

**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:

**“SISTEMA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES
PROCEDENTES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA
MEDIANTE TRATAMIENTO POST COMBUSTIÓN POR
DESCARGA DE BARRERA DIELECTRICA.”**

AUTORES:

Alexander Emanuel Torres Romero

Andrés Enrique Medina Lima

TUTOR:

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde MSc.

Cuenca, Febrero 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

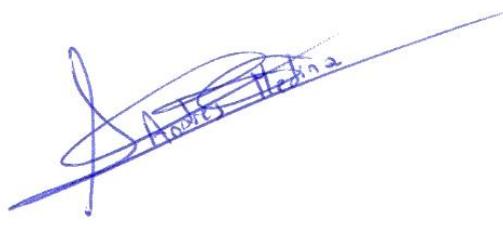
Nosotros, Alexander Emanuel Torres Romero , con documento de identificación N° 1104090756 y Andrés Enrique Medina Lima, con documento de identificación N° 0706433315, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado: “SISTEMA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES PROCEDENTES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA MEDIANTE TRATAMIENTO POST COMBUSTIÓN POR DESCARGA DE BARRERA DIELÉCTRICA.”, 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 ante 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.



Andrés Enrique Medina Lima

C.I. 0706433315



Alexander Emanuel Torres Romero

C.I. 1104090756

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que, bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “SISTEMA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES PROCEDENTES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA MEDIANTE TRATAMIENTO POST COMBUSTIÓN POR DESCARGA DE BARRERA DIELECTRICA.”, realizado por los autores: Alexander Emanuel Torres Romero y Andrés Enrique Medina Lima , obteniendo el proyecto técnico que cumple con los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.



Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde MSc.

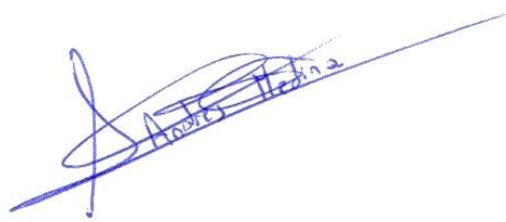
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Alexander Emanuel Torres Romero , con documento de identificación N° 1104090756 y Andrés Enrique Medina Lima, con documento de identificación N° 0706433315, coautores del trabajo de titulación: “SISTEMA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES PROCEDENTES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA MEDIANTE TRATAMIENTO POST COMBUSTIÓN POR DESCARGA DE BARRERA DIELECTRICA.”, certificamos que el total contenido del proyecto técnico son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Andrés Enrique Medina Lima

C.I. 0706433315



Alexander Emanuel Torres Romero

C.I. 1104090756

AGRADECIMIENTO

A Dios que me ha dado la vida, dándome así la oportunidad de prepararme tanto en lo académico como en lo espiritual, que ha sabido guiarme por el buen camino, por haberme dado las fuerzas necesarias para poder vencer los obstáculos presentes en el día a día, por brindarme la salud, la fortaleza, la sabiduría y sobre todo por permanecer siempre a mi lado.

A mis padres Luis Medina y Dalia Lima, quienes a pesar de todas las dificultades realizaron un esfuerzo muy grande para hacer posible el cumplimiento de esta meta, por sus consejos recibidos los mismos que me ayudan a seguir alcanzando mis metas.

A mis hermanas por el gran apoyo manifestado, por sus consejos, por el cariño y afecto que me han demostrado, por no dejarme solo en este sendero y hacer así exitosa la meta lograda.

A mis sobrinos, que han sido mi motivación para poder alcanzar esta meta, quienes de alguna u otra manera me han robado varias sonrisas a la distancia haciéndome sentir que no estoy solo.

De manera muy especial a Yamileth, quien me ha sabido ayudar y apoyar a cada instante durante el transcurso de mi tesis y más aún por entender y comprender mi pasión hacia los motores.

A nuestro Director de Tesis Msc. Néstor Rivera quien nos brindó su amistad sincera, por sus consejos y sus conocimientos que nos sirvieron para la culminación de este proyecto.

Hago extenso mis agradecimientos a mi compañero y amigo de tesis Alexander porque en este compromiso grupal alcanzamos exitosamente culminar nuestra carrera.

A toda mi familia, amigos y compañeros que siempre estuvieron presentes con sus palabras de aliento impulsando hacia la culminación de mi carrera.

Andrés Enrique

DEDICATORIA

Después de un difícil y largo camino, dedico de manera muy especial la culminación de esta etapa y con todo el cariño del mundo a mis padres Luis Medina y Dalia Lima, quienes nunca dudaron de mis conocimientos, quienes con su esfuerzo y sacrificio estuvieron apoyándome a cada instante, que a pesar de la distancia nunca me dejaron sentir solo ya que gracias a sus consejos pude alcanzar este sueño tan anhelado y así poder realizarme como un hombre de bien.

Para mis hermanas y sobrinos que a pesar de la distancia siempre me hicieron llegar el cariño y afecto a diario y no me dejaron solo en este sendero.

Su ejemplo de fortaleza, humildad, respeto y la admiración que siento por cada uno de ustedes me llenado de valentía para seguir luchando y no darme por vencido y poco a poco ir cumpliendo mis metas, ustedes son mi motivación.

Para Yamileth, con todo mi amor y dedicación, que con su ternura de cada día me impulsa a seguir adelante.

Andrés Enrique

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecerle a Dios, María Santísima y el niño Jesús que me acompañaron, iluminaron y me dieron la fortaleza en momentos difíciles de mi vida para seguir adelante durante estos años en mi carrera profesional , estando seguro que me permitirán seguir avanzando a nivel académico y social.

A mi abuelito Tobías que fue un padre para mí y desde pequeño me formo con los mejores valores, desde el momento en que partió para estar junto a Dios, me dejo bendiciendo con sus últimas palabras, “Siempre desde el cielo te daré lo mejor mi niño”, sé que desde el cielo siempre tu mirada me guía.

Agradecerles a los pilares de mi vida María, Rigoberto y Cristhian que han sido las personas que siempre me han apoyado sin importar la situación, han confiado en mi capacidad intelectual, no ha existido día en que ellos no estén presentes en mi vida permitiéndome dar un paso más profesionalmente, gracias a ustedes lo he logrado, siempre esperare que se sientan orgullosos de mí.

Gracias a toda mi familia especialmente a mi tía Carmita y abuelita Zoila que han sido como madres para mí y me han ayudado de una manera excepcional a conseguir una meta más en mi vida ya que sin ellas no lo hubiese logrado.

A todos mis docentes por todo el conocimiento que nos brindaron, especialmente al Msc. Néstor Rivera, nuestro director de tesis que más que un docente ha sido un amigo, excelente calidad de persona en lo laboral y personal quedo eternamente agradecido hacia su persona por ayudarnos a cumplir nuestra meta.

Hago extenso mis agradecimientos a mi compañero y amigo de tesis Andrés porque en este compromiso grupal alcanzamos exitosamente culminar nuestra carrera.

Finalmente agradecerles a todas las personas que formaron parte de mi vida durante este trayecto profesional indistintamente si hoy en día hacen parte de mi vida o no, cada una apporto para poder obtener y alcanzar esta satisfacción de poder ser Ingeniero Mecánico Automotriz siempre estaré eternamente agradecido con todos, que Dios los bendiga.

Alexander Emanuel

DEDICATORIA

Con una alegría inmensa al alcanzar una meta más en mi vida, atravesando años de estudio quiero dedicar la culminación en esta etapa de mi carrera a mis padres, María Romero y Rigoberto Torres, por todo el cariño, amor, consejos, apoyo que me brindaron en cada segundo de estudio, por el esfuerzo y dedicación que hacen día a día por ayudarme a salir adelante, y de una manera especial a mi hermano Cristhian Torres ya que los dos compartimos la misma pasión por los automóviles, el mejor hermano, quien me ayudo, me aconsejo y ha estado siempre ahí para ayudarme, juntos nacimos y juntos siempre estaremos a pesar de las dificultades y la distancia.

A mi tía Carmita que es mi segunda madre y siempre ha estado apoyándome sin titubear, gracias a su ejemplo de fortaleza, perseverancia y con todo el amor que me da yo logré alcanzar una de mis metas.

Para toda mi familia abuelitos, tíos, primos que han sido parte fundamental en mi vida ya que con su cariño siempre me han llevado con la vista hacia adelante.

Alexander Emanuel.

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolló en base a la contaminación presente hoy en día en el planeta así como la emisión de óxidos de nitrógeno procedentes de motores de combustión interna, este proyecto describe cómo es posible disminuir los óxidos de nitrógeno en base a la generación de plasma, separando las moléculas contaminantes y convirtiéndolas en moléculas inofensivas para el planeta y los seres vivos.

Previo al sistema de generación de plasma se realizó una investigación fundamentada en óxidos de nitrógeno así como los parámetros en los que un vehículo genera la mayor cantidad de este contaminante, simulando estas condiciones en el banco dinamométrico garantizando la autenticidad y fiabilidad de las muestras.

El sistema de generación de plasma se estructura en base a los conocimientos de electrónica, generando un circuito monoestable mediante circuitos integrados permitiendo amplificar un voltaje de entrada de 12 voltios a un voltaje de salida de 6000 voltios mediante pulsos, con una distancia entre electrodos de 1cm y un consumo de 0.86 amperios.

Como objetivo de estudio mediante análisis de varianza se realizó pruebas en cuatro vehículos diferentes montados dentro del banco dinamométrico, con una calibración en el banco a 2500 RPM y una carga de 100% de torque, obteniendo porcentajes máximos de óxidos nitrosos donde el plasma interactuará directamente.

Se estableció la condición de encendido y apagado del sistema de reducción de óxidos de nitrógeno, mediante un análisis de varianza de un solo factor y el método Tukey se establece que las medias de las muestras tomadas en óxidos de nitrógeno tienen una diferencia estadísticamente significativa, con un 95% de confianza de Tukey optimizando el ensayo la hipótesis alternativa entre las medias.

El sistema de reducción de emisiones contaminantes mediante barrera dieléctrica minimizó los óxidos de nitrógeno para cada vehículo con porcentajes del: 14.45% para el Kía Sportage, 13.88% para el Chevrolet Rodeo, 10.52% para el Chevrolet Forsa3P y 15.19% para el Chevrolet Forsa1.0L., comprobando así la validez del proyecto desarrollado.

ABSTRACT

This Project was developed based at the present pollution that affects now a days to the planet, as well the emission of nitrogen oxide that comes out of motors, this project describes how it is possible to reduce such gases based on the generation of plasma, separating the polluting molecules and transforming them into inoffensive molecules for the planet and the rest of the mankind.

Before the plasma generation system, an investigation was developed based in the nitrogen oxides as well the parameters in which vehicles generate the most amount of this polluting gas, considering these conditions in the dynamometer bench, guarantying the authenticity and reliability on the taken samples.

The plasma generation system is structures based in the electronic knowledge, generating a monostable throughout integrated circuits allowing expanding an incoming voltage of 12 volts to an outgoing voltage of 6000 volts by pulses, with 1 cm distance between electrodes and a consumption of 0.86 amps.

As an object of study thru variance, test were developed in four different vehicles mounting inside the dynamometer bench, with a calibration in the bench to 2500 RPM and a load of 100% of torque, obtaining maximum percentages of nitrogen oxide gases where the plasma works directly.

The on and off injection starting of the nitrogen oxide reduction system was established, throughout a variance analysis of one single factor and the Tukey method, we can establish that the taken measurements of nitrogen oxides have a significant difference, with a 95% of Tukey reliability, optimizing the test and the alternative hypothesis among the measurements.

The polluting gases reduction system throughout electrical barrier reduced the gases in each vehicle with percentages from 14.45% for the KIA Sportage, 13.88% for the Chevrolet Rodeo, 10.52% for the Chevrolet Forsa 3P and 15.19% for the Chevrolet Forsa1.0L, checking this way the reliability of the developed project.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PROBLEMA..... | 19 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 20 |
| 2.1 | OBJETIVO GENERAL..... | 20 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 20 |
| 3 | DESARROLLO, ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE REFERENTE A ÓXIDOS NITROSOS..... | 21 |
| 3.1 | FUNDAMENTOS | 21 |
| 3.1.1 | ANTECEDENTES..... | 22 |
| 3.2 | MARCO TEÓRICO..... | 22 |
| 3.2.1 | CONTROL DE LA COMBUSTIÓN (SONDA LAMBDA)..... | 25 |
| 3.2.2 | SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE (EGR)..... | 26 |
| 3.2.3 | CONVERTIDOR CATALÍTICO | 28 |
| 3.2.4 | SISTEMA OBD..... | 30 |
| 4 | ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO DE REDUCCIÓN DE ÓXIDOS NITROSOS..... | 31 |
| 4.1 | INTRODUCCIÓN | 31 |
| 4.2 | MATERIALES UTILIZADOS Y SU DESIGANCIÓN PARA EL CIRCUITO.. | 34 |
| 4.2.1 | DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE CADA COMPONENTE UTILIZADO..... | 35 |
| 4.3 | CIRCUITO DE CONEXIÓN DISEÑADO EN PROTEUS 8 | 36 |
| 4.3.1 | MONTAJE DEL CIRCUITO EN FISICO | 37 |
| 4.4 | FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO | 38 |
| 4.4.1 | PROTITPO TERMINADO CON SU ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO..... | 39 |
| 4.4.2 | UNIDAD EXPERIMENTAL..... | 39 |
| 4.4.2.1 | VEHÍCULOS DE PRUEBAS..... | 39 |
| 4.4.2.2 | DESCRIPCIÓN DE LOS VEHÍCULOS..... | 39 |
| 4.4.2.3 | BANCO DINAMOMÉTRICO..... | 42 |
| 4.4.2.4 | PROTOTIPO DE SISTEMA DE REDUCCIÓN DE GASES MEDIANTE PLASMA..... | 43 |
| 4.4.2.5 | ANALIZADOR DE GASES..... | 44 |
| 4.5 | PRESENTACIÓN Y DESARROLLO DEL EXPERIMENTO | 45 |
| 4.5.1 | DEFINICIÓN DE ANOVA..... | 45 |
| 4.5.2 | ANOVA DE UN SOLO FACTOR..... | 46 |
| 4.5.3 | METODO TUKEY..... | 46 |
| 4.5.4 | CALIBRACIÓN DEL BANCO DINAMOMÉTRICO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 47 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.5.5 | UBICACIÓN DE LOS PUNTALES PARA GENERACIÓN DE PLASMA. ... | 47 |
| 5 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 48 |
| 5.1 | TOMA DE DATOS | 48 |
| 5.1.1 | ALEATORIZACIÓN DE LAS PRUEBAS..... | 48 |
| 5.1.2 | PROTOCOLO DE MEDICIÓN | 49 |
| 5.2 | TRATAMIENTO DE DATOS | 49 |
| 5.2.1 | VALIDACIÓN DE DATOS | 50 |
| 5.3 | REPRESENTACIÓN GRÁFICA Y ANÁLISIS | 50 |
| 5.3.1 | VEHÍCULO KIA SPORTAGE | 50 |
| 5.3.1.1 | ANÁLISIS DEL CO VS CONDICION..... | 50 |
| 5.3.1.2 | ANÁLISIS DEL CO2 VS CONDICIÓN..... | 52 |
| 5.3.1.3 | ANÁLISIS DEL HC VS CONDICION..... | 54 |
| 5.3.1.4 | ANÁLISIS DEL NOX VS CONDICIÓN..... | 56 |
| 5.3.2 | VEHÍCULO SUSUKI 2 MIKE..... | 58 |
| 5.3.2.1 | ANÁLISIS DEL CO VS CONDICIÓN..... | 58 |
| 5.3.2.2 | ANÁLISIS DEL CO2 VS CONDICIÓN..... | 60 |
| 5.3.2.3 | ANÁLISIS DEL HC VS CONDICIÓN..... | 62 |
| 5.3.2.4 | ANÁLISIS DEL NOX VS CONDICIÓN..... | 64 |
| 5.3.3 | VEHÍCULO SUSUKI 2 YASMANY..... | 66 |
| 5.3.3.1 | ANÁLISIS DEL CO VS CONDICIÓN..... | 66 |
| 5.3.3.2 | ANÁLISIS DEL CO2 VS CONDICIÓN..... | 68 |
| 5.3.3.3 | ANÁLISIS DEL HC VS CONDICIÓN..... | 70 |
| 5.3.3.4 | ANÁLISIS DEL NOX VS CONDICIÓN..... | 72 |
| 5.3.4 | VEHÍCULO RODEO | 74 |
| 5.3.4.1 | ANÁLISIS DEL CO VS CONDICIÓN..... | 74 |
| 5.3.4.2 | ANÁLISIS DEL CO2 VS CONDICIÓN..... | 76 |
| 5.3.4.3 | ANÁLISIS DEL HC VS CONDICIÓN..... | 78 |
| 5.3.4.4 | ANÁLISIS DEL NOX VS CONDICIÓN..... | 80 |
| 5.3.5 | REDUCCIÓN DE ÓXIDOS NITROSOS | 82 |
| 5.3.5.1 | PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL NOX PARA KIA SPORTAGE L 2.0L 4X2 GSL | 82 |
| 5.3.5.2 | PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL NOX PARA CHERVROLET RODEO V6 T/M A/C. | 83 |
| 5.3.5.3 | PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL NOX PARA CHERVROLET FORSA 3P 1.3 L. | 83 |
| 5.3.5.4 | PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL NOX PARA CHERVROLET FORSA 1.0L T/M. | 84 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.3.6 | ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REDUCCIÓN DE ÓXIDOS NITROSOS PARA TODOS LOS VEHÍCULOS MEDIANTE REGRESIÓN EN LA VARIABLE LAMBDA Y CONDICIÓN, INFORME DE PREDICCIÓN Y OPTIMIZACIÓN. | 84 |
| 6 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 88 |
| 6.1 | CONCLUSIONES | 88 |
| 6.2 | RECOMENDACIONES | 89 |
| 7 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 90 |
| 8 | ANEXOS..... | 92 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| FIGURA 3. 1. FENÓMENO DEL TRASLADO DE LOS GASES..... | 25 |
| FIGURA 3. 2. VENTANA AIE-COMBUSTIBLE ENTRE LAMBA Y NOX | 26 |
| FIGURA 3. 3. RESUMEN EGR | 27 |
| FIGURA 3. 4. ESQUEMA DE UN SISTEMA EGR | 27 |
| FIGURA 3. 5. CATALIZADOR DE 3 VÍAS. | 29 |
| FIGURA 3. 6. PROCESO DE OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN CATALÍTICA..... | 29 |
| FIGURA 3. 7. SISTEMA OBD..... | 30 |
| FIGURA 4. 1. CIRCUITO DE GENERACIÓN DE PLASMA DISEÑADO EN PROTEUS 8..... | 36 |
| FIGURA 4. 2. CIRCUITO DE GENERACIÓN DE PLASMA TERMINADO..... | 37 |
| FIGURA 4. 3. PROTOTIPO DE GENERACIÓN DE PLASMA TERMINADO Y EN FUNCIONAMIENTO..... | 39 |
| FIGURA 4. 4. PRIMER VEHÍCULO PARA TOMA DE MUESTRAS (KIA SPORTAGE)..... | 39 |
| FIGURA 4. 5. SEGUNDO VEHÍCULO PARA TOMA DE MUESTRAS (RODEO)..... | 40 |
| FIGURA 4. 6. TERCER VEHÍCULO PARA TOMA DE MUESTRAS (SUZUKI FORSA 1.3L) ... | 41 |
| FIGURA 4. 7. CUARTO VEHÍCULO PARA TOMA DE MUESTRAS (SUZUKI 1.3)..... | 42 |
| FIGURA 4. 8. BANCO DINAMOMÉTRICO..... | 43 |
| FIGURA 4. 9. ANALIZADOR DE GASES | 44 |
| FIGURA 4. 10. CALIBRACIÓN DEL BANCO DINAMOMÉTRICO..... | 47 |
| FIGURA 4. 11. PUNTALES PARA LA GENERACIÓN DE PLASMA..... | 47 |
| FIGURA 5. 1. LABORATORIO DE EXPERIMENTACIÓN..... | 48 |
| FIGURA 5. 2. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA CO..... | 51 |
| FIGURA 5. 3. GRÁFICA DE INTERVALOS DE CO VS CONDICIÓN. | 51 |
| FIGURA 5. 4. ANÁLISIS DE TUKEY..... | 52 |
| FIGURA 5. 5. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA CO2..... | 53 |
| FIGURA 5. 6. GRÁFICA DE INTERVALOS DE CO2 VS CONDICIÓN. | 53 |
| FIGURA 5. 7. ANÁLISIS DE TUKEY | 54 |
| FIGURA 5. 8. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA HC..... | 55 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 5. 9. GRÁFICA DE INTERVALOS DE HC VS CONDICIÓN. | 55 |
| FIGURA 5. 10. ANÁLISIS DE TUKEY. | 56 |
| FIGURA 5. 11. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA NOX. | 57 |
| FIGURA 5. 12. GRÁFICA DE INTERVALOS DE NOX VS CONDICIÓN. | 57 |
| FIGURA 5. 13. ANÁLISIS DE TUKEY. | 58 |
| FIGURA 5. 14. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA CO. | 59 |
| FIGURA 5. 15. GRÁFICA DE INTERVALOS DE CO VS CONDICIÓN. | 59 |
| FIGURA 5. 16. ANÁLISIS DE TUKEY. | 60 |
| FIGURA 5. 17. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA CO2. | 61 |
| FIGURA 5. 18. GRÁFICA DE INTERVALOS DE CO2 VS CONDICIÓN. | 61 |
| FIGURA 5. 19. ANÁLISIS DE TUKEY. | 62 |
| FIGURA 5. 20. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA HC. | 63 |
| FIGURA 5. 21. GRÁFICA DE INTERVALOS DE HC VS CONDICIÓN. | 63 |
| FIGURA 5. 22. ANÁLISIS DE TUKEY. | 64 |
| FIGURA 5. 23. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA NOX. | 65 |
| FIGURA 5. 24. GRÁFICA DE INTERVALOS DE NOX VS CONDICIÓN. | 65 |
| FIGURA 5. 25. ANÁLISIS DE TUKEY. | 66 |
| FIGURA 5. 26. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA CO. | 67 |
| FIGURA 5. 27. GRÁFICA DE INTERVALOS DE CO VS CONDICIÓN. | 67 |
| FIGURA 5. 28. ANÁLISIS DE TUKEY. | 68 |
| FIGURA 5. 29. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA CO2. | 69 |
| FIGURA 5. 30. GRÁFICA DE INTERVALOS DE CO2 VS CONDICIÓN. | 69 |
| FIGURA 5. 31. ANÁLISIS DE TUKEY. | 70 |
| FIGURA 5. 32. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA HC. | 71 |
| FIGURA 5. 33. GRÁFICA DE INTERVALOS DE HC VS CONDICIÓN. | 71 |
| FIGURA 5. 34. ANÁLISIS DE TUKEY. | 72 |
| FIGURA 5. 35. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA NOX. | 73 |
| FIGURA 5. 36. GRÁFICA DE INTERVALOS DE NOX VS CONDICIÓN. | 73 |
| FIGURA 5. 37. ANÁLISIS DE TUKEY. | 74 |
| FIGURA 5. 38. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA CO. | 75 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 5. 39. GRÁFICA DE INTERVALOS DE CO VS CONDICIÓN. | 75 |
| FIGURA 5. 40. ANÁLISIS DE TUKEY. | 76 |
| FIGURA 5. 41. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA CO ₂ | 77 |
| FIGURA 5. 42. GRÁFICA DE INTERVALOS DE CO ₂ VS CONDICIÓN. | 77 |
| FIGURA 5. 43. ANÁLISIS DE TUKEY. | 78 |
| FIGURA 5. 44. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA HC. | 79 |
| FIGURA 5. 45. GRÁFICA DE INTERVALOS DE HC VS CONDICIÓN. | 79 |
| FIGURA 5. 46. ANÁLISIS DE TUKEY. | 80 |
| FIGURA 5. 47. GRÁFICA DE RESIDUOS PARA NOX. | 81 |
| FIGURA 5. 48. GRÁFICA DE INTERVALOS DE NOX VS CONDICIÓN. | 81 |
| FIGURA 5. 49. ANÁLISIS DE TUKEY. | 82 |
| FIGURA 5. 50. RELACIÓN ENTRE VARIABLES. | 84 |
| FIGURA 5. 51. PORCENTAJE DE VARIACIÓN EXPLICADO POR EL MODELO. | 85 |
| FIGURA 5. 52. NOX VS. LAS VARIABLES X. | 85 |
| FIGURA 5. 53. GRÁFICA DE INTERACCIÓN PARA NOX. | 86 |
| FIGURA 5. 54. GRÁFICA DE EFECTOS PRINCIPALES PARA NOX. | 86 |
| FIGURA 5. 55. CONFIGURACIÓN Y SENSIBILIDAD PARA LA SOLUCIÓN ÓPTIMA. | 86 |
| FIGURA 5. 56. Y PRONOSTICADA PARA TODOS LOS PUNTOS DE LA MUESTRA. | 87 |
| FIGURA 8. 1. UBICACIÓN DEL PRIMER VEHÍCULO DE PRUEBAS EN EL BANCO DINAMOMÉTRICO. | 92 |
| FIGURA 8. 2. UBICACIÓN DEL SEGUNDO VEHÍCULO DE PRUEBAS EN EL BANCO DINAMOMÉTRICO. | 92 |
| FIGURA 8. 3. UBICACIÓN DEL TERCER VEHÍCULO DE PRUEBAS EN EL BANCO DINAMOMÉTRICO. | 93 |
| FIGURA 8. 4. UBICACIÓN DEL CUARTO VEHÍCULO DE PRUEBAS EN EL BANCO DINAMOMÉTRICO. | 93 |
| FIGURA 8. 5. SIMULACIÓN DEL CIRCUITO GENERADOR DE PLASMA EN PROTEUS. | 94 |
| FIGURA 8. 6. CIRCUITO TERMINADO. | 94 |
| FIGURA 8. 7. GENERACIÓN DEL PLASMA. | 95 |
| FIGURA 8. 8. ADQUISICIÓN DE DATOS. | 95 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 8. 9. ALGUNAS MUESTRAS EN CONDICIÓN INTRODUCIDAS EN EXCEL. | 96 |
| FIGURA 8. 10. REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA NOX. | 97 |
| FIGURA 8. 11. REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA NOX. | 97 |
| FIGURA 8. 12. REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA NOX. | 98 |
| FIGURA 8. 13. REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA NOX. | 98 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 4. 1. VALORES DE LOS GASES SEGÚN LAS NORMATIVAS EURO | 33 |
| TABLA 4. 2. CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR DEL PRIMER VEHÍCULO DE PRUEBAS..... | 40 |
| TABLA 4. 3. CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR DEL SEGUNDO VEHÍCULO DE PRUEBAS.. | 40 |
| TABLA 4. 4. CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR DEL TERCER VEHÍCULO DE PRUEBAS | 41 |
| TABLA 4. 5. CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR DEL CUERTO VEHÍCULO DE PRUEBAS..... | 42 |
| TABLA 4. 6. CARACTERÍSTICAS DEL ANALIZADOR DE GASES | 45 |
| TABLA 5. 1. ANÁLISIS DE DESMINUCIÓN DEL NOX DEL PRIMER VEHÍCULO | 82 |
| TABLA 5. 2. ANÁLISIS DE DESMINUCIÓN DEL NOX DEL SEGUNDO VEHÍCULO..... | 83 |
| TABLA 5. 3. ANÁLISIS DE DESMINUCIÓN DEL NOX DEL TERCER VEHÍCULO | 83 |
| TABLA 5. 4. ANÁLISIS DE DESMINUCIÓN DEL NOX DEL CUARTO VEHÍCULO | 84 |

1 PROBLEMA

Los óxidos de nitrógeno (NOx) son los gases contaminantes más importantes emitidos por los tubos de escape de vehículos gasolina y diésel. Actualmente no existe un sistema efectivo para reducir las emisiones de vehículos diésel y gasolina en un porcentaje tan bajo que no afecte la salud humana ni a al ecosistema. Los óxidos de nitrógeno (NOx) emitidos a la atmósfera contribuyen seriamente a la contaminación medioambiental. Es bien sabido que los NOx están involucrados en problemas medioambientales, tales como lluvia ácida y niebla tóxica. Además, algunas enfermedades como bronquitis y neumonía, al igual que otras alteraciones del sistema inmunológico, también están relacionadas con los niveles atmosféricos de NOx. Los NOx, en presencia de luz solar, también participan en la formación de ozono en la Troposfera y, consecuentemente, son responsables en parte del efecto invernadero. Los esfuerzos están principalmente dirigidos al control de las emisiones de NOx de sus respectivas fuentes. Aproximadamente la mitad de las emisiones de NOx son atribuidas a los motores de los automóviles. Hoy en día, todos los motores nuevos de vehículos a gasolina tienen un sistema catalítico (TWC: Three Way Calalyst) capaz de eliminar las emisiones de NOx, además de los hidrocarburos que no se han quemado correctamente y del monóxido de carbono. Desgraciadamente, son demasiado costosos y solo los vehículos de alta gama cuentan con este sistema catalítico. (Alicante)

El valor de las emisiones de NOx están por g/Km en la norma EURO 3 es del 0.15, Euro 4 es de 0.08, EURO 5 es de 0.06; EURO 6 es de 0.06 para vehículos de gasolina; para vehículos diésel EURO 3 es de 0.50, EURO 4 es de 0.25, EURO 5 es de 0.18; EURO 6 es de 0.08. (2204:2002)

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Implementar un sistema para la reducción de los óxidos de nitrógeno procedentes de motores de combustión interna mediante tratamiento post combustión por descarga de barrera dieléctrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el estado del arte respecto a los óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Elaborar un prototipo para crear el plasma necesario que reaccione con las partículas contaminantes.
- Realizar mediante diseño experimental las pruebas para medir la eficiencia del sistema de gases antes y después de la utilización del sistema.
- Validar los efectos que produce el sistema de reducción de emisiones contaminantes.

3 DESARROLLO, ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE REFERENTE A ÓXIDOS NITROSOS.

3.1 FUNDAMENTOS

Todos los vehículos que utilizan motores de combustión interna requieren combustible para su funcionamiento, el mismo que necesariamente debe encontrarse en estado de gas de manera que pueda mezclarse con el aire para luego ser quemado en su totalidad dentro de la cámara de combustión.

Años atrás para que el carburante cambie de estado empleaban un carburador para dosificar la mezcla aire-combustible, la misma se pueda quemar en las mejores condiciones hasta ese momento.

El uso de un carburador ayudo de una manera muy amplia en los problemas que tenían los motores en aquellos tiempos, se podía obtener una mezcla ideal aire-combustible en diversas revoluciones del motor aprovechándola al máximo. Existió inconveniente al transcurrir los años, las emisiones contaminantes procedentes de los vehículos fueron responsables de la contaminación en ese tiempo del aire, se establecieron normas para regular emisiones mucho más severas para evitar el daño hacia el planeta. El carburador no permitió su mejora y avanza debido a que era demasiado complejo para su mantenimiento y ajuste existiendo un fracaso en este sentido.

La opción de avanzar tecnológicamente llevo al sistema de inyección, controlando de manera óptima el porcentaje de la mezcla aire-combustibles que ingresan a los cilindros en estado de carga y marcha del motor disminuyendo emisiones contaminantes y aumentando par y potencia.

3.1.1 ANTECEDENTES

En 1885 se creó el primer vehículo impulsado por un motor de combustión interna, el mismo que fue patentado luego de varios intentos de diseños. Este vehículo se pensó para ser lo suficientemente útil para movilizarse, trabajar de manera más eficaz y de cierta manera satisfacía las necesidades de ese entonces. Se podría decir que mejoró la calidad de vida de las personas y ayudó a la sociedad a progresar.

A partir de la creación de este modelo de vehículo, comenzó la fabricación en serie de los mismos en todo el mundo, convirtiéndose así en una industria muy grande que seguiría creciendo hasta la actualidad. Comenzó la fascinación por las carreras y es en donde las exigencias de un mejor rendimiento obligaron a las compañías a mejorar las prestaciones de los vehículos, así como el consumo y la reducción de los agentes contaminantes en el escape. A pesar de que el carburador fue muy eficiente en su época, se vio necesaria la implementación de un sistema electrónico con el cual se logró corregir errores y aumentar considerablemente las prestaciones del motor. (Juan Bustos)

3.2 MARCO TEÓRICO

El plasma es considerado el cuarto estado de la materia que contiene iones y electrones libres. El plasma puede generarse, en forma no térmica, por una descarga eléctrica o bombardeo de un gas con un haz de electrones de alta energía; la energía de los electrones en el plasma es de unos 10 eV, lo que equivale a temperaturas elevadas. Estos plasmas son buenas fuentes de especies reactivas altamente reductoras y oxidantes. La presencia de estas especies permite la utilización del método en múltiples aplicaciones: remoción de SO_x y NO_x de gases de escape. (Korzekwa, 1999)

La técnica no genera subproductos tóxicos, como dioxinas o furanos, opera a presiones y temperaturas cercanas a la ambiente, no requiere combustible, y puede eliminar simultáneamente orgánicos peligrosos y emisiones del tipo SO_x/NO_x, No requiere catalizadores. Existen facilidades a gran escala en Europa que usan generadores de plasma de distintos tipos: de barrera dieléctrica, corona pulsado, de lecho electrificado empaquetado, de haces de electrones, etc. (Korzekwa, 1999)

Contaminantes como los óxidos de azufre o los óxidos de nitrógeno emitidos por los vehículos automotores pueden provocar la lluvia ácida que deterioran edificios, plantas y seres vivos, en el ser huma puedes ocasionar desde una gripe leve hasta bronquitis aguda. (Y. Kim, 2004)

El plasma frío es caracterizado porque sus especies se encuentran fuera de equilibrio, los electrones, iones y especies neutras tienen diferentes temperaturas y energía cinética. Los electrones son químicamente energéticos y originan la formación de radicales [O, OH, H, N] al chocar con moléculas como el H₂O, O₂ y N₂. Dichos radicales pueden ser usados para destruir contaminantes gaseosos y líquidos. (Y. Kim, 2004)

La descarga corona es una descarga luminosa que normalmente se desarrolla a presión atmosférica. Esta descarga se desarrolla entre dos electrodos, el electrodo de descarga y el inerte; la estructura de estos puede ser cilíndrica o de placa. Las descargas corona a presión atmosférica han sido usadas durante más de un siglo en la industria de precipitadores electrostáticos destrucción de contaminantes gaseosos y muchas más aplicaciones. (LM. Dong)

La descarga de barrera dieléctrica más conocida como descarga silenciosa son un tipo de descarga eléctrica que ocurre en un espacio entre dos electrodos aislados por material dieléctrico, conectados a una fuente de alto voltaje de corriente alterna, en la actualidad las DBD a presión atmosférica son usados para producir plasma frío usados para muchas aplicaciones y conversión de gases de invernadero. (Pietsch, 2001)

Utilizando un reactor DBD para el estudio de la degradación del SO₂ del aire, en el 2003 A. R. Murtazin y et al., obtuvieron eficiencias de remoción de este gas de más del 98 %, la mezcla utilizada es aire sintético (20.5 % de O₂ en N₂) y 980 ppm de SO₂. El desarrollo del reactor depende principalmente de la frecuencia de operación, del espacio de la descarga y especialmente de la temperatura del gas en combinación con la humedad. (A. R. Murtazin, 2003)

En el 2004 Koichi Takaki y et al., realizaron un estudio experimental de la remoción de los óxidos de nitrógeno (NO_x) de una mezcla que simula un gas de escape de

motores diésel con un reactor DBD para diferentes geometrías del electrodo (multipuntos, plano y de cuneta). Los resultados experimentales demuestran que utilizando un electrodo con geometría de multipuntos se obtienen remociones de NO_x cercanas al 100% consumiendo 6 kV, utilizando una geometría de cuneta también se obtienen remociones del 100% pero con 6.8 kV, y finalmente con la geometría plana se obtienen remociones del 90% a 7 kV. (K. Takaki, 2004)

La tecnología Corona-DBD se forma al aplicar una descarga eléctrica a un gas que pasa entre dos electrodos concéntricos separados por un material dieléctrico, la descarga formada tiene la apariencia de filamentos luminosos que serán los responsables de disociar e ionizar las moléculas. Durante el proceso de degradación de los gases tóxicos hay una gran cantidad de reacciones, de éstas se busca favorecer a aquellas que originen principalmente los radicales libres OH y O, pues estos radicales son los principales responsables de la remoción de los contaminantes. (Morrow, 1994)

En el 2005 Hilda Moreno Saavedra junto a Marquidia Pacheco, Joel Pacheco y Aurelio Cruz realizaron un proyecto de la modelación y experimentación de la remoción del SO₂ en donde utilizaron la descarga de barrera dieléctrica-corona, la cual presenta ventajas sobre las tecnologías usadas pues puede tratar varios gases a la vez (NO_x, SO_x, HC) con tiempos de remoción bajos (2 segundos) y con mayor rendimiento de remoción dada la elevada densidad de energía que tiene la descarga Corona (del orden de 3×10^5 V/m). El reactor utilizado actualmente es compacto (de 30 mm de diámetro y 120 mm de largo) lo que podría representar, en un futuro cercano, un posible dispositivo de remoción de gases tóxicos que se adecuaría a los tubos de escape de los automóviles, La caracterización de los gases a la salida del reactor DBD-Corona después del proceso de degradación de SO₂, se realizó mediante un sensor Sensonic 2000, este equipo analiza la concentración de los gases en ppm. (Saavedra, 2005)

Reportaron la degradación del SO₂ mediante la tecnología propuesta. Aunque los tiempos de remoción son mucho mayores que aquellos obtenidos en la simulación se observó que aproximadamente el 80% SO₂ se remueve en los primeros 2 segundos, alcanzando el 98% de su remoción a los 23 segundos y del 99.8% a los 40 segundos.

Cabe mencionar que el resto de los gases formados (NO_x y CO_2) oscilan entre 0 y 1 ppm. (Saavedra, 2005)

3.2.1 CONTROL DE LA COMBUSTIÓN (SONDA LAMBDA).

En un motor de combustión interna se requiere un sensor de oxígeno, situado en el ducto de escape que envía información a la ECU para controlar los porcentajes de aire combustible que ingresan a la cámara de combustión.

La sonda lambda permite obtener la relación ideal de combustión entre aire y gasolina que es de 14,7 gramos de aire por 1 gramo de gasolina.

Una mezcla pobre se da cuando existe mayor gramos de aire en combustión aire gasolina referente a una mezcla estequiométrica, facilitando la aparición de NO_x .

Una mezcla rica se da cuando existe mayor gr de combustible en combustión aire gasolina referente a una mezcla estequiométrica, facilitando la aparición de HC, y CO.

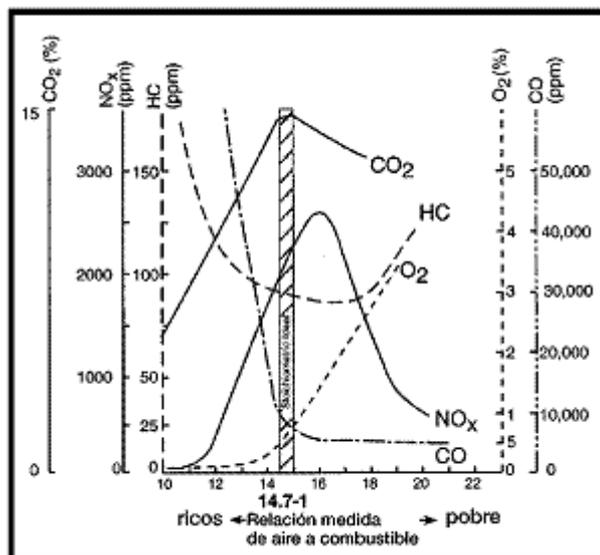


Figura 3. 1. Fenómeno del traslado de los gases. (Galindo, 2017)

Los porcentajes de la mezcla y sus efectos en las emisiones de NO_x , al obtener una mezcla pobre aumentan el oxígeno generando formación de NO_x , al tener valores mayores a la relación estequiométrica obtenemos la máxima concentración de NO_x , pero si aumenta el oxígeno la temperatura disminuye así como las partículas de NO_x .

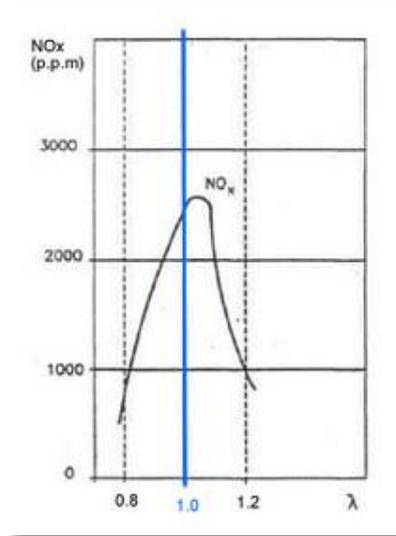


Figura 3. 2. Ventana aire-combustible entre lambda y NOx. (Galindo, 2017)

3.2.2 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE (EGR).

La válvula EGR que es la válvula de recirculación de gases de escape, permite reducir el NOx debido a que este no se ve afectado por el catalizador por lo que se debe tratar estos contaminantes previos a la salida del escape.

Los hidrocarburos, los óxidos de carbono pueden reducirse por catalizador pero los NOx son gases que muchas de las veces no se logran reducir mediante un catalizador por eso se recurre al sistema EGR.

El sistema EGR se encarga de enviar parte de los gases del conducto de escape al colector de admisión, disminuyendo el oxígeno en la admisión permitiendo que la temperatura de la combustión descienda reduciendo los NOx, si se tiene demasiados gases de escape en la admisión aumenta la carbonilla.

| Resumen de la EGR | Motor de gasolina (inyección a través del tubo de aspiración) | Motor de gasolina (inyección directa) |
|--------------------|---|--|
| Efectos | Óxidos de nitrógeno -40% Consumo -3% Menos CO2 | Óxidos de nitrógeno - 50...60% Consumo -2% Menos CO2 |
| Tasas de reciclaje | 25 % máx. | 50 % (en el caso de carga estratificada) máx. 30 % (en el caso de funcionamiento homogéneo) |
| Otros | Enfriamiento por EGR en discusión | Altas tasas de EGR con carga elevada |

Figura 3. 3. Resumen EGR. (mecánica, Sistema EGR)

El sistema EGR se activa bajo los siguientes parámetros. (mecánica, Sistema EGR)

- El régimen motor (R.P.M.)
- El caudal de combustible inyectado
- El caudal de aire aspirado
- La temperatura del motor
- La presión atmosférica reinante.

Normalmente el sistema EGR solamente está activado a una carga parcial y temperatura normal del motor, nunca con el motor frío o en aceleraciones. (mecánica, Sistema EGR)

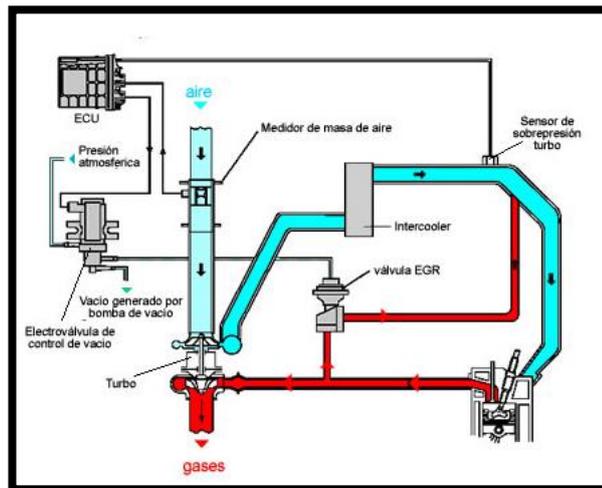


Figura 3. 4. Esquema de un sistema EGR. (mecánica, Sistema EGR)

La EGR se encarga de dosificar la cantidad de gases reciclados del escape. Está ubicado en el colector de gases de escape, en el sector de aspiración o también puede ir ubicado en un tubo termoresistente que conecta el colector de escape con el colector de admisión. (mecánica, Sistema EGR)

3.2.3 CONVERTIDOR CATALÍTICO

Un convertidor catalítico permite disminuir los gases de escape que son perjudiciales procedentes de motores de combustión interna, su objetivo es reducir las partículas contaminantes que se forma en la combustión de aire/combustible mediante la catálisis.

El catalizador está ubicado en el tubo de escape posterior al colector de escape, debido a la temperatura elevada que presentan los gases que permite un óptimo desempeño del dispositivo, que obtiene a temperaturas entre los 400 y 700 °C

Hoy en día la depuración de gases de escape se realiza mediante el catalizador, este dispositivo es activado por la ECU, esto se logra mediante el sensor de oxígeno que da la señal a al ECU de la mezcla aire/combustible, el dispositivo trabaja óptimamente a 300°C aproximadamente, es necesario que transcurra un tiempo para lograr su temperatura ideal después de un arranque en frío.

El catalizador está constituido por una carcasa de acero inoxidable que contiene en su interior las sustancias catalizadoras. Sustancias químicamente activas, soportadas por un monolito (colmena cerámica) recubierta por una capa amortiguadora que la protege de golpes. Esta colmena está formada por millares de minúsculos canales (celdas) por donde pasan los gases de escape. Las paredes de estos canales generan una superficie de contacto equivalente a tres campos de fútbol. La capa soporte del catalizador incluye una serie de sustancias activas como óxidos de aluminio, metales nobles (catalíticamente activos): Platino, Rodio, Paladio, y promotores o retardadores específicos, que aumentan o retardan la acción catalítica de los anteriores, sobre determinadas reacciones. (mecánica, Convertidor catalítico)

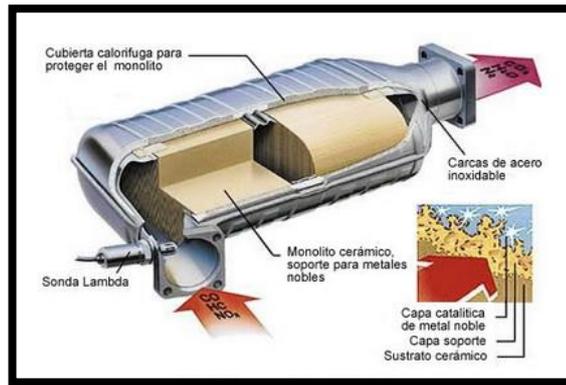


Figura 3. 5. Catalizador de 3 vías. (mecánica, Convertidor catalítico)

Catalizador oxidante: Este dispositivo trata el monóxido de carbono y de los hidrocarburos, para tratar los óxidos de nitrógenos se emplea el sistema EGR.

Catalizador de dos vías: Es un doble catalizador con toma intermedia de aire. El primer cuerpo actúa sobre los gases ricos de escape, reduciendo el óxido de nitrógeno (NOx), mientras el segundo lo hace sobre los gases empobrecidos gracias a la toma intermedia de aire, reduciendo el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC). Precisa una mezcla rica o estequiométrica para funcionar. [20]

Catalizador de tres vías: Son los más completos en reducción de emisiones contaminantes, permiten reducir simultáneamente los tres elementos nocivos más importantes: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxido de nitrógeno (NOx). [20]

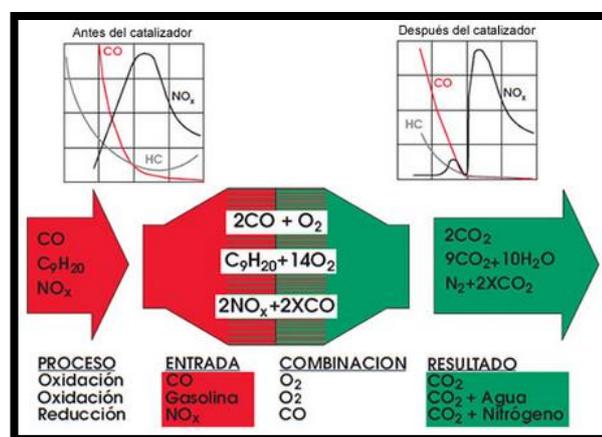


Figura 3. 6. Proceso de oxidación y reducción catalítica. (mecánica, Sistema EGR)

3.2.4 SISTEMA OBD.

El sistema de diagnóstico OBD permite analizar las anomalías que elevan las emisiones contaminantes del motor es estado normal de funcionamiento, trabaja con un testigo que permito visualizar la existencia al elevarse las emisiones contaminantes estándares de un motor en un normal funcionamiento.

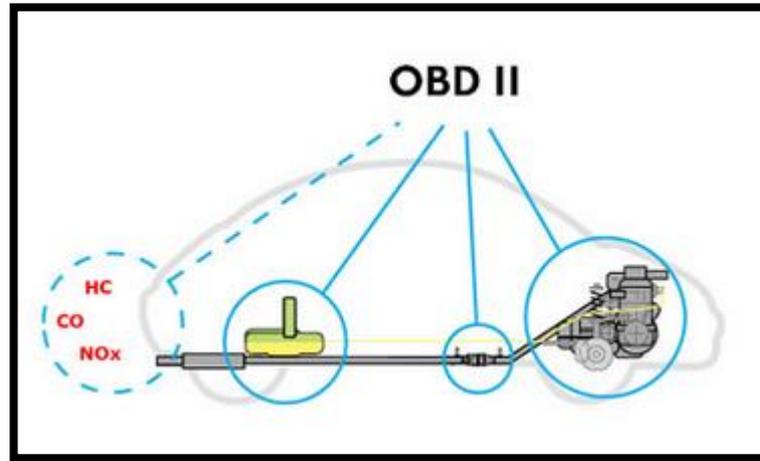


Figura 3. 7. Sistema OBD. (mecánica, Sistema OBD)

Objetivos del OBD II: (mecánica, Sistema OBD)

- Vigilancia de todos los componentes importantes para la calidad de los gases de escape.
- Protección del catalizador ante su puesta en peligro.
- Aviso visual, si hay componentes relacionados con los gases de escape, que presentan fallos en el funcionamiento
- Memorización de las averías.
- Susceptibilidad de diagnóstico.

4 ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO DE REDUCCIÓN DE ÓXIDOS NITROSOS.

4.1 INTRODUCCIÓN

Las primeras normas anticontaminación vienen impuestas por el gobierno americano y se inician en el período de finales de los años 70 en los EE.UU. para frenar de alguna manera los gases nocivos que producían los automóviles. Con ello los fabricantes han de empezar a invertir cada vez más en un aumento de la tecnología de sus modelos, con la introducción de las primeras centralitas electrónicas analógicas que controlaban el flujo del caudal de combustible y como consecuencia, los gases emitidos. (Panadero)

En Europa, las normas Euro fueron creadas en el año 1987 y aprobadas como medida de control en materia de contaminación, de obligado cumplimiento para los fabricantes de vehículos desde su introducción en el año 1993 y se han ido actualizando periódicamente con nuevos requisitos para poder disminuir tanto la cantidad como el tipo de gases contaminantes emitidos a la atmósfera. (Panadero)

El coste material y económico de aplicar mayores restricciones sobre las emisiones se traduce en mayores inversiones en investigación, desarrollo y tecnología en la fabricación de los distintos vehículos por parte de los fabricantes automovilísticos y en un coste final económico más elevado para el cliente como consecuencia de un encarecimiento sobre el producto, el automóvil. (Panadero)

Las denominadas normas Euro (categorías de contaminantes) fijan los valores límite de las emisiones contaminantes de los vehículos nuevos. En la fiscalidad de un vehículo, las emisiones de gases contaminantes tienen un papel muy importante porque el tipo impositivo depende también de la clasificación que establecen las diferentes normas Euro. (Europasobreruedas)

Normativa Euro 1: implantación del catalizador

En el año 1992 se impone a todos los fabricantes de vehículos europeos, someterse a la normativa Euro 1 que obligaba a reducir las emisiones tanto a vehículos diésel como gasolina. Para ello se implementó un componente (un catalizador) en el tramo intermedio del tubo de escape, cuya función era reducir y transformar los gases de combustión del coche. El mecanismo utilizado es reacciones REDOX (reducción-

oxidación) donde en una primera parte, los dióxidos de nitrógeno se convierten en nitrógeno molecular (reducción), y en la segunda parte los hidrocarburos no quemados y el monóxido de carbono, se convierten en dióxido de carbono y agua (oxidación). El catalizador está formado por cerámicas y metales preciosos que favorecen junto a las altas temperaturas que alcanza el catalizador (300°C), las reacciones REDOX. (Sostenible, 2015)

Mejoras mecánicas para cumplir las normativas Euro II, Euro III, Euro IV

Volviendo al concepto del vehículo, entre los años 1992 y 2005, se imponen sucesivas normativas Euro que son más restrictivas a medida que pasan los años. Se centran básicamente en modificar o mejorar el catalizador de la normativa Euro 1, aunque otros fabricantes optan por disminuir el tamaño de los motores de los vehículos para que consuman menos combustible. Para ello usan sistemas de sobrealimentación (turbos, compresores) para obtener los mismos rendimientos en menores cilindradas, conllevando a menores consumos y menores emisiones. Otra forma de mejorar la mecánica es añadir más marchas a las cajas de transmisión, con el fin de circular a menores regímenes de motor, consumiendo menos combustible. Al circular a menores revoluciones se genera menos monóxido de carbono (por la mayor calidad de la mezcla al darle tiempo a reaccionar mejor al combustible con el comburente), menos hidrocarburos sin quemar (se aprovecha mejor el combustible) y menos óxidos de nitrógeno (se alcanza menores temperaturas en el motor). (Sostenible, 2015)

Normativa Euro V: Filtro antipartículas

En el año 2009 se implementa la normativa Euro V, en la que aborda sobre todo para los vehículos diésel la eliminación de la materia particulada que producen. Esta materia particulada es originaria de las impurezas del diésel y tiene diferentes tamaños, siendo los más peligrosos los de menor tamaño pues tienen mayor poder de penetración en los organismos vivos. Para eliminar estas partículas se obliga a todos los fabricantes a implementar un filtro antipartículas (FAP ó DPF), que consiste en una trampa para las partículas sólidas en suspensión, quedando retenidas en una especie de panel de cerámica con poros muy finos. Cuando este filtro se satura se regenera automáticamente mandando una orden a la centralita para que aumente la

temperatura de los gases de combustión para eliminar estas partículas. (Sostenible, 2015)

Normativa Euro VI: AdBlue

Mientras que en los de gasolina se centran en disminuir el tamaño de los motores, reducción de peso y uso de turbocompresores, la normativa Euro VI sale en el año 2014 con el objetivo de reducir de forma drástica las emisiones de los vehículos diésel. Para ello se recurre a un compuesto líquido llamado AdBlue que se va administrando en pequeñas dosis en los gases de combustión generando una reacción química a alta temperatura que produce amoníaco que descompone las moléculas de óxidos de nitrógeno en nitrógeno molecular y agua, que no son nocivos para el medio ambiente. No hay que confundir el AdBlue, con el líquido usado en los filtros antipartículas con aditivos. (Sostenible, 2015)

Las normas sobre emisiones para turismos y vehículos industriales ligeros se resumen en las siguientes tablas. Desde la etapa Euro 2, los reglamentos de la UE introducen diferentes límites de emisiones para los vehículos diésel y gasolina. Los diésel tienen normas más estrictas normas de CO pero se les permite más emisiones de NOx. Los vehículos de gasolina están exentos de las normas de PM hasta la etapa Euro 4 (la etapa Euro 5 propuesta introduce normas para PM algunos automóviles de gasolina). (Sostenible, 2015)

Todas las fechas que figuran en las tablas se refieren a nuevas homologaciones. Las directivas de la CE también especifican una segunda fecha, un año después de que se aplique el primer registro (puesta en servicio) de los existentes modelos de vehículos previamente homologados. (Europasobreruedas)

Tabla 4. 1. Valores de los gases según las normativas Euro. (Europasobreruedas)

| Norma | Fecha | CO | HC | HC+NOx | NOx |
|--------------|---------------|-----------|-----------|---------------|------------|
| Euro 1 | Julio de 1992 | 3.16 | - | 1.13 | - |
| Euro 2 | Enero de 1996 | 2.2 | - | 0.5 | - |
| Euro 3 | Enero de 2000 | 2.3 | 0.2 | - | 0.15 |

4.2 MATERIALES UTILIZADOS Y SU DESIGNACIÓN PARA EL CIRCUITO.

R1= Resistencia de 1 K Ω de $\frac{1}{4}$ watts

R2= Resistencia de 82 Ω de $\frac{1}{2}$ watts

R3= Resistencia de 470 Ω de $\frac{1}{2}$ watts

R4= Resistencia de 20 Ω de 20 watts

R5= Resistencia de 20 Ω de 2 watts

R6= Resistencia de 100 Ω de 1 watt

P1= Potenciómetro de 50 K Ω

IC1= Circuito integrado LM 555 y zócalo de conexión

C1= Capacitor de 100 nf

C2; C3= 2 Capacitores de 10 nf

D1; D2= 2 Diodos N4007

Q1= Transistor TIP 32

Q2= Transistor BUL08A

D3; D4= 2 Diodos zenner de 150v a 1 watt

T1= Transformador de líneas (Flyback)

Placa perforada o circuito impreso.

Fuente de voltaje.

Cables de conexión.

Estaño.

Disipador de calor tipo sombrero.

Mangueras para traslado de gases.

4.2.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE CADA

COMPONENTE UTILIZADO

- *Resistencias:* Son los componentes que se oponen al paso de la corriente eléctrica, permite distribuir adecuadamente la corriente y voltaje a todos los puntos necesarios. Además de estar las resistencias caracterizadas por su valor y tolerancia, éstas están definidas por su poder de disipación de potencia expresada en watt.
- *Potenciómetro:* Son resistencias variables que se conectan a un circuito en paralelo y actúan como divisores de voltaje.
- *Circuito integrado LM 555 y zócalo de conexión:* El componente IC 555 se aplica para originar y producir diversos pulsos, este circuito integrado permite retardar tiempos, actuar como oscilador, el zócalo de conexión permite de mejor manera conectar los pines del circuito integrado con la placa para soldar de manera óptima.
- *Capacitores:* Este dispositivo se encarga de almacenar energía para luego entregarla nuevamente al circuito.
- *Diodos:* Elemento electrónico en el que se puede atravesar la corriente en un sentido.
- *Transistores:* Nos permite amplificar una señal de salida mediante una señal de entrada.
- *Diodos zener:* El diodo Zener es un diodo de silicio fuertemente dopado que se ha construido para que funcione en las zonas de rupturas, El diodo Zener es la parte esencial de los reguladores de tensión casi constantes con independencia de que se presenten grandes variaciones de la tensión de red, de la resistencia de carga y temperatura.
- *Transformador de líneas (Flyback):* Un transformador flyback es el dispositivo que permite generar altas tensiones debido a la excitación de su bobinado primario interno mediante su núcleo de ferrita, este dispositivo lo encontramos en los televisores o monitores antiguos, para la generación de

plasma es el más óptimo debido a que puede generar hasta 34000 voltios dependiendo de su capacidad y sus características.

- *Placa perforada o circuito impreso:* Es una extensión que nos permite conectar diversos componentes electrónicos mediante la soldadura por estaño, está basado en rutas conductoras para unir los elementos electrónicos para conformar un circuito.
- *Fuente de voltaje:* Sistema que está compuesto por circuitos integrados que permiten generar un voltaje que se calibra mediante una perilla, logra energizar un circuito para su funcionamiento.
- *Cables de conexión:* Permiten el paso de voltaje y corriente entre componentes.
- *Estaño:* Metal blando que nos permite realizar soldadura para conexión de componentes electrónicos.
- *Disipador de calor tipo sombrero:* Disipador que se le coloca al transistor para evitar un sobrecalentamiento en el dispositivo, discerniendo los posibles daños internos de los componentes electrónicos.
- *Mangueras para traslado de gases:* Mangueras plásticas utilizadas para trasladar los gases provenientes del múltiple de escape mediante la sonda del analizador de gases atravesando el arco de plasma, llegando al analizador para la medición.

4.3 CIRCUITO DE CONEXIÓN DISEÑADO EN PROTEUS 8

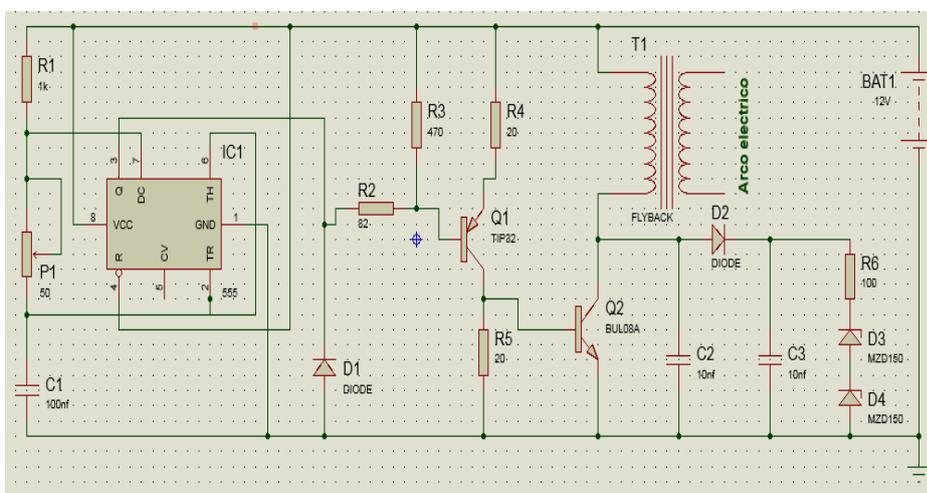


Figura 4. 1. Circuito de generación de plasma diseñado en proteus 8.

4.3.1 MONTAJE DEL CIRCUITO EN FÍSICO

Con la adquisición de los componentes descritos en el punto 4.2 procedemos al montaje del circuito diseñado en el punto 4.3 (Figura 4.1), los pasos para la construcción del circuito electrónico de generación de plasma se va a describir a continuación mediante etapas:

- Como primer punto se coloca en la placa 3 líneas de conexión, dos de dichas líneas son a positivo de la fuente y la tercera es a negativo, se realizó esto para trabajar con mayor facilidad en la placa y obtener un soldado de los componentes con las líneas de manera óptima, las líneas están conectadas directamente al positivo y negativo de la fuente para energizar el circuito.
- Procedemos a colocar todos los componentes que integran el circuito siguiendo como referencia el esquema generado en el punto 4.3 tomando en cuenta que cada conexión debe realizarse como se ve en la Figura 4.1.
- Luego de conectar los componentes de manera eficiente en la placa así como la fuente para energizar el circuito, procedemos a ubicar las líneas de alta tensión del secundario del flyback a los electrodos de generación de plasma.
- Finalmente, se conecta los electrodos dentro de la manguera de mayor diámetro el mismo que nos permite la visualización del arco eléctrico, se adapta las mangueras de menor diámetro que trasladan los gases procedentes del tubo de escape al analizador.

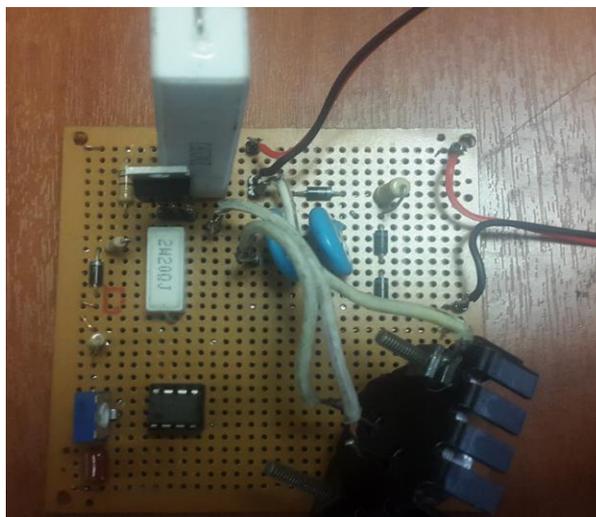


Figura 4. 2. Circuito de generación de plasma terminado.

4.4 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO

Este circuito está constituido por dos etapas fundamentales para su desarrollo y funcionamiento, está conformado por un circuito monoestable y por un circuito de potencia.

La primera etapa (circuito monoestable) es aquel que nos entrega pulsos de 1 a 800 Hz para que la bobina (Flyback) pueda generar el alto voltaje formando el plasma, el diodo D1 está conectado entre el pin número 3 del circuito integrado LM555y la tierra para darle una excelente ganancia referente a la corriente.

Las resistencias R2 y R3 polarizan la base del transistor TIP 32 con una tensión de 0,7 voltios, esto se lo realiza para que el TIP 32 no se incinere debido a un sobrecalentamiento, las dos resistencias nombradas anteriormente conjuntamente con la resistencia R4 polarizan el transistor BUL08A el mismo que procedemos a conectarlo en forma antidarlington para que amplifique de manera inmensa el voltaje, esta conexión presenta una desventaja y es la disipación bastante alta de calor, por lo que utilizamos la resistencia R5 de 2 vatios.

El transistor BUL08A es un transistor de salida horizontal, es decir, un transistor especial debido a que trabaja a corte y saturación, en su interior para evitar que se quemara consta internamente entre su base y emisor un diodo dámper así como una resistencia de 10 K Ω , no presenta incineración o daño alguno debido a que solo amplifica los picos altos, es decir el 80% del tiempo descansa y el 20% trabaja.

El capacitor C3, el diodo D2 y el capacitor C4 son los encargados de amortiguar los picos de retorno de los 300 voltios.

El capacitor C2 evita que al generarse el arco eléctrico producido por el flyback la fuente que alimenta el circuito se sature logrando eludir que se arruine el integrado LM 555.

4.4.1 PROTITPO TERMINADO CON SU ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO

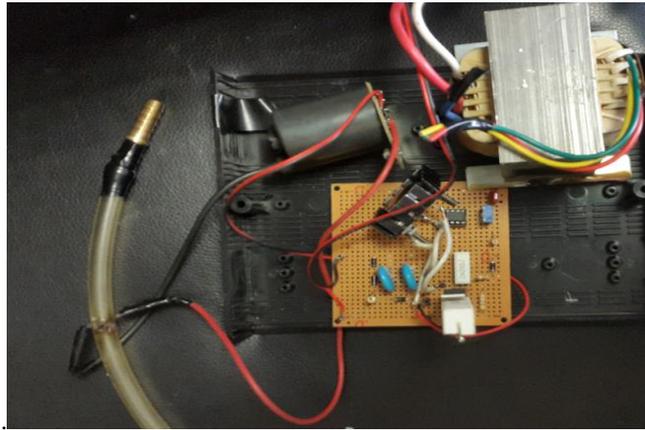


Figura 4. 3. Prototipo de generación de plasma terminado y en funcionamiento.

4.4.2 UNIDAD EXPERIMENTAL.

La unidad experimental la componen todos los elementos a emplear en el desarrollo del experimento para la generación y obtención de datos.

4.4.2.1 VEHÍCULOS DE PRUEBAS.

Para el desarrollo y obtención de los datos a analizar posteriormente se presenta cuatro vehículos, dos de los mismos con un sistema de encendido a inyección y los dos restantes con un sistema de encendido a carburador.

4.4.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS VEHÍCULOS.

El primer vehículo utilizado para la realización de las pruebas es un vehículo marca Kía modelo Sportage mostrado en la Figura 4.4.



Figura 4. 4. Primer vehículo para toma de muestras (Kía Sportage).

Las características del vehículo de pruebas se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4. 2. Características estándar del primer vehículo de pruebas

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Marca | Kía |
| Modelo | Sportage L2.0L 4x2GSL |
| Número de cilindros | 4 |
| Motor | 2.0 |
| Potencia máxima | 141 CV @ 6000RPM |
| Torque | 184 Nm @ 4500RPM |
| Cilindrada | 2000 cm ³ |
| Válvulas por cilindro | 4 |

El segundo vehículo utilizado para la realización de las pruebas es un vehículo marca Chevrolet modelo Rodeo mostrado en la Figura 4.5.



Figura 4. 5. Segundo vehículo para toma de muestras (rodeo).

Las características del vehículo de pruebas se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4. 3. Características estándar del segundo vehículo de pruebas.

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Marca | Chevrolet |
| Modelo | Rodeo V6 |
| Número de cilindros | 6 |
| Motor | 3.2 |
| Potencia máxima | 208 CV @ 5400RPM |
| Torque | 290 Nm @ 3000RPM |
| Cilindrada | 3165cm ³ |
| Válvulas por cilindro | 4 |

El tercer vehículo utilizado para la realización de las pruebas es un vehículo Chevrolet Forsa 3P 1.3L mostrado en la Figura 4.6.



Figura 4. 6. Tercer vehículo para toma de muestras (Suzuki forsa 1.3l)

Las características del vehículo de pruebas se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4. 4. Características estándar del tercer vehículo de pruebas.

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Marca | Chevrolet |
| Modelo | Forsa 3P 1.3L |
| Número de cilindros | 4 |
| Motor | 1.3 |
| Potencia máxima | 38.3 kW @ 4980RPM |
| Cilindrada | 1300cm ³ |
| Válvulas por cilindro | 2 |

El cuarto vehículo utilizado para la realización de las pruebas es un vehículo marca Chevrolet modelo Forsa 1.0L mostrado en la Figura 4.7.



Figura 4. 7. Cuarto vehículo para toma de muestras (Suzuki 1.0)

Las características del vehículo de pruebas se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4. 5. Características estándar del cuarto vehículo de pruebas

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Marca | Chevrolet |
| Modelo | Forsa |
| Número de cilindros | 4 |
| Motor | 1.0 |
| Potencia máxima | 36KW @ 4500RPM |
| Cilindrada | 1000cm ³ |
| Válvulas por cilindro | 2 |

4.4.2.3 BANCO DINAMOMÉTRICO.

Para el desarrollo del experimento, se utilizó el banco dinamométrico MAHA LPS 3000 el cual se muestra en la Figura 4.8, tanto para la generación de carga como para la toma de datos. El banco cuenta con un freno dinamométrico de corrientes parásitas que permite generar carga a más de medir la fuerza tractora y potencia de forma simultánea. Se puede determinar potencia según algunas normativas internacionales. Para nuestro caso se determina la potencia neta según NTE INEN 0960 1984, Vehículos Automotores, determinación de Potencia neta del motor. (Nestor Rivera, 2015)



Figura 4. 8. Banco dinamométrico.

El banco consta de dos juegos de rodillos conectados a los frenos que captan la velocidad y par de giro, a más de ello el banco se conecta a una consola de sensores que permite monitorear condiciones ambientales como la presión atmosférica, humedad relativa y temperatura del aire. También se miden la temperatura del lubricante y velocidad de giro del motor. (Nestor Rivera, 2015)

4.4.2.4 PROTOTIPO DE SISTEMA DE REDUCCIÓN DE GASES

MEDIANTE PLASMA.

Este circuito está constituido por dos etapas fundamentales para su desarrollo y funcionamiento, está conformado por un circuito monoestable y por un circuito de potencia.

La primera etapa (circuito monoestable) es aquel que nos entrega pulsos de 1 a 800 Hz para que la bobina (Flyback) pueda generar el alto voltaje formando el plasma, el diodo D1 está conectado entre el pin número 3 del circuito integrado LM555 y la tierra para darle una excelente ganancia referente a la corriente.

Las resistencias R2 y R3 polarizan la base del transistor TIP 32 con una tensión de 0,7 voltios, esto se lo realiza para que el TIP 32 no se incinere debido a un sobrecalentamiento, las dos resistencia nombradas anteriormente conjuntamente con

la resistencia R4 polarizan el transistor BUL08A el mismo que procedemos a conectarlo en forma antidarlington para que amplifique de manera inmensa el voltaje, esta conexión presenta una desventaja y es la disipación bastante alta de calor, por lo que utilizamos la resistencia R5 de 2 watts.

El transistor BUL08A es un transistor de salida horizontal, es decir, un transistor especial debido a que trabaja a corte y saturación, en su interior para evitar que se quemara internamente entre su base y emisor un diodo d'ámper así como una resistencia de 10 K Ω , no presenta incineración o daño alguno debido a que solo amplifica los picos altos, es decir el 80% del tiempo descansa y el 20% trabaja.

El capacitor C3, el diodo D2 y el capacitor C4 son los encargados de amortiguar los picos de retorno de los 300 voltios.

El capacitor C2 evita que al generarse el arco eléctrico producido por el flyback la fuente que alimenta el circuito se sature logrando eludir que se arruine el integrado LM 555.

4.4.2.5 ANALIZADOR DE GASES.

Al analizar el porcentaje de concentración que produce cada gas en las emisiones contaminantes utilizamos el QROTECH QGA/NGA6000, analizador de gases mostrado en la figura 4.9.



Figura 4. 9. Analizador de gases.

El analizador realiza la medición de monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados y dióxido de carbono mediante el método NDIR (método no dispersivo de absorción de infrarrojos), mientras que la medición de oxígeno y óxidos nitrosos se da por célula electroquímica. Las características se muestran en la Tabla 4.6. (Juan Bustos)

Tabla 4. 6. Características del analizador de gases. (Juan Bustos)

| CARACTERÍSTICA | RANGO | SENSIBILIDAD | UNIDAD |
|---------------------------------|--------------|---------------------|---------------|
| Monóxido de Carbono | 0.00 - 9.99 | 0.01 | % |
| Dióxido de Carbono | 0.0 - 20.0 | 0.1 | % |
| Oxígeno | 0.00 – 25.00 | 0.01 | % |
| Hidrocarburos no combustionados | 0 – 9999 | 1 | ppm |
| Óxidos Nitrosos | 0 - 5000 | 1 | ppm |
| Lambda | 0 -2.000 | 0.001 | - |
| Relación aire/combustible | 0.0 – 99.0 | 0.1 | - |

4.5 PRESENTACIÓN Y DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Para el desarrollo del experimento se utiliza el software Minitab en la versión más actualizada, mediante el ensayo análisis de varianza se procede a analizar mediante gráficos estadísticos en el método de un solo factor que es un tipo de ANOVA que nos permite comparar dos poblaciones.

4.5.1 DEFINICIÓN DE ANOVA

El ensayo ANOVA permite analizar las medias de diversas muestras mediante su varianza, evaluando y comparando dichas medias en alternativos niveles.

Un ANOVA puede ser ejecutado si consta de un factor categórico con dos o más niveles y una variable de respuesta, el análisis ANOVA consta de un sistema de corrección en caso de que las distribuciones se encuentren asimétricas, esto nos permite asegurar el correcto desempeño del ensayo, como referencia las muestras deben ser lo más precisas para poder ejecutar un ensayo de manera eficiente, se puede utilizar el método de Tukey para obtener una información más detallada acerca del comportamiento de las medias.

Para determinar si las medias son diferentes ANOVA utiliza las varianzas y el análisis de las mismas.

4.5.2 ANOVA DE UN SOLO FACTOR

El método One-way permite comparar un factor fijo con las diversas variables que se han establecido en las muestras ingresadas en el minitab.

4.5.3 METODO TUKEY

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar (a menudo llamada tasa de error familiar) para controlar la tasa de error de tipo I. La tasa de error familiar es la probabilidad de producir uno o más errores de tipo I para todo el conjunto de comparaciones. El método de Tukey ajusta el nivel de confianza individual, basado en la tasa de error familiar que elija. La tabla de información de agrupación destaca las comparaciones significativas y no significativas. La tabla incluye la siguiente información.

Método: Método de comparación múltiple utilizado para construir la familia de intervalos de confianza a partir de la cual se genera la tabla de agrupación.

Término de comparación: Cada tabla de información de agrupación compara los niveles de un factor.

N: El tamaño de la muestra para cada nivel de factor.

Medios: Medios montados ordenados en orden descendente.

Agrupación: Contiene columnas de letras que agrupan los niveles de factor. Los niveles que comparten una letra no son significativamente diferentes. Por el contrario, si no comparten una letra, los medios de nivel son significativamente diferentes.

Para determinar un rango probable para la diferencia entre dos medias, use el gráfico de intervalos para las diferencias de medias

4.5.4 CALIBRACIÓN DEL BANCO DINAMOMÉTRICO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.

El banco dinamométrico se calibra a 2500 RPM y con una carga de 100% de torque para la adquisición de datos, esto se realiza para obtener valores óptimos de óxidos nitrosos y poder evaluar mediante el encendido y apagado del circuito la variación de los valores que se presentan en el analizador de gases.



Figura 4. 10. Calibración del banco dinamométrico.

4.5.5 UBICACIÓN DE LOS PUNTALES PARA GENERACIÓN DE PLASMA.

Se ubican dentro de la manguera que transporta los gases entre el analizador de gases y el escape del vehículo, existe una separación de 1 centímetro entre los puntales generando una onda de plasma adecuada para separar las moléculas de óxidos nitrosos generados a 2500RPM y con una carga de 100% de torque.

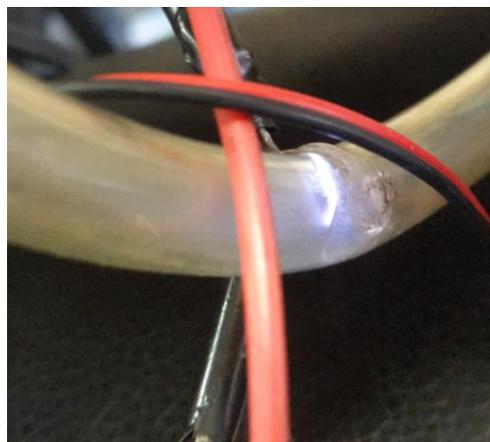


Figura 4. 11. Puntales para la generación de plasma.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 TOMA DE DATOS

Las pruebas correspondientes a las corridas experimentales se desarrollaron en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Para la realización de estas pruebas el vehículo debe estar correctamente ubicado y asegurado en el banco dinamométrico, así como los equipos de adquisición de datos debidamente conectados y disponer las herramientas necesarias para efectuar los cambios entre corridas como se muestra en la figura 5.1.



Figura 5. 1. Laboratorio de experimentación.

5.1.1 ALEATORIZACIÓN DE LAS PRUEBAS

Para asegurar que las mediciones realizadas puedan ser validadas, se aplica la aleatorización de las pruebas una vez obtenida la matriz del diseño experimental para eliminar efectos no deseados que se generan por factores ambientales y de ruido difíciles de controlar. (Nestor Rivera, 2015)

El principio de aleatorización incrementa la posibilidad de que los errores de muestreo sean independientes lo cual es requisito para la validez de las pruebas estadísticas, también es una técnica para asegurar que los pequeños errores

provocados debido a los equipos, factores ambientales y humanos se reparten de manera homogénea a lo largo de todos los tratamientos . (Nestor Rivera, 2015)

5.1.2 PROTOCOLO DE MEDICIÓN

Para garantizar la reproducibilidad y repetitividad del experimento las muestras fueron tomadas siguiendo el protocolo que se describe a continuación.

- Preparar instrumentos de medición y adquisición de datos.
- Encender motor.
- Confirmar temperatura del refrigerante mayor a 90°C.
- Confirmar temperatura de la banda de rodadura entre 30 y 40°C.
- Confirmar temperatura del lubricante entre 80 y 85°C.
- Establecer el régimen de giro del motor en el banco dinamométrico igual a 2500 RPM.
- Mantener el motor funcionando al régimen de giro establecido hasta que se estabilice en cuarta marcha.
- Energizar el circuito que produce el arco eléctrico durante 2 minutos.
- Desenergizar el circuito que produce el arco eléctrico durante 2 minutos.
- Adquirir los datos de todas las variables planteadas.
- Repetir la prueba 4 veces para cada vehículo.
- Colocar en inercia el vehículo hasta alcanzar la posición de ralentí.
- Apagar el motor.

Las muestras adquiridas mediante el analizador de gases son guardados en un formato permisible para la medición, además, debe ser compatible con el software Minitab® donde se trataran las muestras.

5.2 TRATAMIENTO DE DATOS

Para evitar la introducción de errores debido a las imprecisiones que se pueden tener en los resultados de las mediciones realizadas, los datos obtenidos antes de ser utilizados deben ser validados. Los modelos estadísticos que se van a desarrollar dependen entonces de las limitaciones de precisión y exactitud.

5.2.1 VALIDACIÓN DE DATOS

Se grafican los residuos de cada salida frente al orden de toma de la muestra para verificar los resultados de la aleatorización en el desarrollo de las corridas experimentales. Las gráficas de residuos para las salidas medidas por el analizador de gases se muestran en la Figura 5.2, donde se puede apreciar que no existe dependencia de cada una de las muestras respecto a la anterior ni tampoco patrones definidos. (Juan Bustos)

5.3 REPRESENTACIÓN GRÁFICA Y ANÁLISIS

5.3.1 VEHÍCULO KIA SPORTAGE

5.3.1.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) VS CONDICIÓN

La primera gráfica que es la de probabilidad normal (Figura 5.2), nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos, se ocasiona una asimetría en la distribución al observar que el punto inicial no se encuentra al límite con la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

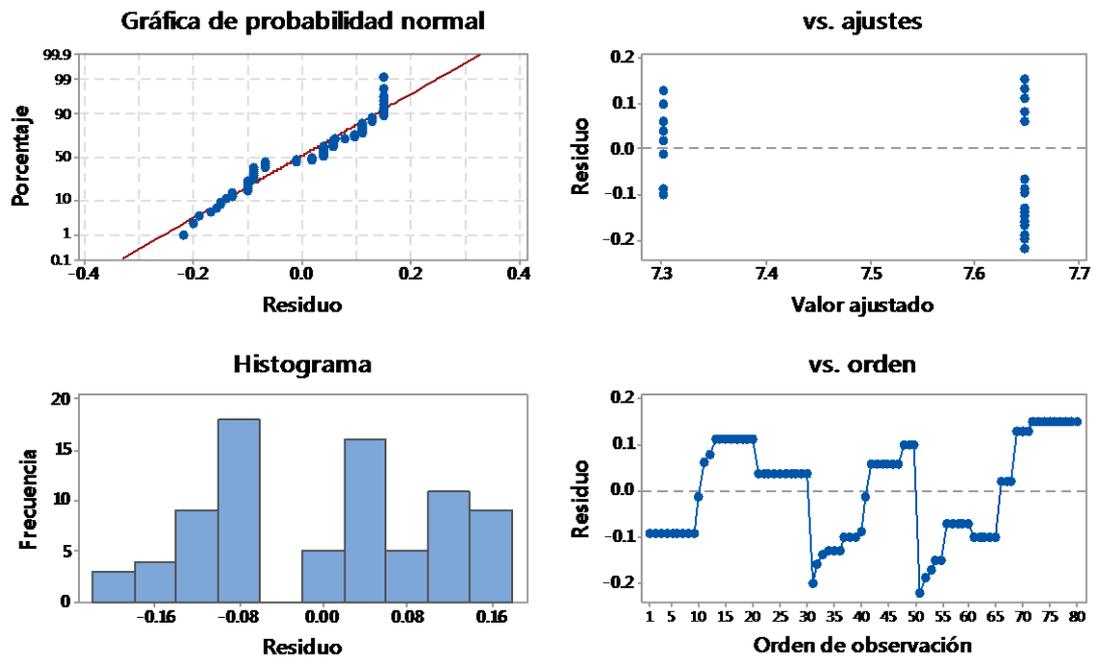


Figura 5. 2. Gráfica de residuos para CO.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.3 ya que la muestra en apagado y encendido se sobreponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor de coeficiente de determinación R de 72.77 el cual nos indica que la dispersión de datos es baja.

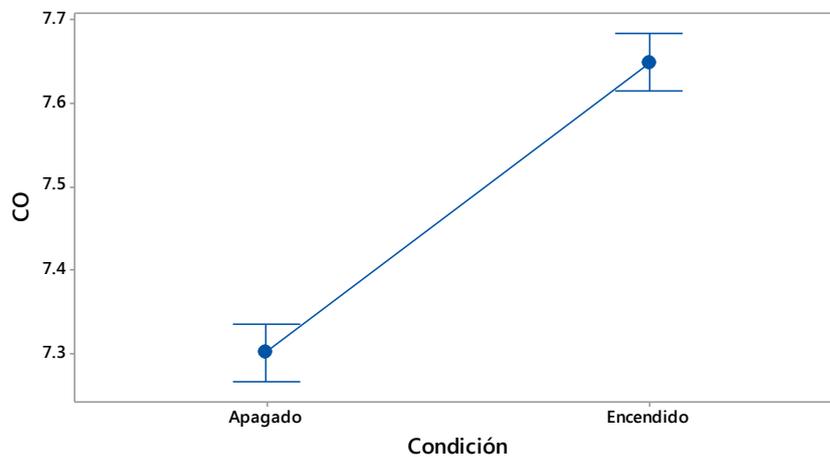


Figura 5. 3. Gráfica de intervalos de CO vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.4 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

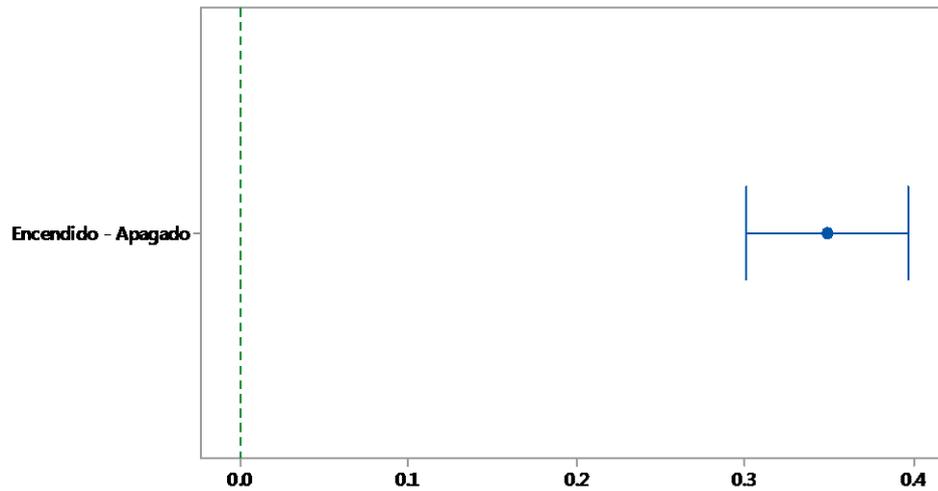


Figura 5. 4. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.00 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.1.2 ANÁLISIS DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal en la Figura 5.5 nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas e ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos, se ocasiona una asimetría en la distribución al observar que el punto inicial no se encuentra al límite con la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

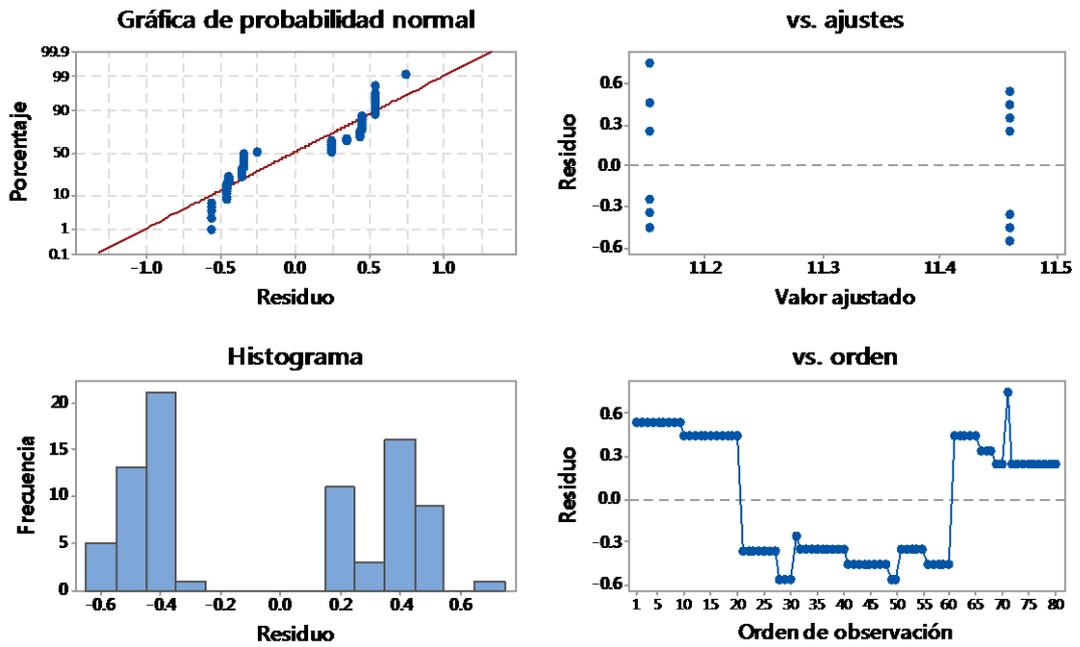


Figura 5. 5. Gráfica de residuos para CO2.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.6 ya que la muestra en apagado y encendido se superponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor de coeficiente de determinación de R de 11.64 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

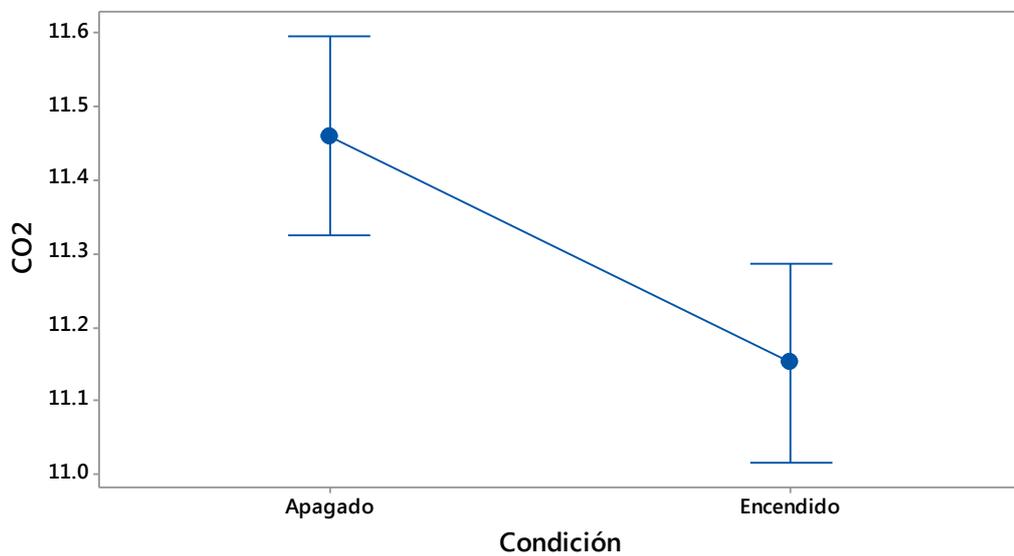


Figura 5. 6. Gráfica de intervalos de CO2 vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.7 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

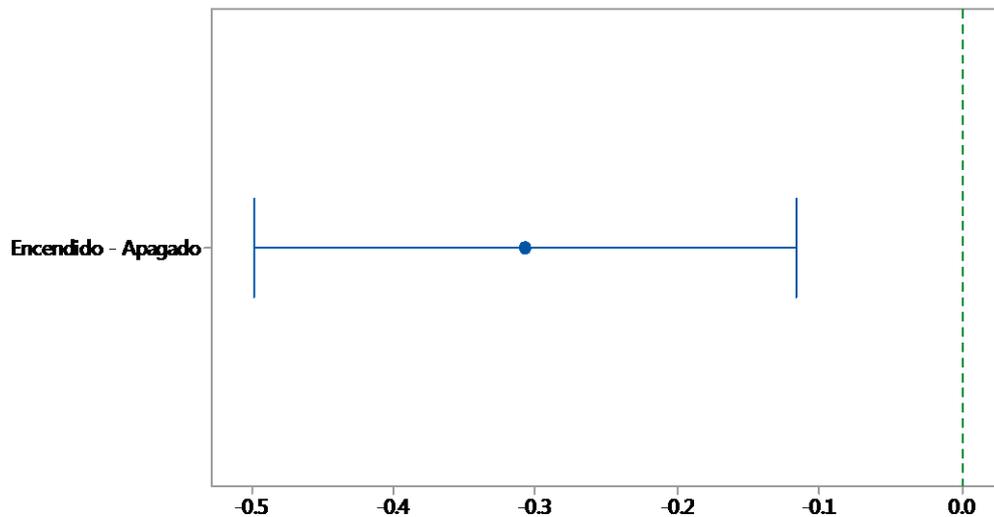


Figura 5. 7. ICS simultáneos de 95 % de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.002 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.1.3 ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS (HC) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal en la Figura 5.8 nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos, se ocasiona una asimetría en la distribución al observar que el punto inicial no se encuentra al límite con la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

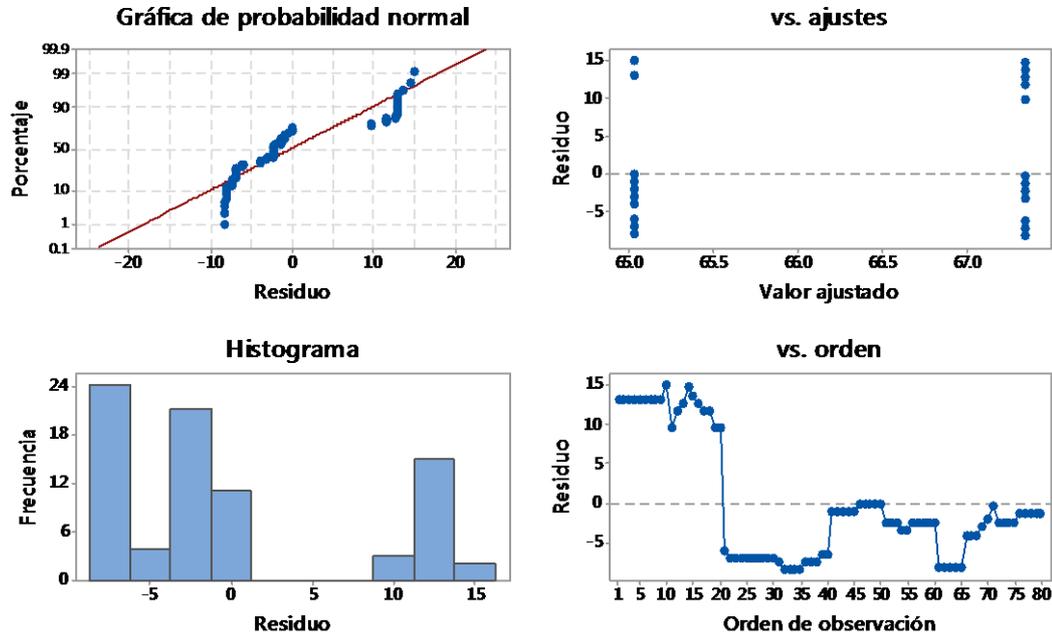


Figura 5. 8. Gráfica de residuos para HC.

No existe una diferencia significativa en la Figura 5.9 ya que existe la hipótesis nula, obteniendo un valor de R de 50 el cual nos indica que la dispersión de datos es media.

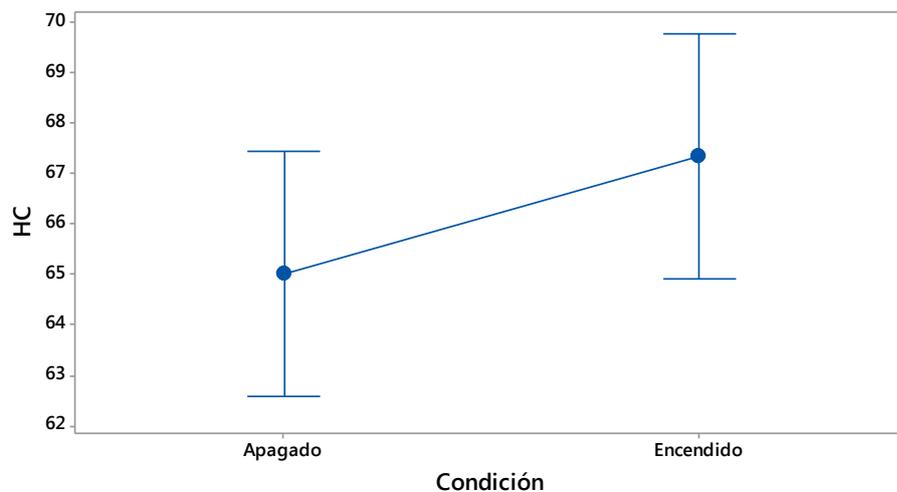


Figura 5. 9. Gráfica de intervalos de HC vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.10 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra en un rango de confianza entre 0.001 a 6 el cual incluye la línea cero no existiendo diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

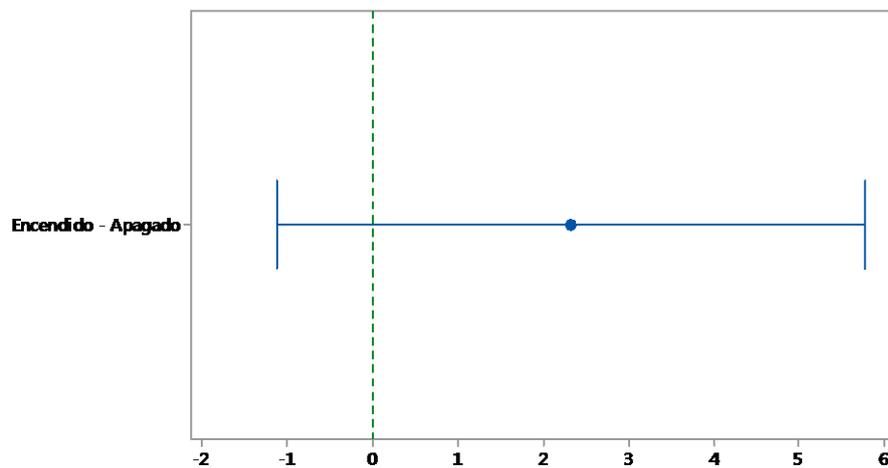


Figura 5. 10. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.184 siendo este mayor a $\alpha=0.05$, se concluye que la diferencia que existe entre las poblaciones nos es altamente significativa, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

5.3.1.4 ANÁLISIS DE ÓXIDOS DE NITROGENO (NOX) VS CONDICIÓN

La primera gráfica que es la de probabilidad normal Figura 5.11 nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos, se ocasiona una asimetría en la distribución al observar que el punto inicial no se encuentra al límite con la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

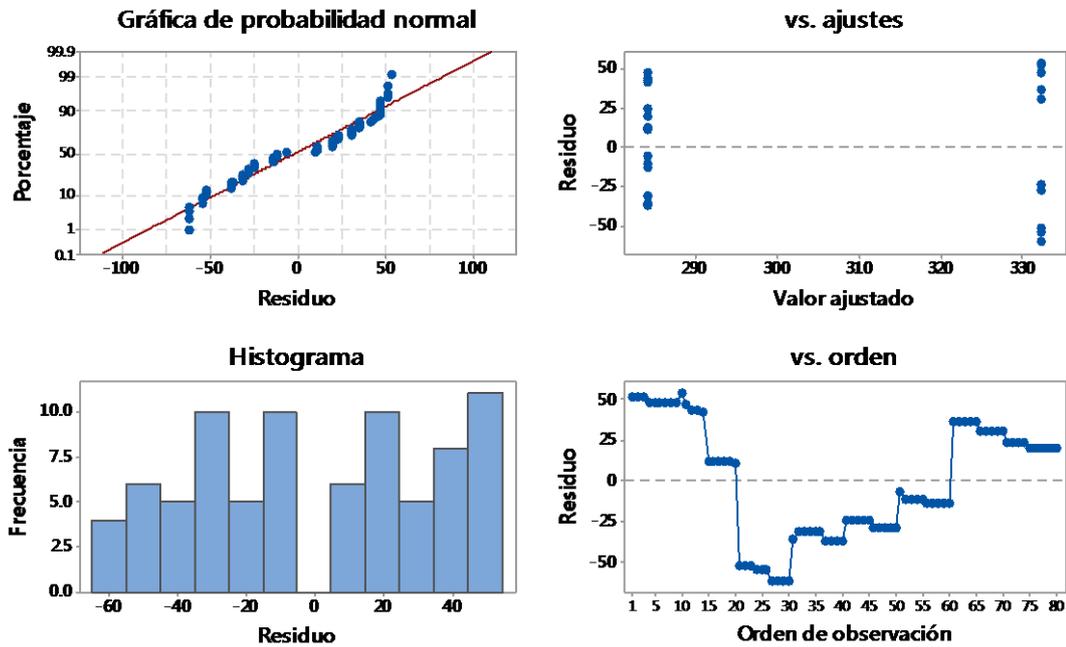


Figura 5. 11. Gráfica de residuos para NOx.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.12 ya que la muestra en apagado y encendido se sobreponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 80.2 el cual nos indica que la dispersión de datos es baja.

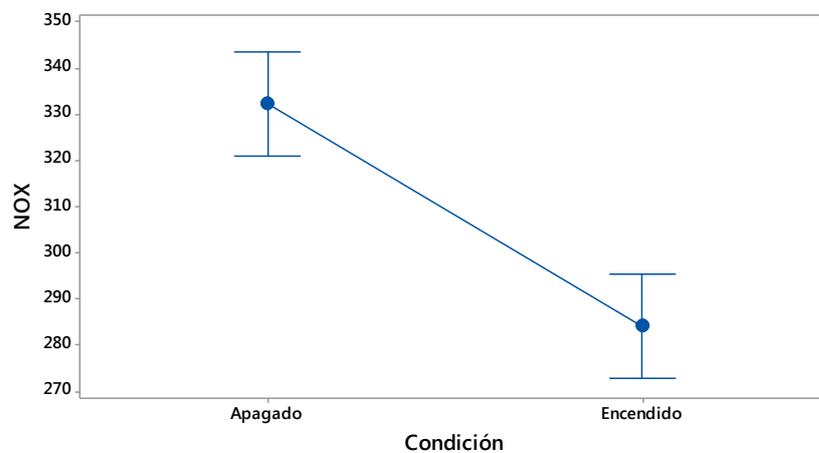


Figura 5. 12. Gráfica de intervalos de NOx vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.13 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

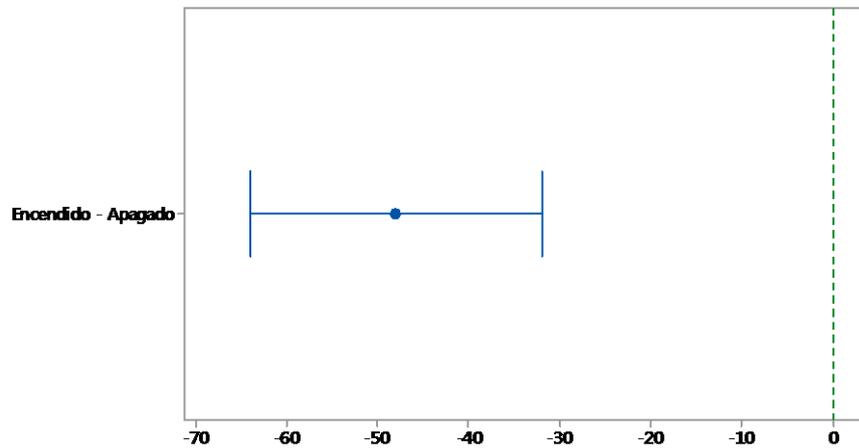


Figura 5. 13. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.00 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.2 VEHÍCULO CHEVROLET FORSA 1.0L

5.3.2.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.14, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que el primer punto y el último están alejados de la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

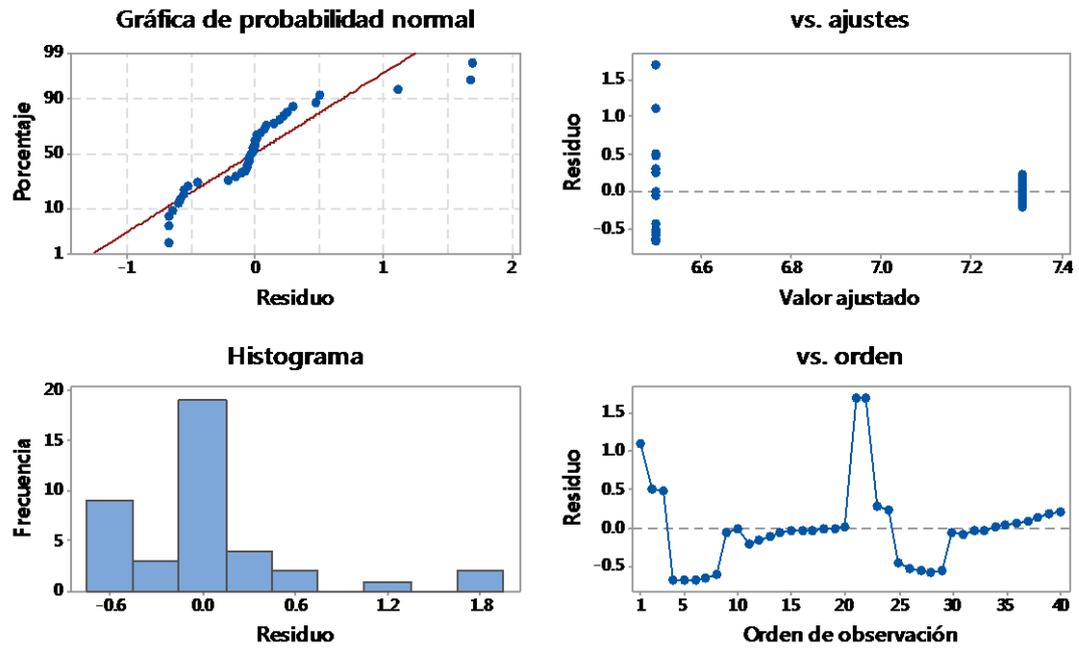


Figura 5. 14. Gráfica de residuos para CO.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.15 ya que la muestra en apagado y encendido se sobrepone, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 36.77 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

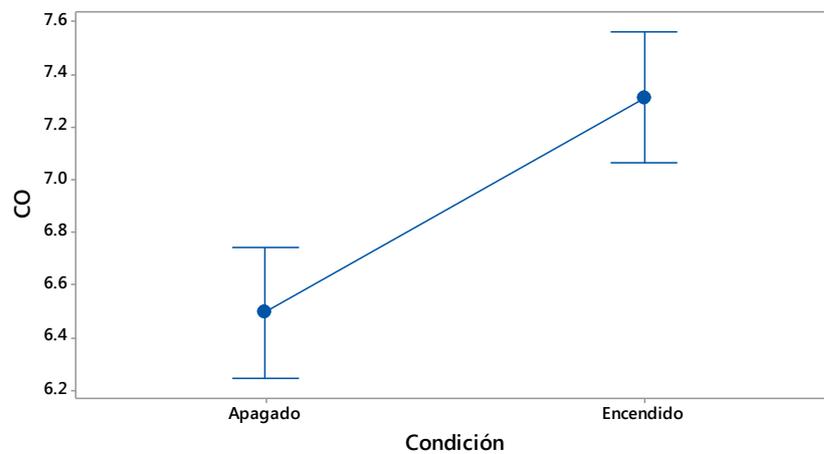


Figura 5. 15. Gráfica de intervalos de CO vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.16 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

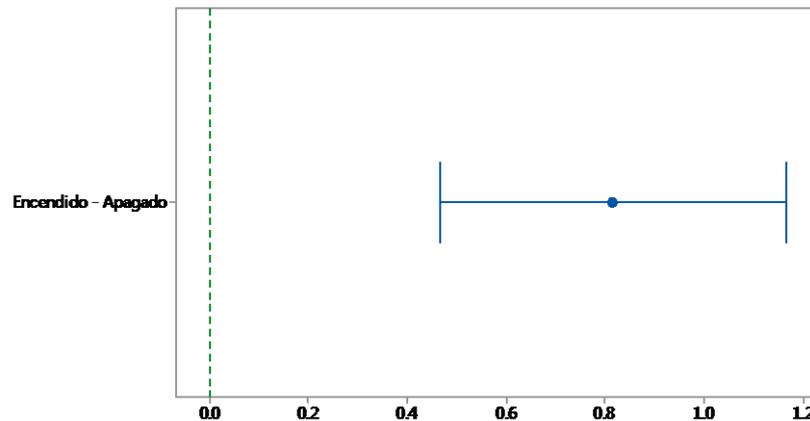


Figura 5. 16. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.00 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.2.2 ANÁLISIS DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.17, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que los puntos se mantiene en un margen cercano a la recta en una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

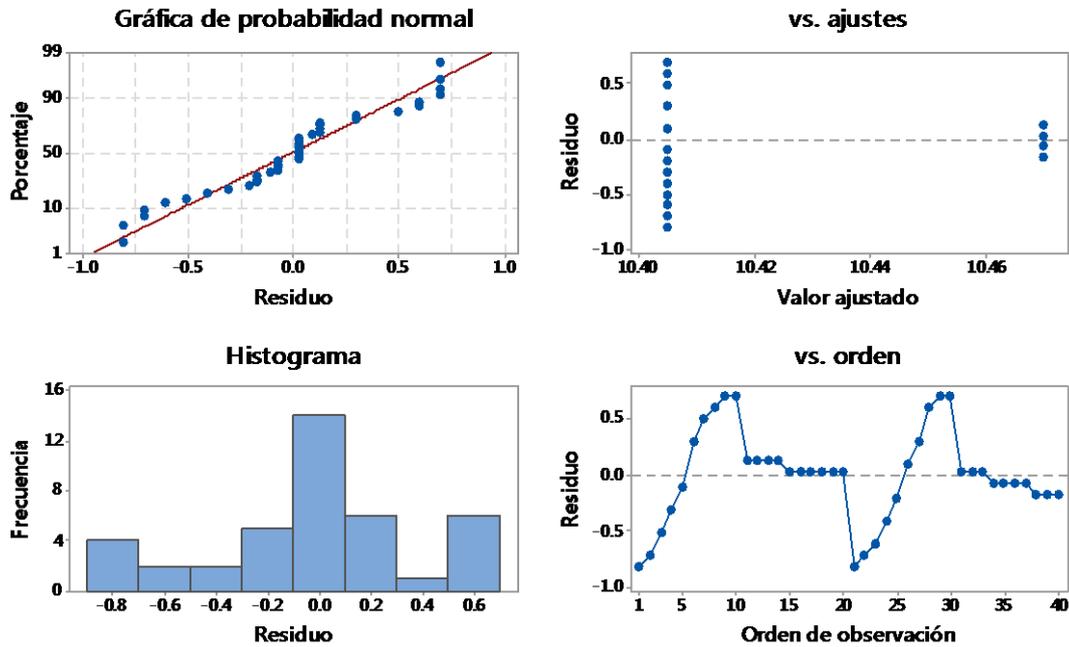


Figura 5. 17. Gráfica de residuos paraCO2.

No existe una diferencia significativa en la Figura 5.18 ya que se identifica que se tienes la hipótesis nula, obteniendo un valor de R de 0.65 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

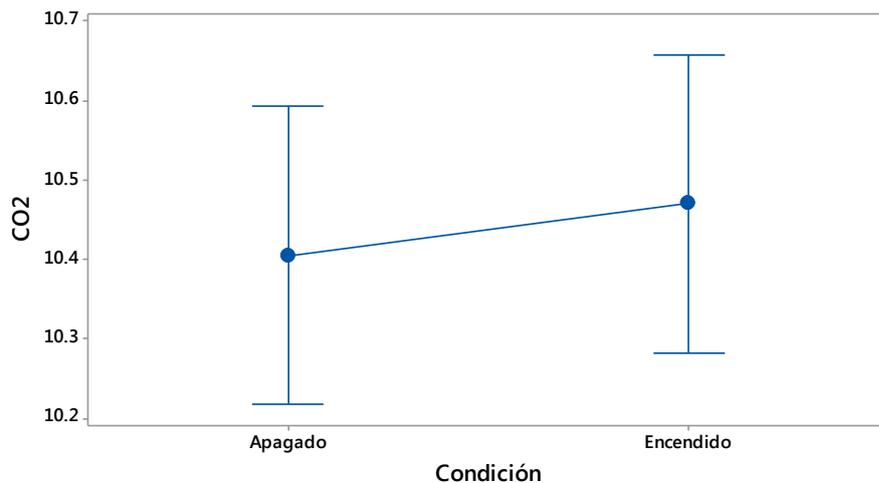


Figura 5. 18. Gráfica de intervalos de CO2 vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.19 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra en un rango de confianza entre 0.001 a 0.35 el cual incluye la línea cero no existiendo diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

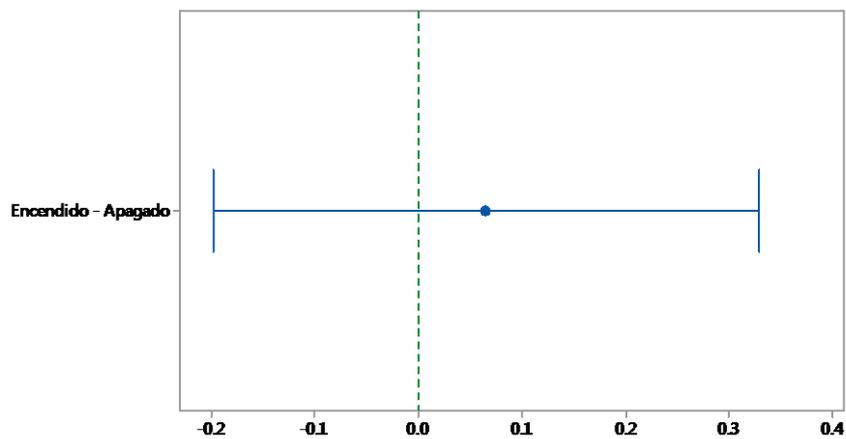


Figura 5. 19. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.621 siendo este mayor a $\alpha=0.05$, se concluye que la diferencia que existe entre las poblaciones no es altamente significativa, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

5.3.2.3 ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS (HC) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.20, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que el primer punto y el último están alejados de la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

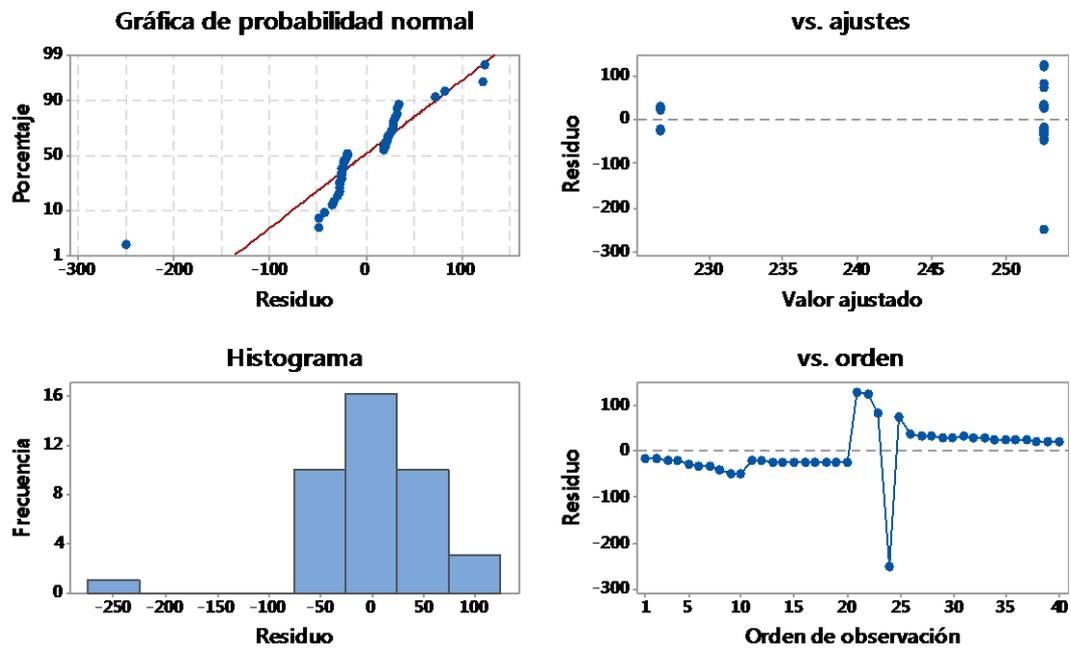


Figura 5. 20. Gráfica de residuos para HC.

No se observa una diferencia significativa en la Figura 5.21 ya que se identifica que se tienen la hipótesis nula, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 4.81 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

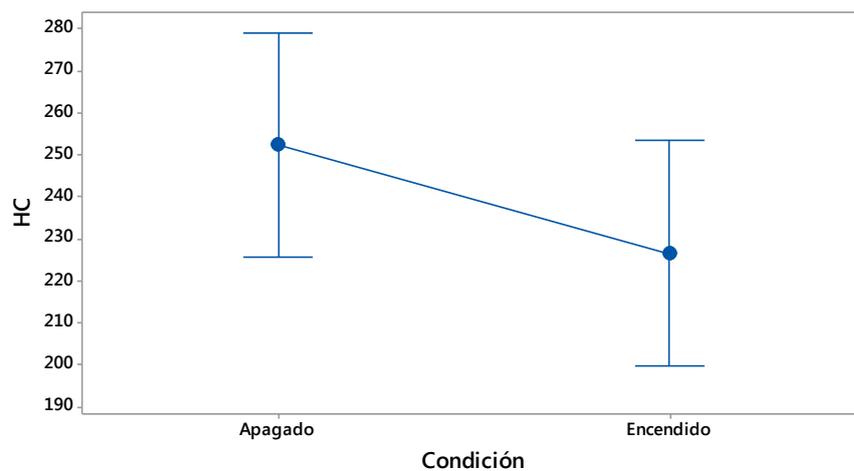


Figura 5. 21. Gráfica de intervalos de HC vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.22 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra en un rango de confianza entre 0.001 a 65 el cual incluye la línea cero no existiendo diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

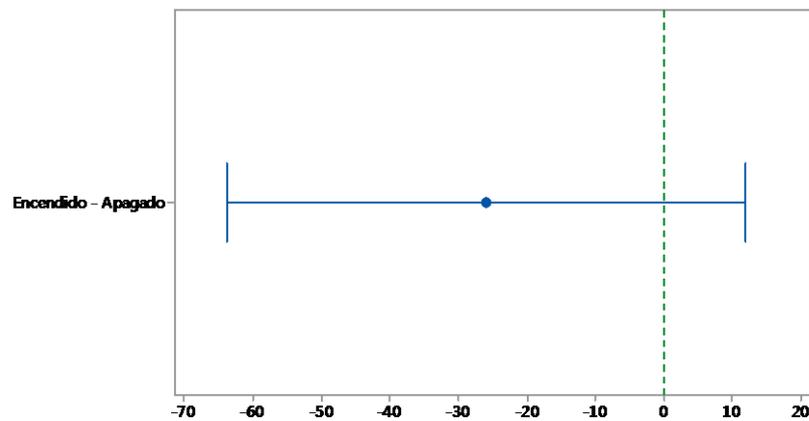


Figura 5. 22.Análisis de Tukey

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.174 siendo este mayor a $\alpha=0.05$, se concluye que la diferencia que existe entre las poblaciones no es altamente significativa, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

5.3.2.4 ANÁLISIS DEL ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOX) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.23 nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que los puntos se mantiene en un margen cercano a la recta en una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

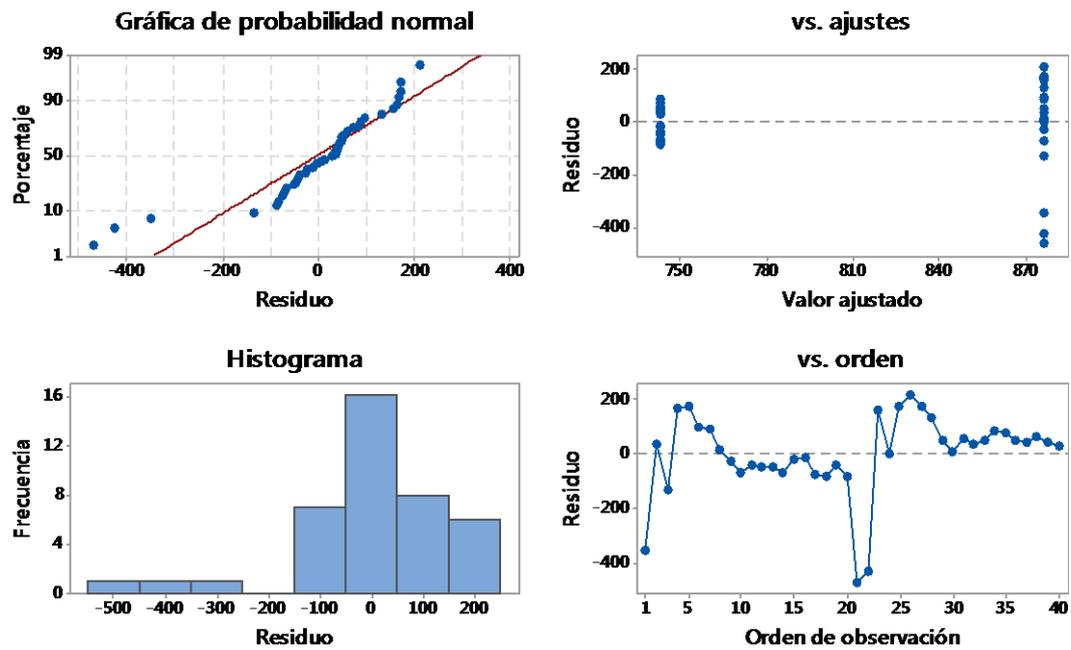


Figura 5. 23. Gráfica de residuos para NOx.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.23 ya que la muestra en apagado y encendido se sobreponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 78.2 el cual nos indica que la dispersión de datos es baja.

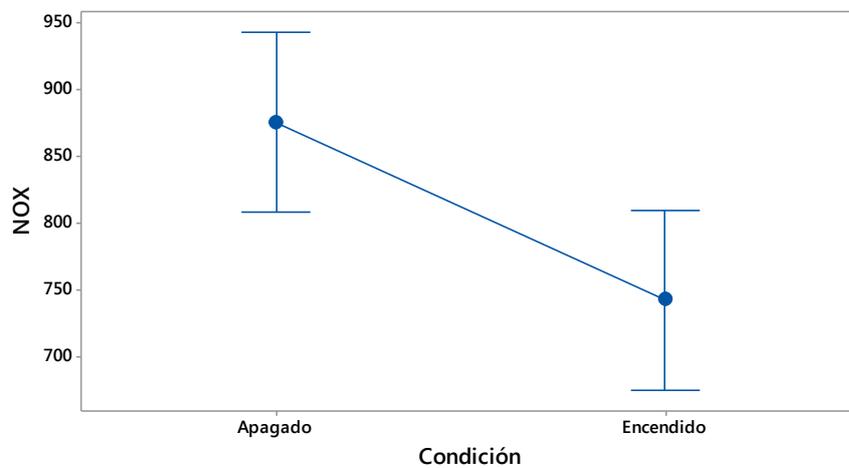


Figura 5. 24. Gráfica de intervalos de NOx vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.25 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

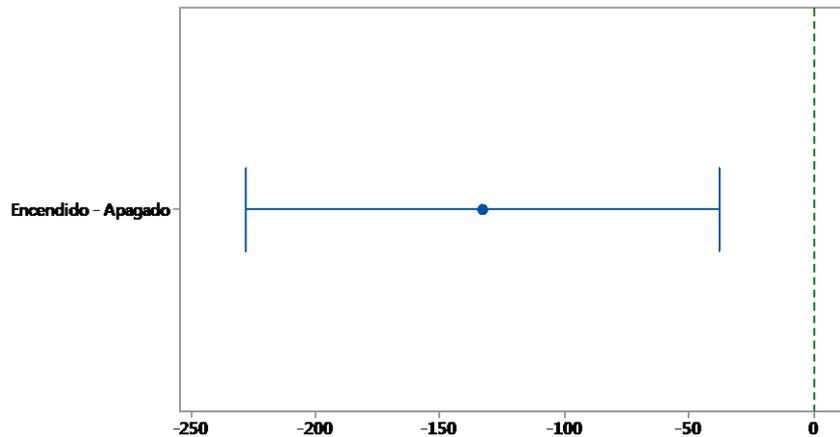


Figura 5. 25. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.007 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.3 VEHÍCULO CHEVROLET SUSUKI FORSA 3P 1.3L

5.3.3.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.26, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que el primer punto y el último están alejados de la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

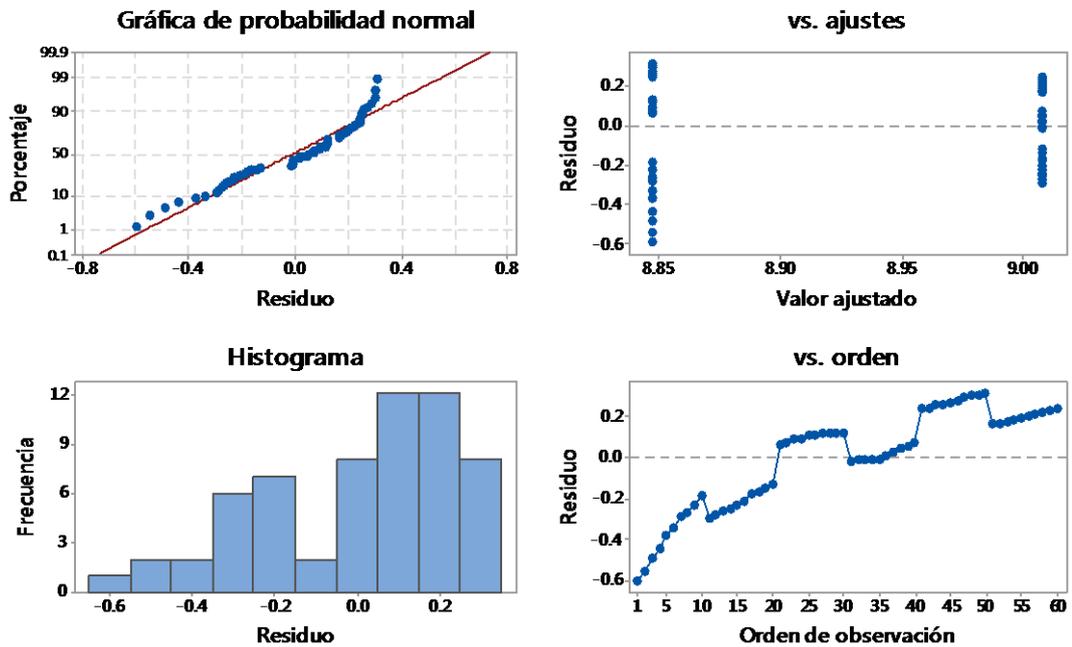


Figura 5. 26. Gráfica de residuos para CO.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.27 ya que la muestra en apagado y encendido se sobreponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor de R de 40.1 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

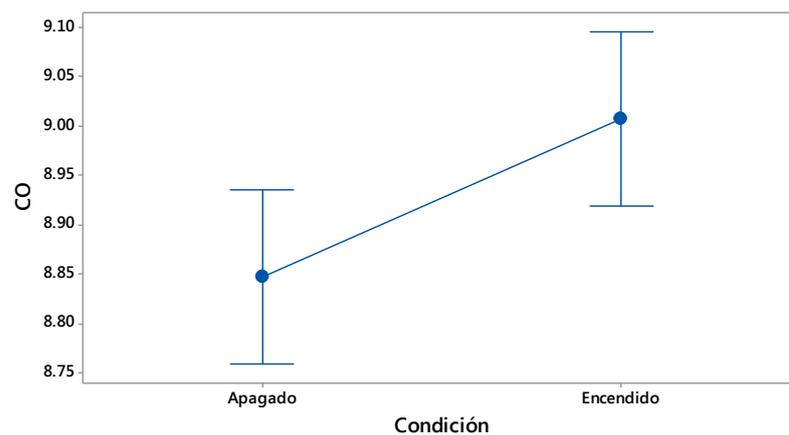


Figura 5. 27. Gráfica de intervalos de CO vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.28 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

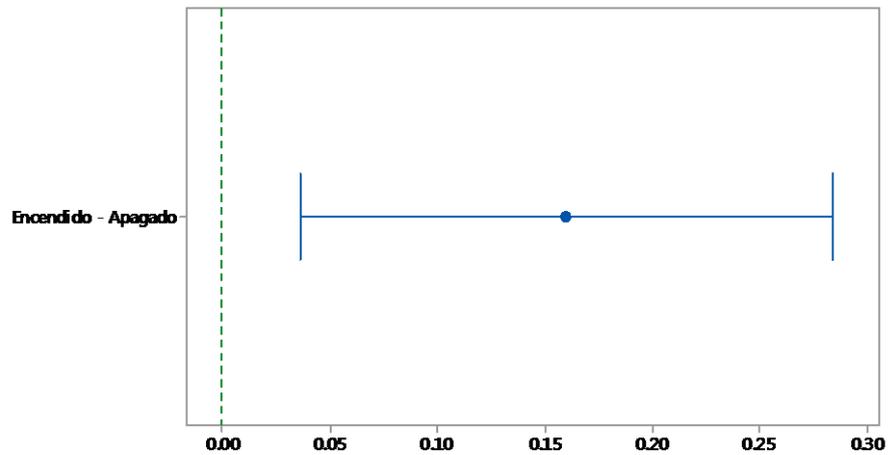


Figura 5. 28. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.013 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.3.2 ANÁLISIS DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.29, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que los puntos se mantiene en un margen cercano a la recta en una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

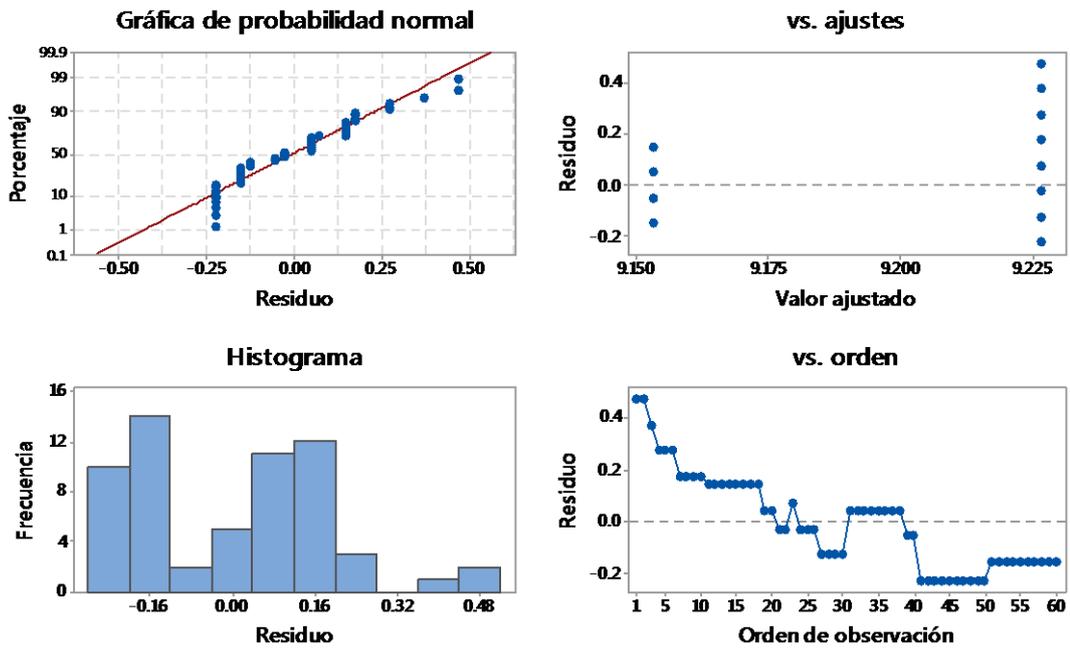


Figura 5. 29. Gráfica de residuos para CO2.

No se observa una diferencia significativa en la Figura 5.30 ya que existe la hipótesis nula, obteniendo un valor de R de 4 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

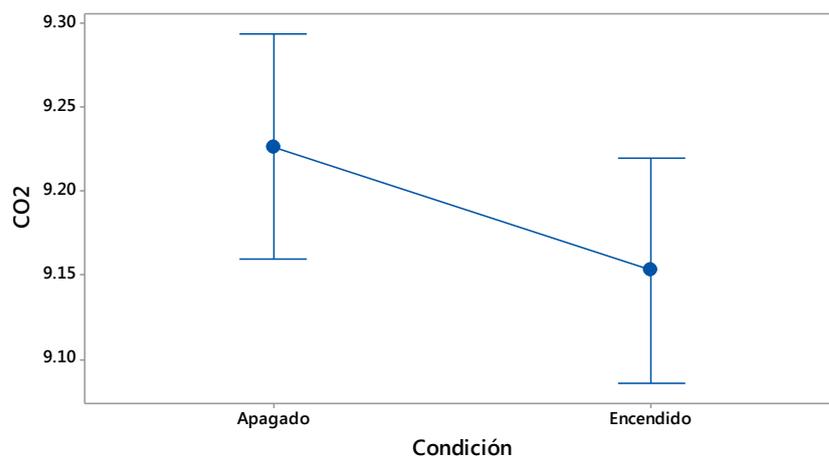


Figura 5. 30. Gráfica de intervalos de CO2 vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.31 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra en un rango de confianza entre 0.001 a 0.17 el cual incluye la línea cero no existiendo diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

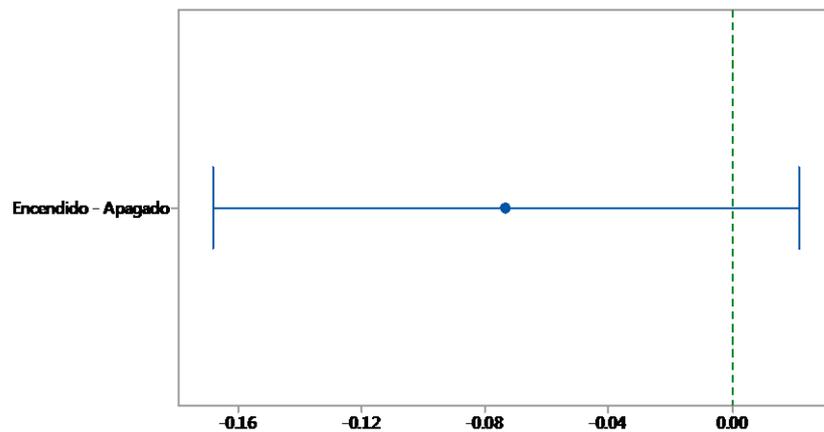


Figura 5. 31.Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.127 siendo este mayor a $\alpha=0.05$, se concluye que la diferencia que existe entre las poblaciones no es altamente significativa, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

5.3.3.3 ANÁLISIS DEL HIDROCARBUROS (HC) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.32, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que el primer punto y el último están alejados de la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

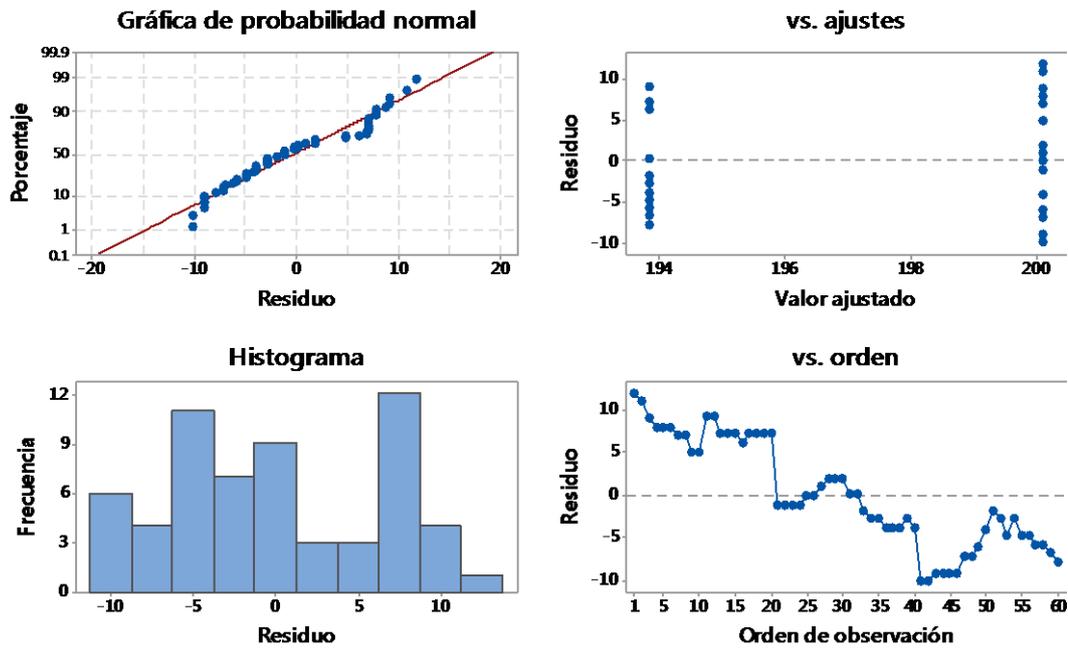


Figura 5. 32. Gráfica de residuos para HC.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.33 ya que la muestra en apagado y encendido se sobreponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 20.26 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

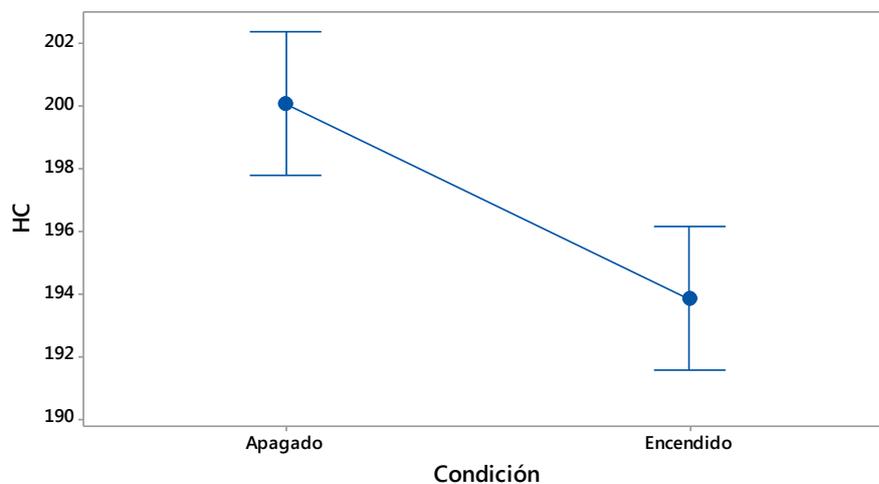


Figura 5. 33. Gráfica de intervalos de HC vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.34 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

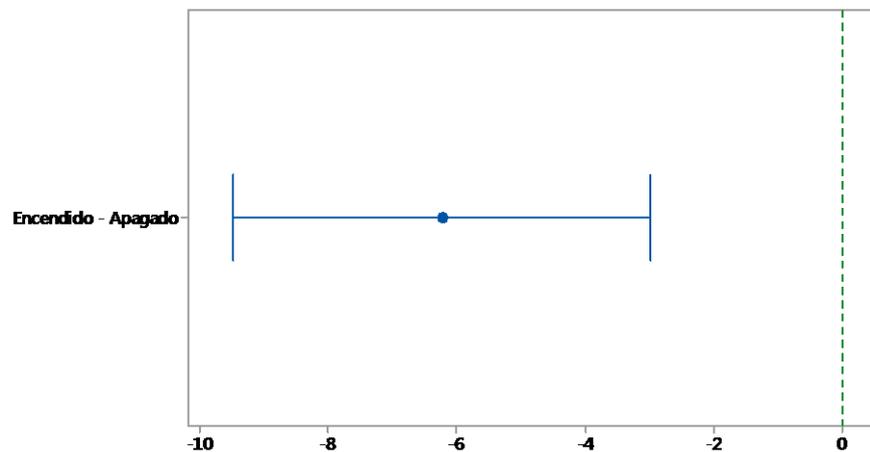


Figura 5. 34. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.00 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.3.4 ANÁLISIS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOX) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.35, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas e ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que los puntos se mantiene en un margen cercano a la recta en una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

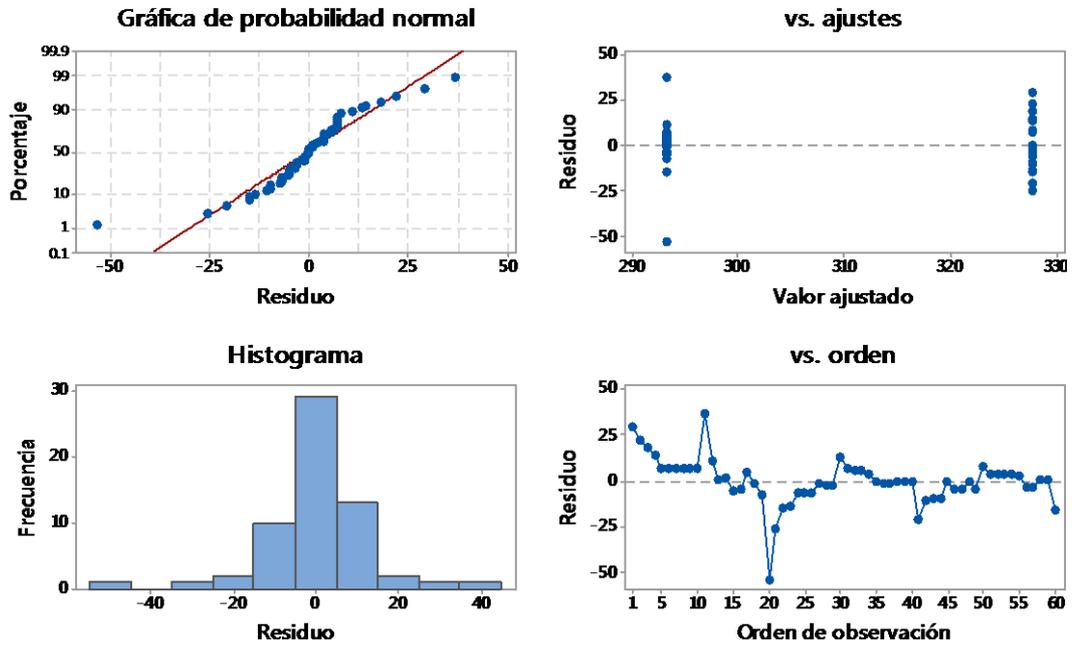


Figura 5. 35. Gráfica de residuos para NOx.

Se observa una diferencia significativa en la Figuras 5.36 ya que la muestra en apagado y encendido se sobrepone, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 85.67 el cual nos indica que la dispersión de datos es baja.

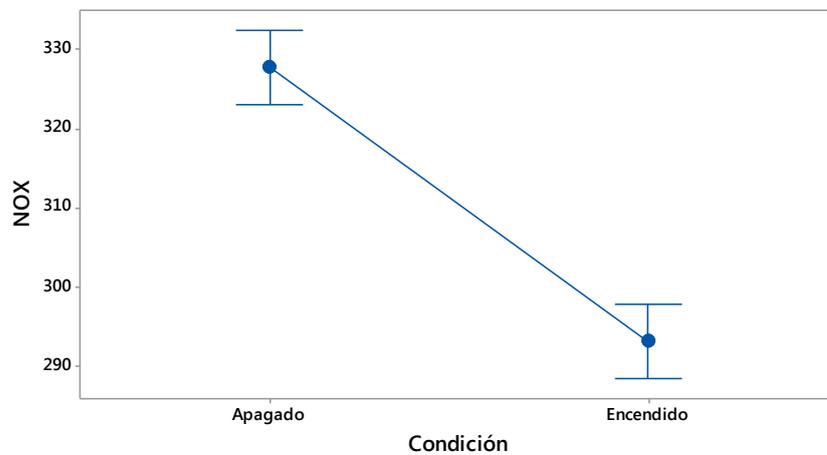


Figura 5. 36. Gráfica de intervalos de NOx vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.37 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

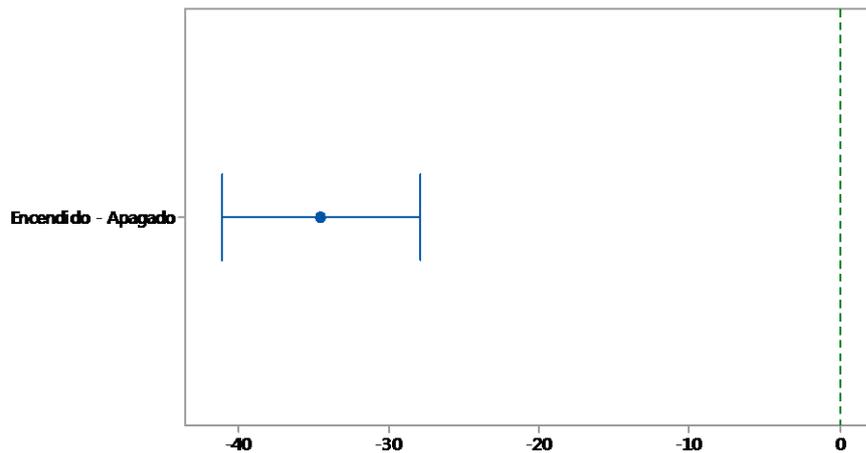


Figura 5. 37. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.00 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.4 VEHÍCULO RODEO

5.3.4.1 ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.38, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas e ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que el primer punto y el último están alejados de la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

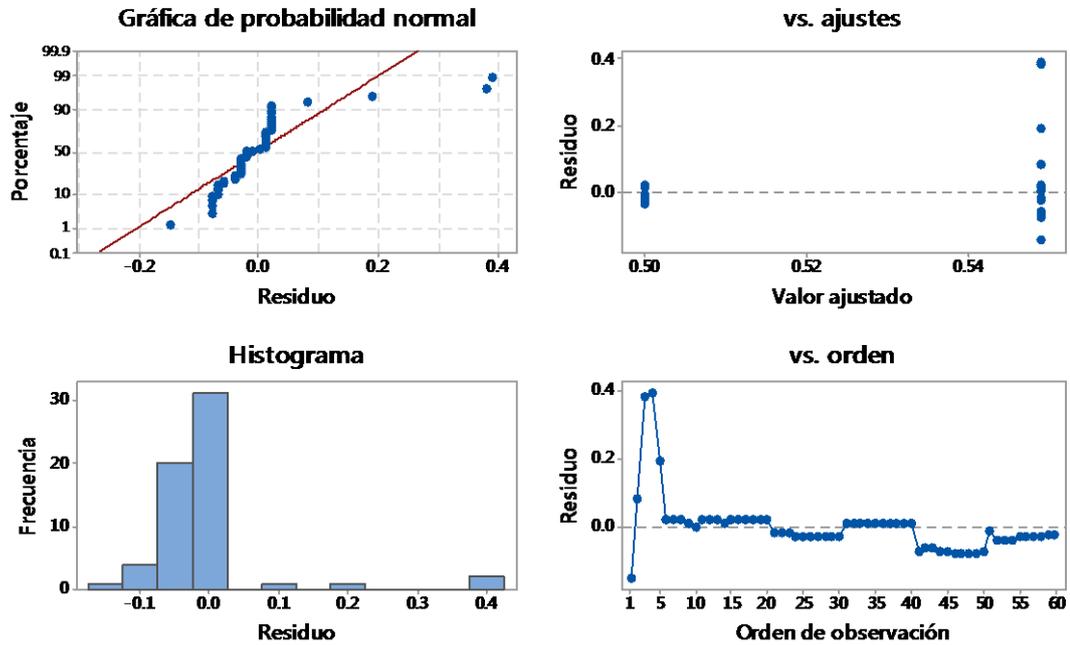


Figura 5. 38. Gráfica de residuos para CO.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.39 ya que la muestra en apagado y encendido se sobreponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 7.62 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

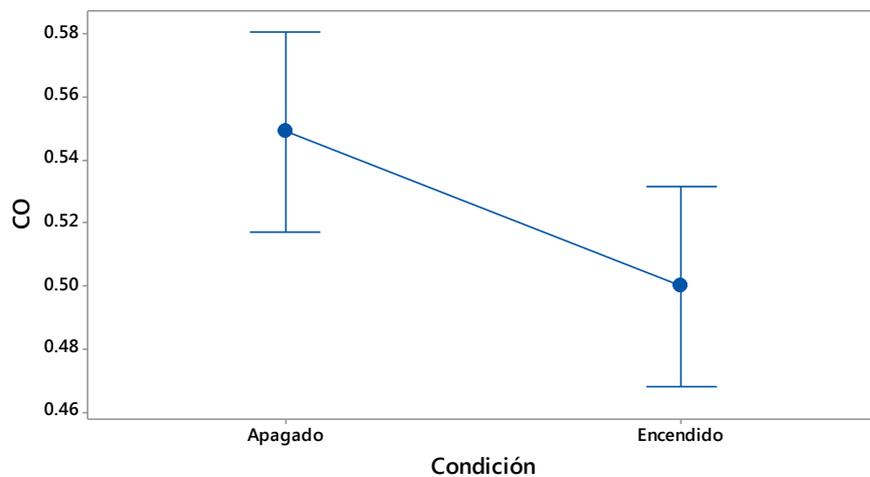


Figura 5. 39. Gráfica de intervalos de CO vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.40 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

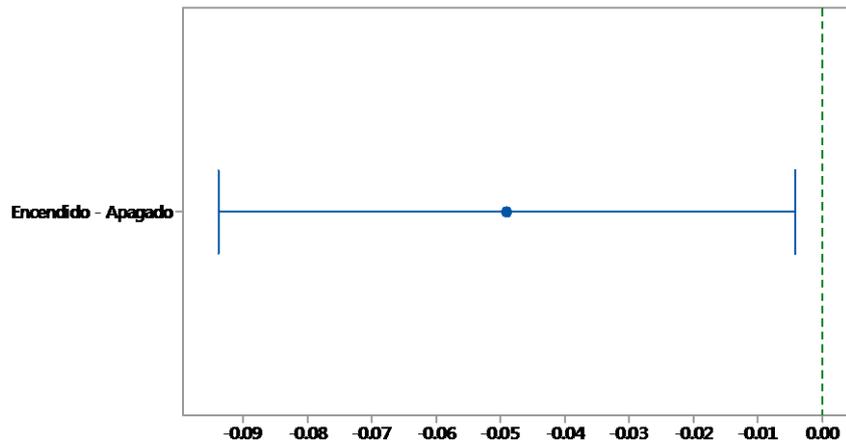


Figura 5. 40. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.033 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.4.2 ANÁLISIS DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.41, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que los puntos se mantiene en un margen cercano a la recta en una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

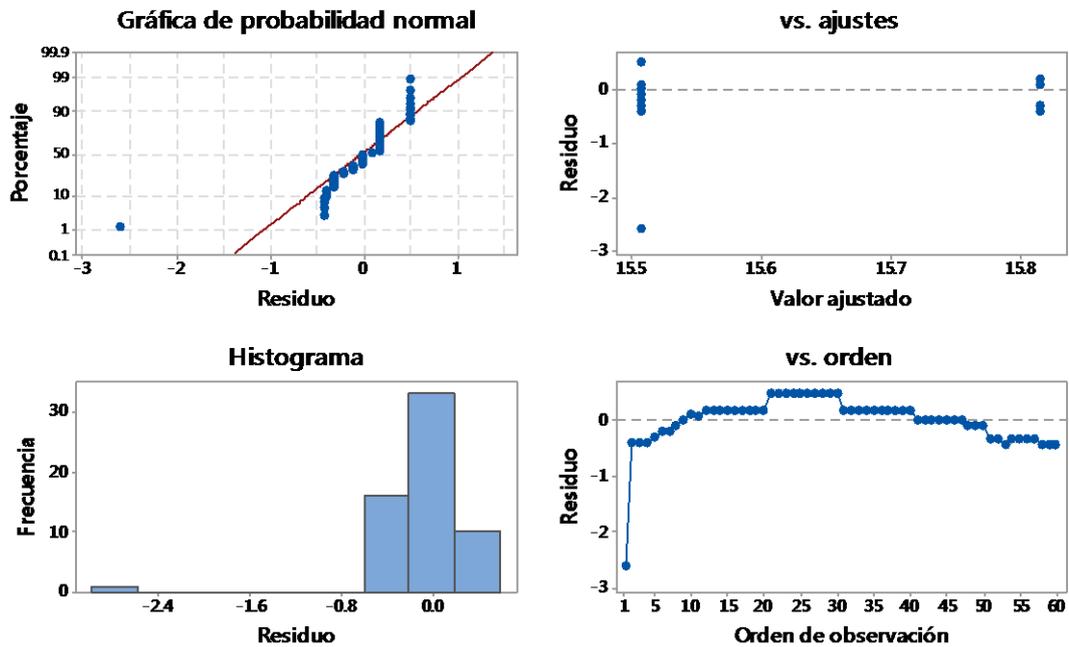


Figura 5. 41. Gráfica de residuos para co2.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.42 ya que la muestra en apagado y encendido se sobreponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 10.8 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

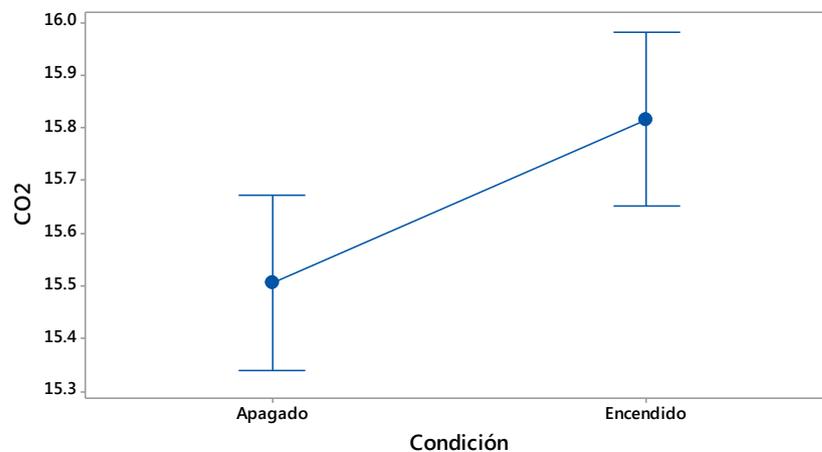


Figura 5. 42. Gráfica de intervalos de CO2 vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.43 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra en un rango de confianza entre 0.001 a 0.17 el cual incluye la línea cero existiendo diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

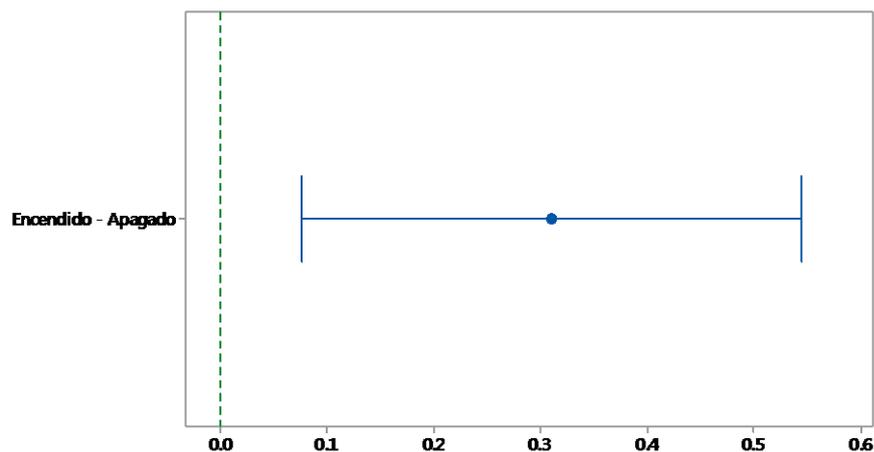


Figura 5. 43. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.01 siendo este mayor a $\alpha=0.05$, se concluye que la diferencia que existe entre las poblaciones no es altamente significativa, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

5.3.4.3 ANÁLISIS DE HDROCARBUROS (HC) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.44, nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas en ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que el primer punto y el último están alejados de la línea recta, seguido por una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

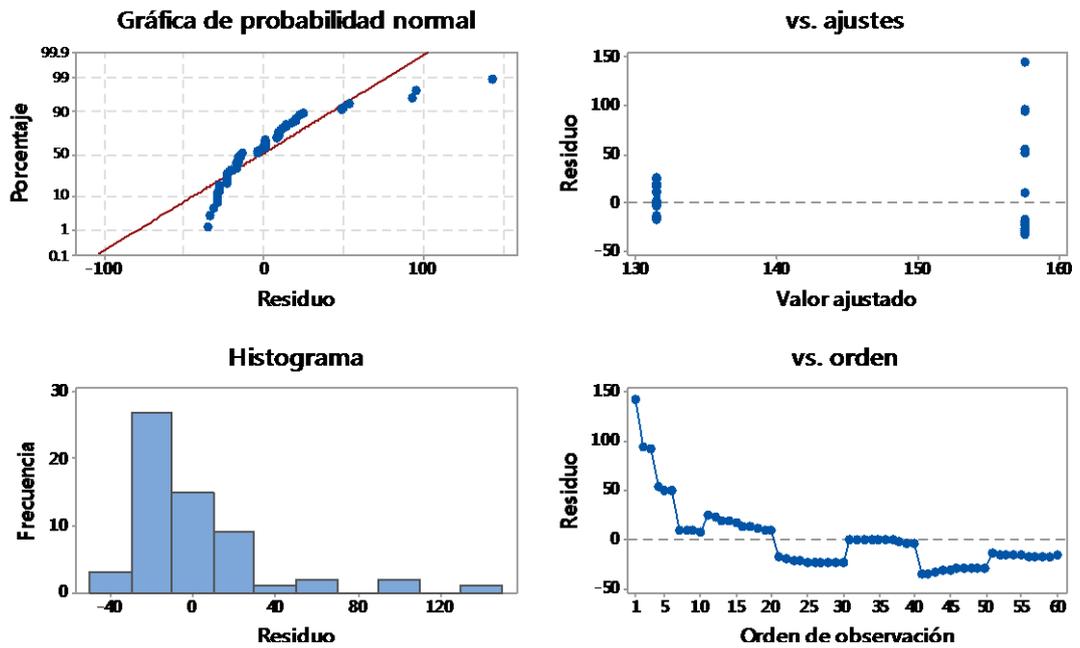


Figura 5. 44. Gráfica de residuos para HC.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.45 ya que la muestra en apagado y encendido se sobreponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 13.58 el cual nos indica que la dispersión de datos es alta.

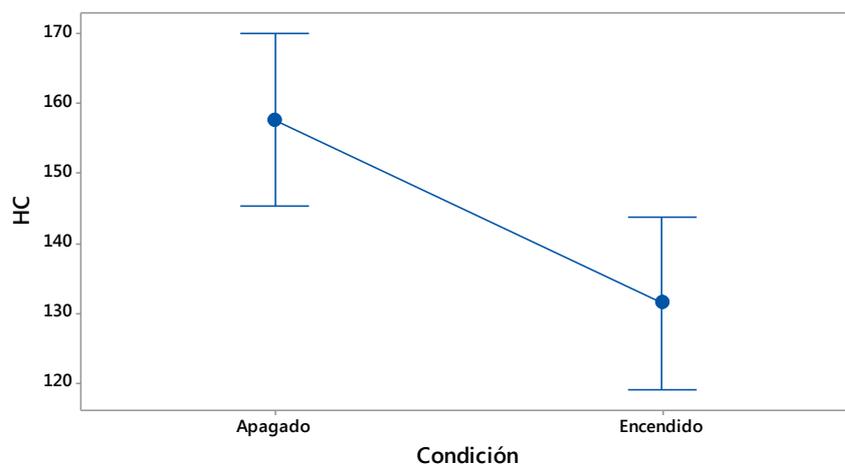


Figura 5. 45. Gráfica de intervalos de HC vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.46 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

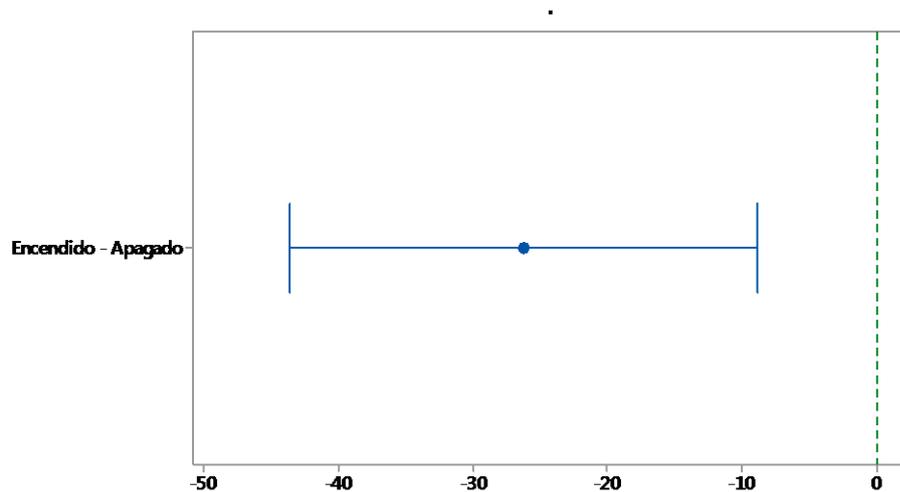


Figura 5. 46. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.004 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.4.4 ANÁLISIS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOX) VS CONDICIÓN

La gráfica de probabilidad normal Figura 5.47 nos permite identificar una distribución normal de las muestras adquiridas e ingresadas al software, observando la carencia de aglomeraciones y valores atípicos debido a que los puntos se mantienen en un margen cercano a la recta en una dispersión moderada, lo cual permite que los resultados no sean afectados.

Existe una varianza no constante en la gráfica de Residuos vs ajustes debido a que los datos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero.

Se puede observar una variación de datos en la gráfica de residuos vs orden debido a que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, es decir no existe una dependencia o correlación entre sí.

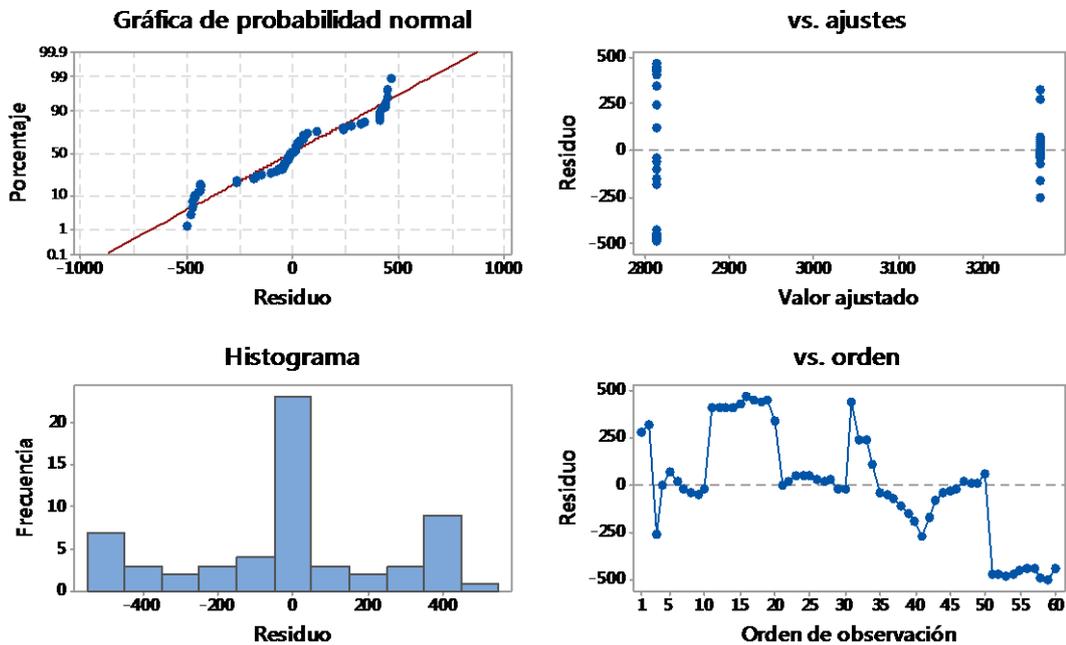


Figura 5. 47. Gráfica de residuos para NOx.

Se observa una diferencia significativa en la Figura 5.48 ya que la muestra en apagado y encendido se sobreponen, existiendo una diferencia estadística, obteniendo un valor del coeficiente de determinación R de 90 el cual nos indica que la dispersión de datos es baja.

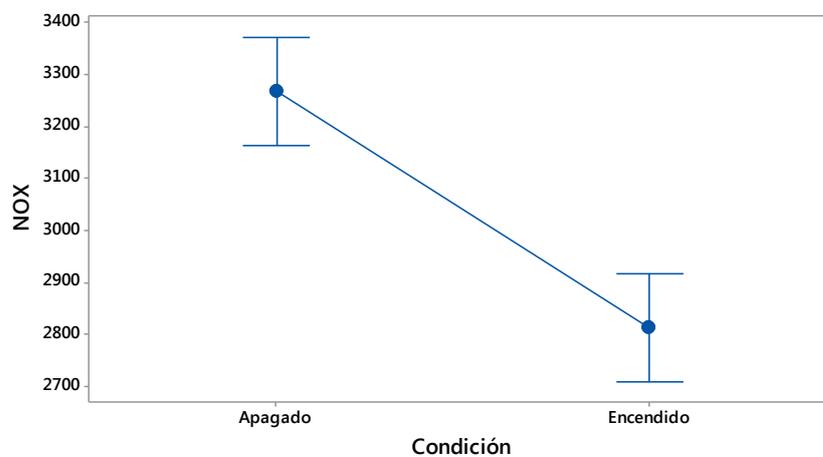


Figura 5. 48. Gráfica de intervalos de NOx vs condición.

El método de Tukey compara las medias para cada par de niveles de factor usando una tasa de error familiar, de manera que al estar más alejada la línea cero se obtendrá un resultado más eficaz.

El intervalo de confianza en la Figura 5.49 para la diferencia entre las medias de las muestras se encuentra lejos de la línea cero existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.

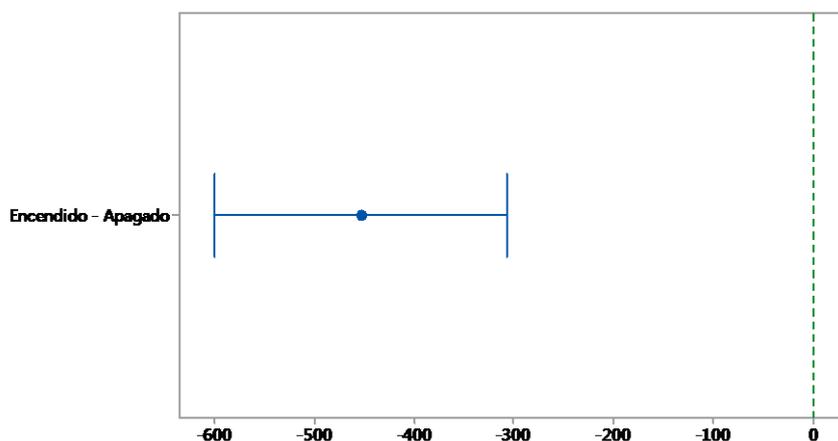


Figura 5. 49. Análisis de Tukey.

En el análisis de varianza se observa que el valor de *p value* es igual a 0.00 siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que el porcentaje de confianza de Tukey en 95% se cumple optimizando el ensayo con una diferencia altamente significativa entre poblaciones.

5.3.5 REDUCCIÓN DE ÓXIDOS NITROSOS

5.3.5.1 PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL NOX PARA KIA SPORTAGE L 2.0L 4X2 GSL

Tabla 5. 1. Análisis de disminución del NOx del primer vehículo.

| Condición | N | Media | Desv.Est. | IC de 95% |
|-----------|----|--------|-----------|------------------|
| Apagado | 40 | 332.27 | 43.76 | (320.95, 343.60) |
| Encendido | 40 | 284.23 | 25.94 | (272.90, 295.55) |

$$NO_x = \frac{284.23 - 332.27}{332.27} * 100$$

$$NO_x = -14.45 \%$$

5.3.5.2 PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL NOX PARA CHERVROLET RODEO V6 T/M A/C.

Tabla 5. 2. Análisis de disminución del NOx del segundo vehículo.

| Condición | N | Media | Desv.Est. | IC de 95% |
|-----------|----|--------|-----------|------------------|
| Apagado | 30 | 3268.1 | 114.5 | (3164.3, 3371.9) |
| Encendido | 30 | 2814.4 | 385.0 | (2710.6, 2918.2) |

$$NO_x = \frac{2814.4 - 3268.1}{3268.1} * 100$$

$$NO_x = -13.88 \%$$

5.3.5.3 PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL NOX PARA CHERVROLET FORSA 3P 1.3 L.

Tabla 5. 3. Análisis de disminución del NOx del tercer vehículo.

| Condición | N | Media | Desv.Est. | IC de 95% |
|-----------|----|--------|-----------|------------------|
| Apagado | 30 | 327.77 | 12.42 | (323.13, 332.41) |
| Encendido | 30 | 293.23 | 12.97 | (288.59, 297.87) |

$$NO_x = \frac{293.23 - 327.77}{327.77} * 100$$

$$NO_x = -10.53 \%$$

5.3.5.4 PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL NOX PARA CHERVROLET FORSA 1.0L T/M.

Tabla 5. 4. Análisis de disminución del NOx del cuarto vehículo.

| Condición | N | Media | Desv.Est. | IC de 95% |
|-----------|----|-------|-----------|----------------|
| Apagado | 20 | 876.4 | 201.6 | (809.3, 943.4) |
| Encendido | 20 | 743.3 | 56.9 | (676.2, 810.3) |

$$NO_x = \frac{743.3 - 876.4}{876.4} * 100$$

$$NO_x = -15.19 \%$$

5.3.6 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REDUCCIÓN DE ÓXIDOS NITROSOS PARA TODOS LOS VEHÍCULOS MEDIANTE REGRESIÓN EN LA VARIABLE LAMBDA Y CONDICIÓN, INFORME DE PREDICCIÓN Y OPTIMIZACIÓN.

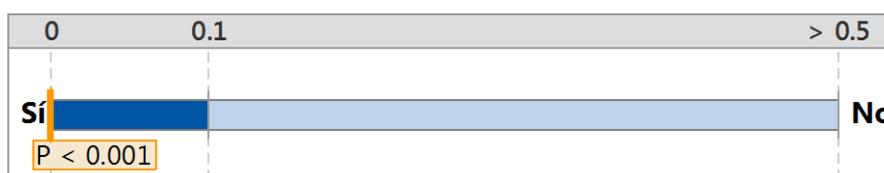


Figura 5. 50. Relación entre variables.

La relación de Y con las variables X del modelo, son estadísticamente significativa ($p < 0.10$), al verificar que el valor de p de 0.001 es menor a 0.10 y a $\alpha = 0.05$, establecemos que existe una relación, con un nivel de riesgo aceptable, acordando que las muestras analizadas son las correctas.

Los siguientes términos están en la ecuación ajustada que modela la relación entre Y y las variables X:

X1: LAMBDA

X2: Condición

X1^2, X1*X2

Si el modelo se ajusta adecuadamente a los datos, esta ecuación se puede utilizar para predecir NOX para valores específicos de las variables X, o para encontrar la configuración de las variables X que corresponda a un valor o rango de valores deseado para NOX.

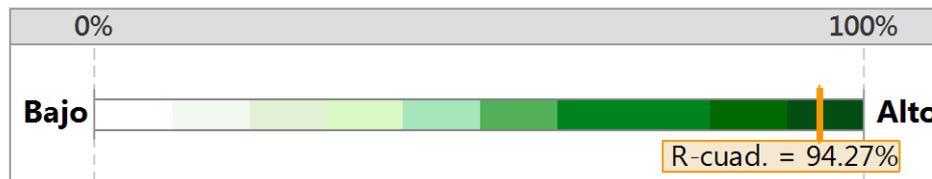


Figura 5. 51. Porcentaje de variación explicado por el modelo.

El R-cuadrado del modelo está en un valor del 94.27% como se observa en la Figura 5.50 lo que nos indica que el modelo de regresión se ajusta a los datos de una manera óptima, midiendo en qué proporción de la variación en la respuesta del NOx es explicada por las variables LAMBDA y Condición presentes en el modelo de regresión.

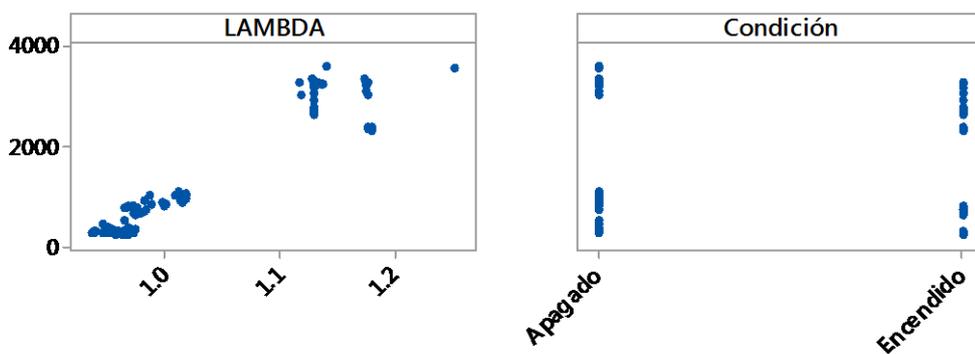


Figura 5. 52. NOx vs. las variables x.

La figura 5.51 nos indica que las dos variables presentes en X como es LAMBDA y Condición están en el modelo, ya que si no estuvieran el fondo de la Figura 5.51 sería gris.

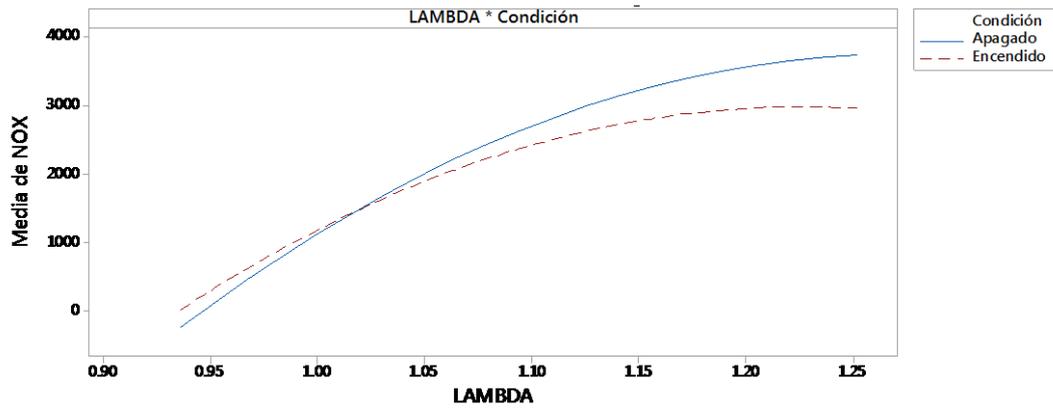


Figura 5. 53. Gráfica de interacción para NOx.

La figura 5.52 describe cómo cambia NOx si se altera la configuración de dos variables representadas en X.

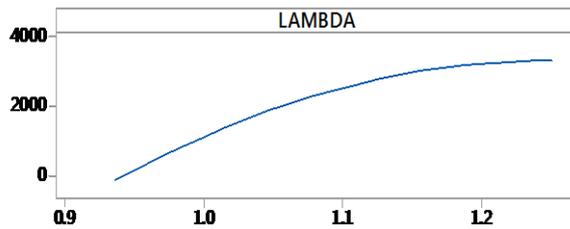


Figura 5. 54. Gráfica de efectos principales para NOx.

La configuración de las variables establecidas en X como lo es LAMBDA y Condición se alteran al cambiar el NOx, se puede observar en la Figura 5.53.

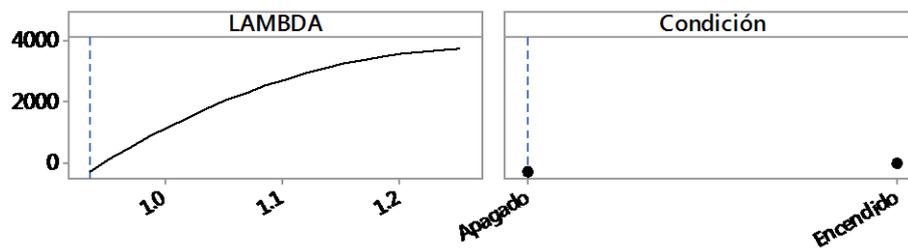


Figura 5. 55. Configuración y sensibilidad para la solución óptima.

Las líneas azules muestran la configuración óptima. Las líneas negras o los símbolos muestran el valor pronosticado de Y con diferentes configuraciones mostradas en la Figura 5.54.

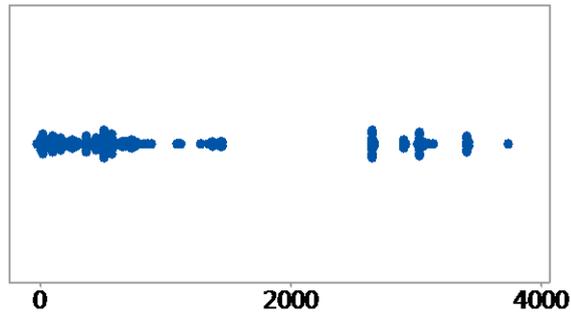


Figura 5. 56. Y pronosticada para todos los puntos de la muestra.

En la Figura 5.55 se puede observar una Y pronosticada que para nuestro modelo vendría a ser el NOx con referencia a optimizar su reducción, esto se logra mediante las variables X con el fin de minimizar los óxidos nitrosos.

En la Figura 5.56 se identifica los puntos de la muestra con los valores pronosticados de Y más cercanos a la solución óptima, el Informe de predicción y optimización muestra la solución óptima, que se calcula utilizando un algoritmo numérico.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El sistema de reducción de óxidos de nitrógenos se estructuró mediante circuitos integrados y amplificadores de voltaje para la generación de plasma no térmico en base al concepto de barrera dieléctrica con un voltaje de entrada de 12 voltios y salida de 6000 voltios con un consumo de 0.86 amperios de corriente.
- La onda de plasma generada por el circuito a partir de 12 voltios tiene una longitud de 1 cm entre electrodos siendo continua, está ubicada a la salida de los gases de escape, entre la sonda del analizador y el analizador de gases interactuando directamente con los gases para la descomposición de moléculas contaminantes en inofensivas.
- El ensayo de varianza (ANOVA) permitió identificar la disminución de los óxidos nitrosos al analizar estadísticamente las muestras tomadas para los cuatro vehículos, con un valor del coeficiente de determinación R-square en 80%, así como un p value igual a 0.00 para cada análisis entre óxidos de nitrógeno y la condición (encendido-apagado) siendo este menor a $\alpha=0.05$ lo cual nos permite conocer que estamos trabajando con la hipótesis alternativa y el porcentaje de confianza de Tukey en 95%, optimizando el ensayo con una diferencia estadística altamente significativa entre poblaciones.
- El sistema de reducción de emisiones contaminantes mediante barrera dieléctrica minimizó los óxidos de nitrógeno para cada vehículo con porcentajes del: 14.45% para el Kía Sportage, 13.88% para el Chevrolet Rodeo, 10.52% para el Chevrolet Forsa3P y 15.19% para el Chevrolet Forsa1.0L.
- El análisis del sistema de reducción de óxidos nitrosos para todos los vehículos mediante regresión múltiple con informe de predicción y optimización resultó óptimo, con un valor del coeficiente de determinación R-square en 94,27% así como un p value de 0.001 menor a $\alpha=0.05$, lo que nos indica que el modelo de regresión se ajusta a los datos de una manera óptima teniendo una eficiencia y una diferencia estadísticamente significativa.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se debe tener mucho cuidado con el manejo del circuito, ya que un contacto directo con el plasma podría dejar lesiones muy graves por lo que se está trabajando con un voltaje muy elevado.
- Los equipos de medición deben estar en perfecto estado, garantizando así la calidad en los datos tomados, además deben estar correctamente calibrados como es el caso del banco dinamométrico y el analizador de gases.
- Se debe profundizar más en el tema para que en un futuro se pueda construir un elemento, el mismo que se pueda incluir dentro del vehículo, ya que el prototipo generado está dentro de la manguera del analizador dándonos así resultados muy favorables.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 17, S. d. (s.f.). ¿Qué es ANOVA? Obtenido de <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/anova/basics/what-is-anova/>
- 2204:2002, N. I. (s.f.). ,GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LIMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA.
- A. R. Murtazin, G. J. (2003). “*Experimental investigation of SO₂ removal from air with dielectric barrir discharges*”, *Gas Discharge Technology, Aachen University, Aachen. Germany.*
- Alicante, U. d. (s.f.). Reducción de NO_x en motores diésel. En d. e. Vicerrectorado de investigación.
- Europasobreruedas. (s.f.). *Europasobreruedas*. Obtenido de <http://www.europasobreruedas.com/faq/emisiones-co2.html>
- Galindo, S. y. (2017). *Ventanas Lambda*.
- Juan Bustos, C. C. (s.f.). *OPTIMIZACIÓN DE LAS COTAS DE REGLAJE DE LA DSTRIBUCIÓN DE UN MOTOR TWINCAM*.
- K. Takaki, M. S. (2004). “*Effect of Electrode Shape in Dielectric Barrier Discharge Plasma Reactor for NO_x Removal*”, *IEEE Transactions on plasma science*.
- Korzekwa, L. R. (1999). *J. Adv. Oxid. Technol.*, 4, 247-264.
- LM. Dong, S. I. (s.f.). “*Plasma chemical reaction for nitric oxide and sulfur dioxide removal in corona discharge reactor*”, *Annueal Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*. . University of Science and Technology, Harbin, .
- mecánica, A. a. (s.f.). *Convertidor catalítico*. Obtenido de www.aficionadosalamecanica.com/sistema_Convertidorcatalítico.htm.
- mecánica, A. a. (s.f.). *Sistema EGR*. Obtenido de www.aficionadosalamecanica.com/sistema_egr.htm.
- mecánica, A. a. (s.f.). *Sistema OBD*. Obtenido de www.aficionadosalamecanica.com/sistema_OBD.htm.
- Morrow, J. J. (1994). “*Theory of electric corona including the role of plasma chemistry*”, *Pure Appl. Chem.*, 66, p.1287–1294.
- Nestor Rivera, J. C. (2015). *Tesis*.
- Panadero, J. (s.f.). *Análisis de normativas de emisiones por países y continentes*. Obtenido de <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/07/15/analisis-de-normativas-de-emisiones-por-paises-y-continentes/>
- Pietsch, G. J. (2001). “*Peculiarities of Dielectric Barrier Discharges*”, *Contrib. Plasma Phys.*, 41, p.620-628.
- Saavedra, H. M. (2005). *Modelación y experimentación de la remoción del SO₂, mediante un plasma fuera de equilibrio térmico*. México .

Schultheis, B. M. (1993). *Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part A: Overview, Fundamentals and Supporting Technologies, Series Nato, Springer-Verlag, . Berlin.*

Sostenible, F. V. (2015). *Vida Sostenible*. Obtenido de <http://www.vidasostenible.org/informes/historia-de-las-tecnologias-de-reduccion-de-emisiones-contaminantes-en-vehiculos/>

Y. Kim, W. K. (2004). " *Experimental and numerical analysis of Streamers in pulsed corona and dielectric Barrier Discharges*", *IEEE Transactions on Plasma Science*.

8 ANEXOS



Figura 8. 1. Ubicación del primer vehículo de pruebas en el banco dinamométrico.



Figura 8. 2. Ubicación del segundo vehículo de pruebas en el banco dinamométrico.



Figura 8. 3. Ubicación del tercer vehículo de pruebas en el banco dinamométrico.



Figura 8. 4. Ubicación del cuarto vehículo de pruebas en el banco dinamométrico.

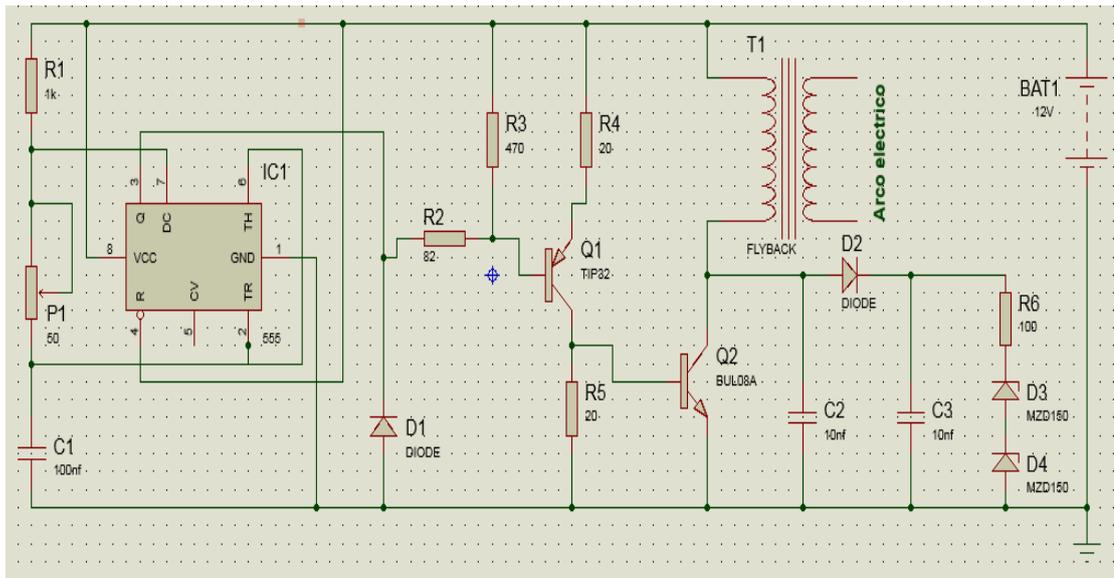


Figura 8. 5. Simulación del circuito generador de plasma en proteus.

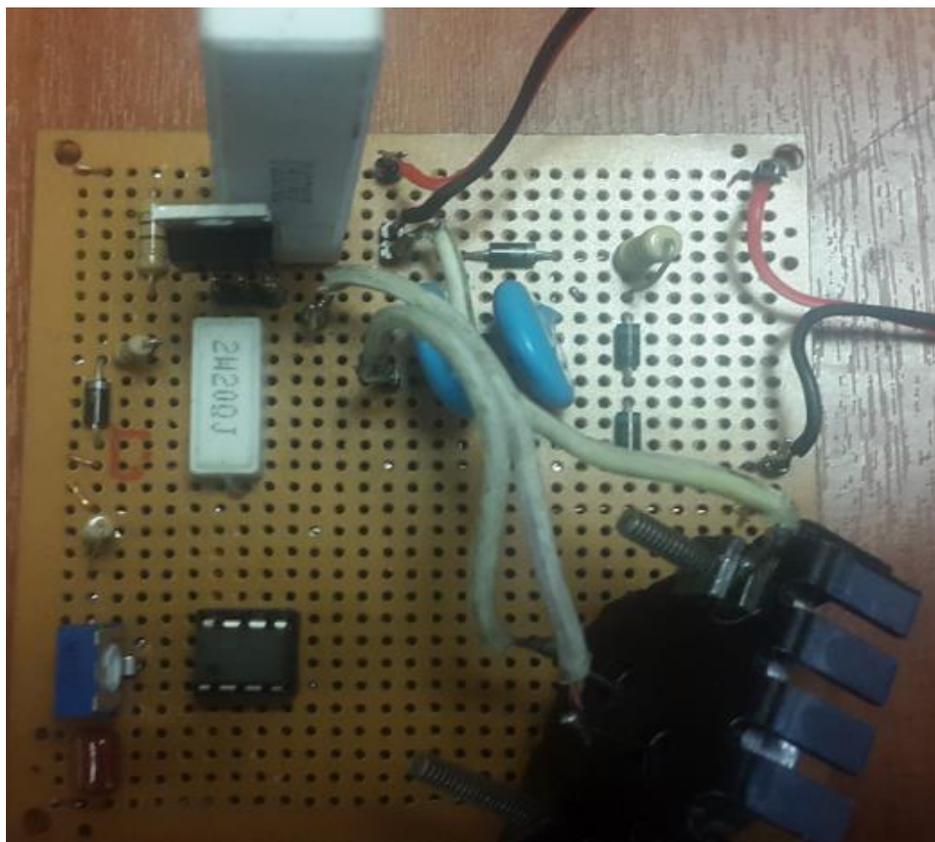


Figura 8. 6. Circuito terminado

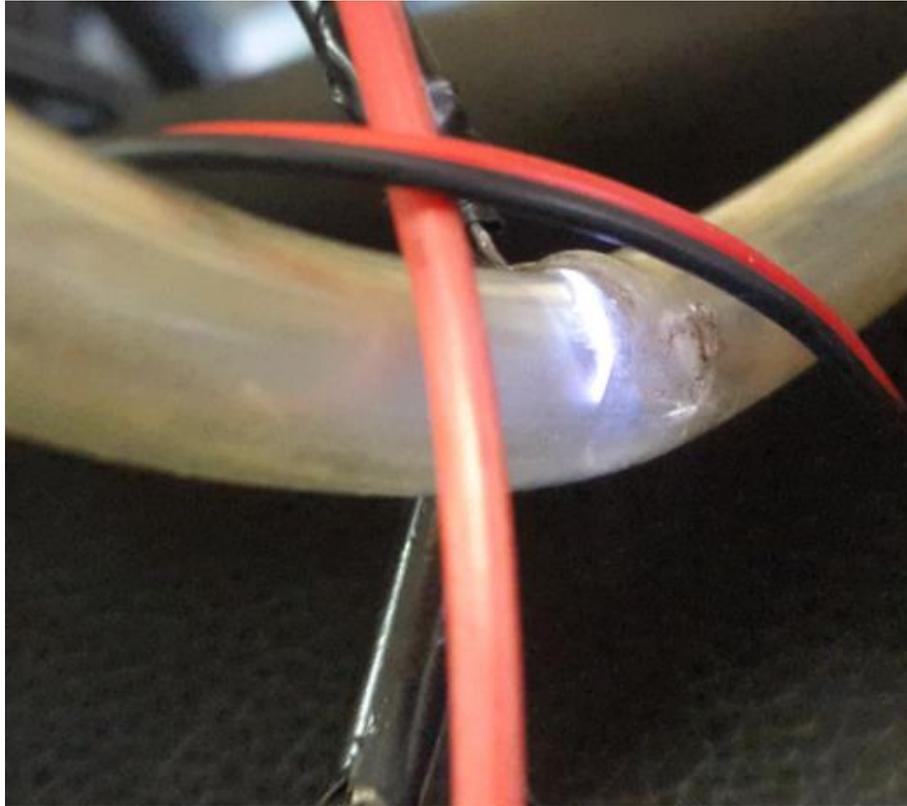


Figura 8. 7. Generación del plasma.



Figura 8. 8. Adquisición de datos

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|-----------|------|------|-----|------|--------|------|
| 1 | condición | CO | CO2 | HC | O2 | LAMBDA | NOX |
| 2 | Apagado | 0.4 | 12.9 | 301 | 5.49 | 1.252 | 3542 |
| 3 | Apagado | 0.63 | 15.1 | 253 | 3.9 | 1.141 | 3590 |
| 4 | Apagado | 0.93 | 15.1 | 251 | 3.65 | 1.119 | 3005 |
| 5 | Apagado | 0.94 | 15.1 | 211 | 3.57 | 1.117 | 3271 |
| 6 | Apagado | 0.74 | 15.2 | 208 | 3.67 | 1.128 | 3338 |
| 7 | Apagado | 0.57 | 15.3 | 207 | 3.67 | 1.133 | 3283 |
| 8 | Apagado | 0.57 | 15.3 | 167 | 3.67 | 1.135 | 3248 |
| 9 | Apagado | 0.57 | 15.4 | 167 | 3.73 | 1.137 | 3231 |
| 10 | Apagado | 0.56 | 15.5 | 167 | 3.73 | 1.136 | 3218 |
| 11 | Apagado | 0.55 | 15.6 | 166 | 3.66 | 1.133 | 3246 |
| 12 | Encendido | 0.52 | 15.9 | 156 | 3.65 | 1.131 | 3223 |
| 13 | Encendido | 0.52 | 16 | 154 | 3.64 | 1.13 | 3223 |
| 14 | Encendido | 0.52 | 16 | 151 | 3.64 | 1.131 | 3223 |
| 15 | Encendido | 0.51 | 16 | 151 | 3.64 | 1.131 | 3223 |
| 16 | Encendido | 0.52 | 16 | 149 | 3.64 | 1.13 | 3237 |
| 17 | Encendido | 0.52 | 16 | 146 | 3.63 | 1.13 | 3283 |
| 18 | Encendido | 0.52 | 16 | 146 | 3.63 | 1.13 | 3260 |
| 19 | Encendido | 0.52 | 16 | 143 | 3.62 | 1.13 | 3253 |
| 20 | Encendido | 0.52 | 16 | 142 | 3.62 | 1.13 | 3259 |
| 21 | Encendido | 0.52 | 16 | 141 | 3.61 | 1.129 | 3156 |
| 22 | Apagado | 0.53 | 16 | 140 | 3.61 | 1.129 | 3268 |
| 23 | Apagado | 0.53 | 16 | 138 | 3.6 | 1.129 | 3289 |
| 24 | Apagado | 0.53 | 16 | 137 | 3.6 | 1.129 | 3317 |

Figura 8. 9. Algunas muestras en condición introducidas en Excel.

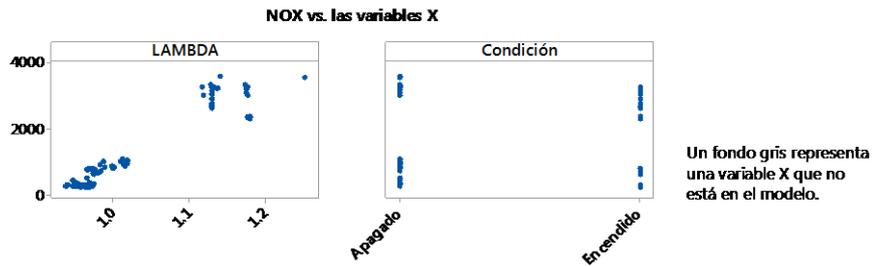
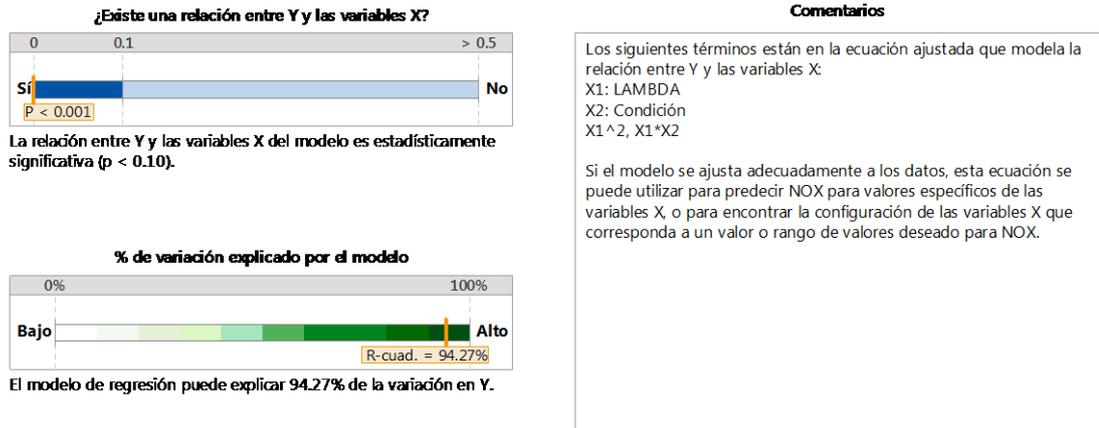


Figura 8. 10. Regresión múltiple para NOx.

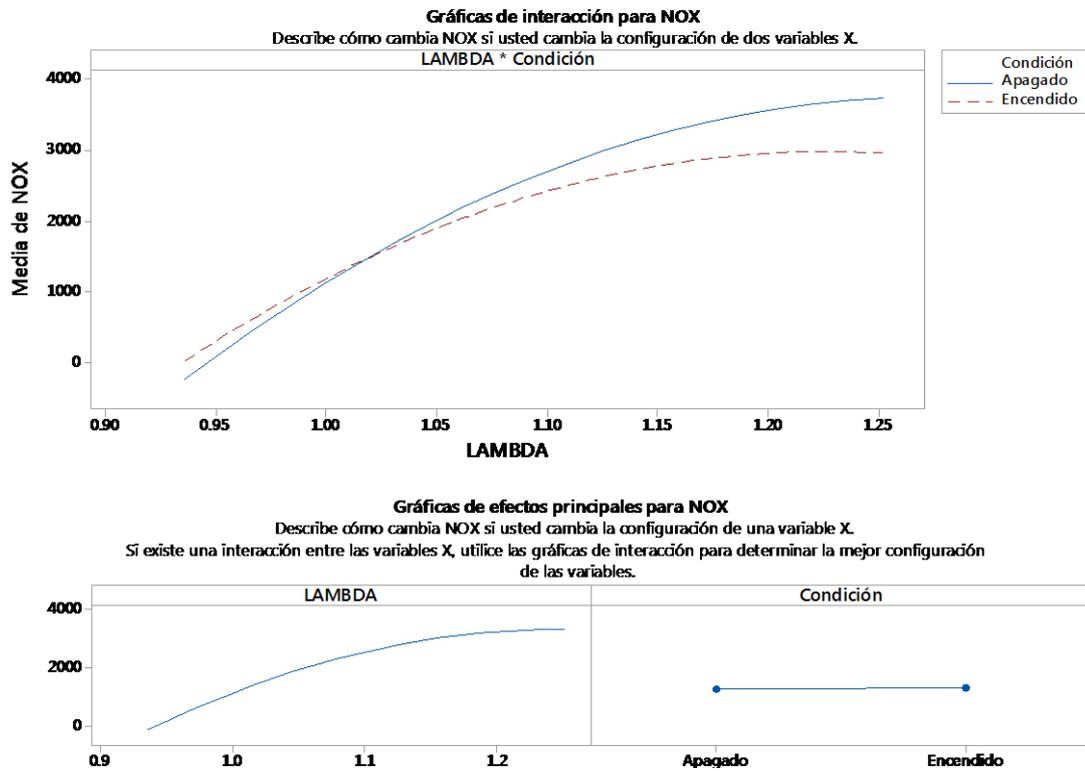


Figura 8. 11. Regresión múltiple para NOx.

X1: LAMBDA X2: Condición

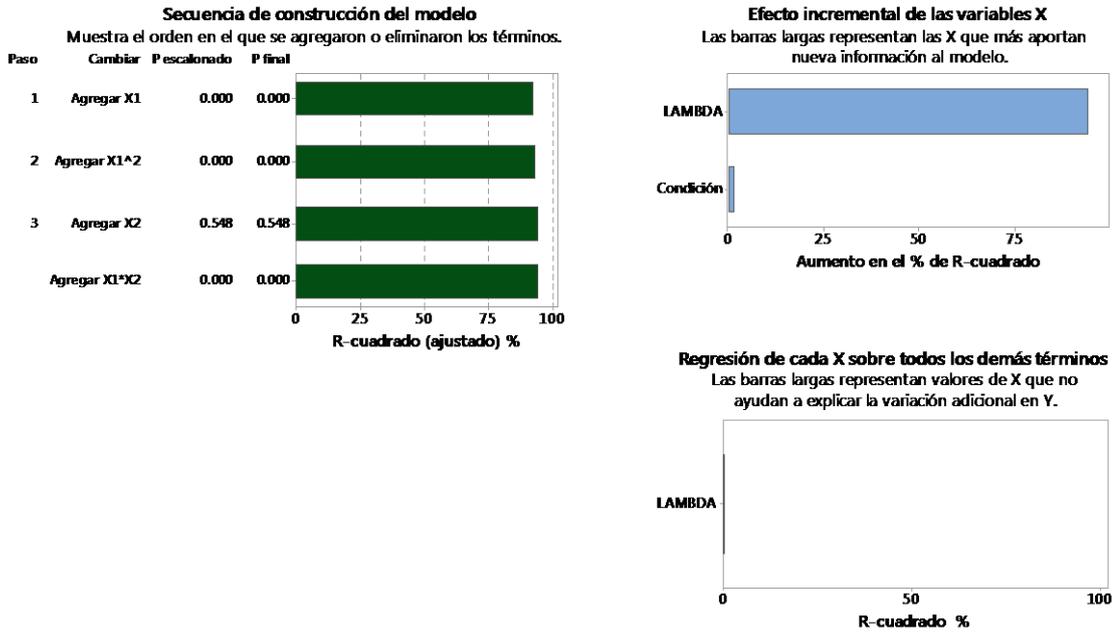


Figura 8. 12. Regresión múltiple para NOx.

Meta: minimizar NOX

Solución: configuración óptima

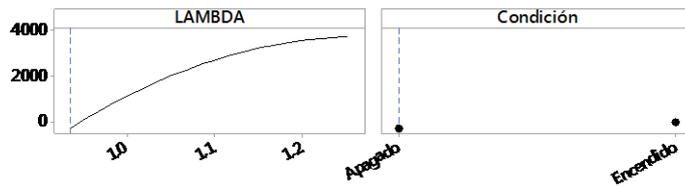
Y pronosticada
IP de 95%

-255.877
{ -819.15, 307.40 }

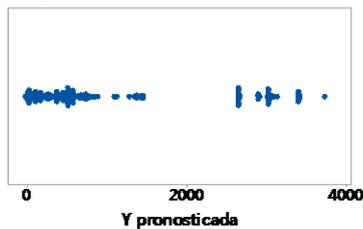
X1: LAMBDA
X2: Condición

0.936
Apagado

Configuración y sensibilidad para la solución óptima
Las líneas azules muestran la configuración óptima. Las líneas negras o los símbolos muestran el valor pronosticado de Y con diferentes configuraciones.



pronosticada para todos los puntos de la muestra
Utilice el destacado para ver los valores de X para cualquier valor pronosticado de Y.



Las cinco principales soluciones alternativas
Puntos de la muestra con los valores pronosticados de Y más cercanos a la solución óptima. Evalúe estos puntos y la solución óptima para determinar si alguno es adecuado.

| X1 | X2 | Y pronosticada |
|-------|-----------|----------------|
| 0.946 | Apagado | -21.5598 |
| 0.947 | Apagado | 1.48208 |
| 0.936 | Encendido | 7.45097 |
| 0.948 | Apagado | 24.4531 |
| 0.937 | Encendido | 27.9112 |

Figura 8. 13. Regresión múltiple para NOx.