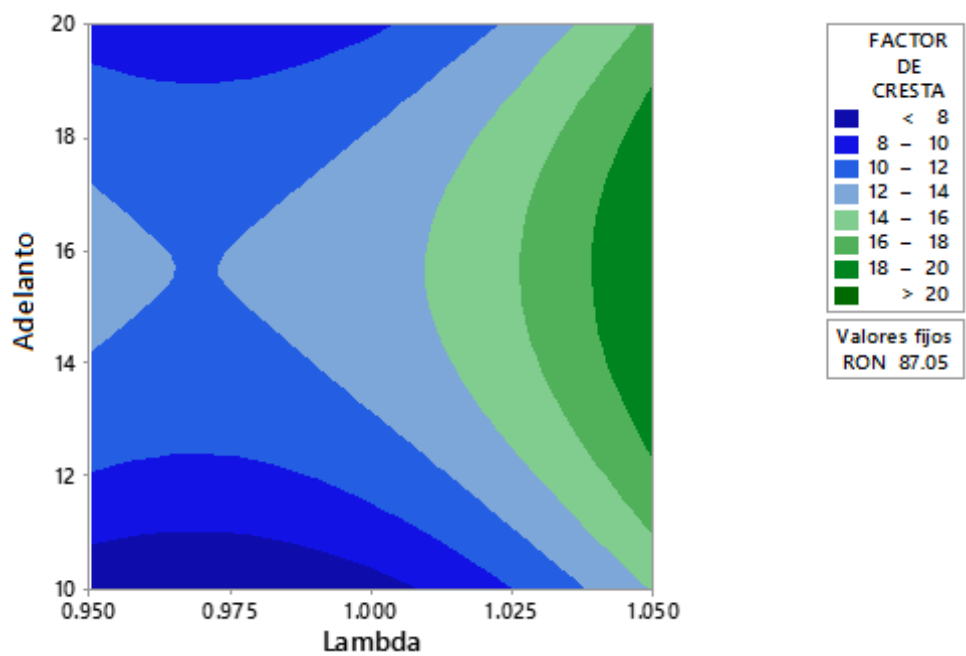


Figura A- 81 Gráfica de contorno del Factor de Cresta Vs Adelanto al Encendido, Lambda.

## FACTOR DE POTENCIA

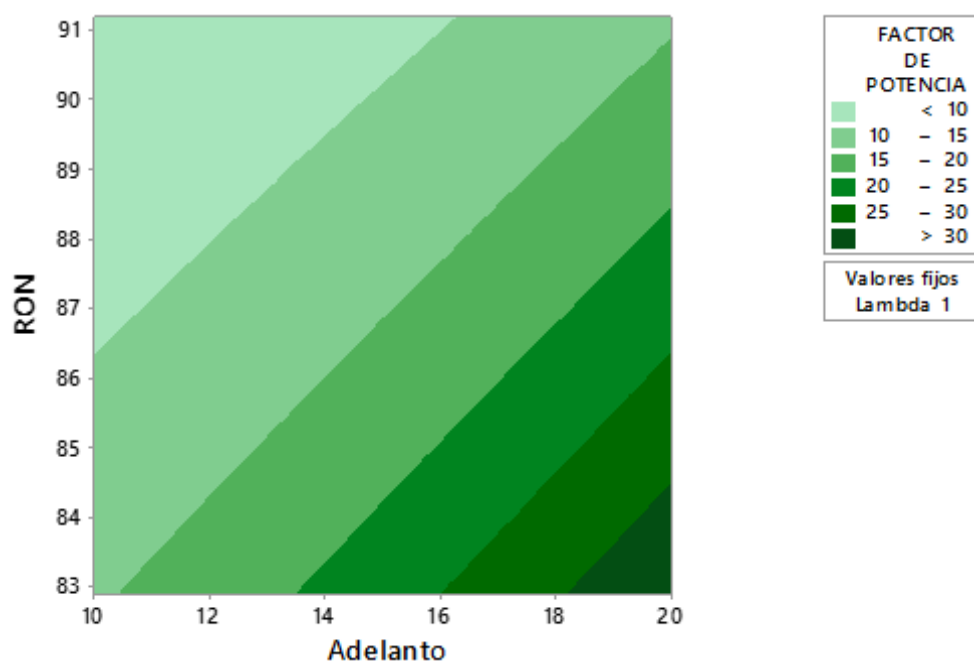


Figura A- 82 Gráfica de contorno del Factor de Potencia Vs RON, Adelanto al Encendido.

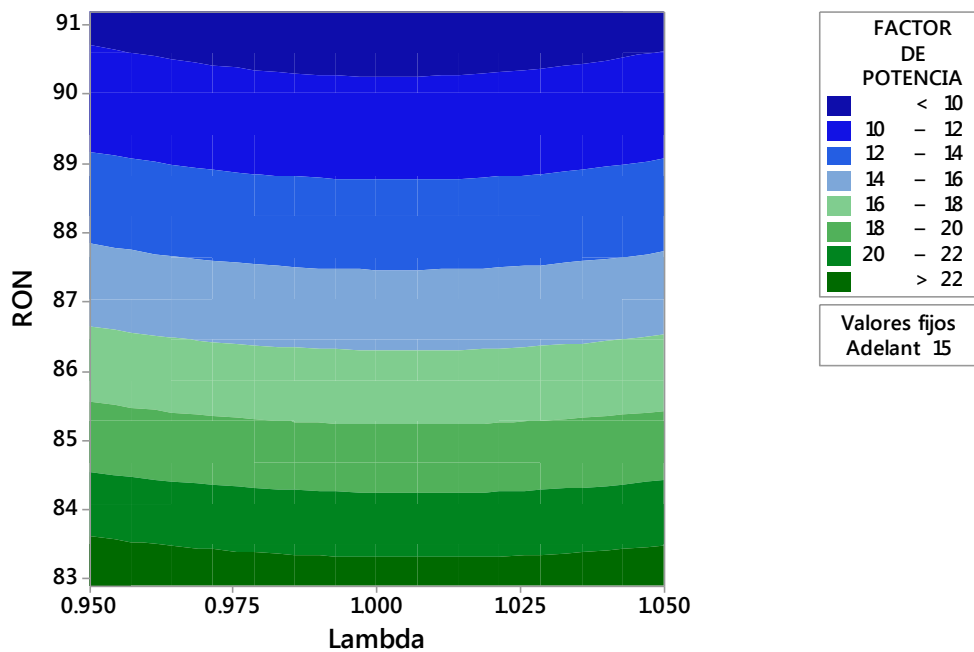


Figura A- 83 Gráfica de contorno del Factor de Potencia Vs RON, Lambda.

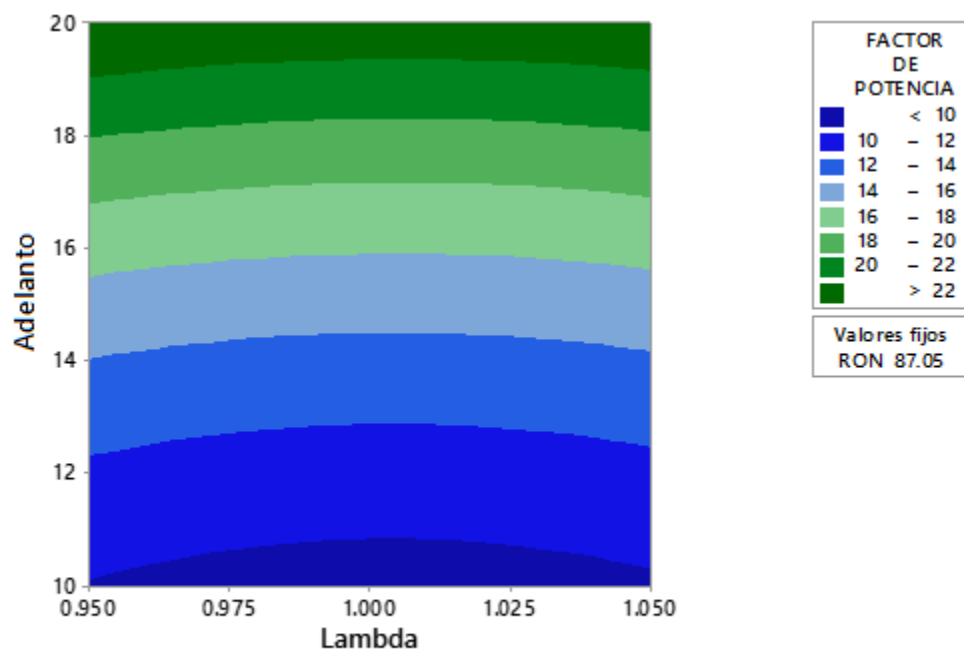


Figura A- 84 Gráfica de contorno del Factor de Potencia Vs Adelanto al Encendido, Lambda.

## GRÁFICAS DE SUPERFICIE

### Monóxido de Carbono (CO)

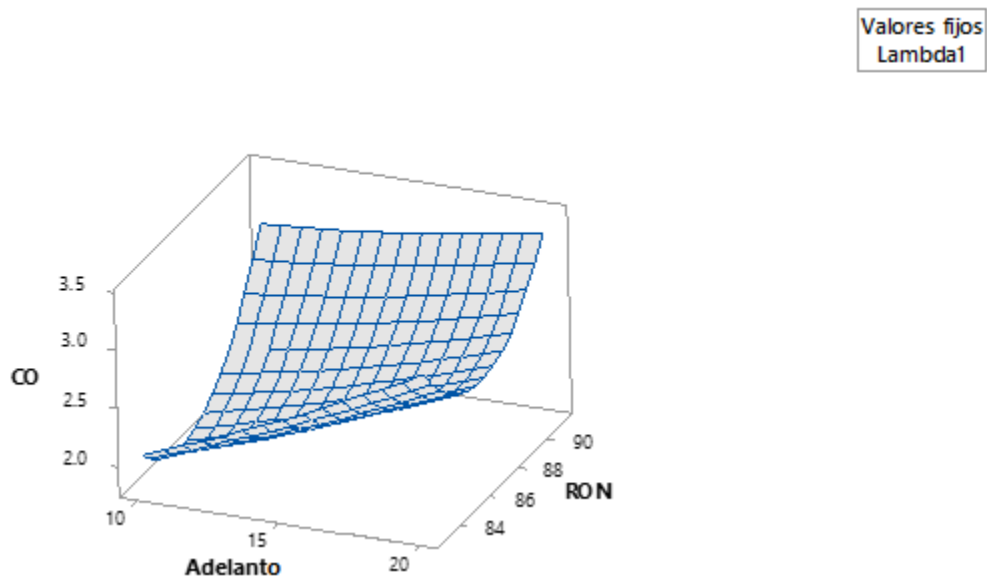


Figura A- 85 Gráfica de superficie del CO Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

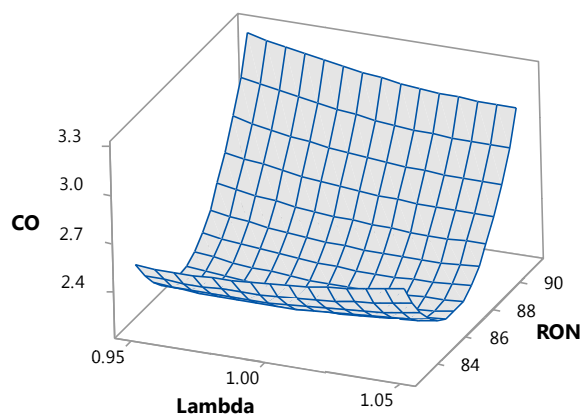


Figura A- 86 Gráfica de superficie del CO Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON 87.05

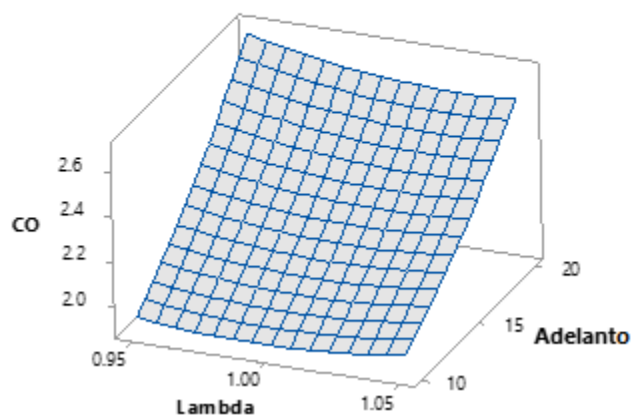


Figura A- 87 Gráfica de superficie del CO Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Lambda

Valores fijos  
Lambda1

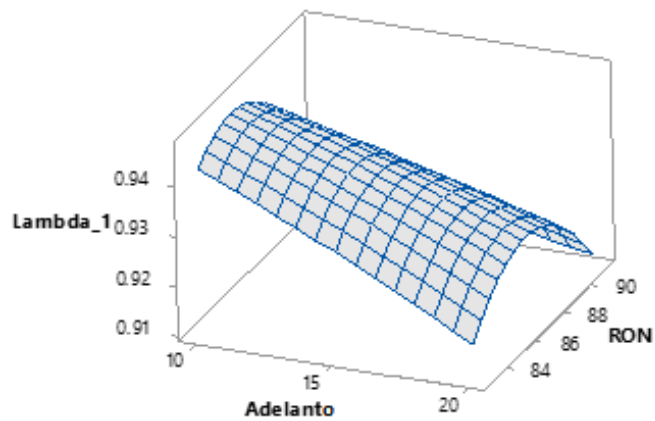


Figura A- 88 Gráfica de superficie del Lambda de respuesta Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

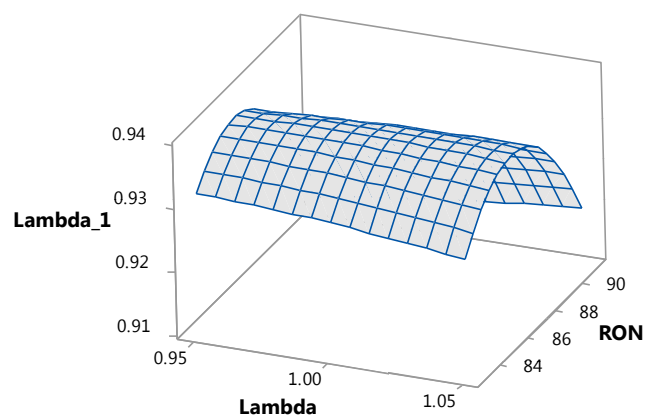


Figura A- 89 Gráfica de superficie del Lambda de respuesta Vs RON, Lambda.



Valores fijos  
RON 87.05

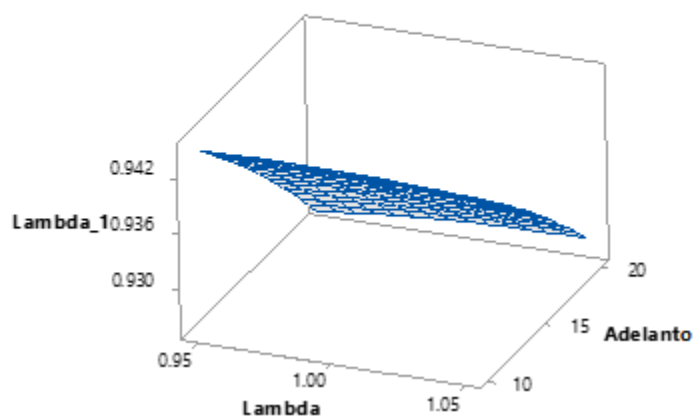


Figura A- 90 Gráfica de superficie del Lambda de respuesta Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Oxígeno (O<sub>2</sub>)

Valores fijos  
Lambda1

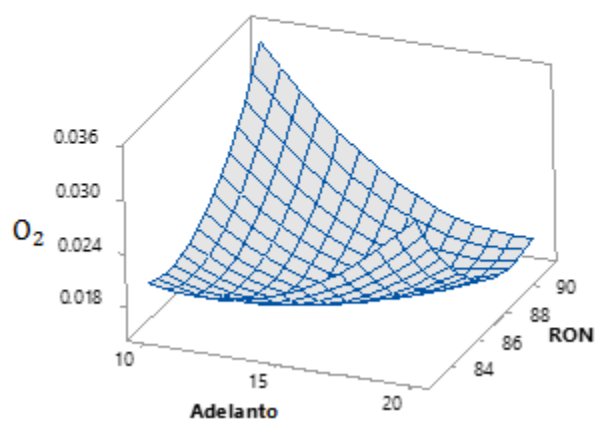


Figura A- 91 Gráfica de superficie del O<sub>2</sub> Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

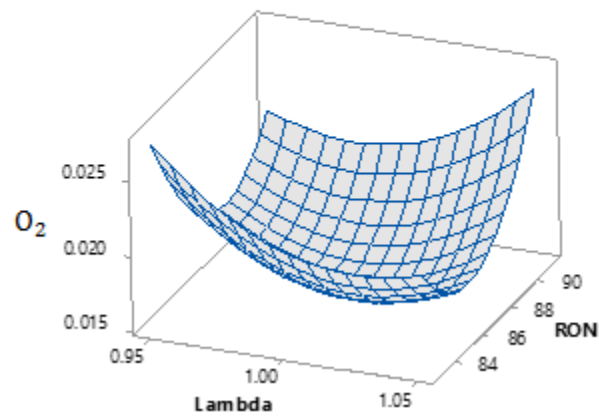


Figura A- 92 Gráfica de superficie del  $O_2$  Vs RON,  $\Lambda$ .

Valores fijos  
RON87.05

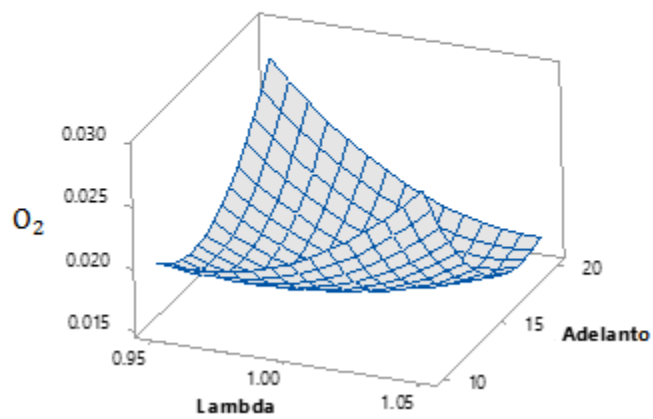


Figura A- 93 Gráfica de superficie del  $O_2$  Vs Adelanto al encendido,  $\Lambda$ .

## Óxidos Nitrosos (NOx)

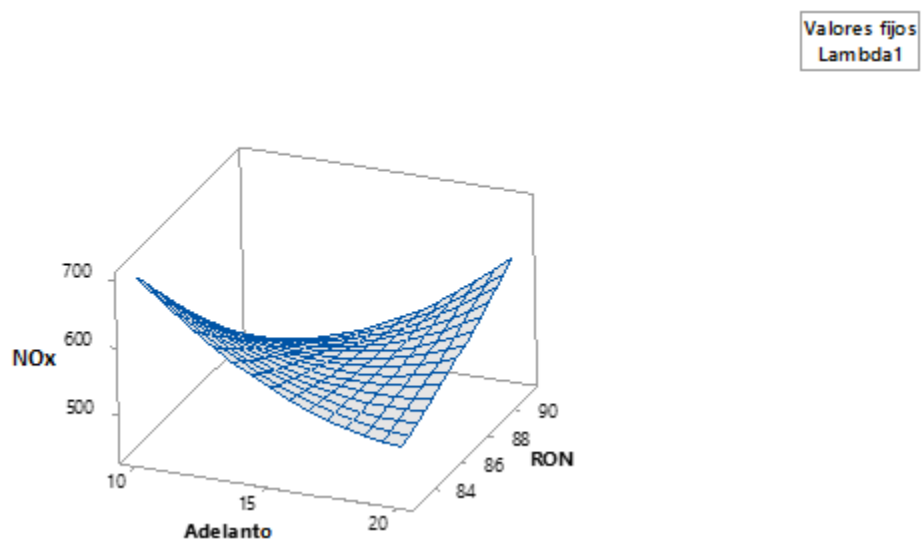


Figura A- 94 Gráfica de superficie de los NOx Vs RON, Adelanto al encendido.

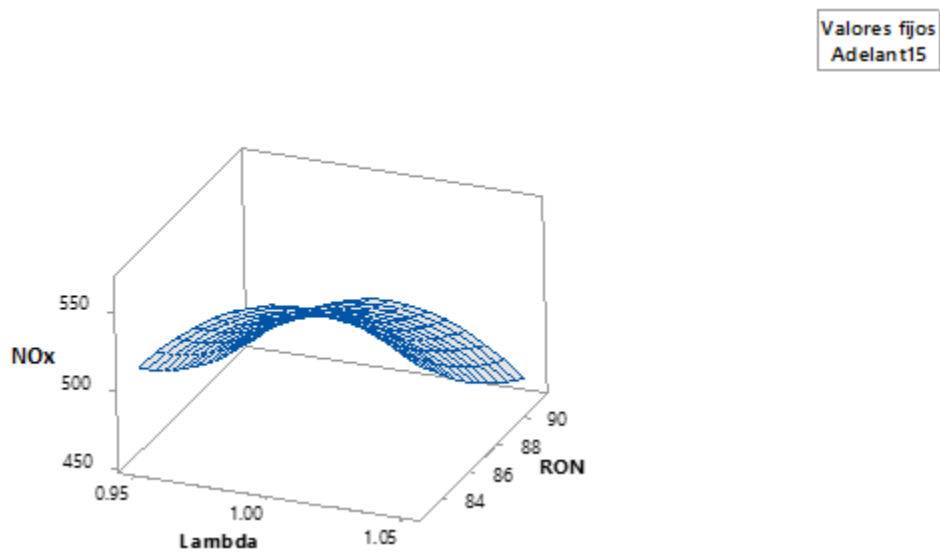


Figura A- 95 Gráfica de superficie de los NOx Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON 87.05

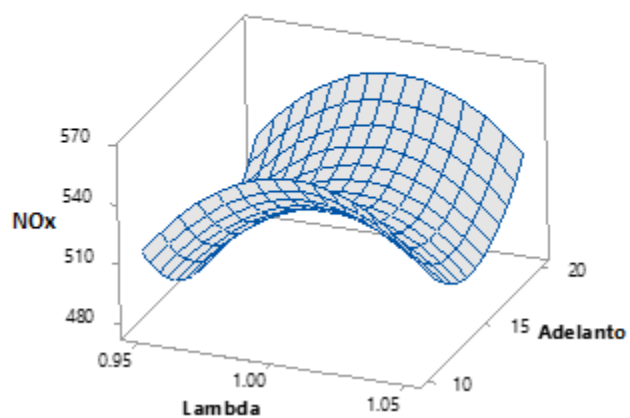


Figura A- 96 Gráfica de superficie de los NOx Vs Adelanto al encendido, Lambda.

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

Valores fijos  
Lambda 1

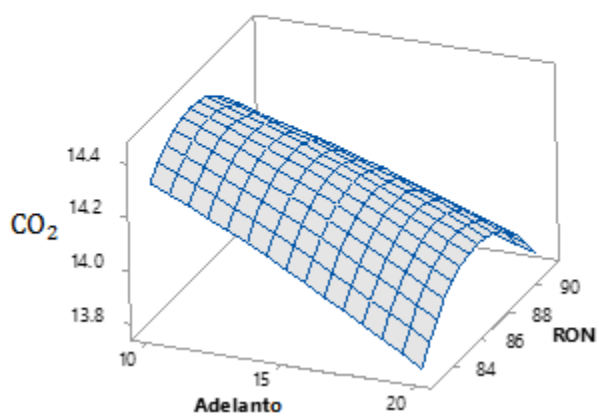


Figura A- 97 Gráfica de superficie del CO<sub>2</sub> Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

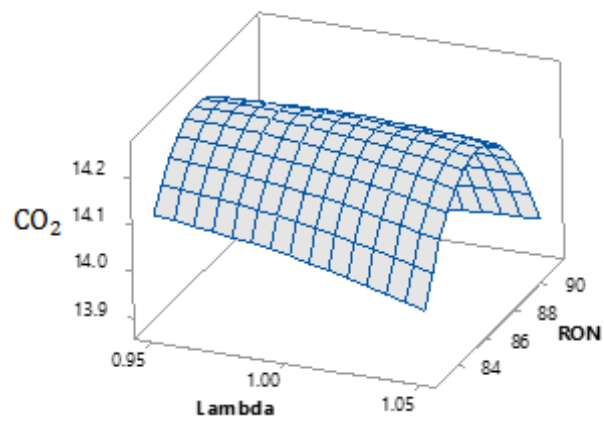


Figura A- 98 Gráfica de superficie del CO<sub>2</sub> Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON87.05

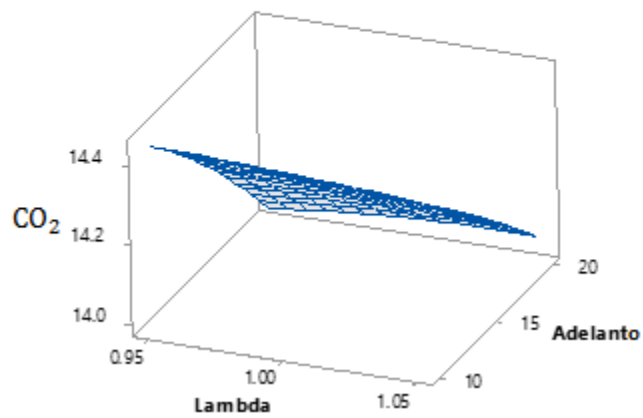


Figura A- 99 Gráfica de superficie del CO<sub>2</sub> Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Hidrocarburos no Combustionados (HC)

Valores fijos  
Lambda1

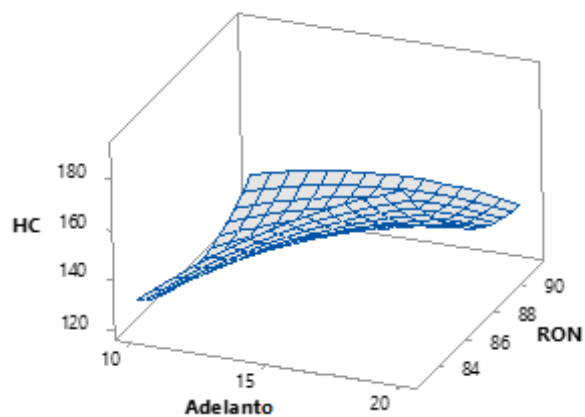


Figura A- 100 Gráfica de superficie del HC Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

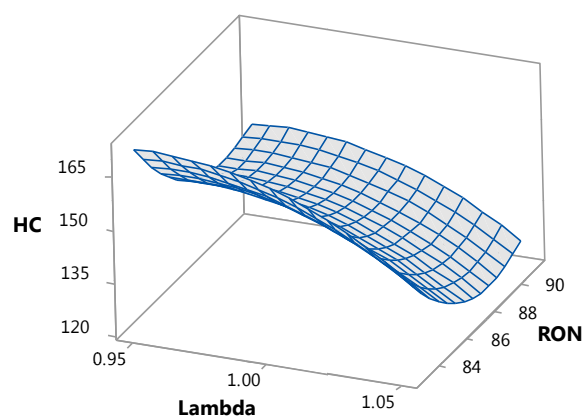


Figura A- 101 Gráfica de superficie de los HC Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON 87.05

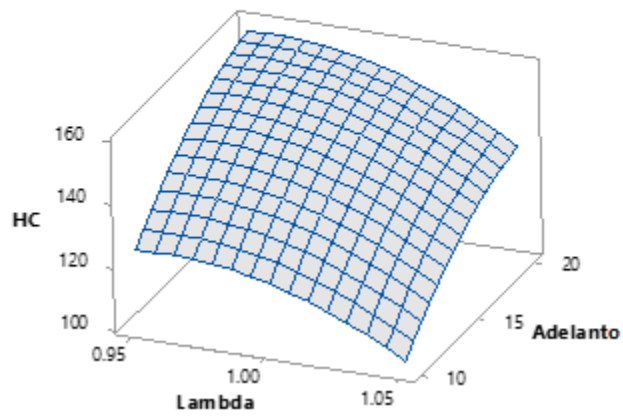


Figura A- 102 Gráfica de superficie del HC Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Temperatura del Aceite

Valores fijos  
Lambda 1

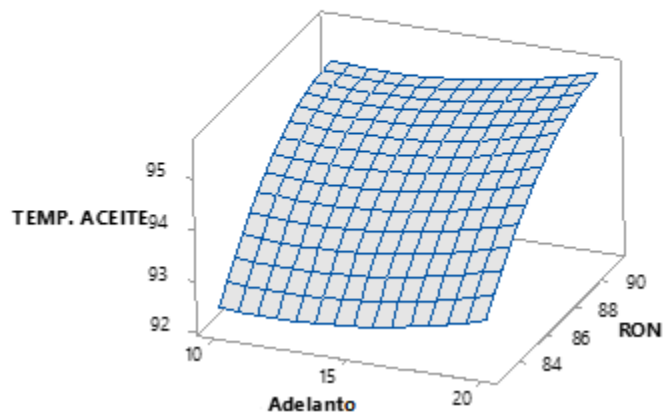


Figura A- 103 Gráfica de superficie de la Temperatura del aceite Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

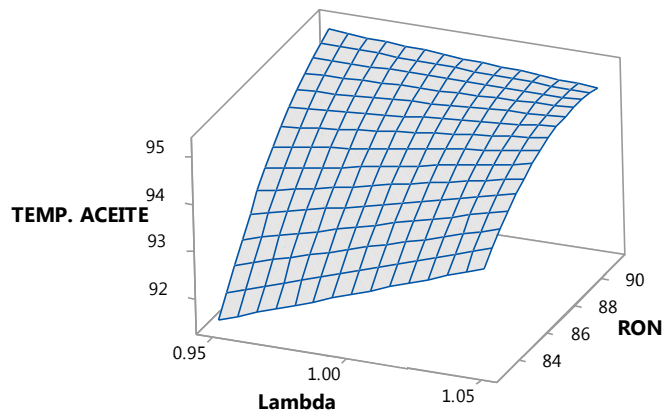


Figura A- 104 Gráfica de superficie de la Temperatura del aceite Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON87.05

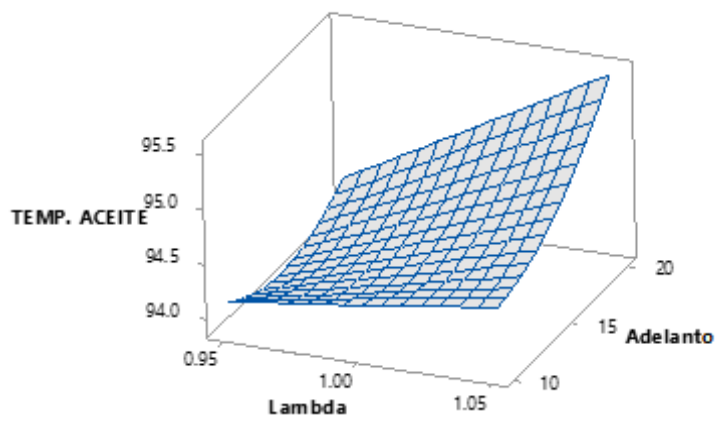


Figura A- 105 Gráfica de superficie de la Temperatura del aceite Vs Adelanto al encendido, Lambda.



## Fuerza Tractora

Valores fijos  
Lambda1

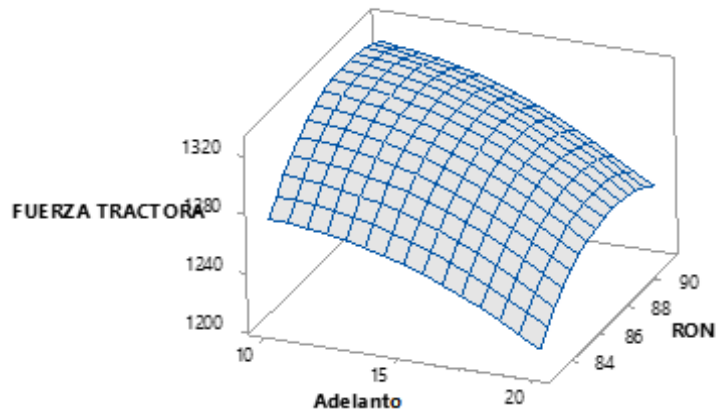


Figura A- 106 Gráfica de superficie de la Fuerza tractora Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

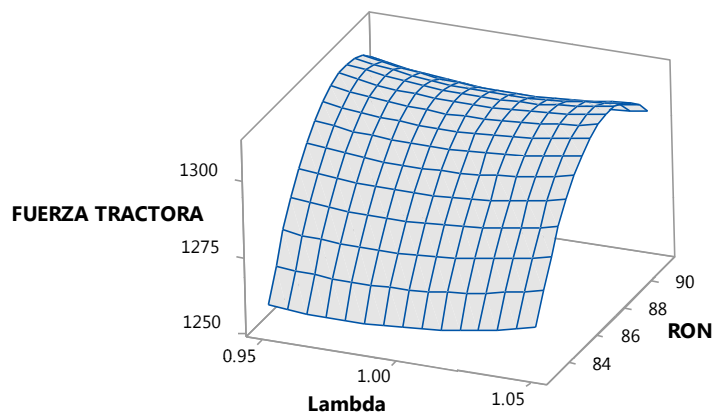


Figura A- 107 Gráfica de superficie de la Fuerza tractora Vs RON, Lambda.

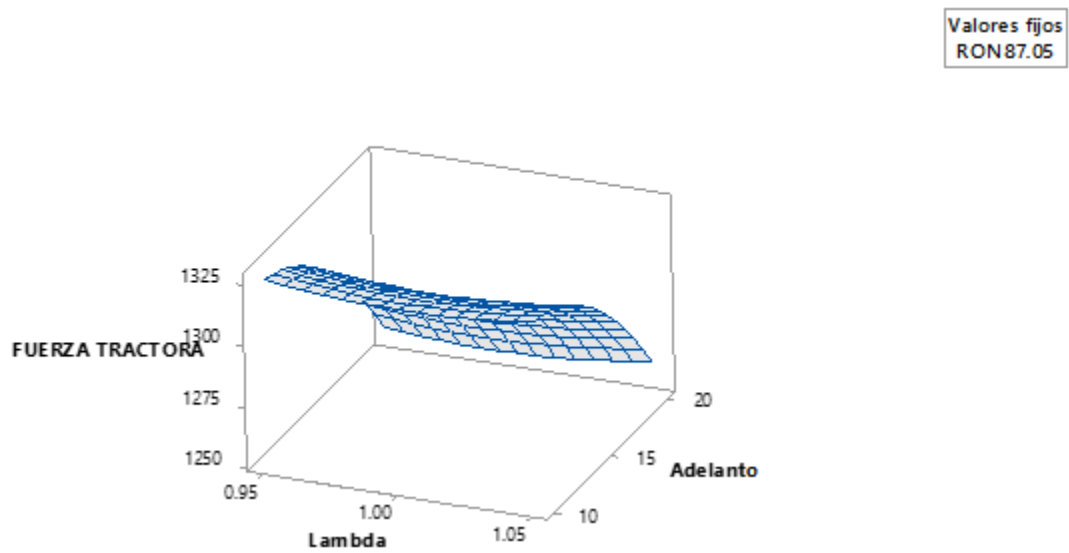


Figura A- 108 Gráfica de superficie de la Fuerza tractora Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Potencia

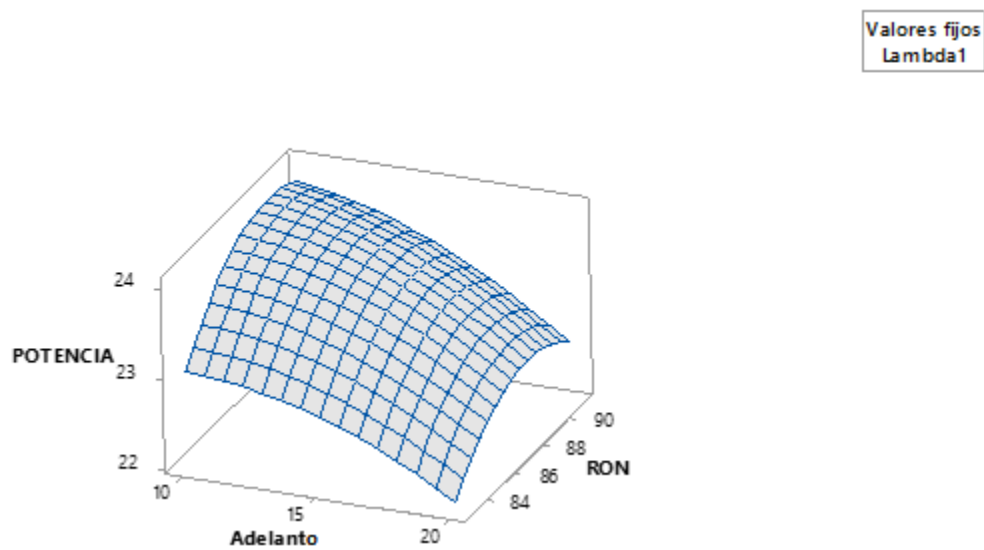


Figura A- 109 Gráfica de superficie de la Potencia Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

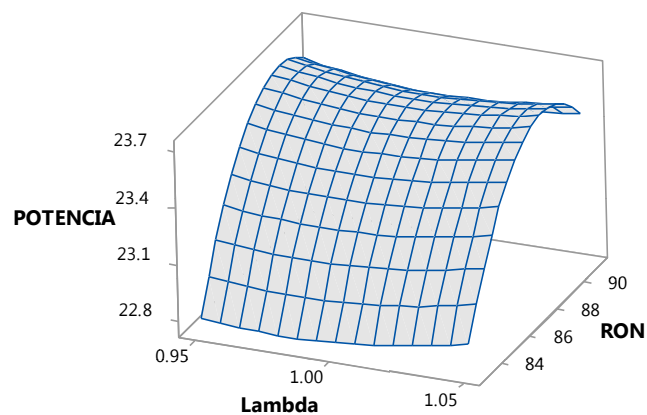


Figura A- 110 Gráfica de superficie de la Potencia Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON87.05

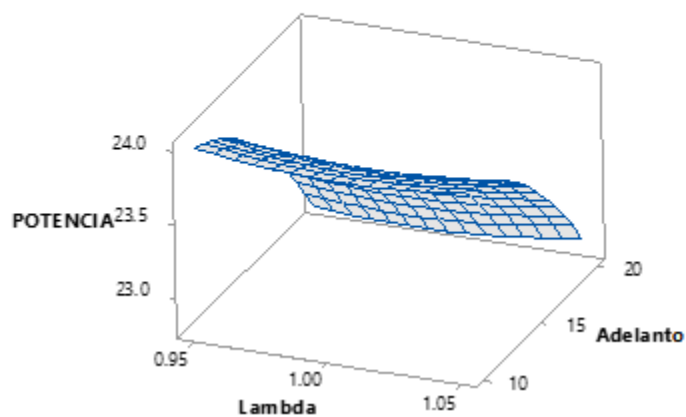


Figura A- 111 Gráfica de superficie de la Potencia Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Factor de Curtosis

Valores fijos  
Lambda1

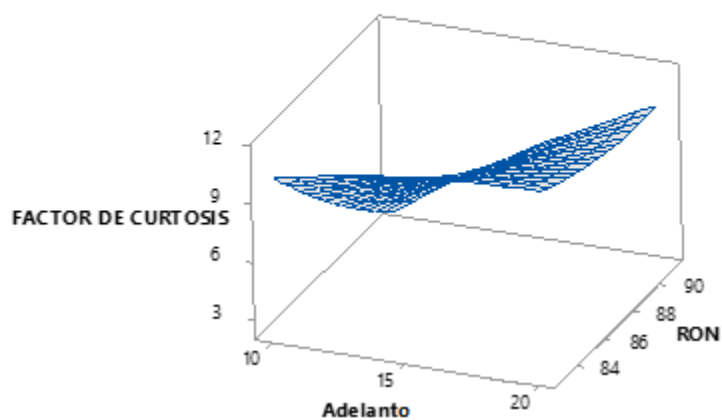


Figura A- 112 Gráfica de superficie del Factor de Curtosis Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

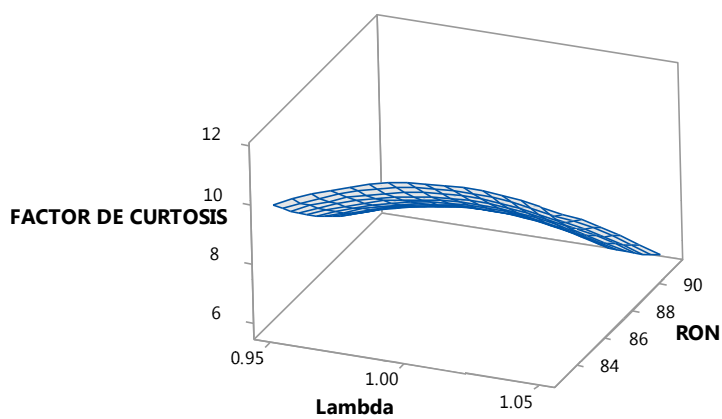


Figura A- 113 Gráfica de superficie del Factor de Curtosis Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON 87.05

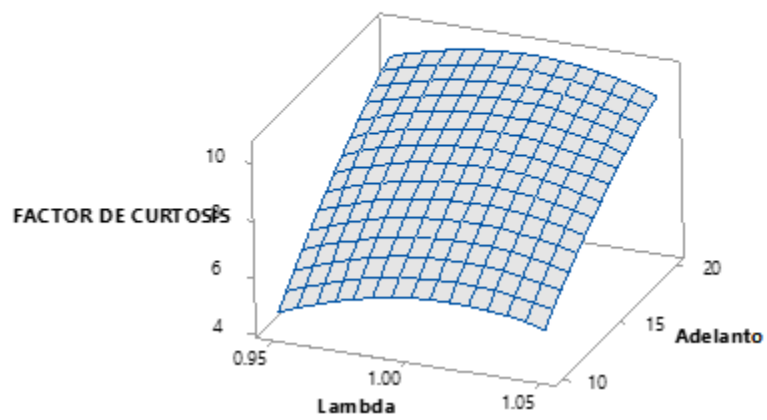


Figura A- 114 Gráfica de superficie del Factor de Curtosis Vs Lambda, Adelanto al encendido.

## Energía.

Valores fijos  
Lambda1

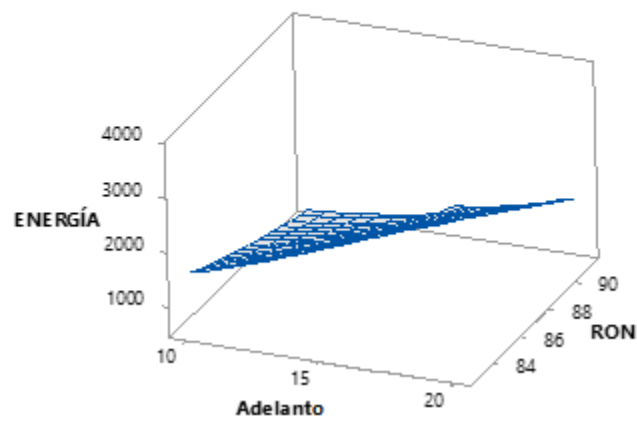


Figura A- 115 Gráfica de superficie de la Energía Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

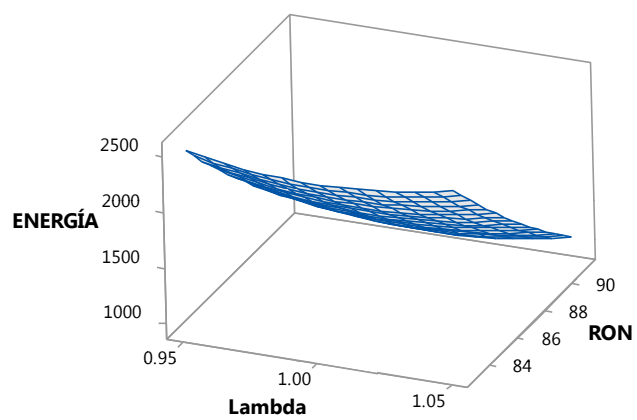


Figura A- 116 Gráfica de superficie de la Energía Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON 87.05

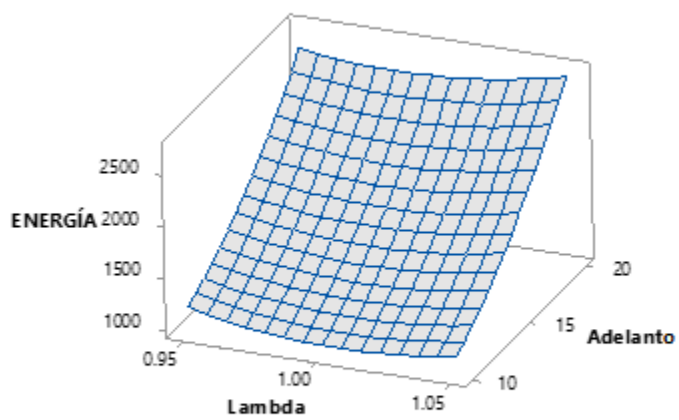


Figura A- 117 Gráfica de superficie de la Energía Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## RMS

Valores fijos  
Lambda1

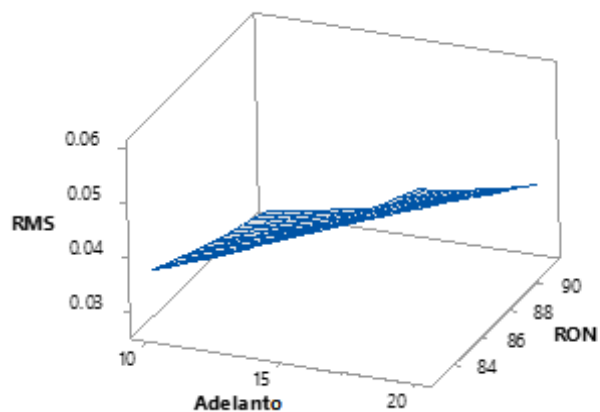


Figura A- 118 Gráfica de superficie del RMS Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

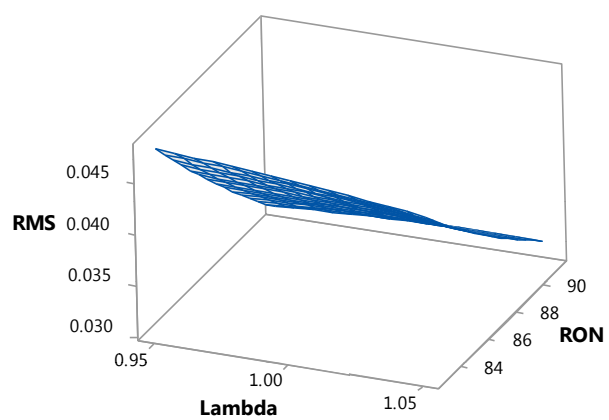


Figura A- 119 Gráfica de superficie del RMS Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON87.05

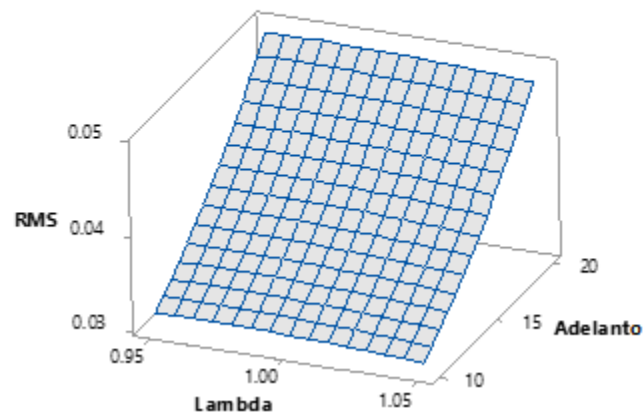


Figura A- 120 Gráfica de superficie del RMS Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Factor de Cresta

Valores fijos  
Lambda1

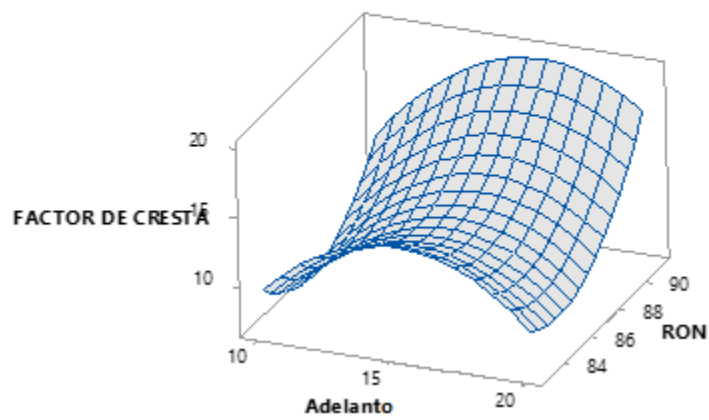


Figura A- 121 Gráfica de superficie del Factor de Cresta Vs RON, Adelanto al encendido.



Valores fijos  
Adelant15

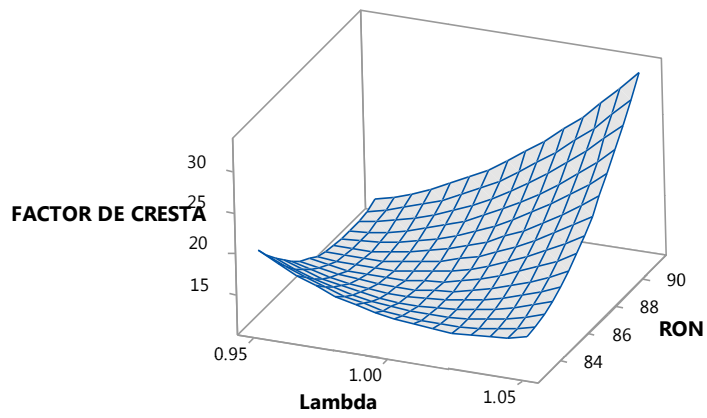


Figura A- 122 Gráfica de superficie del Factor de Cresta Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON87.05

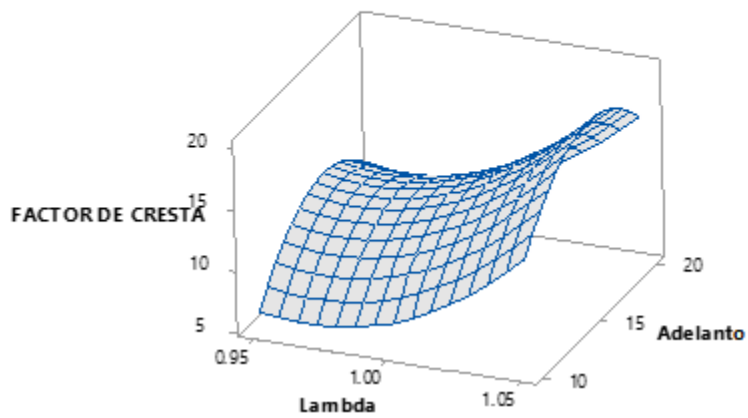


Figura A- 123 Gráfica de superficie del Factor de Cresta Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## Factor de Potencia

Valores fijos  
Lambda1

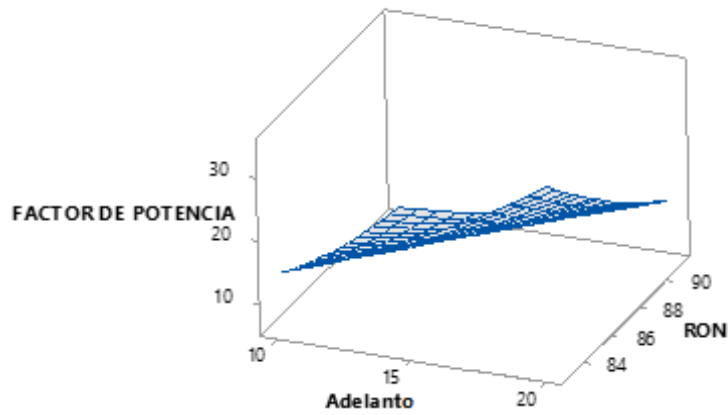


Figura A- 124 Gráfica de superficie del Factor de Potencia Vs RON, Adelanto al encendido.

Valores fijos  
Adelant15

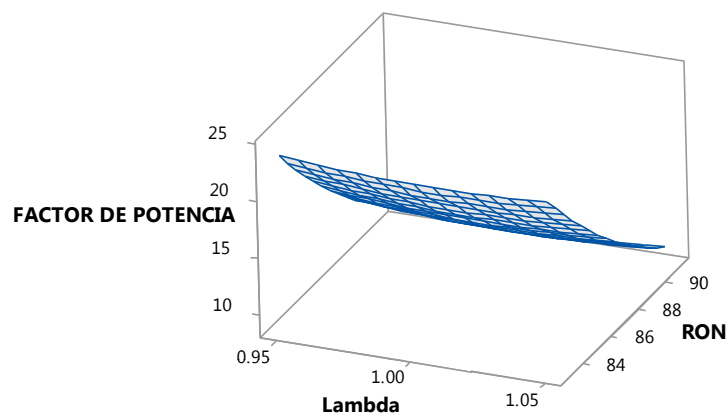


Figura A- 125 Gráfica de superficie del Factor de Potencia Vs RON, Lambda.

Valores fijos  
RON 87.05

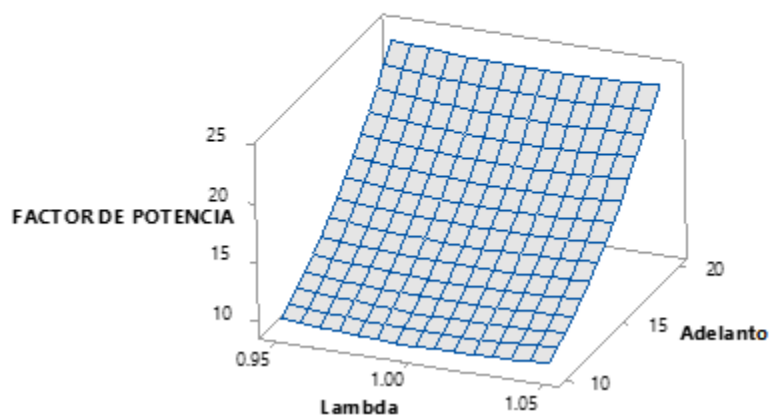


Figura A- 126 Gráfica de superficie del Factor de Potencia Vs Adelanto al encendido, Lambda.

## OPTIMIZACION

Óptima D: 0.5993 <a href="#">Predecir</a>	Alto <b>Act</b> Bajo	Lambda 1.050 <b>[1.050]</b> 0.950	Adelanto 20.0 <b>[10.0]</b> 10.0	RON 91.20 <b>[91.20]</b> 82.90
Deseabilidad Compuesta D: 0.5993				
No Mínimo $y = 410.8889$ $d = 0.69494$				
CO Mínimo $y = 2.9889$ $d = 0.27930$				
HC Mínimo $y = 117.7222$ $d = 0.76677$				
POTENCIA Máximo $y = 23.9069$ $d = 0.86679$				

Figura A- 127 Optimización de la gasolina Súper.

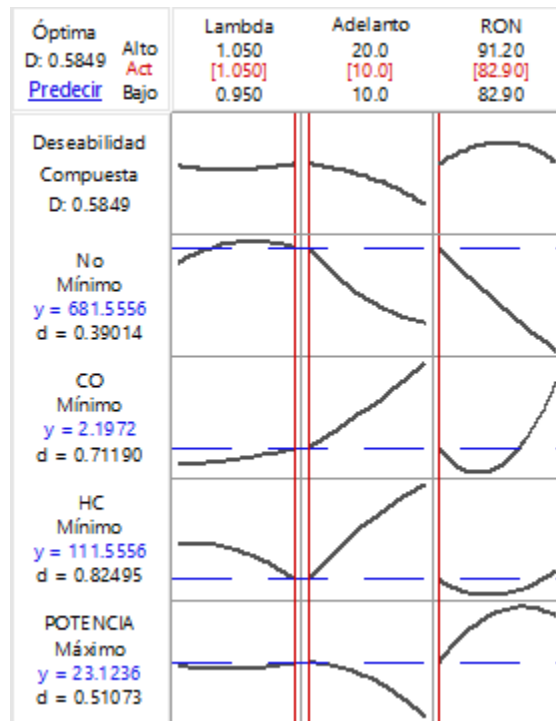


Figura A- 128 Optimización de la gasolina Ecopaís.

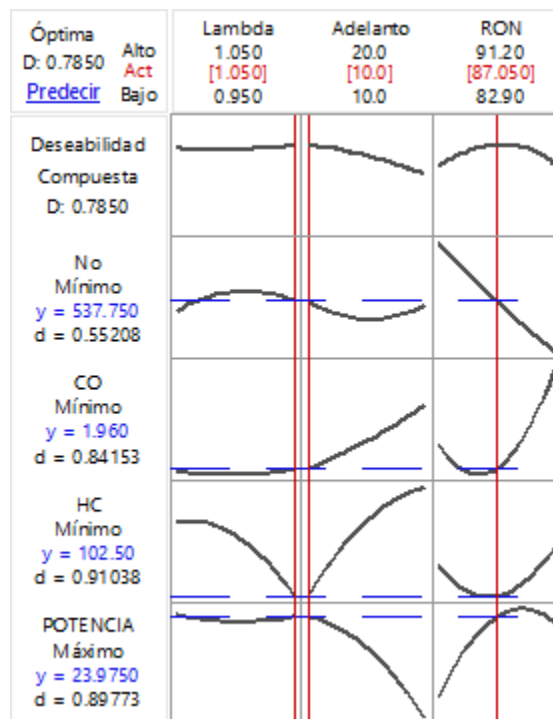


Figura A- 129 Optimización de la Mezcla se gasolina Súper y Ecopaís.