

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO MEDIANTE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE
FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET AVEO 1.5 L
CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR”**

AUTORES:

DIEGO SERRANO HINOSTROZA
JOSÉ DAVID CURILLO ÁLVAREZ

TUTOR:

ING. JORGE ESTEBAN FAJARDO MERCHÁN, MSc.

CUENCA - ECUADOR

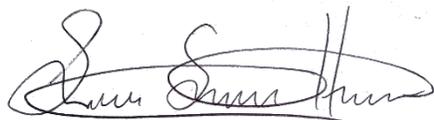
2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Diego Serrano Hinostrza con documento de identificación N° 1722598826 y José David Curillo Álvarez con documento de identificación N° 0106445216, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS COMPARATIVO MEDIANTE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET AVEO 1.5 L CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, julio de 2021.



Diego Serrano Hinostrza
C.I. 1722598826



José David Curillo Álvarez
C.I. 0106445216

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS COMPARATIVO MEDIANTE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET AVEO 1.5 L CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR”**, realizado por Diego Serrano Hinostroza y José David Álvarez Curillo, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio de 2021.

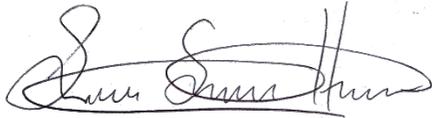
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jorge Esteban Fajardo Merchán', is written over a horizontal line.

Ing. Jorge Esteban Fajardo Merchán, MSc
C.I. 0103496386

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Diego Serrano Hinostraza con documento de identificación N° 1722598826 y José David Curillo Álvarez con documento de identificación N° 0106445216, autores del trabajo de titulación: “**ANÁLISIS COMPARATIVO MEDIANTE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO CHEVROLET AVEO 1.5 L CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR**”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio de 2021.



Diego Serrano Hinostraza
C.I. 1722598826



José David Curillo Álvarez
C.I. 0106445216

DEDICATORIA

Esta meta más que eh logrado culminar, ha sido gracias a la constancia, perseverancia y sacrificio de mi madre Ana Tarcila Hinostroza Alvarado y de mi padre Alejandro Octavio Serrano, pues ellos siempre supieron guiarme por el camino del bien, luchando día a día por verme triunfar, por levantarme las veces que supe caer, por perdonar mis erros, por darme su Bendición en cada despertar, por enseñarme valores que han forjado mi carácter. Quiero dedicarles este trabajo de titulación con mucho amor y espero poder hacerlos sentir orgullosos, de poder verlos sonreír y de que nunca olviden que son el motor más grande que tengo en mi vida, que son la razón para yo poder seguir.

A mi hija Antonella Anahí, a quien quiero ver en un futuro triunfar, siendo una mujer llena de muchos principios y virtudes que me esforzare por inculcar; quiero que nunca olvide el amor que siento por ella y que ha sido también una de las razones por las que no me eh rendido jamás, espero hija mi algún día te sientas orgullosa de tu padre y me veas como un ejemplo a seguir.

Diego Serrano Hinostroza

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi familia en especial a mi madre, Anita Lucia Álvarez. Gracias por todo su apoyo, cariño, entendimiento, y paciencia. Este logro es un fruto de su esfuerzo y trabajo duro. Gracias por incentivar me a seguir adelante con mis estudios incluso cuando ya me quería dar por vencido. le agradezco que me haya criado y guiado con cariño y mano dura. A mis hermanos gracias por entenderme y apoyarme en todo momento.

José David Curillo Álvarez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios y a la Santísima Virgen María por permitirme cumplir una meta más en mi vida, además quiero agradecerles por haberme dado la Bendición de poder tener a mis padres con vida y salud, pues ellos han sido el motor más grande en mi vida para poder cumplir mis metas y sueños, quiero agradecerle a mi madre Ana Tarcila Hinostroza Alvarado y a mi padre Alejandro Octavio Serrano, por todo el amor incondicional que me han brindado, por los valores y principios que en mi han infundado, por el sacrificio que día a día hicieron por hoy verme convertido en el profesional que un día soñé ser, mi mayor gratitud con ellos pues a más de ser mis padres, fueron mis amigos, mi héroe y mi heroína, mi fortaleza y mi pilar para no caer; me faltan palabras para poder decir todo lo que agradezco y todo el amor que por ellos siento, por eso con toda la sinceridad del mundo quiero decirles GRACIAS PADRES, LES AMO CON MI VIDA ENTERA, gracias por cuidar de mi desde que fui un niño ahora es mi turno de cuidar de ustedes.

También quiero a mi hija Antonella Anahí, a mi hermano Andrés, a mi cuñada Hilda y a mi sobrino Julián, por todo su apoyo y cariño que me supieron brindar.

Y por último quiero agradecer a los docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz por los conocimientos que nos impartieron, en especial al Ingeniero Ángel Paucar, Ing. Néstor Rivera, Ing. Jorge Fajardo y a la Ing. Karina Bermeo, los mismos que han sido base fundamental para el aprendizaje durante este largo periodo, gracias a su apoyo y dedicación para la enseñanza.

Diego Serrano Hinostroza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar mi camino día a día y darme la oportunidad de superarme, ser el apoyo en momentos de mucha dificultad. Un profundo agradecimiento a mi madre quien ha estado incondicionalmente en el trayecto de mi vida guiándome, apoyándome en todo momento, también agradecer a mis hermanos por creer en mí y ser la ayuda para conseguir mis objetivos.

Agradezco al a carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, especialmente al Ingeniero Néstor Rivera, al Ingeniero Jorge Fajardo y a la Ingeniería Karina Bermeo.

José David Curillo Álvarez

RESUMEN

El presente proyecto se realizó con el objetivo de determinar los efectos que causa la implementación de un turbocompresor en un vehículo Aveo family 1.5 L tomando en cuenta parámetros como el consumo de combustible, emisiones contaminantes, torque y potencia. Para lo cual se realizará el estudio del arte acerca de tipos, funcionamiento, ventajas y desventajas de los turbocompresores mediante búsqueda bibliográfica.

El primer paso a realizar consiste en colocar a punto el motor, mediante un ABC de este lo cual garantizara que se encuentre en óptimas condiciones, con el fin de que el momento de utilizar los equipos de medición tal como banco dinamométrico y analizador de gases, la obtención de parámetros actuales del motor sea más exacto.

El siguiente procedimiento abarca el estudio del motor para el soporte matemático que nos permita la correcta selección del turbocompresor basándonos en los mapas de turbina y compresor, con el fin de una correcta compra de este. Posterior se fabricará de un sistema de escape de acorde a lo que requiere el turbocompresor y por ende se modificará el sistema de admisión, teniendo en cuenta la adaptación del intercooler, válvula blow off, mangueras y tubos.

Se realizará la calibración del turbocompresor de manera estática mediante su válvula Wastegate para así tener la presión adecuada que requiere el motor y efectuar las pruebas de funcionamiento con las cuales mediante el analizador de gases y el banco dinamométrico se realizarán los muestreos que ayuden a obtener información de los nuevos parámetros (consumo de combustible, emisiones contaminantes, torque y potencia) del motor con la adaptación del turbocompresor.

ABSTRACT

This project was carried out with the objective of determining the effects caused by the implementation of a turbocharger in a Aveo family 1.5 L vehicle taking into account parameters such as power, torque, fuel consumption and emissions of polluting gases. For this purpose, the study of the art about types, functioning, advantages and disadvantages of turbochargers will be carried out through the bibliographic search.

The engine shall be tuned by means of an ABC of the engine in order to ensure that it is in optimum condition, in order to obtain current engine parameters such as fuel consumption, polluting emissions, torque and power, this by using equipment such as dynamometer and gas analyzer.

The study of the engine for the mathematical support that allows us the correct selection of the turbocharger based on the maps of turbine and compressor will be carried out, then the purchase of the turbo will be carried out to carry out the manufacture of an exhaust system according to what is required, later the same way the system of admission will be modified and finally the Intercooler will be mounted, blow off valve, hoses and tubes.

Calibration of the turbocharger shall be performed statically by means of its wastegate valve in order to have the appropriate turbo pressure required by the engine, the subsequent performance tests shall be carried out in which the gas analyzer and the chassis dynamometer shall be used to carry out the sampling in order to obtain solid information on the new parameters of the modified engine, such as polluting emissions, fuel consumption, torque and power with the implementation of the turbocharger.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XX
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XXII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XXIII
INTRODUCCION.....	XXV
PROBLEMA.....	XXVI
OBJETIVOS.....	XXVIII
Objetivo General	XXVIII
Objetivos Específicos	XXVIII
1. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	1
1.1 Turbocompresor.....	1
1.2 El turbocompresor y la contaminación.....	1
1.3 Partes Del Turbocompresor	2
1.4 Componentes Del Turbocompresor.....	2
1.5 Tipos De Turbocompresores	3
1.5.1 Turbocompresor De Geometría Fija.	4
1.6 Ciclos De Funcionamiento Del Turbocompresor.....	5

1.6.1	Funcionamiento A Ralentí O Carga Parcial Inferior.....	5
1.6.2	Funcionamiento A Carga Parcial Media.	5
1.6.3	Funcionamiento A Carga Parcial Superior Y Plena Carga.	6
1.7	Ventajas Del Turbocompresor.....	6
1.7.1	Menor Consumo De Combustible.....	6
1.7.2	Menos Ruido.	6
1.7.3	Desempeño En Altura.	7
1.7.4	Mucho Más Ligero.....	7
1.7.5	Menos Contaminación.....	7
1.8	Desventajas.....	7
1.9	El Turbo En Motores Gasolina.....	8
1.9.1	Atmosféricos De Gasolina.	8
1.9.2	Turbocompresores De Gasolina.....	8
1.9.3	Diferencias Entre Un Motor De Gasolina Con Turbo Y Un Motor A Gasolina Atmosférico.	9
1.10	La Sobrealimentación	9
1.11	Regulación De Presión Del Turbo.....	9
1.11.1	Válvula Wastegate.....	10
1.11.2	Válvula blow off.....	10
1.11.3	Intercooler.....	10

2. PARÁMETROS ACTUALES DEL MOTOR	12
2.1 Datos Del Vehículo	12
2.2 Estado de funcionamiento del motor	13
2.2.1 Medición De La Compresión Del Motor	14
2.3 Equipos Para La Obtención De Parámetros	15
2.3.1 Banco Dinamométrico.....	15
2.3.2 Analizador De Gases	16
2.4 Protocolos De Medición	16
2.5 Medición De Parámetros Previo A La Implementación Del Turbocompresor	16
3. SELECCIÓN Y ADAPTACIÓN DEL TURBOCOMPRESOR PARA EL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO FAMILY	20
3.1 Consideraciones A Tener En Cuenta.....	20
3.1.1 Importancia del A/R.....	20
3.1.2 Importancia de El Trim	21
3.2 Cálculos Para La Selección Del Turbocompresor	22
3.2.1 Potencia Efectiva.....	22
3.2.2 Rendimiento Mecánico	23
3.2.3 Rendimiento térmico.....	23
3.2.4 Rendimiento Del Diagrama.....	24
3.2.5 Rendimiento Útil.....	24

3.2.6	Consumo Específico De Combustible.....	25
3.2.7	Flujo De Aire Necesario.....	25
3.2.8	Presión En El Múltiple De Admisión Según La Potencia.....	26
3.2.9	Relación De Presión	27
3.3	Mapa del turbocompresor.....	28
3.4	Turbocompresor Seleccionado	29
3.5	Adaptación Del Turbocompresor	30
4.	DISEÑO DE EXPERIMENTO	38
4.1	Experimento.....	39
4.1.1	Unidad experimental	39
4.1.2	VARIABLES DE ESTUDIO.....	40
4.1.3	VARIABLES DE BLOQUEO.....	40
4.1.4	VARIABLES DE RUIDO	41
4.1.5	VARIABLES DE RESPUESTA.....	41
4.2	Desarrollo Del Experimento.....	42
4.2.1	Régimen de Giro	42
4.2.2	Intercooler	43
4.2.3	Presión Del Turbo	45
4.2.4	Combustible	46
4.2.5	Tratamientos.....	47

4.3	Toma de datos.....	49
4.4	Análisis.....	51
4.4.1	Monóxido de carbono.....	51
4.4.2	Dióxido de carbono.....	56
4.4.3	Hidrocarburos no combustionados.....	60
4.4.4	Oxígeno.....	64
4.4.5	Óxidos Nitrosos.....	68
4.4.6	Consumo De Combustible.....	72
4.4.7	Potencia.....	77
4.4.8	Fuerza tractora.....	80
4.4.9	Optimización.....	83
4.5	Resultados De La Optimización Para Emisiones Contaminantes Mínimas Y Consumo Mínimo	87
4.6	Comparación de valores.....	89
5.	CONCLUSIONES.....	92
6.	RECOMENDACIONES.....	94
7.	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAIA.....	95
8.	ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes del turbo	2
Figura 2 Componentes del turbocompresor de geometría fija	3
Figura 3 Medición de la compresión del motor	15
Figura 4 Gráficas características Banco Dinamométrico.....	17
Figura 5 Importancia del A/R	20
Figura 6 Trim	22
Figura 7 Turbocompresor GT 1544	28
Figura 8 Características del Turbocompresor GT 1544.....	28
Figura 9 Mapa del Turbocompresor.....	29
Figura 10 Turbocompresor RHF4H.....	30
Figura 11 Desmontaje del colector de escape.....	31
Figura 12 Motor Aveo 1.5.....	31
Figura 13 Construcción del múltiple de escape	32
Figura 14 Múltiple de escape	32
Figura 15 Downpipe.....	33
Figura 16 Acople tipo T de cobre en el sensor de presión de aceite.....	34
Figura 17 Línea de lubricación del turbo	34
Figura 18 Neplos	35
Figura 19 Retorno de aceite	35
Figura 20 Montaje del intercooler.....	36
Figura 21 Intercooler adaptado	36
Figura 22 Válvula de alivio blow off	37

Figura 23 Sistema de sobrealimentación	37
Figura 24 Variables de un proceso y preguntas a responder al diseñar un experimento.	39
Figura 25 Ventilador del Banco de Pruebas.....	44
Figura 26 Factor al 100 %	44
Figura 27 Factor al 50 %	45
Figura 28 Mezcla de gasolina Ecopais-Super	47
Figura 29 Diagrama de Pareto para CO	51
Figura 30 Gráfica de efectos principales para CO	52
Figura 31 Gráficas de Interacciones para CO	53
Figura 32 CO en Función de Presión del Turbo y Combustible.....	54
Figura 33 CO en Función del Combustible e Intercooler	55
Figura 34 CO en función de Presión del Turbo e Intercooler	55
Figura 35 Diagrama de Pareto para CO ₂	56
Figura 36 Gráfica de Efectos Principales para CO ₂	57
Figura 37 Gráfica e Interacciones para CO ₂	58
Figura 38 CO ₂ en Función del Combustible y Presión del Turbo.....	58
Figura 39 CO ₂ en función de Intercooler y Combustible.....	59
Figura 40 CO ₂ en función de Intercooler y Presión del Turbo.....	60
Figura 41 Diagrama de Pareto para HC	60
Figura 42 Gráfica de efectos Principales para HC	61
Figura 43 Gráfica de Interacciones para HC.....	62
Figura 44 HC en función de Combustible y Presión del Turbo.....	62
Figura 45 HC en función del Combustible e Intercooler	63

Figura 46 HC en función de Intercooler y Presión del turbo	64
Figura 47 Diagrama de Pareto para O ₂	65
Figura 48 Gráfica de efectos Principales para O ₂	65
Figura 49 Gráfica de Interacciones para O ₂	66
Figura 50 O ₂ en función del Combustible y Presión del Turbo	67
Figura 51 O ₂ en función de Combustible e Intercooler.....	67
Figura 52 O ₂ en función de Presión del Turbo e Intercooler.....	68
Figura 53 Diagrama de Pareto para NO _x	69
Figura 54 Gráfica de Efectos Principales para NO _x	69
Figura 55 Gráfica de Interacciones para NO _x	70
Figura 56 NO _x en Función entre Presión de Turbo y Combustible.....	71
Figura 57 NO _x en función de Combustible e Intercooler	71
Figura 58 NO _x en función de Presión del Turbo e Intercooler.....	72
Figura 59 Diagrama de Pareto para el Consumo de Combustible	73
Figura 60 Gráfica de Efectos Principales para el Consumo de Combustible	73
Figura 61 Gráfica de Interacciones para el Consumo de Combustible.....	74
Figura 62 Consumo de Combustible en Función a la Presión del turbo y Combustible	75
Figura 63 Consumo de Combustible en Función del Intercooler y Combustible.....	76
Figura 64 Consumo de Combustible en Función del Intercooler y la Presión del Turbo.....	76
Figura 65 Diagrama de Pareto para la Potencia.....	77
Figura 66 Gráfica de Efectos Principales para la Potencia	78
Figura 67 Gráfica de Interacciones para la Potencia.....	78
Figura 68 Potencia en función del Combustible y la Presión del turbo	79

Figura 69 Potencia en Función del Intercooler y Combustible.....	79
Figura 70 Potencia en Función del Intercooler y la Presión del turbo	80
Figura 71 Diagrama de Pareto para la Fuerza Tractora	81
Figura 72 Gráfica de Efectos Principales para la Fuerza Tractora.....	81
Figura 73 Gráfica de Efectos Principales para la Fuerza Tractora.....	82
Figura 74 Fuerza tractora en función de la Presión del Turbo y el Combustible	83
Figura 75 Optimización para la Potencia Máxima.....	84
Figura 76 Valores de Configuración Para Potencia Máxima.....	84
Figura 77 Optimización para Consumo Mínimo	85
Figura 78 Optimización para Emisiones Contaminantes mínimas y Consumo mínimo	86
Figura 79 Gráficas Características con Turbocompresor	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos técnicos del vehículo.....	12
Tabla 2 Estado de los elementos del motor.....	13
Tabla 3 Valores de compresión.....	14
Tabla 4 Datos Obtenidos del Banco Dinamométrico.....	17
Tabla 5 Consumo De Combustible	18
Tabla 6 Emisiones Contaminantes A Ralentí.....	19
Tabla 7 Emisiones Contaminantes 2500 rpm.....	19
Tabla 8 Variables de estudio	40
Tabla 9 Variables de bloqueo.....	40
Tabla 10 Variables de ruido	41
Tabla 11 Variables de respuesta.....	42
Tabla 12 Niveles de régimen de giro	43
Tabla 13 Niveles de Factor Intercooler	45
Tabla 14 Niveles de Factor Intercooler	46
Tabla 15 Variación de octanaje para diferentes mezclas de combustible	46
Tabla 16 Niveles del Factor Combustible.....	47
Tabla 17 Niveles Factoriales	48
Tabla 18 Matriz de Diseño Experimental Factorial	49
Tabla 19 Datos Obtenidos del Experimento	50
Tabla 20 Datos Obtenidos del Experimento	50
Tabla 21 Valores de Configuración para Consumo Mínimo	85
Tabla 22 Valores de Configuración Para Emisiones mínimas y Consumo Mínimo.....	87

Tabla 23 Datos Obtenidos del Banco Dinamométrico.....	88
Tabla 24 Emisiones Contaminantes A Ralentí.....	89
Tabla 25 Emisiones Contaminantes 2500 rpm.....	89
Tabla 26 Comparación de valores iniciales y finales	90
Tabla 27 Comparación de Emisiones Contaminantes A Ralentí	90
Tabla 28 Comparación de Emisiones Contaminantes a 2500 rpm.....	91

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Potencia Efectiva.....	22
Ecuación 2 Rendimiento Mecánico.....	23
Ecuación 3 Rendimiento térmico	23
Ecuación 4 Rendimiento útil.....	24
Ecuación 5 Consumo específico de combustible	25
Ecuación 6 Flujo de aire masico	26
Ecuación 7 Presión en el múltiple de admisión según la potencia.....	26
Ecuación 8 Relación de presión	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Gráfica de contorno de Potencia Máxima vs Carga-Ron	98
Anexo 2 Gráfica de Contorno de Potencia Máxima vs Intercooler-Ron	98
Anexo 3 Gráfica de Contorno Potencia Máxima vs Intercooler-Carga	98
Anexo 4 Valores de Potencia Máxima.....	99
Anexo 5 Gráfica de Contorno Consumo de Combustible vs Carga-Ron	99
Anexo 6 Gráfica de Contorno Consumo de Combustible vs Intercooler vs Ron	99
Anexo 7 Gráfica de Contorno Consumo de Combustible vs Intercooler-Carga	100
Anexo 8 Valores de Consumo de Combustible	100
Anexo 9 Figura de Contorno Hidrocarburos vs Carga-Ron	100
Anexo 10 Figura de Contornos vs Intercooler-Ron	101
Anexo 11 Figura de Contornos Hidrocarburos vs Intercooler-Carga	101
Anexo 12 Valores de Hidrocarburos.....	101
Anexo 13 Gráfica de Contorno Dióxido de Carbono vs Carga-Ron	102
Anexo 14 Gráfica de Contorno Dióxido de Carbono vs Intercooler-Ron	102
Anexo 15 Gráfica de Contorno Dióxido de Carbono vs Intercooler-Carga	102
Anexo 16 Valores del Dióxido de Carbono.....	103
Anexo 17 Gráfica de Contorno Monóxido de Carbono vs Carga-Ron.....	103
Anexo 18 Gráfica de Contorno Monóxido de Carbono vs Intercooler-Ron.....	103
Anexo 19 Gráfica de Contorno Monóxido de Carbono vs Intercooler-Carga.....	104
Anexo 20 Valores de Monóxido de Carbono	104
Anexo 21 Gráfica de Contorno Óxidos Nitrosos vs Carga-Ron.....	104
Anexo 22 Gráfica de Contorno Óxidos Nitrosos vs Intercooler-Ron.....	105

Anexo 23 Gráfica de Contorno Óxidos Nitrosos vs Intercooler-Carga.....	105
Anexo 24 Valores de Óxidos Nitrosos.....	105

INTRODUCCION

El turbo es una pieza mecánica que hace que los motores de menor capacidad rindan mejor. En algunos países, instalar un turbo en el vehículo es una manera de aumentar la potencia del mismo sin pagar más impuestos por la cilindrada del vehículo. El rendimiento de un motor depende entre otros de su eficiencia volumétrica, en motores atmosféricos de gran diseño por sus propios medios tienen una capacidad de succión es decir llenar su espacio interno en un 80 por ciento, una forma de mejorar esos números es soplando la mezcla a presión mediante un compresor del aire que, en el caso del turbo, se mueve con la velocidad e impulso de los gases de escape que pasan por sus turbinas. El señalar cómo varían los parámetros de un motor de calle que en su diseño de fabrica no fue considerado la implementación de un turbocompresor, es importante ya que con esta investigación se podrá entender de una mejor manera las consideraciones que toman en cuenta los fabricantes al momento de aplicar este tipo de tecnologías en sus motores y lanzarlas al mercado.

PROBLEMA

Antecedentes

La aparición del turbocompresor se dio luego de poco tiempo de la aparición de los motores de combustión interna en los años 1885 y 1896 con el objeto de aumentar la potencia, el rendimiento de los motores y también de reducir la contaminación emanada resultante de la precompresión del aire de combustión. Se dio un gran avance con la idea del suizo Alfred J. Büchi el cual tuvo la idea de aprovechar los gases de escape para mover un compresor desde entonces se ha venido desarrollando esta tecnología claro con diferentes complicaciones que se han presentado en el transcurso del desarrollo. Al implementar un turbocompresor en un motor, sabiendo que no fue fabricado para ser sobrealimentado por el turbocompresor, si bien esta actividad se la realiza sin conocer el efecto que causara en el motor como es en sus emisiones contaminantes, consumo de combustible torque y potencia que podría generar este tipo de modificaciones en el motor. En específico un motor 1.5 proveniente de la marca Chevrolet modelo Aveo.

Importancia y Alcances

El vehículo Aveo 1.5 es uno de los más comerciales en el Ecuador, es así que desde su lanzamiento en 2009 hasta mayo de 2019 se han comercializado cerca de 70.000 unidades en todo el país. (Universo, 2019), el presente trabajo de titulación busca precisar el efecto que genera esto en el motor del vehículo Chevrolet Aveo 1.5L, por lo que es necesario comparar las variaciones en sus emisiones contaminantes, consumo de combustible y curvas de par- potencia que esto podría provocar, además se busca determinar cuál es la optimización idónea para tener mejores prestaciones, esto mediante un diseño experimental. El presente trabajo se encuentra enfocado en beneficiar a la sociedad en general, generando datos que indique las consecuencias que tiene la

implementación de un turbocompresor en un motor, además de mostrar las diferentes configuraciones con las que se puede obtener mayor potencia o menores emisiones contaminantes.

Delimitación

El trabajo se realiza en la ciudad de Cuenca que se encuentra a 2550 metros sobre el nivel del mar con una temperatura que oscila entre los 14C – 18C, presión atmosférica de 897.8 hPa, cuenta con alrededor de 131.488 vehículos a gasolina que va creciendo con una tasa de 8-10 %, conjuntamente con su evolución en tecnologías y por supuesto con la introducción de vehículos sobrealimentados

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar el análisis comparativo mediante curvas características de funcionamiento del motor de un vehículo Chevrolet Aveo 1.5 L con la implementación de un turbocompresor.

Objetivos Específicos

- Investigar los fundamentos teóricos que describan tipos, funcionamiento, ventajas y desventajas de los turbocompresores mediante información bibliográfica.
- Obtener los parámetros actuales del motor mediante equipos de medición para su posterior análisis.
- Implementar el turbocompresor en el vehículo, mediante la correcta selección del mismo.
- Realizar las pruebas de funcionamiento, mediante los equipos de medición para obtener una base de datos generada a partir de diseño experimental.

1. FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1 Turbocompresor

El turbocompresor aprovecha la fuerza de los gases que salen del escape para impulsar la turbina unida por el eje de un compresor, por parte de este compresor al generarse el movimiento giratorio absorbe el aire a presión atmosférica para comprimirlo de esta manera lo envía a cierta presión dependiendo del turbo como su tamaño y capacidad.

En general la temperatura es un gran problema del turbocompresor ya que alcanza altas temperaturas como 700 °C en la turbina. A esto se le une las altas velocidades que alcanza de más de 100.000 r.p.m lo que ocasiona problemas grandes en el conjunto de rodamientos y cojinetes, por lo que cuenta con un sistema de lubricación. (GOMEZ, 2020)

1.2 El turbocompresor y la contaminación

Los fabricantes de automotores tienen la gran responsabilidad de reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes de Co₂, por lo que se enfocan en tecnologías que permitan cumplir con regulaciones cada vez más estrictas para reducir el contenido de los contaminantes. Actualmente la disminución del combustible y emisiones se deben al uso de motores de ciclo Diesel. En los últimos años se han reducido las emisiones de dióxido de carbono a 21 gramos por kilómetro. Sin embargo, los fabricantes se han dado cuenta de que el avance en la reducción de emisiones de Co₂ vendrá de las innovaciones tecnológicas en los vehículos con motores a gasolina, especialmente los sistemas de sobrealimentación

1.3 Partes Del Turbocompresor

Las partes que corresponden al turbocompresor de manera general y describiendo las más importantes se encuentra la turbina, el compresor, alabes, corona, leva, sus caracolas, capsula neumática o válvula wastage.

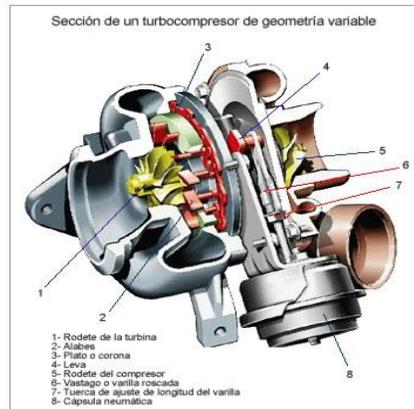


Figura 1 Partes del turbo

Fuente: (Rodes, 2020)

1.4 Componentes Del Turbocompresor

Como lo antes mencionado los componentes principales que componen el turbocompresor son turbina que aprovecha los gases de escape, un compresor que es el encargado de introducir el aire presurizado. Los dos componentes se encuentran unidos por un eje que se asientan en unos cojinetes, expuestos a condiciones extremas de funcionamiento por consecuencia de la velocidad de giro y también por la temperatura. Existen dos carcasas también llamadas caracolas que dan el rumbo tanto de los gases para que incidan sobre la turbina y para dirigir el aire a presión. Es importante mencionar que un componente importante en el turbocompresor es la válvula wastage que encarga de controlar la presión de carga y por supuesto controla el giro máximo tanto de la turbina

como del compresor, sin este sistema el turbo se dañaría por exceso de funcionamiento.
(AVANCE, 2017)

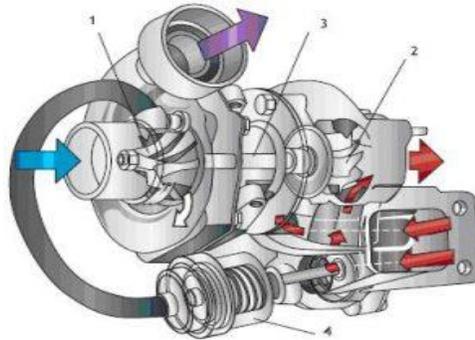


Figura 2 Componentes del turbocompresor de geometría fija

Fuente: (A. Avance, 2017)

1.5 Tipos De Turbocompresores

Existen diferentes tipos de turbocompresores, según el turbocompresor utilizado. Se clasifican de la siguiente manera.

- **De geometría fija:** son la clase más económica y fiable ya que no constan de piezas móviles, pero eso también los convierte en los que obtienen peor tiempo de respuesta.
- **De geometría variable:** aprovechan mejor los gases de escape y mejoran el rendimiento en bajas revoluciones gracias a las piezas móviles de la turbina. Son más habituales en motores diésel.
- **Twin scroll:** son los más modernos y sus prestaciones, óptimas en toda la gama de revoluciones, se asemejan al biturbo ya que permiten la canalización del aire a los cilindros por conductos independientes.

- **Compresores:** cuando se denomina compresor a secas, es que no usan los gases de escape, si no que tiran del propulsor aumentando el consumo, pero con buena respuesta a cualquier número de revoluciones (RODES, 2020)

Como podemos observar existen varios tipos de turbocompresores en el mercado automotriz que básicamente cumplen la misma función, lo único que hace la diferencia es su estructura, entre estos tenemos los que destacan por su fiabilidad volumétrica, centrífugos, técnicas y características. Por lo que nos concentraremos en:

1.5.1 Turbocompresor De Geometría Fija.

Los turbos de geometría fija son los más básicos, ya que su estructura es sencilla al tener menos partes móviles, ya que apenas se incorporan piezas que envíen gases al interior de la cámara del escape, el flujo de aire que alcanza sobre la turbina accionada por los gases del escape lo hace siempre de la misma manera, el problema es con el motor en un régimen bajo de revoluciones, el flujo de gases no lleva suficiente energía para acelerar rápidamente la turbina produciéndose el retraso de respuesta de turbo, es decir, el tiempo en que tarda en enviar potencia al motor, desde que pisamos el pedal del acelerador desde cero.

1.5.1.1 Funcionamiento.

La turbina consta básicamente de dos turbinas, que están conectadas entre sí por un eje que gira en una carcasa. El principio de funcionamiento es utilizar la fuerza cinética de los gases que comúnmente es desechada al exterior. El gas de escape pasa a través de la primera turbina, haciendo que gire. Dado que la segunda turbina es sólida, también girará. En este caso, el movimiento de la segunda turbina se usa para generar presión empujando aire hacia el colector de admisión. La turbina puede girar a velocidades súper altas, superando los 150.000 rpm. Por eso es

tan importante la correcta lubricación de la turbina (especialmente el eje de la turbina) para evitar averías. Por esta razón, es fácil comprender la importancia del aceite de motor.

1.5.1.2 Temperatura de funcionamiento.

La temperatura aproximada de manera general puede ser entre 650 °C y 80 °C. recalcar que las temperaturas extremas es notorio que se dan en partes que están en mas contacto con los gases de escape, contrariamente a las que están lejos de los mimos sin embargo esta temperatura afecta de una u otra manera a todo el componente en general. (Automoviles, 2011)

La principal fuente de refrigeración del turbo se da por la misma lubricación ya que el aceite aparte de lubricar se lleva el exceso de calor, en algunos modelos se encuentran con líneas de refrigerante del motor, esto ayuda a disminuir la temperatura para un desempeño correcto.

1.6 Ciclos De Funcionamiento Del Turbocompresor.

1.6.1 Funcionamiento A Ralentí O Carga Parcial Inferior.

En este punto con el motor girando revoluciones comprendidas dentro del ralentí, los gases de escape no tienen mucha energía para producir un giro del turbo donde este envíe el aire comprimido a presión hacia la admisión, se podría decir que el motor está en aspiración comúnmente como el demás tipo de motores.

1.6.2 Funcionamiento A Carga Parcial Media.

Una vez accionado el pedal del acelerador el motor subirá de revoluciones por consiguiente se encuentra mayor cantidad de energía despedida por los gases de escape, en este punto el sistema se encuentra enviando aire a cierta presión (turbo en carga) hacia los cilindros de tal forma tenemos una sobrealimentación del motor.

1.6.3 Funcionamiento A Carga Parcial Superior Y Plena Carga.

Los gases de escape despiden mucha energía para hacer girar la turbina por ende está elevando la presión del aire comprimido enviada hacia los cilindros. En este rango de funcionamiento entra en protagonismo la válvula wastage que al encontrar al turbo en su capacidad máxima de carga o a la calibrada desvía los gases de escape para que no pasen por la turbina de manera que disminuya la velocidad por ende disminuye la presión.

1.7 Ventajas Del Turbocompresor

- Aumento de la potencia del motor.
- Aprovecha la fuerza de los gases de escape.
- Mayor eficiencia del motor.
- Se acopla al motor sin modificaciones externas.

Según (Morales, 2019) se considera algunas ventajas, tales como:

1.7.1 Menor Consumo De Combustible.

Un motor con turbocargador produce la misma cantidad de energía que uno de mayor tamaño sin él, la diferencia es que el motor con turbo usará menos combustible.

1.7.2 Menos Ruido.

El motor con un turbo cargador es menos ruidoso que uno de aspiración natural, además posee un tamaño de motor generalmente mucho más pequeño para producir la misma cantidad de energía.

1.7.3 Desempeño En Altura.

A mayor altura, el rendimiento y generación de energía de un motor turbo se mantienen prácticamente igual que a nivel del mar, debido a que a mayor altura hay menor presión de aire y el turbo lo compensa.

1.7.4 Mucho Más Ligero.

El motor turbo puede generar la misma potencia que un motor convencional de mayor cilindrada y tamaño, sin embargo, al ser más compacto ayuda a ahorrar espacio y peso, un vehículo entre más ligero es más eficiente.

1.7.5 Menos Contaminación.

Un motor con turbo cargado es más pequeño que uno regular, quema menos combustible y genera menos dióxido de carbono, lo que significa que es más amigable con el medio ambiente. El turbocompresor es parte de la tendencia de la industria automotriz que busca reducir el tamaño y la cilindrada de los motores para disminuir las emisiones contaminantes y optimizar el uso de combustibles. (Morales, 2019)

1.8 Desventajas

- Elevados costos de instalación y materiales.
- Existe el riesgo de sobrecalentamiento del motor.
- Requerimiento de mano de obra especializada.

1.9 El Turbo En Motores Gasolina

Si lo miramos desde un punto de vista objetivo, la situación de un motor diésel es diferente a uno de gasolina, ya que, para lograr un aumento en la potencia de un motor de gasolina, el nivel de combustible requerido es el mismo que el del aire, por lo que aumenta la cilindrada, el régimen del motor o la presión de sobrealimentación. Por tanto, entre un motor sin sobrealimentación y uno con turbo podríamos destacar las siguientes diferencias:

1.9.1 Atmosféricos De Gasolina.

Suelen resultar más fiables ya que prescinden de esa pieza que, como cualquier componente del automóvil siempre es susceptible de sufrir una avería. Los turbos no son componentes económicos y no siempre se pueden reparar.

En este tipo de motorización encontramos una respuesta más directa y controlable por el conductor. A menudo la respuesta de un vehículo con turbo tiene un efecto de demora que hace que resulte más brusco. (RODES, 2020)

1.9.2 Turbocompresores De Gasolina.

En prestaciones, suele obtener mejores resultados a revoluciones medias, frente a los mejores niveles de potencia del atmosférico cuando sometemos el vehículo a muy altas o muy bajas revoluciones. (RODES, 2020). El turbo en un motor a gasolina funciona diferente al diésel en la siguiente manera; en un motor a gasolina se requiere que la cantidad de aire y de combustible sea equilibrada.

1.9.3 Diferencias Entre Un Motor De Gasolina Con Turbo Y Un Motor A Gasolina Atmosférico.

- Los motores de gasolina atmosféricos suelen ser más fiables porque no dependen de turbinas, las piezas pueden estar dañadas y su reparación no es económica.
- Los motores de gasolina turboalimentados son más efectivos a velocidades medias.
- En un motor de aspiración natural, el conductor puede controlar mejor la respuesta del automóvil, mientras que, en un automóvil con turbocompresor, la velocidad de respuesta es muy lenta y generalmente ocurre de repente.
- En los vehículos de gasolina con turbocompresor, el consumo es menor y las emisiones tienden a disminuir.

1.10 La Sobrealimentación

La sobrealimentación, también conocida como inducción forzada, consiste en aumentar la potencia de los motores a través de diferentes piezas. Un motor con sobrealimentación utiliza un compresor para aumentar la cantidad de oxígeno por ende la mezcla aire/gasolina en la fase de admisión, aumentando su presión en el motor de combustión interna alternativo, para aumentar la fuerza de la carrera de trabajo, es decir el par motor en cada revolución y por tanto la potencia.

1.11 Regulación De Presión Del Turbo.

Cuando el motor se encuentra funcionando a un régimen de revoluciones bajo, la salida de los gases será mínima por lo que la velocidad de giro que alcanza la turbina es de poca consideración, en este caso la sobrepresión del compresor alcanza valores mínimos, por lo que la velocidad de giro es de poca consideración, pero cuando el motor aumenta su funcionamiento esto

provoca un mayor flujo de gases de escape, por lo que la turbina aumenta también su giro transmitiéndole al compresor el que genera valores altos de sobrepresión.

1.11.1 Válvula Wastegate

Dispositivo integrado en un turbocompresor para que este controle la presión de sobrealimentación permitida, su función principal es descargar y regular la presión de sobrealimentación en los sistemas de turbocompresor para protegerlo y también al motor. El desvío de la energía ajusta la velocidad de la turbina, que en sintonía ajusta la velocidad de rotación del compresor, de esta manera se regula la presión. Existe tipos externas y las que vienen en el conjunto del turbo.

1.11.2 Válvula blow off

Es conocida también como válvula de descarga atmosférica, porque su función principal es la de expulsar fuera del motor el aire que sobra en la admisión. Esta expulsión es la que provoca el famoso sonido, que puede variar en función del diseño de esta y de la presión a la que sopla el turbo.

1.11.3 Intercooler

Se encarga de enfriar el aire antes de introducir en los cilindros de motor, disminuyendo la densidad de este y permitiendo que para el mismo volumen se puede introducir una mayor masa de aire y mejorar el rendimiento del motor. El intercooler no debe ser de gran volumen, debe absorber poca potencia, y no debe provocar pérdidas de carga que disminuyan el caudal de aire que llega a los cilindros.

1.11.3.1 Intercooler Aire- Aire

Este tipo de intercambiador (aire-aire) que ayuda a solucionar el problema de (aire-agua), ya que este consigue que con una temperatura de ambiente de 30C, el aire comprimido llegue adecuadamente a los cilindros a una temperatura de 60°C y por esto se consigue un aumento significativo en la masa de aire de admisión. Por otra parte, este sistema puede llevar un ventilador ya que puede mejorar su eficacia y puede ser accionado por turbina o eléctricamente. (Intercooler, 2020)

2. PARÁMETROS ACTUALES DEL MOTOR

2.1 Datos Del Vehículo

Para el presente proyecto se utilizará un vehículo Aveo Family con las siguientes características.

Motor	1.5 L SOHC
Válvulas	8
Numero de cilindros	4
Potencia (HP@rpm)	83 @ 5.600
Torque (Nm@rpm)	128 @3.000
Relación de compresión	9,5
Relación final	3,944
Suspensión delantera	Independiente McPherson
Suspensión posterior	Eje de torsión
Frenos delanteros	Disco ventilado
Frenos posteriores	Tambor
llantas	185/60 R14
Rines	Aluminio 15"
Peso bruto vehicular (kg)	1365
Capacidad de carga (kg)	325
Capacidad de tanque de combustible (lt/gal)	45/11,9
Capacidad de carga de baúl (lt)	374

Tabla 1 Datos técnicos del vehículo

Fuente: Especificaciones técnicas del manual del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 L

2.2 Estado de funcionamiento del motor

El estado de funcionamiento del motor es fundamental para realizar pruebas en el mismo por lo que se debe garantizar su óptimo funcionamiento tomando en cuenta un ABC y una revisión en general.

Elemento	Estado
Bujías y cables de bujías	Para la obtención de los parámetros previo a adaptación del turbocompresor, se reemplazó las bujías del motor y sus respectivos cables por unas nuevas, lo que evitara fallas en el rendimiento del motor.
Aceite de motor y filtro de aceite	Con el fin de garantizar una buena lubricación se realizó el cambio de aceite empleando un semisintético SAE 20w50 en marca PHILLIPS 66, además se realizó el cambio del respectivo filtro.
Filtro de aire y filtro de combustible	El cambio de filtro de aire y combustible nos permitirá un mejor rendimiento del motor.
Inyectores	Se realizó una limpieza de inyectores, en los cuales debido al kilometraje del vehículo fue necesario sustituir los microfiltros que poseen.

Tabla 2 Estado de los elementos del motor

Fuente: Autores

2.2.1 Medición De La Compresión Del Motor

Esta medición nos permite determinar el estado real del motor, ya que mediante los valores que se obtienen con el manómetro de compresión, se podría saber si existe o no un desgaste excesivo en las piezas internas del motor; para realizar esta medición en los 4 cilindros se siguieron los pasos establecidos a continuación, cabe recalcar que estos pasos a excepción del número 2, se realiza repetidamente en los 4 cilindros

1. Desconectar el cable de bujía del cilindro a medir.
2. Desconectar el socket de la bobina.
3. Retirar la bujía, seleccionar el adaptador adecuado en lugar de este y conectar el manómetro de compresión.
4. Con el acelerador pisado a fondo se procede a dar arranque durante 3 a 4 segundos hasta que se alcance la presión máxima.

En la medición de la compresión de los 4 cilindros se pudo determinar los siguientes valores:

Cilindro	Compresión (Psi)
1	150
2	150
3	150
4	150

Tabla 3 Valores de compresión

Fuente: Autores



Figura 3 *Medición de la compresión del motor*
Fuente: Autores

2.3 Equipos Para La Obtención De Parámetros

La cuantificación y medición de parámetros serán hechos por equipos como son un banco dinamométrico y analizador de gases, será necesario garantizar su buen funcionamiento previo a su uso.

2.3.1 Banco Dinamométrico

Es una herramienta fundamental que se utiliza en universidades, talleres automotrices para realizar pruebas y simulaciones necesarias para las mediciones entre las que se destaca el consumo de combustible torque y potencia, este instrumento de medición simula las cargas en funcionamiento normal pues oponen resistencia controlando el giro del motor. En este proyecto técnico se usará el banco dinamométrico ARMFIELD CM11, perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Campus El Vecino.

2.3.2 Analizador De Gases

Un analizador de gases de escape como su nombre lo expresa es utilizado para medir de gases como O₂, CO, NO producto de los procesos de combustión.

2.4 Protocolos De Medición

La toma de datos de los parámetros estándar del motor se llevó a cabo en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Para garantizar la repetibilidad del experimento se tomaron 3 muestras de acuerdo al protocolo descrito a continuación.

- Preparar los instrumentos de medición descritos en el apartado
- Encender el motor
- Confirmar la temperatura del refrigerante del motor mayor a 90 °C
- Confirmar la temperatura del aceite del motor entre 80 °C Y 90 °C
- Confirmar temperatura de rodadura entre 30 °C - 40 °C
- Adquirir datos
- Apagar el motor

2.5 Medición De Parámetros Previo A La Implementación Del Turbocompresor

El resultado de las pruebas realizadas siguiendo los protocolos de medición se tiene los siguientes resultados.

	VALOR
POTENCIA INDICADA	50.7 KW @ 5180
POTENCIA EFECTIVA	36.9 KW @ 5180
POTENCIA A LA RUEDA	15.0 KW @ 5180
POTENCIA DE ARRASTRE	21.9 KW @ 5180
TORQUE MAXIMO	112.2 Nm @ 2965
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	237.535 g/kwh
COMSUMO DE COMBUSTIBLE	12.829 l/h

Tabla 4 Datos Obtenidos del Banco Dinamométrico

Fuente: Autores

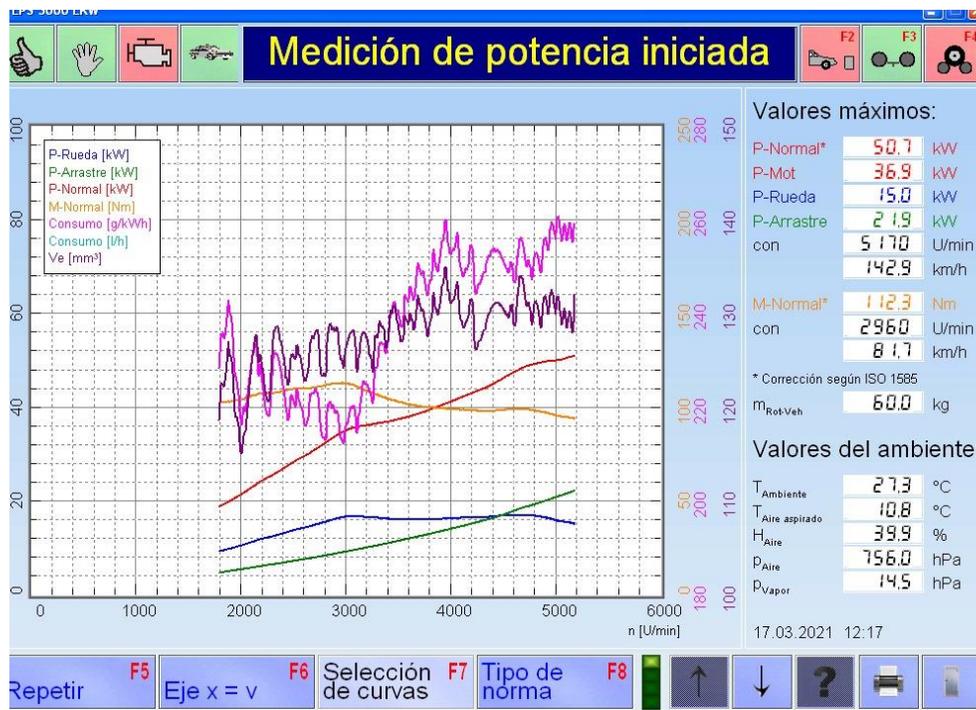


Figura 4 Gráficas características Banco Dinamométrico

Fuente: Autores

Para el caso del consumo de combustible se utilizó una media de todos los valores extraídos del banco dinamométrico.

RPM	CONSUMO (g/Kwh)	CONSUMO (l/h)
1795	228.067	6.229
1800	229.658	6.293
1900	240.105	6.995
2000	217.435	6.757
2100	228.482	7.480
2200	225.886	7.998
2300	226.484	8.414
2400	225.221	8.820
2500	221.331	9.137
2600	217.612	9.370
2700	222.759	10.032
2800	213.134	10.055
2900	218.577	10.791
3000	215.786	11.024
3100	216.347	11.293
3200	224.592	11.842
3300	228.255	12.181
3400	233.663	12.588
3500	240.451	13.145
3600	242.802	13.472
3700	249.675	14.103
3800	246	14.185
3900	251.774	14.828
4000	252.512	15.195
4100	249.065	15.325
4200	254.143	15.975
4300	247.193	15.863
4400	253.423	16.642
4500	251.255	16.976
4600	247.639	17.185
4700	253.293	17.998
4800	251.639	18.127
4900	255.742	18.598
5000	255.64	18.679
5100	257.216	18.984
5180	258.404	19.256

Tabla 5 Consumo De Combustible

Fuente: Autores

Valores De Gases Contaminantes

- Ralentí

ITEM	VALOR
RPM	800 rpm
CO	0.01 %
CO ₂	11.16 %
O ₂	4.20 %
HC	24 ppm
λ	1.252

Tabla 6 Emisiones Contaminantes A Ralentí
Fuente: Autores

- 2500 rpm

ITEM	VALOR
RPM	2520 rpm
CO	0.03 %
CO ₂	14.5 %
O ₂	0.16 %
HC	7 ppm
λ	1.007

Tabla 7 Emisiones Contaminantes 2500 rpm
Fuente: Autores

3. SELECCIÓN Y ADAPTACIÓN DEL TURBOCOMPRESOR PARA EL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO FAMILY

3.1 Consideraciones A Tener En Cuenta

En la actualidad la adaptación de un turbocompresor a cualquier tipo de motor que no lo trae de serie es posible, incluso existen kits que cuentan con manuales de adaptación, sin embargo, no existe para todo tipo de motor, como es en el caso de nuestro vehículo. Prácticamente ningún motor de serie ha sido diseñado para dichas adaptaciones y es por ende la necesidad de la modificación de los colectores de admisión y escape, teniendo en cuenta la relación de compresión ya que es un parámetro que indica en que proporción se comprime la mezcla aire-combustible dentro del cilindro.

3.1.1 Importancia del A/R

Uno de los parámetros más importantes para la selección de un turbocompresor es la relación A/R la cual describe una característica geométrica de todas las carcasas de compresor y de la turbina. Se define como la relación que existe entre el área de la entrada de los gases de escape en el caracol y desde el centro del eje de la turbina hasta el centro de la boca de entrada.

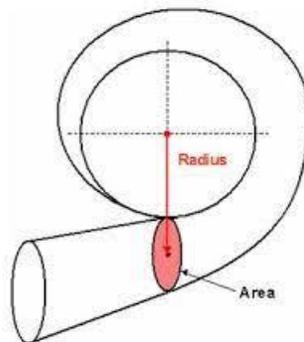


Figura 5 Importancia del A/R
Fuente: (Basics, 2010)

El área A determina la velocidad con que ingresa los gases a la voluta de la turbina y así girando los alabes. Una relación A/R indica un turbo de menor tamaño y esta es suficiente para sobrealimentar el motor con revoluciones bajas, pero para altas revoluciones el caudal del turbo sería suficiente, por lo que mientras más grande es el motor, mayor debe ser la relación A/R.

3.1.1.1 Compresor A/R

El rendimiento del compresor es en gran medida insensible a los cambios A/R, por lo que se debe evitar una relación demasiado baja, porque esto reduciría la vida útil del compresor debido a que la velocidad con la que giraría sería sobre la recomendada, la finalidad es llegar a un punto de equilibrio entre la relación A/R y la eficiencia del compresor y con eso se minimizara el tiempo de respuesta del turbo.

3.1.1.2 Turbina de A/R

En el caso de emplear un A/R menor se logra aumentar la velocidad de los gases de escape en la rueda de la turbina, por ende, hace girar de manera más rápida a la rueda a bajas rpm lo que provoca un aumento más rápido de potencia y aumenta la contrapresión de escape además de reducir la potencia máxima a altas rpm.

En el caso de utilizar un A/R mayor se disminuirá la velocidad de los gases de escape y el retraso al aumento de potencia, sin embargo, la contrapresión baja dará mayor potencia en altas rpm

3.1.2 *Importancia de El Trim*

Es otro parámetro que se utiliza para la selección de turbina y compresor el cual relaciona los diámetros de ingreso DI y de salida DE de los rodets. A medida que el trim se incrementa el

rodete soporta más flujo de aire en el caso del compresor o de gas para la turbina, así aumentado su diámetro.

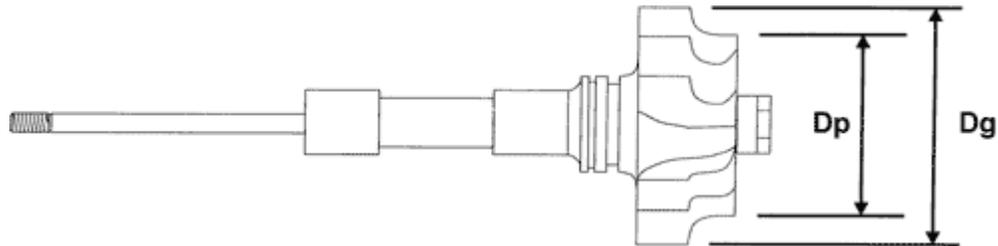


Figura 6 Trim
Fuente: (Garrett, 2013)

3.2 Cálculos Para La Selección Del Turbocompresor

3.2.1 Potencia Efectiva

La potencia efectiva es la que llega al cigüeñal del motor y se mide en el mismo. Esta es aproximadamente 10 % menor a la potencia indicada.

$$Pe = \frac{Md \cdot n}{9550} [Kw]$$

Ecuación 1 Potencia Efectiva

Fuente: (Castro León & Merchán Figueroa, 2015)

Pe = Potencia efectiva (Kw)

Md = Par de motor (Nm)

n= Número de revoluciones (rpm)

$$Pe = \frac{(128)(3000)}{9550}$$

$$Pe = 40.20 [Kw]$$

3.2.2 Rendimiento Mecánico

El rendimiento mecánico se considera a las pérdidas de rozamiento y el accionamiento de mecanismos auxiliares.

$$\eta_m = \frac{Pe}{Pi}$$

Ecuación 2 Rendimiento Mecánico

Fuente: (Castro León & Merchán Figueroa, 2015)

η_m = Rendimiento mecánico

Pe = Potencia efectiva

Pi = Potencia indicada

$$\eta_m = \frac{40.20}{83}$$

$$\eta_m = 0.48$$

3.2.3 Rendimiento térmico

El rendimiento térmico se obtiene de los ciclos ideales (ciclo de Carnot) cuyo rendimiento es el máximo al que puede aspirar cualquier maquina térmica que trabaje entre dos focos térmicos.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{Rc^{\alpha-1}}$$

Ecuación 3 Rendimiento térmico

Fuente: (Castro León & Merchán Figueroa, 2015)

η_t = Rendimiento térmico

R_c = Relación de compresión

α = Constante de gas ideal

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{(9.5)^{1.33-1}}$$

$$\eta_t = 0.52$$

3.2.4 Rendimiento Del Diagrama

El rendimiento del diagrama (η_d) es la relación entre la superficie del diagrama real y la superficie del diagrama teórico. Superpuestos ambos, se puede apreciar que el diagrama real obtenido tiene un trabajo útil muy inferior al diagrama teórico. Para ciclos otto se considera un 80%.

3.2.5 Rendimiento Útil

El rendimiento útil se considera como el rendimiento efectivo del motor y es el resultado del producto del rendimiento mecánico, rendimiento térmico y el rendimiento de diagrama.

$$\eta_u = (\eta_m)(\eta_t)(\eta_d)$$

Ecuación 4 Rendimiento útil

Fuente: (Castro León & Merchán Figueroa, 2015)

$$\eta_u = (0.48)(0.52)(0.8)$$

$$\eta_u = 0.19$$

3.2.6 Consumo Específico De Combustible

Indica la eficiencia que tiene un motor para transformar carburante en energía mecánica.

$$G_{pe} = \frac{632300}{Q_e \cdot \eta_u} \left[\frac{gr}{cv.h} \right]$$

Ecuación 5 Consumo específico de combustible

Fuente: (Castro León & Merchán Figueroa, 2015)

G_{pe} = Consumo específico de combustible

Q_e = Poder calorífico de la gasolina.

η_u = Rendimiento útil

$$G_{pe} = \frac{632300}{(10755)(0.19)}$$

$$G_{pe} = 309.42 \left[\frac{gr}{cv.h} \right]$$

$$G_{pe} = 1.16 \times 10^{-4} \left[\frac{kg}{kw.s} \right]$$

$$G_{pe} = 0.0115 \left[\frac{lb}{hp.min} \right]$$

3.2.7 Flujo De Aire Necesario.

El flujo de aire necesario es la masa de aire que fluye a través del compresor del turbo e ingresa al motor durante un periodo de tiempo.

$$CFM = (Pe)(14.7)(Gpe)$$

Ecuación 6 Flujo de aire masico

Fuente: (Castro León & Merchán Figueroa, 2015)

CFM = Flujo de aire masico

Pe = Potencia efectiva (hp)

Gpe = Consumo especifico de combustible

$$CFM = (53.90)(14.7)(0.0115)$$

$$CFM = 9.11 \frac{lb}{min}$$

3.2.8 Presión En El Múltiple De Admisión Según La Potencia.

Es la presión absoluta en el múltiple de admisión y tiene una relación directa con la potencia requerida por el motor.

$$Map = \frac{(CFM)(R)(460 + t2)^{\circ}F}{(\eta v)\left(\frac{n}{2}\right)(Vt)}$$

Ecuación 7 Presión en el múltiple de admisión según la potencia

Fuente: (Castro León & Merchán Figueroa, 2015)

CFM = Flujo de aire necesario

R = Constante de gases

T2 = Temperatura en el múltiple de admisión

nv = Rendimiento volumétrico para motores sobrealimentados

n = Revoluciones por minuto a la máxima potencia

Vt = Cilindraje total

$$Map = \frac{(9.11)(639.6)(460 + 140)^{\circ}F}{(0.75)\left(\frac{5600}{2}\right)(91.41pul^3)}$$

$$Map = 18.21 \text{ psi}$$

$$Map = 1.25 \text{ bar}$$

3.2.9 Relación De Presión

Es la relación entre la presión absoluta de salida de aire del turbocompresor con la presión absoluta de entrada de aire del turbocompresor.

$$PR = \frac{P \text{ salida}}{P \text{ entrada}}$$

Ecuación 8 Relación de presión

Fuente: (Castro León & Merchán Figueroa, 2015)

PR = Relación de presión

Psalida = Presión absoluta de salida del turbocompresor

Pentrada = Presión absoluta de entrada del turbocompresor

$$PR = \frac{1.25}{0.74}$$

$$PR = 1.68$$

3.3 Mapa del turbocompresor

Con los valores obtenidos de flujo de aire necesario (CMF) y la relación de presión (PR) estos se interpretan en la gráfica del mapa del turbo que vamos a seleccionar obtenido de los catálogos de turbos Garrett.

TURBOCOMPRESOR GT 1544

454082-0002



Figura 7 Turbocompresor GT 1544

Fuente: (Garrett, 2013)

En sus características técnicas el turbo GT 1544 es adaptable para motores de 1.0 L a 1.6 L y su potencia de aporte esta entre sus 73 km a 110 km cv. En su cuerpo está instalada su válvula Wastegate, regulada por un varón con un desplazamiento de aproximadamente 10 mm únicamente es lubricado y refrigerado por aceite.

LADO COMPRESOR				LADO TURBINA			
ENTRADA	SALIDA	TRIM	A/R	DIÁMETRO	TRIM	A/R	TIPO
32.9 mm	43.9 mm	56	0.33	42.2 mm	58	0.34	Con válvula

Figura 8 Características del Turbocompresor GT 1544

Fuente: (Garrett, 2013)

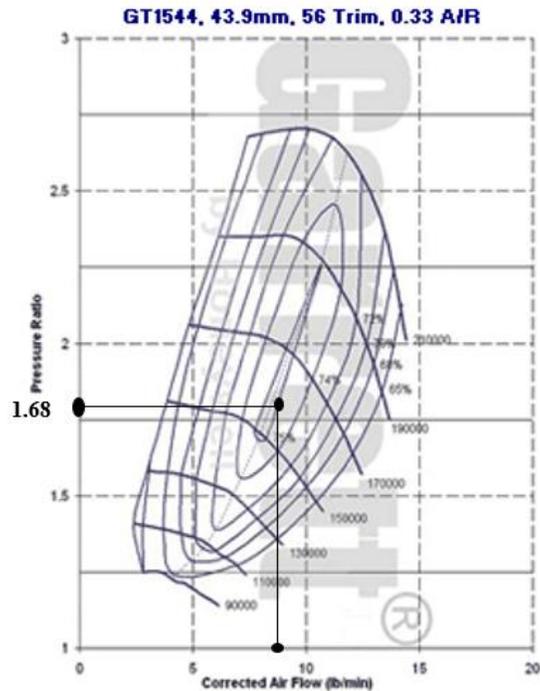


Figura 9 Mapa del Turbocompresor
Fuente: (Garrett, 2013)

3.4 Turbocompresor Seleccionado

Al revisar las características del turbocompresor GT 1544 y al ubicar los valores del CMF Y PR en su mapa el mismo trabaja con una eficiencia de 75 % que es la máxima para este modelo por lo que se concluye que es el más óptimo para instalar en el vehículo.

Pero debido a la complejidad de conseguir el modelo de turbocompresor seleccionado por su precio y no contar en el medio del mismo, se adquiere uno de similares características que se encuentra en el mercado, este corresponde a un turbocompresor que lleva el motor de la camioneta Chevrolet Luv D - Max 2.3, de las siguientes características:

- P/N: 8104 - 200 - 980
- Modelo de turbo: RHF4H
- No. Serie: 190605063
- Turbo Ref.: VC42037 – VIDA
- A/R 0.37



Figura 10 Turbocompresor RHF4H
Fuente: Autores

3.5 Adaptación Del Turbocompresor

Como precaución al momento de adaptar el turbocompresor es el evitar el ingreso de cualquier cuerpo extraño al mismo. Para la adaptación del turbocompresor se siguió los pasos detallados a continuación:

Desmontar el colector de escape retirando las tuercas que sujetan este al cabezote del motor.



Figura 11 *Desmontaje del colector de escape*

Fuente: Autores

Debido a que el motor no fue diseñado para ser sobrealimentado mediante un turbocompresor lo primero es construir un múltiple de escape que conduzca los gases hacia el turbo para su funcionamiento además de servir de soporte.



Figura 12 *Motor Aveo 1.5*

Fuente: Autores

En el nuevo múltiple se utiliza codos y tubos de acero inoxidable T304 de 1.5 pulgadas, unidos con soldadura GTAW TIG, para los soportes de los ductos de escape del cabezote y caracola de escape del turbo se utiliza platina de 10mm de espesor.



Figura 13 Construcción del múltiple de escape

Fuente: Autores

El nuevo múltiple de escape se puede observar en la siguiente figura.



Figura 14 Múltiple de escape

Fuente: Autores

El Downpipe es un codo de salida de gases de escape del turbo hasta el tubo de escape, ayuda a liberar la presión generada por el turbo. Para la construcción se utiliza codos y tubos de acero

inoxidable T304 de 3 pulgadas unidos con soldadura GTAW TIG de tal manera de conseguir la forma requerida.



Figura 15 Downpipe

Fuente: Autores

Para proveer de aceite al turbo lo cual es esencial para su funcionamiento puesto que gira a altas revoluciones y es sometido a altas temperaturas, es necesario conectar el turbo a la línea de lubricación del motor, para esto se instala un acople tipo T de cobre en la salida donde se encuentra el sensor de presión del aceite



Figura 16 Acople tipo T de cobre en el sensor de presión de aceite

Fuente: Autores

Es necesario conectar el acople T a la línea de lubricación del turbo, para ello se utiliza una cañería de teflón recubiertas de acero entrelazado, las mismas soportan temperaturas y presiones altas. Es importante que la cañería de lubricación que ingresa al turbo este nivelada para garantizar una buena lubricación.



Figura 17 Línea de lubricación del turbo

Fuente: Autores

Es necesario que recircule el aceite del turbo para lo cual este debe regresar al Carter del motor; para la construcción del retorno se utiliza neplos tanto a la salida del turbo como en el Carter.



Figura 18 *Neplos*
Fuente: Autores

Para acoplar el neplo en el Carter es necesario desmontarlo con el fin de realizar un agujero y hacer una rosca en este; para conectar los neplos se utiliza una manguera de silicona marca SAMCO con bridas para ser sujeta.



Figura 19 *Retorno de aceite*
Fuente: Autores

La ubicación del intercooler tiene una gran influencia puesto que este debe ser ubicado donde el aire tenga mayor incidencia en el mismo, es por tal motivo que se coloca en el frente del vehículo en su zona baja, para la sujeción se utiliza platinas y pernos.



Figura 20 Montaje del intercooler
Fuente: Autores



Figura 21 Intercooler adaptado
Fuente: Autores

Para la liberación de presión es necesario instalar una válvula de alivio en este caso se considera una válvula blow off HKS de tipo secuencial, se ubica la válvula en el tubo de aluminio que se encuentra antes del cuerpo de aceleración, esta funciona con una toma del colector de admisión.



Figura 22 *Válvula de alivio blow off*

Fuente: Autores

Para la conexión entre el turbo-intercooler-colector de admisión se utiliza tubos de aluminio de 2.5 pulgadas, uniones y codos de silicona SAMCO de 2.5 pulgadas y para la sujeción entre estos es necesario la instalación de bridas.



Figura 23 *Sistema de sobrealimentación*

Fuente: Autores

4. DISEÑO DE EXPERIMENTO

Es la aplicación del método científico que mediante pruebas ideadas se puede obtener conocimiento sobre un proceso o sistema. Consiste en establecer pruebas o experimentos basados en el ensayo y error, con el fin de responder problemas típicos, que en nuestro caso corresponde a determinar los factores que tienen un impacto sobre una o más características de un producto final, y apoyar al diseño o rediseño de productos o procesos.

Cuando se busca mejorar un proceso, existe 2 métodos para poder lograrlo, el primero mediante herramientas estadísticas que permitan el monitoreo (estrategia pasiva), y el segundo que para nuestro proyecto técnico será utilizado consiste en experimentar, es decir realizar cambios estratégicos y deliberados.

Con el fin de que nuestro estudio experimental sea exitoso se realizara durante 5 días realizando un total de 15 pruebas, obteniendo así valores de par, potencia, emisiones contaminantes y consumo de combustible, las mismas que serán promediadas, estas se obtendrán mediante un banco dinamométrico y un analizador de gases que será operado por un estudiante mientras que otro estará a cargo del manejo del vehículo durante las pruebas, esto supervisado y guiado por un laboratorista de la carrera de ingeniería mecánica automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana.

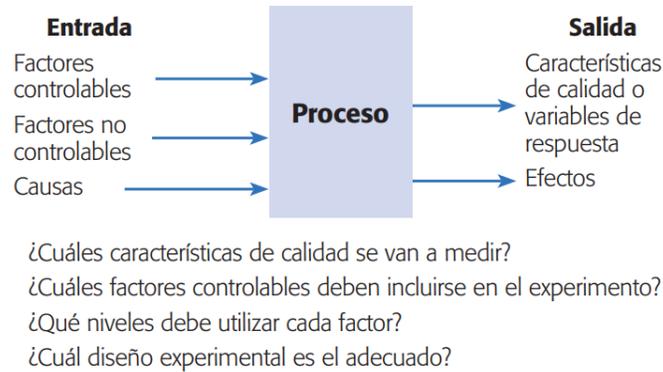


Figura 24 Variables de un proceso y preguntas a responder al diseñar un experimento.

Fuente: (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008)

4.1 Experimento

El presente proyecto tiene por objetivo medir el efecto del cambio en las condiciones de operación de un sistema, y es por tal motivo que el adaptar un turbocompresor a un motor atmosférico corresponde a esto, pues se estaría variando las condiciones de operación de dicho motor al sobrealimentarlo. Las variables en nuestro estudio principalmente es el motor de cuatro cilindros 1.5L puesto que este tiene un impacto directo al modificar su funcionamiento normal con la implementación de un turbocompresor, y por supuesto el consumo de combustible, gases contaminantes, potencia y el torque.

4.1.1 Unidad experimental

Corresponde a una pieza que se utiliza para generar un valor representativo del resultado del experimento, es por tal motivo que nuestra unidad experimental es el turbocompresor y sus componentes anexos tales como: intercooler, válvula blow off, válvula Wastegate.

4.1.2 Variables De Estudio

“Son las variables que se investigan en el experimento, respecto de cómo influyen o afectan a la(s) variable(s) de respuesta.” (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008). Para fines de un diseño experimental es necesario tomar en cuenta únicamente variables que se considera que puede tener efectos sobre la respuesta de interés.

VARIABLES DE ESTUDIO	SIMBOLO	UNIDAD
Intercooler	I	%
Presión del turbo	P_{BOOST}	Kpa
Combustible	R	RON

Tabla 8 Variables de estudio

Fuente: Autores

4.1.3 Variables de bloqueo

Son aquellas que se pueden controlar durante la operación normal del sistema

VARIABLES DE BLOQUEO	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Temperatura de la banda de rodadura	T_{rod}	35	°C
Temperatura del refrigerante	T_{ref}	90	°C
Temperatura del lubricante	T_{lub}	89	°C

Tabla 9 Variables de bloqueo

Fuente: Autores

4.1.4 Variables de ruido

A diferencia de las variables controlables, estas no se pueden controlar durante la operación del sistema, nuestro proyecto considera más relevantes a las siguientes variables:

VARIABLES DE RUIDO	SIMBOLO	UNIDAD
Presión atmosférica	P_{atm}	Pa
Humedad relativa del aire	H_{rel}	%
Temperatura del aire	T_{aire}	°C

Tabla 10 Variables de ruido

Fuente: Autores

4.1.5 Variables de respuesta

Mediante estas se puede conocer los resultados o efectos de cada prueba experimental, el objetivo es encontrar un comportamiento mejor que el actual.

VARIABLES DE RESPUESTA	SIMBOLO	UNIDAD
Potencia	P	Kw
Torque	T	Nm
Fuerza tractora	F	N
Monóxido de carbono	CO	%
Dióxido de carbono	CO ₂	%
Oxígeno	O ₂	%
Hidrocarburos no combustionados	HC	ppm
Óxidos Nitrosos	NO _x	ppm
Consumo específico	C _{esp}	(g/kwh) (l/h)

Tabla 11 Variables de respuesta

Fuente: Autores

4.2 Desarrollo Del Experimento

Para el presente proyecto se ha escogido un diseño experimental de 1 nivel para determinar la influencia de las variables de entrada sobre las variables de salida con el fin de obtener bajas emisiones contaminantes y a la vez una potencia significativa.

4.2.1 Régimen de Giro

Es importante determinar el giro del motor para las prestaciones como para sus emisiones contaminantes. Es necesario utilizar la normativa vigente "CODIFICACION A LA

ORDENANZA QUE NORMA EL ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE REVISION TECNICA VEHICULAR DE CUENCA Y A LA DELEGACION DE COMPETENCIAS A CUENCAIRE, CORPORACION PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE CUENCA” donde se citan a las normas NTE INEN 2 203 2000 gestión ambiental, Aire, Vehículos Automotrices. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí prueba estática y la NTE INEN 2 349:2003 Revisión Técnica Vehicular procedimientos, en las que el régimen de giro de ralentí se establece como el regulado por el motor con un límite máximo de 1100rpm, el segundo régimen de giro esta normado en 2500rpm que para el caso de la unidad experimental el régimen utilizado es a 2000 rpm.

FACTOR	SIMBOLO	NIVEL MAXIMO (+)
REGIMEN DE GIRO	η	2000 RPM

Tabla 12 Niveles de régimen de giro

Fuente: Autores

4.2.2 Intercooler

Los niveles del factor intercooler se basa en la efectividad en su funcionamiento, que con la ayuda del ventilador del banco de pruebas se define su nivel mínimo 0% con el ventilador apagado con lo que no existe un flujo de aire para enfriar el intercooler.



Figura 25 Ventilador del Banco de Pruebas
Fuente: Autores

Su nivel máximo 100% con el ventilador completamente prendido y guiando el flujo de aire directamente al intercooler consiguiendo una máxima incidencia.



Figura 26 Factor al 100 %
Fuente: Autores

Se considera su nivel medio 50 % con el ventilador prendido sin guiar directamente del flujo de aire al intercooler.



Figura 27 Factor al 50 %
Fuente: Autores

Los niveles de factor se muestran en la tabla 12.

FACTOR	SIMBOLO	NIVEL MINIMO	NIVEL INTERMEDIO	NIVEL MAXIMO
INTERCOOLER	I	0%	50%	100%

Tabla 13 Niveles de Factor Intercooler
Fuente: Autores

4.2.3 Presión Del Turbo

Los niveles de la presión de turbo corresponden a la presión que este genera en el colector de admisión. El nivel mínimo 0 % corresponden a la válvula Wastegate completamente abierta con esto los gases resultados de la combustión son desviados sin pasar por turbina y como resultado no existe presión. Su nivel máximo 100% corresponde a la válvula Wastegate completamente cerrada obteniendo como que los gases de escape inciden completamente sobre la turbina y como resultado se obtiene la máxima presión del turbo y el nivel intermedio 50% corresponde a la válvula Wastegate con una apertura media para lo cual la presión será a su media capacidad.

FACTOR	SIMBOLO	NIVEL MINIMO	NIVEL INTERMEDIO	NIVEL MAXIMO
PRESION DEL TURBO	P_{BOOST}	0%	50%	100%

Tabla 14 Niveles de Factor Intercooler

Fuente: Autores

4.2.4 Combustible

Se tiene dos tipos de combustibles para los motores de combustión interna los cuales son: Ecopais y super. Para obtener los niveles del factor gasolina se utiliza la tabla 14 en la cual se describe las mezclas de combustibles para tener el octanaje (RON) necesario.

CONCENTRACIÓN DE GASOLINA SÚPER EN EXTRA											
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
RON	82,1	84,2	85,8	87,1	88,3	89	90	90,7	91,1	91,4	91,5
	81,8	84	86	87,3	88,4	89,1	89,8	90,5	91	91,4	91,3
	81,8	84,1	85,9	87,1	88,3	89,3	90,1	90,4	91	91,3	91,3
	81,9	84	85,9	87	88,4	89,2	89,9	90,6	90,8	91,4	91,2
	81,9	84,1	85,9	87,1	88,5	89,2	89,8	90,3	90,9	91,3	91,2

Tabla 15 Variación de octanaje para diferentes mezclas de combustible

Fuente: (Rivera Campoverde & Chica Segovia, 2015)

El octanaje (RON) de los combustibles afecta el rendimiento y las características de los motores dependiendo a las temperaturas y presiones a las cuales va a estar sometido, por lo cual se considera un nivel mínimo 82 octanos que conseguimos al utilizar solo la gasolina Ecopais. Un nivel máximo 92 octanos que se consigue al utilizar solo la gasolina super y un nivel intermedio de 87 octanos que se consigue al aplicar la mezcla de 30% de gasolina super y el 70% de gasolina Ecopais.



Figura 28 Mezcla de gasolina Ecopais-Super

Fuente: Autores

A continuación, se muestra los niveles de factor combustible.

FACTOR	SIMBOLO	NIVEL MINIMO	NIVEL INTERMEDIO	NIVEL MAXIMO
COMBUSTIBLE	R	82	87	92

Tabla 16 Niveles del Factor Combustible

Fuente: Autores

4.2.5 *Tratamientos*

Definidos los niveles de cada uno de los factores se determina los tratamientos de la corrida experimental.

FACTOR	SIMBOLO	UNIDAD	NIVEL MINIMO	NIVEL INTERMEDIO	NIVEL MAXIMO
INTERCOOLER	I	%	0	50	100
PRESION DEL TURBO	P_{BOOST}	%	0	50	100
COMBUSTIBLE	R	RON	82	87	92

Tabla 17 Niveles Factoriales

Fuente: Autores

Para el diseño experimental de tres factores y un nivel se genera un total de 15 repeticiones, en la siguiente tabla se muestra la matriz de diseño:

RPM	COMBUSTIBLE	CARGA DE TURBO	INTERCOOLER
2000	82	0	50
2000	92	0	50
2000	82	100	50
2000	92	100	50
2000	82	50	0
2000	92	50	0
2000	82	50	100
2000	92	50	100
2000	87	0	0
2000	87	100	0
2000	87	0	100
2000	87	100	100
2000	87	50	50
2000	87	50	50
2000	87	50	50

Tabla 18 Matriz de Diseño Experimental Factorial

Fuente: Autores

4.3 Toma de datos

Teniendo en cuenta los protocolos de medición se obtiene los datos mediante el banco dinamométrico, analizador de gases y contador de combustible.

NOMBRE DEL TRATAMIENTO		COMBUSTIBLE (RON)	CARGA (%)	INTERCOOLER (%)	CO (%)	CO2 (%)	HC (PPM)	O2 (%)	NOX
14H37	12	82	0	50	0.75	12.7	126	3.06	1233
14H55	15	92	0	50	1.96	12.7	156	2.76	938
11H22	1	82	100	50	0.16	12.2	54	3.72	1156
12H20	4	92	100	50	3.46	12.4	150	0.94	1247
12H53	10	82	50	0	0.27	13.1	128	2.88	1237
12H28	5	92	50	0	0.22	13.5	143	2.84	1245
12H54	11	82	50	100	1.72	12.1	186	3.7	947
12H31	6	92	50	100	0.4	13.1	126	2.93	853
14H40	13	87	0	0	1.32	12.4	171	2.66	180
11H49	3	87	100	0	0.32	12.4	97	3.71	989
14H45	14	87	0	100	2.3	12	155	3.01	1126
11H47	2	87	100	100	0.13	11.7	73	4.63	987
12H41	7	87	50	50	0.79	13.9	118	1.56	542
12H43	8	87	50	50	0.19	12.6	160	4.06	525
12H44	9	87	50	50	0.25	12.4	123	4.53	512

Tabla 19 Datos Obtenidos del Experimento

Fuente: Autores

NOMBRE DEL TRATAMIENTO		P Max (kW)	P motor (KW)	P (KW)	F (N)	C (l/100Km)	CM (L/100Km)	C (l/h)	P ATM (BAR)	T AMB
14H37	12	72.63	29.52	15.2	905	12.69	12.9	7.56	0.79	30.4
14H55	15	73.36	29.82	15.8	963	13.7	13.92	8.16	0.79	26.3
11H22	1	71.49	29.06	14.6	895	12.34	12.19	7.24	0.79	29.2
12H20	4	74.02	30.09	18.5	1128	17.5	17.24	10.43	1.03	29.4
12H53	10	72.3	29.39	15	896	12.66	16.8	7.53	0.79	30.1
12H28	5	72.3	29.39	15	908	13.02	16.36	7.7	0.79	29
12H54	11	72.3	29.39	15	900	12.66	16.8	7.53	0.79	30.1
12H31	6	73.16	29.74	15.6	945	13.29	14.51	7.89	0.79	29.1
14H40	13	72.47	29.46	15.1	925	13.76	13.3	8.16	0.79	29.4
11H49	3	73.96	30.06	16.8	998	15.56	15.85	9.37	1.03	28.8
14H45	14	72.78	29.58	15.3	927	12.9	13.06	7.68	0.79	29.1
11H47	2	73.99	30.07	18.7	1145	17.35	17.1	10.24	1.03	28.8
12H41	7	73.45	29.86	15.9	962	13.16	17.56	7.83	0.8	29.7
12H43	8	72.92	29.64	15.4	933	12.26	12.88	7.27	0.79	29.6
12H44	9	73.45	29.86	15.9	924	12.63	13.42	7.52	0.8	29.6

Tabla 20 Datos Obtenidos del Experimento

Fuente: Autores

4.4 Análisis

4.4.1 Monóxido de carbono

En el diagrama de Pareto muestra la ponderación de los efectos principales sobre la emisión de monóxido de carbono, nos señala a la presión del turbo (carga) como el principal responsable de la variación del CO, seguido muy cerca por el combustible (RON) y por la interacción de estos dos últimos factores.

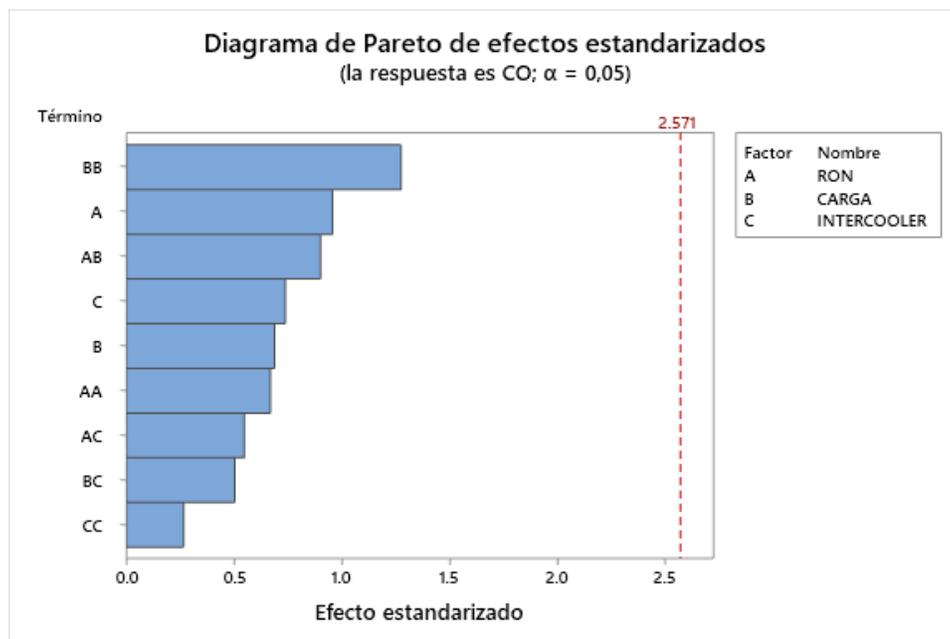


Figura 29 Diagrama de Pareto para CO

Fuente: Autores

Considerando los factores de entrada en la corrida experimental podemos apreciar cómo se comporta el monóxido de carbono frente a estos efectos.

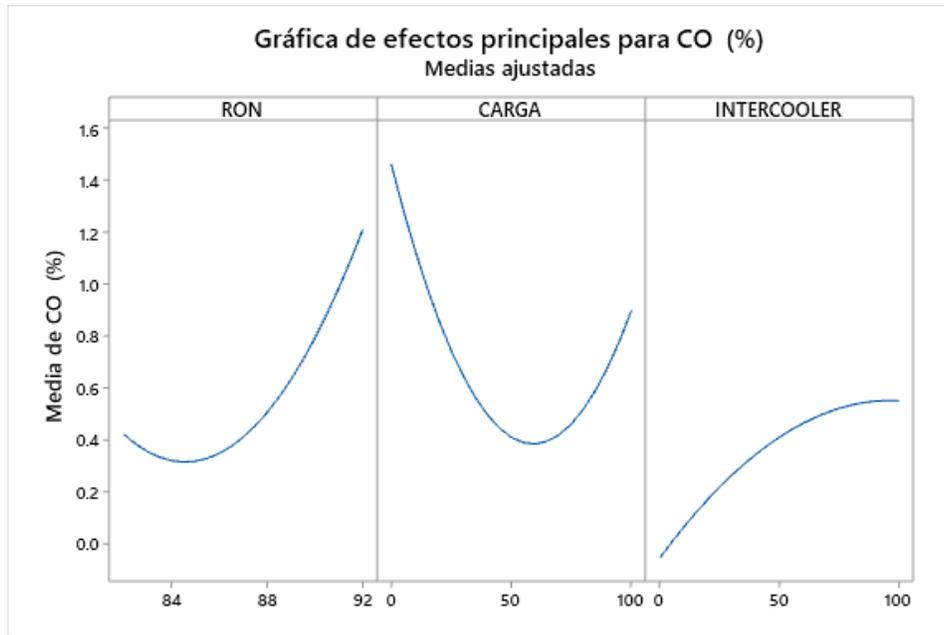


Figura 30 Gráfica de efectos principales para CO
Fuente: Autores

Se puede observar que la mayor variación se da por la presión del turbo (carga) que a una presión nula (0 %) se encuentra el valor más alto de emisiones de monóxido de carbono, con una presión media (50%) se encuentra el valor más bajo de emisiones y con una presión total (100 %) hay un valor intermedio de emisiones. De igual manera el octanaje del combustible tiene una alta influencia sobre la emisión de monóxido de carbono teniendo en cuenta que a mayor octanaje existe un valor alto de emisiones y con valores bajos de octanaje se tiene valores bajos de emisiones. Por último, el intercooler también tiene una influencia considerable con este al 0 % tenemos emisiones bajas y con el mismo al 100 % se tiene emisiones con valores altos.

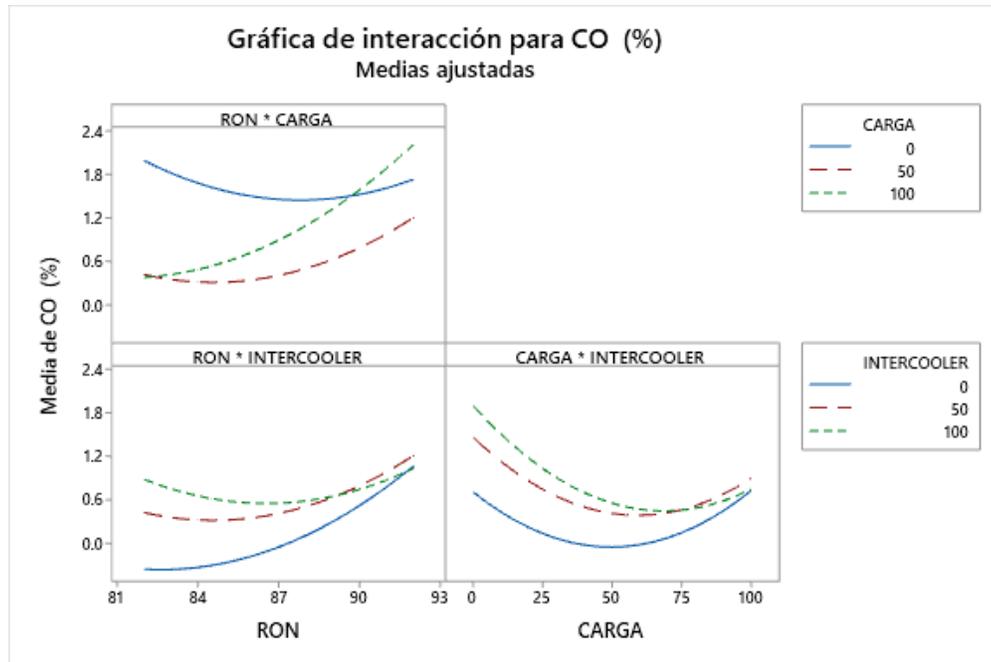


Figura 31 Gráficas de Interacciones para CO
Fuente: Autores

Se observa en la gráfica de interacciones cruces importantes que muestran la interacción entre dos factores de las cuales se tiene:

- RON*CARGA: interacción fuerte
- CARGA*INTERCOOLER: interacción débil
- RON*INTERCOOLER: no hay interacción

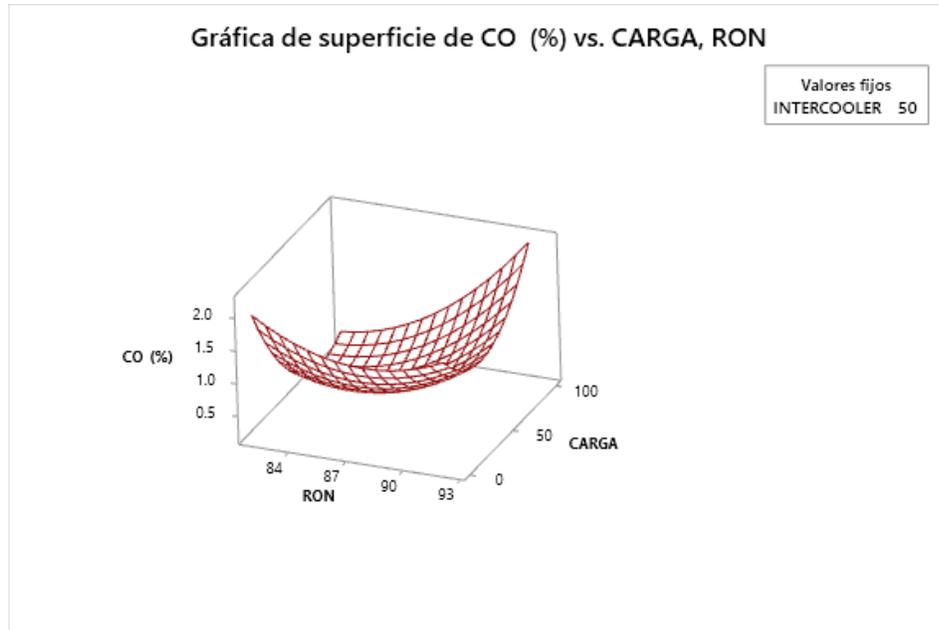


Figura 32 *CO en Función de Presión del Turbo y Combustible*
Fuente: Autores

Del diagrama de Pareto y la gráfica de interacciones se observa la superficie con la variación de la emisión del monóxido de carbono según los efectos que representa al interactuar la presión del turbo con el octanaje del combustible, se puede observar que las mayores emisiones son con una carga alta y con un octanaje alto mientras que las menores emisiones son con una carga alta y con un octanaje de combustible bajo.

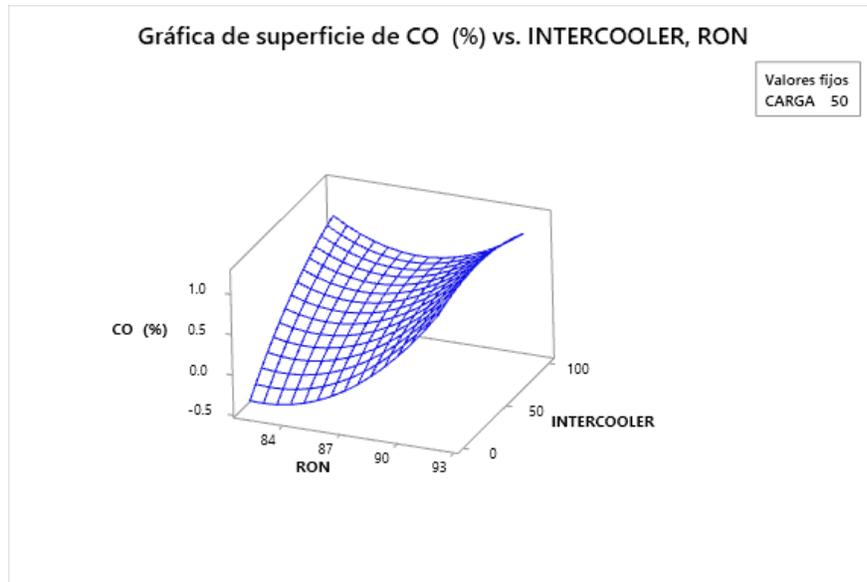


Figura 33 CO en Función del Combustible e Intercooler
Fuente: Autores

Se observa que las mayores emisiones de monóxido de carbono se dan con porcentajes altos del intercooler mientras que el octanaje no tiene una gran importancia en la interacción. Las menores emisiones de monóxido se dan con porcentajes bajos del intercooler y con un valor de octanaje bajo.

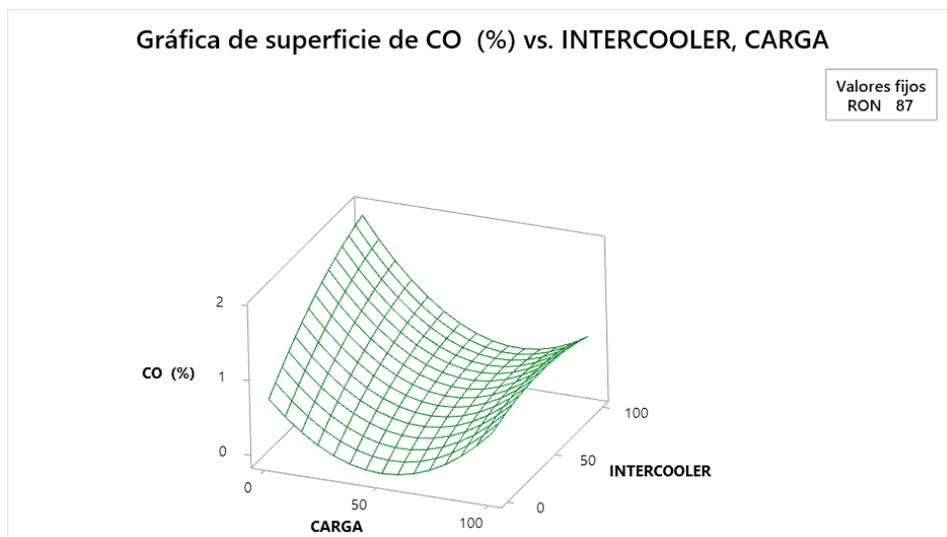


Figura 34 CO en función de Presión del Turbo e Intercooler
Fuente: Autores

Al interactuar la presión del turbo y el intercooler se obtiene bajas emisiones con cargas medias del turbo e intercooler con porcentajes bajos, mientras que altas emisiones se da con bajas cargas del turbo e intercooler con porcentajes altos.

4.4.2 Dióxido de carbono

El diagrama de Pareto nos muestra los efectos sobre el dióxido de carbono, de igual manera que el monóxido de carbono el principal efecto es la presión de carga del turbo seguido por el intercooler por no mucha diferencia y por último sigue el octanaje de combustible con un valor considerable.

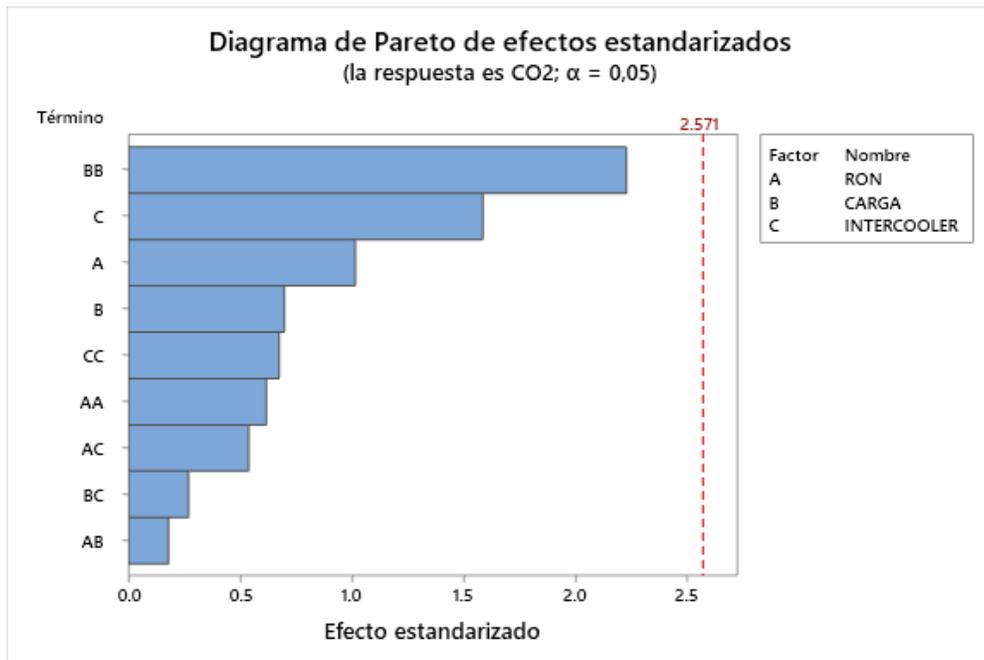


Figura 35 Diagrama de Pareto para CO₂
Fuente: Autores

Cada factor de estudio afecta de una manera diferente a la emisión de dióxido de carbono.

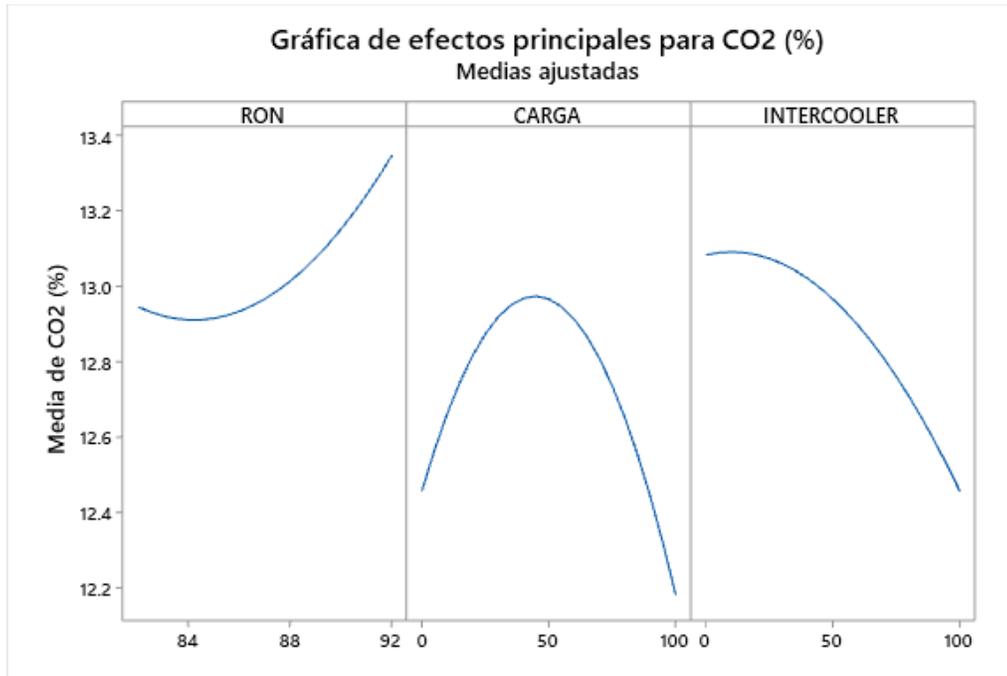


Figura 36 Gráfica de Efectos Principales para CO2

Fuente: Autores

De igual manera que el diagrama de Pareto se observa un gran efecto de la presión del turbo (carga) a mayor y menor carga corresponde a una emisión baja de dióxido de carbono, para una emisión alta la carga es media. En el caso de variar el octanaje de combustible si este es bajo como resultado se tiene baja emisión, caso contrario la emisión es alta; finalmente con el intercooler con porcentaje bajo la emisión es alta y con porcentaje alto estas emisiones son mayores.

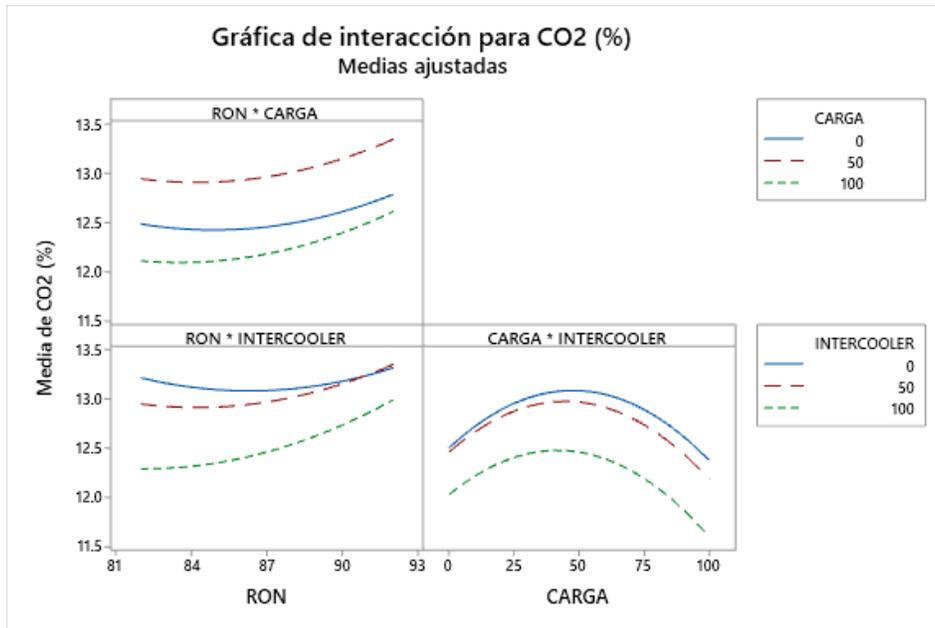


Figura 37 Gráfica e Interacciones para CO2
Fuente: Autores

El diagrama de interacciones muestra los cruces producidos por los factores, la interacción más relevante es una débil entre el combustible y el intercooler, en el caso de las demás no hay interacciones.

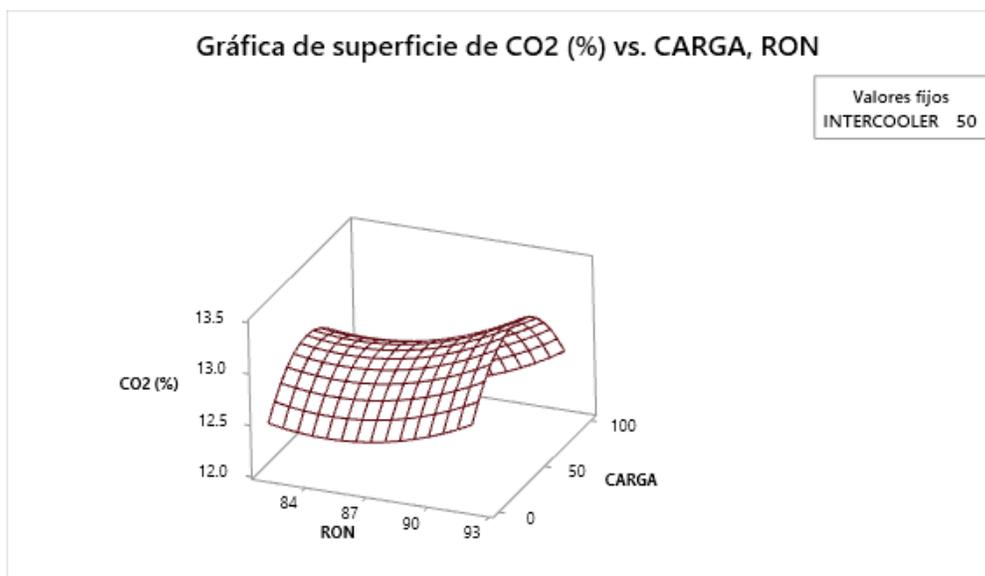


Figura 38 CO2 en Función del Combustible y Presión del Turbo
Fuente: Autores

La emisión de dióxido de carbono se comporta de manera cuadrática con respecto a la presión de carga del turbo y lineal con respecto al octanaje de combustible, la emisión es menor con valores de presión máximas y mínimas, el octanaje de combustible no tiene mayor influencia para el valor de la emisión.

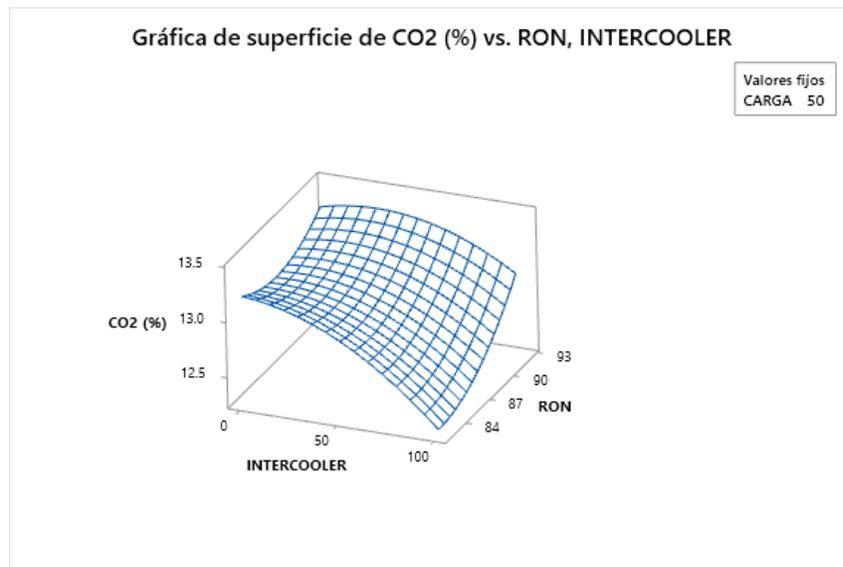


Figura 39 *CO2 en función de Intercooler y Combustible*
Fuente: Autores

Los factores intercooler y octanaje de combustible tienen mayor interacción por lo que como se observa la emisión mínima de dióxido de combustible se produce con el intercooler con porcentaje alto y con un octanaje bajo de combustible, una emisión alta se produce con un porcentaje mínimo del intercooler, en esta zona el combustible no genera una mayor variación con la emisión de dióxido de carbono.

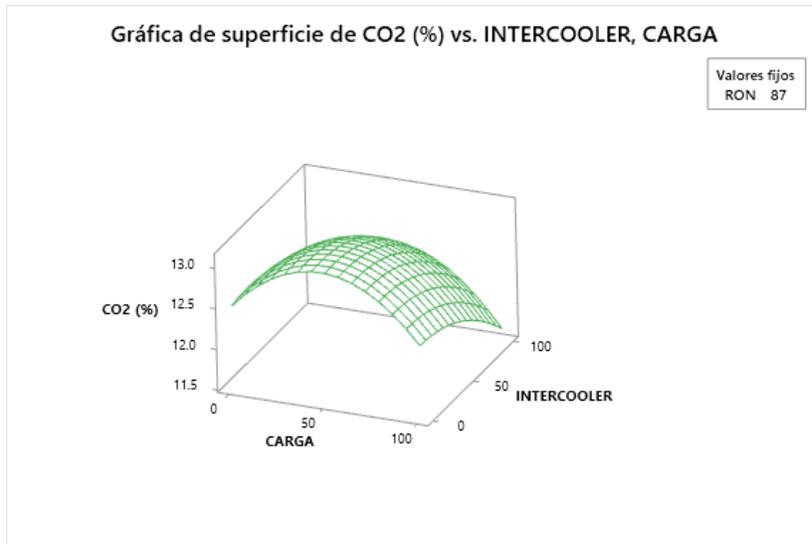


Figura 40 CO2 en función de Intercooler y Presión del Turbo

Fuente: Autores

En la interacción de presión del turbo y del intercooler se obtiene bajas emisiones con cargas del turbo bajas y altas con el intercooler a su mayor porcentaje.

4.4.3 Hidrocarburos no combustionados

La emisión de Hidrocarburos no Combustionados según el diagrama de Pareto se debe principalmente a la presión del turbo seguido de la interacción del combustible e intercooler y de la interacción entre el combustible y la presión del turbo.

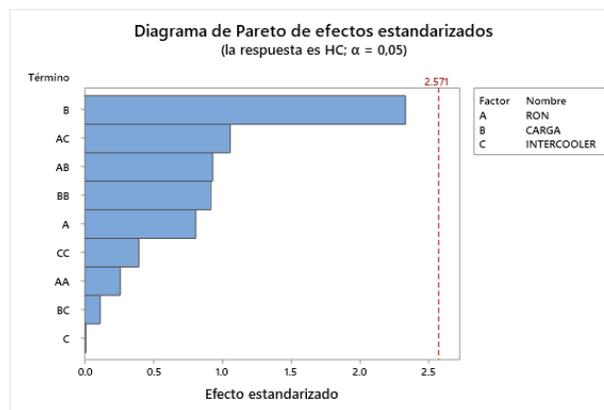


Figura 41 Diagrama de Pareto para HC

Fuente: Autores

La emisión de los hidrocarburos no combustionados como se indicó en el diagrama de Pareto depende principalmente de la presión del turbo.

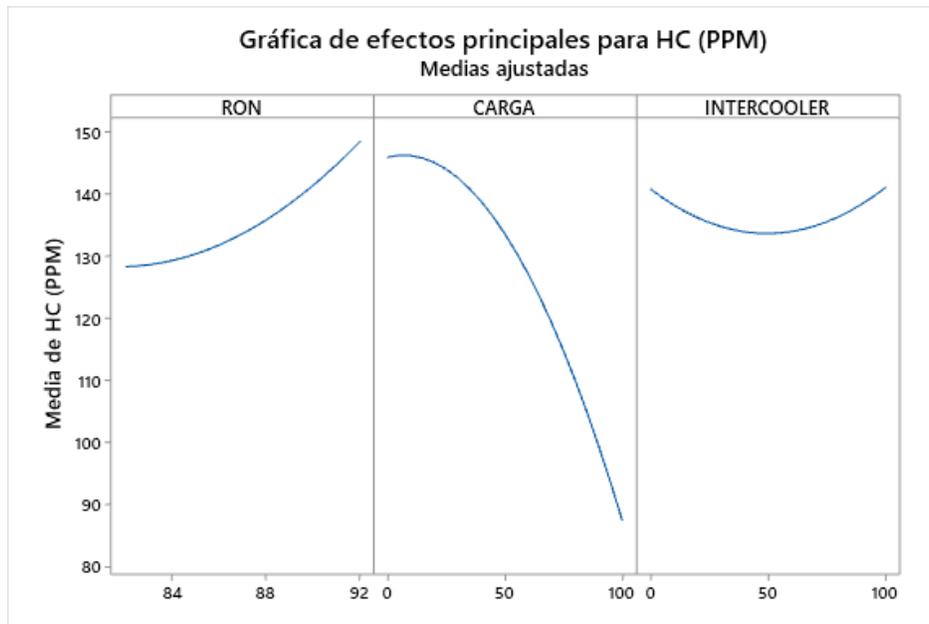


Figura 42 Gráfica de efectos Principales para HC
Fuente: Autores

La emisión de hidrocarburos no combustionados es mayor con una mínima carga del turbo y con un combustible con octanaje superior y con porcentajes máximos y mínimos del intercooler, la emisión es mínima por efecto de una máxima carga del turbo. Se puede considerar una emisión intermedia debido a un combustible con octanaje bajo y porcentaje medio del intercooler.

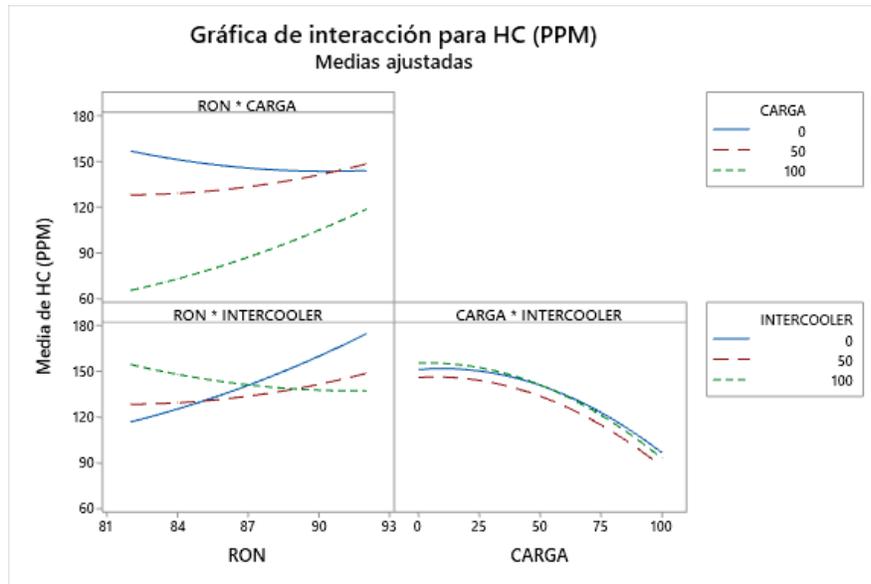


Figura 43 Gráfica de Interacciones para HC
Fuente: Autores

Se tiene una interacción fuerte entre el combustible-presión del turbo, también se observa una interacción débil entre el combustible-intercooler y no existe una interacción entre la presión del turbo-intercooler.

Gráfica de superficie de HC (PPM) vs. RON, CARGA

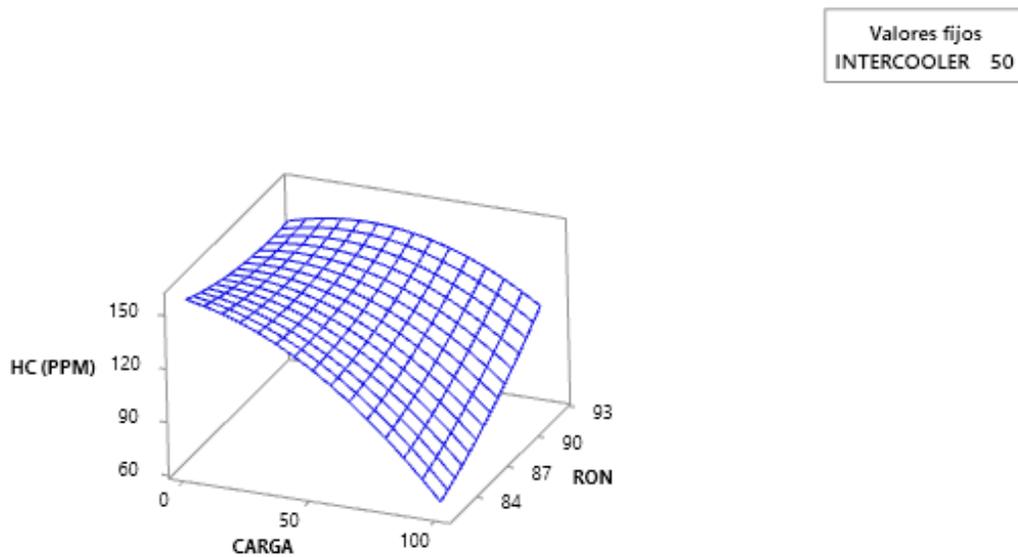


Figura 44 HC en función de Combustible y Presión del Turbo
Fuente: Autores

Con la gráfica de la superficie de la emisión de hidrocarburos no combustionados estas son altas con una carga del turbo mínimo, en esta zona el octanaje del combustible no tiene gran influencia en la emisión, mientras que las emisiones mínimas son con una carga máxima del turbo y con un octanaje alto del combustible.

Gráfica de superficie de HC (PPM) vs. RON, INTERCOOLER

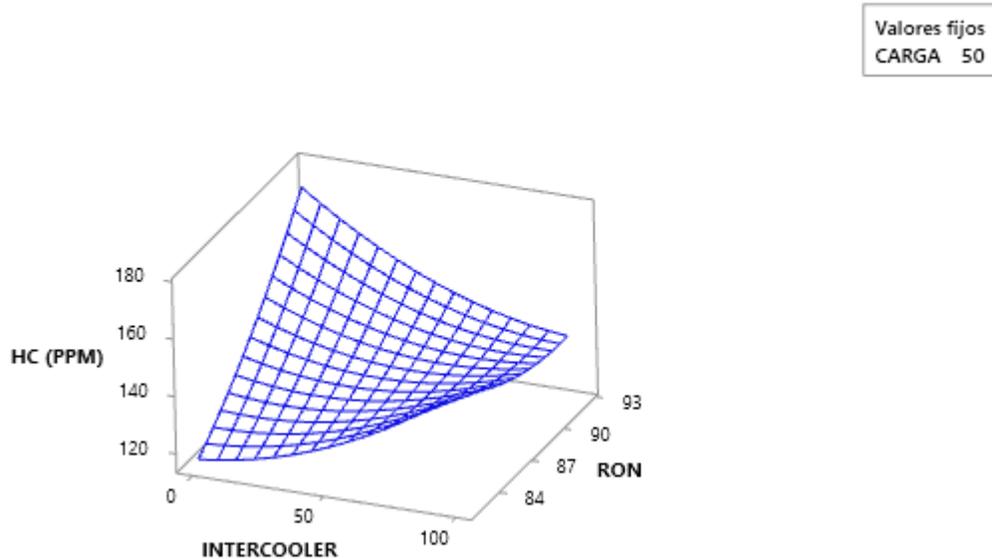


Figura 45 HC en función del Combustible e Intercooler

Fuente: Autores

La emisión de los hidrocarburos no combustionados analizando la interacción del combustible e intercooler con un porcentaje bajo y con un combustible con octanaje alto, la emisión es mínima con los factores al mínimo y con los dos factores al máximo.

Gráfica de superficie de HC (PPM) vs. INTERCOOLER, CARGA

Valores fijos
RON 87

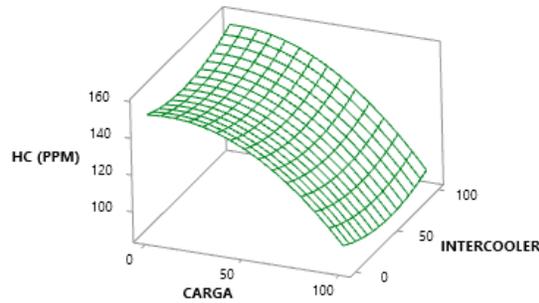


Figura 46 HC en función de Intercooler y Presión del turbo

Fuente: Autores

En la interacción presión del turbo-intercooler se observa que la emisión de hidrocarburos no combustiónados depende del efecto de presión del turbo mientras mayor es la carga mayor emisiones y viceversa, es evidente que el intercooler no tiene una mayor influencia.

4.4.4 Oxígeno

El oxígeno presente en los gases de escape tiene como principal responsable al factor del octanaje de combustible y muy seguido por la interacción del combustible con la presión del turbo, esto está expresado en el siguiente diagrama de Pareto.

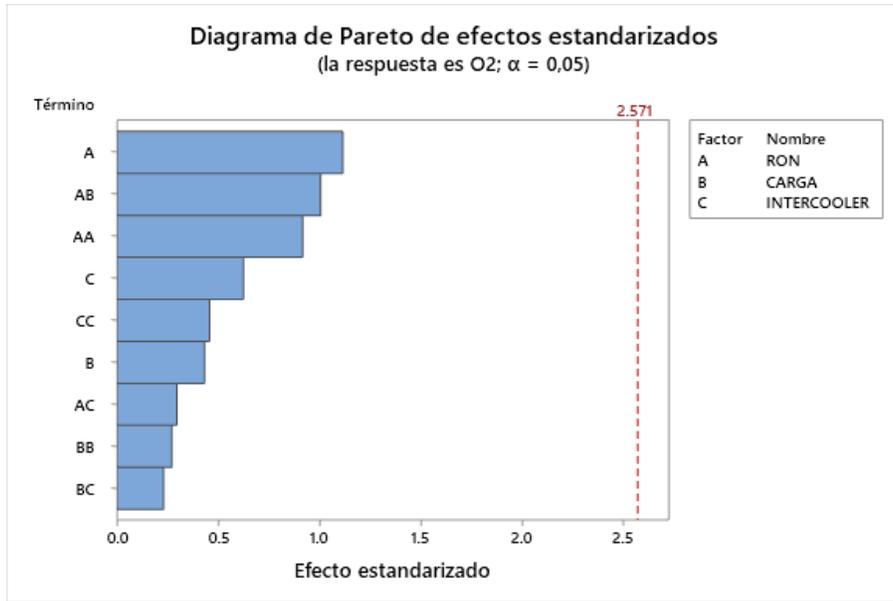


Figura 47 Diagrama de Pareto para O2
Fuente: Autores

Los diferentes efectos sobre el oxígeno que causan los diferentes factores se muestran a continuación.

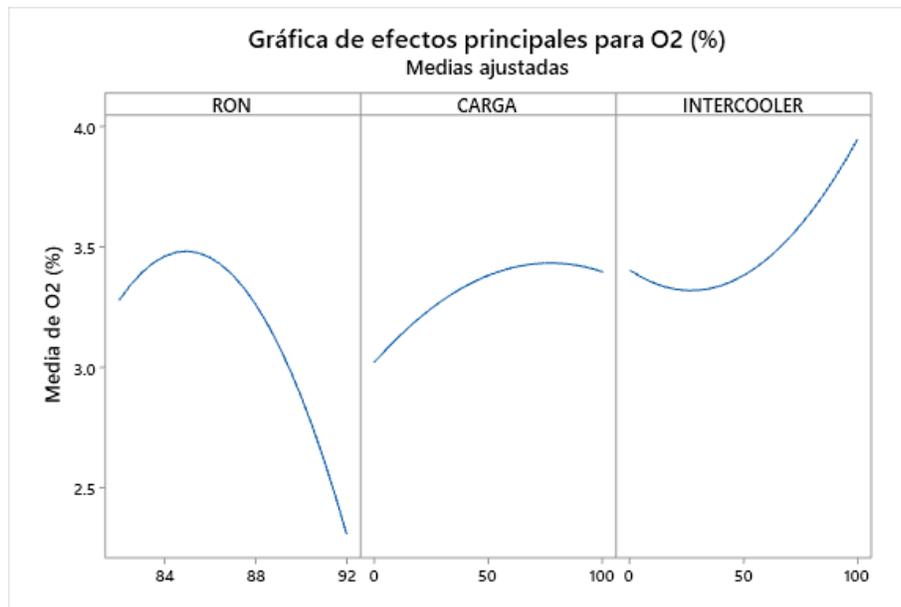


Figura 48 Gráfica de efectos Principales para O2
Fuente: Autores

Se tiene altas concentraciones de oxígeno con un octanaje de combustible bajo y lo contrario con octanaje alto. También se observa que la máxima concentración de oxígeno depende del intercooler, en este caso trabajando a su nivel máximo y una concentración media principalmente depende de la carga del turbo.

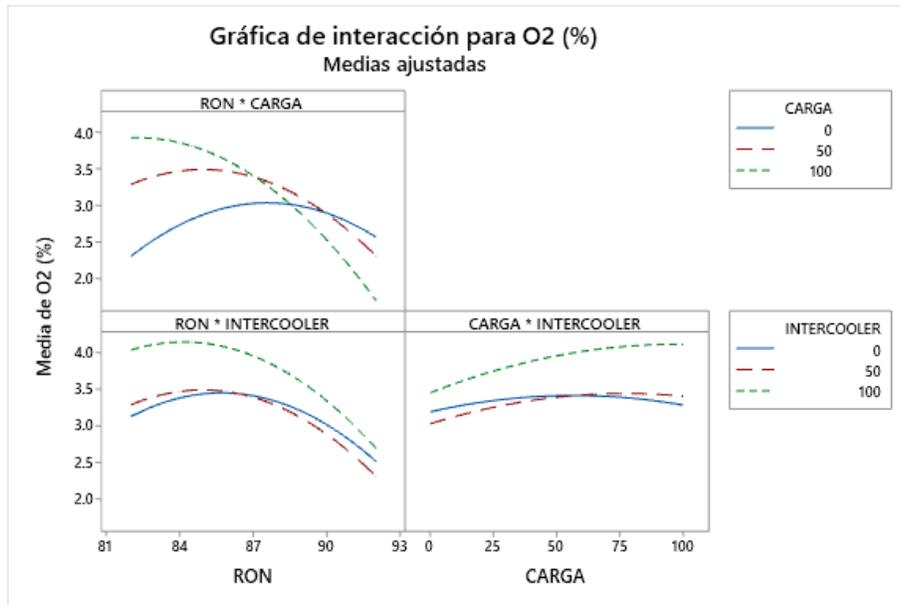


Figura 49 Gráfica de Interacciones para O₂
Fuente: Autores

Como indico el diagrama de Pareto una de los principales factores que afectan al comportamiento del oxígeno es la interacción entre el combustible y la presión del turbo, la cual la consideramos una interacción fuerte y tenemos interacciones débiles entre combustible-intercooler y presión del turbo-intercooler.

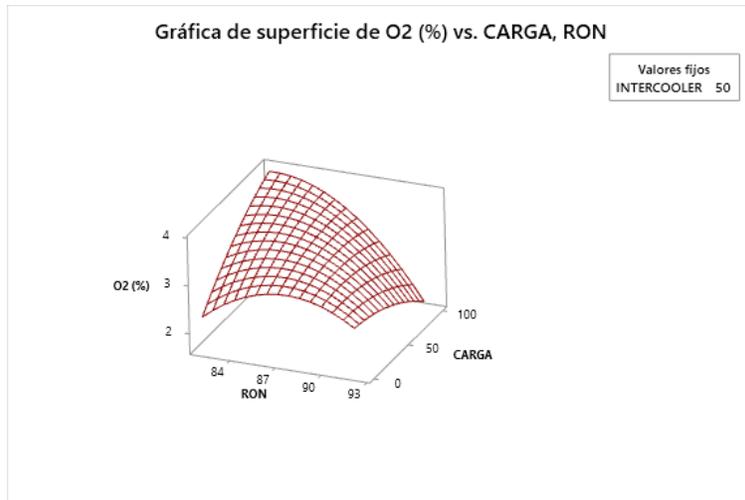


Figura 50 O2 en función del Combustible y Presión del Turbo
Fuente: Autores

Al interactuar los dos factores se evidencia la mayor emisión en la zona de poco octanaje de combustible y una presión de turbo alta, de igual manera en la zona de presiones bajas el combustible no es muy relevante, así como en la zona de altos octanajes la carga del turbo no tiene mucha influencia.

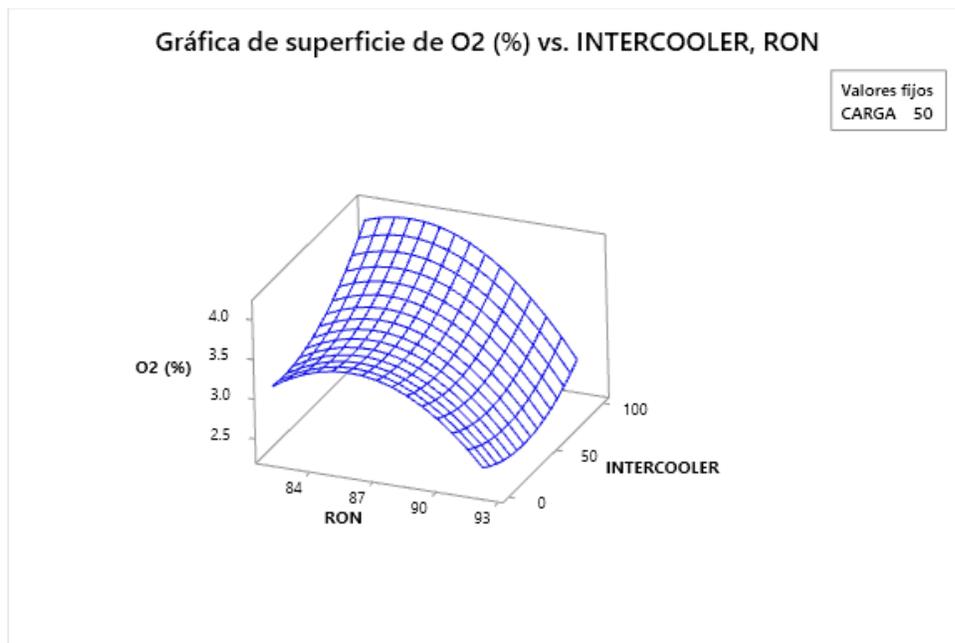


Figura 51 O2 en función de Combustible e Intercooler
Fuente: Autores

El comportamiento de la emisión de oxígeno con respecto al tipo de combustible es cuadrático y respecto al intercooler se comporta de una manera casi lineal, al incrementar el octanaje y el nivel de eficiencia del intercooler tenemos niveles altos de emisión de oxígeno.

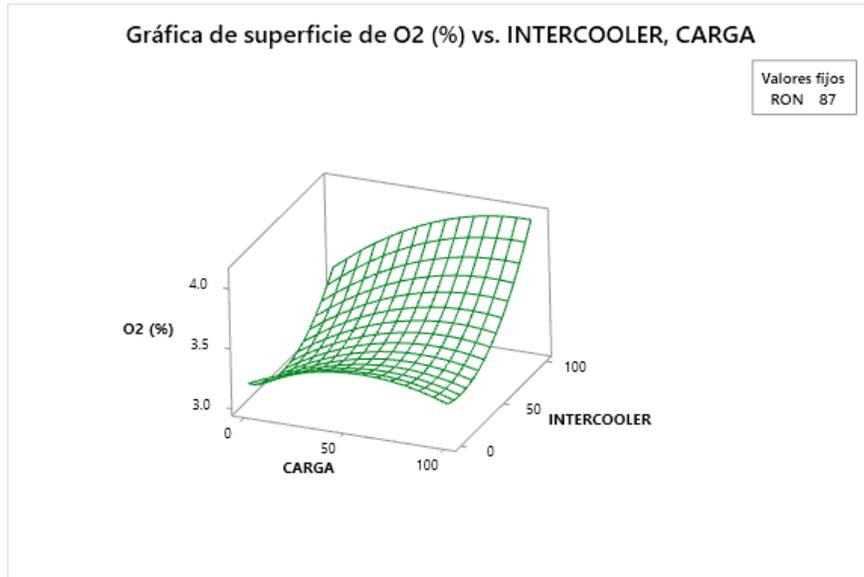


Figura 52 O2 en función de Presión del Turbo e Intercooler
Fuente: Autores

La interacción de estos dos factores genera un alto grado de emisión de oxígeno, en valores altos de carga e intercooler generan bajas emisiones de oxígeno y principalmente con porcentajes bajos del intercooler en este punto la carga del turbo no tiene mayor relevancia.

4.4.5 Óxidos Nitrosos

El principal efecto que causa la emisión de óxidos nitrosos es el combustible empleado en el experimento seguido de la interacción carga-intercooler.

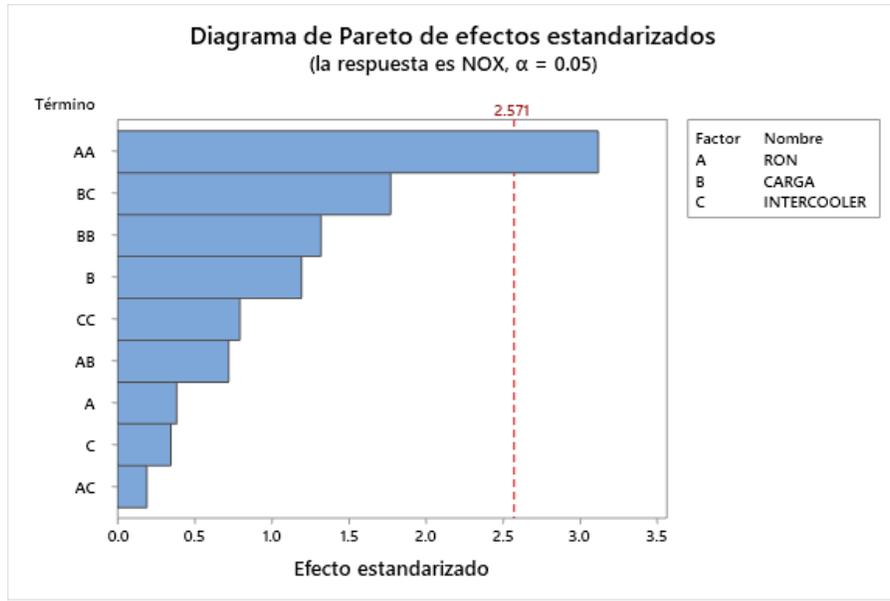


Figura 53 Diagrama de Pareto para NOx
Fuente: Autores

Como indica el diagrama de Pareto hay una gran influencia de la presión del turbo para la emisión de NOx.

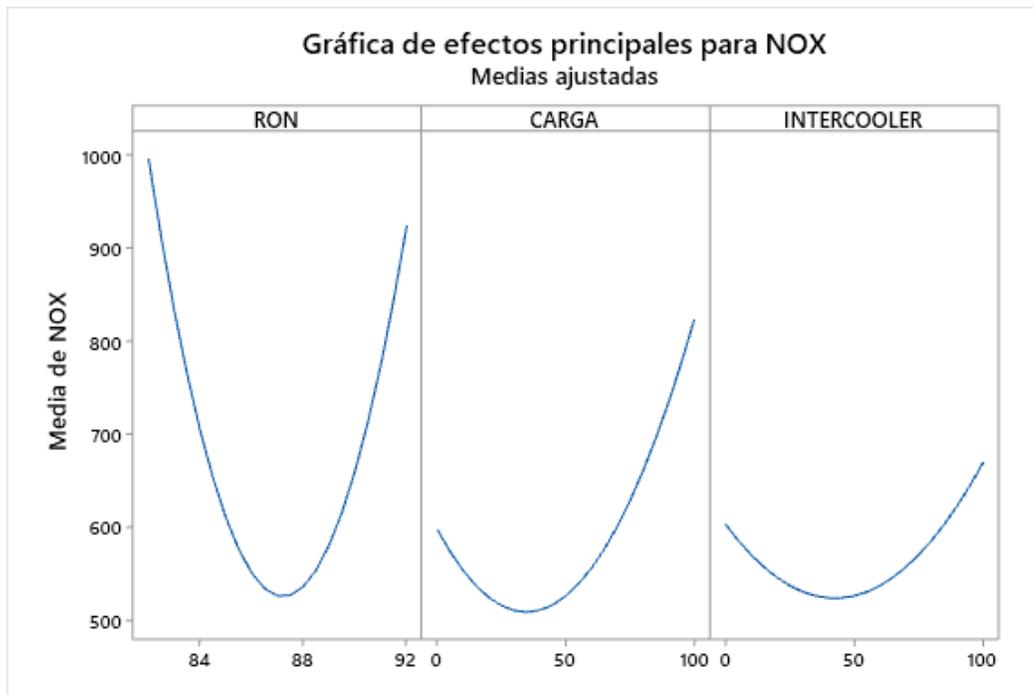


Figura 54 Gráfica de Efectos Principales para NOx
Fuente: Autores

Altos y bajos octanajes del combustible generan altas emisiones de óxidos nitrosos, este efecto también lo causa un valor alto de presión del turbo, el factor intercooler no actúa con gran relevancia para generar la emisión de NOx.

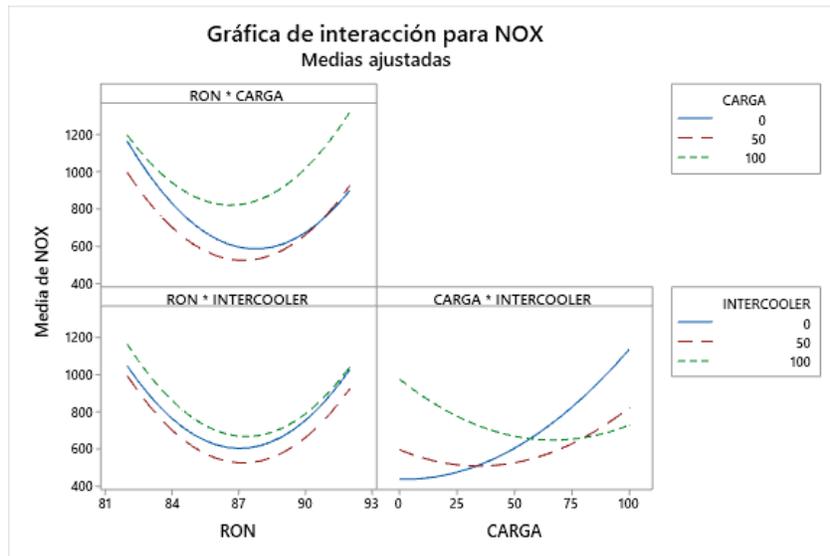


Figura 55 Gráfica de Interacciones para NOx
Fuente: Autores

La interacción fuerte presente es la que se da entre los factores de la presión del turbo e intercooler, también existe una interacción débil entre los factores de presión del turbo y el combustible, estas interacciones influyen en la emisión de óxidos nitrosos.

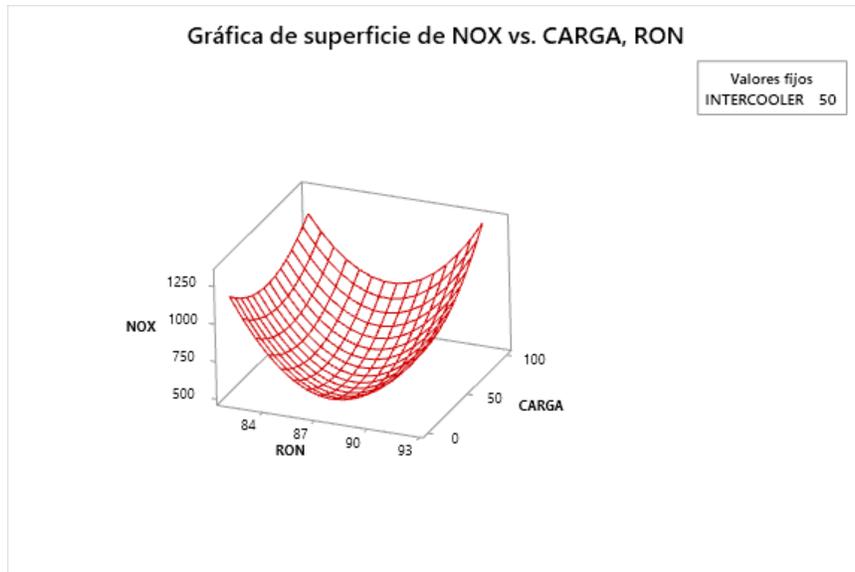


Figura 56 *NOx en Función entre Presión de Turbo y Combustible*
Fuente: Autores

En zonas altas y bajas del octanaje del combustible se tiene valores altos de óxidos nitrosos, en estas zonas la presión del turbo genera un poco de variación de emisión. En octanaje medio se considera valores mínimos de óxidos nitrosos.

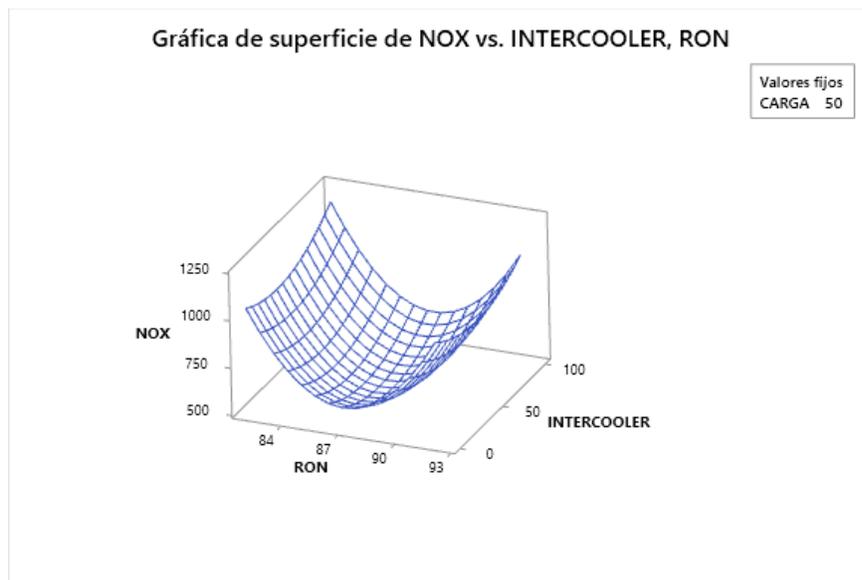


Figura 57 *NOx en función de Combustible e Intercooler*
Fuente: Autores

Al interactuar el intercooler con el combustible las zonas del factor combustible son las que más influyen con la emisión de óxidos nitrosos, el factor intercooler genera pocas variaciones en las emisiones.

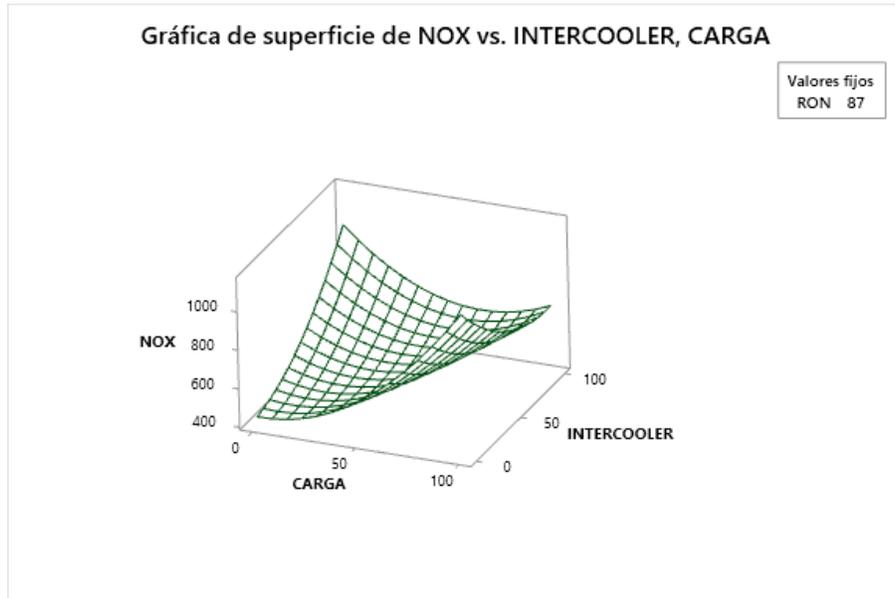


Figura 58 NOx en función de Presión del Turbo e Intercooler
Fuente: Autores

Las mayores emisiones de NOx se dan en las zonas de poca presión del turbo y altos niveles de intercooler, también en la zona de alta presión del turbo y niveles bajos de intercooler; mientras que para menores emisiones sucede en las zonas contrarias que las descritas anteriormente.

4.4.6 Consumo De Combustible

El principal factor que afecta al consumo de combustible es la presión del turbocompresor ejercida en el motor, como segundo factor con gran influencia en el consumo es el octanaje del combustible utilizado en el experimento, seguido muy cerca de la combinación de estos dos factores.

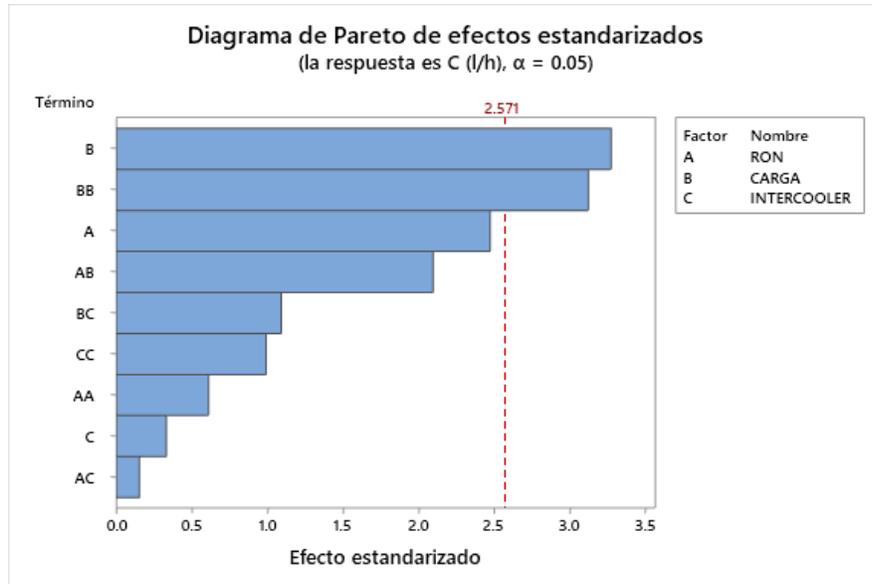


Figura 59 Diagrama de Pareto para el Consumo de Combustible
Fuente: Autores

El diagrama de Pareto podemos observar cómo se comportan los factores para variar el consumo de combustible.

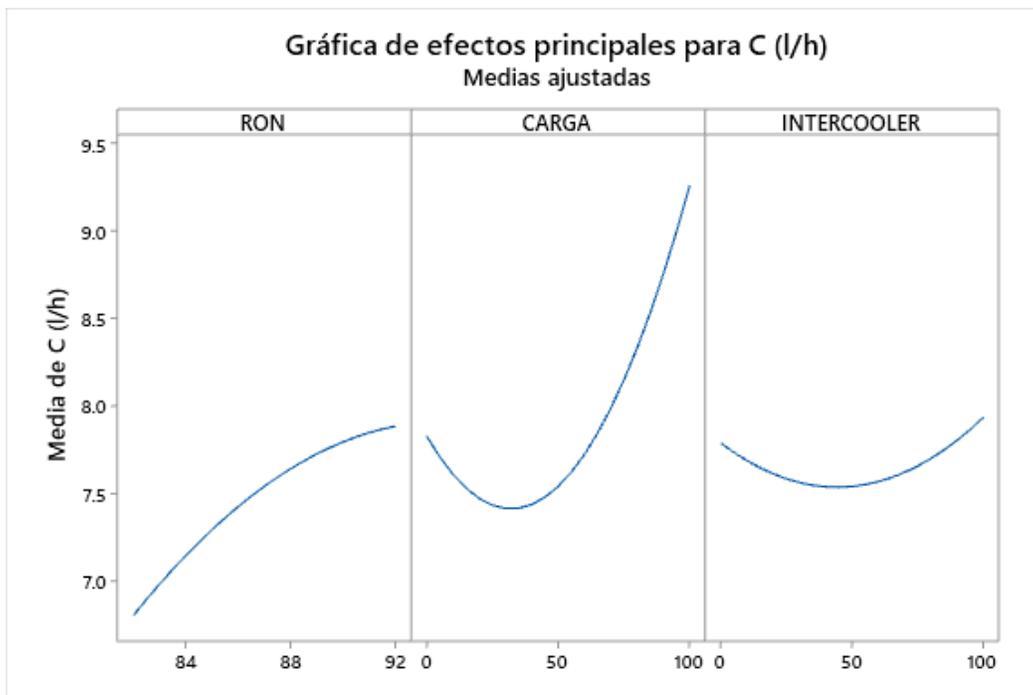


Figura 60 Gráfica de Efectos Principales para el Consumo de Combustible
Fuente: Autores

El mayor consumo de combustible se da con una carga del turbo en niveles altos y con niveles bajos se podría decir un consumo intermedio, en este punto también se encuentra combustibles con octanajes altos (super), mientras que con una gasolina como el caso de Ecopais el consumo es bajo, a la vez que el intercooler no tiene mayor importancia en la variación del consumo.

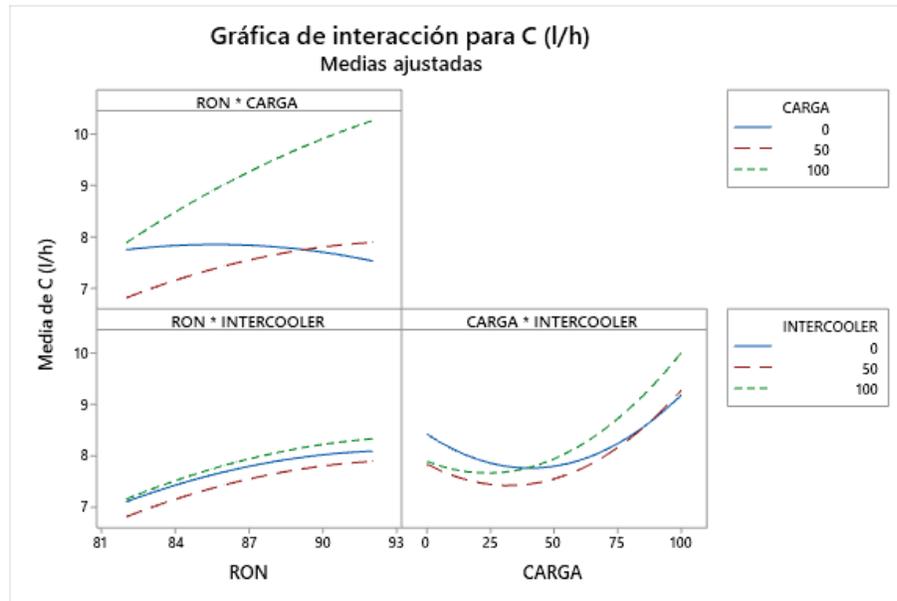


Figura 61 Gráfica de Interacciones para el Consumo de Combustible
Fuente: Autores

Como se mostró en el diagrama de Pareto la interacción fuerte se encuentra entre la calidad de combustible y la presión del turbo y no existe más interacciones relevantes entre los demás factores.

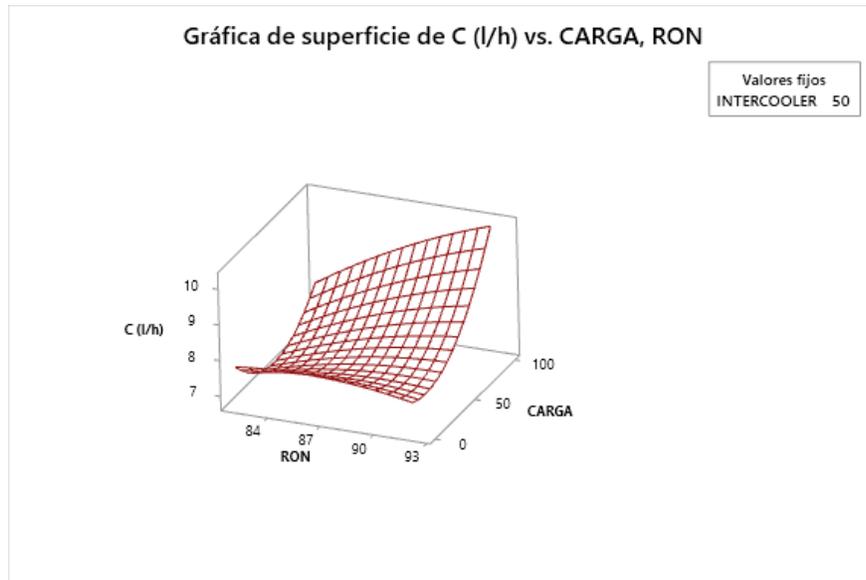


Figura 62 Consumo de Combustible en Función a la Presión del turbo y Combustible
Fuente: Autores

La relación entre la presión de carga del turbo y el octanaje de combustible se observa en la imagen anterior, que se destaca que al intervenir un combustible con niveles de octanaje altos combinado con cargas altas del turbo el consumo de combustible está en su máximo valor, para consumos intermedios se da por una interacción entre combustible con bajo octanaje y con cargas altas del turbo. Un consumo bajo tiene relación directa con la presión del turbo ya que no es muy relevante el combustible en este punto.

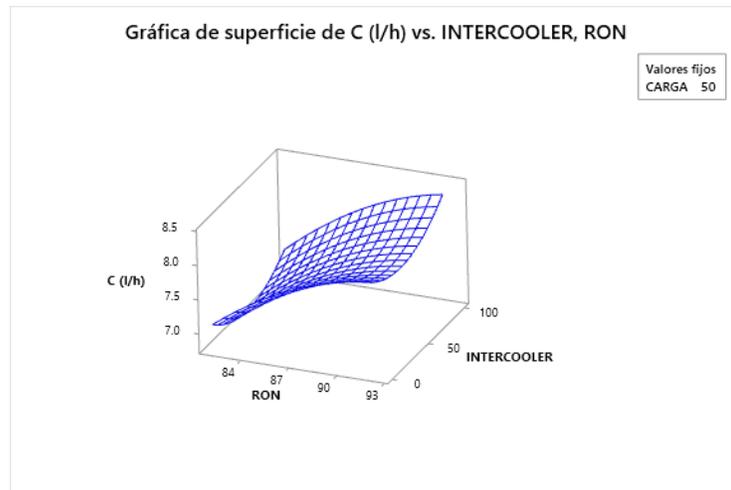


Figura 63 Consumo de Combustible en Función del Intercooler y Combustible
Fuente: Autores

Entre la interacción del intercooler y el combustible el factor que tiene mayor importancia corresponde al octanaje pues al ser mayor este de igual manera será el consumo, cabe recalcar que el intercooler no tiene mayor relevancia.

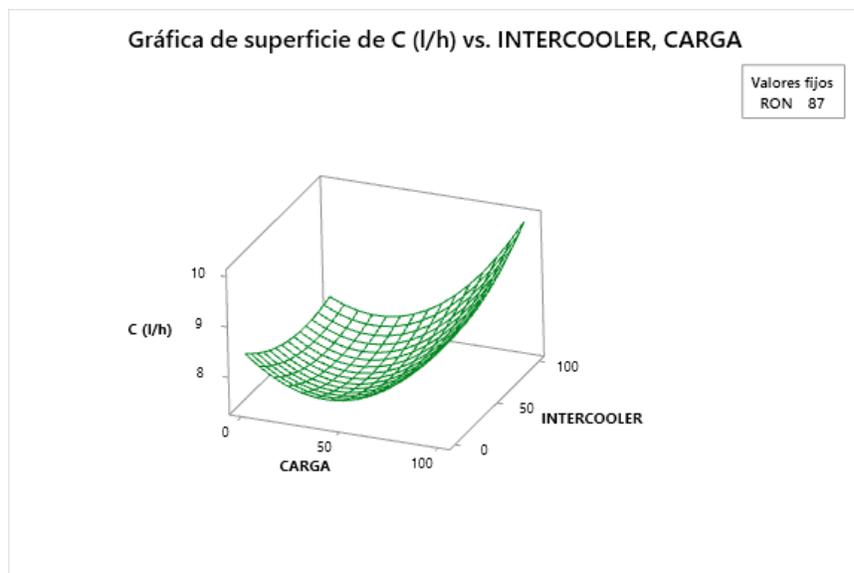


Figura 64 Consumo de Combustible en Función del Intercooler y la Presión del Turbo
Fuente: Autores

De igual manera la carga del turbo tiene una relevante importancia al interactuar con el intercooler.

4.4.7 Potencia

La potencia depende principalmente del factor de combustible seguido por la interacción entre el combustible y la presión que entrega el turbo, este último factor también tiene significativamente importancia en la variación de la potencia.

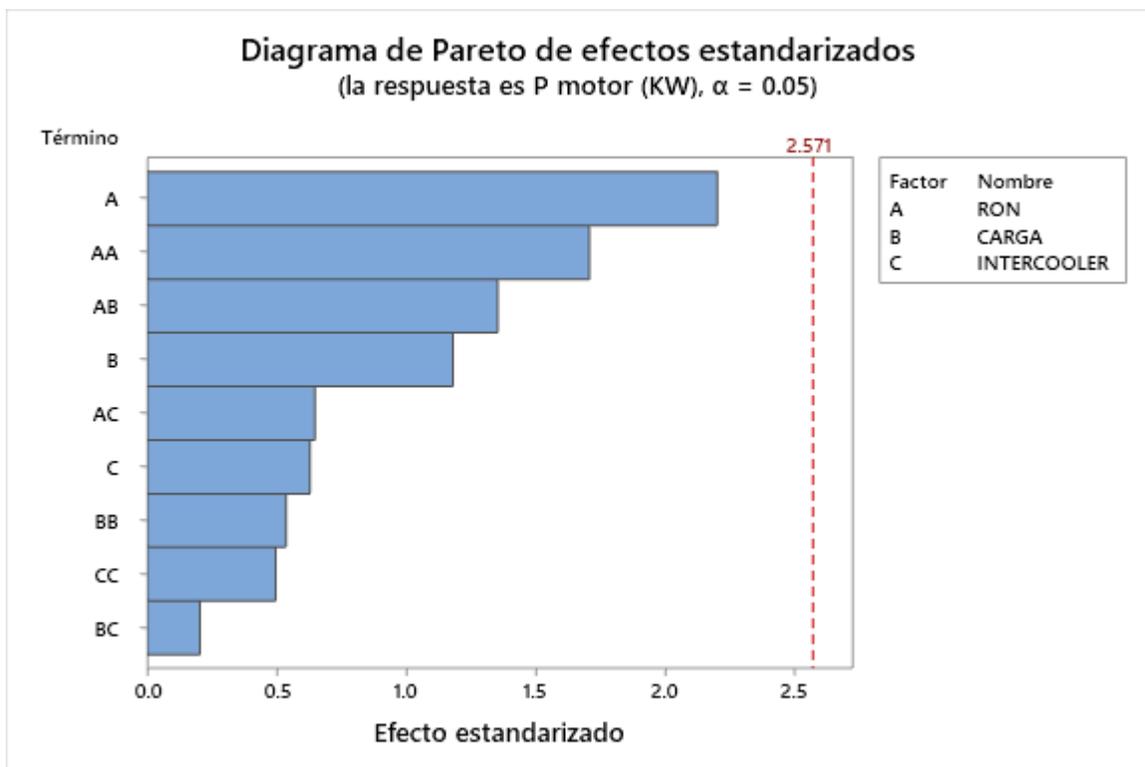


Figura 65 Diagrama de Pareto para la Potencia
Fuente: Autores

Es importante tener en cuenta que existen también interacciones significativas indicadas en el diagrama de Pareto.

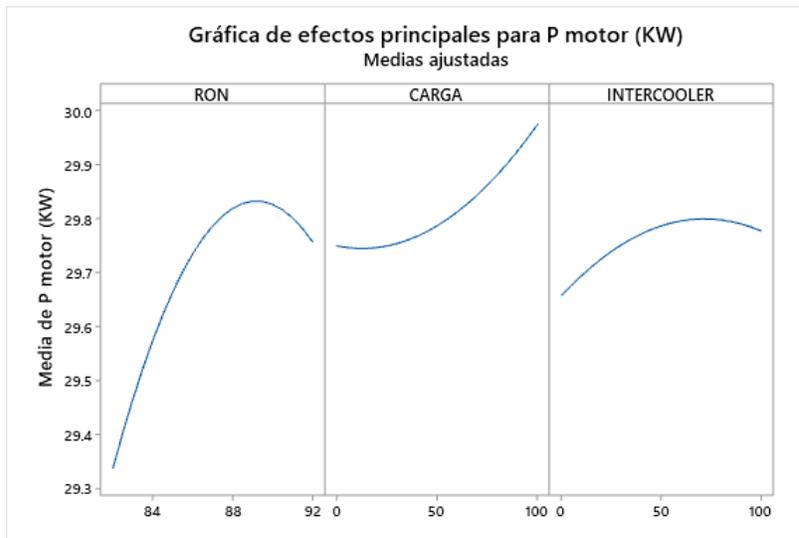


Figura 66 Gráfica de Efectos Principales para la Potencia
Fuente: Autores

Se evidencia que el combustible tiene una gran incidencia sobre la potencia, hace que esta varíe con mayor fuerza con respecto a los demás factores puesto que la potencia subirá con un tipo de combustible con alto octanaje y a presiones altas. El intercooler tiene una mínima incidencia.

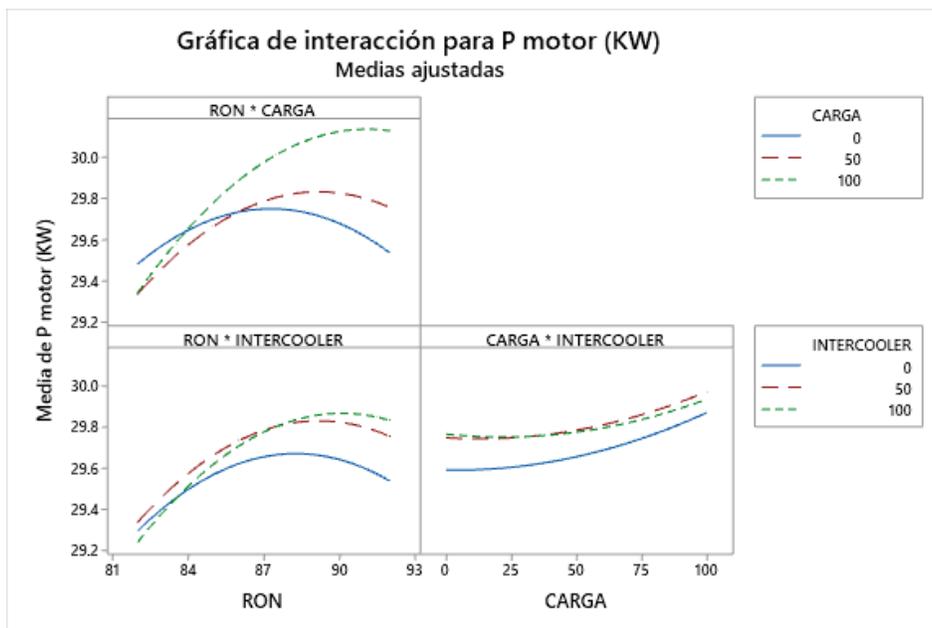


Figura 67 Gráfica de Interacciones para la Potencia
Fuente: Autores

Una interacción fuerte en el experimento se encuentra entre el combustible y la presión del turbo, también se puede apreciar interacciones débiles entre el combustible-intercooler y presión del turbo-intercooler.

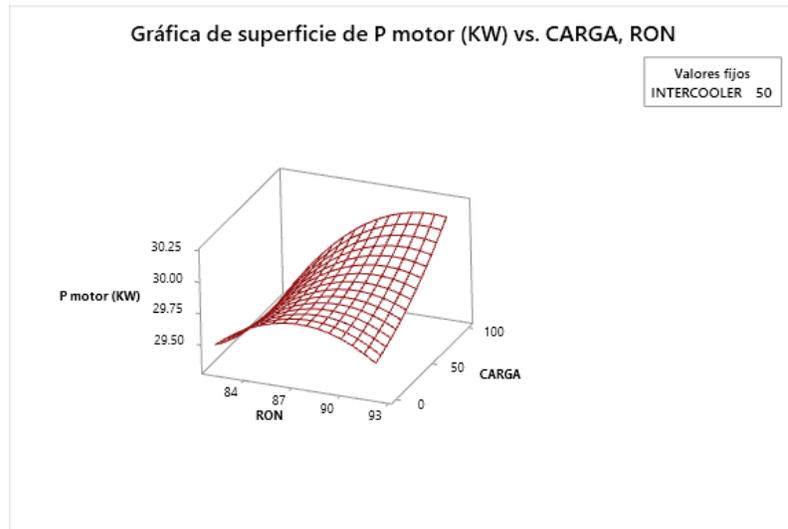


Figura 68 Potencia en función del Combustible y la Presión del turbo
Fuente: Autores

Se obtiene la mayor potencia al incrementar la carga que ofrece el turbo siempre y cuando se emplee una buena calidad de combustible (octanaje alto), sin embargo, no existe mayor incidencia al incrementar el octanaje si no se incrementa la presión del turbo.

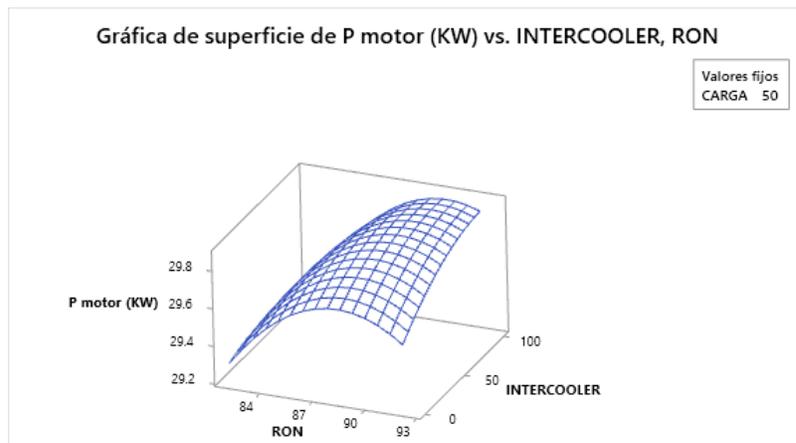


Figura 69 Potencia en Función del Intercooler y Combustible
Fuente: Autores

El combustible tiene una mayor importancia al interactuar con el intercooler puesto que se puede observar que variando el octanaje varia la potencia y el factor intercooler no genera una mayor influencia en los diferentes puntos donde se ubica el combustible.

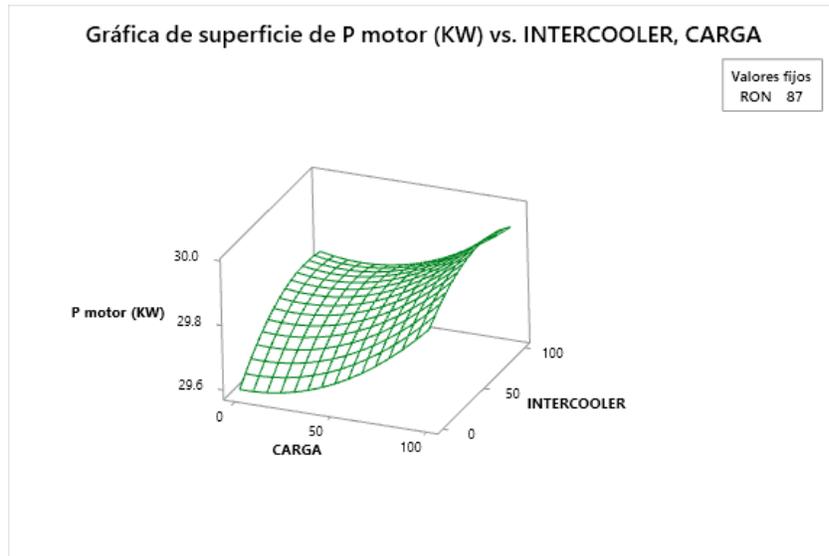


Figura 70 Potencia en Función del Intercooler y la Presión del turbo
Fuente: Autores

El intercooler genera una mayor variación con cargas bajas del turbo y en cargas altas no crea mayores variaciones con respecto a la potencia.

4.4.8 Fuerza tractora

El diagrama de Pareto indica que el factor de la presión del turbo tiene una mayor incidencia sobre la fuerza tractora seguida por el combustible y las interacciones entre combustible-presión de turbo y presión del turbo-intercooler.

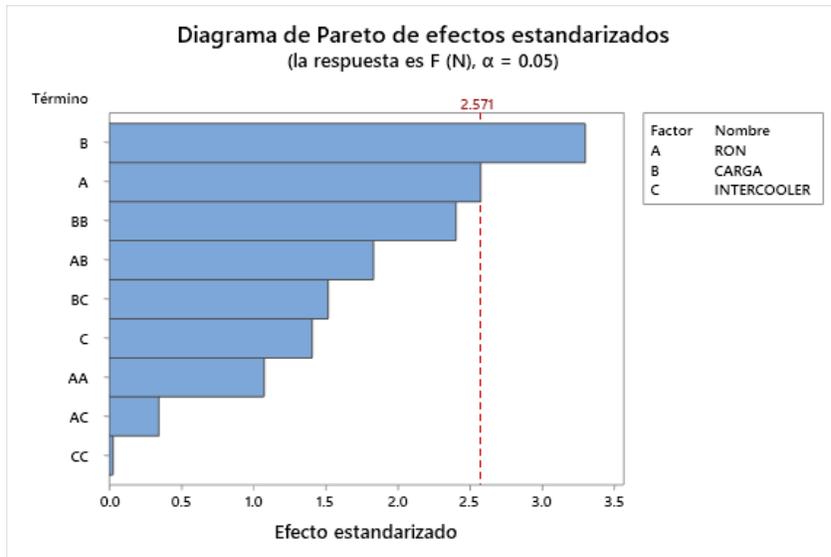


Figura 71 Diagrama de Pareto para la Fuerza Tractora
Fuente: Autores

Para la fuerza tractora todos sus factores y sus interacciones presentan una gran influencia sobre esta.

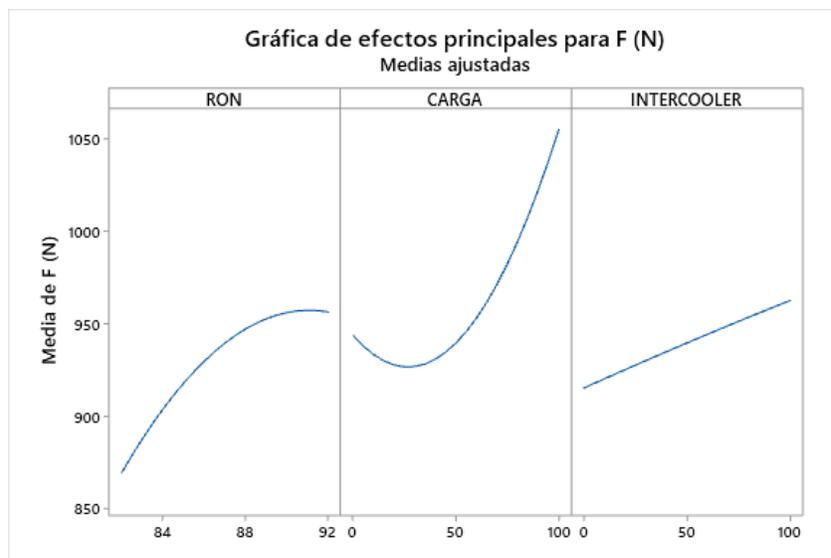


Figura 72 Gráfica de Efectos Principales para la Fuerza Tractora
Fuente: Autores

La presión del turbo crea una variación en la fuerza tractora de manera que a altas presiones se puede observar mayores valores de fuerza tractora, de la misma manera que al tener un octanaje

alto de combustible y viceversa; el intercooler no genera valores significativos en la variación de fuerza tractora.

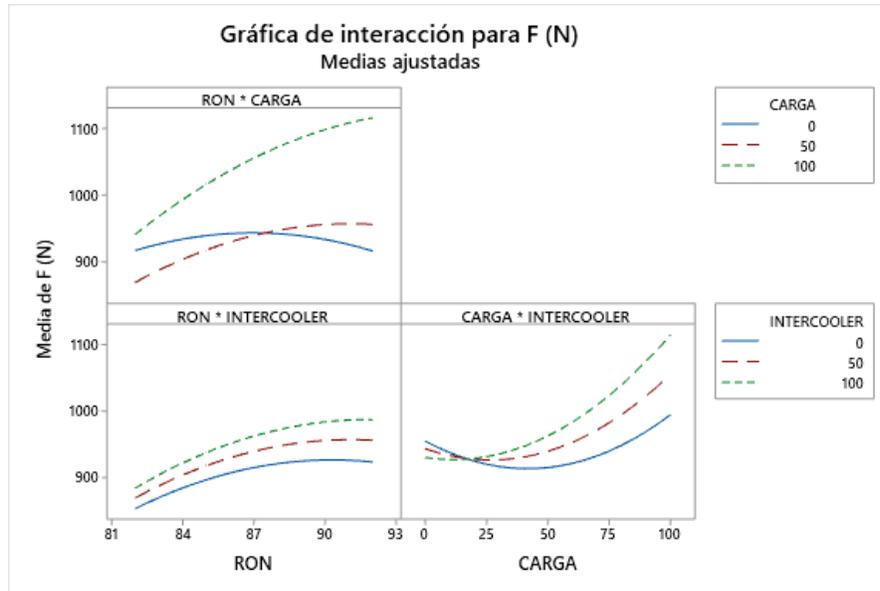


Figura 73 Gráfica de Efectos Principales para la Fuerza Tractora
Fuente: Autores

Al entrar en función las interacciones entre los diferentes factores que intervienen en el experimento para variar la fuerza tractora es evidente que se tiene una interacción fuerte entre el combustible y la presión del turbo, una interacción débil entre el intercooler-presión del turbo y la última interacción no tiene mayor relevancia.

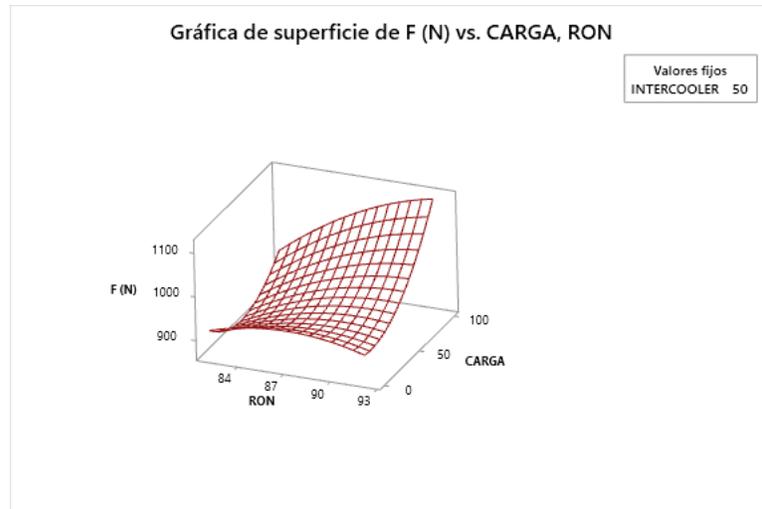


Figura 74 Fuerza tractora en función de la Presión del Turbo y el Combustible
Fuente: Autores

Para obtener una fuerza tractora máxima es necesario combinar un buen combustible con una presión ya que si uno carece de un valor alto no tendría mayor importancia.

4.4.9 Optimización

En el experimento se aplicó variables de entrada para saber qué efecto causan a las variables de salida durante nuestro proceso. Es importante encontrar puntos de optimización dependiendo de que se requiera del motor de combustión interna como puede ser que se interese obtener altas prestaciones en potencia que entrega el motor o requerir bajas emisiones contaminantes y por ende la potencia disminuirá considerablemente, principalmente se pone énfasis en estas variables que hoy en día es desafío constante.

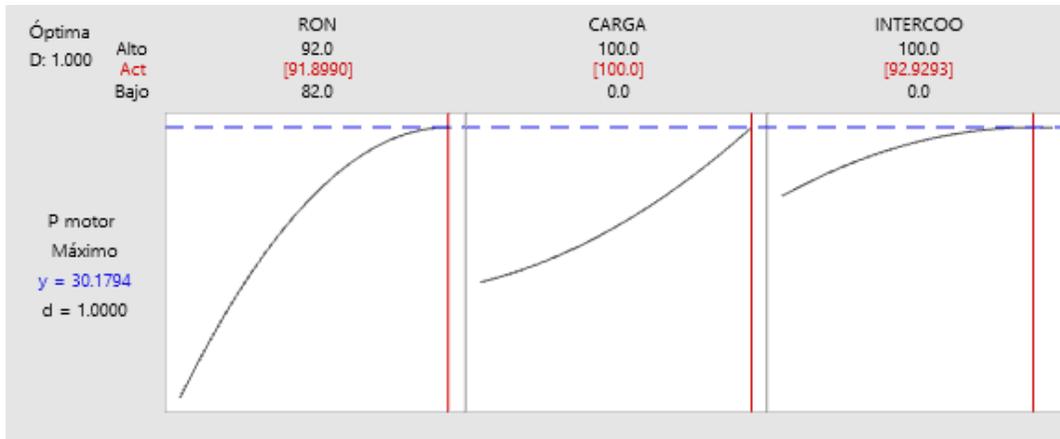


Figura 75 Optimización para la Potencia Máxima

Fuente: Autores

En caso de requerir una optimización para la potencia máxima que pueda entregar nuestro motor, se observa los valores que deben tomar las variables de entrada para ganar potencia sin considerar las emisiones ni el consumo generado. La línea Inter puntada evidencia el nivel de potencia máxima que genera el motor; mientras que la línea roja indica los valores que deben contener las variables de entrada para llegar al nivel requerido.

Variable	Valor de configuración
RON	91.899
CARGA	100
INTERCOOLER	92.9293

Figura 76 Valores de Configuración Para Potencia Máxima

Fuente: Autores

La configuración para las variables debe ser un combustible con octanaje alto como es el caso de la gasolina super, una presión del turbo al 100 %, intercooler al 100 %. Con estos valores nuestro motor entregara la mayor potencia.

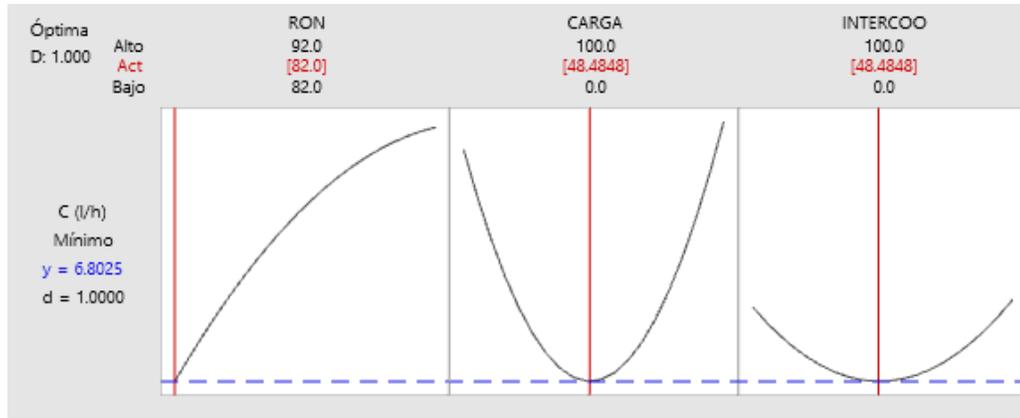


Figura 77 Optimización para Consumo Mínimo
Fuente: Autores

Un requerimiento importante en motores actuales es conseguir un consumo mínimo de combustible por parte del motor, para ello se requiere otras configuraciones en las variables de entrada, podemos observar las curvas que describen el comportamiento de estos factores. No se toma importancia a las emisiones contaminantes, niveles de potencia. El valor para cada variable esta dado por la intersección de las líneas y las curvas.

Variable	Valor de configuración
RON	82
CARGA	48.4848
INTERCOOLER	48.4848

Tabla 21 Valores de Configuración para Consumo Mínimo
Fuente: Autores

Para obtener un mínimo consumo, se considera un combustible de la calidad como Ecopais que contiene 82 octanos, una presión del turbo al 48 % y de igual manera un intercooler al 48 %. Estos son los valores requeridos para obtener lo que se especificó.

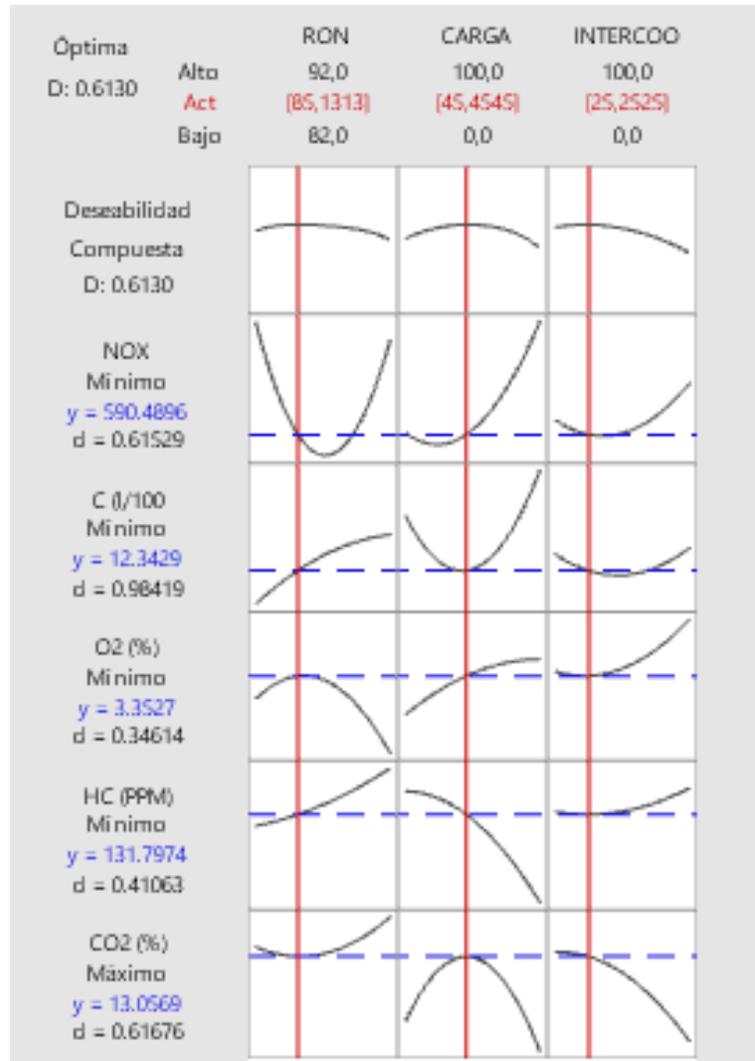


Figura 78 Optimización para Emisiones Contaminantes mínimas y Consumo mínimo

Fuente: autores

Tiene relevancia conseguir un motor que en su funcionamiento genere emisiones contaminantes mínimas y que consuma poco combustible, en la gráfica se demuestra el comportamiento de cada uno de los gases como el consumo, pudiendo encontrar su punto ideal para definir su configuración en las intersecciones para las diferentes variables de salida.

Variable	Valor de configuración	
RON	85,1313	
CARGA	45,4545	
INTERCOOLER	25,2525	
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste
NOX	590	142
C (l/100Km)	12,343	0,522
O2 (%)	3,353	0,657
HC (PPM)	131,8	18,9
CO2 (%)	13,057	0,297
CO (%)	0,108	0,617

Tabla 22 Valores de Configuración Para Emisiones mínimas y Consumo Mínimo
Fuente: Autores

Para conseguir la optimización para emisiones mínimas y consumo mínimo se requiere un combustible de octanaje de 85 octanos, una presión del turbo del 45 % y el intercooler al 25 %.

En caso de necesitar una fuerza tractora al máximo los valores de configuración son iguales a la de la potencia máxima.

4.5 Resultados De La Optimización Para Emisiones Contaminantes Mínimas Y Consumo Mínimo

Se definió los valores indicados en la tabla 21 para la configuración para las variables de entrada con el objeto de optimizar al motor y que así entregue mínimas emisiones contaminantes y mínimo consumo de combustible; por supuesto luego de instalar el turbo con sus componentes.

El en caso del valor de octanaje de combustible se obtiene del resultado de la mezcla de 20 % de gasolina super en un 80 % de Ecopaís.

Como resultado de medir las características del motor siguiendo los protocolos se obtuvo los siguientes valores.

	VALOR
POTENCIA INDICADA	77.8 KW @ 4825
POTENCIA EFECTIVA	57.3 KW @ 4825
POTENCIA A LA RUEDA	34.7 KW @ 4825
POTENCIA DE ARRASTRE	22.5 KW @ 4825
TORQUE MAXIMO	155.9 Nm @ 4755
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	187.812 g/kwh
COMSUMO DE COMBUSTIBLE	10.143 l/h

Tabla 23 Datos Obtenidos del Banco Dinamométrico

Fuente: Autores

Es importante destacar que la potencia incremento en un 53.4 % con respecto a la medida anterior a la implementación del turbocompresor.

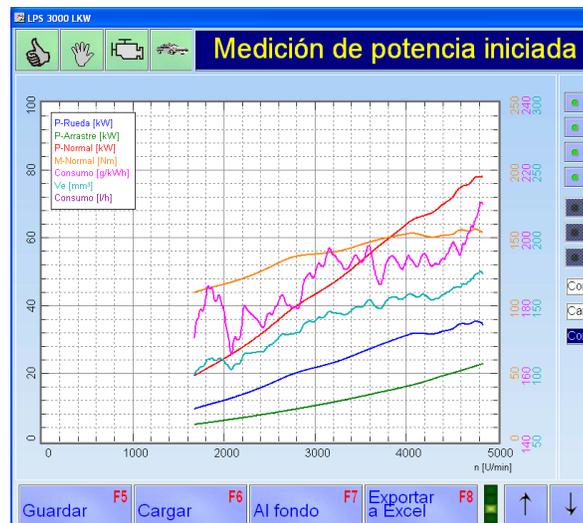


Figura 79 Gráficas Características con Turbocompresor

Fuente: Autores

Respecto a las emisiones de gases contaminantes se obtiene los siguientes valores.

Valores De Gases Contaminantes

- Ralentí

ITEM	VALOR
RPM	880 rpm
CO	0.41 %
CO ₂	7.3 %
O ₂	9.63 %
HC	199 ppm
λ	1.826

Tabla 24 Emisiones Contaminantes A Ralentí

Fuente: Autores

- 2500 rpm

ITEM	VALOR
RPM	2150 rpm
CO	0.26 %
CO ₂	12.5 %
O ₂	1.96 %
HC	104 ppm
λ	1.094

Tabla 25 Emisiones Contaminantes 2500 rpm

Fuente: Autores

4.6 Comparación de valores

A continuación, se presenta una tabla con los valores obtenidos previo a la implementación del turbocompresor (Valores iniciales) y posterior a esto (valores finales).

	VALORES INICIALES	VALORES FINALES
POTENCIA INDICADA	50.7 KW @ 5180	77.8 KW @ 4825
POTENCIA EFECTIVA	36.9 KW @ 5180	57.3 KW @ 4825
POTENCIA A LA RUEDA	15.0 KW @ 5180	34.7 KW @ 4825
POTENCIA DE ARRASTRE	21.9 KW @ 5180	22.5 KW @ 4825
TORQUE MAXIMO	112.2 Nm @ 2965	155.9 Nm @ 4755
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	237.535 g/kwh	187.812 g/kwh
COMSUMO DE COMBUSTIBLE	12.829 l/h	10.143 l/h

Tabla 26 Comparación de valores iniciales y finales

Fuente: Autores

Valores De Gases Contaminantes

- Ralentí

ITEM	VALORES INICIALES	VALORES FINALES
RPM	800 rpm	880 rpm
CO	0.01 %	0.41 %
CO2	11.16 %	7.3 %
O2	4.20 %	9.63 %
HC	24 ppm	199 ppm
λ	1.252	1.826

Tabla 27 Comparación de Emisiones Contaminantes A Ralentí

Fuente: Autores

- 2500 rpm

ITEM	VALORES INICIALES	VALORES FINALES
RPM	2520 rpm	2150 rpm
CO	0.03 %	0.26 %
CO2	14.5 %	12.5 %
O2	0.16 %	1.96 %
HC	7 ppm	104 ppm
λ	1.007	1.094

Tabla 28 Comparación de Emisiones Contaminantes a 2500 rpm

Fuente: Autores

5. CONCLUSIONES

Con la implementación del turbocompresor al realizar su diseño experimental, para encontrar su punto más óptimo de funcionamiento el mismo que fue determinado por la optimización aplicada, considerando un bajo consumo de combustible se concluye lo siguiente:

La variación de las emisiones contaminantes es evidente con respecto a antes de la modificación del motor en la cual se considera gasolina de 82 octanos, luego de la misma con gasolina de 87 octanos, en ralentí se tiene un incremento en el CO del 900 %, el CO₂ disminuye un 34.58 %, el O₂ aumenta un 129.28%, los HC de igual manera aumentan un 729.16 % esto es debido a que la mezcla se empobrece un 45.84%.

En 2000 rpm también se encuentra una variación muy evidente considerando los combustibles utilizados en el experimento, el CO aumenta un 766.66 %, una disminución del CO₂ al 13.79 %, el O₂ aumenta un 1125%, los HC aumentan un 1385.71 % ya que de igual forma se tiene un empobrecimiento de la mezcla de un 8.93%.

La potencia obtenida con la optimización, considerando en bajar los gases contaminantes y un bajo consumo por parte del motor, esta potencia se vio incrementada un 53.4 % que evidencia un valor alto en el mejoramiento de esta, teniendo en cuenta que solo se aplicó el turbocompresor con una carga del 45.45 % sin modificar la electrónica de la ECU ni ninguno de sus otros componentes. El consumo de combustible se disminuyó un 20.93 %.

Considerando las gráficas de análisis se puede concluir que no se puede obtener un automóvil competitivo en potencia y torque sin que este genere unas emisiones de gases contaminantes altas, lo que se traduce a un auto que contamina en exceso; si se quisiera uno competitivo en emisiones

contaminantes este no generaría una alta potencia y torque y es por tal motivo que en la optimización se trató de balancear estos dos puntos.

No se generó una prueba con una presión del turbocompresor al 100 %, debido a que el motor en su estructura interna no contaba con modificaciones para que soporte la presión de tope del turbo, el mismo que esta alrededor de los 14.5 PSI o 1bar medidos en el múltiple de admisión, el hacerlo generaría daños como desbielar el motor debido a la presión que se ejercería en la cámara de combustión.

La potencia viene relacionada de manera directa con el tipo de combustible y con la presión de carga del turbo ya que a presiones altas es necesario un combustible de buena calidad es decir con octanajes altos para generar que la potencia suba, pero a presiones bajas o iguales a la atmosférica de nuestro medio el combustible no haría mayor diferencia en la potencia.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda a cualquier persona que busque implementar un turbocompresor el forjar las piezas del motor y si es posible reprogramar la ecu del vehículo además de cambiar los inyectores originales por unos de alto flujo, para así poder obtener las prestaciones ideales e incluso aumentar la capacidad de carga del turbo lo que significaría una mayor potencia y torque; al momento de funcionamiento del turbocompresor se debe comprobar que la turbina se mantenga girando durante todo el tiempo incluyendo en ralenti puesto que si esto no sucede el turbocompresor sufrirá daños en los cojinetes lo que producirá que el vehículo humee de color azul.

Se recomienda fabricar un múltiple de escape con materiales de alta resistencia y un soporte adecuado para así poder evitar fisuras en este debido a la vibración que produce el motor, además de colocar un empaque sobremedida para así impedir fugas del gas de escape lo que ocasionaría un trabajo poco eficaz del turbo; además es recomendable la utilización de una válvula blow off de alta calidad puesto que esta libera la sobrepresión en la admisión al momento de cerrarse la mariposa del acelerador, lo que previene que exista el denominado efecto turbo flutter el cual es causante de daños en la turbina del turbocompresor.

7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- Automoviles. (29 de 05 de 2011). *Temperatura de funcionamiento en un turbo* - *BlogdeAutomóviles.com*. Obtenido de <http://blogdeautomoviles.com/temperatura-de-funcionamiento-en-un-turbo/#:%7E:text=Como%20se%20ve%20en%20la,solo%20alcanzan%2080%20%C2%BC>
- AVANCE, A. (28 de 09 de 2017). *EL TURBOCOMPRESOR* . Obtenido de Curso Automotriz - Curso Virtual Automotriz - Capacitación Automotriz: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/85-el-turbocompresor/>
- Basics, E. (7 de Mayo de 2010). *Engine Basics*. Obtenido de <https://www.enginebasics.com/Advanced%20Engine%20Tuning/AR%20turbo%20ratio%20explained.html>
- GOMEZ, J. (22 de 12 de 2020). *Turbocompresor: ¿Cómo funciona y qué componentes tiene? ¿Qué es la válvula de descarga o wastegate?* Obtenido de <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/turbo-funcionamiento-componentes-wastegate/>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Ciudad de Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Hoffmeyer, H. (2012). *Combustion Characteristics of Turbo Charged DISI-Engines*. Berlin: Logos Verlag Berlin.

Intercooler. (22 de 05 de 2020). Obtenido de colaboradores de w:
[https://es.wikipedia.org/wiki/Intercooler#:~:text=El%20intercooler%20rebaja%20la%20temperatura,solamente%20sobrealimentado%20\(sin%20intercooler\).](https://es.wikipedia.org/wiki/Intercooler#:~:text=El%20intercooler%20rebaja%20la%20temperatura,solamente%20sobrealimentado%20(sin%20intercooler).)

Morales, H. S. (31 de 07 de 2019). *5 ventajas que tienen los vehículos con motores turbo.* Obtenido de autocosmos: <https://noticias.autocosmos.com.mx/2019/07/31/5-ventajas-que-tienen-los-vehiculos-con-motores-turbo>

Portal Unico De Tramites Ciudadanos. (1 de Junio de 2015). *GOB.EC.* Obtenido de https://www.gob.ec/regulaciones/composicion-distribucion-comercializacion-gasolina-ecopais-fuel?fbclid=IwAR33cx2vG7NINOKhK3DyyUsKDou3Cf_mCcc7yf3fg84NNhQkP1V1hHaR_4c

RODES. (18 de 03 de 2020). *Qué es el turbo y qué función realiza en el coche.* Obtenido de Red Operativa de Desguaces Españoles (RO-DES): <https://www.ro-des.com/mecanica/turbo-o-turbocompresor-y-sus-funciones/>

Roncero, A. (09 de 06 de 2020). *Cómo funciona un turbo y un compresor: tipos de sobrealimentación.* Obtenido de HIGHMOTOR: <https://www.highmotor.com/como-funciona-turbo-compresor-tipos.html>

Spark, W. (25 de 05 de 2018). *El clima promedio en cuenca.* Obtenido de El clima promedio en cuenca: <https://es.weatherspark.com/y/19348/Clima-promedio-en-Cuenca-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>

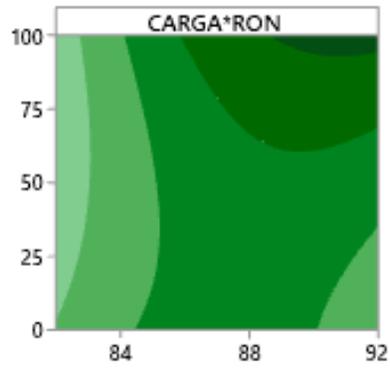
Spark, Weather. (25 de 05 de 2018). Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/19348/Clima-promedio-en-Cuenca-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Spark, Weather. (25 de 05 de 2018). Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/19348/Clima-promedio-en-Cuenca-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>

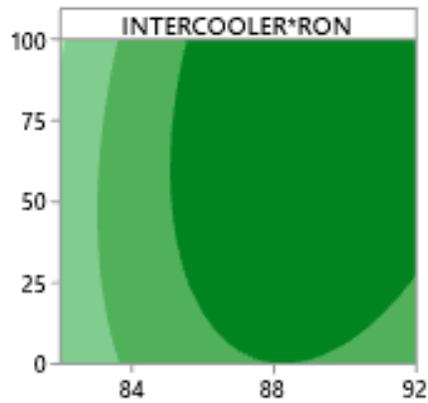
TALLER ACTUAL. (12 de 10 de 2016). *El turbo y la contaminación*. Obtenido de TALLER ACTUAL: [https://talleractual.com/tecnica/turbocompresores/6260-el-turbo-y-la-contaminacion#:~:text=En%20los%20%C3%BAltimos%20a%C3%B1os%2C%20las,Otto%20\(nafta%2Fgasolina\).](https://talleractual.com/tecnica/turbocompresores/6260-el-turbo-y-la-contaminacion#:~:text=En%20los%20%C3%BAltimos%20a%C3%B1os%2C%20las,Otto%20(nafta%2Fgasolina).)

Universo, E. (4 de 6 de 2019). *EL UNIVERSO*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/06/04/nota/7361373/hasta-finales-2019-chevrolet-producira-su-modelo-auto-aveo-ecuador>

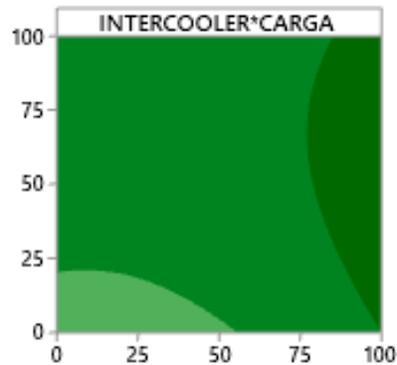
8. ANEXOS



Anexo 1 Gráfica de contorno de Potencia Máxima vs Carga-Ron
Fuente: Autores



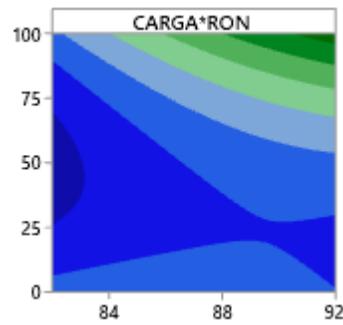
Anexo 2 Gráfica de Contorno de Potencia Máxima vs Intercooler-Ron
Fuente: Autores



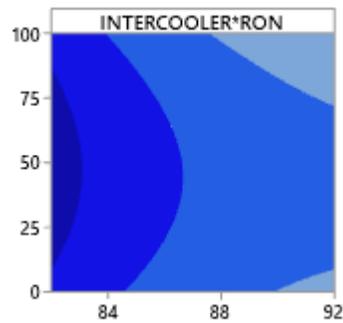
Anexo 3 Gráfica de Contorno Potencia Máxima vs Intercooler-Carga
Fuente: Autores



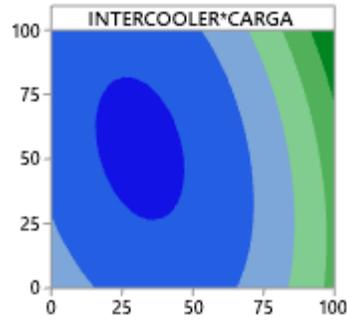
Anexo 4 Valores de Potencia Máxima
Fuente: Autores



Anexo 5 Gráfica de Contorno Consumo de Combustible vs Carga-Ron
Fuente: Autores

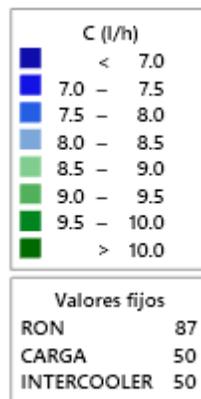


Anexo 6 Gráfica de Contorno Consumo de Combustible vs Intercooler vs Ron
Fuente: Autores



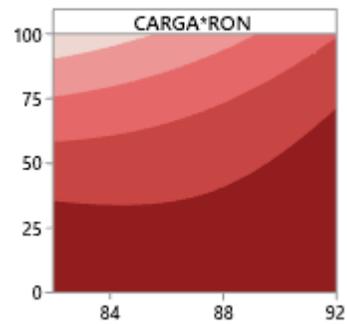
Anexo 7 Gráfica de Contorno Consumo de Combustible vs Intercooler-Carga

Fuente: Autores



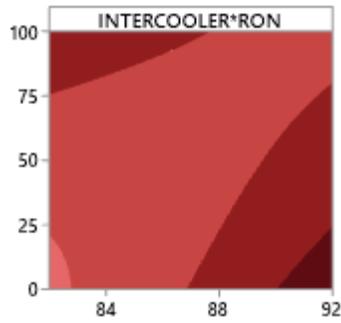
Anexo 8 Valores de Consumo de Combustible

Fuente: Autores

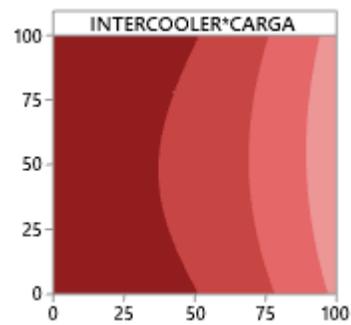


Anexo 9 Figura de Contorno Hidrocarburos vs Carga-Ron

Fuente: Autores



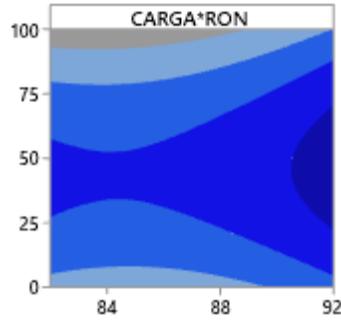
Anexo 10 Figura de Contornos vs Intercooler-Ron
Fuente: Autores



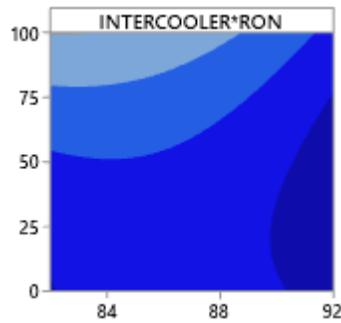
Anexo 11 Figura de Contornos Hidrocarburos vs Intercooler-Carga
Fuente: Autores



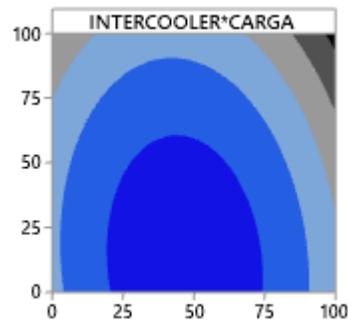
Anexo 12 Valores de Hidrocarburos
Fuente: Autores



Anexo 13 Gráfica de Contorno Dióxido de Carbono vs Carga-Ron
Fuente: Autores



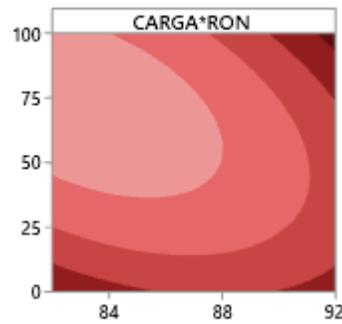
Anexo 14 Gráfica de Contorno Dióxido de Carbono vs Intercooler-Ron
Fuente: Autores



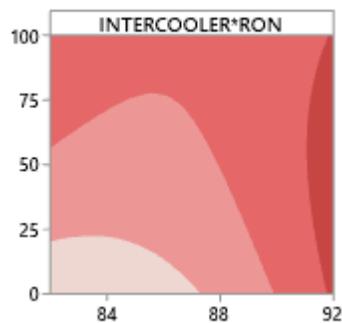
Anexo 15 Gráfica de Contorno Dióxido de Carbono vs Intercooler-Carga
Fuente: Autores



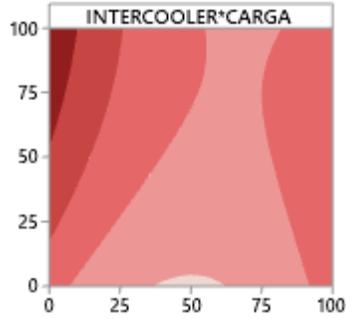
Anexo 16 Valores del Dióxido de Carbono
Fuente: Autores



Anexo 17 Gráfica de Contorno Monóxido de Carbono vs Carga-Ron
Fuente: Autores



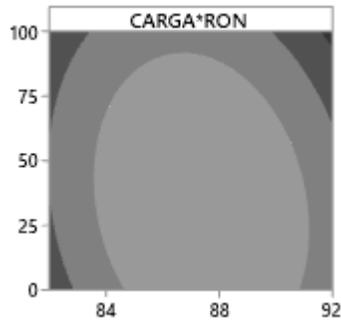
Anexo 18 Gráfica de Contorno Monóxido de Carbono vs Intercooler-Ron
Fuente: Autores



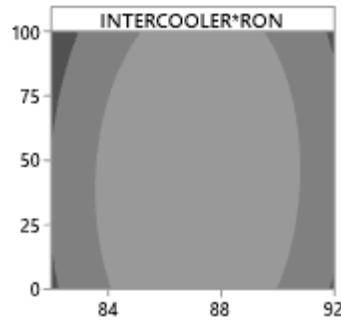
Anexo 19 Gráfica de Contorno Monóxido de Carbono vs Intercooler-Carga
Fuente: Autores



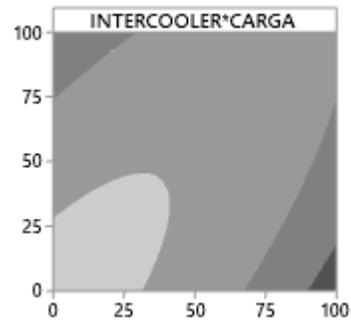
Anexo 20 Valores de Monóxido de Carbono
Fuente: Autores



Anexo 21 Gráfica de Contorno Óxidos Nitrosos vs Carga-Ron
Fuente: Autores



Anexo 22 Gráfica de Contorno Óxidos Nitrosos vs Intercooler-Ron
Fuente: Autores



Anexo 23 Gráfica de Contorno Óxidos Nitrosos vs Intercooler-Carga
Fuente: Autores

NOX	
	< 500
	500 – 750
	750 – 1000
	1000 – 1250
	> 1250

Valores fijos	
RON	87
CARGA	50
INTERCOOLER	50

Anexo 24 Valores de Óxidos Nitrosos
Fuente: Autores